

FARKLI TİPTEKİ KOLEKTÖRLERİN ENERJİ, EKSERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara,
mbozdemir@gazi.edu.tr

Mehmet Mustafa YATARKALKMAZ

Türk Standardları Enstitüsü, Ankara,
myatar@tse.org.tr

ÖZET

Bu çalışmada düz plaka kolektör ve vakum tüp kolektörler güneş takibi yapan sistemlerde test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kolektörlerin anlık verimleri ve akışkana aktardıkları enerji miktarları mukayese edilmiştir. Çıkan sonuçlar neticesinde sistemlerin ekserjileri ve ekserji verimleri kıyaslanmıştır. Vakum tüplü ve düz plakalı kolektör sistemlerinin ekonomik analizleri fayda/masraf oranı yöntemiyle karşılaştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar çerçevesinde önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Düz plaka kolektör, Vakum tüp kolektör, Enerji, Verim, Ekserji, Ekonomik analzi

ENERGY, EXERGY AND ECONOMIC ANALYSIS FOR DIFFERENT TYPES SOLAR COLLECTORS

ABSTRACT

In this study, the flat plate collector and vacuum tube collectors were tested in the solar tracking system. As a result of the experiments, instantaneous efficiency of the collectors and the amount of energy which transfer fluid were compared. Exergy of the system and exergy efficiency were contrasted in consequence of the conclusions. Economic analysis of the vacuum tube and flat-plate collector systems were compared by cost benefit ratio method, then proposals were made within frame of analyses.

Keywords: *Solar Energy, Flat plate collector, Evacuated tube collector, Energy, Efficiency, Exergy, Economic analysis*

1. GİRİŞ

Artan nüfusla ve sanayileşmeyle beraber her geçen gün enerji talebi artmaktadır. Dünya ve ülkemizin nüfusu sürekli artarken 2012 yılında yaklaşık 7 milyar olan dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyar olması beklenmektedir. 2012 yılı verilerine göre geneli Asya ve Afrika ülkelerinde yaşayan 1,3 milyar insana elektrik hala ulaşmamışken 2040 yılında artan taleple beraber bu sayının artacağı ve enerji talebinin karşılanamayacağı öngörülmektedir [1]. Nüfus artışına ek olarak sanayileşme ve hızlı kentleşme enerji talebini büyük ölçüde artırmaktadır. Mevcut enerji talebinin çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanırken öngörülen senaryolarda enerji talebinin 2040 yılında yaklaşık %75,8'inin fosil kaynaklardan sağlanacağı, bunun yanında enerji talebinin diğer kaynaklara göre karşılanma yüzdeleri biyoenerji %8,7 iken diğer yenilenebilir kaynaklar için %7,7, nükleer için %5,4, hidrolik için ise %2,8'dir [2]. Fosil kaynak rezervlerinin sınırlı ve tükenir olmasından ve artan enerji talebinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkartılmaktadır.

Ülkemiz fosil kaynaklar bakımından (kömür hariç) fakir olmasından dolayı enerjide dışa bağımlılığımız söz konusudur. Hem dışa bağımlılığı hem de karbon salınımını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkartılmaktadır. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklar açısından rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli ön plana çıkmaktadır. Gerek güneşlenme süreleri gerekse ülkemizin güneyinin güneşlenme potansiyelinden dolayı güneş enerjisi ülkemiz açısından önem arz etmektedir.

Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri toplam güneş radyasyonu açısından diğer bölgelere nazaran daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu bölgeler yüksek sıcaklık uygulamaları ve elektrik üretimi açısından yüksek potansiyele sahiptir. İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri orta sıcaklık uygulamaları açısından daha uygundur. Bu bölgeler elektrik üretilmesi açısından uygun güneş radyasyonuna sahip değildir.

Yapılan çalışmaya benzer bir çalışmada, düzlemsel kolektörlerde su dolaşım miktarının, depo suyu sıcaklıklarına ve verime olan etkisi Değirmenci tarafından yapılan deneylerde incelenmiştir. Deneyler esnasında kolektördeki su debisi artırıldığında, verimin teorik olarak artmasına rağmen suyun

depolanma sıcaklıkları düşmüştür. Deneylerde su dolaşım miktarı, 28,88 kg/h ile 90 kg/h aralığında değiştirilmiştir. Deneylerde 8 mm bakır borulu ve 3,6 litre kapasiteli düzlemsel kolektör kullanılmıştır. Yapılan deneylerde en uygun su dolaşım miktarı 28,88 kg/h ile 39,6 kg/h aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu aralıktaki su dolaşım miktarına göre verim aralığı %76-%88, depolanan suyun sıcaklığı 44⁰C-38⁰C olarak tespit edilmiştir [3].

