

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI DESTEKLİ BİR BİYOGAZ SİSTEMİNİN SERA ISITMASINDA KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah AKBULUT

Arş. Gör., Fırat Üniversitesi T.E.İ. Makina Bölümü

İrfan KURTBAŞ

Arş. Gör., Fırat Üniversitesi T.E.İ. Makina Bölümü

Fevzi GÜLÇİMEN

Arş. Gör., Fırat Üniversitesi T.E.İ. Makina Bölümü,

ÖZET

Önemli bir alternatif enerji kaynağı olan biyogaz, organik artıkların havasız şartlarda fermentasyonu sonucu oluşan bir gaz bileşendir. Bu çalışmada iki adet 350 m²’lik sera için 280 m³ hacminde bir biyogaz reaktörü tasarlanmıştır. Reaktör, biyogaz üretimini sağlamak için toprak kaynaklı ısı pompası ile desteklenmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi; soğutucu akışkan çevrimi ve 100 m²’lik toprak alanında 1,5 m derinliğe 140 m döşenen 3/4” çapında toprak ısı değiştirgeci devresinden oluşmaktadır. Isı pompası sisteminin yoğunlaştırıcısı 47 m uzunluğunda bakır serpantin boru şeklinde reaktörün 5x7 m ölçülerindeki yan yüzeyine döşenmiştir. Seralar panel radyatör ile döşenmiş ve biyogaz reaktöründen elde edilen metan gazı radyatörlerde dolaşan suyun ısıtılmasında kullanılmıştır. Sonuç olarak; biyogaz üretimini sağlamak için reaktörün ısı ihtiyacı, toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile sağlanmış ve günlük gaz üretimi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, güneş enerjisi, toprak kaynaklı ısı pompası

ABSTRACT

Biogas, which is an important alternative energy source is a gas component constituted by the result of the fermentation of organic manure under the anaerobic conditions. In this study, a biogas reactor having 280 m³ volumes for the two greenhouses with 350 m² surface area was designed. Reactor was aided by ground source heat pump for providing the biogas production. Ground source heat pump system constitutes of the refrigerant cycle and ground heat exchanger circuit with 3/4” diameter and 140 m length pipe that it is installed in ground of 1.5 m depth and 100 m² area. Condenser of the heat pump system with shape of spiral copper pipe having 47 m length was installed neighborhood surface with 5x7m dimensions of the reactor. The greenhouse was installed with panel radiator and methane obtained by biogas reactor was used for heating water circulating in radiator. Consequently, it was seen that the heating requirement of the reactor for providing biogas production was provided by ground source heat pump system, and daily gas production was determined.

Keywords: Biogas, solar energy, ground source heat pump

Giriş

Bilinen enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılması için tüm dünyada uygulanan yöntemlerin başında enerji tasarrufu ve alternatif enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlerin geliştirilmesi gelmektedir. Fosil kökenli yakıtların hızla azalması, hidroelektrik enerji santrallerinin gerek kurulabileceği yerlerin gerekse mümkün olan enerji üretim kapasitelerinin sınırlı

olması, acil enerji ihtiyacını karşılama gayretlerini hızlandırmıştır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyogaz gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi ile bilinen enerji kaynakları, yerini alternatif enerji kaynaklarına bırakarak insanlığa temiz ve sürekli enerji sağlayacaktır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları da yeni bir fikir değildir. 1912 yılındaki İsviçre patenti ile toprak kaynaklı ısı

pompasının (TKIP) faydaları ilk olarak tanıtılmıştır. 1940'lı yıllarda toprağa gömülen metal serpantinler içerisinde salamura dolaştırılarak, ısı pompalarının ilk uygulamaları çarpıcı bir şekilde gösterilmiştir. Serpantinde oluşan korozyon sorunları, metal serpantinlerin kullanışsız olmasına neden olmuştur. Daha sonraları, plastik borular kullanılarak, korozyon sorunlarının üstesinden gelinmiş ve TKIP'ları üzerinde araştırmalar hızlandırılmıştır. Amerika'da, TKIP teknolojisine olan ilgi 1940-1950'li yıllarda su yüzüne çıkmıştır. 1973 petrol ambargosu süresince, İsveç'te tekrar ivme kazanmış ve birkaç yıl sonra, Oklahoma Eyalet Üniversitesi'nde bir araştırma programı başlatılmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak, İsveç'te 1988 yılında 134000 TKIP'sinin olduğu bildirilmiştir. 1985'te, 14000 TKIP' sının sadece Amerika'da kurulduğu tahmin edilmektedir. Tüm imalatçılar satış rakamlarını bildirmemelerine rağmen yıllık 17300 ünite satış, 1993 yılında ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute)'ya bildirilmiştir. Ayrıca 1997 yılı sonunda, 300000'den fazla TKIP evler, okullar ve ticari yapılarda hacim ısıtması ve soğutması amacı ile kullanılmıştır. 1997 yılı sonunda, yuvarlak olarak 400000 TKIP'nin işletildiği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, Amerika'da bazı elektrik şirketleri, ev sakinlerinin hacim ısıtma-soğutma amaçları için TKIP'nin kullanımını artırmak ve böylece, elektrik sistemlerindeki pik yükleri düşürmek amacı ile parasal teşvik programları yürütmektedir [1].

Franck ve Berntsson, 10-40 m derinliğe kadar düşey borular kullanarak, toprakta mevsimsel depolama ile güneş destekli ısı pompaları alanında İsveç'te yürütülen büyük bir araştırma programı doğrultusunda, iki deneysel tesisten elde edilen bazı ana sonuçları sunmuşlardır [2].

Kavanaugh, Amerika'nın güney iklimlerinde düşey toprak kaynaklı ısı pompalarının kabul edilebilirliğini ve işletme karakteristiklerini belirlemek üzere çalışmalarda bulunmuştur. Bu amaçla Alabama'daki 150 m²'lik bir konutta kurulan bir ısı pompasının soğutma ve ısıtma performansı araştırılmıştır [3].

Bi ve diğ., çiff spiral kangal halindeki bir yer ısı değiştirgeci tasarlayarak, yer altında iki boyutlu sıcaklık dağılımını kontrol hacim metodu kullanarak

belirlemişlerdir. Yeraltına döşenen kangal halindeki boru için ısı transfer modeli geliştirmişler ve kangal etrafındaki sıcaklık dağılımını sayısal olarak çözmüşlerdir. Deneysel sıcaklık verileri ile analitik çözüm sonuçlarını karşılaştırmışlardır [4].

