

İkiz Silindirik Oluk Tipli Güneş Enerjisi Yoğunlaştırıcısında Kızgın Buhar Üretiminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi

Cuma ÇETİNER^{1,*}, Fethi HALICI², Hamit ÇAÇUR³

¹HRÜ Müh.Fak. Mak. Müh.Böl. Şanlıurfa

²SAÜ Müh.Fak. Mak. Müh.Böl. Sakarya

³TEAŞ, Denizli

Başvuru:08/03/2013 Düzeltme: 09/05/2013 Kabul: 30/05/2013

ÖZET

Elektrik üretimi ve endüstriyel amaçlar için buhara ihtiyaç duyulur. Parabolik yüzeylerle güneş ışınımı yoğunlaştırılarak, yüksek sıcaklıklarda buhar üretilebilmektedir. Bu çalışmada, buhar üretmek için imal edilen silindirik- parabolik oluk şeklindeki güneş enerjisi yoğunlaştırıcısında, yansıtıcı yüzeyler güneşi doğu-batı yönünde takip ederken, odakta bulunan yutucu yüzey sabit kalmaktadır. Kurulan bu sistemde silindirik parabolik aynaların alanı 54 m², odak uzaklığı 12 m'dir. Deney tesisatı bölgenin enlemi olan 37° eğimle kuzey güney yönünde yerleştirilmiştir. Deneyde güneş ışınımı piranometre cihazı ile ölçülerek sistemin performansı hesaplanmıştır. Deneyler değişik debi ve basınçlarda tekrarlanarak 110-160°C sıcaklıklarında kızgın buhar üretecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde deneysel olarak elde edilen ısı güç ve ısı verim ile teorik olarak elde edilebilecek ısı güç ve ısı verim değerleri karşılaştırılarak, sistemin performansı incelenmiştir. Sonuç olarak kurulan bu sistemin ısı veriminin 0.31 ile 0.39 arasında değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, silindirik parabolik yoğunlaştırıcı, kızgın buhar üretimi

ABSTRACT

There is a requirement of steam production for industrial purposes and electrical power. Concentrating solar radiation by parabolic collectors, it can be generated high temperature steam. In this study, cylindrical-parabolic through solar collector manufactured for steam production while reflecting surface trace the sun east-west direction, absorbing surface on focus is fixed. In the system, the area of cylindrical parabolic mirror is 54 m² and focal length 12 m. The collectors are sloped at of the region in direct of north-south. 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 steam of 110-160° C is produced. In this system, thermal power and thermal efficiency values obtained by experimentally and theoretically are compared with each others, the performance of the system investigated. As a result, thermal efficiency of the system ranged between 0.31 and 0.39.

Key Words: Solar energy, Cylindrical-parabolic concentrating, Superheated steam

A _a	:	Toplayıcı açıklık alanı (m ²)
A _y	:	Yutucu yüzey alanı (m ²)
C _p	:	Akışkanın özgül ısısı (kJ/kgK)
F _R	:	Isı kazanç faktörü
h	:	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)

I_T	:	Toplam ışınım akısı (W/m^2)
I_y	:	Yayıllı ışınım akısı (W/m^2)
I_d	:	Direkt ışınım akısı (W/m^2)
m	:	Akışkanın (suyun) debisi (kg/s)
T_g	:	Suyun giriş sıcaklığı $^{\circ}C$
T_{ϕ}	:	Çıkış sıcaklığı $^{\circ}C$
$T_{\phi_{ev}}$:	Ortam(çevre) sıcaklığı $^{\circ}C$
U_T	:	Toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)
v	:	Rüzgar hızı (m/sn)
W	:	Güç (W)
Q_u	:	Kullanılabilir Enerji (W)
α	:	Alıcı yüzeyin yutma oranı
γ	:	Intercept Factor (intersept faktörü)
ε	:	Yüzeyin ışınım yayma katsayısı
η	:	Anlık ısı verim
ρ	:	Yansıtıcı yüzeyin yansıtma oranı
σ	:	Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2K$)
τ	:	Saydam yüzeyin geçirgenlik katsayısı

1. GİRİŞ

Türkiye de düz toplayıcılarla güneşin ısı enerjisi etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye de 2007 verilerine göre sıcak su elde etmek için kurulu güneş enerjisi ısı gücü 7.1 MW ve toplayıcı alanı 10.105 km² olup Çin ve ABD'den sonra üçüncü ülke konumundadır(1). Türkiye güneş enerjisi bakımından birçok ülkeden daha iyi konumdadır. Parabolik kollektörlerin kullanımı henüz gelişmemiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar akademik araştırma düzeyinde kalmıştır. Parabolik kollektörlerle elde edilen yüksek sıcaklıklar sayesinde elektrik üretilebildiği gibi, endüstriyel amaçlı kullanımı da mümkündür. Dünyanın güneş enerjisi bakımından avantajlı olduğu Türkiye'de, büyük veya küçük ölçekli güneş enerjisi sistemlerinin kurulması yönündeki çalışmalar devamlı artış göstermektedir.

Güneşten gelen ısıyı akışkana aktaran parabolik güneş enerjisi toplayıcıları, bir çeşit ısı değiştiricisi olarak kabul edilebilirler. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek oranda yoğunlaştırılmış güneş ışınımı bir yutucuya verilerek, ısı taşıyıcı akışkanın buhar fazına geçmesi sağlanır. Yoğunlaştırma oranı ne kadar fazla olursa sıcaklık ta o kadar yüksek olur. Yoğunlaştırıcı toplayıcılar genel olarak ya parabolik çizgi odaklamalı ya da paraboloid (çanak yüzeyli) noktasal odaklamalı 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 sistemlerdir (2,3,4). Bu çalışmadaki sistemle toplayıcıya kuzey-güney ve doğu-batı yönünde hareketler verilerek, güneş ışınımının daima yüzeye dik gelmesi sağlanmıştır. Parabolik oluk ve fresnel tipli çizgisel odaklamalı toplayıcılarda 400 $^{\circ}C$ ye kadar sıcaklıklar elde edilebilir. Noktaya odaklayan paraboloid çanak yüzeyli ve kule tipli toplayıcılarda yaklaşık olarak 1000-1500 $^{\circ}C$ sıcaklıklar elde etmek mümkündür. (5,6,7) Çizgiye odaklayan silindirik parabolik yüzeyli toplayıcılarda yoğunlaştırma iki boyutlu, çanak tipli

paraboloidlerde ise üç boyutlu yoğunlaştırma yapılabilmektedir. Bu sayede yüksek sıcaklıklar elde edilebilmektedir..

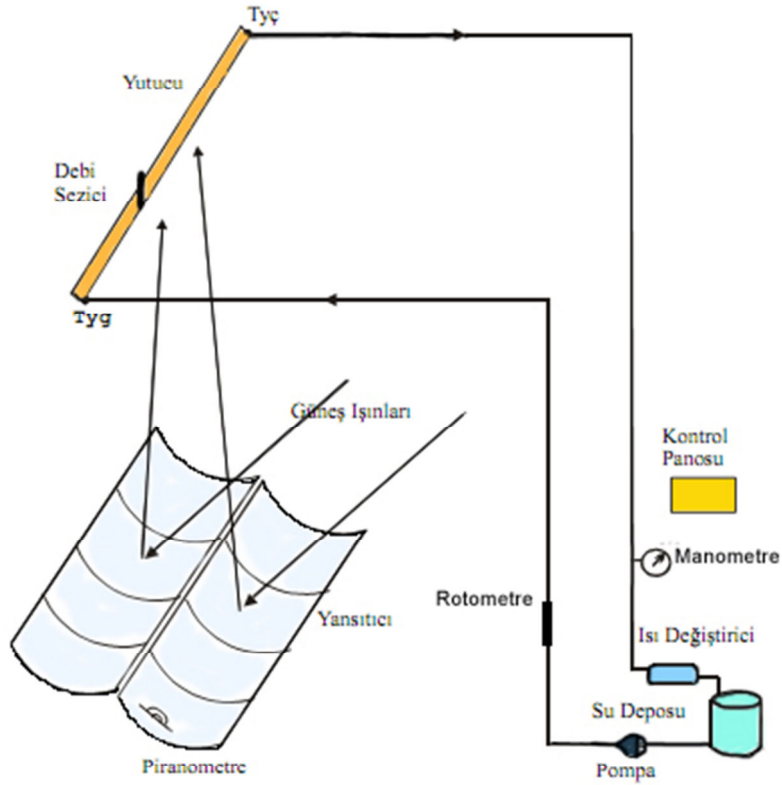
Parabolik toplayıcılar genelde elektrik üretimine yönelik olarak yapılmaktadır. Bu yöndeki çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış olup, Rabl ve Meinel, yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerinde yaptığı çalışmada, noktasal ve çizgisel odaklamalı yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerine gelen güneş ışınlarının, doğu-batı,-kuzey-güney ve polar olarak güneşi izleme yöntemlerini inceleyerek, güneş ışınları geliş açılarının analitik ifadelerini vermiştir(8,9). 1984 yıllarında, LUZ şirketi tarafından LS serileri ile güçleri 14 ile 80 MW arasında değişen, SEGS serileri ile de 354 MW gücünde termik santraller yapılmıştır(10,11,12). 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, düşük sıcaklıkta buhar üreterek, sistemin performansını araştırmıştır(13.) Halıcı açıklık yüzeyi 2x3 m boyutlarında silindirik parabolik aynalı, odak mesafesi 6 m olan güneş enerjisi yoğunlaştırıcısında sıcak su üreterek sistemin performansını incelemiştir(14).

