

BİTKİSEL VE HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE ENTEGRE ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE KULLANIMI (BİYOGAZ) PROJESİ

Durmuş KAYA*, Mustafa TIRIS
TÜBİTAK MAM, Enerji Enstitüsü,
Gebze / Kocaeli
E-mail: Durmus.Kaya@mam.gov.tr

Osman YALDIZ
Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi,
Antalya

H. İbrahim SARAÇ
Kocaeli Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi, Kocaeli

Kamil EKİNCİ
Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat
Fakültesi, Isparta

Günnur KOÇAR
Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi
Enstitüsü, İzmir

Necmi KARAMAN, Erkan AYAN
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli

Muhammet SARAÇ
İzaydaş A.Ş., Kocaeli

ÖZET

Türkiye'de tarım sektörünün temelini oluşturan tarla bitkilerinden (buğday, arpa, tütün, pamuk, çeltik vb.) yıllık olarak yaklaşık 65 Mton tarımsal atık ve hayvancılık kaynaklı 160 Mton yaş gübre oluşmaktadır. Tarımsal atıklardan hayvan besleme amacıyla kullanılmayan atıklar açık havada yakılmakta veya çürümeye terk edilmektedir. Hayvansal gübreler ise genellikle herhangi bir işlemde geçirilmeden tarlada direkt kullanılmakta veya açıkta yığın halinde biriktirilmektedir. Bu durum çevre ve sağlık problemlerini ortaya çıkarmaktadır.

Ülkemiz her çeşit enerji kaynağına sahip olmakla birlikte, rezervler kısıtlı olup enerjide dışa bağımlıdır ve tüketiminin %60'ı ithalata karşılanmaktadır. Yerli kaynakların mevcut kullanım oranı düşük olmasına rağmen, hidrolik, güneş, jeotermal ve rüzgâr kaynaklı enerji kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Biyokütleden ise sadece direkt yakma ile enerji dönüşümü yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvansal ve tarımsal kaynaklı atıklardan oksijensiz ortamda biyogaz üretimi ile enerji dönüşümü ise yok denecek kadar azdır.

Yukarıda belirtilen çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar gözetilerek; "Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemlerinde Kullanımı (BİYOGAZ)" adlı proje hazırlanmıştır. Proje; biyogaz ve enerji üretim teknolojilerinin araştırılması, sistem simülasyonu, karar destek sistemi (KDS) modelleme, laboratuvar ölçeğinde iki (hayvansal kaynaklı ve tarımsal kaynaklı için ayrı ayrı) ve 250 kWe kapasitesinde pilot ölçekli bir entegre biyogaz tesisi tasarlamak imal edilmesi, enerji dönüşüm sistemleriyle entegrasyonu, deneysel çalışmalar, teknik-ekonomik ve yaşam döngü analizlerinin yapılması iş adımlarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada; projenin tamamlanan her bir iş adımı özet olarak verilmiş olup, çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen sonuç bilgileri özet olarak sunulmuştur. Ayrıca devam eden iş paketlerinde yapılan ve yapılacak çalışmalar ve izlenecek yöntemler de özet olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, kofermentasyon, hayvansal atıklar, tarımsal atıklar, sistem entegrasyonu, enerji üretimi

The Production of Biogas From Agricultural and Animal Wastes and Its Utilization In The Integrated Energy System (Biogas)" Project

ABSTRACT

Sixty five million tons of residues from field crops (wheat, barley, tobacco, cotton, rice etc.) having fundamental importance in Turkish agricultural sector and 160 million tons of animal manure from animal production are existed. Wastes, which are not used for feeding, are burned in the field or abandoned to degrade naturally. Animal manure is usually either applied to the field directly without implementing any process or accumulated in a pile outside. As a result, this situation causes to environmental and health problems.

Although our country has wide range of energy sources, the reserves are limited and 60% of total energy consumption is met by imports. Even though the ratio of utilization of domestic resources is currently low, that of hydraulic, solar, and geothermal and wind energy is getting wide spread. Direct combustion of biomass for energy conversion is commonly applied. The utilization of animal and other agricultural wastes for energy conversion under anaerobic conditions using biogas systems almost does not exist.

Considering above mentioned environmental, economical and social benefits, the project "The Production of Biogas From Agricultural and Animal Wastes and its Utilization in the Integrated Energy System" was prepared. The tasks in the project includes: review of biogas and energy production technologies, system simulations and decision support system (DSS) modeling, design and development of two lab-scale (one for animal waste and one for agricultural waste) and one pilot scale (250 kWe capacity) integrated biogas plant, integration of the pilot plant with energy conversion systems, experimental studies, techno-economical analysis of the biogas production, and life-cycle analysis.

Within this study, the summary of each completed task of the project has been presented with the study methods and results. In addition, the studies which are/will be done at the ongoing work packages and study methods which will be followed are provided as a summary.

Keywords : Biogas, co-fermentation, animal wastes, agricultural wastes, system integration, energy production

**İletişim yazarı

Geliş/Received : 12.05.2009

Kabul/Accepted : 10.06.2009

GİRİŞ

Tarım sektörü, geçmişten bu yana Türkiye'nin en büyük iş sektörüdür. Ülkenin gelişmesine bağlı olarak, bu sektörlerin payı azalmakla birlikte, toplam üretim ve istihdam yönünden hâlâ önemini korumaktadır. Türkiye'de tarım sektörünün yaklaşık %90'ını tarla ürünleri ve hayvancılık, geri kalan % 10'luk bölümünü ise ormancılık ve balıkçılık oluşturur [1].

Türkiye'deki tarım sektörünün temelini oluşturan tarla bitkilerinden (buğday, arpa, tütün pamuk, çeltik vb.) yıllık olarak yaklaşık 65 Mton tarımsal atık oluşmaktadır [2]. Bu atıkların toplam ısı değeri yaklaşık olarak 228 PJ'dur. Toplam ısı değeri içerisinde payı en fazla olan temel ürünler sırasıyla mısır % 33.4, buğday % 27.6 ve pamuk % 18.1'dir.

Türkiye'de geçtiğimiz yıllarda çiftlik kapasitelerinde ve dolayısıyla gübre miktarlarında büyük artışlar olmuştur. Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanları sayıları yaklaşık olarak sırasıyla 13, 30 ve 265 milyondur. Bu rakamlara bağlı olarak yaklaşık yıllık atık miktarı sırasıyla 128, 25, 8 milyon tondur. Yıllık toplam kuru gübre miktarları sırasıyla 16.2, 6.1 ve 1.9 milyon tondur [3]. Bunların kullanılabilirlik oranı sırasıyla % 65.1, % 3 ve % 99'dur. Toplam kullanılabilir kuru madde miktarı; toplam kuru madde miktarı ile kullanılabilirlik oranının çarpımıyla hesaplanmıştır. Birim kuru maddenin biyogaza dönüşüm oranı materyale bağlı olarak değişmekle birlikte 200-800 m³/ton. organik kuru maddedir [4]. Birim biyogazın ısı değeri ise 22.7 MJ/m³ dür. Böylece Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanlarının atıklarının yıllık toplam ısı değerleri sırasıyla yaklaşık 47.8, 3.6 ve 8.7 milyon GJ olarak bulunmuştur.

Tarımsal atıklar üretimden sonra tarlada bırakılır veya çeşitli amaçlar için kullanılır. Hayvan besleme ve yataklık olarak kullanma yaygın kullanım alanlarıdır. Bazen de tarlada kontrolsüz bir şekilde, açık havada yakılmakta veya çürümeye terk edilmektedir. Her iki durumda da çevreye büyük ölçüde zarar verilmektedir. Hayvansal atıklar ise genellikle herhangi bir işlemden geçirilmeden tarlada direkt kullanılmakta veya açıkta yığın halinde biriktirilmektedir. Gübrenin bir işlemden geçirilmeden kullanılması, açıkta ve yığın halinde biriktirilmesi, kalitesini düşürmekte, ayrıca, koku, görüntü, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunlarını ve buna paralel olarak da bazı sağlık problemlerini ortaya çıkarmaktadır [5]. Hayvansal atıkların kontrolsüz depolanmasının atmosfere yılda 75 milyon ton metan salınımına neden olduğu bildirilmektedir. Yine organik çöp depolama alanlarından yılda salınan metan miktarı 40 milyon tondur [6].

Günümüzde fosil yakıtların azalması dolayısıyla yakın

gelecekte enerji açığı kaçınılmazdır. Buna ilaveten, atıklardan kaynaklanan çevre problemleri de göz önüne alındığında, sürdürülebilir kalkınma açısından, bu iki soruna çözüm getirilmesi çok büyük avantajlar sağlayacağı yapılan çalışmalarla da görülmüştür. Tarımsal ve hayvansal atıklar için çevresel açıdan kabul edilebilir en etkili çözüm yöntemlerinden biri, biyokütle-enerji dönüşüm sistemleridir. Ayrıca bu sistemlerle, atıklardan, hem enerji hem de besin değeri yüksek olan gübre elde edilmektedir [5.7.8].