Omer ve Fadalla, Sudanda biyogaz enerji teknolojisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Sudan'da biyogaz enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olduğuna dikkat çekilmiştir. Sudan'da güneş, rüzgar, su ve biyogaz kaynakları ile ilgili bilgi verilmiş ve biyogaz'ın sadece yakıt olarak düşünülmemesi gerektiği ayrıca bunun yanında çevre kirliliğini azaltıcı etkisi, tarıma olan katkısının da dikkate alınması gereğine dikkat çekilmiştir. Ayrıca bu çalışmada biyogaz ve diğer enerji kaynakları arasında ısı değer, ısıl etkinlik ve maliyet açısından karşılaştırma da yapılmıştır [5].

Axaopoulos ve Panagakis, biyogaz ısıtmalı bir hayvan çiftliğinin enerji ve ekonomi analizini yapmışlardır. Bu çalışmada, Yunanistan'ın farklı iki bölgesinde güneş enerjisi destekli bir reaktör geliştirilmiş ve biyogaz üretimi gözlemlenmiştir. 140 adet domuzun bulunduğu bir çiftlik aynı zamanda biyogaz reaktörü olarak düşünülmüş ve reaktörün iç ortam sıcaklığı domuzların kendi iç ısıları ile sağlanmaya çalışılmıştır. Hem çiftlik hem de reaktör olan bu yapı 7.4*5.4*3.1 m ölçülerinde olup çiftliğin çatısı güneş kolektörleri ile kapatılmıştır. Toplam 116 m³ ölçülerinde olan bu yapının 40 m³'lük hacmi yerin 3 m altında 76 m³'lük hacmi ise toprak seviyesi ile çiftliğin çatısını oluşturan güneş kolektörleri arasında kalan hacimde olacak şekilde yapılmıştır. Reaktörde 20 günlük bekleme süresi boyunca her gün 2 m³ domuz gübresi ile besleme yapılmıştır. Sistemin maliyeti 8000 \$ olarak hesaplanmış ve geri ödeme süresi 10 yıl olarak belirtilmiştir [6].

Park, Kore'de biyogaz ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmıştır. Bu araştırma ve geliştirme çalışmaları doğrultusunda Kore'de yerin altına gömülmüş 6 m derinliğinde ve 6 m çapında 137 m³ hacminde, içinde ısıtma ve karıştırma cihazı bulunan bir beton reaktör tasarlamış ve reaktör her gün 2.4 ton gübre ve 4 ton su ile beslenmiştir. Deney süresince elde edilen brüt gaz miktarı günde 219 m³ ile 243 m³ arasında

gerçekleşmiş ve ortalama olarak 229 m^3 gaz elde edilmiştir. Ayrıca deney süresince reaktörün ve giren gübrenin sıcaklıkları sırasıyla $34.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $9.5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür [7].

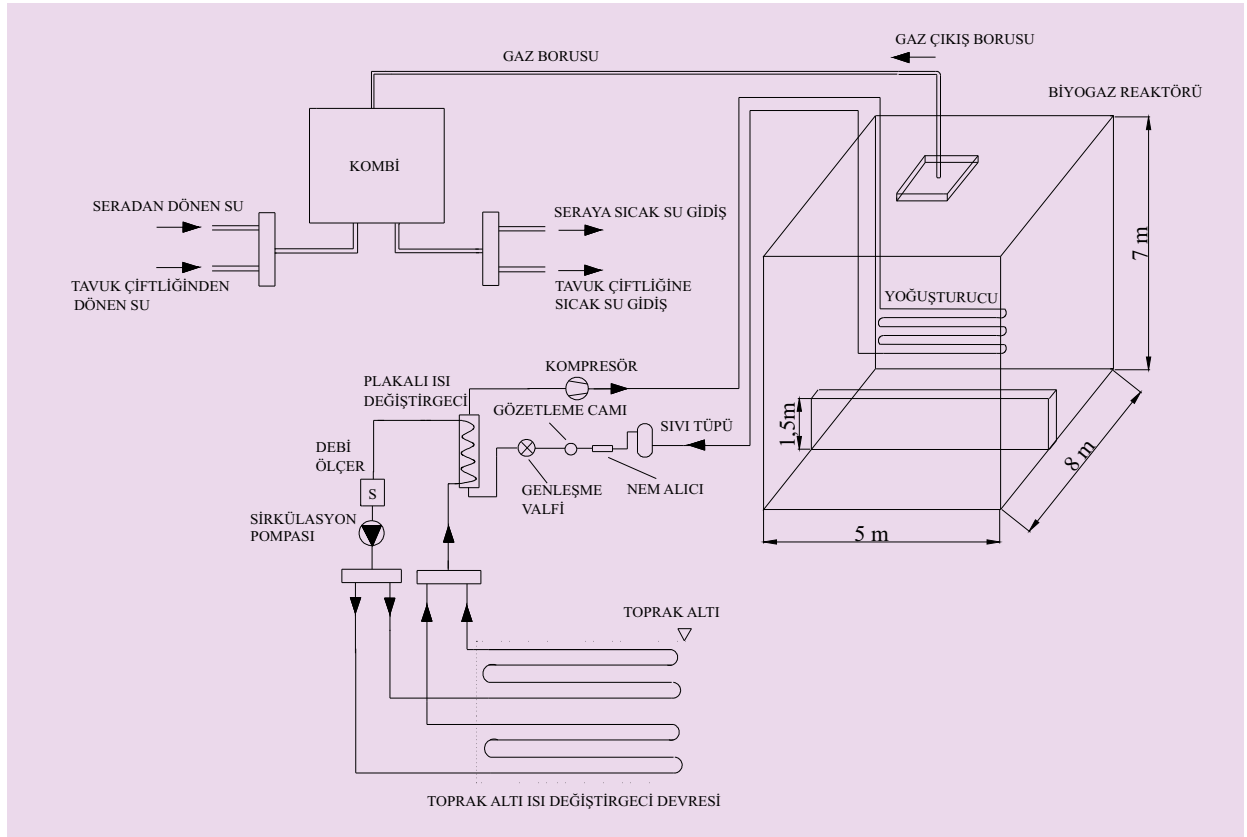
Beba, biyogaz sistemlerinde güneş enerjisinden yararlanma imkanları konusunda bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Van ilinde 15 büyükbaş hayvan artığından yararlanarak biyogaz elde etmek için 28 m^3 hacminde silindirik bir reaktör yapılmış ve reaktörün ısı kayıpları hesaplanarak, reaktör 4.85 m^2 kollektör alanı ile desteklenmiştir. Reaktöre giren gübre-su karışımı kapalı devre zorlamalı sirkülasyon ile çalışan güneş enerjisi sistemi ile ısıtılmaya çalışılmıştır [8].

