



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

VAKUMLU CAM TÜP KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİLİ MEKÂN ISITMA SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

**GÜVENÇ UMUR ALPAYDIN
SERHAN KÜÇÜKA
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

VAKUMLU CAM TÜP KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİLİ MEKÂN ISITMA SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Thermal Performance of Solar Room Heater with Evacuated Glass Tubes

Güvenç Umur ALPAYDIN
Serhan KÜÇÜKA

ÖZET

Bu çalışmada vakumlu cam tüp kullanılan güneş enerjili ısıtma sisteminin yaklaşık 10 metrekare alana ve 2,5 m yüksekliğe sahip bir hacim için performansı incelenmiştir. Isıtma sistemi dış ve iç ünitelerden oluşmaktadır. Dış üniteye bulunan toplayıcı yüzey üzerine gelen güneş ışınım soğurularak buradaki su ısınmakta ve doğal dolaşım ile iç üniteye radyatöre geçmektedir. Toplayıcı yüzey olarak vakumlu cam tüpler kullanılmaktadır. Toplayıcı yüzeye gelen ışınım piranometre ile ölçülmüştür. Sistemin belirli yerlerine ısı çiftleri bağlanarak dolaşım suyunun sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Radyatör giriş hattına bağlanan bir elektrikli ısıtıcı üzerinde su sıcaklığı kontrollü şekilde artırılarak, sıcaklık artışından hareketle dolaşım debisi hesaplanmıştır. Dolaşım debisi ve radyatör giriş-çıkış sıcaklıkları kullanılarak ısıtma gücü ve günlük ısıtma verimi belirlenmiştir. Meteorolojik verilerin kullanılması ile sistemin ısıtma mevsimindeki genel performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal dolaşım, güneş enerjisi, güneş enerjili mekan ısıtma sistemi, vakumlu cam tüp

ABSTRACT

In this study, the performance of the vacuum glass tube heating system was investigated for a room that has 10 square meter area and 2.5 meter height. The heating system consists of the outer and inner units. The collector in the outer unit absorbs the solar radiation. The water that is in the collector warms and the passes through the radiator at located inside unit. Vacuum glass tubes were used as collector surface. The radiation to the collecting surface was measured by a pyranometer. The temperature of circulated water was measured with thermocouples located on different section of system. The water has heated in a controlled manner by using an electric heater which located in the inlet pipe of radiator. Circulation flow rate has been calculated by using temperature increasement of water. Using the mass flow rate and radiator inlet-outlet temperatures, heating power and daily efficiency have been calculated. The overall performance of the system during the heating season was investigated by using meteorological data.

Keywords: Natural circulation, solar energy, solar room heater, evacuated tube

1. GİRİŞ

Sosyal kalkınma, ekonomik büyüme ve yaşam standardının yükselmesi ile enerji tüketimi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu alanlardan bir ya da bir kaçında gelişme gösteren ülkelerin enerji tüketim oranlarında da artış gözleneceği bilinen bir gerçektir [1]. Bu durum gelişen ve özellikle

gelişmekte olan ülkeler için bir enerji sorununa ve enerji kaynağı bulma gereksinimine dönüşmüştür. Enerji sorununu çözmeye çalışan ülkeler için aşılması gereken sorunların başında enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılığın artması ve çevre kirliliği gelmektedir.

Türkiye özelinde örnek vermek gerekirse, Türkiye'nin enerji alanında dışa bağımlılık oranı %70 civarındadır, bu durum tüketilen enerjinin yaklaşık dörtte üçünün başka ülkeler tarafından sağlandığı anlamına gelmektedir [2]. Ayrıca Türkiye fosil yakıt rezervleri bakımından zengin bir ülke olmadığı bilinmekte olup, petrol ile kömür ihtiyacının %92'sini, doğalgaz ihtiyacının ise %98'ini ithalat ile karşılamaktadır. Bu durum, Türkiye'nin dışa bağımlılık derecesinin büyüklüğünü gözler önüne sermektedir [3].

Yukarıdaki oranlar göz önüne alındığında Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına önem vermesi gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır. Bütün yenilenebilir enerjinin kaynağı Güneştir. Dünyaya güneşten saniyede yaklaşık 170 milyar MW ulaşmaktadır. Güneşten elde edilebilecek enerji miktarı, yıllık olarak dünyada kullanılan enerji miktarının yaklaşık 15 bin katıdır. Ayrıca bu miktar petrol rezervlerinden elde edilebilecek enerji miktarının yaklaşık 516 katı ya da kömür rezervlerinden elde edilebilecek enerjinin yaklaşık 157 katına tekabül etmektedir. Günümüzde güneş enerjisinden 2 farklı yöntemle fayda sağlanmaktadır. Bunlardan ilki ısı enerjisine çevirme, ikincisi ise güneş enerjisinden elektrik üretimidir [4]

