



İKİZ-SİLİNDİRİK OLUK TIPLİ GÜNEŞ ENERJİSİ YOĞUNLAŞTIRICISINDA KIZGIN SU ÜRETİMİNİN DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

Cuma ÇETİNER*, Fethi HALICI **, Hamit ÇAÇUR***

*HRÜ Müh.Fak. Mak Müh. Böl. 63000, Osmanbey Kampusu, Şanlıurfa, ccetiner@gmail.com

** SAÜ Müh.Fak. Mak.Müh. Böl. Esentepe Kampüsü, Sakarya, fhalici@sakarya.edu.tr

***TEAŞ Uzman, Denizli, hamitcacur@gmail.com

(Geliş Tarihi: 08. 06. 2010, Kabul Tarihi: 24. 09. 2010)

Özet: Bu çalışmada, Denizli-Kızıldere Jeotermal sahasında kurulan ikiz-silindirik parabolik güneş enerjisi yoğunlaştırıcısı ile kızgın su üretilerek, sistemin teorik ve deneysel performansı incelenmiştir. Kurulan bu sistemin özelliği iki silindirik parabolik oluklu ve tek odaklı olmasıdır. Silindirik parabolik şeklindeki aynalar güneşi doğu-batı yönünde takip ederken, odakta bulunan yutucu yüzey sabit kalmaktadır. Kurulan sistemde silindirik parabolik aynaların alanı 54 m^2 , yutucu yüzeyin eni 0.2 m, boyu 14 m ve toplam alanı 2.8 m^2 ve odak uzaklığı 12 m'dir. Deney tesisatı bölgenin enlemi olan 37° eğimle kuzey-güney yönünde yerleştirilmiştir. Deneyler saat 9:00 ile 17:00 saatleri arasında yapılmıştır. Gelen güneş enerjisi, ayna üzerine yerleştirilen piranometre cihazı ile ölçülerek sistemin performansı hesaplanmıştır. Deneyler değişik debi ve basınçlarda tekrarlanarak $110-120^\circ\text{C}$ sıcaklıklarında kızgın su üretecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada teorik olarak bulunan sistemin ısı gücü ve ısı verimi ile deneysel tespit edilen ısı gücü ve ısı verim karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada sistemin veriminin, 9:00 ile 17:00 saatleri arasında 0.30 ile 0.38 arasında değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Silindirik parabolik yoğunlaştırıcı, Kızgın su.

THE EXPERIMENTAL AND THEORITICAL INVESTIGATION ON OF SUPERHEATED WATER IN TWIN-CYLINDRICAL SOLAR PARABOLIC COLLECTORS

Abstract: In this study, superheated water in solar system is produced with twin cylindrical-parabolic collector established in Denizli-Kızıldere and is experimentally and theoretically the thermal performance of the system. The characteristics of the system is to be cylindrical and parabolic. While cylindrical-parabolic mirrors track the sun from east to west direction, the focusing absorber is fixed. The area of cylindrical parabolic mirror is 54 m^2 . In the system, the width and length of absorber is 0.2 m and 14 m respectively, focal length is 12 m. The collectors are sloped at of the region in direct of north-south. The experiments are performed between 9 and 17 hours. Solar energy is measured by piranometer placed on mirrors and is the performance of system calculated. With repeated the experiments on different flow rates and pressures, superheated water of $110-120^\circ \text{C}$ is produced. In this study, theoretical termal poker ana termal efficiency with are compared with these of obtained experimentally. It is seen that the efficiency of system are between the 0.3 and 0.38 among the 9 and 17 hours.

Keywords: Solar energy, Cylindrical-parabolic concentrating, Superheated water.

SEMBOLLER

A_a	Toplayıcı açıklık alanı (m^2)	v	Rüzgar hızı (m/sn)
A_y	Yutucu alanı (m^2)	W	Güç (Watt)
c_p	Akışkanın özgül ısısı (kJ/kgK)	Q_u	Güç (W)
F_R	Isı kazanç faktörü	α	Alıcı yüzeyin yutma oranı
h	Isı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)	γ	Intercept Factor (intersept faktörü)
I_T	Toplam ışınım akısı (W/m^2)	ε	Yüzeyin ışınım yayma oranı
I_y	Yayıllı ışınım akısı (W/m^2)	η	Anlık ısı verim
I_d	Direkt ışınım (W/m^2)	ρ	Yansıtıcı yüzeyin yansıtma oranı
m	Akışkanın debisi (kg/s)	σ	Stefan-Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K)}$)
T_g	Giriş sıcaklığı $^\circ\text{C}$	τ	Saydam yüzeyin geçirgenlik katsayısı
T_ζ	Çıkış sıcaklığı $^\circ\text{C}$		
T_{cev}	Ortam(çevre) sıcaklığı $^\circ\text{C}$		
U_T	Toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)		

