

# Vakumlu Termosifon Tip Güneşli Su Isıtma Sistemlerinde Antifriz-Su Karışımı Kullanımının Sistem Performansına Etkileri

Etem Sait ÖZ\*  
Emrah DENİZ\*\*  
Engin ÖZBAŞ\*\*\*

## Özet

*Bu çalışmada, vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sistemlerinde çalışma akışkanı olarak antifriz-su karışımı kullanımının kollektör performansına etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada vakumlu termosifon tip ve doğal dolaşimli güneşli su ısıtma sistemlerinden birer prototip hazırlanarak aynı koşullarda denenmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında vakumlu sistemin doğal dolaşimli sisteme göre daha verimli olduğu ve sıcak su ihtiyacını daha etkin bir şekilde karşılayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.*

**Anahtar Sözcükler:** Isı Borusu, güneş kollektörü, verim.

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin temel ihtiyaçlarından biri enerjidir. Günümüzde kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Gelişen dünyada enerjinin pahalı oluşu, tükenbilir oluşu, çevre problemlerine sebep olması nedeniyle, kalkınmakta olan ülkeler tükettikleri enerjiyi en iyi şekilde kullanmalıydırlar.

Enerji kaynakları azalırken dünya nüfusunun sürekli artması ve enerjiye bağımlılığı, enerji

açığını sürekli büyütecektir. Temel enerji kaynakları rezervleri tüketildiğinde, insanlar daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına dönmek zorunda kalacaktır. Bunların en önemli ikisi, nükleer ve güneş enerjisidir. Nükleer enerjinin yüksek teknoloji ve maliyetinin yanında insan sağlığına son derece zararlı oluşu kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Güneş enerjisi güvenilir bir kaynak olup, yaygın kullanımında yüksek ve özel teknoloji gerektirmemekte ve kullanılması sırasında hiç bir önemli çevre kirliliği yaratmamaktadır [1].

\* Öğretim üyesi, ZKÜ. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Anabilim Dalı

\*\* Araştırma Görevlisi, ZKÜ. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Anabilim Dalı

\*\*\* Araştırma Görevlisi, ZKÜ. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Anabilim Dalı

lanmak amacı ile hazırlanan düzenekler olup güneş enerjisini ısı enerjisi şeklinde toplayan bir tür ısı değiştiricilerdir. Uygulamalarda en çok kullanılan tipleri düzlemsel yapıda olan güneş kolektörleridir. Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etmek amacıyla genellikle açık ve kapalı çevrim olmak üzere iki ayrı sistem kullanılmaktadır. Açık sistemlerde kullanılan su direkt olarak kolektör içerisinde geçmektedir. Açık çevrim prensibine göre çalışan güneş kolektörlerinin özellikle soğuk bölgelerde, kış aylarında don tehlikesinden dolayı kullanımını sınırlı kalmakta ve korozyon ve kireçlenme gibi dezavantajlarından dolayı fazla uzun ömürlü olmamaktadırlar. Güneşli su ısıtma sistemlerinde bu gibi sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla kapalı çevrim prensibine göre çalışan sistemler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu sistemlerin kullanımı ile donma, korozyon ve kireçlenme problemlerin bertaraf edilmesine rağmen, verimin açık sistemlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kullanılan güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ısı transfer sıcaklığının düşük olması, suyun en üst sıcaklık değerine ulaştıktan sonra ters yönde su sirkülasyonunun olması ve geceleri sıcaklık düşmesi sebebiyle sıcak olan suyun soğuk olan kolektöre doğru ters yönde sirkülasyonuna imkan tanımaktadır. Açık ve kapalı sistemlerin sakıncalarını ortadan kaldırmak için değişik sistem ve akışkanlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [2].

Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından güneşli su ısıtma sistemleri üzerine çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla kullanılan yöntemler arasında ısı borulu sistemler diğer sistemlere oranla çok daha fazla verim sağlanabilen ancak maliyeti yüksek ve uygulama zorluğu bulunan sistemlerdir. Isı borusu, içerisinde az miktarda faz değiştirebilen bir akışkan bulunan, havası alınmış kapalı bir bordur. Belirli bir eğimde yerleştirilmiş olan bir

tirici (evaporatör) olarak adlandırılan kısmında ısınarak sıvı fazdan buhar fazına geçen akışkan, kolektörün üst kısmında yer alan yoğunlaştırıcı (kondenser) denilen ve içerisinde asıl kullanım suyunun bulunduğu depoya geldiğinde burada ısısını suya terk ederek tekrar yoğunlaşarak sıvı fazına dönüşür. Sıvı haline gelen akışkan yerçekimi etkisiyle tekrar buharlaştırıcı (evaporatör) kısmına gelir ve çevrim tekrarlanarak devam eder [3-6].

