

# Güneş Enerjisi Destekli Biyogaz Sistemleri

Günnur KOÇAR\*

Ahmet ERYAŞAR\*

Bülent İLLEEZ\*

Ahmet Avni ATAYOL\*\*

## Özet

Biyogaz üretim sistemlerinin hem tasarım hem de işletilmesinde sıcaklık, diğer faktörlere göre birincil derecede öneme sahip bir parametredir. Anaerobik fermentasyon için; psikrofilik (5-25°C), mezofilik (25-40°C) ve termofilik (50-60°C) olmak üzere üç ayrı sıcaklık aralığı tanımlanmıştır. Uygulamada genellikle mezofilik bölgede çalışan reaktörler tercih edilmektedir. Mezofilik bölgede optimum biyogaz üretimi yaklaşık 35-37°C'de elde edilmektedir. Reaktörün ısı izolasyonunun sağlanması gerekli fakat yeterli değildir. Bu sıcaklık seviyesini sağlayabilmek için dışsal bir ısı kaynağına ve reaktör ısıtma sistemine ihtiyaç vardır. Uygulamalarda genellikle karşılaşılan yöntem, üretilen biyogazın bir brülör vasıtasıyla yakılarak, elde edilen ısı enerjisinin reaktör ısı kayıplarını karşılamada kullanılmasıdır. Ancak bu tip uygulamalarda, sistemin bulunduğu yerin iklim koşullarına, çalışma sıcaklığına ve reaktörün ısı izolasyonuna bağlı olarak üretilen biyogazın yaklaşık %15-40'ı bahsedilen amaç için harcanmaktadır.

Diğer bir uygulama ise, ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılmasıdır. Güneş enerjisinin gerekli reaktör sıcaklığını sağlamak için kullanılması, üzerinde daha önce çalışılmış ve yine günümüzde çalışmaya devam edilen yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada, dünyadaki güneş enerjisi destekli biyogaz sistemleri ile ilgili uygulamalar irdelenmiş ve E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsünde yürütülmekte olan çalışmalardan elde edilen sonuçlar da dikkate alınarak ülkemizde uygulanabilirliği tartışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** biyogaz, güneş enerjisi, anaerobik fermentasyon, biyogaz reaktörü, mezofilik

## 1. GİRİŞ

Biyogaz organik materyalin anaerobik koşullarda fermentasyonu sonucu oluşan yanıcı, renksiz ve ısı değeri yüksek bir gaz karışımıdır. Biyogazda genel olarak, %55-70 CH<sub>4</sub>; %30-45 CO<sub>2</sub>; %0-3 N<sub>2</sub>; %0-1 H<sub>2</sub>; % 0-1 H<sub>2</sub>S ile çok az miktarlarda CO ve O<sub>2</sub> bulunmaktadır [1,2,3]. Karışımdaki gazların miktarı; ortam sıcaklığı ve pH değerine, organik maddenin tür ve su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Biyogazın

ısı değeri ise karışım içerisinde yer alan metan gazı derişimine bağlıdır. Bu nedenle de ısı değeri 19-27,5 MJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Anaerobik fermentasyon, çeşitli bakterilerin birarada faaliyet gösterdiği karmaşık bir biyolojik süreçtir. Fermentasyon işleminin gerçekleşmesine çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörlerin en önemlileri şu şekilde sıralayabiliriz [1, 4,5]:

\* Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü -İZMİR

\*\* Hava Astsubay MYO ve Sınıf Okullar Komutanlığı, Öğretim Başkanlığı, Gaziemir-İZMİR

pn seviyesi,

\* C/N oranı,

\* Karıştırma,

\* Engelleyici ve toksik maddelerin etkisi.

Sıcaklık diğer çevresel faktörlere göre, biyogaz üretç sistemlerinin hem tasarımı hem de işletilmesinde birincil derecede öneme sahip bir parametredir. Anaerobik fermentasyonda mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Anaerobik fermentasyon için;

Psikrofilik (5- 25 °C)

Mezofilik (25-40 °C)

Termofilik (50-60 °C) olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığı tanımlanmıştır [3,6,7].

Mezofilik ve termofilik koşulların hakim olduğu, 45-50 °C arasındaki geçiş bölgesinde, kararlı olmayan işletme koşulları ortaya çıkar. 20 °C'nin altında sistemi işletmeye alma ve başlangıç evresi gecikecek ve verim büyük ölçüde düşecektir. Ayrıca, 20 °C'nin altında veya 70 °C'nin üzerinde metan bakterilerinin aktiviteleri azalmaktadır. Bu durum işletme maliyetini arttırmaktadır. Mezofilik sistemler için en uygun sıcaklık 35 ±3 °C, termofilik sistemler için ise en uygun sıcaklık aralığı 55 ±2 °C'dir [8].