GİRİŞ

Güneş enerjisi bitmez tükenmez bir enerji kaynağıdır. Teknolojik yöntemlerle diğer enerji türlerine dönüşümü sağlanırsa, enerji ihtiyacına büyük katkılar sağlayabilir. Bu yüzden dünyanın güneş enerjisi bakımından yıl boyunca yoğun olduğu bölgelerinde, büyük veya küçük ölçekli güneş enerji sistemlerinin kurulması yönündeki çalışmalar hızla artmaktadır (Duffie, 1991; Kılıç, 1994).

Güneş enerjisi toplayıcıları, güneş ışınımından aldıkları enerjiyi, genel olarak ısı taşıyıcı bir akışkana verdiklerinden, bir çeşit ısı değiştiricisi olarak kabul edilebilirler. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek oranda yoğunlaştırılmış güneş ışınımı bir yutucuya verilerek, ısı taşıyıcı akışkanın kızgın hale gelmesi ya da buhar fazına geçmesi sağlanır.

Çok çeşitli güneş enerjisi toplayıcıları vardır. Yoğunlaştırıcı toplayıcılar genelde parabolik çizgi odaklamalı ve paraboloid (çanak yüzeyli) noktasal odaklayıcılar olarak iki grupta ele alınabilir. Bu toplayıcılar doğu-batı, kuzey-güney eksenli veya polar eksenli olarak güneşi takip edecek şekilde dizayn edilirler. Fakat maksimum oranda güneş ışınımından yararlanma şekli olan iki eksenli polar sistemdir (Yiğit, 2010; Jui Sheng, 1994). Bu sistemle toplayıcıya kuzey-güney ve doğu-batı yönünde hareketler verilerek, güneş ışınımının daima yüzeye dik gelmesi sağlanır. Rabl ve Meinel, yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerinde yaptığı çalışmada, noktasal ve çizgisel odaklamalı yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerine gelen güneş ışınlarının, doğu-batı,-kuzey-güney ve polar olarak güneşi izleme yöntemlerini inceleyerek, güneş ışınları geliş açılarının analitik ifadelerini vermiştir (Meinel, 1977; Rabl, 1976). Parabolik toplayıcılar genelde elektrik üretimine yönelik olarak yapılmaktadır. Bu yöndeki çalışmalar 1984 yılında başlamış olup, LUZ şirketi tarafından LS serileri (Zarza, 2002) ile güçleri 14 ile 80 MW arasında değişen, SEGS serileri ile de 354 MW gücünde termik santraller yapılmıştır (Mills, 2004). Bu yöndeki deneysel ve teorik çalışmalar ise devam etmektedir. Kalogirou, toplayıcı açıklık alanı 3,5 m², toplayıcı açıklığı 1,46 m, yutucu çapı 22 mm, yoğunlaştırma oranı 21,2 olan parabolik oyuk siteminde yaptığı deneysel çalışmada (Kalogirou.,S, 2004), düşük sıcaklıkta buhar üreterek, sistemin performansını araştırmıştır. Halıcı , açıklık yüzeyi 2x3 m boyutlarında silindirik paraboloid aynalı, odak mesafesi 6 m olan güneş enerjisi yoğunlaştırıcısında sıcak su üreterek sistemin performansını incelemiştir (Halıcı, 2000). Bu çalışmada yoğunlaştırıcı aynalar güneşi doğu batı yönünde takip etmekte odak ise sabit kalmaktadır.

Odaklı toplayıcılar yukarıda da bahsedildiği gibi yüksek sıcaklıklar elde edebilmek için kullanılırlar. Yoğunlaştırma oranı ne kadar fazla olursa sıcaklık ta o kadar yüksek olur. Noktaya odaklayan paraboloid çanak yüzeyli toplayıcılarda yaklaşık olarak 1000-1500° C sıcaklıklar elde etmek mümkündür. Çizgiye odaklayan silindirik parabolik yüzeyli toplayıcılarda ise daha az yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir.