Bugüne kadar binaları ısıtmak için çok sayıda toprak kaynaklı ısı pompası sistemi geliştirilmiş ve literatürde bu konu ile ilgili pek çok makale yayınlanmıştır. Ancak toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin biyogaz reaktörünün ısıtılmasında kullanılması ile ilgili literatürde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızın konusu kapsamında toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin

Elazığ İli iklim şartlarında biyogaz reaktörü ısıtmasında kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla bir deney seti kurulmuştur. 2005 yılı Şubat ayından başlayarak 2005 Mayıs dönemine kadar olan süre içerisinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen verilere dayanarak toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin biyogaz reaktörü ısıtmasında kullanımının uygunluğu araştırılmış, ısı pompası sisteminin deneylerin yapıldığı her ay için performans katsayısı çıkartılmış ve reaktörden günlük olarak elde edilen biyogaz miktarı ölçülmüştür.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney seti; ısı çekilen ortam olarak toprakaltı ısı değiştirgeci devresi, soğutucu akışkan devresi, biyogaz reaktörü, gaz toplama ve gaz iletim hattı bölümü, toplanan gazın yakıldığı ve istenilen yere ısının iletilmesini sağlayan ana ısıtma merkezi ve sera olmak üzere altı ayrı devrenin birleşiminden meydana gelmektedir. Şekil 1'de deney setinin komple şeması görülmektedir.



Şekil 1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Biyogaz Reaktörü Sistemi Deney Seti



Şekil 2. Toprak Altı Isı Değiştirgeci Devresinde Boruların Toprağa Serilişi



Şekil 3. Kasanın Önden Görünüşü

Deney düzeneğinde 4 HP, R22, 2900 dev/dak, Tecumseh TAG-4546-T Hermetik tip kompresör kullanılmıştır. Alçak ve yüksek basınç presostatı (kombine otomatik), kompresörün giriş ve çıkış hattındaki basınçlara göre kompresörü devreye alıp devreden çıkaran elemandır. Kompresörün maksimum çıkış basıncı emniyet açısından 2000 kPa' a ve minimum emme basıncı ise 50 kPa olacak şekilde ayarlanmıştır. Yağ ayırıcı; 3/8" bağlantı çaplı, R22, S-5181 AC&R hermetik tiptir.

Toprak kaynaklı buharlaştırıcı, toprak altı ısı değiştirgeci devresinden ısı çekmek amacıyla 0,12 mm kalınlığında alüminyum kanatlı, 3/8" çapındaki dikışsiz bakır borudan imal edilmiş ve 20 m² ısı transfer yüzey alanına sahiptir. Toprak kaynaklı buharlaştırıcı biyogaz reaktörünün üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4).

Yoğuşturucu, biyogaz reaktörünün 5*7 m ölçülerindeki yan yüzeyine 47 m uzunluğunda bakır



Şekil 4. Toprak Kaynaklı Buharlaştırıcı

serpantin boru şeklinde döşenmiştir. Yoğuşturucu yüzeyi, bakırın reaktör içerisindeki gübre-su karışımının bakterileşme aşamasını olumsuz etkilemesi nedeniyle kalay ile kaplanmıştır. İlk önce yoğuşturucunun reaktör içerisinde kalayla kaplanmış olarak bırakılması düşünülmüş fakat belli bir zaman sonra yüzeyde ki kalayın aşınma ihtimalini göz önüne alındığından dolayı yoğuşturucu reaktörün yan yüzeyinde sıva altında kalacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Biyogaz Reaktörü İçerisine Yerleştirilen Yoğuşturucu

Biyogaz reaktörü, 5*7*8 m ölçülerinde 280 m³ hacme sahip dikdörtgen bir prizma olup 5.5 m'lik kısmı toprağın altında, 1.5 m 'lik kısmı ise toprağın üzerinde kalacak şekilde yapılmıştır. Biyogaz reaktörü 25 cm kalınlığında 200 dozlu betondan yapılmış ve toprak üzerinde kalan 1,5 m yüksekliğindeki kısım 15 cm kalınlığında tuğla ile örülmüştür. Üretecin iç kısmı, tam ortasından 1,5 m yükseklikte 5 m uzunluğunda ve 15 cm genişliğinde beton bir duvar ile ikiye bölünmüştür. Gübre

giriş ve çıkışını sağlamak için, üreticinin en düşük kodunda 100 mm çapında P.V.C boru kullanılmıştır. Gübre giriş reaktör içerisindeki birinci bölmeden, çıkışı ise ikinci bölmeden yapılmıştır. Biyogaz reaktöründe gübre-su karışımının homojenliğini sağlamak için reaktör içerisine bir adet çamur pompası yerleştirilmiştir. Biyogaz reaktörünün, yan yüzeyleri ısı ve su yalıtımının sağlanması amacıyla litoks boya ile boyanmış ve taban alanı ise 2.5 cm kalınlıkta yağlı sıva ile sıvanmıştır. Biyogaz reaktörünün üst kısmında 2 m'lik bir boşluk bırakılmış ve bu sayede 80 m³ hacminde bir ön gaz toplama ünitesi reaktörün içerisinde oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 6. Gübre Ön Havalandırma Ünitesi, Gübre Besleme Rogarı, Reaktör ve Gübre Çıkış Ünitesinin Görünüşü



Şekil 7. Biyogaz Reaktörünün İçten Görünüşü

Gübre ön havalandırma ünitesi, 5*2*1.5 m ebatlarında 20 cm kalınlığında 200 dozlu betondan yapılmıştır. Gübrenin, gübre besleme rogarına gönderilmeden önce kompresör ile havalandırıldığı ünite olan ön havalandırma ünitesi, özellikle tavuk

gübresinde yüksek oranda bulunan ve metan oluşmasını engelleyici özelliğe sahip olan amonyağın gübreden ayrıklaştırıldığı kısımdır. Gübre ön havalandırma ünitesi ile besleme rogarı arasındaki bağlantı 100 mm çapındaki P.V.C boru ile sağlanmıştır. Gübre besleme rogarı 5*1*1.5 m ebatlarında ve 20 cm kalınlığında 200 dozlu betondan inşa edilmiştir. Gübre besleme rogarı dikdörtgen prizma şeklinde olup, ön karıştırma işlemi 5 m uzunluğundaki kısma yatay olarak yerleştirilmiş bir karıştırıcı sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Gübre besleme rogarı sürekli besleme metodu ile çalıştırılmış ve besleme rogarı ile biyogaz reaktörü arasındaki bağlantı 100 mm çapında P.V.C boru ile sağlanmıştır. Gübre çıkış rogarı 5*3*1.5 m ölçülerinde, 20 cm kalınlığında 200 dozlu betondan inşa edilmiştir. Biyogaz reaktöründe en önemli noktalardan birisi, çıkan gübrenin gübre çıkış rogarına iletilmesini sağlayacak olan gübre çıkış borusunun yerinin tespitidir. Bunun nedeni gübre-su karışımı ile gaz toplama haznesinin (80 m³) birlikte olmasıdır. Biyogaz reaktörünün üst kısmında bırakılan 2 m yüksekliğindeki kısımda biriken gaz gübre üzerine bir basınç yapacak, çıkış kısmındaki gübre seviyesini yükseltecek ve gaz kullanıldığı zaman gübre seviyesinde alçalma meydana gelecektir. Bu yükselip alçalmalar dikkate alınarak çıkış borusundan, günlük olarak reaktörü beslemek için kullanılacak olan gübrenin dışarıya atılmasını önlemek için reaktör ile gübre çıkış rogarı arasındaki bağlantı borusunun konumu, işletme şartlarına göre tespit edilmiştir (Şekil 6).