Biyogaz üretim sistemlerinde sıcaklık takip edilmesi zorunlu olan bir parametredir. Anaerobik fermentasyon, sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastır. Her çalışma bölgesi için izin verilen sıcaklık değişim hızları [1,9];

\*Psikrofilik bölge için: ± 2 °C/h,

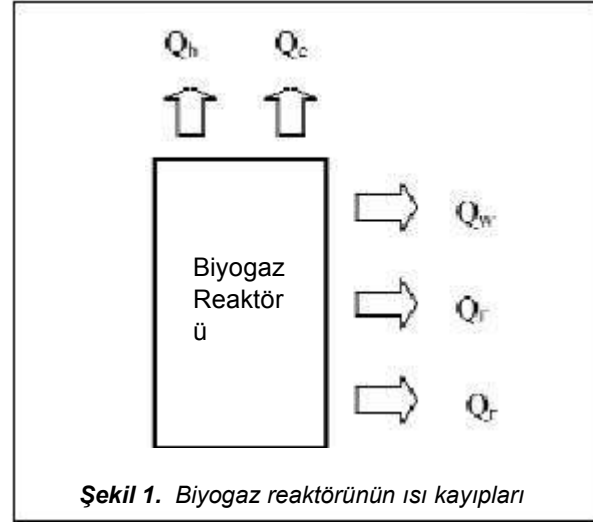
\*Mezofilik bölge için: ± 1 °C/h,

\*Termofilik bölge için: ± 0,5 °C/h olarak verilmektedir.

Biyogaz reaktörleri daha önce bahsedilen üç ayrı sıcaklık bölgesinde çalıştırılmaktadır fakat en fazla çalışılan sıcaklık bölgesi, mezofilik bölgedir. Uygulamada genellikle mezofilik bölgede çalışan reaktörler tercih edilmektedir. Bu sıcaklık seviyesini sağlayabilmek için dışsal bir ısı kaynağına ve reaktör ısıtma

denge modelini kısaca verilecek, reaktör ısıtma sistemleri tanımlanmıştır. Reaktörün ısıtılmasında kullanılan ısı kaynakları belirtilmiş, bunların arasında özellikle güneş enerjisi üzerinde durulmuştur. Bu konuda dünyada yapılmış olan çalışmalar ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçların ışığında, güneş enerjisi destekli biyogaz sistemlerinin uygulanabilirliği tartışılmıştır.

## 2. REAKTÖR ISIL DENGELİ



Şekil 1. Biyogaz reaktörünün ısı kayıpları

Bir biyogaz reaktörünün ısı kayıpları Şekil 1'de görülmektedir. Burada;

$Q_w$  = Reaktör yüzeylerinden oluşan ısı kaybı (W),

$Q_f$  = Besleme materyalinin reaktör sıcaklığına getirilmesi için gerekli ısı miktarı (W),

$Q_b$  = Reaktörü terkeden biyogazla oluşan ısı kaybı (W),

$Q_e$  = Buharlaşma yoluyla oluşan ısı kaybı (W),

$Q_r$  = Reaksiyon sırasında gerekli ısı miktarını (W), göstermektedir.

Bu kayıplar göz önüne alındığında, sistemin ısı dengesini korumak için gerekli toplam ısı ihtiyacı ( $Q_t$ ), aşağıda gösterilmiştir [10]:

$$Q_t = Q_w + Q_f + Q_b + Q_e + Q_r \quad (1)$$

## 3. REAKTÖR ISITMA SİSTEMLERİ

Isı kaynağından elde edilen ısının aktarım şekline bağlı olarak reaktörler dört grupta toplanabilmektedir:

a- Dahili Isı Eşanjörlü Reaktörler: Reaktör içinde bu-

nuna bağlı olarak üretilen biyogazın yaklaşık %15-40'ı bahsedilen amaç için harcanmaktadır [1,12].

## 4. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOGAZ SİSTEMLERİ

Biyogaz sistemlerinde güneş enerjisinin kullanımı

lunan bir ısı değiştiricisi yardımıyla ısı transferi gerçekleştirilmektedir. Bu tip sistemlerde genellikle le boru tipi serpantin kullanılmaktadır.