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. Deneysel 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 etmekte, yutucu yüzey ise sabit kalmaktadır.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Güneşi tek eksen üzerinde izleyebilen yoğunlaştırıcı aynalar, polar sistemli olabilmesi için, yer düzlemiyle kurulduğu bölgenin enlemi olan 37° açı yapacak şekilde kuzey güney yönünde yerleştirilmiştir. Polar sistemi, diğer izleme yöntemleri içinde güneş enerjisinden, yıl boyunca en fazla faydalanabilen sistem olduğu için tercih edilmiştir. Deney tesisatının şeması Şekil 1. de, fotoğrafı da Şekil 2. de verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi 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 olup, mevsime göre ayarlama yapılabilmektedir. Yutucu yüzeyden iletim, taşınım ve ışınım ile olan ısı kayıplarını azaltmak için cam yünü, amiyant tabakası ve sentetik yalıtım malzemeleri kullanılarak ısı yalıtımı yapılmıştır. Ayrıca, yutucu borular ile yalıtım arasında ısı direnç oluşturabilmek amacıyla bir miktar hava 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 doğru olan bir hat (asal eksen) üzerinde odaklanır. Ancak bu durum, odak mesafesine göre açıklık uzunluğunun küçük olduğu silindirik yansıtıcılarda ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu çalışmada imal edilen silindirik

parabolik oluk şeklindeki yansıtıcı yüzeylerde, odak mesafesine göre açıklık uzunluğu kısa tutulduğundan, yansıyan ışınların odakta toplandığı kabul edilmiştir. Bu kabule paraksial yaklaşım denilmektedir [15].

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 termoelemanlar ile, suyun debisi (kızgın buhar yoğunlaştırılarak) her 15 dakikada bir tartılarak tespit edilmiştir. Depodaki su, basınçlı pompa ile yutucu borulara gönderilmiştir. Deneylerde su buharı daima doyma basıncından daha büyük sıcaklıklara getirilerek kızgın buhar fazına getirilmiştir. Yutucudan çıkan kızgın buhar bir ısı değiştiricisinden geçirilip ısısı alınarak suya dönüştürülerek 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 güneş takip mekanizması tek eksenli izleme özelliğine sahip olup el ile ayar yapma özelliği de bulunmaktadır. Ölçümlerde iki piranometre kullanılarak tüm güneş ışınımı ve yayılı ışınım ölçülüp, aralarındaki farktan direkt güneş ışınımı bulunmuştur. Güneş ışınım şiddeti sabah saatlerinde düşük olduğundan ve sisteminde gece boyunca sıcaklığın düşmesinden dolayı, kızgın buhar elde etmek için 1-2 saat sistemin rejime girmesi beklenmiştir.



Şekil 2. Sabit odaklı silindirik yoğunlaştırıcının fotoğrafı.

3. SİLİNDİRİK TOPLAYICININ TEORİK ISIL ANALİZİ

Yoğunlaştırıcıdan yutucuya ulaşan ışınım miktarının bir kısmı ısı kayıplar nedeniyle ortama geçerken, diğer kısmı akışkan tarafından yutulmuş faydalı enerji haline dönüşmektedir. Yutucudaki ısı kayıplar cam örtüden ve yalıtımdan çevreye doğru iletim, taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşmektedir. Buhar üreten yoğunlaştırıcılarda genellikle yutuculardan dış ortama olan ısı kayıpları daha

fazla önlemek amacıyla yutucu yüzey bir cam zarf içinde yerleştirilmektedir. Bu deney setinde kullanılan yutucu örtü malzemesi düz yutuculu olup, dış ortamdan korumak için yutucunun ön tarafına düz bir cam ve arka yüzeyine de 50 cm kalınlığında ısı yalıtımı konulmuştur. Yutucunun konstrüksiyonu düz toplayıcıya benzediğinden, düz toplayıcılar için yapılan teorik hesaplama yöntemi burada da kullanılabilir. Bu durumda düz toplayıcılarda kazanılan faydalı enerjinin bulunması için en çok kullanılan Hottel-Whiller-Bliss eşitliği,

buradaki yutucu yüzey içinde kullanılabilir [2,4]. Buna göre yutucuya geçen faydalı enerji;

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

ifadesine göre hesaplanmıştır. Burada faydalı enerji “ Q_u ”, açıklık alanı “ A_a ”, yutucu alanı “ A_y ”, ısı kazanç faktörü “ F_R ”, her birim yutucu alanına düşen ışınım miktarı “ I_Y ”, yutucu ile ortam arasındaki toplam ısı geçiş katsayısı (U_T), akışkanın giriş sıcaklığı “ T_g ”, ortam sıcaklığı “ T_{cev} ” dir. Yutucu alanına düşen ışınım şiddeti ise;

$$I_Y = \tau \rho \gamma \alpha I_d \quad (2)$$

Burada “ I_d ” her bir birim açıklık alanı üzerine düşen direkt ışınım miktarı, “ γ ” kapma (intercept) faktörü, “ τ ” saydam örtünün geçirgenlik katsayısı, “ α ” yutucu malzemenin yutma oranı, “ ρ ” yansıtıcı malzemenin yansıtma oranını göstermektedir. Yutucuda kızgın buhara geçen ısı enerjisi

$$Q_u = F_R A_a I_d (\tau \alpha \gamma) \rho - F_R U_T A_y (T_g - T_{\text{cev}}) \quad (5)$$

ifadesi bulunur. Diğer taraftan toplayıcının ısı verimi yutucuya geçen faydalı enerjinin, yansıtıcı yüzey üzerine gelen direkt güneş ışınım enerjisine oranı olarak da tanımlandığından ısı verim için;

$$\eta_0 = \frac{Q_u}{A_a I_d} = F_R (\tau \alpha \gamma) \rho - F_R U_T \frac{A_y}{A_a} \frac{(T_g - T_{\text{cev}})}{I_d} \quad (6)$$

ifadesi elde edilir.