Güneş enerjisinden ısı üretimi noktasında aktif ve pasif ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Aktif sistemler ısı transfer akışkanının sistemde pompa gibi ekipmanlar aracılığıyla dolaştırıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerde toplayıcı yüzey ve kullanma alanı farklı bölgelerde olabilir. Pasif sistemlerde ise zorlanmış dolaşım olmayıp, doğal taşınımından faydalanılmaktadır. Toplayıcı yüzeyde ısıtılan su veya hava yoğunluğunun azalması ile kendiliğinden yükselmekte ve enerjisini bırakan akışkan geri dönmektedir. Pasif sistemler üzerine yapılmış farklı bir çok çalışma mevcuttur. Dolaşım akışkanı olarak su kullanılan ve iç mekan ısıtılmasında kullanılan ısı diyot sistemleri ile ilgili bir kısım çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Güneş enerjisinin iç mekana tek yönlü aktarıldığı sistemler ısı diyot olarak tanımlanır. Bu konuda yapılan öncü araştırmalar, Chun, Chen ve çalışma ekipleri tarafından başlatılmıştır. Chen ve ark, bayonet tipi ısı-diyot tasarımının ısı performansını deneysel olarak incelemişlerdir [5]. Bu tasarımda iki sıvı haznesi arasında eğimli dar bir kanal bulunmakta ve alt kısımda ısınan sıvı, kaldırma kuvvetinin etkisiyle üst kısımdaki hazneye hareket etmektedir. Sıcak ve soğuk akış hatlarının birbirine karışmaması için ince bağlantı kanalında yönlendirici yer almaktadır. Chun ve ark. ise, ısı diyot sistemi kullanılarak güneş enerjisinin iç ortama aktarılabilirliğini vurgulamışlardır [6]. Çalışmalarında, su ile çalışan dikdörtgen şeklinde bir termosifon döngüsü için zamana bağlı bir model geliştirerek, akışkanın döngüdeki dolaşıma başlama süresi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı çalışmada bayonet tipi bir ısı diyot için de deneysel ve sayısal çözümler sunulmuştur. Chun ve Chen deneysel çalışmalarında ısı transferi yönünün mekanik olarak değiştirilebileceği yeni bir ısı-diyot tasarımı geliştirmişlerdir [7]. Bu tasarımda, termosifon döngüsünü oluşturan yatay borulardan dış ortama açık olanlar hareketli, iç ortama komşu olanlar ise dönel mafsallı olarak imal edilmiştir. Dış ortamdaki toplayıcı yüzeyin düşey hareketiyle doğal taşınımın yönü tersine döndürülebilmektedir. Böylece, sistem hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılabilir. Deneysel ölçümler 400 ila 800 W/m² arasında değişen güneş ışınımaları için gerçekleştirilmiştir. Tüm ısı yükleri için, sıcak/soğuk termosifon bacaları arasındaki doğal taşınım hareketliliğinin gerçekleşmesi için yaklaşık olarak 15 dk geçmesi gerektiği belirtilmektedir. Sistemin ısı olarak kararlı duruma geçmesi için ise 2 saate ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik hesaplamalar sonucunda alıcı yüzey üzerine gelen enerjinin yaklaşık %50'sinin ısı-diyot üzerinden iç ortamdaki ısı değiştiricine aktarılabilirliği belirtilmiştir.

Chun ve ark. tarafından yürütülen diğer bir çalışmada ise, güneş enerjisinden yararlanmak üzere tasarlanan bir ısı diyot sisteminde, döngüdeki çalışma akışkanının ısı performans etkisi araştırılmıştır [8]. Çalışmada ısı iletkenlik katsayısı ve viskoziteleri farklı 5 ayrı akışkan güneş simülatörü kullanılarak test edilmiş, su ve düşük viskoziteli silikon yağı kullanılması durumunda en yüksek ısı transfer hızları gözlenmiştir. Fang ve Xia, 30 cm genişliğindeki bir su haznesini düşey bir bölme ile ikiye bölmüşler ve bölme ile hazne tavanı arasındaki akış yönünün bir klape ile sağa veya sola ayarlanabilmesini sağlamışlardır [9]. Bu şekilde kışın bölmenin güneş gelen yüzeyinde ısınan su

doğal taşınım ile bölmenin üst tarafından iç kısma aktarılmış, yaz döneminde ise geceleri ters yönlü su dolaşımı ile pasif soğutma sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmalarında, bir yüzeyi su haznesi olan sıcaklık kontrollü bir oda tesis ederek, bölmenin hazne içindeki optimum yerleşimini ve aktarılan ısı miktarını belirlemişlerdir.