Isı borusuyla ilgili ilk patent 1944 yılında ABD’de alınmıştır. 1960’larda uzay nükleer araştırma uygulamalarında kullanılmaya başlanıncaya kadar, ısı borusu prensibi yeterli ilgiyi görmemiştir. 1964 yılında ise bilim adamlarının tekrar araştırma konusu olmuştur. Bu tarihten itibaren ısı borusu çeşitli uygulama alanlarında denenme ve uygulama imkanı bulunmuştur [7].

Dowing ve Waldin (1980), R11’li iki fazlı güneş kolektörü ile glikol-su karışımli güneş kolektörü sistemlerinin verimlerini karşılaştırmışlar ve freon gazlarının iki fazlı sistemlerde kullanılmayacağını araştırmışlardır. Soğutucu akışkanlar olarak kullanılan freon gazlarının kolaylıkla buharlaştığını gözlemlemişler ve R11 kullanılan kolektörün veriminin diğer kolektörlere oranla yaklaşık % 35 daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak iki fazlı sistemin su sıcaklığı daha çabuk artmış ve verimi diğer sisteme göre daha yüksek çıkmıştır. Deneylerinde soğutucu akışkanlardan R12, R113 ve R114’de kullanmışlardır [8].

Yılmaz (1987), yaptığı çalışmada ısı borularını depo içinde bulunan daha büyük çaplı boruya monte ederek, su içine yerleştirdiği büyük çaplı boruya yoğunlaşma borusu görevini yaptırmıştır. Çalışma sıvısı olarak etanol (ispirto) kullanmıştır. Kolektör güneşi görüp, ısı borularını içindeki etanol buharlaştığında, etanol buharının bir kısmı içerdeki hava ile birlikte atıl

mış ve sistemde bu şekilde, geceleri çalışma sıvısı yoğunlaştığında, bir vakum elde edilmiştir. Vakum sayesinde, çalışma sıvısının (etanol) daha düşük sıcaklıklarda buharlaştırılması sağlanabilmektedir. 1.17 m<sup>2</sup> yüzey alanına

edilebilir,

$$h = F'(ta) - F'U_L(T_m - T_a) \quad (3)$$

burada F(kolektörden ısı kaybı olmadığı)

iminde bağlanmıştır. 1,1 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip kolektör kullanılarak yaklaşık 100 l suyun sıcaklığını, Ağustos ayı içerisinde, 75 °C'ye çıkarmıştır [9].

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri ile yapılan çalışmalardan açık bir şekilde görülmektedir ki, güneş kolektörlerinde ısı borusu kullanımı yüksek verim sağlamaktadır [10]. Ancak, ısı borulu sistemler imalat zorluğu ve maliyet yüksekliliği gibi dezavantajlara sahiptirler. Yapılan bu çalışmada, ısı borulu sistemlerin daha kolay ve ucuza imal edilerek etkin kullanımının sağlanabilmesi amacıyla vakumlu termosifon tipte bir sistem tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Sistemin performans değerlendirmesinin yapılabilmesi amacıyla aynı boyutlarda kapalı çevrim doğal sirkülasyonlu bir güneşli su ısıtma sisteminin tasarım ve imalatı yapılmıştır. Her iki sistem aynı koşullarda deneylere tabi tutularak sonuçlara ulaşılmıştır.