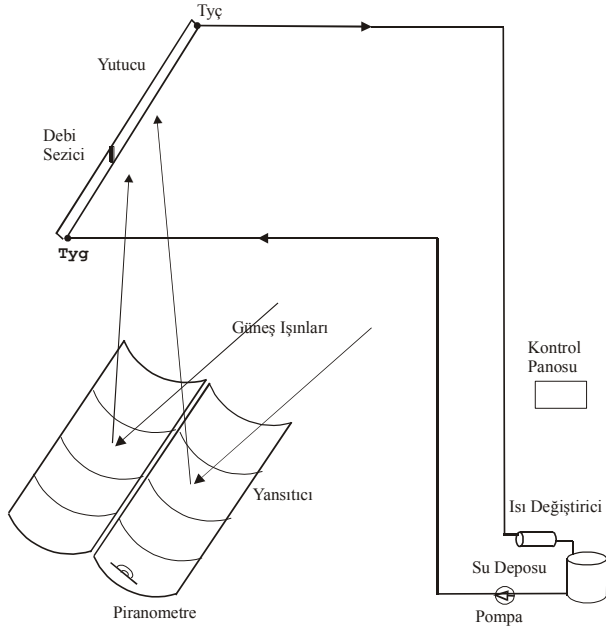
Kızgın su, basınç altında 100 °C sıcaklığın üzerinde bulunan su olarak kabul edilir. Kızgın suyun sıcaklığı, bulunduğu basınçtaki suyun doyma sıcaklığından düşük olmalıdır. Aksi halde su buharlaşmaya başlar. Kızgın suyun basıncı, kızgın su sıcaklığındaki doyma basıncına düştüğü zaman da buharlaşma olayı başlar. Kızgın su bölgesel ısıtmada ve bazı endüstri tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın bir amacı da bu gibi işletmelerde kullanılan kızgın suyun, belli bir oranının güneş enerjisinden karşılanıp karşılanamayacağına araştırılmasıdır.

Silindirik parabolik yoğunlaştırıcılarda yapılan çalışmaların hemen hepsinde parabolik yansıtıcı ile odaktaki yutucu yüzey birlikte hareket etmektedir. Bunlar daha çok tek eksen üzerinde dönebilen parabolik yoğunlaştırıcılar şeklindedir. Silindirik yoğunlaştırıcı üzerinde yapılan çalışmaların sayısı ise azdır. Bu çalışmada ise silindirik yansıtıcı güneşi takip etmekte, yutucu ise sabit durmaktadır. Deney tesisatının bu şekilde tasarlanmasının amacı imalat kolaylığı açısındandır. Silindirik parabolik yoğunlaştırıcılarda yapılan çalışmalarda sistem doğu-batı yönünde yerleştirilerek mevsimsel ayar yapılmaktadır. Bu çalışmada ise silindirik oluk şeklindeki aynalar kuzey-güney yönünde yerleştirilerek güneşi doğu batı yönünde takip etmektedir. Yutucu yüzey ise sabit kalmaktadır. Burada biraz odaklama problemi olmakla birlikte kabul edilebilir düzeydedir.

DENEYSEL YÖNTEM

Güneşi tek eksen üzerinde izleyebilen yoğunlaştırıcı aynalar, polar sistemli olabilmesi için bulunduğu yer düzlemiyle bölgenin enlemi olan 37° açı yapacak şekilde kuzey güney yönünde yerleştirilmiştir. Polar sistemi, diğer izleme yöntemleri içinde güneş enerjisinden, yıl boyunca en fazla ışınım alabilen sistem olduğu için tercih edilmiştir. Deney tesisatının şeması Şekil 1. de, fotoğrafı da Şekil 2. de verilmiştir. Burada yoğunlaştırıcılar yan yana yerleştirilmiş iki sıralı silindirik flotal aynalardan meydana gelmiştir. Bir sırada 4 adet ayna monte edilmiş olup uzunluğu 13 m ve açıklık genişliği 2.11 m dir. Bu aynalar özel hazırlanmış çelik kasalar içine yerleştirilmiştir. Her bir sıra 27 m² olup, silindirik ayna yansıtıcıların toplam açıklık alanı 54 m² dir. Silindirik oluk şeklindeki aynaların odak uzaklığı 12 m olduğundan, yutucu yüzey 12 m uzaklığa ve her iki aynanın orta düzleminde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sistem ayarlanabilir esnekliğe sahip olduğundan, aynalardan yansıyan ışınlar odakta toplanabilecek şekilde ayar yapılmıştır. Yutucu yüzey yan yana yerleştirilen 20 adet 8 mm çaplı siyah boya ile boyanmış bakır borulardan imal edilmiştir. Yutucunun uzunluğu yaz ve kış dönemlerinde güneşten gelen ışınların açıları değiştiğinden dolayı her iki ucu, silindirik yansıtıcı ayna uzunluğundan 0,25 m kadar daha uzun imal edilmiştir. Silindirik aynaların uzunluğu 13 m yutucu yüzeyin uzunluğu 13.5 m'dir. Mevsime göre ayarlama yapılabilmektedir. Yutucu yüzeyin iletim, taşınım ve ışınım ile ısı kayıplarını azaltmak için

cam yünü, amyant tabakası, sentetik yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Ayrıca yutucu borular ile yalıtım arasında bir miktar boşluğu bırakılmıştır.