Diğer yandan, toplayıcı eleman olarak son yıllarda ucuz, basit yapıda ve verimli olmaları nedeni ile vakumlu cam tüpler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Vakumlu cam tüpler, arasındaki hava vakumla boşaltılarak ısı kaybı azaltılan iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. Dış tüp koruma amaçlı olup her türlü hava koşuluna dayanıklı olacak şekilde üretilmiştir. İçteki cam tüp ise güneş ışınlarının %93'ünü emebilen özel bir seçici yüzeye kaplanmıştır. Vakum işlemi, tüplerin içindeki suyun donma riskini ortadan kaldırdığı için bu sistemde antifriz ihtiyacı duyulmaz. Vakumlu cam tüpler, şekilleri sayesinde günün her saati güneş ışınlarını dik alabilmektedirler. Vakumlu cam tüplerin güneş enerjili ısıtma sistemlerinde kullanımıyla ilgili literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Budihardjo ve ark., tek ağız açık cam tüpler içinde doğal taşınım etkisi ile gerçekleşen su dolaşımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir [10]. Tüp içindeki su dolaşım debisi, tüpün düşeyle yaptığı açı ve gelen ışınım şiddetine bağlıdır. Çalışmada, tüp içindeki dolaşım miktarı ve ısı transfer katsayısını belirlemeye yönelik bağıntılar geliştirilmiştir. Budihardjo ve Morrison ise vakumlu cam tüp kullanılan güneş enerjili su ısıtıcısının Avustralya ve yakın bölgelerinde farklı şehirlerdeki yıllık performansını incelemişler ve düzlemsel güneş enerjili su ısıtıcı performansı ile karşılaştırmışlardır [11]. 2,9 m² toplama alanına sahip 30 adet vakumlu çap tüpün 3,7 m²'lik düzlemsel güneş toplayıcısına göre daha az enerji verimliliğine sahip olduğu vurgulanmıştır. Sakhrich ve Al-Ghandoor, vakumlu cam tüp, siyah ve mavi kaplamalı düzlemsel toplayıcı, alüminyum ve bakır düzlemsel toplayıcı sistemleri arasında verim ve performans karşılaştırılması yapılmışlardır [12]. Vakumlu cam tüplerin en verimli, bakır toplayıcıların ise en verimsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Tang ve ark., çalışmalarında vakumlu cam tüpler için güneş geometrisine bağlı olarak optimum eğim açısını belirlemeyi amaçlamışlardır [13]. Vakumlu cam tüplerde düzlemsel toplayıcılardan farklı olarak diffuse (yayıllı) ışınımın etkisi de hesaba katılmalıdır. Çalışmada, toplayıcıya gelen ışınımın eğim ve azimut açılarına bağlı değişimi verilmiştir. Li ve ark., bir toplama/dağıtım hattı üzerinde vakumlu cam tüplerini paralel olarak bağlamış ve hat üzerinde zorlanmış su dağıtımının olması durumundaki ısı transferini modellemişlerdir [14]. Dağıtım hattına gelen soğuk su, doğal taşınım etkisi ile cam tüpün içine girmektedir. Cam tüp içinde aşağı inen ve yukarı çıkan akışkanların karışmadığı varsayılmakta, tüpün dağıtım hattı ile bağlantı noktasında ise gelen su hattaki su ile karışarak bir kademe ısınmış olarak yandaki tüpe doğru hareketine devam etmektedir. Çalışmada güneş radyasyonu ve ısı kayıpları göz önüne alınarak dağıtım hattı çıkış sıcaklığı belirlenmiştir.

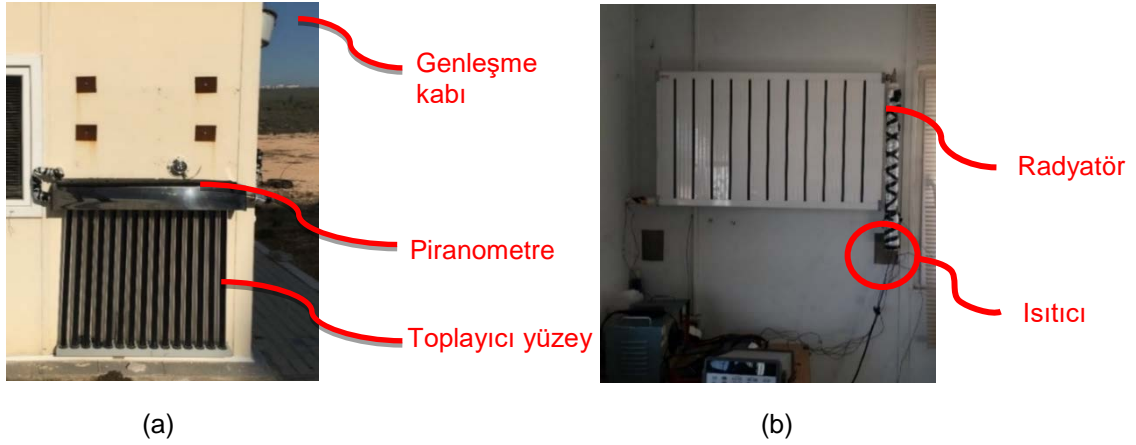
Vakumlu cam tüplerin başka bir kullanım şekli ise, ısı transfer akışkanının tüp içinde boru ile dolaştırılmasıdır. Wang ve ark., çalışmalarında, vakumlu cam tüpler içerisine U-şeklinde bakır boru daldırılmış, tüpün içi ve borunun etrafı ısı transfer akışkanı olarak yağ ve grafit karışımından oluşan malzeme ile doldurulmuştur [15]. Tüplerin arka yüzeyine güneşi yansıtmak üzere bütünlüklü parabolik yoğunlaştırıcı levha yerleştirilmiştir. Çalışmada, farklı sayıda tüp seri bağlanarak ve boru içinden hava geçirilerek, %30 toplama verimi ile 200 °C sıcaklıkta hava elde edilmiş ve modelin endüstriyel amaçlarla kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Ma ve ark., içine U-boru yerleştirilmiş vakumlu tüpten çevreye olan ısı kaybının hesaplanması için analitik bir model geliştirmişlerdir [16]. Çalışmada cam tüpün üzerindeki absorber yüzeyin sıcaklığının, ısı kaybı için önemli bir parametre olduğu gösterilmiştir. Sonuçlara göre, sentetik iletkenliğin 5'ten 40 W/m·K'ye yükselmesi durumunda, güneş kolektörünün verimliliği %10 artmış ve çıkış akışkanı sıcaklığı %16 oranında artmıştır.

