



A black and white portrait of a man with dark hair, wearing a suit jacket, white shirt, and dark tie. He is looking directly at the camera with a neutral expression. The image is framed by a thick black border.

ISI-11

GİRİŞ

Son yıllarda fosil kökenli yakıtların azalmasından ortaya çıkan enerji krizi, birçok ülkeyi yenilenebilir kaynaklardan yakıt elde etme yoluna sevk etmektedir. Bu kaynaklardan elde edilen enerji türlerinden başlıca sayılabilecekler; nükleer, güneş, jeotermal, biyogaz ve rüzgar enerjileridir. Biyogaz, çeşitli hayvansal ve bitkisel artıklar gibi genellikle tarımsal artıklardan elde edilmektedir. Nüfusunun büyük bir bölümü kırsal kesimde yaşayan ülkemizde üretilen enerji kaynakları arasında, tarımsal kökenli artıkların miktarı % 14.2'dir [1]. Halen kullanılmayan veya yanlış kullanılmakta olan bu kaynaktan biyogaz üretimi ile yararlanmak, kırsal yerleşim merkezlerindeki enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayacağından, fosil yakıtların tüketimini bir ölçüde azaltacaktır.

Biyogaz, tarımsal artıkların havasız ortamda uygun nem ve sıcaklıkta mikroorganizmalar tarafından bozunması ile üretilen ve yaklaşık olarak % 60 metan, % 40 karbon dioksit karışımı olan yanıcı bir gazdır.

Biyogazın hayvan artıklarından üretimi üzerinde yoğun araştırma yapılmış olmasına rağmen [2-6], bitki artıklarından üretimi konusunda oldukça az sayıda çalışma yapılmıştır [7,8].

Bileşimleri temel olarak selüloza dayalı olan bitkisel artıklar, biyogaz üretiminde bir potansiyele sahip olmakla beraber, bu artıkların bileşimindeki farklılıklar nedeni ile üretilebilecek biyogaz miktarı ve üretim koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

Anaerobik bozunma, kesikli veya sürekli olarak gerçekleştirilebilir. Kesikli bozunma, daha az kontrol gerektirdiğinden ve oksijene maruz kalma şansı az olduğundan çiftlik tipi fermentörler için uygundur. Ancak, sürekli bozunma daha küçük fermentörlerde gerçekleştirileceğinden, gaz üretim hızının sabit olmasından, bozunmayı başlatmak için sık sık aşılama gerektirmediğinden ve üretim kapasitesi yüksek olduğundan daha avantajlıdır.

Bu çalışmanın amacı bitkisel artık örneklerinin başında gelen samanın, yarı-sürekli bozunma ile biyogaz üretimindeki potansiyelini belirlemektir.

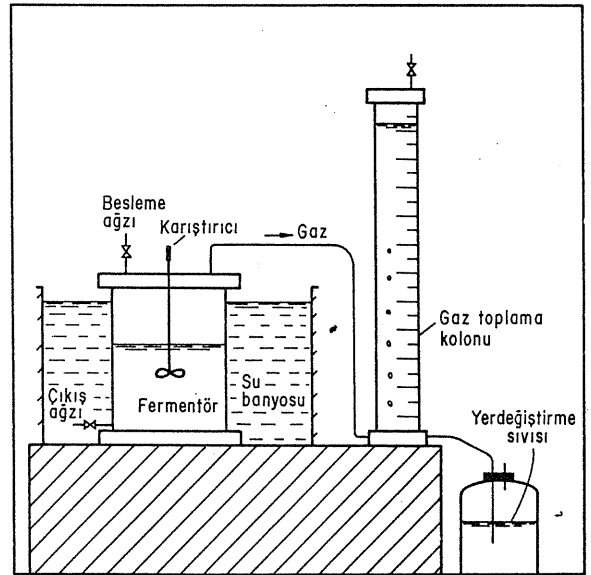
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada kullanılan saman, Ankara'nın Gölbaşı ilçesine bağlı Mamatlı Bahçeköy'ünden temin edilmiştir. Samanın bileşimi,

element ve endüstriyel analizleri yapılarak belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Saman, Omniplex-çekicili kırıcıda öğütülmüş, 0.5 mm elekten geçen kısmı ile de % 5 katı madde içeren saman-su karışımı hazırlanmıştır.