Üretilen gazın bir kısmı biyogaz reaktörünün içerisinde boş bırakılan 80 m³ hacminde ki kısımda toplanmaktadır. Ayrıca üretilen gaz, gazometre denilen sactan yapılmış ve köşebentlerle takviye edilmiş bir depoda toplanmaktadır. Malzeme olarak 4 mm sac ve köşebent kullanılmıştır. Gazometrede basınç dengesi makaralar ile sağlanmıştır. Gazometre havuzundaki gaz yalıtımını sağlamak için gazometre su ile doldurulmuştur. Kışın suyun donmasını önlemek için gazometredeki su

yüzeyi yanık yağ ile kaplanmıştır. Gazometre kapasitesi 20 m³ hacindedir. Gaz iletim hattında sağlanması gereken en önemli hedef, en yakın yerdeki tüketim hattı ile en uzak yerdeki tüketim hattında verimli yanmanın sağlanması için gerekli basınçta gazın sağlanmasıdır. Metan oluşması sırasında karbonun bir kısmı karbondioksit'e dönüşür ve bu ise gazı ağırlaştırır. Bunu önlemek için, bir adet sifon yerleştirilmiş ve bu sayede metan ile birlikte oluşan karbondioksit uzaklaştırılmıştır. Ayrıca biyogaz reaktörünün gaz çıkış borusunun ağzına bir basınç regülatörü yerleştirilmiştir. Biyogaz reaktöründen elde edilen gaz 3/4" galvaniz boru ile taşınmıştır. Biyogaz reaktöründen elde edilen gaz, günlük üretimin ölçüldüğü sayaca gelmekte ve oradan yine aynı boru ile gazometreye iletilmektedir. Gazometre de toplanan gaz, plastik borular ile ısı merkezine iletilmekte ve ısı merkezinde bulunan kombide yakılarak tesisat suyu ısıtılmıştır. Ayrıca her tüketim hattına bir gaz sayacı yerleştirilmiştir. Gaz iletim hattının döşenmesi sırasında boruların eğimine dikkat edilmiş ve her 6 m de 5 cm dolayında eğim verilmiştir.

Ana ısıtma merkezi, tavuk çiftliğinin arka kısmında bulunan 4 m²lik boş odaya yerleştirilmiştir. Bu çiftlikte kullanım amacına uygun olarak, sera ve tavuk çiftliğinin ısıtmasında ihtiyaçlara cevap verebilecek tüm sistem mevcuttur. Ana ısıtma merkezinde iç ortam sıcaklıklarının ve elektrik sarfiyatının dijital olarak gözlendiği kontrol paneli, biyogaz reaktöründen elde edilen ve daha sonra gazometrede toplanan gazın ısı ihtiyacı olan yerde yakılması için bir gaz brülörü ile kombi mevcuttur. Gaz brülörü olarak ALG7-36/2 serisi brülör kullanılmıştır. Brülörün kapasitesi minimum 3 m³/saat ve maksimum 6.7 m³/saattir. Brülörün ısı gücü ise 29.1 ile 64.5 kW arasında değişmektedir. Kombi olarak Aktes firması tarafından üretilen ve ısı kapasitesi 180.000 kcal/saat olan gaz ve sıvı yakıtlı kullanılabilen kombi seçilmiştir (Şekil 8 ve 9).



Şekil 8. Ana Isı Merkezinde Kombi ve Brülör



Şekil 9. Ana Isı Merkezinde Kombiden Seraya Sıcak Su Dağıtım Hattı

Sistemde 35*10 m ölçülerinde 350 m² lik iki adet sera mevcuttur. Seraların ısı ihtiyacı hesaplanmış ve bu ısı ihtiyacını karşılamak için her bir seraya 14 adet PKK 600 panel radyatör yerleştirilmiştir. Seralar 90/70 °C sıcak sulu sistem ile ısıtılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Sera ve Sera İçerisindeki Isıtma Sistemini

DENEYLERİN YAPILMASI VE DENEYLER ESNASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Toprak kaynaklı ısı pompası destekli biyogaz reaktöründe deneylere 16.02.2005 tarihinde başlanmış ve ölçümler günlük olarak her yarım saat aralıklarla alınmıştır. Biyogaz reaktörüne gübre koyma işlemine 20.02.2005 tarihinde başlanmış ve bu tarihte 2 ton sığır gübresine %10 oranında (200 litre) su ilave edilerek reaktöre boşaltılmıştır. Reaktörde bulunan gübresu karışımına 21.02.2005 tarihinde 1/30 oranında (70 kg) aşılama malzemesi ilave edilmiştir. Aşılama malzemesi olarak fermantasyona uğramış ve dolayısıyla bünyesinde bakteri barındıran gübre seçilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi 27.02.2005 tarihinde çalıştırılmaya başlanmış ve ölçümlerine bu tarihten itibaren her gün devam edilmiştir. İlk olarak reaktör boş iken ölçümler yapılmış daha sonra reaktör içerisine gübre-su karışımı ilave edildikten sonra ölçümlere devam edilmiş ve son olarak toprak kaynaklı ısı pompasının çalıştırılması ile sistemde tüm ölçümler gerçekleştirilmiştir. Seraların her ikisine de salatalık fidesi ekilmiştir. 1000 adet fide bir seraya diğer geriye kalan 500 adet fide de diğer seraya olmak üzere toplam 1500 adet salatalık fidesi ekilmiştir.

Biyogaz reaktöründe, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde ve serada deneyler gün boyu sürecek şekilde yapılmıştır. Deneyler süresince toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, biyogaz reaktöründeki gübre-su karışımının fermantasyon sürecinin sağlanması için gerekli olan 36 °C optimum sabit sıcaklığın elde edilmesi için gerekli olan anlarda çalıştırılmıştır. 30 °C-36 °C arasındaki sıcaklığı sürekli sağlamak için Şekil 3'de görüldüğü üzere tavuk çiftliğinin biyogaz reaktörüne yakın olan yan duvarına monte edilmiş pano üzerindeki dijital termometre ile hem kompresöre hem de sirkülasyon pompasına kumanda edilmiştir. Toprak kaynaklı buharlaştırıcıda karlanma olmaması için sirkülasyon pompası sürekli çalıştırılmış ancak reaktör iç ortam sıcaklığı 36 °C'nin üzerine çıktığı zaman kompresör

otomatik olarak devreden çıkarılmıştır. Biyogaz reaktörünün içerisine daldırılan ısı çiftleriyle reaktör içerisinin sıcaklığı sürekli kontrol edilmekte ve panoya yerleştirilen dijital termometrede sıcaklık okunmaktadır.