Dünder, vakum tüp güneş kolektörleri ile farklı tipteki düzlemsel kolektörler, performans ve verimlerini ayrı ayrı araştırmıştır. Yapılan çalışmada, vakum tüp kolektörler ile eşit alan yüzeyine sahip ahşap ve cam kasalı düzlemsel kolektörler üretilerek aynı deney düzeneği üzerinde ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde vakum tüplü kolektörlerin verim ve performans olarak diğer sistemlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler esnasında diğer sistemlerin düşük ışınım şiddetinde çalışmadığı gözlemlenirken vakum tüpün düşük ışınım şiddetlerinde çalıştığı görülmüştür. Bundan dolayı da vakum tüplü kolektörlerin her mevsim kullanılabileceği ve düşük sıcaklıklarda antifriz gerekeceği sonucuna ulaşılmıştır [4].

Taze, tarafından yapılan çalışmada düzlemsel kolektör verimine etki eden üç parametrenin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Boru geçiş sayısı, boru malzemesi ve boru-yutucu plaka birleşim yönteminin verim üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için dış ortam şartlarına uygun bir deney düzeneği kurulmuştur. Yapılan deneylerde beş farklı kolektör kullanılmış ve verime etkileri kayıt altına alınmıştır. Deneyler sonucunda boru geçiş sayısı artırıldığı zaman verimin %20 arttığı belirlenmiştir. Boru malzemesinde alüminyum yerine ısı iletim katsayısı daha yüksek bir malzeme kullanıldığında verimdeki değişimin %2'den fazla olmadığı görülmüştür. Kenetleme birleşimine sahip kolektörlerin veriminin, lazer kaynaklı birleşimli olanlara göre % 10 daha az olduğu belirlenmiştir [5].

Köse, düzlemsel kolektörlerin verimlerinin artırılması için çalışma yapmıştır. Verimliliğin artırılması için kolektör boruları içerisine ısı transferi artırıcı kıvrımlı şeritler eklenmiştir. Eklenen şeritler yardımıyla verim artışı ve basınç kayıpları deneysel olarak test edilmiştir. Yapılan deneylerde bir standart bir de şeritler eklenmiş kolektör olmak üzere iki adet kolektör kullanılmıştır. İki kolektör hem laboratuvar ortamında güneş simülatöründe hem de dış ortamda

test edilmiştir. Verim eğrileri incelendiğinde şerit kullanılan güneş kolektörlerinin veriminin, standart kolektörlere göre %15 daha fazla olduğu tespit edilmiştir [6].

Furbo ve diğerleri, Arcon Solvarme A / S güneş ısıtma tesisleri için iki düz plaka güneş kolektörünü Danimarka Teknik Üniversitesi'nde güneş kolektörleri için yapılan test laboratuvarında test etmişlerdir. Test edilen iki kolektör de aynı şekilde tasarlanmıştır. Kolektörlerin birinde soğurucu ile cam yüzey arasında ETFE folyo koyulurken, diğer kolektörde soğurucu ile cam yüzey arasına herhangi bir madde koyulmamıştır. Kolektörlerin verimleri farklı akış hızlarında test edilmiştir. Ölçülen verimler neticesinde, kolektörlerin verimleri akışın bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda hesap edilen verim ile ölçülen verim arasında çok büyük farklar ortaya çıkmamıştır [7].

Maldonado ve diğerleri, güneş enerjili su ısıtıcıların tasarımını, yapısını ve anlık verimini incelemişlerdir. Çalışmada, kolektörün enerji dengesine dayalı bir termal analiz geliştirmişlerdir. Kolektörün geometrisi ve boyutları termal analiz sonuçları ve kolektörün yapımında kullanılan malzemelerin termik özellikleri tarafından belirlenmiştir. Güneş kolektörü boyutu 100 litrelik bir depolama tankı ile beraber 1,4 m² olarak bulunmuştur. Kolektörün ulaştığı en yüksek sıcaklık 55⁰C olarak ölçülürken, bu sıcaklık geceleri 47,6 ⁰C'ye düşmüştür. Deneyler sonucunda kolektörün debisi 0,0038 ile 0,04 kg/s aralığında, ortalama verimi ise %30,2 olarak ölçülmüştür [8].

Ersöz ve Yıldız, boru çapları 16, 22 ve 28 mm olan vakum tüp güneş kolektörleri ürettirmişlerdir. Kolektörlerde akışkan olarak etanol, ısıtılan akışkan olarak da hava kullanılmıştır. Ürettirilen kolektörler beş gün süreyle Uşak'ta eş zamanlı olarak deneye tabi tutulmuştur. Deneylerde hava giriş ve çıkış sıcaklığı ile güneş ışınım şiddetleri ölçülmüştür. Ölçümler sabah 09:30'da başlayıp 17:30'a kadar beşer dakikalık arayla veriler kaydedilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda verimler ve boru çaplarının verime etkisi değerlendirilmiştir [9].