Şekil 1. Sabit odaklı silindirik yoğunlaştırıcının şematik görünüşü.

Optik analizden bilindiği gibi asal eksene paralel gelen ışınlar sadece parabolik yansıtıcıda odakta toplanır, silindirik yansıtıcıda ise yansıyan ışınlar odakta başlayarak aynaya doru olan bir hat üzerinde odaklanır. Ancak bu durum, odak mesafesine göre açıklık uzunluğunun küçük olduğu silindirik yansıtıcılarda ihmal edilebilecek düzeyde olduğundan, yansıyan ışınların odakta toplandığı kabul edilmektedir. Bu kabule paraksiyal yaklaşım denilir (Genceli, O.F., 1983)

Deneyler saat 9:00 ile 17:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla ölçümler alınarak yapılmıştır. Veri olarak güneş ışınımı ölçüm değerleri $\pm\%3$ hassasiyete sahip Kipp-Zonen firmasının cm11 piranometresi ile, ortam sıcaklığı Thermo firmasının $\pm\%1$ hassasiyetli TM977 cihazı ile, rüzgar hızı $\pm\%0.1$ hassasiyetli testo 512-1 cihazı ile, suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları Elimko cihazına bağlı Fe-Co termo elemanlar ile ve suyundebisi her 15 dakikada bir tartılarak ölçümler yapılmıştır. Depodaki su, basınçlı pompa ile yutucu borulara gönderilmiştir. Sistem daima doyma basıncından daha büyük basınç altında tutularak buharlaşma engellenmiştir. Yutucudan çıkan kızgın su bir ısı değiştiricisinden geçirilerek soğutulmakta ve oradan tekrar depoya gönderilmektedir. Piranometre aynaların üzerine yerleştirilerek, aynalar ile birlikte güneşi takip ederken güneş ışınım değerleri ölçülmüştür. Mekanik hareketli olarak imal edilen güneş takip sisteminin dişli kutusu, bir günde bir devir yapacak şekilde özel imal edilmiştir. Bu dişli kutusu 60 W'lık güçle çalışmaktadır. İçindeki dişli gurubuyla güneşi sürekli takip etmesi sağlanmaktadır. Yansıtıcı sağ ve sol aynalar tek başına hareket edebilme özelliğine sahiptir. Aynaların altına monte edilen güneşi

takip mekanizması tek eksenli izleme özelliğine sahip olup el ile ayar yapma özelliği de bulunmaktadır.



Şekil 2. Sabit odaklı silindirik yoğunlaştırıcının fotoğrafı.

SİLİNDİRİK TOPLAYICININ TEORİK ISIL ANALİZİ

Yoğunlaştırıcıdan yutucuya ulaşan ışınım miktarının bir kısmı ısı kayıpları nedeniyle ortama geçerken, diğer kısmı akışkan tarafından yutularak faydalı enerji haline dönüşmektedir. Enerji kaybını önlemek için, yutucu yalıtılmasına rağmen bunu tamamen önlemek mümkün değildir. Yutucudaki ısı kayıpları cam örtüden ve yalıtımdan çevreye doğru iletim, taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşmektedir. Buhar üreten yoğunlaştırıcılarda genellikle yutuculardan dış ortama olan kayıpları daha fazla önlemek amacıyla bir cam zarf içinde yerleştirilmektedir. Bu deney setinde kullanılan yutucu örtü malzemesi düz yutuculu olup dış ortamdan korunmak için düz bir cam ve yutucunun arka yüzeyine 50 cm kalınlığında ısı yalıtımı kullanılmıştır. Yutucu şekli ters çevrildiğinde bir düz toplayıcıya benzemektedir. Dolayısıyla düz toplayıcılar için yapılan hesaplama yöntemi burada da kullanılabilir. Düz toplayıcılarda kazanılan faydalı enerjinin bulunması için en çok kullanılan Hottel-Whiller-Bliss eşitliği, buradaki yutucu yüzey içinde kullanılabilir (Duffie, 1991; Kılıç, 1994; Jui Sheng, 1986). Buna göre yutucuya geçen faydalı enerji;

$$Q_u = A_a F_R \left[I_Y - \frac{A_r}{A_a} U_T (T_g - T_{cev}) \right] \quad (1)$$