Deneysel veriler 30'ar dakikalık aralıklarla alınmıştır. Deneylerde aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

- Sıcaklık ölçümü
- Debi ölçümü
- Basınç ölçümü
- Güç ölçümü
- Gaz ölçümü
- PH ölçümü

Sıcaklık Ölçümü

Deney setinin çeşitli noktalarına yerleştirilen T tipi (Cu-Co) ısı çiftleri yardımıyla her 30'ar dakikalık zaman aralıklarında sıcaklıklar ölçülmüştür. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan, salamura sıcaklıkları ile birlikte dış ortam sıcaklığı, biyogaz reaktörünün ve seranın iç ortam sıcaklıkları da ölçülmüştür. Isıl çiftler, korozyon nedeniyle hatalı ölçüm yapma ihtimaline karşı vernik ile izole edilmiştir.

Dış Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü

Dış ortam hava sıcaklığını ölçmek amacıyla bir ısı çifti, tavuk çiftliğinin dış duvarına güneş ışınımını direkt görmeyecek şekilde yerleştirilmiş ve dış ortam hava sıcaklığındaki değişimler yarımşar saatlik aralıklarla ölçülmüştür.

İç Ortam Sıcaklığının Ölçümü

Biyogaz reaktörünün içerisine daldırılmış olan 2.5 m uzunluğundaki ısı çifti yardımıyla reaktör içerisindeki sıcaklık sürekli kontrol edilmiştir. Tavuk çiftliğinin biyogaz reaktörüne bakan kısmının yan duvarına monte edilmiş bir kontrol panelinde, sıcaklık dijital termometreden okunabilmektedir. Sera içerisindeki iç ortam sıcaklığı da seranın uygun bir yerine monte edilen termometre yardımıyla ölçülmüştür.

Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri

Kompresörün çıkış ve emme borusuna, toprak hattı devresinin bağlandığı toprak kaynaklı buharlaştırıcıya R22 giriş ve çıkış borusu üzerine yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla sıcaklıklar ölçülerek kaydedilmiştir.

Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Sıcaklık Ölçümleri

Toprak hattından gelen salamuranın toprak kaynaklı buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıkları giriş ve çıkış borusuna yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla ölçülmüştür.

Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Debi Ölçümleri

Toprak altı ısı değiştirgeci devresinin bağlandığı toprak kaynaklı buharlaştırıcının hemen yanına su geliş hattı üzerine olmak üzere bir adet su sayacı yerleştirilmiştir. Sayacın giriş ve çıkışına birer adet vana takılarak kronometre yardımıyla debi ayarlamaları yapılmıştır.

Sistemdeki Basınç Ölçümü

Bir adet kompresörün çıkış borusu üzerinde, bir adet kompresörün giriş borusu üzerinde, birer adet toprak kaynaklı buharlaştırıcının R22 giriş ve çıkış borusu üzerinde, biyogaz reaktörünün gaz çıkış borusu üzerinde, birer adet gazometre giriş ve çıkış üzerinde ve bir adette brülöre giriş borusu üzerinde olmak üzere sistemde sekiz ayrı noktada basınç ölçümleri yapılmıştır.

Sistemde Harcanan Gücün Ölçümü

Sistemde harcanan toplam elektrik enerjisini ölçmek için enerji besleme hattı üzerine bir adet Wattmetre konulmuş ve her yarım saatte bir diğer deney sonuçları ile birlikte Watt cinsinden harcanan elektrik enerjisi kaydedilmiştir.

Reaktörde Oluşan Biyogazın Ölçümü

Biyogaz reaktöründe gübre-su karışımının fermantasyonu sonucu oluşan biyogaz; reaktör çıkışına,

gazametre giriş ve çıkışına, ana ısı merkezindeki brülör girişine yerleştirilen gaz sayacı ile günlük olarak üretilen, depolanan ve tüketilen gaz miktarı ölçülmüştür. Gaz analiz cihazı ile yapılan ölçümlerde de oluşan biyogazın ortalama %65 metan gazı içerdiği tespit edilmiştir.

pH Ölçümü

Biyogaz reaktöründe sürekli PH kontrolü yapılmış ve pH aralığı 6.6-7.5 arasında tutulmaya çalışılmıştır. pH değerinin 6.2'ye düşmesi bakteri oluşumunu engellediği için sürekli kontrol altında tutulmuştur.

Isı Pompası Sisteminin Performans Analizi

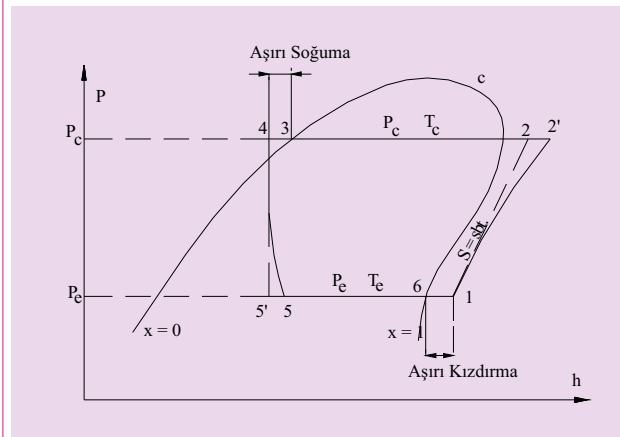
Soğutucu akışkanın kütleli debisi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_f = \frac{\eta_v \cdot V_s \cdot S_d}{v_{öz} \cdot 60} \quad (1)$$

Burada; \dot{m}_f : Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s], V_s : Kompresörün strok hacmi [m^3/dev], η_v : Kompresörün hacimsel verimi, S_d : Kompresörün devir sayısı [dev/dak], $v_{öz}$: Kompresörün girişinde soğutucu akışkanın özgül hacmi [m^3/kg] olarak tanımlanmıştır.

Isı pompasının yoğunlaştırıcısından alınan ısı miktarı;

$$Q_c = \dot{m}_f (h_2' - h_4) \quad (2)$$



Şekil 11. Isı Pompasının P-H Diyagramı

Isı pompasının çevrim hesabında Şekil 11 'de verilen diyagram esas alınmıştır. Bu ısı pompası çevriminde 1-2' tersinir olmayan adyabatik sıkıştırma, 1-2 tersinir adyabatik sıkıştırma, 2-4 sabit basınçta yoğuşma, 4-5' sabit entalpide genleşme, 4-5 sabit olmayan entalpide genleşme ve 5-1 sabit basınçta buharlaşmayı göstermektedir. Ayrıca diyagram üzerinde 3-4 arası aşırı soğuma ve 6-1 arası aşırı kızdırma olmaktadır.