Ülkemizde biyogaz teknolojisi sadece araştırma düzeyinde, çok kısıtlı bilgi ve teknolojiyle uygulanmaya çalışılmıştır. Bu konudaki ilk çalışmalar 1950'li yıllarda yapılmıştır [9]. O zamanki adıyla Toprak-Su Araştırma Enstitülerince yapılan birkaç pilot tesis uygun yapıda olmadığı için başarılı bir şekilde çalışmamıştır. Ülkemizde uygulamaya yönelik pratik tesislerin mevcut olmayışı, organik atıkların işlenmesi için gerekli yasal düzenlemelerin hayata geçirilememesi [10], biyogaza olan ilgisizliği arttırmıştır. Ülkemiz koşullarına ait bir tesis modeli geliştirilmediği ve biyogaza gereken önem verilmediği için ülkemiz bu alternatif enerji kaynağının faydalarından mahrum kalmıştır. Oysa başta Almanya, Danimarka, İngiltere ve İtalya olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde endüstriyel tip biyogaz üretim tesisi hızla yaygınlaşmaktadır. Örneğin 2008 yılı itibarıyla sadece Almanya'da 3900 adet biyogaz elektrik üretim santrali faaliyette olup bunların kurulu gücü 1400 MW bulmuştur [11].

Yukarıda belirtilen çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar gözetilerek; "Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemlerinde Kullanımı (BİYOĞAZ)" adlı proje başlatılmıştır [12]. Projenin başlama tarihi 14 Nisan 2007 olup süresi 3 yıldır. TÜBİTAK 1007 Kamu Projeleri Programınca desteklenen projede; müşteri kurum Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, araştırmacı kurumlar ise TÜBİTAK MAM, AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ, SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ VE EGE ÜNİVERSİTESİ'DİR.

Proje; biyogaz ve enerji üretim teknolojilerinin araştırılması, sistem simülasyonu ve karar destek sistemi (KDS) modellemesi, laboratuvar ölçeğinde iki ve pilot ölçekli bir entegre biyogaz tesisi tasarlanıp imal edilmesi, enerji dönüşüm sistemleriyle entegrasyonu, tekno-ekonomik ve yaşam döngü analizlerin yapılması çalışmalarını kapsamaktadır.

Söz konusu projenin amacı: hayvansal ve tarımsal kaynaklı atıklara uygun düşük maliyetli, yüksek verimli biyogaz üretim sistemlerinin geliştirilmesi, bu sistemlerin içten yanmalı motor ile entegrasyonu, ihtiyaç sahibi bir kurumda pilot tesisin kurulması ve sürekli çalışan bir tesisin ekonomiye kazandırılması, tesisin işletilmesi sürecinde oluşacak

problemlerin tespiti, çözümlerin üretilmesi ve uygulanması, sistem verimini artırmaya yönelik iyileştirmeler, biyogaz üretim teknolojilerinin ülke içinde üretiminin yaygınlaştırılmasıdır.

Bu çalışmada; projenin tamamlanan her bir iş adımı özet olarak ele alınmış, kullanılan yöntem ve elde edilen sonuç bilgiler özet olarak sunulmuştur. Ayrıca devam eden iş paketlerinde yapılan ve yapılacak çalışmalar ve izlenecek yöntemler özetle verilmiştir. Elde edilen bilgilerin paylaşılması ve biyogazın ülkemizde yaygınlaşmasına katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

BIYOGAZ VE ENERJİ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu iş paketinde çalışma genel olarak aşağıdaki bölümlere göre oluşturulmuş ve sunulmuştur [13]:

- Tarımsal ve hayvansal atıklardan enerji üretimi için kullanılan başlıca teknikler,
- Biyogaz sistemlerinin avantajları ve dezavantajları,
- Biyogaz üretim sistemlerinin projelenmesi, AR-GE alanları ve sağlanan teknolojik gelişmeler.
- Üretilen biyogazın kazanlarda, içten yanmalı motorlarda, gaz motorlarında ve türbinlerde enerji kaynağı olarak kullanımı,
- Biyogaz üretim teknolojilerinin ülkemizde üretilmesi, yaygınlaştırılması ve bununla ilgili kısıtların belirlenmesidir.

Çalışmanın sonucu elde edilen bilgiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a) Yapılan literatür çalışmalarının ışığında Türkiye'de anaerobik biyoteknolojinin tarımsal ve hayvansal atıkların bertaraf edilerek biyogaz üretiminde yeteri kadar değerlendirilmediği açıkça görülmektedir. Atıkların yok edilmesi gereken maddeler olarak düşünülmesi yerine, hammadde olarak ele alınması daha anlamlıdır. Çiftlik tipi biyogaz tesisleri ülkemiz için büyük önem taşımaktadır. Arıtma tesislerinden çıkan suyun ve içerdiği besin maddelerinin tarımsal sulamada değerlendirilmesi, gittikçe ısınan ve su kaynakları azalan dünyada çok büyük önem arz etmektedir. Reaktörden çıkan gazı alınmış malzemenin gübre değeri de bulunmaktadır. Bu gübre organik tarımın gelişmesine çok büyük katkı sağlayacaktır. Anaerobik fermantasyon prosesinde hâlâ birçok potansiyel araştırma alanları mevcuttur. Genel olarak sülfatlı atıklarda ortaya çıkan H_2S ve koku problemleri büyük ölçüde çözülmüş olup, gerekli teknolojiler mevcuttur. Fakat açığa çıkan azotun değerlendirilmesi, geri kazanılması veya atmosferik azota

dönüştürülmesi konusunda maliyet düşürücü araştırmalar gereklidir.

- b) Yapılan literatür çalışmaları sonucunda biyogaz üretiminde kullanılan sistemler genel olarak üç ayrı grupta incelenir. Bunlar: Kesikli fermantasyon, kesikli beslemeli fermantasyon ve sürekli yüklemeli fermantasyon olarak belirtilmiştir. Bu teknolojilerde verimlilik bakımından en önemlisi sürekli beslemeli fermantasyon olduğu anlaşılmıştır. Bu yöntem gelişmiş ülkelerde modern ileri teknoloji uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların dışında, uzun yıllardan beri kullanılan birçok biyogaz üretim sistemleri de vardır. Özellikle kırsal kesimler için önerilen ve kısıtlı yerel olanaklarla yapılan ve kullanılan bu tür sistemler, çok değişik tipte olup genel olarak, hareketli kubbeli, sabit kubbeli ve balonlu biyogaz tesisleri olarak sınıflandırılmıştır. Bunlarda da hareketli kubbeli biyogaz tesislerinin en verimli olduğu anlaşılmıştır.
- c) Yapılan literatür çalışmalarının çerçevesinde, biyogaz reaktörlerinin çalışma koşullarına göre belirli sıcaklık değerlerinde sabit tutulması, biyogaz üretimi açısından önemli bir faktördür. Bunun için gerekli olan ısı enerji girdisi, sistemden elde edilen net enerjinin düşmesine neden olmaktadır. Enerjinin ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının her geçen gün artan önemi göz önüne alındığında, biyogaz reaktörlerinin diğer alternatif enerji kaynakları ile birlikte hibrit sistem olarak tasarlanması öncelikli hâle gelmektedir. Ülkemizde oldukça geç kalınmış olan biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesinde bu durumun dikkate alınması ve hayata geçirilmesi, biyogaz sistemlerinin yaygınlaştırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle Ege Bölgesinde güneş enerjisinin yanı sıra, jeotermal ve rüzgar enerjisinin de önemli bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Reaktörlerin tasarımında bu potansiyelden yararlanabildiğimiz ölçüde biyogaz, ülkemizde hak ettiği konuma gelecektir.
- d) Biyogazın yakılarak enerjiye dönüşmesinde kazanlar, içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri kullanılmaktadır. Kazanlardan özellikle sıvı ve gaz yakıtlı kazanların konstrüksiyonunda değişiklik yapılmadan sadece yakıcılarında değişiklik yapılarak biyogaz yakılabilir. Bu kazanlar, özellikle su borulu kazanlar, alev-duman borulu kazanlar, özel kazanlar olabilmektedir. Ayrıca yakma teknolojilerinin geliştirilmesiyle, özellikle akışkan yataklı kazanların gelişmesiyle biyogaz diğer sıvı, katı, gaz yakacaklarla beraber akışkan yataklı kazanlarda da kullanılmaktadır. Özellikle ısıtmada kullanılmak üzere sıcak su üretiminde çelik ve döküm kazanlarda biyogaz yakılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda sıvı yakıtlarla birlikte kullanılmaktadırlar. Bu durumda motorun genel verimi artırılmaktadır. Son zamanlarda biyogazın

kullanımının gaz türbinlerinde de oldukça arttığı görülmüştür.