- b- Harici Isı Eşanjörlü Reaktörler: Özellikle karıştırmanın pompa yardımıyla hidrolik olarak gerçekleştirildiği sistemlerde kullanılırlar. Sirküle ettirilen materyal, dışsal bir ısı eşanjöründen geçirilerek istenen sıcaklık seviyesine ısıtılmaktadır.
- c- Isı Ceketli Reaktörler: Yaygın olarak laboratuvar veya pilot ölçekli çalışmalarda kullanılırlar. Bu tip reaktörlerin etrafında eşanjör görevi gören bir ısı ceketini bulunmaktadır. Isıtıcı akışkan bu ceket içerisinde sirküle ettirilerek ısıtma sağlanır.
- d- Buhar Enjeksiyonlu Reaktörler: Bu uygulamalara genellikle büyük ölçekli endüstriyel tip biyogaz tesislerinde rastlanmaktadır. Elde edilen buhar, reaktör içine veya besleme materyaline enjekte edilerek gerekli sıcaklık sağlanmaktadır [1, 11].

Reaktör ısıtma sistemlerinin tümünde sıcaklık seviyesinin sabit kalması amacıyla otomasyon uygulanmaktadır. Otomasyon sistemi; sıcaklık sensörleri, otomasyon panosu, sirkülasyon pompaları gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Reaktörün ısıtılmasında kullanılan ısı kaynakları ise şunlardır:

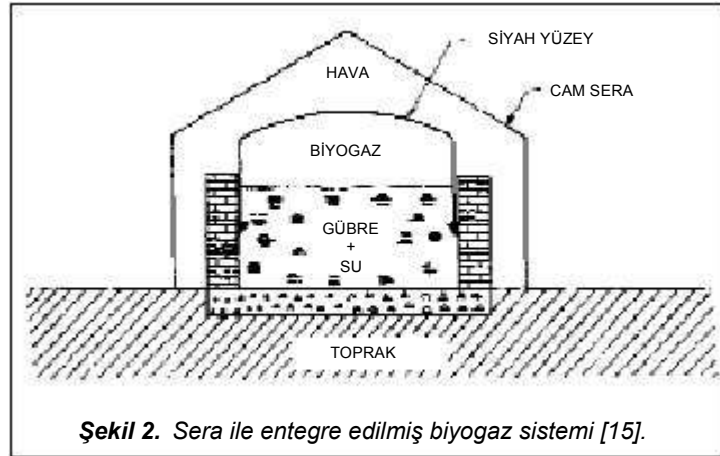
- Konvensiyonel yakıtlar,
- Üretilen biyogaz,
- Güneş enerjisi,
- Diğer yenilenebilir enerji kaynakları.

Uygulamalarda genellikle karşılaşılan yöntem, üretilen biyogazın bir brülör vasıtasıyla yakılarak, elde edilen ısı enerjisinin reaktör ısı kayıplarını karşılamada kullanılmasıdır. Bu tip uygulamalarda, sistemin bulunduğu yerin iklim koşullarına, çalışma sıcaklığına ve reaktörün ısı izolasyonu

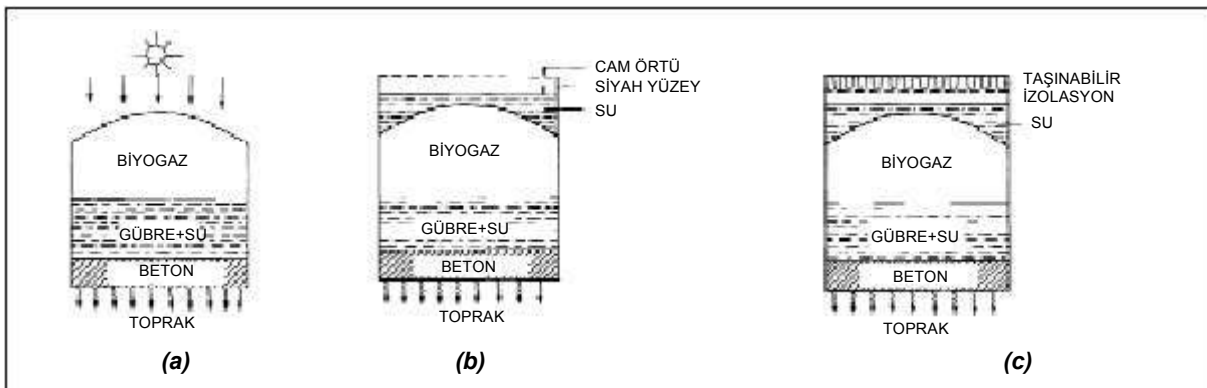
aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasif uygulamalarda reaktörün üstü bir serayla veya güneş ışığına geçiren bir örtüyle kapatılmaktadır [13, 14]. Reaktör yüzeyi siyah boyayla kaplanarak, gelen güneş ışınımının soğurulması sağlanmaktadır. Sera sayesinde sistem ısı kayıpları düşürülmektedir. Ancak bu sistemlerle soğuk mevsimlerde yeterli sıcaklığa ulaşılamadığı belirtilmektedir. Özellikle dış hava sıcaklığının düştüğü ve güneş ışınımının olmadığı saatlerde, reaktör sıcaklığı önemli oranda düşmektedir.