Isı pompası buharlaştırıcısının çektiği ısı miktarı;

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f (h_6 - h_5) \quad (3)$$

Isı pompası kompresörüne verilen güç;

$$\dot{W}_{komp} = \frac{\dot{m}_f (h_2 - h_1)}{\eta_m} \quad (4)$$

Tüm sistemin performans katsayısı;

$$COP_{sis} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{sis}} \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

Burada

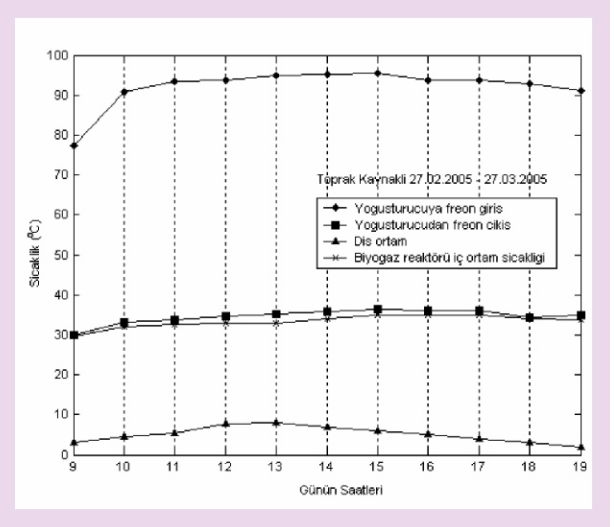
$$\dot{W}_{sis} = \dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fanlar} + \dot{W}_{sp} \text{ 'dir.}$$

Burada; \dot{Q}_c : Yoğuşturucunun verdiği ısı [kW], h_2 : akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi [kJ/kg], h_1 : Akışkanın yoğuşturucu çıkışındaki entalpisi [kJ/kg], \dot{Q}_c : Buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı [kW], h_6 : Akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi [kJ/kg], h_5 : Akışkanın buharlaştırıcı girişindeki entalpisi [kJ/kg], \dot{W}_{komp} : Kompresöre verilen güç [kW], η_m : Kompresörün mekanik verimi, \dot{W}_{sis} : Sisteme verilen toplam güç [kW], \dot{W}_{sp} : Sirkülasyon pompalarına verilen güç [kW] olarak tanımlanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

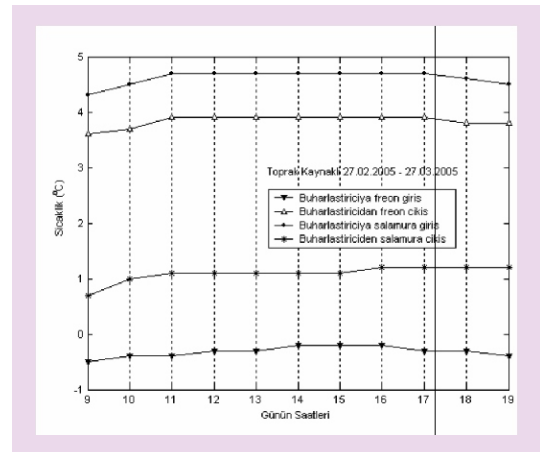
Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için 27 Şubat - 27 Mart 2005 tarihine ait yapılan deneylerde Yoğuşturucuya R22 giriş ve çıkış sıcaklıkları ile dış ortam ve biyogaz reaktörü iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri Şekil 12'de verilmiştir. Görüldüğü üzere R22

yoğuşturucuya 77 °C ile 95 °C arasında girmekte ve 30 °C ile 35 °C arasında çıkmaktadır. Dış ortam sıcaklığı öğlen saatlerinde 8 °C olurken saat 19.00'da 2 °C'ye düşmüştür. Biyogaz reaktörü iç ortam sıcaklığı ise deneylerin yapıldığı saatler arasında 30 °C ile 35 °C arasında değişmektedir (Şekil 12).



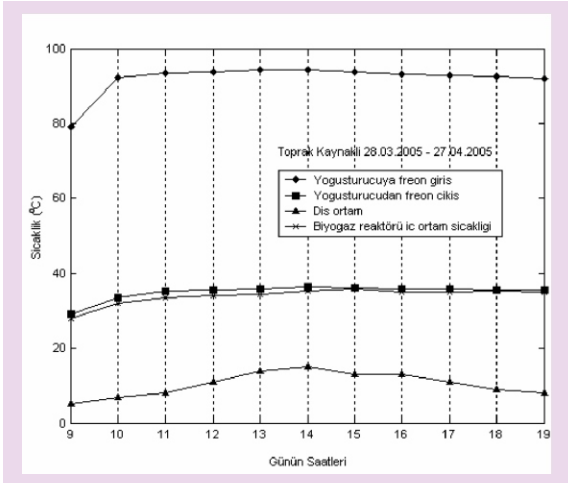
Şekil 12. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi

Buharlaştırıcıya R22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla -0.5 °C ile -0.8 °C arasında ve 3.5 °C ile 3.8 °C arasında değişmektedir. Buharlaştırıcıya salamura giriş sıcaklığının 4.3 °C ile 4.8 °C arasında ve salamura çıkış sıcaklığının 0.8 °C ile 1.2 °C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi

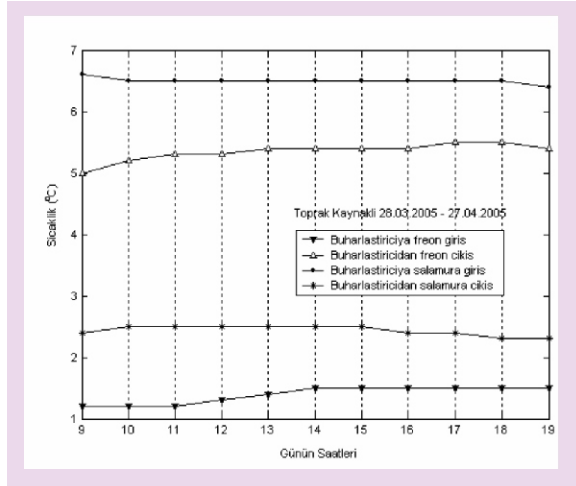
28 Mart - 27 Nisan 2005 tarihine ait toprak kaynaklı ısı pompası için yoğusturucuya R22 giriş ve çıkış sıcaklıkları, dış ortam ve biyogaz reaktörü iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri Şekil 14'de verilmiştir. Görüldüğü gibi R22'nin yoğusturucuya giriş sıcaklığı sabah saat 9.00'da 80 °C iken, 10.00 ve 19.00 saatleri arasında giriş sıcaklığı 90 °C ile 100 °C değerleri arasında değişim göstermiştir. Dış ortam sıcaklığı sabah saatlerinde 4 °C civarında ve öğlen saatlerinde 13 °C civarında olmaktadır. Biyogaz reaktörü iç ortam sıcaklığının ise deneylerin yapıldığı sabah saatlerinde 28 °C dolaylarında olduğu gözlenmiş ve birkaç saat sonra