Wang ve diğerleri yaptıkları çalışmada orta sıcaklık kolektörler olarak vakum tüp güneş kolektörleri kullanmışlardır. Yapılan çalışmayla beraber tüplerin güneş geçirgenliği, sol-jel yöntemi ile biriktirebilecek gözenekli SiO₂

yansıma önleyici kaplama ile 0,94 yükseltilmiştir. Deneydeki vakum tüplerin vakumlanma işlemi 450 °C'de gaz çıkartılması ile yapılmıştır ve buharlaşabilen ve buharlaşamayan gaz gidericilerin kombinasyonlu kullanımı ile muhafaza edilmiştir. Yüzeyleri anti-oksidan ile temizlenen bakır U tüplere güneş ayırıcı tabakadan çalışma sıvısına ısı transfer edebilmek için alüminyum kanatlar kaynatılmıştır. Pürüzsüz alüminyum sacdan imal edilmiş, yüzeyinin güneş yansıtma oranı 0,91 olan bileşik parabolik yoğunlaştırıcı, güneş radyasyonunu yoğunlaştırmak için uygulanmıştır. Yapılan deneylerde, anlık verimlilik 25°C ile 150°C arasında ölçülmüştür ve 150°C'de ve %50,2 termal verimliliğe tekabül eden verimin denklemi $\eta = 0,691 - 0,83T_m - 0,0035GT_m^2$ olarak elde edilmiştir [10].

Dragsted ve diğerleri yazdıkları makalede, meteorolojik referans yılları girdi olarak kullanıldığı zaman ve çok yıllık hava verileri girdi olarak kullanıldığı zaman güneş kolektörlerinin modellenmiş termal performanslarındaki değişikliklerin bir incelemesini sunmuşlardır. İnceleme, 1975-1990 arasındaki periyoda dayanan Danimarka referans yılının kullanmanın, çok yıllık ölçülmüş hava girdilerine nispeten %39'a kadar sapmayla sonuçlanacağını göstermiştir. 2001-2010 arasındaki periyoda dayanan daha yeni yerel referans yılları için azami sapma %25 olmuştur. Yapılan çalışmada, ayrıca küresel radyasyonda bir artışla birlikte kullanım oranında bir artış göstermiştir. Bu, güneş radyasyonunu artırmayla birlikte termal performansı artırmaya ek olarak, güneş radyasyonu kullanımının ayrıca daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir [11].

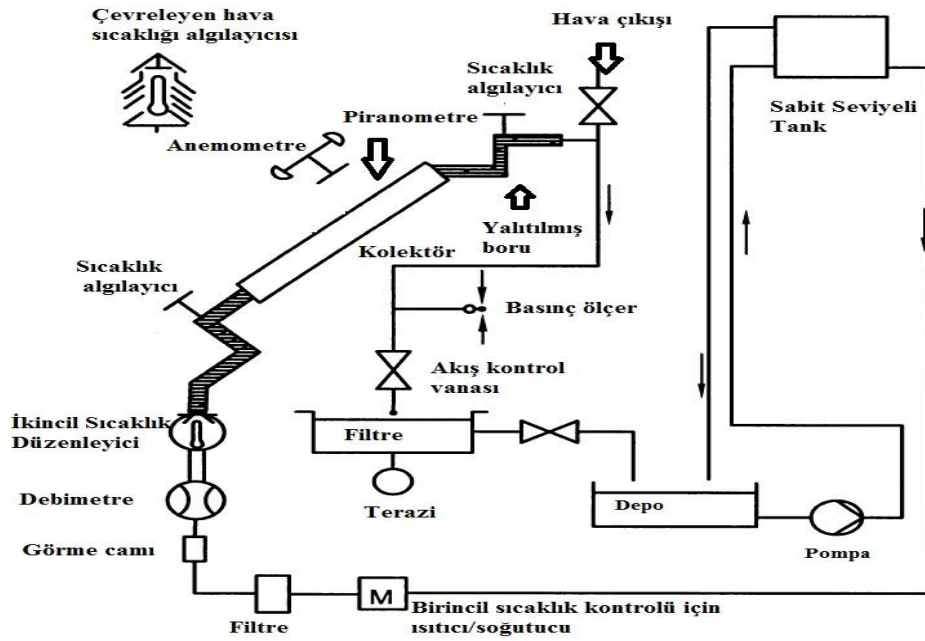
Makhanlall ve Jiang yaptıkları çalışmada yeni geliştirilen bir tekniği termodinamik analize dayanarak incelemişlerdir. İnceleme, nasıl termodinamik 2. kanunu analizinin, soğurucu ve cam kapak arasındaki mesafede sıkıştırılmış havanın su buharı tarafından ikame edildiği FPSC (düz plaka güneş kolektörü) için 1. analiz yaklaşımını tamamlamak için kullanılabileceğini göstermiştir. Analizde, güneş ışınımı, eğim açısı ve farklı yayma değerleriyle soğurucuların kullanımı incelenmiştir [12].