Bu sıcaklık dalgalanmalarının nedeni gelen güneş ışınımının sadece sera ortamı içerisinde bulunan hava ve gazometre tarafından depolanmasıdır. Bahsedilen sistemin şematik görünümü şekil 2'de görülmektedir.

Bu sıcaklık dalgalanmalarını düşürmek amacıyla gazometrenin üzerinde, gelen güneş ışınımının depolandığı su ile doldurulmuş bir haznenin bulunduğu sistemler önerilmiştir. şekil 3' te görüleceği gibi, bu haznenin üzeri güneş ışınımının soğurulduğu siyah boyalı metal bir yüzey ve cam örtüyle kapatılmıştır. Güneş ışınımının olmadığı saatlerde, sistem yüzeyinden ısı kaybının azaltılması amacıyla taşınabilir izolasyon kullanılmıştır. Önceki sistemde olduğu gibi



Şekil 2. Sera ile entegre edilmiş biyogaz sistemi [15].



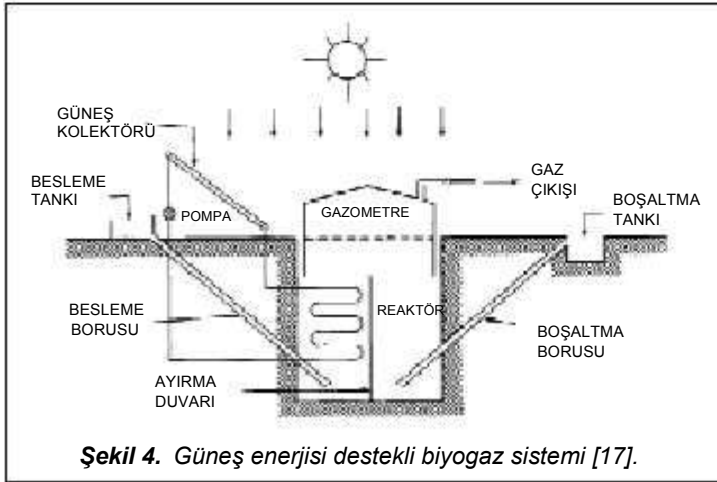
**Şekil 3. Biyogaz sistemi: (a) Geleneksel, (b) Güneş ışınımının olduğu saatlerde önerilen, (c) Güneş ışınımının olmadığı saatlerde önerilen [16].**

bu sistemde de yardımcı ısıtıcı ve sıcaklık dalgalanmasını önleyici otomasyon sistemi bulunmamaktadır. Bu yüzden, her iki sistem de güneş enerjisiyle pasif ısıtma uygulamaları içerisinde yer almaktadır.

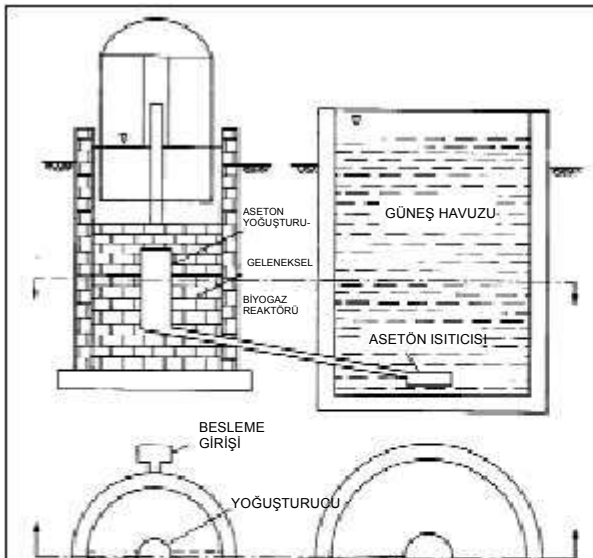
Biyogaz reaktörlerinin ısıtılmasında güneş enerjisinin kullanıldığı diğer yöntem ise aktif sistemlerdir. Bu sistemlerde genellikle düzlemsel güneş kolektörlerinden yararlanılmaktadır. Pasif sistemlerden ayrı olarak, bu sistemlerde sirkülasyon pompası, ısı eşanjörü ve genellikle sıcaklığı sabit tutmak amacıyla otomasyon sistemi kullanılmaktadır. Şekil 4'te reaktör ısıtılmasında güneş enerjisinden aktif olarak yararlanılan bir biyogaz sistemi görülmektedir.