Bu çalışmada vakumlu cam tüp toplayıcılardan oluşan dış üniteye ısınan suyun, doğal dolaşım ile iç üniteye bulunan radyatöre aktarıldığı bir sistemin performansı değerlendirilmiştir. Güneş enerjili mekan ısıtma sistemleri ile ilgili pek çok çalışma olmasına karşın, dış üniteye vakum tüplerin kullanıldığı doğal dolaşım mekan ısıtma sistemleri yeterince irdelenmiş değildir. Çalışmada incelenen sistem depo, şantiye odası gibi mekanların ısıtmasında değerlendirilebilecek basit yapı bir düzenlemedir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMİNİN TASARIM VE KURULUMU

Çalışmada test odası olarak Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe kampüsünde yer alan Solaris çalışma binasının bir odası seçilmiştir. Bina prefabrik olup 2 odadan oluşmaktadır. Kullanılan oda yaklaşık 10 m²'lik bir alana sahiptir. Güney ve doğu cepheleri dış ortam ile temas halindedir. Test odasının güney duvarına vakumlu cam tüplerden oluşan bir toplayıcı bir dış ünite tesis edilmiş, doğal dolaşım etkisini sağlayabilmek üzere aynı duvarın iç yüzeyine ve daha yüksek seviyeye bir radyatör yerleştirilmiştir.

Dış üniteye toplayıcı yüzey olarak, dış tüpün 47 mm çapında ve iç tüpün 37 mm çapında olduğu her biri 1000 mm uzunluğunda 15 adet vakumlu toplayıcı kullanılmıştır. Toplayıcı yüzey güney duvarına düşey doğrultuda yerleştirilmiş olup, 1,20 m² yüzey alanına sahiptir. Cephesi 10° güney doğu yönüne bakmaktadır. Dış ünitenin montajı yapıldıktan sonraki görüntüsü Şekil 1.a'da verilmiştir. Toplayıcı yüzeye gelen ışınımının soğurulması ile tüp içerisindeki suyun sıcaklığı artmaktadır. Isınan su doğal dolaşım ile iç üniteye bulunan radyatöre sağ üst köşeden girmektedir. Gücü ayarlanabilir bir elektrikli çubuk ısıtıcı bu giriş hattı üzerine tesis edilmiştir (şekil 1.b). Radyatör alt hizası toplayıcı yüzeyden 20 cm yukarıda bulunmaktadır. Radyatörde ısı aktarıldıktan sonra soğuyan su sol alt köşeden çıkarak dış üniteye geri dönmektedir. Dış ve iç ünite arasındaki bağlantı 21/26,9 mm çapında ppr-c boru ile sağlanmıştır. Boru çevresi 4,5 mm kalınlığında polietilen köpük ile yalıtılmıştır.



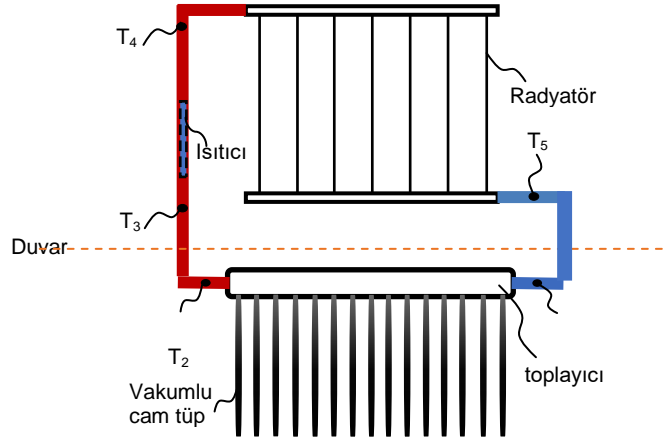
Şekil 1. Sistemin montajı yapılmış hali a) dış ünite b) iç ünite

Deneyde radyatörün yaydığı ısı miktarının hesaplanabilmesi için öncelikle su dolaşım debisinin (\dot{m}_{su}) ölçülmesi gerekmektedir. Ancak sistem doğal taşınım ilkesiyle çalıştığı için debi ölçer gibi akışa direnç yaratacak cihazların kullanımından kaçınılmıştır. Bunun yerine radyatöre gelen su hattı içine tesis edilmiş olan elektrikli ısıtıcı hattının iki ucu arasındaki sıcaklık farkından hareketle debi hesabı yapılmıştır. Su sıcakları, T-tipi ısı çiftlerinin bağlantı hattının belli bölgelerine yerleştirilmesi ile ölçülmüştür. Ölçüm noktaları ve numaralandırılması şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{su} = \frac{Q_{sık} - Q_{kayıp}}{c_{su} * (T_4 - T_5)} \quad (1)$$

Burada ısı kaybı, su ve çevre ortam arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak her ölçüm için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dolaşım su debisinin belirlenmesi ile, radyatörün odaya aktardığı ısı (sistemin ısı gücü) hesaplanabilir:

$$Q_{radyatör} = \dot{m}_{su} * c_{su} * (T_4 - T_5) \quad (2)$$



Şekil 2. Isıl çiftlerin yerleştirildiği konumlar ve numaralandırılması

3. DENEYİN YAPILIŞI VE SONUÇLARI

Deneyler 2 Aralık (Deney-1) ve 6 Aralık (Deney-2) 2016 tarihlerinde yapılmış olup ölçümler deney günü saat 08:00 - 17:30 arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında her dakika için ısıl çiftlerden sıcaklık, pıranometreden ışınım şiddeti değerleri kaydedilmiştir.