gösterilmiştir. Saydam örtü ile yutucu arasındaki ısı direnç R_2

$$R_2 = \frac{1}{h_{1-p} + h_{k,p-c}} \quad (12)$$

şeklinde hesaplanır. Burada saydam örtü ile yutucu borular arasında ısı taşınım katsayısı iki paralel yüzey gibi düşünüldüğünden ışıma eşdeğer ısı taşınım katsayısı (Halıcı, 2001; Incropera, 2001)

$$h_{1,p} = \frac{\sigma(T_p - T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (13)$$

eşitliği ile bulunur. Yutucu yüzey ile saydam örtü eğik bir yüzeydir. Yutucu yüzey ile cam örtü arasındaki taşınım katsayısının bilinmesi gerekir. Eğik bir yüzeyde kullanılması teklif edilen taşınım katsayısı için aşağıdaki bağıntıdan bulunur (Duffie, 1991; Kılıç, 1994; Jui Sheng, 1986).

$$h_{k,p-c} = \left\{ 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos s} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8s)^{1,6} (1708)}{Ra \cos s} \right] \right\} + \left[\left(\frac{Ra \cos s}{5830} \right)^{1,3} - 1 \right] \quad (14)$$

Burada s yutucunun eğimidir, Ra ise Rayleigh sayısıdır. Yutucunun üst kısmına dış ortamın taşınım yoluyla ısı geçişini azaltmak amacıyla farklı kalınlıklarda yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Üst yalıtım plakası için toplam ısı kayıp katsayısı,

$$U_{üst} = \frac{1}{R_4 + R_3} \quad (15)$$

Bağıntısına göre hesaplanmıştır. Yutucu çeşitli kalınlıklarda olmak üzere sentetik yalıtım, amyant tabakası, alüminyum levha, cam yünü kullanılmış ve dış ortamdan korunması için paslanmaz çelikte kaplanmıştır. Yalıtım malzemeleri için R_3 direnci

$$R_3 = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{l_4}{k_4} + \frac{l_5}{k_5} \quad (16)$$

Bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada l_1 sentetik yalıtım, l_2 amyant tabakası, l_3 alüminyum levha, l_4 cam yünü ve l_5 paslanmaz çeliğin kalınlıklarını göstermektedir. R_4 direnci için

$$R_4 = \frac{1}{h_{d-d}} \quad (17)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Burada yutucunun üst kısmı ile çevre arasında bir miktar ışıma kaybı vardır. Ancak yutucunun üst kısmı ile çevre arasındaki sıcaklık farkı çok düşük olduğundan ihmal edilmiştir.

Yutucunun kenarlarından olan ısı kayıp katsayısı (Duffie, 1991; Kılıç, 1994; Jui Sheng, 1986).

$$U_k = 0,6 \left[\frac{A_{y-çevresi}}{A_y} \right] \quad (18)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Toplam ısı kayıp katsayısı aşağıdaki bağıntıya göre bulunur.

$$U_T = [U_{üst} + U_{alt} + U_k] \quad (19)$$

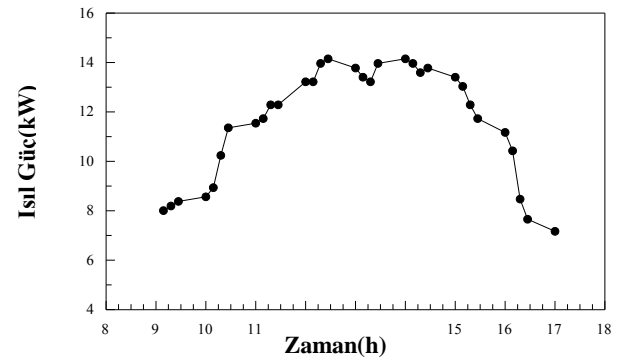
Isı kazanç faktörü;

$$F_R = \frac{mc_p}{A_y U_T} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_y U_T F}{mc_p} \right) \right] \quad (20)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır (Duffie, 1991; Kılıç, 1994). Buradaki verim faktörü F, çalışma şartlarından bağımsız olup toplayıcının tasarımına bağlı bir faktördür. Kaynak Duffie (1991); Kılıç (1994)'ye göre hesaplanmıştır (Çetiner, 2004).

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

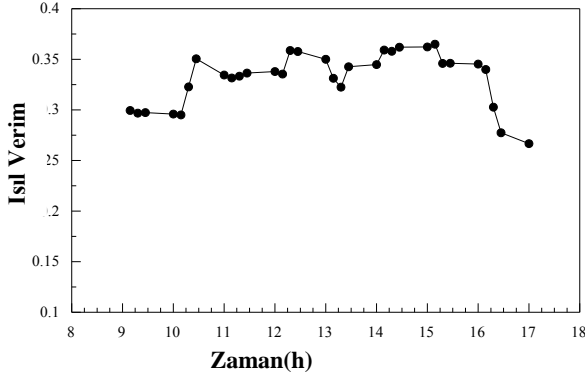
160 lt/h debide yapılan kızgın su deneyinde, günlük ortalama rüzgar hızı 3 m/s, nem oranı %35 olarak ölçüldü. Kızgın su için yapılan bu deneyde ısı güç maksimum 14 kW, minimum 8 kW elde edildi (Şekil 4).