## 2. SİSTEM VERİMLERİ

Düzlemsel güneş kolektörlerinin termal performansı, kullanılabilir enerji kazancı miktarı "q<sub>u</sub>", kolektör üzerine gelen ışınım miktarı "I<sub>c</sub>" ve ısı kaybı "U<sub>c</sub>" arasında bağlantı kurularak lineer bir verim karakteristiği olarak ifade edilebilir,

$$q_u = I_c A_c (t_a) - U_c A_c (T_c - T_a) \quad (1)$$

Kollektörün anlık verimi "h", kullanılabilir ısı kazancının "q<sub>u</sub>" birim alana gelen güneş ışınım miktarına "I<sub>c</sub>" oranlanarak belirlenir,

$$h = \frac{q_u}{A_c I_c} \quad (2)$$

Kollektörün anlık verimine kullanılan malzeme, absorber maddenin yapısı, camın özelliği, hava ve deney şartları vb. faktörler etki eder. Kollektör anlık verimi aşağıda verilen eşitlik ile ifade

da ya da  $T_{m\bar{a}} = T$  olduğundaki maksimum kolektör verimidir.

Kollektörde kazanılan faydalı ısı, kolektör içinden geçen akışkan debisi ve giriş "T<sub>f,i</sub>" ile çıkış "T<sub>f,o</sub>" akışkan sıcaklıklarının ölçülmesiyle aşağıdaki şekilde çıkartılabilir:

$$q_u = mc_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (4)$$

$$h = \frac{mc_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c I_c} \quad (5)$$

Güneş kolektörlerinin termal performansı, kullanılabilir enerji kazancı miktarı "q<sub>u</sub>" ile kolektöre gelen toplam enerji miktarının "I<sub>c</sub>" birbirine oranlanması ile elde edilir. Çıkarılan bu eşitlikler kullanılarak örneğin; 27.03.2005 tarihinde vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sisteminin performans değeri deneylerden elde edilen veriler yardımı ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$I = 343 \text{ W/m}^2 = 0,343 \text{ kW/m}^2$$

$$T_b = 7,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 33,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = 0,2 \text{ m}^2$$

$$c_p = 4,18 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$$

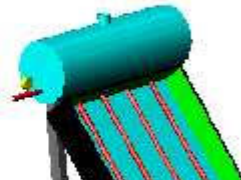
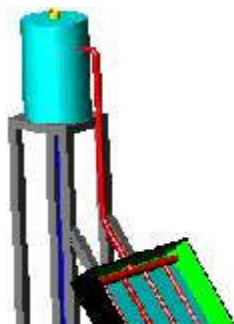
$$m = 10 \text{ kg (işlemlerde 1 l. su 1 kg suya eşit alınmıştır)}$$

Bu değerler 5 numaralı eşitlikte yerine konulursa,

$$h = \frac{\frac{10}{9 \cdot 3600} \cdot 4,18 \cdot (33,8 - 7,3)}{0,2 \cdot 0,343} = 0,49822 \quad \text{Ş}$$

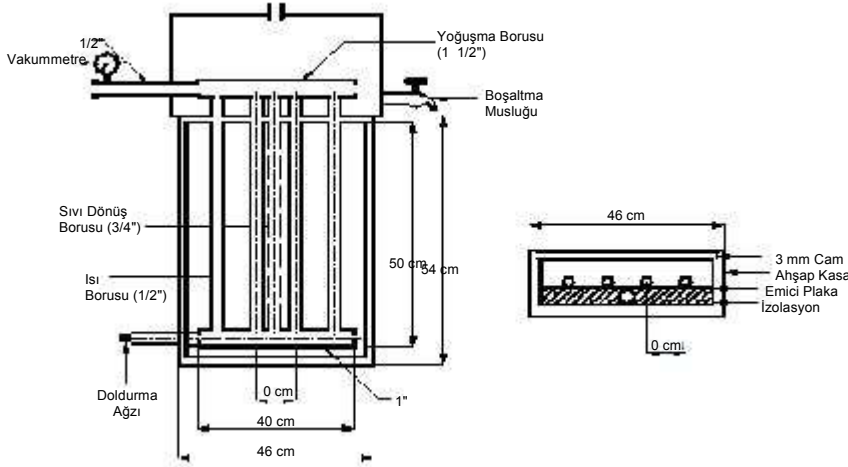
sonucuna ulaşılır (11,12).

## 3. DENEYSEL DÜZENEKLER VE UYGULAMA





Şekil 1. Deneylerde Kullanılan Doğal Sirkülasyonlu ve Vakumlu Termosifon Tip Güneşli Su Isıtma Sistemleri.



Şekil 2. Çalışma Akışkanı Antifriz-Su Karışımı Kullanılan Vakumlu Termosifon Tip Güneş Kolektörü.

Tablo 1. Antifrizin Özellikleri [2-13].