Bu karışımın, bozunmayı çabuk başlatmak için, uygun bir bakteri kültürü ile aşılama gerekmektedir. Kullanılacak bakteri kültürü, Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsünde, 37°C sıcaklıkta, sığır gübresi ile çalışmakta olan bir biyogaz tesisinden temin edilmiştir. Deney koşullarına alıştırılma amacı ile, kültür, deney sıcaklığı olan 55°C sıcaklıkta ısıtılmış ve hergün 100 ml kültür, % 5'lik saman-su karışımı ile yer değiştirilerek, kültürün bozunacak malzeme olan saman-su karışımına uyumu sağlanmıştır. Bu işlemler sonucunda, deney sıcaklığı ve samana alışkın bakteri içeren bir aşı meydana gelmiştir.

Bozunma deneyi, Şekil 1'de gösterilen deney düzeneğinde yapılmıştır. Düzenek, iki ana birimden oluşmuştur. Bunlar; sıvı hacmi 1 litre olan 1.5 litrelik fermentör ve 2.5 litrelik gaz-sıvı yer değiştirme prensibi ile çalışan gaz toplama kolonudur. Fermentör, deney sıcaklığı olan 55°C'tı sağlayabilmek için, termostatlı su banyosunun içine yerleştirilmiştir. Deney sıcaklığının seçiminde, bozunma hızının bu sıcaklıkta daha yüksek olması ve dolayısıyla deney süresinin kısılması dikkate alınmıştır.



Şekil 1 Deney düzeneği

Deney, 700 ml % 5 saman-su karışımının, 300 ml aşu ile birlikte 55°C'taki fermentöre yüklenip, ortamdan havanın uzaklaştırılması ile başlatılmıştır. Deney, saman-su karışımının hacmini değiştirmeyecek şekilde yarı sürekli besleme prensibine uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla, bekleme süresi 10 gün olacak şekilde uygun bir miktar karışım günde bir kez alınırken yerine aynı miktar taze karışım yüklenmiştir. Bozunmanın yatışkın duruma gelme süresi, bekleme süresinin en az üç katı olması gerektiğinden, besleme işlemi, fermentör içindeki karışım en az üç kez yenilene kadar sürdürülmüştür. Bu süre içinde fermentör, günde 2 kez birer dakika süre ile karıştırılmış ve bir günde üretilen toplam gaz miktarı, besleme öncesi kaydedilmiştir. Aynı zamanda, üretilen gazdan 1 mililitrelik sıringa ile numune alınmış ve gaz kromatografında analiz edilmiştir. Deneyler sırasında karışımın pH değerinin 6.5 civarına düşmesi halinde, gaz üretiminin azaldığı gözlenmiş ve bu nedenle pH değeri sodyum bikarbonat çözeltisi ile 7.0-7.3 arasında tutulmuştur.

Hergün yapılan bu işlemler sonucu yatışkın duruma erişilene kadar günlük gaz üretimi ile gaz kompozisyonu ölçülmüştür.

Deney sırasında ve yatışkın duruma ulaşıldıktan sonra yapılan analizler ve yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Biyogaz Hacmi ve Kompozisyonunun Tayini

Deney sırasında üretilen biyogaz, su ile yer değiştirerek, kalibre edilmiş kolonun içinde toplanmıştır (Şekil 1). Burada kullanılan su, üretilen gazı soğurmaması için daha önceden tuz ile doyurulmuştur.