Recalde ve diğerleri Ekvator Andean dağlık bölgesindeki güneş ışınımı faaliyeti altındaki vakum tüp güneş kolektörü içindeki suyun termal performansı üzerine çalışmıştır. Tüplerdeki su sıcaklığı ve tek uçlu tüplerdeki eğilim arasındaki ilişkileri daha iyi ifade etmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın göze çarpan bir özelliği, dağıtıcının içine yerleştirilmiş sıcaklık sensörlerinin kullanımınıdır. Deney sırasında sabahın erken saatlerinden suyun kaynama noktasına kadarki verileri toplamak için veri kaydedici kullanılmıştır. Deney sırasında toplanan veriler, deneyin ilk evrelerindeki daha büyük eğim açıları için su sıcaklıklarının en yüksek değerlerini göstermiştir. Güneş kolektörünün yerinin bir sonucu, güneş ışması için daha büyük etki alanıdır olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, yüzebilirlik yatay tüpler için daha düşük olmasına rağmen su sıcaklığının daha büyük değerlerine neden olmuştur [13].

2. DENEY DÜZENEGİ

Deneylerin yapıldığı deney düzeneği olarak Türk Standardları Enstitüsü'nün Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda bulunan düzenek kullanılmıştır. Deneyler, TS EN ISO 9806:2014 standardına uygun olarak kurulmuş deney standında gerçekleştirilmiştir. Deney standının şematik çizimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği devresi [14]

Deney devresini tamamlayabilmek için ilk olarak kolektör düzeneğe bağlanmıştır. Deney düzeneğinde bulunan piranometre yardımıyla güneş irradyansı ölçülmüştür. Anemometre yardımıyla rüzgâr hızı ölçülüp, termometre yardımıyla ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Sistem çalıştırdıktan sonra depodan alınan su, deney şartına göre direkt ya da ön ısıtıcı tarafından ısıtılarak kolektöre iletilmiştir. Deney başlangıcından itibaren kolektörün giriş kısmında suyun sıcaklığı ve debisi ölçülmüştür ve daha sonra kolektör içinde ısınan su sıcaklığı ve debisi ölçülerek tekrar depoya gönderilmiştir.



Şekil 2. Kolektörün deney düzeneğine bağlanması

Kolektörün su girişinde bulunan ölçüm aletleri yardımıyla, suyun sıcaklığı ve debisi ölçülürken kolektörde ısınan suyun çıkış bölümünde tekrar sıcaklık ve debi ölçülmüştür. Sisteme bağlı olan bilgisayar yardımıyla üç saniyelik aralıklarla sonuçlar alınıp ve kaydedilmiştir. Kaydedilen verilerden faydalanarak verim formülü yardımıyla kolektörün anlık verisi hesaplanmıştır.

Deneylerin standarda uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için giriş sıcaklıkları 20C, 40C, 60C, 80C olacak şekilde deneyler tekrar edilmiştir. Kaydedilen anlık verilerden en yüksek ışınım şiddetine ait olan veriler seçilmiştir.

3. TEORİK ANALİZ

3.1. ENERJİ ANALİZİ

Sisteme aktarılan enerji formül 1. yardımıyla hesaplanırken, kolektörlerin anlık verimleri formül 2. [15] yardımıyla hesaplanır.

$$Q = m * c_p * (T_o - T_i) \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1(T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2(T_m - T_a)^2}{G} \quad (2)$$

3.2. EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji, enerjinin iş yapabilme yeteneğidir. Ekserji analizi yardımıyla sistemlerin ısı kayıplarının miktarının ve niteliğinin belirlenmesine yardımcı olur.

Sistemin ekserji verimliliğini hesaplayabilmek için akışkanın çıkan ve giren ekserjisi arasındaki fark ile güneşten gelen ekserjiden faydalanılır [16].

$$\psi = \dot{m} * c_p * \left(T_o - T_i - T_a * \ln \left(\frac{T_o}{T_i} \right) \right) \quad (3)$$

$$\eta_{2nd} = \frac{\dot{m} * c_p * \left(T_o - T_i - T_a * \ln \left(\frac{T_o}{T_i} \right) \right)}{G * A_c * \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right)} \quad (4)$$

3.3. EKONOMİK ANALİZ

Farklı sistemlerin ekonomik analizi yapabilmek için fayda/masraf oranı yöntemi kullanılır. Sistemin ömrü boyunca sağlayacağı nakit faydanın bugünkü değerinin, sistemin yatırım ve bakım giderleri gibi giderlerin bugünkü değerine fayda/masraf oranı yöntemi denir.