3.1. Yutucudaki ısı kayıplar

Güneş toplayıcılarının tasarımında toplam ısı geçiş katsayısı “ U_T ”, toplayıcının şekline bağlı olarak iletim, taşınım ve ışınım yoluyla ısı kayıplarının hesaplanmasıyla bulunur. Bu çalışmadaki yutucu

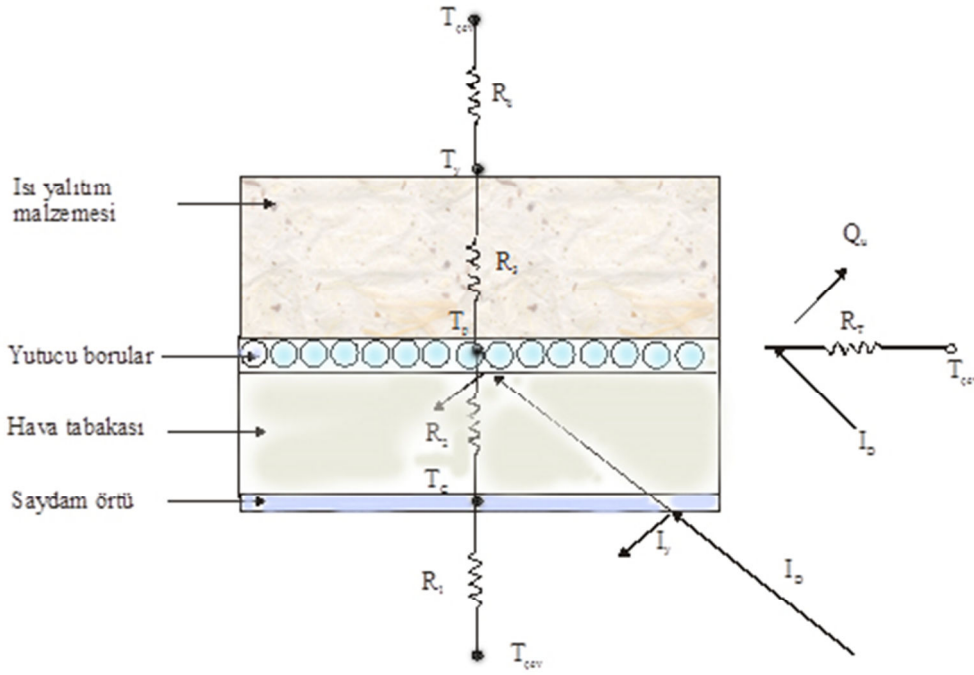
$$Q_u = m c_p (T_g - T_{\text{ç}}) \quad (3)$$

İfadesi ile hesaplanmıştır. Burada “ m ” suyun debisi, “ c_p ” suyun özgül ısı, “ $T_{\text{ç}}$ ” suyun yutucudan çıkış sıcaklığı ve “ T_g ” giriş sıcaklığıdır. Odaklamalı güneş enerjisi toplayıcıları direkt güneş ışınımından yararlanırlar. Bu yüzden ısı verimi de yutucuda suya geçen ısı miktarının, yansıtıcının açıklık alanı üzerine gelen direkt güneş ışınım enerjisine oranı olarak tanımlanır. Bu tanıma göre toplayıcının ısı verimi;

$$\eta = \frac{m c_p (T_g - T_{\text{ç}})}{I_d A_a} \quad (4)$$

olur. Burada “ A_a ” aynaların toplam açıklık alanı ve “ I_d ” ise yansıtıcı aynaların üzerine gelen direkt güneş ışınımını göstermektedir. Denklem 1. ve 2’den yutucuya geçen faydalı enerji için;

yüzeyin, düzlemsel toplayıcılara benzemesi nedeniyle, düz toplayıcılarda kullanılan ısı kayıplarının hesap yöntemi bu yutucuda da kullanılabilir. Yutucunun şematik kesit resmi ve ısı dirençler Şekil 3. de gösterilmiştir.



Şekil 3. Yutucudaki ısı dirençler.

Şekil 3’de ısı dirençleri gösterilen yutucuda en alta dış ortam ile saydam örtü arasındaki ısı direnç “ R_1 ”, cam örtü ile yutucu arasında kalan hava boşluğunun ısı direnci “ R_2 ”, yalıtım tabakasındaki ısı direnç “ R_3 ” ve yutucunun üst kısmı ile dış ortam arasındaki ısı direnç “ R_4 ” ile gösterilmiştir. Bu dirençler seri bağlı olduğundan toplam ısı direnç (R_T), bu dirençlerin toplamıdır. Yutucuda ısı dirençlere göre enerji denklemi yazılırsa;

$$Q_u = \frac{(T_p - T_{cev})}{R_T} = U_T A_y (T_p - T_{cev})$$

(7)

Burada yutucunun yüzey alanı “ A_y ”, yutucu plaka sıcaklığı “ T_p ”, ortam sıcaklığı “ T_{cev} ” ile gösterilmiştir. Yutucudaki toplam ısı kayıp katsayısı için yutucunun alt, üst ve yanlarından olan ısı kayıplarını bulmak gerekir. Yutucuda yansıtıcı aynadan gelen ışınları yutan alt kısım için ısı geçiş katsayısı yazılırsa;

$$U_{alt} = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

(8)

olur. Burada R_1 direnci için aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$R_1 = \frac{1}{h_{t-d} + h_{1-d}}$$

(9)

Burada h_{t-d} dış havadan dolayı oluşan ısı taşınım katsayısı olup, aşağıda 10 eşitliğiyle verilmektedir [1,2,3,4]. Eşitlikteki “ v ” rüzgar hızını (m/s) göstermektedir. Bu bağıntıdaki ısı taşınım katsayısının birimi W/m^2K ’dir.

$$h_{t-d} = 5.7 + 3.8 v \quad (10)$$

h_{1-d} ise saydam örtü ile çevre arasındaki ışınilma olan ısı kaybını içine alan eşdeğer ısı taşınım katsayısı olup [14]

$$h_{1-d} = \varepsilon_c \sigma (T_c + T_{cev})(T_c^2 + T_{cev}^2)$$

(11)

ile bulunur. Burada cam sıcaklığı “ T_c ”, Stefan-Boltzman sabiti “ σ ” ve yüzeyin ışınilma yayma katsayısı ise “ ε_c ” ile gösterilmiştir. Saydam örtü ile yutucu arasındaki ısı direnç R_2 ;

$$R_2 = \frac{1}{h_{1-p} + h_{k,p-c}}$$

(12)

şeklinde hesaplanır. Burada saydam örtü ile yutucu borular arasında ısı taşınım katsayısı iki paralel yüzey gibi düşünüldüğünden ışınilma eşdeğer ısı taşınım katsayısı (2,17);

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

(13)

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

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;

$$U_{üst} = \frac{1}{R_4 + R_3}$$

(15)

Bağıntısına göre hesaplanmıştır. Yutucu yüzeyden olan ısı kaybını azaltmak için arka kısmına sentetik yalıtım malzemesi, amiyant tabakası, alüminyum levha ve cam yünü ile yalıtım yapılmış ve dış ortamdan korunması için de paslanmaz çelikte kaplanmıştır. Yalıtım malzemeleri için R_3 ısı direnci;

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

(16)

Bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada “ l_1 ” sentetik yalıtımın, “ l_2 ” amiyant tabakasının, “ l_3 ” alüminyum levhanın, “ l_4 ” cam yünü ve “ l_5 ” paslanmaz çeliğin kalınlıklarını göstermektedir. “ R_4 ” ısı direnci için;

$$R_4 = \frac{1}{h_{d-d}}$$

(17)

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

Yutucunun kenarlarından olan ısı kayıp katsayısı [2, 4];

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 ısı taşınım katsayısı için aşağıdaki bağıntıdan faydalanılmıştır [2, 4].