Biyogaz numuneleri, oksijen, metan ve karbon dioksit gazları için analiz edilmiştir. Rutin analizler, oksijen, metan ve karbon dioksit için ayrı pikler veren aşağıdaki çalışma parametreleri ile yapılmıştır:

Kolon: paslanmaz çelik, 3 m x 3 mm

Kolon dolgu maddesi: Poropak Q

Taşıyıcı gaz: 30 ml/dak. hızında % 99 saflıkta azot

Dedektör: ısı iletkenlik

Dedektör sıcaklığı: 25°C

Filament sıcaklığı: 25°C

Koromotograf, İngiltere'nin B.I.A.S. Şirketinden temin edilen, % 10 CO₂, % 15 O₂ içeren, M2 ve % 1 CH₄ içeren, N3 kod no.lu

standart gaz karışımları ile kalibre edilmiş ve analiz sırasında çıkan pikler, Perkin-Elmer 159-1002 kaydedicisinde çizilmiştir.

Toplam Katı Madde Tayini

Çıkıştan alınan karışım, 80°C sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde sabit tartım ağırlığına gelene kadar kurutulmuştur. Bu süre yaklaşık 48 saattir.

Uçucu Katı Madde Tayini

Toplam katı madde tayininde kurutulmuş numune 600°C'lık fırında bir gece boyunca bekletilmiştir. Ağırlıktaki kayıp, toplam katı maddenin uçucu katı madde miktarıdır.

Besi Elementleri Konsantrasyonu Tayini

Besi elementleri olan; azotun tayini, kurutulmuş numune üzerinde toplam Kjeldahl azotu yöntemi ile, fosforun tayini ise kolorimetrik oto-analizör metodu kullanılarak yapılmıştır.

Karbon Tayini

Öğütülmüş saman ve çıkıştan alınan karışım içindeki karbon miktarı, maddeler, 105°C'ta kurutulduktan sonra Heraeus marka element analiz cihazı kullanılarak tayin edilmiştir.

Alkalinite

Fermentöre yüklenen ve çıkıştan alınan karışımların alkaliniteleri, hidroklorik asit titrasyonu ile belirlenmiştir.

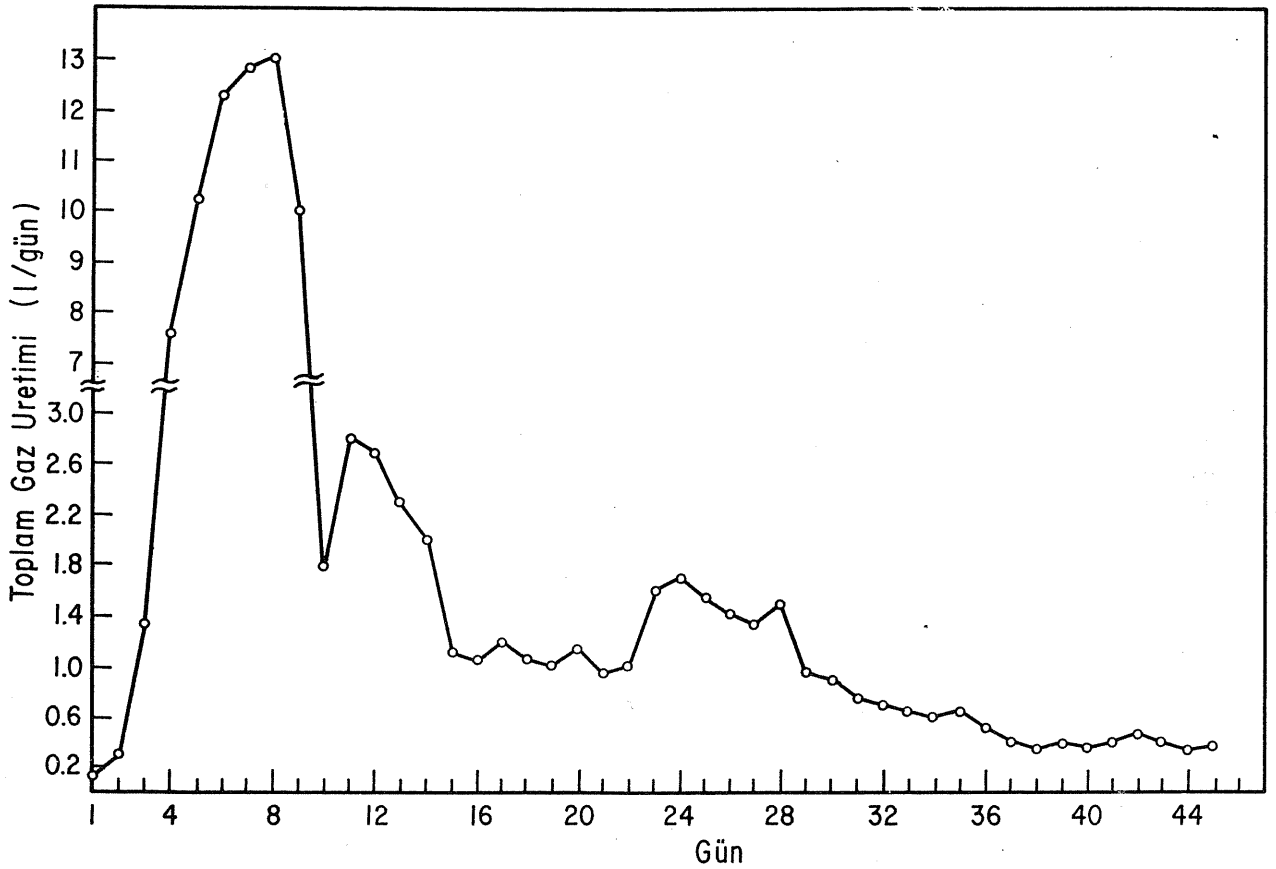
Kimyasal Oksijen Talebi (COD)