Yanlış güç hesaplamalarına ve verim değerlerine ulaşmamak amacıyla elektrikli ısıtıcı, su dolaşımının düzenli duruma geçmesini takiben saat 12:30'da devreye alınmış, debi ve güç hesabı yapılmıştır. Toplayıcı yüzeyin son olarak ışınım aldığı saat 16:00'da ısıtıcı kapatılmıştır. Deneylerde dolaşım suyu debisi (1) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Debi ölçümleri sırasında elektrikli ısıtıcı gücü 20 W olarak sabit tutulmuştur. Isıtıcı hattan çevreye olan ısı kaybı 2,77 – 5,35 W arasında değişmiş, ısıtıcı giriş-çıkış sıcaklık farkı ise 0,65 – 1,33°C olarak belirlenmiştir. Sıcaklık farkının küçük olmasından dolayı elektrikli ısıtıcının deneylere olan etkisi ihmal edilmiştir. Isıtıcı hat üzerinde oluşan sıcaklık farkının, kütesel debinin, Radyatör giriş ve dönüş sıcaklıklarının, toplayıcı yüzeye gelen ışınımın ve radyatör gücünün deney süresi boyunca değişimleri Tablo-1 ve Tablo-2 de verilmiştir.

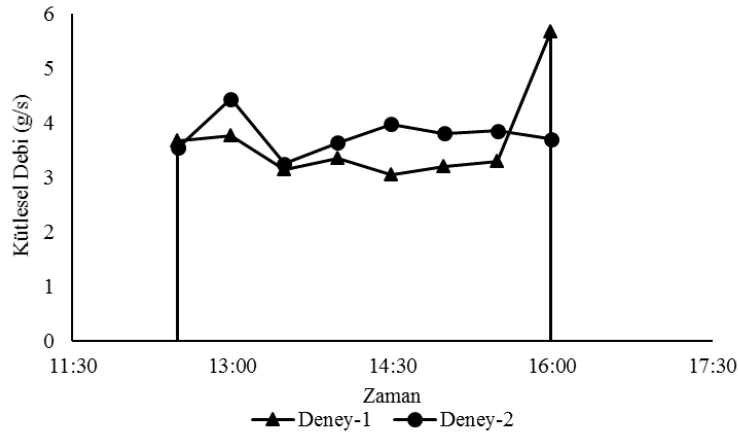
Tablo 1. Deney-1 için 30' ara ile alınan ölçüm ve hesaplamalar

Saat	Sıcaklık Farkı, °C (T_4-T_3)	Kütesel Debi,g/s	Radyatör Giriş Sıcaklığı, °C (T_4)	Radyatör Çıkış Sıcaklığı, °C (T_5)	Toplayıcı Yüzeye Gelen Işınım (W)	Radyatör Gücü (W)
11:30	-	-	28,39	19,90	663,80	-
12:00	-	-	34,14	23,54	746,08	-
12:30	1,10	3,67	35,88	25,39	821	160,90
13:00	1,05	3,76	39,61	27,35	846,28	192,53
13:30	1,23	3,14	40,33	28,41	71,08	156,57
14:00	1,19	3,34	37,75	26,80	101,87	153,04
14:30	1,33	3,04	35,68	25,18	566,40	133,61
15:00	1,26	3,19	36,30	25,26	759,52	147,15
15:30	1,18	3,28	38,56	27,00	894,4	158,58
16:00	0,65	5,68	44,23	30,29	814,37	330,70
16:30	-	-	43,28	30,01	12,46	-
17:00	-	-	42,16	29,45	8,53	-
17:30	-	-	41,45	29,11	8,21	-