Şekil 4'ten görüleceği gibi, güneş kolektöründen elde edilen ısı enerjisi bir sirkülasyon pompası ve ısı eşanjörü yardımıyla reaktöre aktarılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmaktadır. Sirkülasyon pompası, ışınımın olmadığı saatlerde durdurulmaktadır. Bu sistemde sıcaklık otomasyonu, yardımcı ısıtıcı ve sıcak su akümülyasyon tankı kullanılmamıştır. Dolayısıyla sıcaklık dalgalanmaları söz konusudur. Daha önce belirtildiği gibi metan bakterileri ani sıcaklık değişimlerinden olumsuz yönde etkilenmekte, bu nedenle biyogaz üretim verimi düşmektedir. Fakat son yıllarda yapılan, reaktörün ısıtılmasında güneş enerjisinin aktif olarak kullanıldığı çalışmalarda, termofilik bölgede, yüksek sıcaklık değişim hızlarının geçici etkiler yarattığı ve çalışma sıcaklığına geri döndüğünde sistemin tekrar önceki performansına ulaştığı belirtilmektedir [6,18]. Literatürde sıcaklık otomasyonunun kullanıldığı, farklı ölçekte, deneysel ve analitik çalışmalar da bulunmaktadır [19-24].

Reaktör ısıtılmasında güneş enerjisinden yararlanılan farklı bir sistem de Şekil 5'te görülmektedir. Bu sistemde güneş havuzundan yararlanılması önerilmektedir. Tuz çözeltisinin bulunduğu güneş havuzunda 100 °C sıcaklığa erişilebileceği belirtilmektedir. Bu sıcaklık seviyelerindeki akışkanın, doğru dan ısı eşanjörü yardımıyla reaktör ısıtılmasında kullanılması, metan bakterileri üzerinde öldürücü etki yaratacağı için, asetonun kullanıldığı bir ısı aktarım mekanizması geliştirilmiştir. Asetonun kaynama sıcaklığı 55 °C'dir. Güneş havuzu içindeki ısıtıcı hazne içinde bulunan aseton buharlaşmakta ve ısısını reaktör içeris-

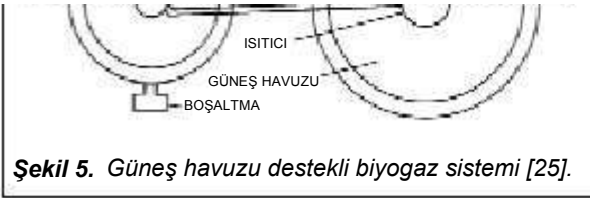


**Şekil 4. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemi [17].**



niştir. Yine yardımcı ısıtıcının otomasyonunda ayrı bir dijital termostattan yararlanılmıştır. Güneş enerjisi sistemi doğal dolaşimli olup, otomasyona ihtiyaç duymamaktadır. Isıtma sisteminin tümünde, ısı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmıştır. Sistem görünümü Şekil 6'da görülmektedir. Yapılan dene-





Şekil 5. Güneş havuzu destekli biyogaz sistemi [25].

deki yoğunlaştırıcıya sisteme aktarılıp yoğunlaşarak ısıtma haznesine geri dönmektedir. Bu çevrim sayesinde reaktör ısı kayıpları karşılanmaktadır. Bu sistemde de sıcaklığın istenilen seviyede sabit kalmasını sağlayacak sıcaklık otomasyonu ve yardımcı ısıtıcı bulunmamaktadır.

## 5. EGE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde güneş enerjisi destekli kesikli ve sürekli beslemeli tip olmak üzere iki sistem kurulmuştur. Kesikli sistemde, 280 lt hacminde reaktör kullanılmıştır. Reaktör, ısı ceketli tip ısıtma sistemine sahiptir. Reaktörün ısı izolasyonu cam yünü ve alüminyum levha ile yapılmıştır. Gazometre olarak, su yer değiştirmeli tip gazometre kullanılmıştır. Isıtma sistemi olarak, 180 lt ceketli tip ısı eşanjörüne sahip sıcak su akümülayon tanklı güneş enerjisi sistemi dizayn edilmiş ve kurulmuştur. Sistemde iki adet düzlemsel bakır güneş kolektörü kullanılmıştır. Sıcak su akümülayon tankına, yardımcı ısıtıcı olarak elektrikli rezistans monte edilmiştir. Sistemin otomasyonu kontrol paneliyle sağlanmıştır. Isıl stabiliteyi sağlamak için dijital termostat ve ıslak rotorlu sirkülasyon pompası kullanılmaktadır.