Şekil 4. 160 lt/h debide kızgın su ile yapılan deneyde elde edilen ısı güç değişimi

Sistemden alınan ısı güç 12:00 ile 15:00 saatleri arasında maksimum seviyede gerçekleşmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Isı gücün saat 13:00 civarında bir miktar azalmasının nedeni, yutucu yüzeyin gölgesinin yansıtıcı aynalar üzerine gelmesidir. Sabah ve akşam saatlerinde elde edilen ısı güçteki azalmanın nedeni ise hem güneş ışınım şiddetinin az olması hem de yansıtıcı aynaların birbirlerine yaptıkları gölgelemeden kaynaklanmıştır. Sistemin ısı verimi %36 ile %20 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 5).

Isıl verim 10:00 ile 15:00 saatleri arasında ortalama %35 civarında kalmıştır. Tüm güneş ışınımı ise sabahleyin 680 W/m^2 den başlayarak gün içinde 1000 W/m^2 'ye kadar yükselmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. 160 lt/h debide kızgın suda yapılan deneylerdeki ısı verim değerleri.

Yayıllı ışıma 120 ile 170 W/m² arasında değişim göstermiştir. Gün boyunca ortam sıcaklığı 20-29°C, yutucuya suyun giriş sıcaklığı 42-52°C arasında ve yutucudan çıkış sıcaklığı ise 86°C den başlayarak ve 126°C sıcaklığa kadar değişim göstermiştir (Şekil 7).

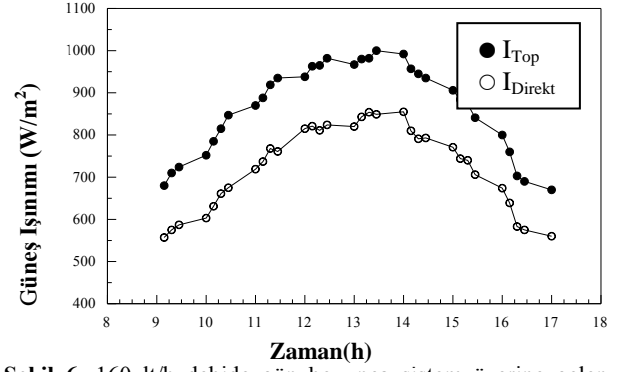
Tablo 1’de farklı debilerde elde edilen sistemin ısı gücü ve ısı verimleri verilmiştir. Değişkenlerin belirsizlik değerleri (Holman, 1986; Genceli, 1995) kaynaklarından faydalanılarak; tablo değerlerinin okunmasında $\pm 1\%$, solarimetre değerleri için $\pm 3\%$, debi için $\pm 2\%$, sıcaklık için ± 0.5 alınmıştır. Sistemin belirsizliği için yapılan hesap sonucunda ısı gücü için 2.3%, ısı verimi için %0.6 oranında belirsizlik bulunmuştur (Çetiner, 2004).

Tablo 1. 160 lt/h, 190 lt/h ve 200 lt/h debilerindeki kızgın su için yapılan deneylerde elde edilen ısı verim ve ısı gücü değerleri.

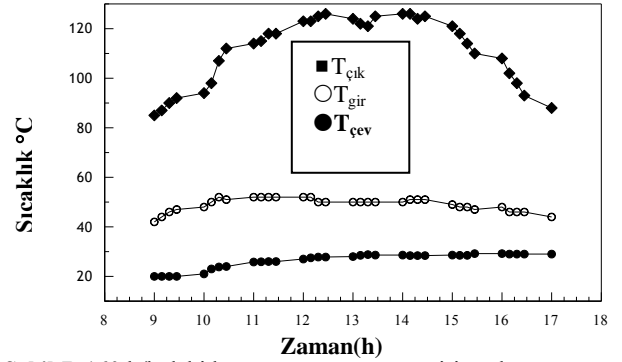
Kızgın Su Deneyleri	160 lt/h	Q (kW)	8.0	14.1	7.1	11.6
		η (%)	30	36	27	33
	190 lt/h	Q (kW)	8.6	13.3	7.5	11.5
		η (%)	30	34	25	30
	200 lt/h	Q (kW)	7.6	12.8	7.8	10.5
		η (%)	27	29	25	27