- e) Günümüz Türkiye'sinde, bazı sanayi tesislerinde tarımsal atıklardan küçük ölçekte yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımının önündeki mali ve teknik engeller, politika ve piyasa araçlarının yetersizliği gibi nedenlerle, biyokütle ve katı atıkla işletilen enerji tesislerine özel sektör henüz yeterli düzeyde ilgi duymamaktadır. Uygun bir politikanın geliştirilmesi de giderlerle ilgili sorunların etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olabilir. Proje yatırım risklerinin azaltılması için kamu sektörünün uygun mali destekler geliştirmesi gerekir. Önerilebilecek potansiyel piyasa araçları şunlardır [10]:
- Tarımsal yan ürünlerden daha iyi yararlanılmasına destek olan mali teşvikler (örneğin direkt ödenekler, krediler ve/veya sübvansiyonlar).
 - Tarımsal atıkların çöp yerlerine depolanmasını veya tarımsal atıkların çevre dostu olmayan şekilde kullanılmasını caydırıcı çevre vergileri ve cezalar.
 - Biyokütle kaynaklarından üretilen elektrik, ısı ve/veya nakliye yakıtlarının vergilendirilmesinde muafiyetler tanınması veya vergi düzeyinin düşürülmesi.
 - Özel krediler, tesis ilk çalıştırma sübvansiyonları ve/veya ödenekler gibi enerji yatırımlarıyla ilişkili mali destek mekanizmaları.

BIYOGAZ ÜRETİM SİSTEM SİMÜLASYONU

Bu iş adımı üç alt iş adımından oluşmakta olup aşağıda özetlenmiştir.

Biyogaz Üretim Sistemlerinin Modellenmesi ve Optimum Çalışma Koşullarının Belirlenmesi

Bu alt iş adımında biyogaz üretim sistemlerinin modellenmesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesi çalışması yapılmıştır [14]. Hayvansal ve bitkisel atıkların fermentörler içinde havasız koşullarda ayrışma işlemi; Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemi kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu modelde fermentör içinde meydana gelen havasız ayrışma, kimyasal reaksiyon denkliği ile açıklanıp, fermentörler içinde materyal akışı ve mekanik karıştırmadan dolayı meydana gelen hız, basınç, sıcaklık ve konsantrasyon profilleri ile üretilen Metan (CH₄), Karbondioksit (CO₂) ve biyogaz miktarlarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Biyogaz tesisinde kullanılacak olan fermentörlerin belirli bir sıcaklıkta işletilmesi için enerji gereksinimini tahmin eden kapsamlı “ısı transferi modelinin” uyarlanması amaçlanmıştır. Farklı işletme koşullarında (yer, fermentör

şekli, yapım malzemesi vs.) sürekli beslemeli tam karışım tank tipi reaktörlerin (CSTR) tasarımında, fermentörlerin işletilmesi için gerekli olan toplam enerji girdisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Biyogaz üretiminin “Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)” modellemesi (biyokimyasal ve fiziko-kimyasal işlemler) yardımıyla fermentöre giriş yapan hammadde bileşenlerinin ayrı ayrı kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilip karışım oranındaki yüzdelere göre karışımın kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Pilot tesiste, bitkisel ve hayvansal atık materyalin havasız ayrıştırmasında, sürekli beslemeli tam karışım tank tipi reaktörlerin kullanılması planlanmaktadır. Fermentörler içinde meydana gelen havasız ayrışma işlemi meydana gelen biyokimyasal ve fiziko-kimyasal işlemlerin tanımlanması için Anaerobic Digestion Model No:1 (ADM1) kullanılmıştır.

Çalışmanın Sonucu özetle:

Biyogaz üretiminin CFD modelleme çalışması sonucunda, fermentör içerisinde materyal akışı, gazların dağılımı, sıcaklık ve hız profilleri üç boyutlu farklı çalışma koşulları olarak elde edilmiştir.

Isı transferi modeli, güneşten kazanılan ısıyı, fermentörlerin duvar, zemin ve örtüsünden meydana gelen ısı kayıplarını ve fermentörü belirli bir sıcaklıkta tutmak için gerekli olan ısıyı tahmin etmek için kullanılmıştır. Model günlük, aylık ve yıllık olarak, fermentörü belirli sıcaklıkta tutmak için gerekli olan ısı hesaplamasında kullanılabilmesine rağmen bu çalışmada herhangi bir ay içinde günlük ısı ihtiyacının hesaplamasında kullanılmıştır.

Pilot ölçekli biyogaz tesisinde kullanılacak olan fermentörlerde biyogaz üretiminin modellenmesi için ADM1 modeli uygulanmıştır. Hayvan gübresi ve bitkisel atıklar 1:1 oranında karıştırılarak fermentörlere besleme yapılmıştır. ADM1 modeli, karışımın protein, lipit, karbondioksit ve inert kısımlarına bağlı olarak değiştirilmesine rağmen, kinetik, biyokimyasal ve fiziksel parametreler modelde tanımlandığı gibi kalmıştır. Fermentörlerden elde edilebilecek biyogaz (metan, karbondioksit ve hidrojen) miktarı verilen materyal özellikleri ve hacimsel debi koşullarında elde edilmiştir. İşlem süresince, fermentörlerde pH kontrolü yapılmamıştır.

Modelleme çalışması süresince, fermentöre giriş yapan hammadde karakteristiğinin çok önemli olduğu belirlenmiştir. Bu nokta özellikle modelleme çalışmalarında önemli hâle gelmektedir. Hammadde karışımının direk olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerini analiz etmektense, hammadde bileşenlerinin ayrı ayrı kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilip karışım oranındaki yüzdelere göre karışımın kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmelidir.

ADM1 modeli çok kapsamlı bir model olup, bitkisel ve hayvansal materyalin kofermentasyonunun optimizasyonunda kullanılabilir. Fakat ADM1 giriş parametrelerinin (kinetik, biyokimyasal ve fiziksel) mevcut materyal karışımına göre adaptasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, projenin ilerleyen aşamalarında, modelin geçerliliği ve kalibrasyonu yapıp daha sonraki aşamalarda optimizasyon yapılacaktır.

Enerji Dönüşüm Sistemleri ile Entegrasyonun Simülasyonu

Bu alt iş adımında, enerji üretimi sistemlerinin modellenmesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, her bir alt birimin teker teker ve tüm birimleri kapsayan sistemin entegre bir şekilde modellenmesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yöneliktir [15]. Bu sebeple motor-jeneratör grubu modellemesi bazı kabüller yapılarak elde edilmiştir. Farklı çalışma koşulları ve giriş parametreleri simülasyona etkisi hesaplanmıştır. Biyogaz üretim sistemleri ve enerji dönüşüm sistemlerinin entegrasyonu: nesne odaklı "object oriented" modellemesi yapılarak bitkisel ve hayvansal kökenli olan atıklar 19 ton/gün günlük yükleme miktarında biyogaz sistemine beslenmiştir. Hammadde, üreteç ve proses parametrelerinin biyogaz performansına etkisi bu simülasyon ile belirlenmiştir.

Çalışmanın Sonucu özetle:

Biyogaz üretim ve enerji dönüşüm sistemlerinin entegrasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlı olarak nesne odaklı model oluşturulmuştur. Model oluşturulurken, atık materyali karakteristikleri, fermentörler ile ilgili tasarım parametreleri, fermentörlerin işletilmesi ile ilgili parametreler, tesisin bulunduğu yerin özellikleri dikkate alınmıştır. Biyogaz sisteminde bulunan her bir Bağlantı, Birim ve Genel tanımlayıcılar detaylı olarak açıklanmıştır. Nesne odaklı modeli kullanarak, entegre biyogaz ve enerji üretim sisteminde etkili faktörler, bu faktörlerin sistem performansına etkileri ve optimum çalışma aralıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Model sonuçları, literatür araştırmalarıyla karşılaştırılmıştır. Bu aşamada yapılan simülasyonlar ön çalışma niteliğinde olup modelin geçerliliği ve kalibrasyonu ancak projenin ilerleyen aşamalarında ilgili değerlerin alınması ile mümkündür [15].

Enerji Dönüşüm Sistemleri (kazan, gaz motoru ve mikro türbin) ile Entegrasyonun Simülasyonu

Bu alt iş adımında, pilot ölçekli biyogaz tesisinde bulunan sürekli beslemeli tam karışimli tank reaktörlerde hem gaz üretimi hem de gazın yakılması neticesinde üretilecek enerjinin maksimizasyonunu sağlayacak olan işletme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Entegre biyogaz ve enerji üretimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır [16]. Bunlar arasında,

atık materyal karakteristikleri, fermentörler ile ilgili tasarım parametreleri, fermentörlerin işletilmesi ile ilgili parametreler, enerji dönüşüm sistemleri ile ilgili parametreler ve tesisin bulunduğu yerin özellikleri yer almaktadır. Tüm bu değişkenler biyogaz sisteminden elde edilecek biyogaz ve enerji miktarı ile tesisten çıkan atık miktarını zamana bağlı olarak etkilemektedir. Ancak tüm bahsedilen parametreleri kapsayan bir optimizasyon işlemini gerçekleştirmek hem zaman hem de işlem karmaşıklığı nedeniyle olası görülmemektedir. Bu çalışmada, optimizasyonu yapılacak olan biyogaz ve enerji üretimini etkileyen faktörler literatür araştırmasıyla belirlenmiştir. Bu çalışmada, biyogaz üretiminin optimizasyonu ile ilgili literatür araştırması, biyogaz tesisinin simülasyon programında kurulması, biyogaz üretiminin optimizasyonu, optimizasyonda değerlendirilen simülasyonlar ve sonuçlardan oluşmaktadır.