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

(18)

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

$$U_T = [U_{üst} + U_{alt} + U_k]$$

(19)

Isı kazanç faktörü;

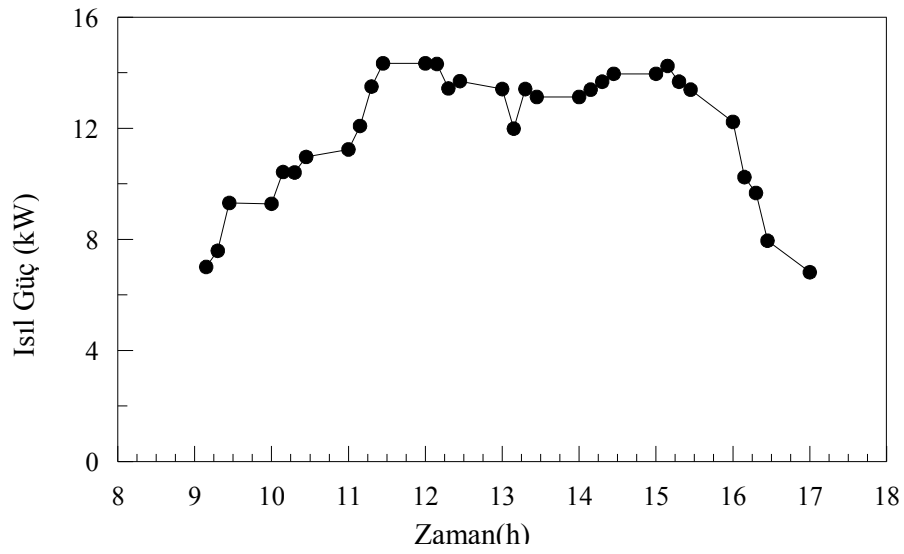
$$F_R = \frac{mc_p}{A_y U_T} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_y U_T F}{mc_p} \right) \right]$$

(20)

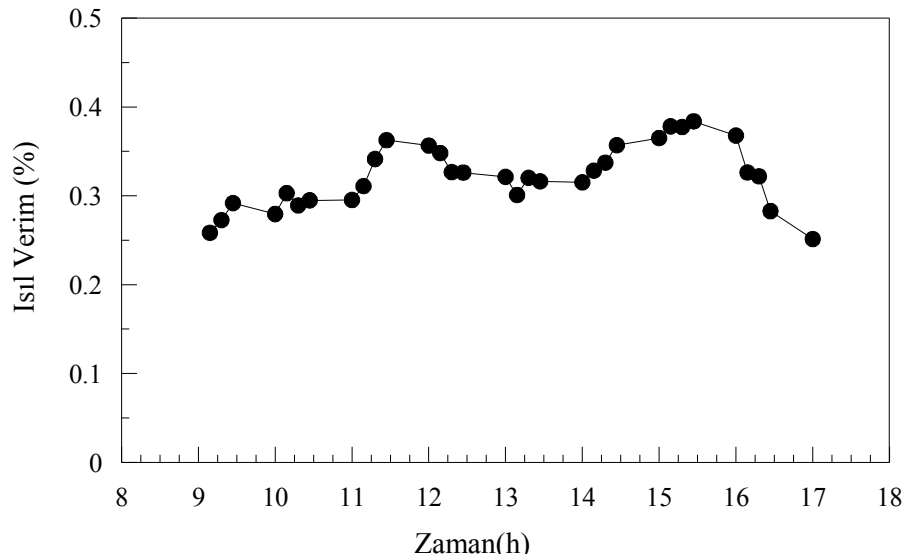
bağıntısı ile hesaplanmıştır [2]. Buradaki verim faktörü F , çalışma şartlarından bağımsız olup toplayıcının tasarımına bağlı bir faktördür. Kaynak [2 ve 4]’ye göre hesaplanmıştır (18,19).

4. DEĞİŞKEN DEBİDE KIZGIN BUHAR İLE YAPILAN DENEYLER

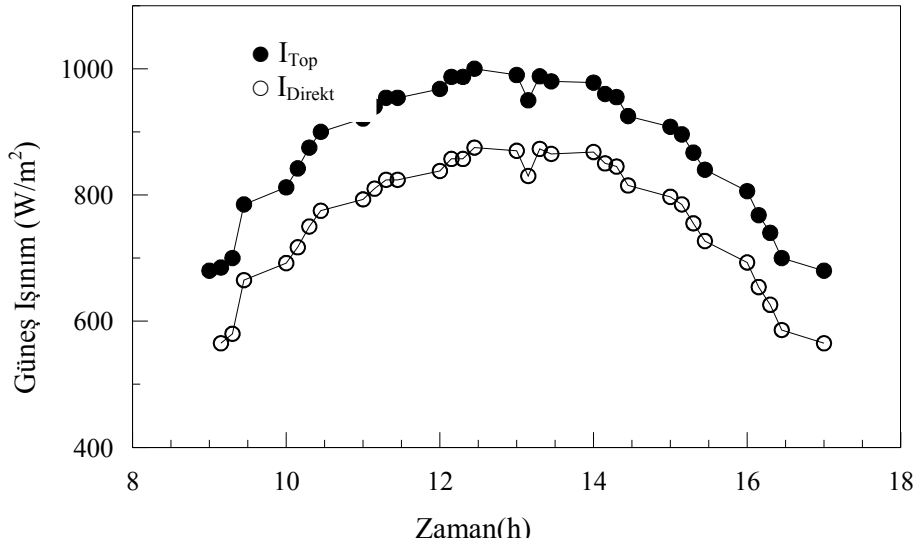
3 bar basınç için yapılan buhar deneyinde günlük ortalama rüzgar hızı 2 m/s, nem oranı %30 olarak ölçülmüştür. Buhar üretmek amacıyla yapılan bu deneyde buhar debisi minimum 12 lt/h maksimum 19 lt/h elde edilmiştir. Debi miktarına göre maksimum ısı güç yaklaşık 14,5 kW, minimum 7 kW elde edilmiştir (Şekil 4). Şekil 5. de görüldüğü gibi ısı verim %39 ile %26 arasında değişmiştir. Deney günü güneş ışınım şiddeti 685 W/m^2 den başlamış 1000 W/m^2 değerine kadar yükselmiştir (Şekil. 6). Direkt ışınım miktarı saat 12:15 ile 14:30 arasında 850 W/m^2 den aşağı değerlere inmemiştir. Ortam sıcaklığı $18-26 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında, yutucuya suyun giriş sıcaklığı $24-40 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişmiştir. Çıkış sıcaklığının ise 3 bar basınç için doymuş su sıcaklığı olan $133 \text{ }^\circ\text{C}$ den sürekli yüksek olmasına dikkat edilmiş olup ve $137-138 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığında tutulmaya çalışılmıştır (Şekil.7).



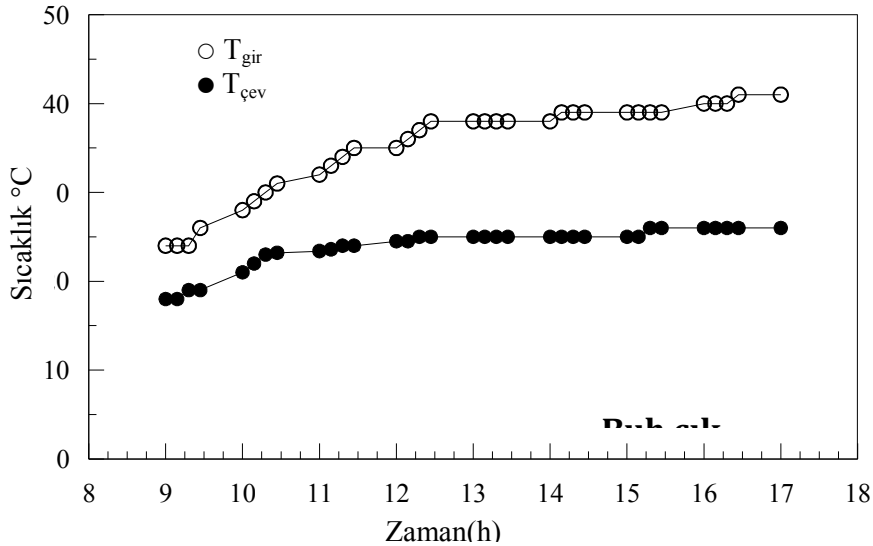
Şekil 4. 3 bar basınçta kızgın buhar için yapılan deneyde ısı gücünün gün içindeki değişimi.



Şekil 5. 3 bar basınçta kızgın buhar için yapılan deneyde ısı veriminin gün içindeki değişimi.