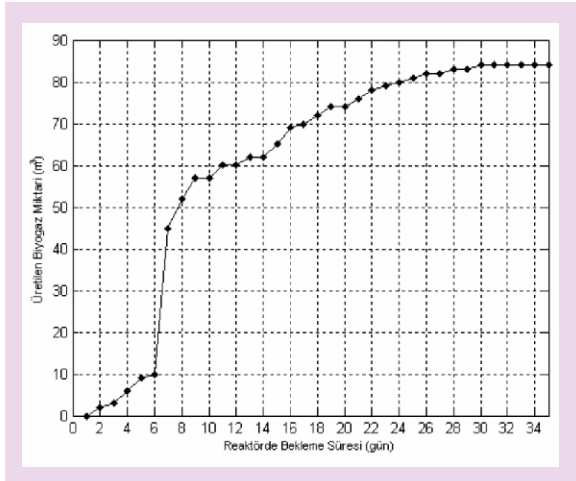
Şekil 14. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi

30 °C ile 35 °C arasında değiştiği gözlenmiştir (Şekil 14). Buharlaştırıcıya R22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 1.2 °C ile 1.5 °C arasında ve 5 °C ile 5.5 °C arasında değişmektedir. Buharlaştırıcıya salamura giriş sıcaklığının 6.3 °C ile 6.5 °C arasında ve salamura çıkış sıcaklığının 2.2 °C ile 2.5 °C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 15). Şekil 15'den görüldüğü üzere buharlaştırıcıya salamura giriş ve çıkış sıcaklıklarında fazla bir yükselme ve alçalma olmadığı anlaşılmaktadır.

Şekil 16'da bekletme süresine göre reaktör içerisinde gübre-su karışımından elde edilen biyogaz miktarının değişimi verilmiştir. Şekil 15'de görüldüğü üzere ilk gün reaktörde biyogaz oluşumu gözlenmemiştir. İkinci



Şekil 15. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi

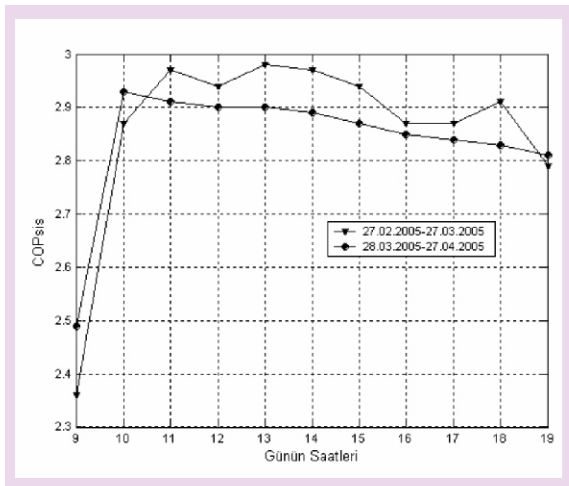


Şekil 16. Bekletilme Süresine Göre Üretilen Biyogaz Miktarının Değişimi

günden itibaren gaz oluşumu başlamış ve altıncı gün sonuna kadar gaz oluşumu çok az da olsa artmaya başlamıştır. 21.02.2005 ile 27.02.2005 tarihleri arasında reaktör içerisindeki sıcaklığı gübre-su karışımının kendi sıcaklığı ile sağlanmıştır. Bu tarihler arasında reaktör iç ortam sıcaklığının yapılan ölçümlere göre 8 °C ile 12 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Reaktör içerisine gübre-su karışımını koymadan önce reaktör iç ortam sıcaklığının da yaklaşık olarak 4 °C ile 6 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Gübre-su karışımını reaktör içerisine koymadan önce reaktörde gaz oluşuma rastlanmamıştır. Gözlemlere göre 8 °C'nin altında gaz oluşumu olmamaktadır. Altıncı günün sonunda

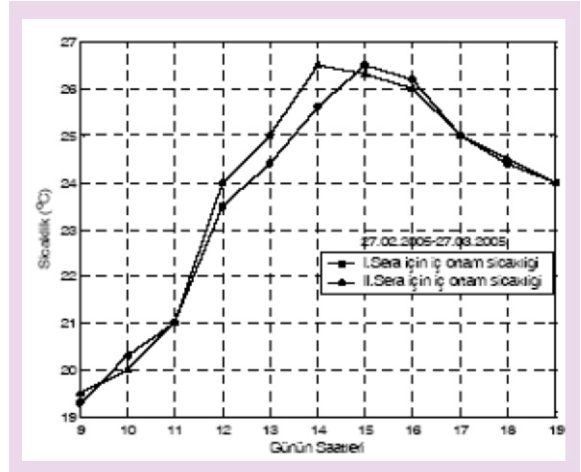
reaktörde oluşan gaz 30 m³ olarak ölçülmüştür. Şekil 16'da anlaşıldığı üzere reaktör içerisinde oluşan gaz miktarında yedinci günden itibaren ciddi bir artış başlamış ve yedinci gün oluşan gaz miktarı 45 m³ olarak ölçülmüştür. 7. gün ile 27. gün arasında gaz oluşumu artan bir eğimle değişmektedir. Reaktörde üretilen gaz 28. günden itibaren maksimum seviyeye ulaşmış ve 35. güne kadar yatay bir şekilde gaz oluşumu devam etmiştir. 2 ton sıgır gübresi için 35 günlük bekleme süresi içerisinde reaktörde oluşan toplam gaz miktarı 2137 m³ olarak ölçülmüştür. Bu da 2 ton sıgır gübresinden günde ortalama olarak 61 m³ biyogaz gaz elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Elde edilen biyogazın %65'i metan olduğuna göre günde yaklaşık olarak 40 m³ metan gazı elde edilmiştir. 35 günlük bekleme süresi, 34 °C sabit sıcaklık ve 6.8 pH değerlerinde günlük olarak yaklaşık 0.0305 m³-gaz/kg-organik atık elde edilmiştir.