Optimizasyon çalışmasında 5 farklı kuru madde oranı (9.0, 10.1, 11.2, 12.4, 13.6) ve farklı hacimsel debilerde (5, 10, 12.5, 15, 20, 25 ve 35 m³/gün) simülasyonlar yapılmıştır. Her bir simülasyon 100 gün için yapılmıştır. Hacimsel debiye ve kuru madde oranına bağlı olarak farklı hidrolik yükleme süreleri oluşmuştur. Her bir simülasyonda günlük biyogaz, CH₄, CO₂ ve H₂'nin miktarları, pH, uçucu yağ asitleri ve biyokütle konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

Simülasyonların değerlendirmesinde Gauss fonksiyonu kullanılmıştır. Sabit kuru madde oranlarında hacimsel debilerin etkisi incelenmiştir. Burada, her bir sabit kuru madde oranında hem metan üretiminin hem de toplam elektriksel ve ısısal güç üretiminin maksimum olduğu kuru madde oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Kuru madde oranları sabit tutulduğunda hacimsel debilerin artırılması ile metan üretim değerinin yükseldiği ve belirli bir orandan sonra metan üretiminin azaldığı belirlenmiştir. Burada vurgulanması gereken her bir kuru madde oranında maksimum metan üretim değerini elde edebilmek için optimum hacimsel debinin belirlenmesidir. Bunun yanında işlemin pH'sının zamanla değişimi, metan üretim değerini değiştirmektedir. Maksimum toplam elektriksel ve ısısal güç üretim değeri ise yine maksimum metan üretim değeri ile yakından ilgilidir.

Simülasyonlar ayrıca hacimsel debiler sabit tutulduğunda kuru maddenin metan çıkışına olan etkisini belirlemek için değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sabit hacimsel debide kuru madde miktarının artırılması ile metan üretiminin arttığını ve belirli bir noktadan sonra düştüğünü göstermiştir. Pilot ölçekli fermentörlerin bu değerlerin baz alınarak işletilmesi metan üretimini dolayısıyla enerji üretim değerini arttıracaktır [16].

LABORATUVAR ÖLÇEKLİ ÇALIŞMALAR

Laboratuvar ölçekli çalışmalar için biri EGE Üniversitesi diğeri Akdeniz olmak üzere iki farklı laboratuvar ölçekli deney seti kurulmuştur [17]. Bunlardan birinde ağırlıklı olarak tarımsal



kaynaklı atıklar, diğesinde ise farklı karaktere sahip hayvansal kaynaklı atıklar kullanılmıştır. Ayrıca hayvansal ve tarımsal kaynaklı atıklar birlikte kullanılarak da deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Akdeniz Üniversitesinde Yapılan Laboratuvar Ölçekli Çalışmalar

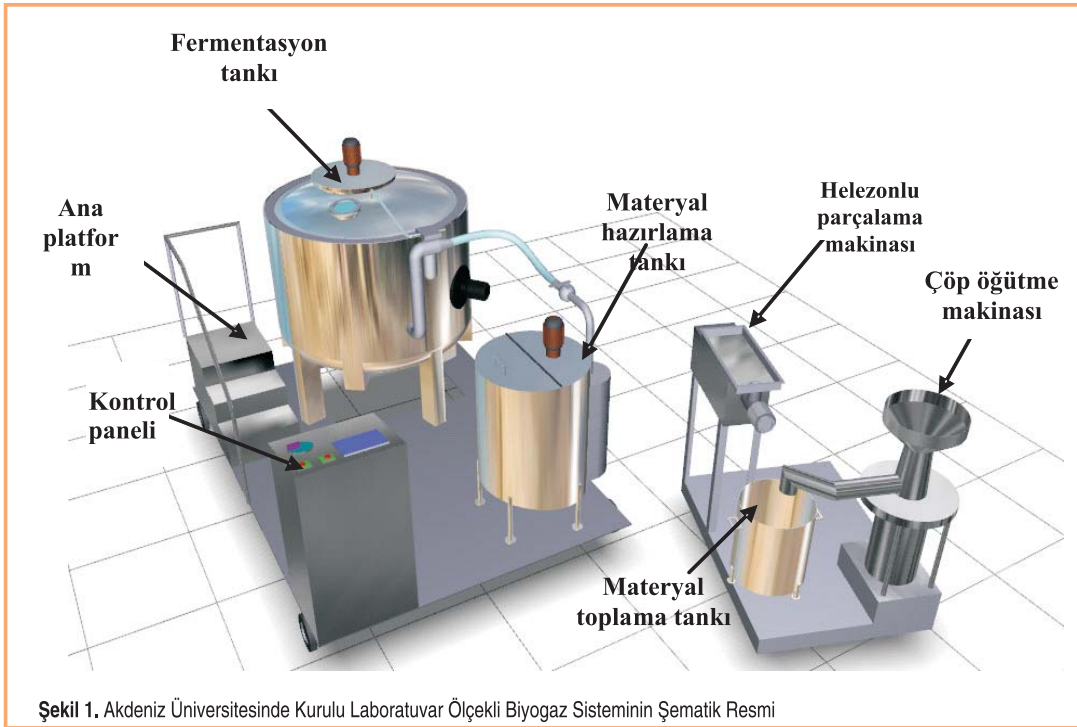
Deney setinin toplam 1 m³ hacme sahip olması ve geometrik olarak pilot tesisle aynı şekilde olması göz önünde tutularak tasarımı yapılmıştır. Deney setinin imalinde paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Üreticin ısıtılmasını sağlayan su cebinin bulunduğu yüzeyler ısı izolasyonu için cam yünü ile kaplanarak dışına koruyucu bir sac giydirilmiştir. Tüm sistem bir platform üzerine monte edilmiştir (Şekil 1). Platformun istenildiğinde rahatça hareket ettirilebilmesi ve taşınabilmesi için hareketli olması sağlanmıştır. Bu amaçla platforma 4 adet tekerlek takılmıştır.

Deney setinde öncelikle hammadde olarak kullanılacak materyallerin, yani tarımsal atıkların biyogaz üreticinde kullanılabilmesi için özelliklerine bağlı olarak boyutlarının küçültülmesi gerekmektedir. Bu amaçla “laboratuvar sistemi yakıt hazırlama tankı” adı verilen düzenek yapılmıştır. Bu düzenekte biri kıyıcı bıçaklı helezonlu parçalayıcı, diğeri çelik bıçaklı öğütücü olmak üzere iki adet parçalama ekipmanı bulunmaktadır. Bu ekipmanlar sayesinde her türlü tarımsal atık materyalin parçalanması sağlanabilmektedir. Öğütme ve parçalama işlemi tamamlanan materyal hazırlama tankı içerisine alınacak, burada içerisine su ilave edilerek kuru

madde, organik kuru madde oranı istenen seviye getirildikten sonra ve tank içerisindeki bir karıştırıcı ile karıştırılarak homojen hâle gelmesi sağlanmaktadır. Daha sonra yakıt hazırlama tankı içerisindeki çamur pompası ile materyal yükleme borusu yardımıyla üretece yüklenmektedir.

Laboratuvar tipi biyogaz reaktörü, pilot tesisin geometrisi gibi dikey silindirik olarak yapılmıştır. Biyogaz reaktörü, fermantasyon kanalı prensibine göre çalışan fermantasyon odası, sistemi ısıtmak için kullanılan sıcak suyun dolaştığı su cebi, 2 adet mekanik karıştırıcı ve yükleme-boşalma ağızlarından oluşmaktadır. Üreticin ısıtılması üreticin alt ve yan duvarında oluşturulan bir su cebi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Burada bulunan su, rezistanslar yardımıyla ısıtılmakta ve bir dijital termostat yardımıyla sıcaklığın kontrolü sağlanmaktadır. Üreticin içerisinde materyalin karıştırılmasını sağlayacak 2 adet karıştırıcı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi üreticin yan duvarına monte edilmiş mikser tip karıştırıcı diğeri reaktörün merkezinden kaçık bir şekilde yerleştirilmiş parmaklı tip karıştırıcıdır. Karıştırıcıların görevi materyalin reaktör içerisinde homojen kalmasını sağlamak ve çökelmeyi engellemektir. Reaktörün çalışma hacmi tarımsal atıkla doldurulduktan sonra, günlük olarak yüklenen miktar kadar atık, boşaltma ağızından fermente olarak dışarıya çıkmaktadır. Dışarıya çıkan bu materyal boşaltma ağızının altına girebilen bir taşıma arabasına alınarak sistemden uzaklaştırılmaktadır.