Şekil 6. Güneş enerjisi destekli kesikli beslemeli tip biyogaz sisteminin görünümü

melerde, reaktör ısı kayıplarının güneş enerjisi tarafından karşılanma miktarı kış, bahar ve yaz dönemleri için sırasıyla, % 68, % 91, % 98 olarak gerçekleşmiştir [26].

Diğer sistem sürekli beslemeli tip 1 m<sup>3</sup> hacminde reaktöre sahiptir. Bu sistemde de reaktör ısıtma sistemi olarak güneş enerjisi desteği ve yardımcı ısıtıcı kullanılmıştır. Güneş enerjisi sisteminde üç adet kolektör ve 350 lt kapasiteli sıcak su akümülayon tankı bulunmaktadır. Kullanılan güneş kolektörleri seçici yüzeylidir. Kolektörlerden sıcak su akümülayon tankına ısı aktarımı ıslak rotorlu sirkülasyon pompası ve ısı eşanjörüyle sağlanmıştır. Sistem elemanlarının izolasyonu cam yünü ile sağlanmıştır. Gaz depolama amacıyla yüzer tip 500 lt hacminde gazometre kullanılmıştır. Sistem otomasyonu dijital termostatlar, zaman saati, kontaktörler vb. içeren kontrol paneliyle sağlanmıştır. Şekil 7'de sistem görünümü verilmiştir. Bu sistemle yapılan denemelerde, kış aylarında reaktör ısı kayıplarının güneş enerjisiyle karşılanma miktarı % 79 seviyesinde gerçekleşmiştir [27].



Şekil 7. Güneş enerjisi destekli sürekli beslemeli tip biyogaz sisteminin görünümü

Ayrıca bilgisayar ortamında bu sistemlerin ısı enerjisi modeli oluşturulmuş ve denemelerden elde edilen veriler, modelden elde edilen değerlerle karşılaştırılarak model sınanmıştır [28]. Oluşturulan model ku-

Müdürlüğünden alınan 2002-2003 yılları günlük iklim verileri kullanılmıştır. Besleme materyalinin çalışma sıcaklığına ısıtılması için gerekli ısı miktarının hesabında, yine her ilin belediyelerinden alınan aylık ortalama şebeke suyu sıcaklıkları göz önüne alınmıştır. Hesaplamalarda LPG referans yakıt olarak kullanılmıştır. Besi materyali olarak % 8 katı madde oranına sahip, sulandırılmış sığır atığı göz önüne alınmıştır. Günlük biyogaz üretim verimi 1,2 m<sup>3</sup>biyogaz/m<sup>3</sup>reaktör gün olarak hesaplara dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Üretilen biyogazın reaktör ek ısıtma ihtiyacını karşı-



lanılarak yapılan çalışmalarda, ülkemiz iklim koşullarını temsil eden üç ayrı iklim bölgesinden ikişer il belirlenmiştir. İllerin belirlenmesinde özellikle büyükbaş hayvan potansiyelinin yüksekliği göz önüne alınmıştır. Belirlenen iller ve ait oldukları iklim bölgeleri aşağıda gösterilmiştir:

- \* I. İklim Bölgesi: İzmir, Antalya.
- \* II. İklim Bölgesi: Samsun, Diyarbakır.
- \* III. İklim Bölgesi: Ankara, Erzurum.

Yukarıda verilen her il için 5 m<sup>3</sup> hacimli, mezofilik koşullarda çalışan bir biyogaz reaktörünün ihtiyacı olan izolasyon kalınlığı ve gerekli güneş enerjisi sistemi ömür boyu maliyet analizi yapılarak elde edilmiştir. Analizlerde, Devlet Meteoroloji İşleri Genel



lana oranı, güneş enerjisi desteği olması ve olmaması durumunda, her il bazında yıllık olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, elde edilen biyogazın alt ısı değeri 27 MJ/m<sup>3</sup>[29,30] olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'den görüleceği gibi, güneş enerjisinin kullanılmadığı durumda üretilen biyogazın % 20-33 kadar sistemin ısı ihtiyaçlarının karşılanmasına harcanmaktadır.

Güneş enerjisi desteğiyle bu oran % 5-8 civarına gerilemektedir. Özellikle Erzurum örneği dikkat çekicidir. Bahsedilen oran %33,74'ten, %5,66'ya gerilemiştir. Bu olgu, teknik olarak kullanılabilir.