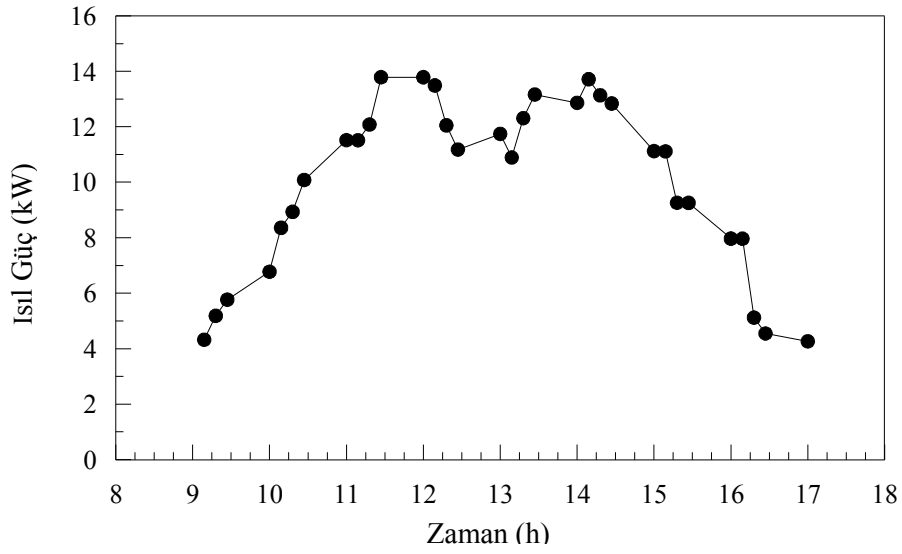
Şekil 6. Gün boyunca toplam ve direkt güneş ışınım değerleri.



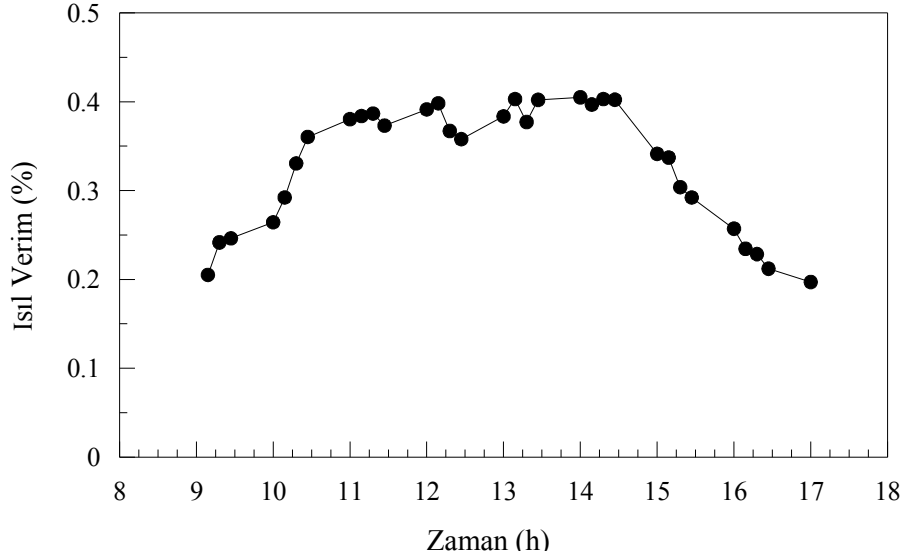
Şekil 7. 3 bar basınçta yapılan deneyde gün boyunca suyun giriş, buharın çıkış sıcaklığı ile ortam sıcaklıklarının değişimi.

Değişken debide, 2 bar basınç kızgın buhar için elde edilen verilere göre günlük ısı güç grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi saat 11:45 ve 14:15'te ısı güç değeri 13.8 kW'tır. Saat 12:45 ve 13:15 arasında yutucunun gölgesi yansıtıcı aynaların üzerine geldiği için ısı güç 11.1 kW ile 10.8 kW arasında olmuştur. En düşük ısı güç sabah 9:15 ve saat 17:00 da 4.3 kW olmuştur. Isıl verim ise deney başlangıcında ve sonunda %20, saat 13:45 ile 14:45 saatlerinde %40 ile maksimum değeri almıştır (Şekil 9). Sistemden elde edilen buhar debisi minimum 8 lt/h, maksimum 18 lt/h'dir. Deney yapılan günde direkt ışınım şiddeti deney

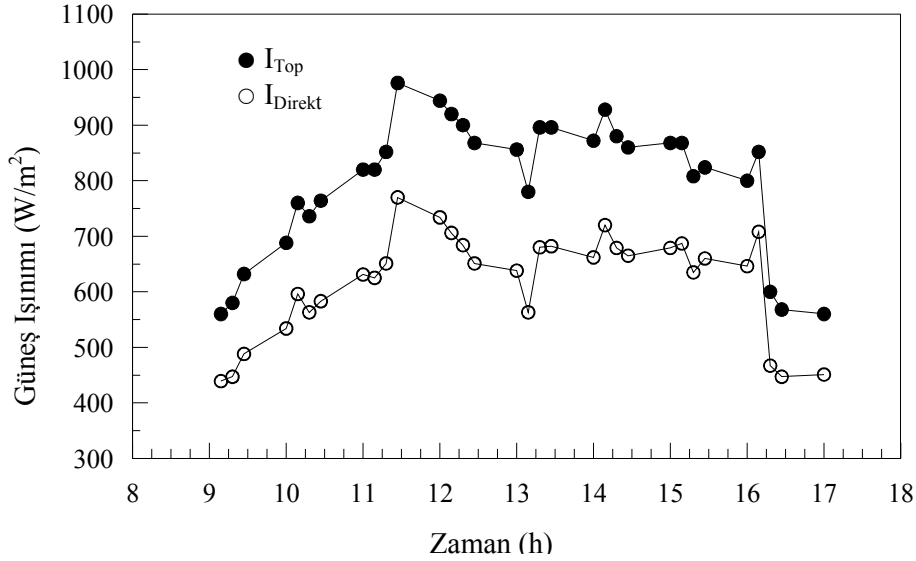
başlangıcı ve sonunda 450 W/m² saat 11:45'te 770 W/m²'dir. Şekil 10'da görüldüğü gibi saat 11:30'da tüm ışınım şiddeti maksimum 980 W/m², saat 9:15'de de minimum ışınım şiddeti 560 W/m² olarak gerçekleşmiştir. Ortam sıcaklığı 26 °C den 35 °C'ye kadar yükselmiştir. Yutucuya giriş sıcaklığı deney başlangıcında 26 °C, deney sonunda 35 °C olmuştur (Şekil 11). Yutucudan buharın çıkış sıcaklığı 130-132 °C civarında olmasına dikkat edilmiştir.



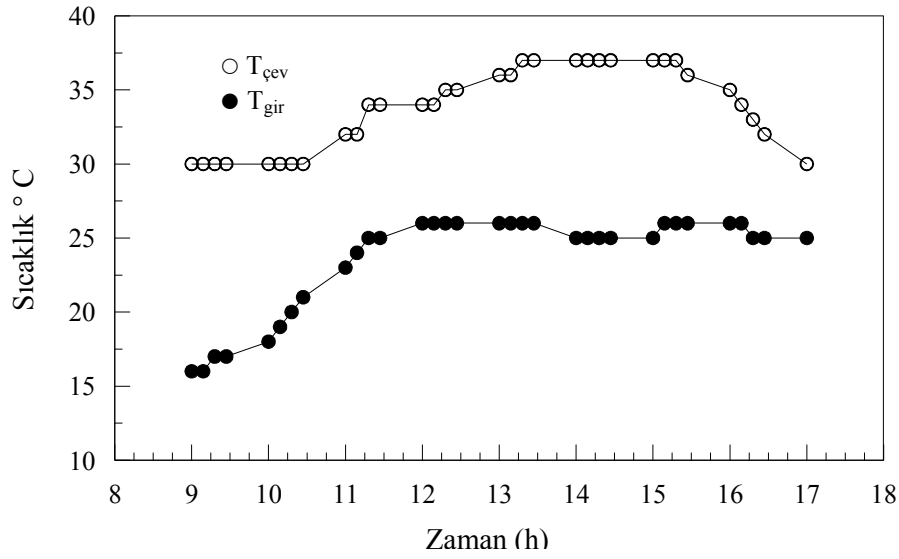
Şekil 8. 2 bar basınçta buhar için yapılan deneyde gün boyunca ısı gücünün değişimi.



Şekil 9. 2 bar basınç altında sistemin ısı veriminin gün boyunca değişimi.