Oluşan biyogaz üreticin üst kısmından alınarak basınç dengeleyiciye gönderilmektedir. Böylece biyogazın üretece



Şekil 1. Akdeniz Üniversitesinde Kurulu Laboratuvar Ölçekli Biyogaz Sisteminin Şematik Resmi

geri dönmesi engellenmiş olmaktadır. Su kapanından çıkan biyogaz bir esnek boru vasıtasıyla balon tipi bir depoya alınmaktadır. Balon tipi depodan alınan biyogaz bir gaz analiz cihazından geçirilerek içeriği saptanmaktadır. Analizi yapılan biyogaz bir debimetreden geçirilerek günlük üretilen gaz miktarı saptanmaktadır. Sistemdeki otomasyon ekipmanları yardımıyla sıcaklığın kontrolü, karıştırıcıların devri ve karıştırma süreleri ayarlanabilmektedir. Platform üzerinde bulunan bir pano ve bu panoda bulunan bir ekran sayesinde tüm sistem kontrol edilmektedir. Denemede elde edilen verilerin alınması ve depolanması sağlanmaktadır. Bu sistem sayesinde günlük üretilen biyogaz miktarı, biyogazın içeriği hem tespit edilmekte, hem de kayıt altında tutulmaktadır. Elde edilen veriler stabil hâle geldikten sonra deneme parametreleri değiştirilerek denemeler devam etmektedir.

Bitkisel materyal kullanılarak yapılan çalışmalarda 35 °C fermentasyon sıcaklığında %12 kuru madde içeriği, 30 gün bekleme süresi 4 kg/m³.d yükleme oranında en fazla üretç özgül metan üretim miktarına ulaşılmıştır. Ancak aynı sıcaklık koşullarında %9 kuru madde oranı ve 30-40 günlük bekleme sürelerinde maksimum hammadde metan üretimi gerçekleşmiştir.

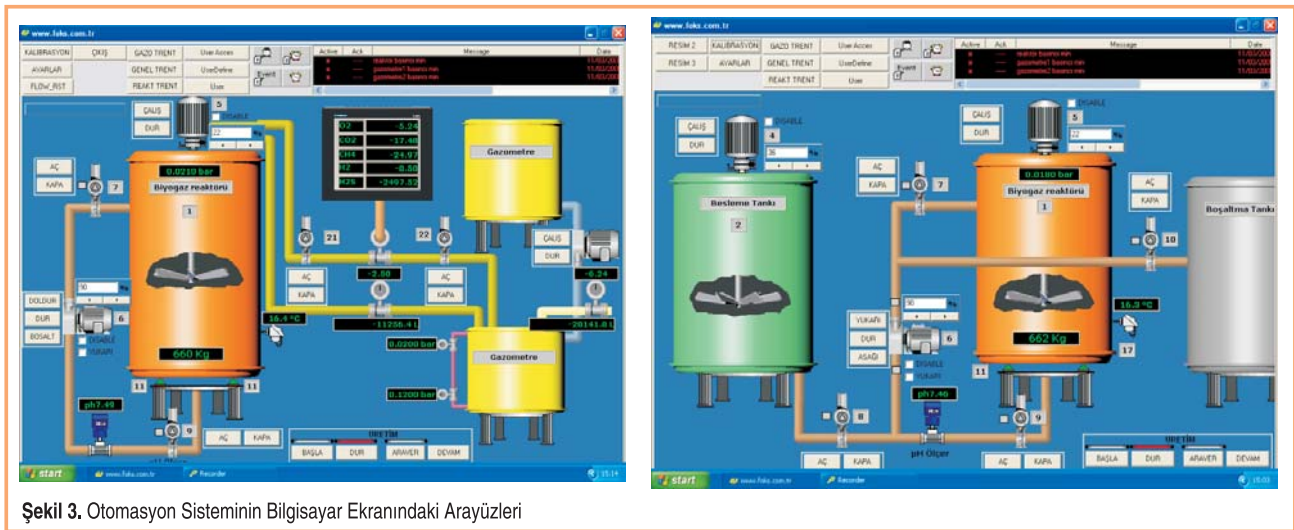
Ege Üniversitesinde Yapılan Laboratuvar Ölçekli Çalışmalar

Tasarlanarak üretimi gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli biyogaz sistemi, karıştırıcı akuple besleme materyali ön hazırlama tankı, biyogaz reaktörü, biyogaz depolama tankı ve fermente gübre boşaltma tanklarından oluşmaktadır. Biyogaz reaktörü, 1,2 m³ hacimli (çalışma hacmi 1 m³), çift cidarlı, mekanik ve hidrolik karıştırımlı, mekanik köpük kırıcı, silindirik dik tiptir. Çalışma basıncı maksimum 700 mbar, test basıncı 1200 mbar olarak seçilmiştir. Reaktörün mekanik karıştırma sistemi, frekans konvertörlü, 1,5 kW gücünde elektrik motoruna sahiptir. Yükleme ve boşaltmanın kontrol edilebilmesi için, reaktöre yük hücresi akuple edilmiştir. Reaktör, ısı yalıtımı amaçlı olarak 6 cm taşıyıcı ile izole edilmiş, izolasyon malzemesinin dışı AISI 304 kalite paslanmaz sac ile kaplanmıştır. Sistemde, gaz depolama hacmi 1 m³, "TR 2006 02900 Y" no'lu faydalı model belgesine sahip, gaz temizleme fonksiyonlu bir gazometre kullanılmıştır. Şekil 2'de görünüşleri verilen reaktör ve gazometrenin tüm parçaları AISI 304 kalite paslanmaz çelikten üretilmiştir.

Besleme materyali ön hazırlama tankı ve fermente gübre boşaltma tankı AISI 304 kalite paslanmaz çelikten üretilmiştir ve her biri 1 m³ hacme sahiptir. Besleme materyali ön hazırlama tankı, 1,5 kW frekans kontrollü elektrik motorunu içeren,



Şekil 2. Reaktör ve Gazometre



Şekil 3. Otomasyon Sisteminin Bilgisayar Ekranındaki Arayüzleri

mekanik karıştırma sistemiyle donatılmıştır. Sistemde, fosseptik, katı madde ve lifli partiküllerle kirlenmiş suların basınçlandırılmasında kullanılabilen, pozitif yer değiştirmeli tip bir pompa, hem besleme/boşaltma, hem de hidrolik karıştırma amacıyla kullanılmıştır. 1,1 kW gücünde frekans konvertörlü elektrik motorundan tahrik alan pompanın hidrolik değerleri, $Q=1\text{ m}^3/\text{h}$, $H_m=20\text{ mSS}$ olacak şekilde seçilmiştir.

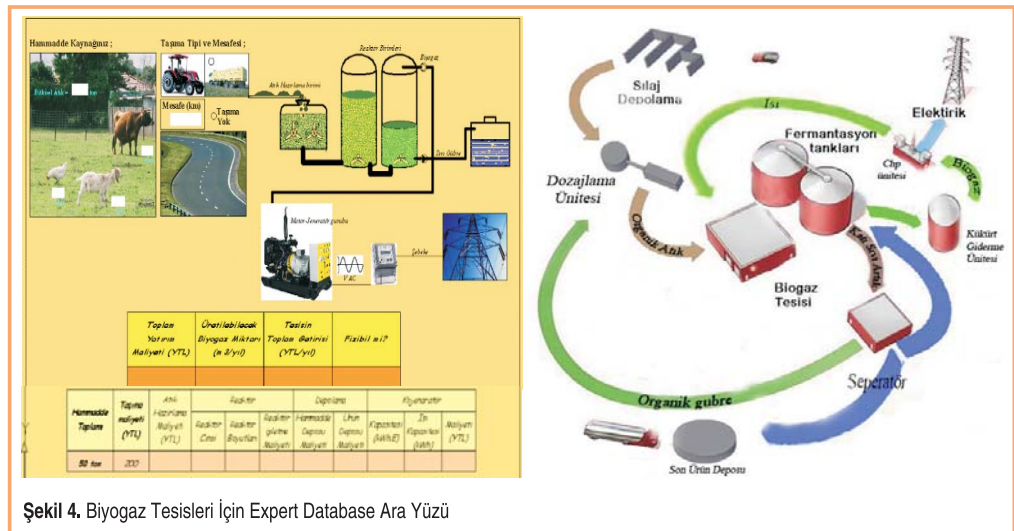
Sistem oluşturulurken, biyogaz üretimi için önemli olan, pH, sıcaklık, yükleme oranı, gaz üretimi, gaz kompozisyonu gibi parametrelerin sürekli takip edilerek kaydedilebilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra, yine tasarlanarak oluşturulan otomasyon sistemi sayesinde, kullanıcı hatalarından kaynaklanan yanlış veri aktarımı minimize edilmek istenmiştir. Sistemde kullanılan gelişmiş kontrol üniteleri, sağlıklı veri aktarımı yanında, oluşturulacak olan pilot ölçekli sistemde karşılaşılabilecek sorunlara da ışık tutacaktır. Karıştırma sistemi olarak ikili sistem tercih edilmiş, hem hidrolik hem de mekanik karıştırmanın biyogaz üretimi üzerindeki etkilerinin gözlenmesi sağlanmıştır.