| İLLER      | İZOLASYON KALINLIĞI | GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ      |
|------------|---------------------|-----------------------------|
| ANTALYA    | 12 cm               | 5 Kollektör – 350 lt Boyler |
| İZMİR      | 13 cm               | 5 Kollektör – 350 lt Boyler |
| DİYARBAKIR | 13 cm               | 6 Kollektör – 350 lt Boyler |
| SAMSUN     | 14 cm               | 7 Kollektör – 350 lt Boyler |
| ANKARA     | 14 cm               | 6 Kollektör – 350 lt Boyler |
| ERZURUM    | 16 cm               | 9 Kollektör – 600 lt Boyler |

bilir biyogaz potansiyelinin artışına işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar, ülkemizde biyogaz reaktörlerinin ısıtılmasında güneş enerjisinin kullanımının teknik açıdan mümkün ve karlı olduğunu göstermektedir. Söz konusu altı il bazında, güneş enerjisi desteği, teknik olarak kullanılabilir biyogaz miktarını % 15-25 oranında artıracaktır. Ülkemizde bulunan toplam büyükbaş hayvan sayısından elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin 2 milyar m<sup>3</sup> civarında olduğu göz önüne alınırsa [31,32], bu önemli bir sonuçtur. Reaktör ısı ihtiyacının en az, güneşten kazanımın en fazla olduğu yaz aylarında, güneş enerjisi sisteminin atıl kapasitesinin farklı uygulamalarda değerlendirilmesi, sistem toplam verimliliğini ve karlılığını artıracaktır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyogaz reaktörlerinin ısı kayıplarının karşılanmasında güneş enerjisinin kullanımı, sistem veriminin artışını da beraberinde getirmektedir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar, güneş enerjisi desteğinin biyogaz sistemlerinde kullanılabilirliğini göstermektedir. Özellikle ülkemizde yüksek güneş ışınımı, ucuz ve kaliteli düzlemsel güneş kolektörü üretimi bu düşün-

te, Research Branch, Agriculture Canada, January, 1986

- [3] Werner, U., U. Stohr, and N. Hees. Biogas Plants in Animal Husbandry, 1989. <http://www5.gtz.de/gate/>.
- [4] Omer, A. M., Y. Fadalla. Biogas energy technology in Sudan, Renewable Energy 28 (2003) 499–507
- [5] Dennis A., P.E.Burke. Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, [www.makingenergy.com](http://www.makingenergy.com), 2001
- [6] El-Mashad, Hamed M., Wilko K. P. van Loon, Grietje Zeeman, Gerard P. A. Bot and Gatzke Lettinga. Design of A Solar Thermophilic Anaerobic Reactor for Small Farms, Biosystems Engineering. 2004;87:79-87
- [7] Parker, D. Demonstration of Biogas Production using Low Moisture Content Beef Cattle Manure, Western Regional Biomass Energy Program, May 31, 2000
- [8] Kartha, S., Eric D. Larson. Bioenergy Primer Modernised Biomass Energy For Sustainable Development, United Nations Publications, 2000
- [9] Marchaim, U. Biogas Processes for Sustainable Development, 1992, [www.fao.org/docrep/t0541e](http://www.fao.org/docrep/t0541e)