TEORİK HESAP İLE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Teorik hesap yöntemi ile elde edilen sonuçların deneyde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilmesi için, 160 lt/h debide kızgın su ile yapılan deney sonuçları ele alınmıştır. Teorik hesaplama ise iki şekilde yapılmıştır. Bunlardan birincisi deneyin yapıldığı gün için meteoroloji istasyonunun güneş enerjisi verilerinden faydalanılarak sistemin ısı verimi ve ısı gücü değerleri hesaplanmıştır. İkincisinde ise deney anında ölçülen ışıma şiddetinden faydalanarak sistemin verimi ve ısı gücü hesaplanarak yapılmıştır. Su giriş, çıkış ve çevre sıcaklıkları, deneyde ölçülen değerlerden alınmıştır.



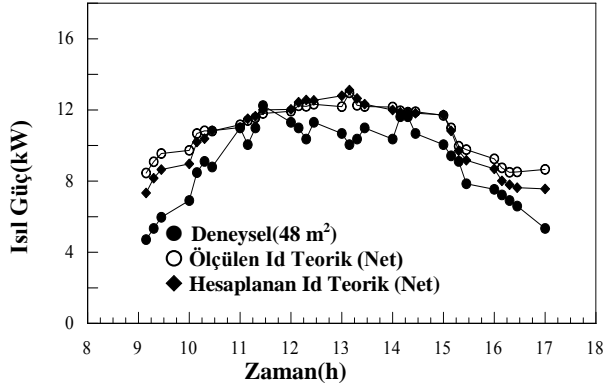
Şekil 6. 160 lt/h debide gün boyunca sistem üzerine gelen toplam ve direkt güneş ışıma değerleri.



Şekil 7. 160 lt/h debide gün boyunca suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığındaki değişimleri.

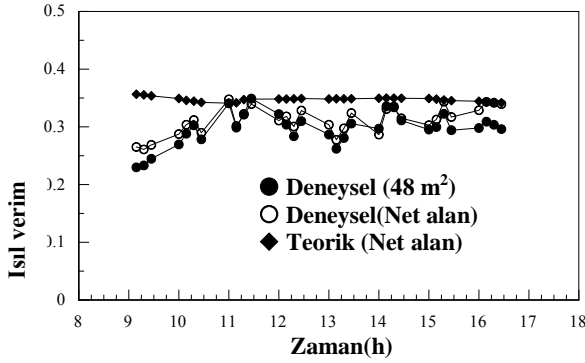
Teorik güç için gölgesiz net alan, deneysel güç için 48m² alınmıştır. Ayrıca iki piranometre kullanılarak tüm güneş ışımasını ve yayılı ışıma ölçülüp, aralarındaki farktan direkt güneş ışımasını bulunmuştur. Teorik hesaplamaya bulunan ısı gücü, deneysel değerlerden biraz daha yüksek çıkmakla birlikte, sabahın akşamına olan değişim, deneysel çalışma ile uyum içindedir. Teorik olarak hesaplanan ısı gücü 5 eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Şekil 9). Bu bağıntıdaki saydam örtü ve yutucu yüzey için olan yansıtma, geçirme ve yutma katsayıları, benzer malzemeler için kaynaklarda verilen değerler ele alınarak kullanılmıştır. Bu değerlerin alındığı malzemeler ile deneyde kullanılan malzemelerin özellikleriyle tıpa tıp aynı olduğu söylenemez. Buda teorik hesapla deneysel değerlerin az da olsa sapmasına neden olmaktadır. Kullanılan malzemelerin özelliklerine ait gerçek değerlerin bilinmesi halinde, teorik ve deneysel eğrilerin birbirine daha yakın olacağı umulmaktadır.

Deneysel olarak yapılan hesaplamada ısı gücü denklem 3’e göre hesaplanmıştır. Şekil 10’ da teorik olarak hesaplanan ısı verim değerleri ile deneysel olarak bulunan verim değerleri karşılaştırılmıştır. Gün boyunca teorik olarak hesaplanan ısı verimleri, deneysel olarak bulunan ısı verim değerlerinden yaklaşık %15 kadar daha büyüktür. Teorik hesaplama etki eden ortam sıcaklığı çok fazla değişmediğinden verim eğrisi doğrusala yakın çıkmıştır. Teorik hesaplamada sabah



Şekil 9. 160 lt/h debide kızgın su için deneysel ve teorik olarak bulunan ısı güçlerinin karşılaştırılması.