Otomasyon sistemi oluşturulurken, biyogaz üretiminin çeşitli evreleri göz önüne alınmıştır. Bu amaçla, ilk doldurma, günlük besleme ve boşaltma, normal çalışma durumları ayrı ayrı göz önüne alınarak çalışma senaryoları hazırlanmış, parametrelerin takibi ve değiştirilmesi bilgisayar ara yüzüne sahip kontrol ünitesiyle sağlanmıştır (Şekil 3).

KARAR DESTEK SİSTEMİ

Bu iş adımında biyogaz tesisleri için Karar Destek Sistemi Modeli (KDS) çalışılmaktadır [18]. Hazırlanan KDS modelinin temel hedefi; biyogaz tesisi işleten veya kurmak için bilgi toplayan yatırımcılara, kurulacak tesisin coğrafi konumu ve kullanılacak materyal miktarı ile özellikleri doğrultusunda bilgilendirme ve yönlendirme yapmaktır. Program; tesisin kurulacağı bölge ve kullanılacak atık karakteristikleri üzerinden tesisi modellemesi ve bilimsel yöntemler kullanarak aşağıdaki çıktıları vermesi planlanmaktadır:

- Tesisten üretilecek biyogaz miktarı,
- Tesisten üretilecek CH_4 miktarı,
- Tesisten üretilecek ısı ve elektrik enerjisi üretimi,
- Tesiste sağlanacak CO_2 azaltması,
- Tesisin toplam maliyeti (tesis ünitelerine göre ayrılmış),
- Tesisin yıllık işletme giderleri (tesis ünitelerine göre ayrılmış),



Şekil 4. Biyogaz Tesisleri İçin Expert Database Ara Yüzü

- Bilimsel kriterler doğrultusunda tesisin uygun olup olmadığı.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen KDS programının ara yüzü aşağıda verilmiştir (Şekil 4). Program geliştirme çalışması devam etmektedir.

TEKNO EKONOMİK ANALİZLER

Ülkemizin farklı bölgelerindeki uygulamalar için küçük ölçekli sistemlerden kombine sistemlere kadar olan geniş bir yelpazedeki sistemlerin ayrı ayrı irdelenmesi yapılarak her bir enerji üretim alternatifi için;

- Biyogaz üretimi ve kazan,
- Biyogaz üretimi ve içten yanmalı motor,
- Biyogaz üretimi ve kazan ve mikro türbin teknik ve ekonomik fizibilite etütleri yapılacaktır [19].

YAŞAM DÖNGÜ ANALİZLERİ

Pilot tesis kurulumu tamamlandı işletmeye alındıktan sonra; tesisten kaynaklanan hava emisyonu, su ve atıksu deşarj parametrelerini belirlemek amacıyla tesis farklı karakterlere sahip atıklarla çalıştırılacak ve ölçümler alınacaktır. Ölçüm verileri kullanılarak tesisin çevresel etkileri ve çevresel açıdan optimum atık karakteri belirlenecektir.

Kullanılacak atığa ve sisteme bağlı olarak sistemlerin çevresel etkileri ve çevresel etkilerin minimizasyonu sonucunda maliyetlerin değişimi de ayrıca incelenecektir. Tesis ayrıca çevresel açıdan konvansiyonel fosil kaynaklı sistemlerle kıyaslanacaktır.

PILOT TESİS KURULUM ÇALIŞMALARI

Pilot tesisin tasarımı; literatür çalışmaları, simülasyon çalışmaları, laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalar ve yurt dışı teknik gezilerinden elde edilen birikimler kullanılarak yapılmıştır. Tesis tasarımında ayrıca yurt dışı danışman kurumun tecrübe ve birikiminden de faydalanılmıştır [20]. Tesis kurulum çalışmaları Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İZAYDAŞ AŞ. Solaklar Köyü Kocaeli adresinde 6 Nisan 2009'da başlamış olup, bir yıl içinde tamamlanarak deneysel çalışmalara başlanacaktır.

Materyal Miktarlarının Belirlenmesi

Pilot tesiste, Kocaeli bölgesinde bulunan hayvansal, bitkisel atıklar ve yeşil sebze/meyve atıkları kullanılacaktır. Bunlar; market ve hal atıkları yani yeşil sebze-meyve atıkları, mezbahalardaki işkembe içi, bölgedeki çiftliklerinden kaynaklanan büyükbaş hayvan atıkları, çimen atıkları ve tavuk gübresi atıklarıdır. Atık reçetesinin belirlenmesinde; Kocaeli Büyükşehir Belediyesinin önemli çevre sorunlarından birini

oluşturan tavuk atıklarının maksimum kullanımı odaklı bir hammadde reçetesi belirlenmiştir. Belirlenen reçete, yıllık ve günlük kullanılacak atık miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tesiste Kullanılacak Atık Miktarları

Materyal	Miktar (ton/gün)	Miktar (ton/yıl)
Çimen	16	5.900
Hal atıkları	5,6	2.050
İşkembe içi atık	1,17	430
Tavuk Gübresi	5,34	1.950
Büyükbaş gübresi	0,96	350
Toplam	29,07	10.680

Materyalin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Atık kaynaklarından beş farklı zamanda alınan numunelere ait analiz sonuçlarının ortalama değeri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Atık Kaynaklarından Beş Farklı Zamanda Alınan Numunelere Ait Kuru Madde (KM), Organik Kurumadde (OKM) ve Azot (N) Analizleri Ortalama Değerleri

Atık Cinsi	Miktar (ton/yıl)	KM (%)	OKM (%)	N (kg/t)
Çimen	5900	26,01	89,91	6
Hal ve Market	2.050	8,97	91,65	4
İşkembe içi	430	16,81	89,11	6
Tavuk Gübresi	1.950	71,92	37,10	40
Büyükbaş Gübresi	350	16,44	75,39	6

Bekleme Süresi

Akdeniz ve Ege Üniversitelerinde yapılan laboratuvar ölçekli denemeler ile tesis tecrübesi olan danışman firmanın belirlenen materyaller üzerinde yaptığı çalışmalar doğrultusunda en uygun bekleme süresi olarak 47 gün seçilmiştir.

Organik Kuru Madde Oranı

Organik kuru madde oranı materyallerin analiz sonuçlarına bakılarak ve tesis çalışma şartları göz önünde bulundurularak % 9 olarak seçilmiştir.

Fermantasyon Sıcaklığı

Yapılan deneysel çalışmalarda söz konusu reçete için en optimum sıcaklığın 37-38°C olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla tesis mezofilik şartlar olan 35-40°C aralığında çalışacaktır.

Reaktör Hacimleri

Biyogaz tesisi için 2 adet birbirine hem seri hem de paralel bağlı reaktör tasarlanmıştır. Aynı boyuttaki bu reaktörler için toplam

hacim $2 \times 2400 \text{ m}^3$ net hacim ise $2 \times 2089 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Projede mevcut tasarlanan pilot sistemdeki reaktör boyutları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Reaktörlerin Teknik Özellikleri

Adı	Açıklama	Değeri
Reaktörler	Çap (m)	19,5
	Yükseklik (m)	8
	Duvar Kalınlığı (m)	0,3
Son Depo	Çap (m)	16
	Yükseklik (m)	5
	Duvar Kalınlığı (m)	0,3

Nihai Gübre Deposu Hacmi

Nihai Gübre deposu hacmi için yaklaşık bir aylık fermente gübre depolama hacmi esas alınarak 1000 m^3 lük hacim seçilmiştir.

Geri Besleme Tekniği

Tasarlanan sistemde, reaktör içindeki katı madde oranını ayarlayabilmek ve besleme materyallerinin içindeki potansiyeli maksimum oranda kullanabilmek için geri besleme tekniği kullanılacaktır. Geri besleme tekniği olarak; günde son depodan alınacak % 6 katlıktaki ince çamur halindeki yaklaşık $51,5 \text{ m}^3$ materyal 1. ve 2. reaktörlere geri beslenecektir.