Tablo 2. Deney-2 için 30' ara ile alınan ölçüm ve hesaplamalar

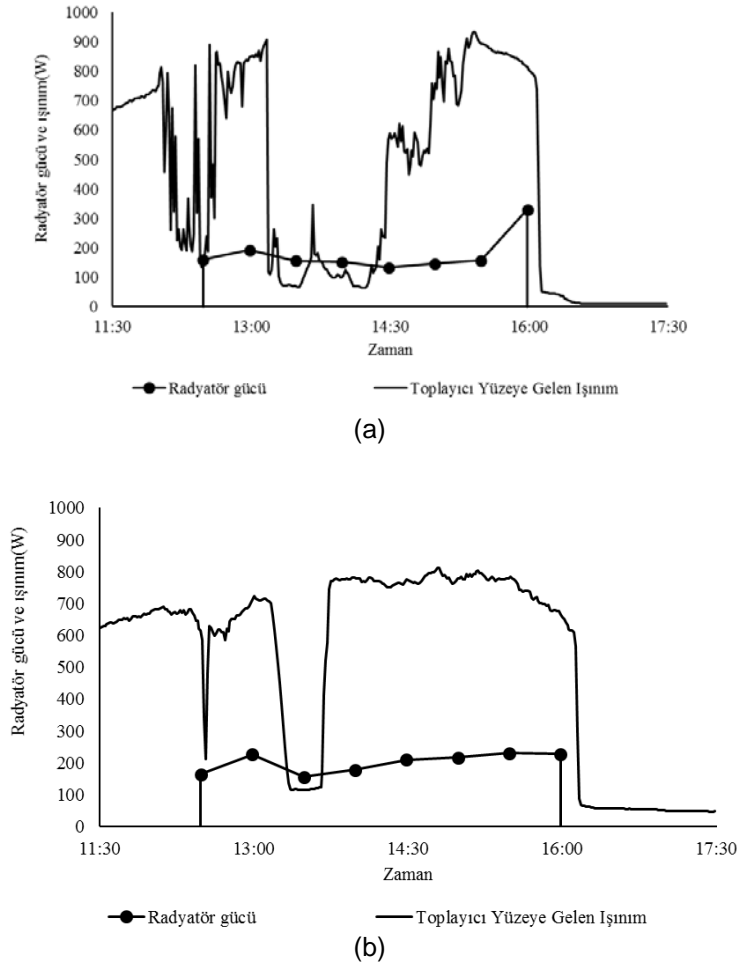
Saat	Sıcaklık Farkı, °C (T_4-T_3)	Kütleli Debi, g/s	Radyatör Giriş Sıcaklığı, °C (T_4)	Radyatör Çıkış Sıcaklığı, °C (T_5)	Toplayıcı Yüzeğe Gelen Işınım (W)	Radyatör Gücü (W)
11:30	-	-	28,27	19,54	619,03	-
12:00	-	-	33,39	23,59	668,84	-
12:30	1,10	3,54	37,76	26,69	614,56	163,93
13:00	0,87	4,44	41,63	29,38	712,50	227,15
13:30	1,19	3,25	40,72	29,17	114,74	156,83
14:00	1,06	3,63	40,51	28,76	780,78	178,50
14:30	0,93	3,97	43,82	31,17	774,62	210,11
15:00	0,94	3,80	46,66	32,99	777,98	217,11
15:30	0,91	3,85	49,06	34,67	777,42	231,48
16:00	0,93	3,70	50,53	35,79	664,37	228,13
16:30	-	-	49,27	35,34	45,91	-
17:00	-	-	48,42	34,78	42,35	-
17:30	-	-	47,75	34,02	38,52	-

Kütleli debinin deney süresi boyunca değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere kütleli debi değişimi 3 ile 5,5 g/s arasında gerçekleşmiştir.

**Şekil 3.** Kütleli debi değişimi

Radyatör giriş-çıkış sıcaklıkları göz önüne alınarak hesaplanan radyatörün gücü ile toplayıcıya gelen ışınım şiddetinin değişim değerleri Şekil 4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kütleli debinin düzensiz olduğu 8.30-12-30 saatleri arasında radyatör (sistem) gücü sıfır kabul edilmiştir. Toplayıcı yüzey üzerinde gölgelenmenin arttığı ve dolaşımın sona ermeye başladığı saat 16:00'dan sonra elektrikli ısıtıcı kapatılmış ve debi ölçümü sonlandırılmıştır.

Grafiklerin incelenmesi ile anlaşıldığı gibi, birinci deneyde ışınımın çok değişken oluşu radyatör gücünde azalmalara sebep olmuştur. İkinci deneyde ışınım miktarı yaklaşık bir saatlik bir aralıkta düşüş göstermiş ardından tekrar yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bunun sonucu radyatör gücü bir saatlik aralıkta düşüş göstermesine rağmen stabil bir seyir izlediği söylenebilir.



Şekil 4. a) Deney-1 b) Deney-2 için radyatör gücü ve toplayıcıya gelen ışınım

Yakın sonuçlar elde edilen iki deneye birlikte bakıldığında, radyatör gücü 160 W'ın altına inmemiş ancak 330 W'ın üstüne de çıkamamıştır. Ayrıca toplayıcı yüzeye ışınım düşmeye başladıktan sonra içerideki su ısınarak sistemin ataletinin yenilmesi ve doğal dolaşımın başlaması 2 saati aşan bir süreye ihtiyaç göstermiştir.

Deneyler sırasında hesaplanan toplam sistem ısıtma gücünün toplayıcı yüzeye gelen toplam ışıma oranı sistemin verimi olarak kabul edilmiştir.

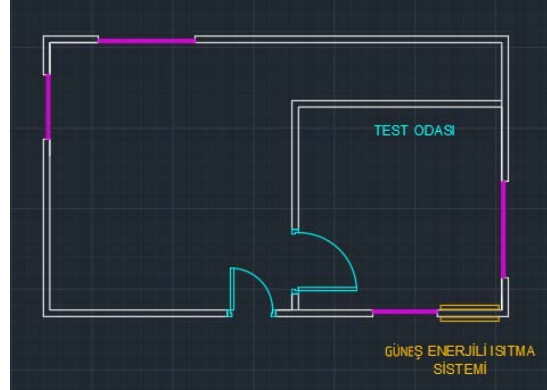
$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{\sum Q_{\text{radyatör}}}{\sum Q_{\text{ışınım}}} \quad (3)$$

Sistemin düzenli rejimde olduğu 12:30-16:00 saatleri arasında 1,2 m²'lik toplayıcı yüzeye gelen toplam ışınım gücü ortalaması Deney-1 için 609,37 W, Deney-2 için ise 652,12 W'tır. Aynı süre içinde radyatörden odaya aktarılan ısı gücü ortalaması Deney-1 için 179,14 W ve Deney-2 için 202,41 W olarak hesaplanmıştır. Buna göre sistemin verimi Deney-1 için %31 Deney-2 için %29 olarak belirlenmiştir.