Özellikler	Antifriz [C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ]
Donma noktası (°C)	-12,7
1bar basınçta kaynama noktası (°C)	198
Vizkozite (0°C)	54,7
20 °C' de akışkan yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	1113
20 °C' de doymuş akışkanın buhar basıncı (mmHg)	0,05
20 °C' de akışkanın ısı kapasitesi (kJ/kg°C)	2,347
20 °C sıcaklık ve 1 atm. basınçta buharın ısı kapasitesi (kJ/kg°C)	846
20 °C' de akışkanın termal iletkenliği (W/mK)	0.249
20 °C' de kırılma indisi	1,4319

### 3.1. Sistemlerin Özellikleri

Yapılan çalışmada, doğal dolaşimli güneşli su ısıtma sistemi ile vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sisteminin performans değerlerinin deneysel olarak karşılaştırılması öngörüldüğünden, her iki sisteminde kasa malzeme-

si, depolama tankı hacmi ve kollektör yüzey alanı aynı olacak şekilde tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Hazırlanan doğal dolaşimli ve vakumlu her iki sistem Şekil 1'de gösterilmiştir. İmalatı yapılan vakumlu termosifon tip güneş

kollektörü Şekil 2'de gösterildiği gibi bir ucu kapatılmış 12 mm'lik dört adet siyah çelik borunun, bir adet (yoğuşturucu) 49 mm'lik boruya ve bir adet (buharlaştırıcı) 34 mm'lik boruya eşit aralıklarla birleştirilip ortalarından 25 mm'lik sıvı dönüş borusuyla bağlanmış ve doğal dolaşimli sistem ile aynı özelliklere sahip olan yalıtımlı bir kasaya yerleştirilmesi ile elde edilmiştir. Sistemde soğutucu akışkan antifriz-su karışımı kullanıldığından dolayı sisteme bir adet gaz şarj aparatı (sübab) yerleştirilmiştir. Bu aparat bağlantısı kullanılarak sistem hacminin 1/3 kadarı antifriz-su karışımı ile doldurul-

lu termosifon tip sistemde kullanılan akışkanlardan antifrizin özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir.

### 3.2. Deneyler

Hazırlanan güneş kollektörleri Mart ve Mayıs aylarında aynı şartlarda, beşer gün olmak üzere, 10 gün süreyle denenmiştir.

Deneylere ilk gün saat 09:00'da depoların doldurulması ile başlanmış ve saat 17:00'ya kadar her saatte ölçüm yapılarak devam edilmiştir. İkinci ve diğer günler deneylere yine saat

1111 173 KAUÇUK ANLIZ-SU KARIŞIMI İLE DOLDURULMUŞTUR. DAHA SONRA SİSTEM ISITILMIŞ VE İÇERİSİNDEKİ AKIŞKANIN BUHARLAŞMASI SAĞLANARAK SİSTEM İÇERİSİNDEKİ HAVA BOŞALTILMIŞTIR. KOLEKTÖR BORULARI İÇERİSİNDEKİ HAVANIN BOŞALTILMASI İLE İÇ HACİMDE VAKUM ORTAMI SAĞLANMIŞTIR. HAZIRLANAN HER İKİ SİSTEM GÜNEY YÖNÜNDE 41° EĞİM İLE YERLEŞTİRİLEREK DENEYLER YAPILMIŞTIR. VAKUM