Gaz Arıtma Sistemi

Gaz arıtımı için biyolojik kükürt giderme sistemi

tasarlanmıştır. Bu işlem hidrojen sülfür (H_2S)'ün biyolojik arıtımı olarak da nitelendirilen bu sistem için reaktör tavanına özel ahşap sistem monte edilecek ve bu bölgeye belli oranlarda oksijen (O_2) verilerek sağlanacaktır.

Tesis Kütle ve Enerji Dengesi

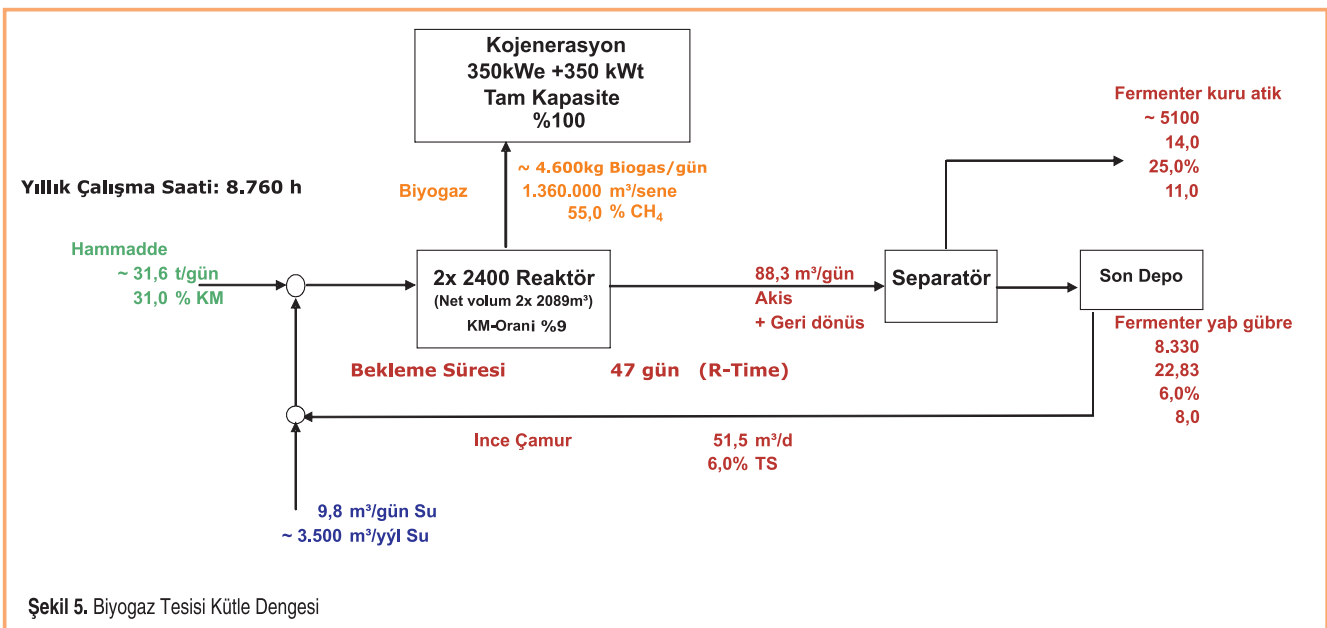
Tesise ait kütle ve enerji dengesi Şekil 5'de verilmiştir.

Gaz Depolama Membranı Tasarımı

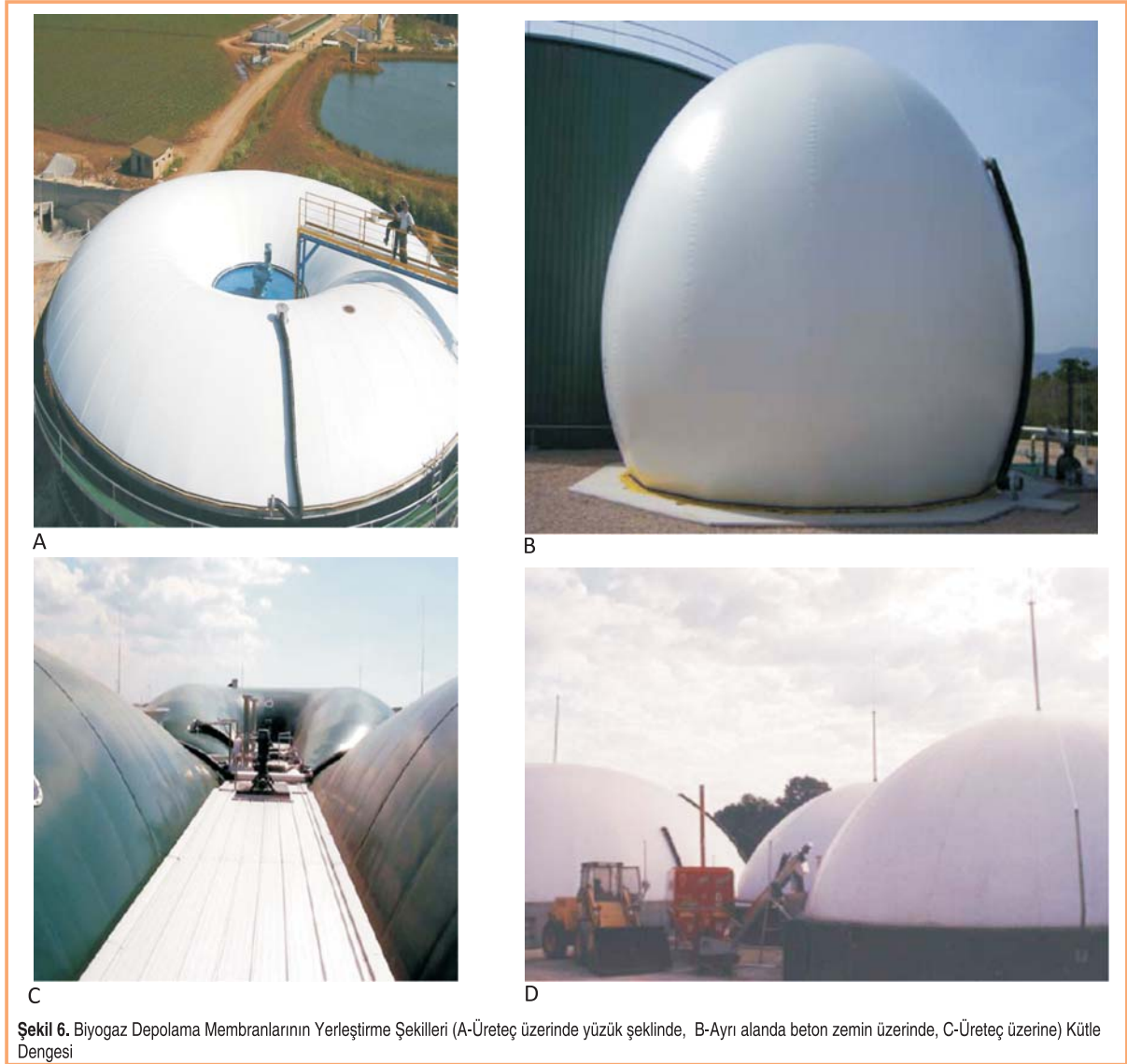
Biyogaz tesisinde iki üreteç üzerine ayrı ayrı olmak üzere 700 m^3 hacminde tek katlı membran şeklinde depolama üniteleri öngörülmüştür. Depo hacmi yaklaşık 16 saatlik gaz üretimini depolayabilecek büyüklüktedir. Üretilen gazın sürekli olarak motor jeneratör grubuna sevk edilecek olması nedeniyle bu hacim yeterlidir.

Biyogaz tesislerinde membran, üreteç üzerinde tam kapatma şeklinde, üreteç üzerinde yüzük şeklinde veya üreteçten ayrı bir yerde beton zemin üzerinde inşa edilebilmektedir. Ayrı inşa edilen gaz depolama sistemi yer ihtiyacı nedeniyle projede tercih edilmemiştir. Yüzük şeklinde olan sistemler ise depolama hacmi küçük olacağı için uygun değildir. Tarımsal atık ile çalışan biyogaz tesislerinde gaz depolama membranı genellikle üreteç üzerine inşa edilmektedir. Bu nedenlerle üreteç üzerinde tamamen kapalı şekilde ki sistem tercih edilmiştir.