Fermentöre yüklenen ve çıkıştan alınan karışımların COD analizleri, numuneler 100 kere seyreltildikten sonra, suda oksitlenebilen dikromat madde tayini yöntemi ile yapılmıştır.

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyogaz Miktarı ve Metan Yüzdesi

% 5 katı madde içeren aşılınmış saman-su karışımının 55°C sıcaklıkta bozunmasından elde edilen biyogaz miktarının zamana göre değişimi Şekil -2'de gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, üretilen gaz miktarı ilk hafta içinde ani olarak yükselmekte, bir maksimumdan geçtikten sonra düşmekte ve bu karışımın bekleme süresi olan 10 günün 3 katı süre geçtikten sonra yatışkın duruma ulaşmaktadır. İlk hafta içindeki ani yükselme-



Şekil 2 Toplam gaz üretiminin zamana göre değişimi

nin nedeni bozunmayı hızlı başlatmak için ilk gün yapılan aşılama ve katı madde içindeki karbon oranının en üst düzeyde olmasıdır. Karışım, deney süresince yenilendiği için, aşının etkisi ve bozunacak karbon miktarı zamanla azalmakta, bu da üretimin düşmesine neden olmaktadır. Bozunma, 36 gün sonra yatışkın hale gelmektedir.

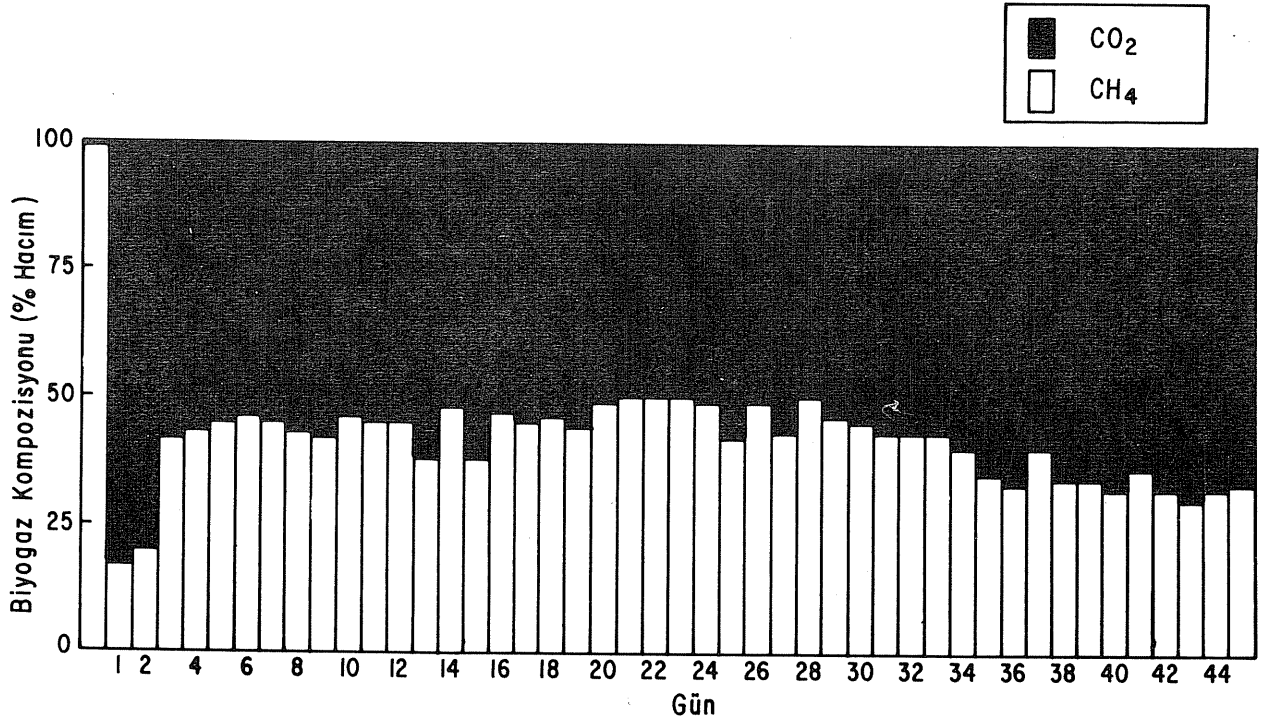
Deney süresince elde edilen biyogazın kompozisyonu ise Şekil 3'te gösterilmiştir. Bozunmanın ilk günlerinde, gazın, esas itibarı ile karbon dioksitten oluştuğu, ancak daha sonra metan yüzdesinin arttığı ve yarı-sürekli beslemeden dolayı 30. güne kadar % 48 gibi ortalama bir değerde seyrettiği, yatışkın duruma ulaşıldıktan sonra ise % 34'e ulaştığı gözlenmektedir.