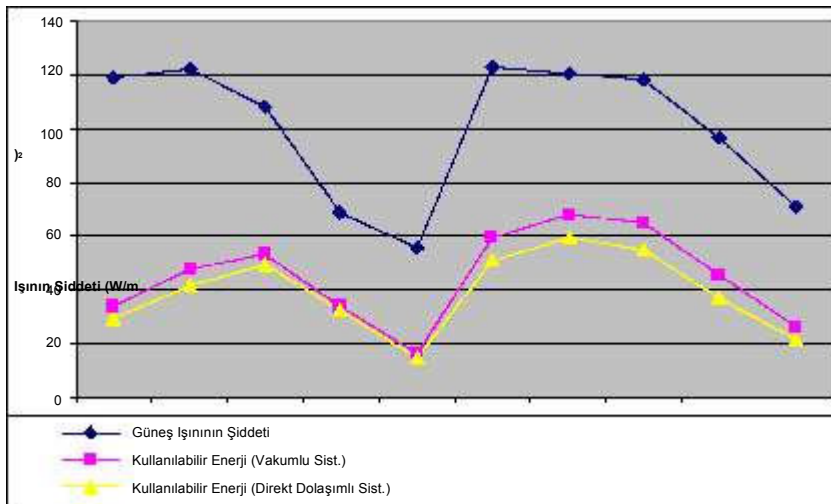
ULU İKİNCİ VE ÜÇÜNCÜ GÜNLER DENEYLERİNE YINTE SAAT 09:00'DA BİR GÜN ÖNCEDEN DOLU OLAN DEPOLAR BOŞALTILARAK BAŞLANMIŞ VE SAAT 09:00'DAN İTİBAREN HER SAAT BAŞINDA ÖLÇÜMLER KAYDEDİLEREK SAAT 17:00'A KADAR DEVAM EDİLMİŞTİR. TÜM DENEYLER DOKUZ SAAT (09:00-17:00 ARASI) SÜRMÜŞTÜR. DENEYLERDE ÖLÇÜLEN PARAMETRELER, KOLEKTÖR DÜZ-

**Tablo 2. Deney Sonuçları.**

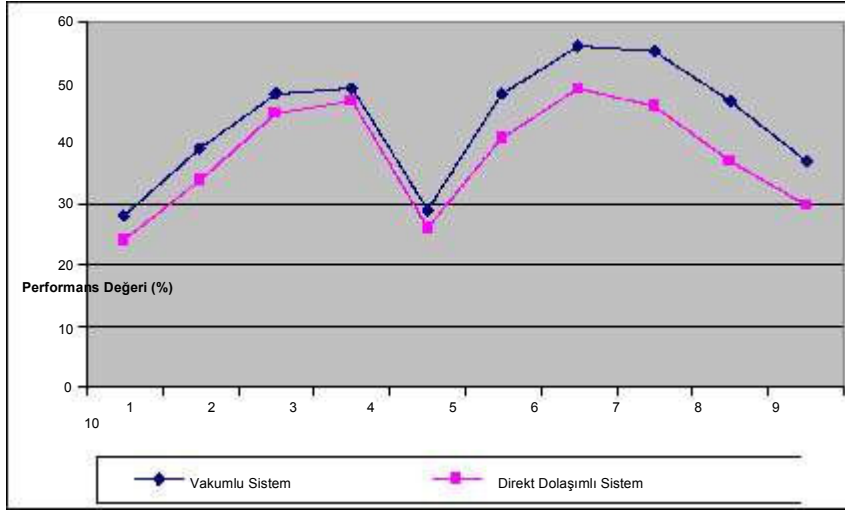
Deneyler	1.Deney 24.03.2005		2.Deney 25.03.2005		3.Deney 26.03.2005		4.Deney 27.03.2005		5.Deney 28.03.2005	
	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.
T <sub>b</sub> (°C)	12,4	12,4	11,8	11,8	7,1	7,1	7,3	7,3	8,3	8,3
T <sub>s</sub> (°C)	38,5	35,2	48,9	44,3	48,3	45,7	33,8	32,3	20,9	19,6
Q <sub>s</sub> (W)	33,67	29,41	47,86	41,92	53,15	49,79	34,18	32,25	16,25	14,57
TRA (W)	119,5	119,5	122,0	122,0	108,5	108,5	68,62	68,62	55,46	55,46
YYRA (W/m <sup>2</sup> )	597,7	597,7	610,3	610,3	542,7	542,7	343,1	343,1	277,3	277,3
Verim (%)	0,28	0,24	0,39	0,34	0,48	0,45	0,49	0,47	0,29	0,26

Deneyler	6.Deney 16.05.2005		7.Deney 17.05.2005		8.Deney 18.05.2005		9.Deney 19.05.2005		10.Deney 20.05.2005	
	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.	Vakum	Direkt Dolaş.
T <sub>b</sub> (°C)	12,6	12,6	13,9	13,9	16,8	16,8	15,2	15,2	14,9	14,9
T <sub>s</sub> (°C)	58,5	52,2	66,7	60,2	67,3	59,1	50,8	43,7	35,4	31,6
Q <sub>s</sub> (W)	59,21	51,08	68,11	59,73	65,15	54,57	45,92	36,76	26,44	21,54
TRA (W)	123,1	123,1	121,0	121,0	118,2	118,2	97,02	97,02	70,82	70,82
YYRA (W/m <sup>2</sup> )	615,7	615,7	605,2	605,2	591,3	591,3	485,1	485,1	354,1	354,1
Verim (%)	0,48	0,41	0,56	0,49	0,55	0,46	0,47	0,37	0,37	0,30