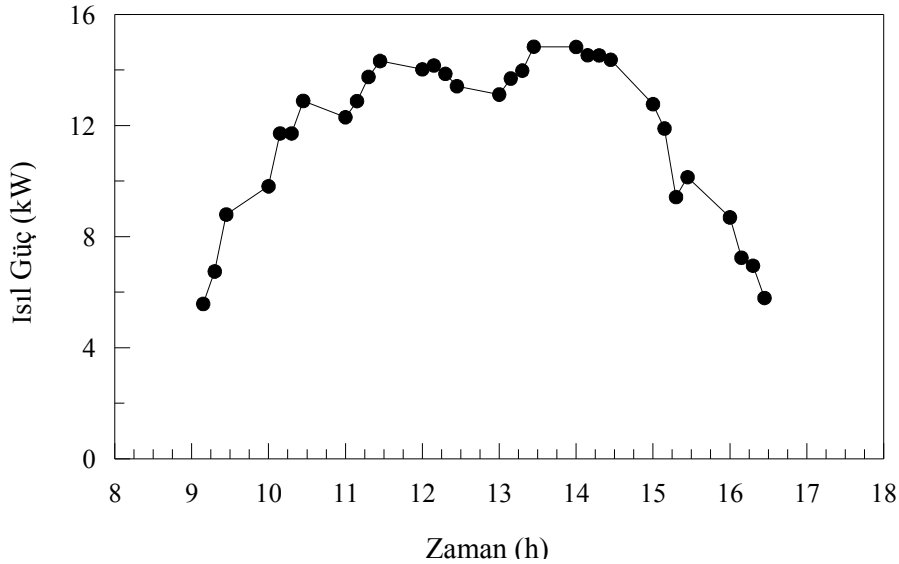
Şekil 10. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi.



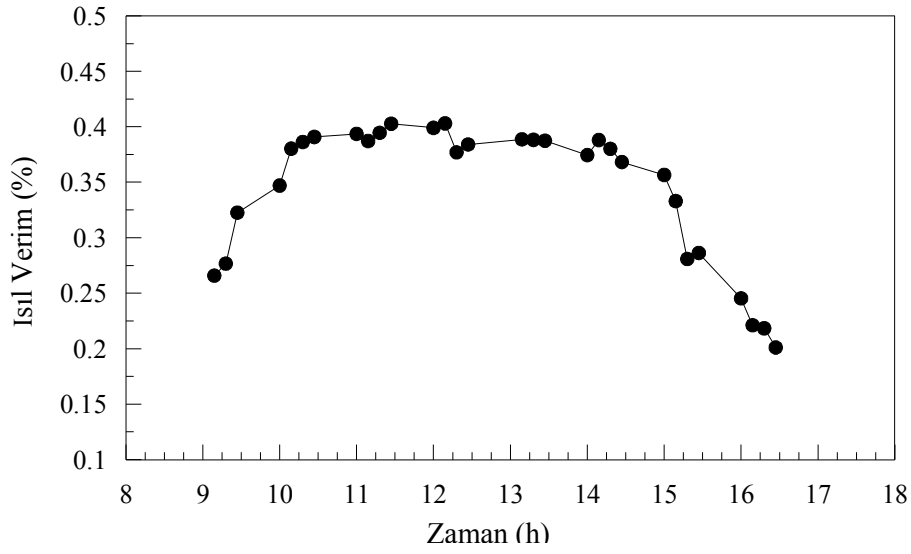
Şekil 11. 2 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi

Değişken debide, 4 bar basınç için elde edilen verilere göre günlük ısı güç Şekil 12'de görüldüğü gibi saat 13:30-14:45 ile 11:45-12:30 arasında 14 kW çıkmıştır. Deneyde en düşük ısı güç saat 16:45'te 5.8 kW olmuştur. Kızgın buhar debisi minimum 10 lt/h, maksimum 20 lt/h olmuştur. Isıl verim bu deneyde sistem için saat 11:45-12:15 arasında %40 ile maksimum değerde, saat 16:45'te %20 minimum değerde olmuştur (Şekil 13). Tüm güneş ışınım şiddeti saat 11:45 ile 14:45 arasında

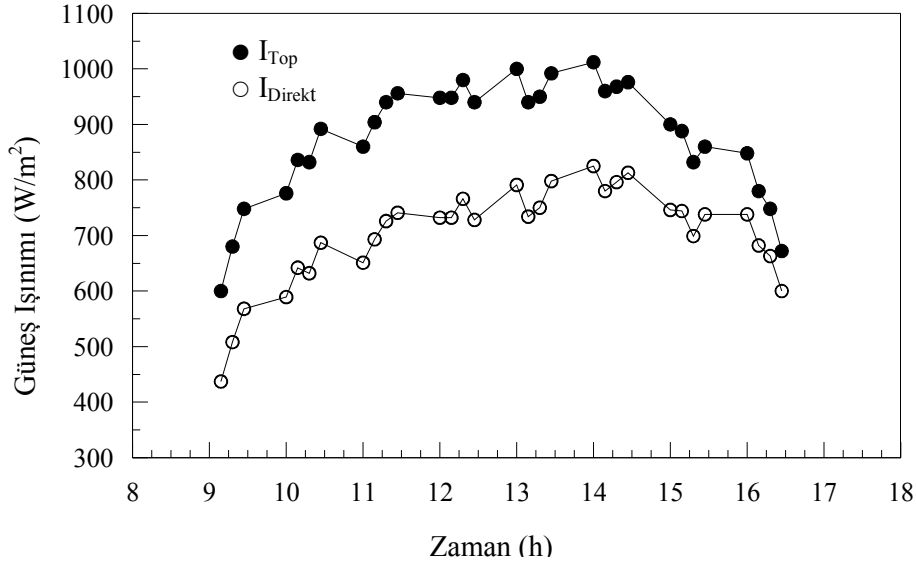
950 W/m² civarında, saat 13:00 ve 14:00'te arasında da 1000 W/m² olmuştur. Direkt ışınım şiddeti en düşük 9:15'de 440 W/m², maksimum 825 W/m² olmuştur (Şekil 14). Ortam sıcaklığı 25 °C den başlamış 32 °C'ye kadar yükselmiştir. Suyun yutucuya giriş sıcaklığı deney başlangıcında 23 °C, deney sonunda 31.5 °C'ye çıkmıştır. 4 bar için yapılan bu deneyde buhar sıcaklığının 150 °C civarında olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 12).



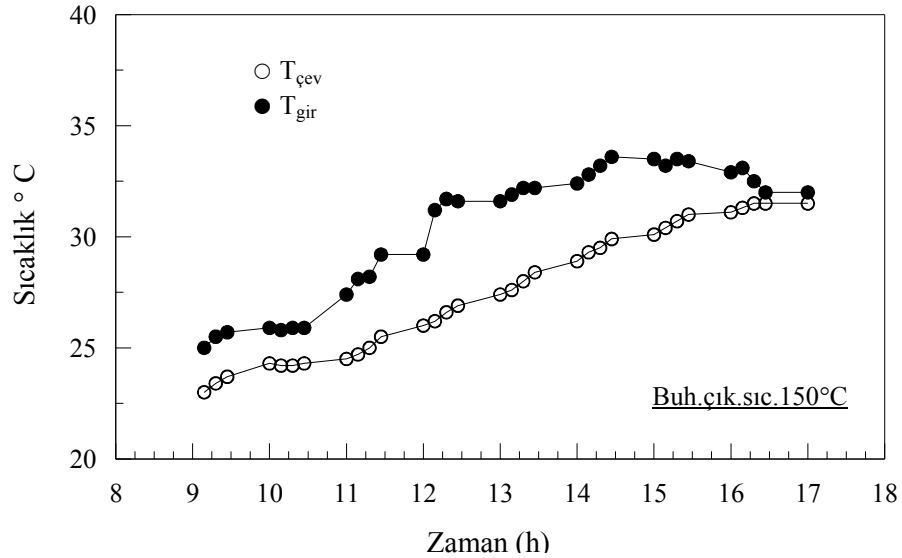
Şekil 12. 4 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısı gücünün değişimi



Şekil 13. 4 bar basınç altında sistemden elde edilen ısı verim.