ceyi desteklemektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, güneş enerjisi sistem büyüklükleri - nin seçiminin ve sıcaklık otomasyonunun önemini işaret etmektedir. Güneş ışınımının ısıtma ihtiya - cından büyük olduğu saatlerde, bir ısı akümülatörüne ihtiyaç vardır. Böylece, özellikle ışınımın olmadığı saatlerde de güneş enerjisinden yararlanarak, verim artışı sağlanabilmektedir. Isıl depolama malzemele - rinde, otomasyon sistemlerinde ve güneş kolektör - lerindeki gelişmelerle yaşanacak verimlilik artış - ları ve maliyet düşüşleri, biyogaz reaktörlerinde ısıt - ma desteği olarak güneş enerjisinin kullanımını da - ha da cazip hale getirecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Anonymous. Biogas Digest – Biogas Basics Vol 1, ISAT (Information and Advisory Service on Ap - propriate Technology), 1999, <http://www5.gtz.de/gate/>.
- [2] Winfield, R. G. Biogas Production Facilities on Farms, Engineering & Statistical Research Institu - tion, 1987, No. 9, pp. 1423-1433, 1996
- [16] Tiwari, G.N., A. Chandra. A Solar-Assisted Bio - gas System: A New Approach, Energy Convers. Mgmt Vol. 26, No. 2, pp. 147-150, 1986
- [17] Tiwari, G.N., A. Chandra, K. K. Singh, S. Su - che - ta, Y. P. Yadav. Studies of KVIC Biogas System Coupled with Flat Plate Collector, Energy Con - vers. Mgmt Vol. 29, No. 4, pp. 253-257, 1989
- [18] El-Mashad, Hamed M., Wilko K.P. van Loon, Gri - etje Zeeman. A Model of Solar Energy Utilisation in the Anaerobic Digestion of Cattle Manure, Bi - osystems Engineering, 2003;84:231-238.
- [19] Alkhamis, T. M., R. El-Khazali, M. M. Kablan, M. A. Alhusein. Heating of a Biogas Reactor Using a Solar Energy System with Temperature Con - trol Unit, Solar Energy Vol. 69, No. 3, 2000, pp. 239-247
- [20] Akaopoulos, P., P. Panagakis, A. Tsavdaris, D. Georgakakis. Simulation and Experimental Performance of a Solar-Heated Anaerobic Di - gester, Solar Energy Vol. 70, No. 2, 2001, pp. 155-164
- [21] Axaopoulos, P., P. Panagakis, "Energy and Eco - nomic Analysis of Biogas Heated Livestock Bul - dings", Biomass and Bioenergy, 24, (2003) pp.239 – 248
- [22] Gupta, R. A., S. N. Rai, G. N. Tiwari. An Improved Solar Assisted Biogas Plant(Fixed Dome Type): A Transient Analysis, Energy Convers. Mgmt Vol. 27, No. 2, pp. 127-131, 1987
- [14] Tiwari, G.N., D. K. Rawat, A. Chandra. A Simple Analysis of Conventional Biogas Plant, Energy Convers. Mgmt Vol. 28, No. 1, pp. 1-4, 1988
- [15] Usmani, J. A., G. N. Tiwari, A. Chandra. Perfor - mance Characteristic of a Greenhouse Integra - ted Biogas System, Energy Convers. Mgmt Vol. 27, No. 2, pp. 127-131, 1987
- [10] Kishore, V.V.N. A Heat-Transfer Analysis of Fi - xed-Dome Biogas Plants, Biological Wastes. 1989;30:199-215.
- [11] Anonymous. Biogas Digest – Biogas Basics Vol 2, ISAT (Information and Advisory Service on Ap - propriate Technology), 1999, <http://www5.gtz.de/gate/>.
- [12] Sarapatka, Borivoj. A Study of Biogas Production During Anaerobic Fermentation of Farmyard Ma - nure. Biomass and Bioenergy. 1993;5:387-393.
- [13] Tiwari, G.N., Y. P. Yadav, A. Srivastava. Optimiza - tion of Heat Loss Reduction from the Gas Hol - der: Analytical Study, Energy Convers. Mgmt Vol. 27, No. 2, pp. 127-131, 1987
- [14] Tiwari, G.N., D. K. Rawat, A. Chandra. A Simple Analysis of Conventional Biogas Plant, Energy Convers. Mgmt Vol. 28, No. 1, pp. 1-4, 1988
- [15] Usmani, J. A., G. N. Tiwari, A. Chandra. Perfor - mance Characteristic of a Greenhouse Integra - ted Biogas System, Energy Convers. Mgmt Vol. 28, No. 3, pp. 235-239, 1988
- [25] Subramanyam, S. Use of Solar Heat to Upgrade Biogas Plant Performance, Energy Convers. Mgmt Vol. 29, No. 1, pp. 73-75, 1989
- [26] Koçar, G. Biyogaz Ünitesinin Oluşturulması ve Değişik Organik Kökenli Atıkların Değerlendiril - mesi, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Raporu, No: 2000/GEE/002, 2004
- [27] İllez, B. Güneş Enerjisi Destekli Sürekli Besle - meli Tip Biyogaz Üreticinin Oluşturulması Üze - rine Bir Araştırma, Ege Üniversitesi Fen Bilimle - ri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004
- [28] Eryaşar, A., G. Koçar. Ülkemiz Koşullarında Gü - neş Enerjisi Destekli Biyogaz Reaktörlerinin Uy - gulanabilirliği, Biyoenerji 2004 Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 266-277, İzmir, 2004
- [29] Walsh, J. L., C. C. Ross, M. S. Smith, S. R. Har - per. Utilization of Biogas, Biomass 20 (1989) 277-290
- [30] Stafford, David A., Dennis L. Hawkes, Rex Hor - ton. Methane Production from Waste Organic Matter, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1981
- [31] A. Demirbaş, Biomass and the Other Renewab - le and Sustainable Energy Options for Turkey in the Twenty- First Century, Energy Sources, 2001, 23:177— 187

Vol. 28, No. 1, pp. 53-57, 1988

[23] Beba, A. Analysis of a Solar-Heated Biogas Fermenter, Solar Energy. 1988;40:281-287.

[24] Tiwari, G. N., S. B. Sharma, S. P. Gupta. Transi

[32] Anonim. Biyogaz Enerjisi Çalışmaları, EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, [www.eie.gov.tr/biyogaz/mikrobiyoloji.html](http://www.eie.gov.tr/biyogaz/mikrobiyoloji.html), 2004