**Şekil 3. Kolektör Yüzeylerine Gelen ve Kullanılabilir Enerjiye Çevrilen Işınım Şiddeti Miktarları.**



**Şekil 4.** Vakumlu ve Direkt Dolaşimli Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans Değerleri.

lemine gelen güneş ışınım şiddetleri ( $I$ ), her iki sistemin depo suyu sıcaklıkları ( $T_b$ ,  $T_s$ ) ve ortam havası sıcaklığıdır ( $T$ ).

Sistemlerin verim değerlerini belirleyebilmek için toplam radyasyon değerini gösterebilen solarmetre (Haenni, güneş ışınım şiddeti ölçüm cihazı) kullanılmıştır. Solarmetreden alınan değerler  $W/m^2$  cinsindedir. Deneyler esnasında

depo suyu ve dış ortam sıcaklığının ölçülmesinde on iki kanallı Elimko sıcaklık ölçüm cihazı (hassasiyet  $\pm 0,1$  °C) kullanılmıştır.

### 3.3. Sonuçlar

#### 3.3.1 Deney Sonuçları

Deneyler sonucu elde edilen sıcaklık ( $T$ ),  $T_b$ ,  $T_s$  ışınım ( $I$ ), ısı kazancı ( $Q_s$ ) ve verim ( $h$ ) değer-

leri Tablo 2.'de verilmiştir.

Sistemlerin performans karşılaştırmalarını kolaylaştırabilmek amacıyla Şekil 3. ve Şekil 4.'deki grafikler çizilmiştir. Şekil 3. 'de kolektör yüzeylerine gelen ve kolektörler tarafından kullanılabilir enerjiye çevrilen ışınım şiddeti miktarları gösterilmiştir. Kolektör yüzeyine gelen ve kolektörler tarafından kullanılabilir enerjiye çevrilen ışınım miktarları günlük ortalamalar halinde hesaplanmıştır. Şekil 4. 'de ise sistemlerde deney süresi boyunca belirlenen performans değerlerinin günlere göre değişimi gösterilmiştir.

Şekil 3. 'deki grafik incelendiğinde vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sisteminin daha etkin bir şekilde üzerine gelen ışınımı kullanılabilir enerjiye çevirebildiğini açıkça göstermektedir. Vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma

akışkanının cinsine ve kullanılan ısı borusu malzemesine göre farklılıklar gösterecektir.

#### 3.3.2. Sonuç

Deneyisel veriler ışığında yapılan değerlendirmeler, çalışma akışkanı olarak Antifriz-su karışımı kullanılan vakumlu termosifon tip güneşli su ısıtma sistemi her türlü çalışma koşullarında doğal dolaşimli sistemden daha üstün özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Vakumlu termosifon tip sistemin, doğal sirkülasyonlu sisteme kıyasla savunulan bütün üstünlüklere ek olarak, kışın don olayından etkilenmeyişi, akşam saatlerinde ters akımla ısı kaybı olmayışı, estetik bir görünüme sahip oluşu ve sıcak su ihtiyacını daha hızlı karşılayabilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı tercih edileceği düşünülmektedir.

sistemi tarafından güneş ışınımının kullanılabilir enerjiye çevrilme miktarı günlük ortalama olarak 44,99 W'tır. Aynı şekilde direkt dolaşımli sistem tarafından kullanılabilir enerjiye çevrilen miktar günlük ortalama olarak 39,16 W'tır. Güneş ışınımındaki artış ile doğru orantılı olarak sistemler arasında vakumlu termosifon tip sistem lehine belirgin bir fark gözlemlenmektedir.