Bu çalışmada elde edilen biyogaz miktarı ile metan yüzdelerinin daha önce literatürde verilmiş değerlerle karşılaştırılması oldukça zordur. Zira, üretim, bitkisel artığın cinsine, fermentöre beslenen karışımın katı madde yüzdesine, ön işleme ve bozunma sıcaklığına bağlıdır. Ancak, bu çalışmada elde edilen

sonuçlar, katı maddesi % 90 saman, % 10 sığır gübresinden oluşan ve 1.5 katı madde içeren karışımın, bekleme süresi 10 gün olacak şekilde, yarı-sürekli besleme prensibi ile 55°C'ta bozunmasından elde edilen sonuçlar [9] ile uyum içindedir.

Kullanılan Materyalin Bozunmaya Etkisi

Anaerobik fermentasyon, katı maddenin çözündürülmesi, çözünmüş organik maddeden asit bakterileri yardımı ile yağ asitlerinin oluşması ve metan bakterilerinin, bu asitleri metan ve karbon dioksit dönüştürmesi olarak üç aşamadan oluşur [10]. İlk aşamanın gerçekleşmesi, selülozun şekere dönüştürülmesi demektir. Bitki yapısında bulunan lignin, selülozu bakteriden koruduğu için, fermentasyon istenilen ölçüde gerçekleşemez. Bu sorun, lignin ve selüloz arasındaki hücre bağlarını gevşetmekle ortadan kaldırılabilir. Bu da, fiziksel ve kimyasal olarak, materyalin öğütülmesi ve ön hidrolizden geçirilmesi ile gerçekleşebilir. Böylece, biyogaz üretim hızı ve toplam biyogaz miktarı arttırılmış olur. Bu çalışmada, saman, ön işlem olarak sadece



Şekil 3 Biyogaz kompozisyonunun zamana göre değişimi

öğütülmüştür. Elde edilen biyogaz veriminin, samanın ön hidrolizden geçirilmesi ile artacağı beklenmektedir.