Bu yöntem yardımıyla sistemin ekonomik analizini yapabilmek için birleştirilmiş faiz oranı kullanılır.

$$i_e = (1 + i) * (1 + d) - 1 \quad (5)$$

Hesaplanan birleşik faiz oranı yardımıyla analizi gerçekleştirebilmek için fayda ve masraflar formül 6. yardımıyla bugünkü değeri hesaplanır ve toplam faydalar, toplam masraflara oranlanır.

$$BD = D * 1/(1 + i_e)^n \quad (6)$$

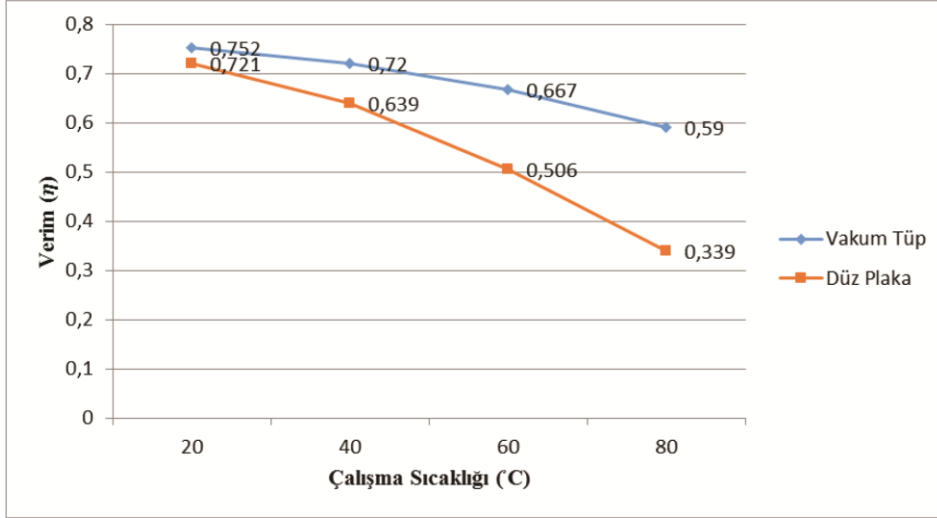
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Düz plaka kolektörlerin deneyleri 09 Eylül 2015-16 Eylül 2015 tarihleri arasında farklı zaman aralıklarında yapılmıştır. Deneyde kullanılan düz plaka kolektörün sıfır ısı kaybı katsayısı 0,738, ısı kaybı katsayısı 3,601 ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı 0,085'dir. Kolektörün boyutları 194x94x10 cm'dir.

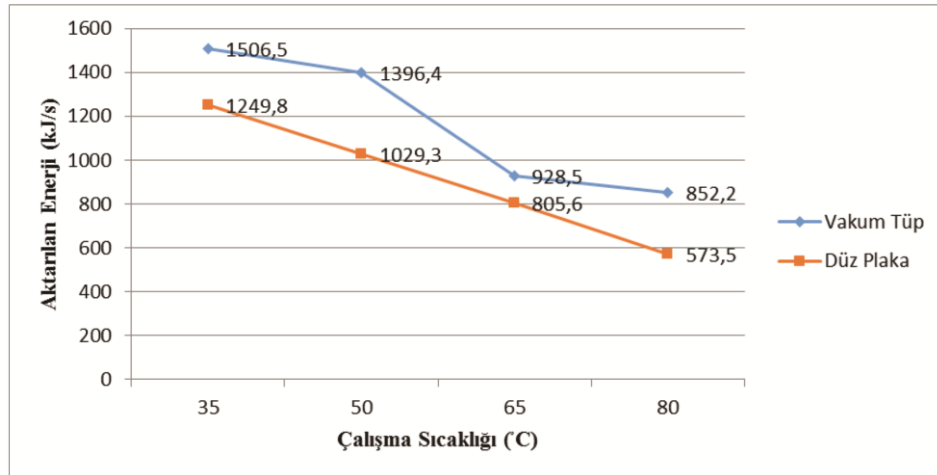
Vakum tüp kolektörlerin deneyleri 01 Eylül 2015-08 Eylül 2015 tarihleri arasında farklı zaman aralıklarında yapılmıştır. Deneyde kullanılan düz plaka kolektörün sıfır ısı kaybı katsayısı 0,752, ısı kaybı katsayısı 1,203 ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı 0,043'dir. Kolektörde 24 adet vakum tüp bulunmaktadır. Kolektörün açıklık alanı 2,686 m² ve soğurucu alanı 2,054 m²'dir.