Antifriz-su karışımli, vakumlu termosifon tip güneş enerjili su ısıtma sistemi ve klasik doğal dolaşımli güneş enerjili su ısıtma sisteminin performans değerlerinin Tablo 2. ve Şekil 3-4 yardımı ile değerlendirilmesi yapıldığında, vakumlu termosifon tip sistemin doğal dolaşımli sisteme göre performans değerlerinin ortalama % 43,6, klasik doğal dolaşımli güneş enerjili su ısıtma sisteminin ise % 37,9 olduğu görülmektedir. Bu değerler vakumlu sistemin performans değerinin klasik sisteme oranla ortalama % 6 daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu performans değerleri, vakumlu termosifon tip sistemin kapalı sisteminde kullanılan çalışma

#### 4. SEMBOL VE KISALTMALAR

- $q_u$  : Kullanılabilir Enerji Kazancı Miktarı (W)  
 $A_c$  : Kollektör Yüzey Alanı ( $m^2$ )  
 $I_c$  : Kollektör Üzerine Gelen Işınım Miktarı ( $W/m^2$ )  
 $C_p$  : Çalışma Akışkanının Özgül Isınma Isısı ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )  
 $m$  : Akışkanın Debisi ( $kg/s$ )  
 $F$  : Kollektör Verim Faktörü  
 $a$  : Kollektör Yüzeyinin Absorblaması  
 $T$  : Camın Geçirme Oranı  
 $U_c$  : Tüm Yüzeyin Isı Kayıp Katsayısı ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )  
 $h$  : Verim  
 $T$  : Ortalama Absorber Plaka Sıcaklığı ( $^\circ C$ )  
 $T_a$  : Çevre Sıcaklığı ( $^\circ C$ )  
 $T_b$  : Deneye Ait Su Başlangıç Sıcaklığı ( $^\circ C$ )  
 $T_s$  : Deney Süresi Sonunda Ulaşılan Su Sıcaklığı ( $^\circ C$ )  
 $\Delta t$  : Sıcaklık Farkı ( $^\circ C$ )  
 $Q_s$  : Isı (W)  
YYRA : Yeryüzü Radyasyonu ( $W/m^2$ )  
TRA : Kollektöre Gelen Güneş Enerjisi (W)

#### KAYNAKLAR

- [1] UYAREL, A. Y., ÖZ, E. S., "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları", Birsen Yayınevi, 1987.  
[2] ÖZBALTA, N., GÜNGÖR A., "Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Kullanılan Isı Transfer Akışkanları", Güneş Enerjisi Teknoloji Dergisi, Sayı 1, Ege Üniversitesi Basımevi, 1989.  
[3] ESEN, M., YÜKSEL, T., "Isı Borulu Güneş Enerjili Termosifon Düzlemsel Kollektörün Performansı", Fırat Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 12(2), Sayfa 201-207, 2000.  
[4] FAGHRI, "Heat-pipe Science and Technology", Taylor and Francis, UK, 1995.  
[5] C.I. EZEKWE, "Thermal Performance of Heat Pipe Solar Energy System", Solar Wind Technology 7, 349-354, 1990.  
[6] RADHWAN, A. M., ZAKI, G. M., JAMIL, A., "Refrigerant-Charged Integrated Solar Water Heater", Int. J. Energy Res. 14, 421-432, 1990.  
[7] AL KAC. Ö. "Isı Borusu Prensibinin Güneşli Bilimleri Enstitüsü, 1996.  
[8] DOWING, R.C., WALDIN, V.H., "Phase-Change Heat Transfer in Solar Hot Water Heating Using R-11 And R-114", Ashrae Transactions, 848-856, 1980.  
[9] YILMAZ, S., "Güneş Enerjili Isı Borusuyla Sıcak Su Üretimi", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1988.  
[10] K.İsmail, M.Abogderah, "Performance of A Heat Pipe Solar Collector", J. Solar Eng. 120, 51-59, 1998.  
[11] DUFFIE, J.A., BECKMAN W.A., "Solar Engineering Thermal Processes", October, 1991, New York.  
[12] KARAGHOULI, A.A., ALNASER, W.E., "Experimental Study on Thermosyphon Solar Water Heater in Bahrain", Renewable Energy, Bahrain, 2001.  
[13] HOLMAN, J. P., "Heat Transfer Seventh Edition in SI Units", Professor of Mechanical Engineering Southern Methodist University. 657. 1992.

EREN, Ö., "Türkiye'de Tesisatın Gelişimi ve Geleceği", Yüksek Lisans Tezi, Z. Karadeniz Üniversitesi, Fen

bilimleri, 2001, 100 s.