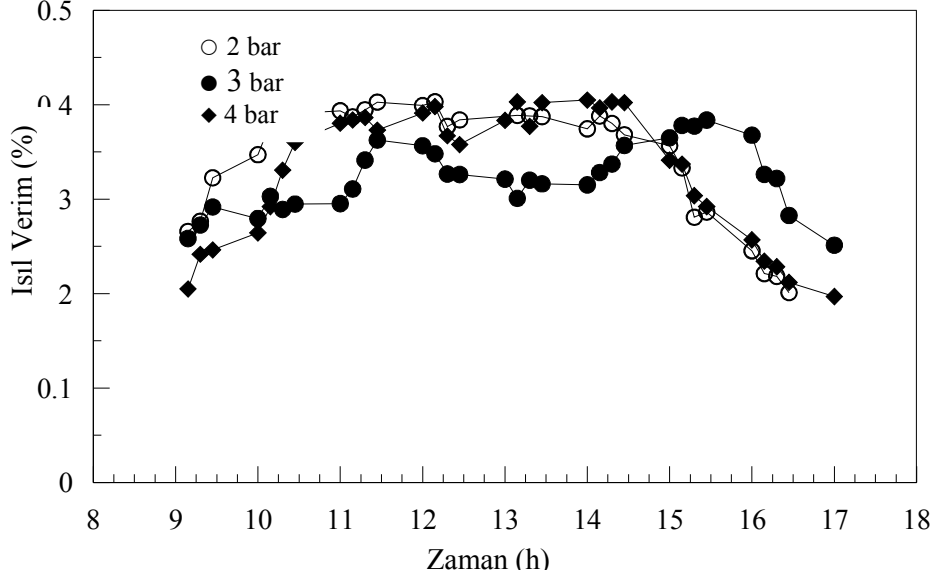
Şekil 14. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi



Şekil 15. 4 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi.

Şekil 16.'da 2 bar, 3 bar ve 4 bar da kızgın buhar üretimi için yapılan deneyler sonucunda hesaplanan ısı verim değerleri toplu olarak gösterilmiştir. Bu grafikte, 3 bar basınçta yapılan deneyin ısı veriminin 2 ve 4 bar basınç için yapılan deneyin ısı

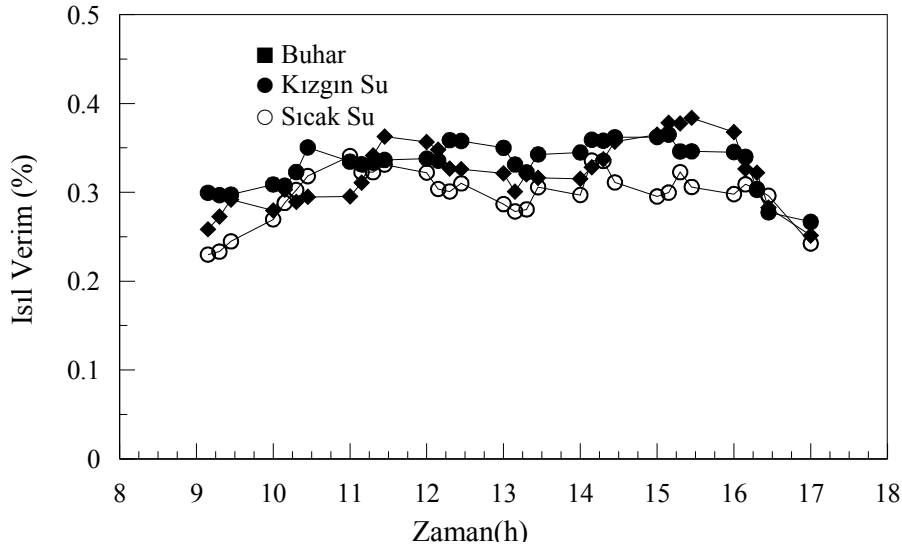
verimlerinden daha düşük çıkmasının nedeni, 3 bar için yapılan deney günü ortam sıcaklığı daha düşük olduğundan ısı kayıplarının artmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 16. Değişik basınçlarda buhar ile yapılan deneylerdeki ısı verimlerinin karşılaştırılması.

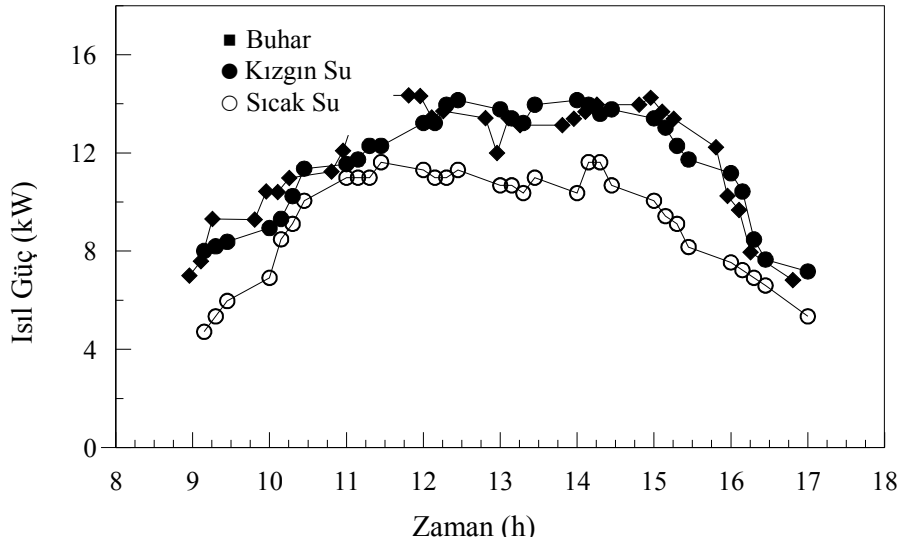
Sıcak su, kızgın su ve buhar için yapılan deneylerde ısı güç ve ısı verim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 17 ve Şekil 18'deki grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi ısı verim buhar ile yapılan deneyde daha yüksek çıkmakta, daha sonra sıcak su verimlerini takip etmektedir. Öğle saatlerindeki ışınım şiddetine göre ısı güç ve ısı

verim yüksek olması gerekirken, yutucunun gölgesi aynaların üzerine geldiği için düşük çıkmaktadır. Sabah ve akşam saatlerinde ise ışınımın hem düşük ve hem de öğle saatlerine göre ışınım şiddeti düştüğü için ısı güç ve ısı verim değerleri düşmektedir.



Şekil 17. Sıcak su ve buhar ile yapılan deneylerdeki ısı verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 18'deki güç grafiğinde kızgın buhar ile yapılan deneyde öğle saatlerinde (saat 11 ile 15 arasında) ısı güç 950 W/m² gibi yüksek değerlerde çıkmıştır. Benzer durum saat 14-15:30 arasında da görülmektedir.



Şekil 18. Sıcak su, kızgın su ve buhar ile yapılan deneylerdeki ısı güçlerinin karşılaştırılması.

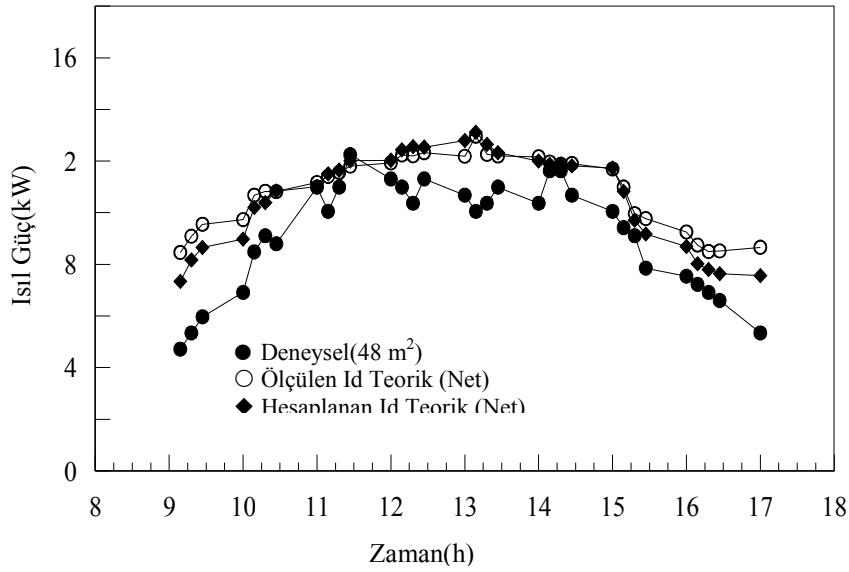
Tablo 1. 2, 3 ve 4 basınçtaki buhar için yapılan deneylerde elde edilen ısı verimi ve ısı güç değerleri.