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 3'de farklı tipteki iki kolektörün verim sonuçlarının kıyaslaması verilmiştir. Deney düzeneği güneş takip eden bir sistem olduğu için deneyler farklı tarihte olmasına rağmen kolektörlerin aldığı güneş ışınımları yaklaşık aynıdır. İki kolektör üzerinde yapılan deney sonucunda artan çalışma sıcaklığı ile beraber kolektörlerin veriminin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca deneyler esnasında değişen çevre sıcaklığının verimi etkilediği gözlenmiştir. Artan çevre sıcaklığı verimi artırırken, çevre sıcaklığının azalması ile kolektör verimleri de düşmektedir. Yapılan deneylerde rüzgâr hızı az olduğu için rüzgârdan kaynaklı kayıplar göz ardı edilmiştir.

4.1. ENERJİ ANALİZ SONUÇLARI



Şekil 3. Kolektörlerin anlık verim kıyaslaması



Şekil 4. Kolektörlerin akışkana aktardığı enerjinin kıyaslanması

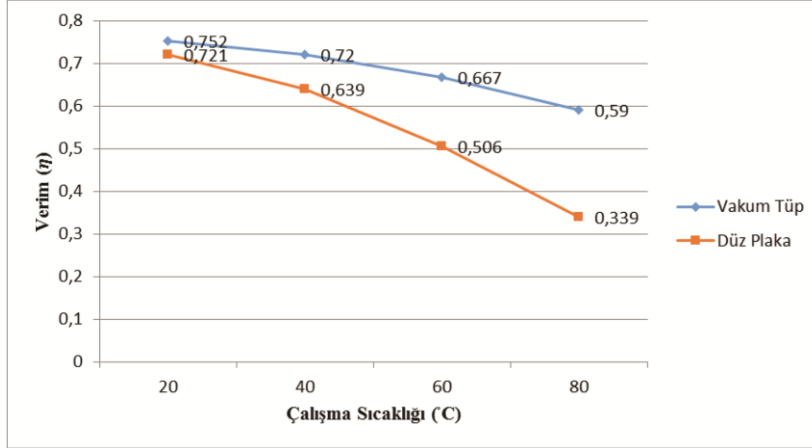
Verim sonuçları dikkate alındığında 30-35 °C gibi düşük sıcaklıklarda iki kolektöründe verimleri yaklaşık birbirine yakındır. Deneylerde artırılan çalışma sıcaklığıyla beraber kolektör verimleri arasındaki fark gittikçe artmıştır. 50 °

C'de gerçekleştirilen deneylerde vakum tüp ve düz plaka kolektör verimleri arasındaki fark çok az iken 80° C'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan verim sonuçları arasındaki fark çok fazladır. Vakum tüp kolektörlerin veriminde, sıcaklık artışına rağmen çok fazla değişim gözlenmezken, düz plaka kolektörlerin veriminde yarı yarıya düşüş gözlenmiştir.

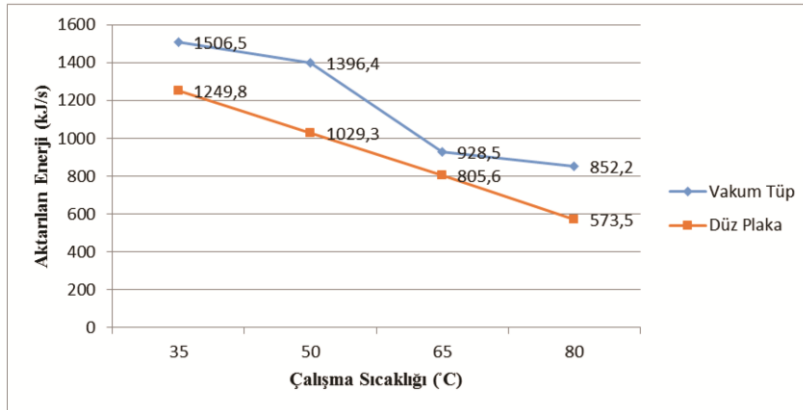
Deneylerin başlangıcında vakum tüp kolektörün veriminin, düzlemsel kolektörlere göre nispeten daha fazla çıkmasının nedeni sıfır ısı kaybı katsayısıdır. Vakum tüplü kolektörün sıfır ısı kaybı katsayısı 0,752 iken, düzlemsel kolektörünki 0,738'dir. Kolektör verim formülünde görüldüğü üzere verim için sıfır ısı kaybı katsayısı önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca kolektörlere özgü olan ısı kaybı katsayısı ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı verim hesaplamalarında önemli bir yere sahiptir. Düz plaka kolektörün ısı kaybı katsayısı ve sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı, vakum tüpüne göre daha yüksek olmasından dolayı düzlemsel kolektörlerin ısı kayıpları daha fazla olmaktadır. Isı kaybını artması nedeniyle kolektör verimi de düşmektedir.