Şekil 17'de deneylerin yapıldığı 27.02.2005 - 27.03.2005 ve 28.03.2005 - 27.04.2005 tarihleri arasındaki birer aylık süre içerisinde toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma performans katsayısının günün saatlerine göre ortalama değişimi verilmiştir. Şekil 17'de görüldüğü üzere toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için 27.02.2005 ile 27.03.2005 tarihleri arasında COP_{sis} değişiminin saat 09.00'da daha düşük olduğu ve öğlen saatlerine doğru yükseldiği gözlenmiştir. COP_{sis} değeri deneylerin yapıldığı bu ay için en yüksek 2.98 ve

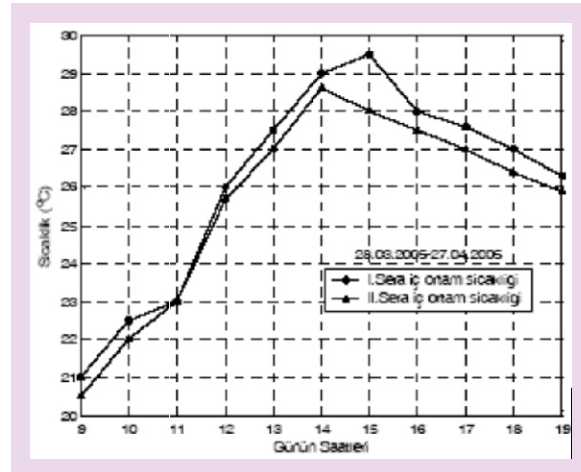


Şekil 17. Deneylerin Yapıldığı Aylarda Günün Saatlerine Göre COP_{sis} Değişimi

en düşük 2.36 değerlerini almıştır. 28.03.2005 27.04.2005 tarihleri arasında ise COP_{sis} değişimi diğer aya göre daha düşük çıkmıştır. Deneylerin yapıldığı bu tarihler içerisinde COP_{sis} 2.49 ile 2.93 değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 18. 27.02.2005-27.03.2005 Tarihleri Arasında Günün Saatlerine Göre Sera İç Ortam Sıcaklıklarının Ortalama Değişimi



Şekil 19. 28.03.2005-27.04.2005 Tarihleri Arasında Günün Saatlerine Göre Sera İç Ortam Sıcaklıklarının Ortalama Değişimi

Şekil 18'de 27.02.2005 ile 27.03.2005 tarihleri arasında bir aylık süre içerisindeki sera iç ortam sıcaklıklarının değişimi her iki sera için verilmiştir. Sera iç ortam sıcaklığı sabah saat 09.00 ile 12.00 arası 19.5 °C ile 24 °C arasında değişmekte ve saat 12.00'den akşam saat 19.00'a kadar olan süre içerisinde sıcaklık değeri 24 °C'nin altına düşmemektedir.

Şekil 19'da 28.03.2005 ile 27.04.2005 tarihleri arasındaki süre içerisinde her iki sera için iç ortam sıcaklıklarının değişimi verilmiştir. Şekil 19'da görüldüğü üzere sabah saat 09.00 ile 11.00 arasında her iki sera için iç ortam sıcaklığı 20.5 °C ile 23 °C arasında değişim göstermekte ve öğlen saat 12.00'de iç ortam sıcaklığı 26 °C dolaylarında olmuştur. Akşam saat 19.00'da iç ortam sıcaklığının en düşük 25.8 °C olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışmada her biri 350 m² olan iki adet seranın ısıtılması için gerekli olan ısı ihtiyacının biyogaz reaktöründen karşılanması amaçlanmıştır. Biyogaz reaktöründe gübre-su karışımının fermentasyonu için gerekli olan 36 °C sabit sıcaklık toprak kaynaklı ısı pompası ile sağlanmaya çalışılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Reaktör iç ortam sıcaklığı dijital termometre ile kontrol edilerek sürekli 30-36 °C arasında sabit tutulmuştur. Biyogaz reaktöründe oluşan metan gazı ana ısıtma merkezindeki brülöre gönderilmiş ve kombide yakılarak tesisatta dolaşan su ısıtılmıştır. Seraların birine 1000 adet diğerine ise 500 adet salatalık fidesi ekilmiştir. Salatalığın yetişmesi için gerekli olan sera iç ortam sıcaklığı 24 °C dolaylarında kabul edilmektedir ve bu iç ortam sıcaklığı sağlanmaya çalışılmıştır. Seraların ısıtılması için saatte yaklaşık olarak 4 m³ metan gazı yakılmıştır. Salatalıklar fidelerin ekilmesinden yaklaşık 35 gün sonra ürün vermeye başlamış ve günde yaklaşık olarak 160 kg civarında salatalık toplanmıştır.

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, ısı ihtiyacının karşılanması bakımından oldukça etkin bir sistem olduğu görülmüştür. Biyogaz reaktöründe organik malzemelerin fermentasyonu için gerekli olan sabit sıcaklık toprak kaynaklı ısı pompası ile sağlanılmıştır. Elde edilen gaz, farklı ortamları ısıtmak için kullanılabilir. Biyogaz reaktörünün ısı ve su yalıtımı yapılmalı ve bu konuya önem verilmelidir. Biyogaz reaktörü ısı pompası sistemi ile desteklenecekse, ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısının dış ortamda bırakılmaması tavsiye

edilir. Biyogaz reaktörünün ısı ihtiyacı; güneş enerjisi destekli ısı pompası, hava kaynaklı ısı pompası ve çoklu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kullanılmasıyla daha etkili bir şekilde sağlanabilir. Güneş enerjisi sisteminin kullanılmasıyla kolektörde ısınan sıcak su, boylerde depolanarak hem biyogaz reaktörünün ısı ihtiyacını karşılamada kullanılabilir hem de kombin su girişine yönlendirilerek ısıtılacak ortama gönderilecek olan tesisat suyu daha az yakıt ile ısıtılmış olacaktır. Literatürde ısı pompası ile desteklenmiş biyogaz reaktörü konusunda çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle çalışma pek çok yeniliğe açık olmasından dolayı ilgi çekicidir.

KAYNAKÇA

1. **Hepbaşlı, A., Ertöz, A.**, 1999, Geleceğin Teknolojisi; Yer Kaynaklı Isı Pompaları, Makina Mühendisleri Odası Teskon Program Bildirileri, s. 445-492.
2. **Franck P., and Berntsson T.**, 1985, Ground-Coupled Heat Pumps with Low-Temperature Heat Storage; Same Swedish Experiences, Ashrae Transactions, Part 2b, Vol. 91, pp: 1285-1296.
3. **Kavanaugh, S.P.**, 1992, Field Test of Vertical Ground-Coupled Heat Pump in Alabama, Ashrae Transactions, Vol.92(2), pp.607-616
4. **Bi, Y.J., Chen, L.J., Wu, C.**, 2002, Ground Heat Exchanger Temperature Distribution Analysis and Experimental Verification, Applied Thermal Engineering, Vol.22, No.2, pp.183-189.
5. **Omer A.M. and Fadalla Y.**, 2003, Biogas Energy Technology in Sudan, Renewable Energy, Vol. 28, pp. 499-507.
6. **Axaopoulos P., Pnagakis P.**, 2003, Energy and Economic Analysis of Biogas Heated Livestock Buildings, Biomass and Bioenergy, Vol. 24, pp. 239-248.
7. **Park D.Y.**, 1981, Kore'de Biyogaz ile İlgili Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları, Uluslararası Biyogaz Semineri, Ankara.
8. **Beba A.**, 1981, Biyogaz Sistemlerinde Güneş Enerjisinden Yararlanma İmkanları, Uluslararası Biyogaz Semineri, Ankara.