4. TEST ODASI ISI KAYBI HESABI VE SİSTEMİN ISITMA MEVSİMİ PERFORMANSI

Sistemin ısıtma mevsimindeki performans değerlendirmesi aylık ortalama ışınım ve sıcaklık değerlerini paylaşan web sitesinden (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>) yararlanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada hesaplanan verim ile web sitesinden alınan ışınım değerlerinden, sistemin odaya ne kadar ısı aktarabileceği hesaplanmış ve odanın ısı kaybı ile karşılaştırılmıştır.

Bunun için öncelikle Şekil 5'te planı gösterilen oda için aylık ortalama ısı kaybı hesapları yapılmıştır. Odanın duvarları sandviç panelden yapılmış olup, yan odaya açılan bir kapısı bulunmaktadır. İzmir için ısıtma mevsimi kasımda başlayıp mart sonunda bitmektedir. Isıtma mevsimi süresince gündüz saatleri (9:00-18:00) için aylık ortalama sıcaklıklar ve buna bağlı olarak ısı kayıpları hesaplanmıştır. Buna göre gündüz saatlerinde odanın ortalama ısı ihtiyacı 290–390 W arasında değişmektedir.



Şekil 5. Test odası plan görünüşü

Isıtma ihtiyacının olduğu dönem için güneş enerjili ısıtma sisteminin gücü de yine meteorolojik veriler yardımı ile hesaplanmıştır. Toplayıcı yüzey 1,2 m² alınarak, gelen ışınım miktarı hesaplanmış ve deneysel olarak belirlenen verimle (%30) çarpılarak sistemin gücü elde edilmiştir. Isıtma mevsiminde odanın anılan saatler aralığındaki ortalama ısı kaybı ve sistemin aynı saatler aralığındaki ısıtma gücü Tablo 3'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3. Isıtma mevsimi için odanın ısı kayıpları ve odaya aktarılan ısı

	KASIM		ARALIK		OCAK		ŞUBAT		MART	
Ortalama Isıtma İhtiyacı (W)	268,42		347,18		368,36		327,78		278,47	
Odaya Aktarılan ortalama Isı (W)	124,98	%47	107,04	%30	118,71	%32	121,02	%37	120,54	%43

Güneş enerjili ısıtma sisteminin gücünde önemli iniş çıkışlar olmayıp yaklaşık 120 W civarındadır. Ancak ısıtma ihtiyacında mevsime göre olan değişiklikler nedeniyle, sistemin ihtiyacı karşılama oranı %30 ile %47 arasında değişmiştir.

5. SONUÇ

Güneş enerjili ısıtma sisteminin test odasına montajı tamamlandıktan sonra sistemin çevre koşulları altındaki ısı performansını belirlemek amacıyla 2 Aralık 2016 (Deney-1) ve 6 Aralık 2016 (Deney-2) tarihlerinde ölçüm ve test çalışmaları yapılmıştır. Buna göre sistem dolaşım debisi 3-5,5 (g/s) arasında değişkenlik göstermektedir. Radyatör giriş-çıkış sıcaklık farkı ile dolaşım debisi çarpılarak sistemin toplam ısı gücüne ulaşılmıştır. Deney-1 için 179,14 W ve Deney-2 için 202,41 W ısı güç çıktısı elde

edilmiştir. Isıl güçlerin toplayıcı yüzeye gelen ışınım değerlerine oranı ile verim hesaplanmıştır. Buna göre, sistemin Deney-1 için %31, Deney 2 için %29 verimde çalıştığı sonucuna varılmıştır. Buradan yola çıkılarak ısıtma mevsimi süresince sistemin yaklaşık %30 verimde çalışacağı düşünülebilir.

Sistemin ısıtma mevsimindeki performansını incelemek için öncelikle test odasının ısı kaybı hesaplanmıştır. Isı kayıpları Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 268,42 W, 347,18 W, 368,36 W, 327,78 W ve 278,47 W bulunmuştur. Ardından güneş enerjisiyle çalışan sistemler için meteorolojik veriler sunan interaktif bir haritadan (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>) alınan ışınım değerleri ile toplayıcı yüzeye gelen ışınım değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kontrollü deneyler sonucunda bulunan toplam sistem verimi ile çarpılarak sistemin her ay için ısı gücü bulunmuştur. Isıl güçler Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 124,98 W, 107,04 W, 118,71 W, 121,02 W, 120,54 W olarak hesaplanmıştır. Isı kaybı ve ısı gücü hesaplamaları karşılaştırıldığında sistemin ısı ihtiyacını karşılamada en yetersiz olduğu ay %30 oranla Aralık ayı olmuştur. En yüksek olan ay ise %47 oranla Kasım ayıdır.