Kolektörler güneş radyasyonunun bir kısmını akışkana aktarırken diğer kısmını kaybetmektedir. Deneyde kullanılan yüksek performanslı düz plaka kolektörün ve vakum tüplü kolektörün akışkana aktardıkları enerji miktarları Şekil 4'te verilmiştir. Vakum tüplü kolektörün veriminin yüksek olmasından dolayı akışkana aktardığı enerji miktarı da fazladır. Ayrıca vakum tüplü kolektörün absorp ettiği enerji çalışma sıcaklığına göre dalgalanma göstermektedir. Düz plaka kolektör ve vakum tüp kolektör arasındaki enerji farkı, 50°C sıcaklıkta normal farktan fazla iken 65°C sıcaklıkta normalden daha azdır. Düz plaka kolektörün sisteme verdiği enerji miktara artan çalışma sıcaklığı ile beraber lineer olarak düşmesine rağmen, vakum tüpte bu düşüş dalgalanma göstermektedir. Bu dalgalanmanın deney esnasında değişen güneş ışınımından kaynaklanabilmektedir. Ayrıca düz plaka kolektörde daha az su kullanılmıştır. Sistemde kullanılan akışkan miktarlarının eşit olduğunu farz edildiğinde akışkana aktarılan enerji miktarları yaklaşık eşit olabilirdi.

4.2. EKSERJİ ANALİZ SONUÇLARI



Şekil 5. Kolektörlerin ekserjilerinin kıyaslanması



Şekil 6. Kolektörlerin ekserji verimlerinin kıyaslanması

Düz plaka kolektör sistemin ekserjisi 60-65°C çalışma sıcaklığına kadar artış göstermektedir. Sonra sistemin ekserjisi düşmektedir. Vakum tüp kolektör sisteminin ekserjisi ise 50°C sıcaklığa kadar hızlı bir artış gösterirken artan çalışma sıcaklığıyla beraber sistemin ekserjisi önce düşmekte daha sonra yükselmektedir. Vakum tüp kolektörlerin en verimli çalışma sıcaklığı 50°C iken, düz plaka kolektörlerin en verimli çalışma sıcaklığı 60-65°C'dir. Ekserji verimleri

kıyaslandığında düz plaka kolektörün ekserji veriminin vakum tüpünkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma sıcaklığı 35°C'den 50°C'ye çıkartıldığında iki tip kolektöründe ekserji verimi artmaktadır. Çalışma sıcaklığı 65°C'ye çıkartıldığı zaman ise düz plaka kolektörün ekserji verimi artarken vakum tüp kolektörün ekserji verimi düşmektedir. Çalışma sıcaklığı 80°C'ye çıkartıldığında ise iki tip kolektörün ekserji verimi de düşmektedir.

4.3. EKONOMİK ANALİZ SONUÇLARI

Farklı tipteki kolektörlerin ekonomik analizinin yapılabilmesi için kolektör sistemlerinin ayrı ayrı tanımlanmıştır. Düzlemsel kolektör ve vakum tüp kolektör için teknik özelliklerini vererek ekonomik analiz yapılmıştır.

Düz plaka kolektör sistemi için ve vakum tüp kolektör sistemi için maliyet analizleri yapılmıştır. Tanımlanan sistemlerde düz plaka kolektör sisteminin fayda/masraf oranı %44,47 iken vakum tüp kolektör sisteminin fayda/masraf oranı %54,64'tür. Düz kolektör sisteminin ömrü 20 yıl iken vakum tüplü sistemlerin ömrü 15 yıldır. Yapılan maliyet analizinde iki sistemde ömürleri 60 yıla eşitlenerek analiz yapılmıştır. Yapılan analiz neticesinde vakum tüp kolektör sistemleri yatırım ve işletme maliyetleri açısından daha uygulanabilir. Vakum tüplü sistemlerin ömürleri daha kısa olmasına rağmen bakım giderleri olmamasından dolayı ve düşük yatırım maliyetinden dolayı uygulanabilir sistemlerdir. Sistemlerin faydaları yaklaşık eşit olmasına rağmen düz plaka kolektör sisteminin masrafları daha fazladır. Bu nedenle de vakum tüplü sistemlerin fayda/masraf oranı daha yüksektir. Bu sistemlerin uygulanabilirliği daha yüksektir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan analizler sonucunda sıcak su uygulamaları için vakum tüp kolektörün, düz plaka kolektör sistemlerine göre daha uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sistemlerin verimlerinin mukayese edilebilmesi için güneş takip sisteminin olduğu ve yaklaşık güneş ışınım şiddetleri altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Vakum tüpün sıfır ısı katsayısının yüksek olmasından, içindeki havanın vakumlanmış olmasından ve güneş ışınlarını düz plaka kolektör sistemine daha çok dik almasından dolayı verimi yüksektir.