Kurulacak olan tesisin gaz depolama amaçlı kullanılacak tek katlı membran boyutları ve özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 5. Biyogaz Tesisi Kütle Dengesi



Şekil 6. Biyogaz Depolama Membranlarının Yerleştirme Şekilleri (A-Üreteç üzerinde yüzük şeklinde, B-Ayrıcı alanda beton zemin üzerinde, C-Üreteç üzerine) Kütle Dengesi

Tablo 4. Kurulacak Olan Tesisin Gaz Depolama Amaçlı Kullanılacak Tek Katlı Membran Boyutları

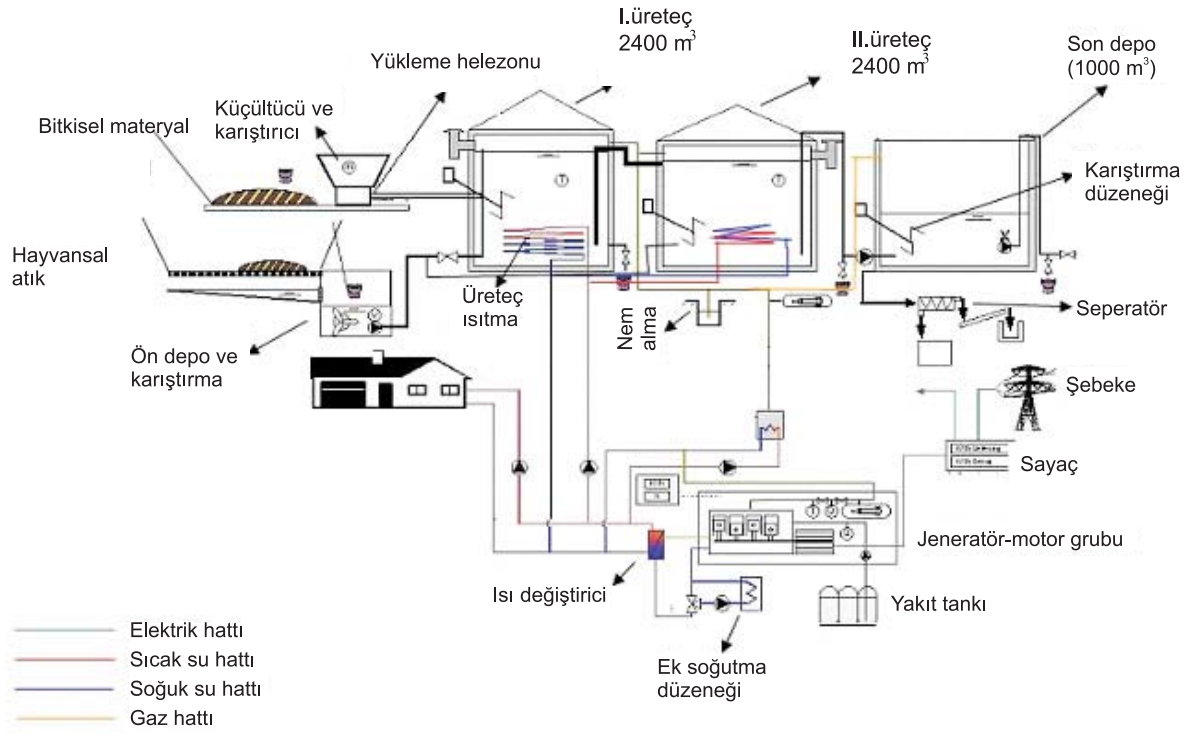
Teknik özellik	Değeri
Çalışma basıncı	8 mbar
Depo çapı	19,50 m
Üreteç üst kenarından itibaren depo yüksekliği	5,40 m
Sabitlenme kısmından itibaren depo çapı	19,70 m
Maksimum gaz iletim miktarı	250 m ³ /h
Maksimum gaz alma miktarı	250 m ³ /h
Maksimum rüzgar hızı:	150 km/h
Maksimum kar yükü	80 kg/m ²
Dış yüzey membranın taşıma kuvveti $\leq 58,0^\circ$	9,80 kN/m
Kenar çelik bant konstrüksiyonu taşıma kuvveti	15,63 kN/m

Biyogaz Tesisi Yerleşim Planı ve Aşamalar

Tesis kurulum ve yerleşim şeması Şekil 7'de verilmiştir.

Pilot Tesis Mevcut Durumu

Tesiste şu an itibarıyla çimen silaj depo alanları, günlük atık dep alanları, 1 ve 2 nolu reaktörlerin betonarme inşaat çalışmaları tamamlanmıştır. Nihai gübre ile diğer altyapı çalışmaları devam etmektedir. İnşaat çalışmalarının 1-2 ay içinde tamamlanması hedeflenmektedir. Daha sonra elektrik, mekanik ve enstrümantasyon çalışmalarına geçilecektir. Tüm çalışmaların ise bir yıl içinde tamamlanması hedeflenmektedir. Tesise ait inşaat çalışmalarını içeren fotoğraflar aşağıda verilmiştir (Şekil 8 ve 9).



Şekil 7. Tesis Yerleşim Şeması



Şekil 8. Tesis Temel Kazı Çalışmaları



Şekil 9. Tesis İnşaat Çalışmaları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ülkemiz koşullarına uygun bir modelin oluşturulması ve biyogazın ülkemizde yaygınlaşmasına katkıda bulunmak amacıyla oluşturulan; "Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemlerinde Kullanımı (BIYOGAZ)" adlı projenin tamamlanan her bir iş adımı özet olarak ele alınmış, çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen sonuç bilgiler özetle sunulmuştur. Projede tamamlanan başlıca iş adımları; biyogaz ve enerji üretim teknolojilerinin araştırılması, sistem simülasyonu ve karar destek sistemi (KDS) modellemesi, laboratuvar ölçeğinde iki deney sisteminin kurulumu ve deneysel çalışmalarının yapılmasıdır. Bunun dışında pilot ölçekli tesis çalışmalarına ilişkin tasarım değerleri ve çalışmaların geldiği aşama anlatılmıştır. Ayrıca ileride çalışma yapılacak iş adımları da özetle verilmiştir. Projenin ve bu kapsamda yapılan tüm çalışmaların, biyogazın ülkemizde yaygınlaşmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri Destekleme Programı (1007) kapsamında devam eden 106G112 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. www.tarim.gov.tr
2. **Kaya, D., Çanka Kılıç, F. Baban, A.** 2005. "A Guide On Exploitation Of Agricultural Waste In Turkey", Project No: Life 03 Tcy/ Tr /000061, Prepared by:TUBITAK MRC, Contributed by: Cukurova University Agricultural Engineering, Exergia, CRE Under Life Third Countries Programme, Gebze, KOCAELİ-TURKEY December.
3. **Kaya D., Eyidoğan M., Çoban V., Çağman S., Aydoğan C., Tırıs M.** "Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi", ICCI 2009 Bildiriler Kitabı, Sayfa: 59-62.
4. **Kuhn, E.** 1995. Kofermentation Arbeitspapier, 219,Hrsg. KTBL. Darmstadt.
5. **Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H. ve Akgün, F.** 2001. Kümes ve Ahır Gübrelерinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi Final Raporu, TÜBİTAK-MAM.
6. **Förstner, U.** Umweltschutztechnik, Springerverlag, Berlin.ISBN:3-540-56027-0.
7. **Olgun, H., Çoban, T., Tırıs, M.** 2001. "Biyokütle ve Diğer Organik Atıkların Kojenerasyon Sistemlerinde Enerji Yakıtı Olarak Kullanılması", 7. Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı ve Sergisi, İstanbul.
8. **Olgun, H., Dogru, M., Howarth, C.R.** 2000. "Katı Atıkların Enerji Dönüşümünde Kullanılması ve Gazlaştırıcılar", Tesisat Mühendisliği, Sayfa:42-60, Nisan.
9. **Yıldız, O.** 2000. Biyogaz Teknolojisi, Akdeniz Üniversitesi yayımları, Yayn No:78.
10. **Kaya D.** 2006. "Renewable Energy Policies in Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt: 10, sayfa: 152-163.
11. Fachverband Biogas e.V. and own data, 2009.
12. www.biyogaz.org.tr
13. Biyogaz Üretim ve Enerji Dönüşüm Teknolojilerinin Araştırılması, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-1, TÜBİTAK MAM, Ekim 2007, Gebze-Kocaeli.
14. Biyogaz Üretim Sistem Simülasyonu, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-2, TÜBİTAK MAM, Ekim 2007, Gebze-Kocaeli.
15. Enerji Dönüşüm Sistemleri ile Entegrasyonun Simülasyonu, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-3, TÜBİTAK MAM, Ekim 2007, Gebze-Kocaeli.
16. Enerji Dönüşüm Sistemleri (kazan, gaz motoru ve mikro türbin) ile entegrasyonun simülasyonu, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-4, TÜBİTAK MAM, Ekim 2008, Gebze-Kocaeli.
17. Laboratuvar Ölçekli Biyogaz Sistemi Çalışmaları, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-5, TÜBİTAK MAM, Ekim 2008, Gebze-Kocaeli.
18. Tekno Ekonomik Analizler, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-6, TÜBİTAK MAM, Ekim 2008, Gebze-Kocaeli.
19. Biyogaz Tesisleri için DSS Modellemesi, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-7, TÜBİTAK MAM, Ekim 2008, Gebze-Kocaeli.
20. Pilot Ölçekli Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı, İmalatı ve Testleri, 106 G 112 Nolu Biyogaz Projesi Teknik Rapor-8, TÜBİTAK MAM, Ekim 2008, Gebze-Kocaeli.