Sistemin ısıtma mevsimindeki ısı ihtiyacı karşılama oranları incelendiğinde, sistemin mevcut durumda tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılabilir. Buna karşılık, %50'ye yaklaşan ısıtma oranı ile, fosil yakıt kullanımında tasarruf sağlanmasına yardımcı olacak nitelikte olduğu söylenebilir.

Sistemin ısıtma kapasitesi mevcut durumda yeterli olmamasına rağmen, yapılacak bazı iyileştirmeler ile çevre koşullarına bağlı olarak %100'e yaklaştırılabilir. Yapılabilecek bazı iyileştirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- Dış ünite toplayıcı yüzey alanının artırılması durumunda, sistem ataleti yenilerek daha iyi bir su dolaşımı sağlanacağı için, verimde bir artış beklenmelidir.
- Vakumlu cam tüp sayısı artırılarak toplayıcı yüzey alanı genişletilebilir. Toplayıcı yüzey alanının iki katına çıkarılması durumunda, verim artışı göz ardı edilse bile, sistemin ısıtma ihtiyacının karşılamada en yetersiz kaldığı Aralık ve Ocak aylarında %60 yeterlilikte çalışması söz konusudur.
- Sistemin test odasına yerleştirilebilmesi için özel olarak üretilen 1 metre uzunluğundaki vakumlu cam tüpler yerine standart boyda (1,8 m) tüpler kullanılabilir. Bu durumda yine toplayıcı yüzey alanı ve dolayısıyla sistemin gücü arttırılacaktır.
- Sistemin binalara uygulanabilir olması için, toplayıcı yüzey bina duvarına düşey olarak yerleştirilmiştir. Toplayıcı yüzeyin optimum çalışma açısında yerleştirilmesi sistemin verimini arttıran bir parametredir. Böylece sistemin ısı gücü arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Koç, E., Şenel, M. C., "Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu - genel değerlendirme", Mühendis ve Makina, 54, 32-44, 2013.
- [2] Yazar, Y., "Türkiye'nin enerjideki durumu ve geleceği", SETA Analiz, 31, 1-24, 2010.
- [3] Bayrak, M., Esen, Ö., "Türkiye'nin enerji açığı sorunu ve çözümüne yönelik arayışlar" Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 28, 139-158, 2014.
- [4] Ünsal, İ., "Enerji gündemi ve sorunlarımız" (1. Baskı). Ankara: Emo Yayınları, 2004
- [5] Chen, K., Shorthill, R. W., Chu, S. S., Chailapo, P., Narasimhan, S., "An energy-efficient construction module of variable direction of heat flow, heat capacity, and surface absorption", ABD Hava Kuvvetleri Wright Laboratuvarı Teknik Raporu, 95, 3045, 1995.
- [6] Chun, W., Lee, Y. J., Lee, J. Y., Chen, K., Kim, H. T., Lee, T. K. "Application of the thermal diode concept for the utilization of solar energy", Energy Conversion Engineering Conference, 1709 – 1714, 1996
- [7] Chun, W., Chen, K. "Test results of a bi-directional thermodiode system for solar energy utilization", Solar Energy, 73, 269–280, 2002.

- [8] Chun, W., Koa, Y.J., Lee, H. J., Han, H., Kim, J. T., Chen, K., “Effects of working fluids on the performance of a bi-directional thermodiode for solar energy utilization in buildings”, *Solar Energy*, 83, 409–419, 2009.
- [9] Fang, X., Xia, L., “Heating performance investigation of a bidirectional partition fluid thermal diode”, *Renewable Energy*, 35, 679–684, 2010.
- [10] Budihardjo, I., Morrison, G. L., Behnia, M., “Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors”, *Solar Energy*, 81, 1460–1472, 2007.
- [11] Budihardjo, I., Morrison, G. L., Behnia, M., “Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters”, *Solar Energy*, 83, 49-56, 2009.
- [12] Sakhrieh, A., Al-Ghandoor, A., “Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors”, *Energy Conversion and Management*, 65, 715-720, 2011.
- [13] Tang, R., Gao, W., Yu Y., Chen, H., “Optimal tilt-angles of all-glass evacuated tube solar collectors”, *Energy*, 34, 1387–1395, 2009.
- [14] Li, Z., Chen, C., Luo, H., Zhang, Y., Xue, Y., “All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system”, *Solar Energy*, 84, 1413–1421, 2010.
- [15] Wang, P. Y., Guan, H. Y., Liu, Z. H., Wang, G. S., Zhao, F., Xiao, H. S., “High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger”, *Energy Conversion and Management*, 77, 315–323, 2014.
- [16] Ma, L., Lu, Z., Zhang, J., Liang, R., “Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube”, *Building and Environment*, 45, 1959-1967, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Güvenç Umur ALPAYDIN

1989 yılı Eskişehir doğumludur. 2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede Termodinamik Anabilim Dalında 2014 yılında başladığı Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.

Serhan KÜÇÜKA

1960 İzmir doğumlu olup, 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 1985 yılında Yüksek Lisans ve 1993 yılında Doktora eğitimini tamamlamıştır. 1997 yılından beri DEÜ Mühendislik Fakültesinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. VIII., IX., X., ve XIII. TESKON kongrelerinde yürütme kurulu üyesi olarak görev almıştır. Çalışma konuları Soğutma Tekniği, Jeotermal Enerji ve Güneş Enerjisidir.