verim değeri %36, öğle vaktinde %34 ve deney sonunda ise %33 bulunmuştur. Deneysel olarak sabah deney başlangıcında ısı verim %25 öğle vaktinde % 37 deney sonunda ise % 24 olarak bulunmuştur. Kaynak 1'de ise içi oyuk benzer bir yutucuya sahip olan bir sistemde verim %40 ile %60 arasında değişmektedir. Bu çalışma ile karşılaştırıldığında yapılan bu çalışmadaki ısı veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. Zaten bu çalışmada amaç yüksek verimli bir sistem elde etmekten ziyade, imalatı ve kullanımı daha kolay bir sistem tasarlamaktır. Bu sistemle imalatın kolaylaştırılması, maliyetin düşürülmesi ile sistemin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 10. 160 lt/h debide kızgın su için teorik ve deneysel ısı verimlerinin karşılaştırılması.

SONUÇLAR

İki sıralı silindirik oluk şeklindeki 54 m² açıklık alanına sahip güneş enerjisi yoğunlaştırıcısında yapılan deneylerde, sistemin ısı veriminin gün içinde %23 ile %37 arasında, elde edilen ısı gücünde maksimum 14.1 kW olarak gerçekleştiği görülmüştür. Su debisi artırıldığında ısı verim ve ısı gücü yaklaşık % 5 civarında azalma meydana gelmiştir. Güneş enerjisi sabah saatlerinde düşük olduğundan ve sisteminde gece boyunca sıcaklığın düşmesinden dolayı kızgın su elde edilmesi sistem çalıştıktan debiye bağlı olarak 1-2 saat sonra gerçekleşmiştir. Sistemde ayrıca ilave bir ısıtıcı konulmadığından yutucuya sabit sıcaklıkta su gönderilememiştir. Sistemde elde edilen maksimum kızgın su sıcaklığı 126 °C olarak gerçekleşmiştir. Yapılan bu çalışmada, sıcak iklim bölgelerinde bazı endüstri tesislerinin ihtiyacı olan kızgın suyun bir

kısmını, güneş enerjisinden karşılayabilecekleri, silindirik odaklayıcı toplayıcıların yapılabileceği görülmüştür. Parabolik yüzeyli toplayıcılara göre imalat kolaylığı nedeniyle tarıma elverişli olmayan eğimli bölgelerde geniş alanda kurulması halinde tarım bölgelerinde olumsuz etkisi olmayacaktır. Bu sistemle buhar üretmek de mümkündür. Elde edilen buharın ısı enerjisi bir türbine verilerek elektrik elde edilebilecektir. Ancak bu çalışmaların biraz daha geliştirilerek araştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Bara, A., Franceschi, L., The Parabolic Through Plants Using Black Body Receivers: Experimental and Theoretical Analysis, *Solar Energy*, Vol.28, No.2, pp.163-171, 1982.

Çengel, A.Y., Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla, *Güven Yayınevi*, 2008.

Çetiner, C., Silindirik Oluk Tipindeki Güneş Yoğunlaştırıcısının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, *John Wiley and Sons Inc*, 1991.

Halıcı, F., Gündüz, M., Isı Geçişi, *Burak Ofset*, İstanbul, 2001.

Halıcı, F., Çakır, K., Çoban, M., Çacur, H., Sabit Odaklı Parabolik Bir Yoğunlaştırıcısının Performansının İncelenmesi, *ULIBTK '99*, 1, 119-124, 2000.

Holman, J.P., Gajda, W.J., Experimental Methods for Engineers, *Mc.Graw-Hill Company*, New York, 1986.

Genceli, O. F., Ölçme Tekniği, *Birsen yayınevi*, İstanbul, 1995.

Genceli, O.F., Optik Ölçme Metotları, *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, 1983.

Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, *Literatür Yayıncılık (çeviri)*, İstanbul, 2001.

Jui Sheng H., Solar Energy Engineering, *Prentice -Hall, inc Englewood, Cliffla*, New Jersey, 1986.

Kalogirou., S., Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 231-295, 2004.

Kılıç, A., Güneş Enerjisi, *Kipaş Dağıtımçılık*, 1984.

Meinel, A.B., Concentrating Collectors, *Solar Energy Engineering*, 9, 183-215, 1977.

Mills, D., Advances in solar thermal electricity technology, *Solar Energy*, 76, 19-31, 2004.

Rabl, A., Comparison of Solar Concentrators, *Solar Energy*, 18, 93-111, 1976.

Yiğit, A., Güneş Enerjisi, *Alfa-Aktüel Yayınevi*, 2010.

Zarza, E., The DISS Project: Direct Steam Generation in Parabolic Trough Systems. Operation and Maintenance Experience and Update on Project Status, *J. Sol. Energy Eng*, 124, 2, 126-134, 2002.