Fermentasyonun ikinci aşaması sırasında, yağ asitlerinin oluşması, ortamda pH değerinin düşmesine sebep olur. Bu değer, 6.5'tan düşük olduğu takdirde metan bakterileri faaliyetini sürdüremez ve anaerobik bozunma yarıda kesilmiş olur. Teorik olarak, anaerobik bozunma sırasında pH değerinin 6.6 ve 7.6 sınırları arasında olması gereklidir [10]. pH değerindeki düşüş, kullanılan materyalin kompozisyonuna göre değişiklik gösterir. Bu çalışmada kullanılan samanın, C/N oranı 81'dir. Oysa, anaerobik fermentasyonda C/N oranının optimum değeri 40 olmalıdır [10]. Deney sırasında pH değerindeki düşmeler bu optimum koşulun sağlanmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, pH değerinin, optimum sınırlar içinde tutulacak şekilde, yakından takip edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için fermentöre yüklenen karışımın içinde, karışım alkalinitesini en az 1500 mg/l civarında tutacak şekilde sodyum bikarbonat çözündürülmüştür.

Fermentöre Yüklenen ve Çıkıştan Alınan Karışımlar Üzerinde Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması

Fermentöre yüklenen ve bozunma yatışkın

durumdayken çıkıştan alınan karışımlar üzerinde yapılan analiz sonuçları Tablo 2 ve 3'te gösterilmiştir.

Deney sırasında, fermentör içindeki katı madde konsantrasyonunun % 5 olduğu kabul edildiğinden, hergün çıkıştan alınan karışımın, yüklenen karışımla aynı konsantrasyonda olması gerekmektedir. Ancak deneylerde, girişteki toplam katı madde miktarının 0.9 kg/m³ azalma gösterdiği gözlenmiştir. Bu farkın deney hatalarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Giriş ve çıkıştaki uçucu katı madde miktarları karşılaştırıldığında uçucu maddenin % 40 kadarının bozunma sırasında kullanıldığı ortaya çıkmaktadır.

Ölçümlere dayanılarak, fermentör üzerinde karbon balansı yapılmış ve fermentöre giren karbonun % 14'ünün gazlaştığı tesbit edilmiştir.

Samanın Bozunumu Sırasında Gözlenen Karakteristikler

Bozunma sırasında yüklenen taze karışım-daki samanın hepsi fermentör içindeki sıvının üst kısmında yüzmekte ve ancak bozundukça dibe çökmektedir. Bu gözlemin sonucu olarak, samanın kullanıldığı fermentörlerde en aktif bölgenin, karışım hacminin üstten üçte biri olduğu saptanmıştır. Buna karşın, hayvan

gübreli veya kanalizasyon artığı kullanılan fermentörlerde, aktif bölgenin tabandan itibaren üçte bir oranında olduğu gözlenmiştir [9].

Bu nedenle, bitkisel artıkların kullanıldığı fermentörlerde karıştırma işleminin üst bölgede yapılması gerekmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada % 5 katı madde içeren saman-su karışımı, anaerobik ortamda ve 55°C'ta, 10 gün bekleme süresi esas alınarak, yarı-sürekli bozunmaya tabi tutulmuş ve üretilen biyogazın miktarı ile metan yüzdesi ölçümlerle belirlenmiştir.

Üretilen biyogaz miktarı ve metan yüzdesi deney başlangıcından yaklaşık 36 gün sonra sabit değerlere ulaşmış ve 1 litre % 5 saman-su karışımından % 34 metan içeren 0.42 l/gün gaz elde edilmiştir.