Ayrıca vakum tüp kolektör sisteminin ömrünün daha kısa olmasına rağmen bakım masrafı olmamasından dolayı tercih sebebidir. Ayrıca vakum tüp kolektörler güneş ışınımının daha düşük ve sıcaklığın daha düşük olduğu ortamlarda çalışabilirken, düz plaka kolektör sistemlerinde düşük sıcaklıklarda arızalarla karşılaşabilmektedir.

Su ve elektrik kesintilerinin sık yaşandığı yerler için güneş enerji sistemleri ayrı bir öneme sahiptir. Düşük bir ilk yatırım maliyetiyle beraber ortalama 15-20 yıl çalışan sistemler sayesinde enerji bağımlılığı azaltılabilmektedir. Ayrıca bu sistemlerin çevre dostu olması ayrı bir tercih sebebidir.

Temiz ve tükenmez bir enerji çeşidi olan güneş enerjisi uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Enerji sektöründe dışa bağımlı bir ülke olarak düşen ilk yatırım maliyetleriyle beraber güneş enerjisinden faydalanma oranlarımızı artırmalıyız.

Bu çalışma kolektörlerin kullanımının yaygınlaşmasına ve hangi tip kolektör kullanılacağına yardımcı olacaktır.

SEMBOLLER

Q Transfer edilen ısı miktarı (J/s)

\dot{m} Kütleli debi (kg/dk)

c_p Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)

T Sıcaklık (C)

η Anlık verim

η_0 Sıfır ısı kaybı katsayısı

η_{2nd} İkinci dereceden verim

a_1 Isı kaybı katsayısı

a_2 Sıcaklığa bağlı ısı kaybı katsayısı

G Işınım şiddeti (W/m^2)

ψ Ekserji (J/s)

A_c Kolektör yüzey alanı (m²)

i_e Birleştirilmiş faiz oranı

i Reel faiz oranı

d Enflasyon oranı

BD Paranın bugünkü değeri (TL)

D Paranın n. yıldaki değeri (TL)

n yıl

ALT İNDİSLER

o çıkış

i giriş

m ortalama

a çevre

s Güneş

KAYNAKLAR

1. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), "World Energy Outlook 2014" (2015)
2. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2013 Yılı Genel Enerji Dengesi Tablosu", <http://www.eigm.gov.tr>, (2015)
3. Değirmenci, H., "Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Su Dolaşım Miktarının Kolektör Verimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", **Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2006)
4. Dündar, R., "Standart Düz Kolektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemleri ile Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sisteminin Verim ve Performanslarının Karabük İli Şartlarında Deneysel Olarak Karşılaştırılarak İncelenmesi", **Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007)
5. Taze, G., "Düz Güneş Kolektörü Verimini Etkileyen Bazı Parametrelerin Deneysel İncelenmesi", **Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2010)

6. Köse, İ. İ. , “Düzlemsel Güneş Kolektör Borusu İçerisinde Kıvrılmış Şerit Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011)
7. Furbo, S. ve diğerleri, “Efficiencies of flat plate solar collectors at different flow rates”, *Energy Procedia*, 65 – 72 (2012)
8. Maldonado, R. D. ve diğerleri, “Design and construction of a solar flat collector for social housing in México”, *ISES Solar World Congress* (2013)
9. Ersöz, M.A. ve Yıldız, A. , “Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi”, *Tesisat Mühendisliği*, 5-17 (2013)
10. Wang, J. ve diğerleri, “Medium-Temperature Solar Collectors with All-Glass Solar Evacuated Tubes”, *International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry* (2014)
11. Dragsted, J. ve diğerleri, “Calculated Thermal Performance of Solar Collectors Based on Measured Weather Data From 2001-2010”, *International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry* (2014)
12. Makhanlall, D. , Jiang, P. , “Performance Analysis and Optimization of a Vapor-Filled Flat-Plate Solar Collector”, *International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry* (2014)
13. Recalde, C. ve diğerleri, “Single Phase Natural Circulation Flow Through Solar Evacuated Tubes Collectors on the Equatorial Zone”, *The 7th International Conference on Applied Energy* (2015)
14. TS EN 12975-2, “Isıl güneş enerji sistemleri ve bileşenleri - **Güneş enerjisi kolektörleri - Bölüm 2: Deneysel metotları**” (2006)
15. TS EN ISO 9806, “Güneş enerjisi- Güneş kolektörleri- Deneysel metotları bölüm” (2014)
16. Ge Z. ve diğerleri, “Exergy Analysis of Flat Plate Solar Collectors”, *Entropy*, 2549-2567 (2014)