Bitkisel artıkların çoğunda çözünür karbonhidrat oranının yüksek olması nedeni ile fermentör içinde uçucu yağ asitleri birikmekte, bu da karışımın pH değerini düşürerek bozunmayı frenlemektedir. Bu nedenle, sisteme alkali ilavesi ile pH değerinin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, bozunma süresince katı maddenin karışımın üst bölgesinde asılı kaldığı gözlenmiştir. Oysa, hayvan gübresi veya kanalizasyon artığı ile beslenen fermentörlerde katı maddenin fermentörün dibine çöktüğü ifade edilmiştir. Bu bulgular ışığında, hayvan gübresi vb., ile çalıştırılmakta olan fermentörlerin bitkisel artıklarla beslenmesi halinde, fermentör tasarımı ve çalıştırılmasında bazı değişikliklerin gerekli olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

1. T.C. Başbakanlık DPT, "Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı", 1979-1983.

2. Hill, D.T., Young, D.T. and Norstedt, R.A., "Continuously Expanding Anaerobic Digestion-A Technology for the Small Animal Producer", Transactions of the ASAE, 1981, pp. 731-736.
3. Smith, R.J., Hein, M.E. and Greiner, T.H., "Experimental Methane Production from Animal Excreta in Pilot and Farm-Size Units", Journal of Animal Science, Vol.48, No. 1, 1979, pp. 202-217.
4. Converse, J.C., Zeikus, J.G., Graves, R.E. and Evans, G.W., "Anaerobic Degradation of Dairy Manure Under Mesophilic and Thermophilic Temperatures", Transactions of the ASAE, 20(2), 1977, pp. 336-340.
5. Jones, D.D., Jones, B.A. and Day, D.L., "Anaerobic Digestion of Cattle Waste", Transactions of the ASAE, 1968, pp. 757-761.
6. Sievers, P.M. and Brune, D.E., "Carbon: nitrogen Ratio and Anaerobic Digestion of Swine Waste", Transactions of ASAE, 1979, pp. 537-541.
7. Clausen, E.C. and Gaddy, J.L., "Separate Stage Fermentation of Biomass to Methane", AICh. E Symp., 1979, Vol. 74, pp. 56-74.
8. Klass, D.L. and Ghosh, S., "Methane Production by Anaerobic Digestion of Bermuda Grass", 177th National Meeting, American Chemical Society, April 1979; Biomass as a Nonfossil Fuel Source, pp. 230-249.
9. Badger, D.M., Bogue, M.J. and Stewart, D.J., "Biogas Production from Crops and Organic Wastes", New Zealand Journal of Science, 1979, Vol. 22, pp. 11-20.
10. Mc Carty, P.L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, II. Environmental Requirements and Control", Public Works, 1964, pp. 123-126.

Tablo 1 Samanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Element Analizi (kuru numune, % ağırlık)	
C *	44,49
H	5,85
N	0,55
P	0,0641
O	41,98
Kül	7,07
Endüstriyel Yaş Analiz (% ağırlık)	
Nem	7,24
Uçucu madde	70,64
Kül	7,07
Sabit Karbon	15,31
Organik Bileşikler (% ağırlık)	
Ham protein	3,44
Selüloz	28,71
C/N	80,9

Tablo 2 Fermentöre beslenen % 5 saman-su karışımının özellikleri

Toplam Katı Madde (kg/m ³)	50
Uçucu Katı Madde (kg/m ³)	35,32
COD (kg/m ³)	59,33
Kjeldahl-N (kg/m ³)	0,275
Alkalinite (kg/m ³)	0,71
pH	7,2
Karbon %	44,49

Tablo 3 Sıvı yan ürünün ve gazın yatışkın durumdaki özellikleri

Sıvı Yan Ürün:	
Toplam Katı Madde (kg/m ³)	49,1
Uçucu Katı Madde (kg/m ³)	21
COD (kg/m ³)	26
Kjeldahl-N (kg/m ³)	0,469
Alkalinite (kg/m ³)	1,7
pH	7,3
Karbon %	38,2
Gaz:	
Metan %	33,7
Metan Üretimi (m ³ /m ³ karışım-gün)	0,42