		Güç-Verim	Sabah	Öğle	Akşam	Ortalama
Buhar Deneyleri	2 Bar	Q (kW)	6.7	14.5	6.6	11.7
		η (%)	26	36	24	31
	3 Bar	Q (kW)	7.0	14.2	6.9	11.9
		η (%)	26	36	25	32
	4 Bar	Q (kW)	5.6	14.8	5.2	11.30
		η (%)	27	40	20	30

5. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

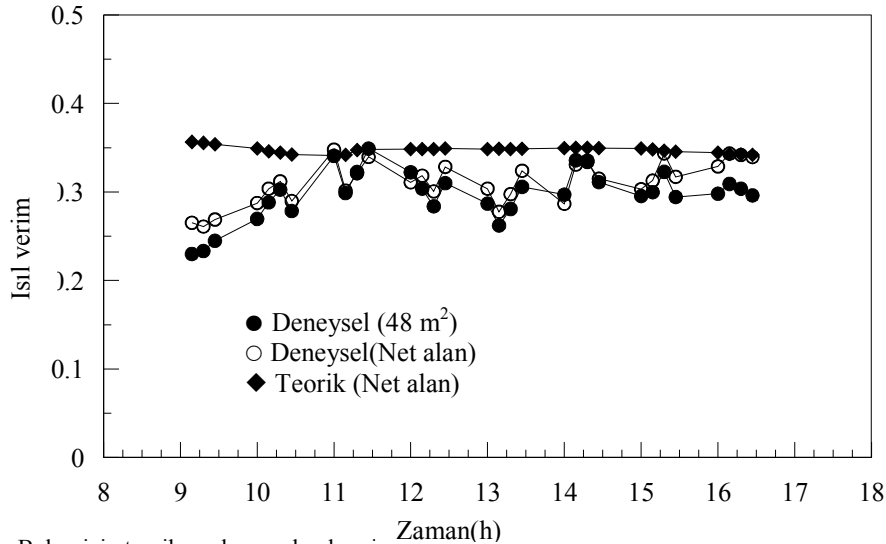
Bu çalışmada, buharla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ile teorik olarak hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplama iki veriye göre yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi deneyin yapıldığı gün için meteoroloji istasyonunun güneş enerjisi verilerinden faydalanılarak sistemin ısı veriminin ve ısı gücünün hesaplanması, ikincisi de deney anında ölçülen ışınım şiddetinden faydalanılarak sistemin veriminin ve ısı gücünün hesaplanmasıdır. Bu teorik hesaplamalarda su girişi ve buharın çıkışı ile çevre sıcaklıkları, deneyde ölçülen değerlerden alınmıştır. Teorik güç için gölgesiz net alan, deneysel güç için 48 m² alınmıştır. Teorik hesaplamayla bulunan ısı gücü, deneysel değerlerden %15 daha yüksek çıkmakla birlikte, sabahtan akşama olan değişim, deneysel çalışma ile uyum içindedir. Teorik olarak

hesaplanan ısı gücü Eşitlik 5'ten yararlanılarak hesaplanmıştır (Şekil 19). Bu bağıntıdaki saydam örtü ve yutucu yüzey için yansıtma, geçirme ve yutma katsayıları, benzer malzemeler için kaynaklarda verilen değerlerden alınmıştır. Bu değerlerin alındığı malzemeler ile deneyde kullanılan malzemelerin özelliklerinin tıpa tıpa 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. Değişkenlerin belirsizlik değerleri [20] kaynaklarından faydalanılarak; tablo değerlerinin okunmasında $\pm 1\%$, solarimetre değerleri için $\pm 3\%$, debi için $\pm 2\%$, sıcaklık için $\pm 0.5\%$ alınmıştır. Sistemin belirsizliği için yapılan hesap sonucunda ısı gücü için 2.3%, ısı verimi için %0.6 oranında belirsizlik bulunmuştur(19).



Şekil 19. Teorik ve deneysel sonuçlara göre elde edilen ısı güçlerinin gün boyunca karşılaştırılması.

Şekil 20' de 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 büyük gerçekleşmiştir. Teorik hesaplama etki eden ortam sıcaklığı çok fazla değişmediğinden verim eğrisi doğrusala yakın çıkmıştır. Teorik hesaplamada sabah verim değeri %36, öğle vaktinde %34 ve deney sonunda ise %33 bulunmuştur. Deneysel olarak sabah deney başlangıcında ısı verim %25, öğle vaktinde % 35



Şekil 20. Buhar için teorik ve deneysel ısı verimlerinin gün boyunca karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR

İki sıralı silindirik oluk şeklindeki 54 m² açıklık alanına sahip güneş enerjisi yoğunlaştırıcısında yapılan deneylerde, sistemin ısı veriminin gün içinde %23 ile %35 arasında değiştiği görülmüştür. Elde edilen ısı gücü maksimum 14.2 kW olarak gerçekleşmiştir. Su debisi artırıldığında ısı verim ve ısı gücü yaklaşık % 5 civarında azalma

deney sonunda ise % 23 olarak bulunmuştur. Kaynak 16'da verildiği gibi içi oyuk bir yutucuya sahip olan bir sistemde ısı verim %40 ile %60 arasında değişmektedir. Bu çalışma ile karşılaştırıldığında, 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.

meydana gelmiştir. Sistemde elde edilen maksimum 4 bar basınçta sıcaklığı 160 °C olan kızgın buhar elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, bazı endüstri tesislerinin ihtiyacı olan buharı güneş enerjisinden elde ederek kurutma ve ısıtma sistemlerinde kullanabilmeleri amaçlanmıştır. Parabolik yüzeyle toplayıcılara göre imalat kolaylığı nedeniyle tarıma elverişli olmayan eğimli bölgelerde geniş alanda kurulması halinde tarım bölgelerinde olumsuz etkisi olmayacaktır. Geniş

alanlara kurulacak silindirik oluk şeklindeki güneş enerjisi sistemleriyle, daha çok buhar üretmek mümkün olduğundan, elektrik santrallerinin kurulması mümkündür. Ancak bu çalışmaların sürekli üretim yapmasını sağlamak için hibrit bir sistemle desteklenmesi ve konstrüksiyonun daha hafif olmasını sağlayarak geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Yeşilata B., Bulut H., Çetiner C., "Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri ve GAP Bölgesine Yönelik Fırsatlar", Mühendis ve Makine Cilt 52, Sayı 622, 2012.
- Duffie J.A., Beckman, W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley and Sons Inc, 1991.
- Fernandez A., Zarza E., Parabolic-trough solar collectors and their applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews v14, p1695–1721, 2010.
- Hseish Jui Sheng, Solar Energy Engineering, Prentice –Hall, inc Englewood , Cliffla, New Jersey,1986.
- Soteris A. Kalogirou "Solar Thermal Collectors and Applications" Progress in Energy and Combustion Science ,v30, p.231–295, 2004.
- Nixon J.D. , Dey P.K. , Davies P.A., Which is the best solar thermal collection technology for electricity generation in north-west India? Evaluation of options using the analytical hierarchy process, Energy, v35, Issue 12, pp 5230–5240, 2010
- Sansoni P., Fontani,D. F. Francini, A., Optical collection efficiency and orientation of a solar trough medium-power plant installed in Italy, Renewable Energy v.36, Issue 9, pp 2341–2347, 2011.
- Rabl, A., Comparison of Solar Concentrators, Solar Energy, Vol.18, pp., 93-111, 1976.
- Meinel, A.B. "Concentrating Collectors" , Solar Energy Engineering Chapter 9, pp 183-215,1977.
- Mills D., "Advances in solar thermal electricity technology" Solar Energy, v76, pp19-31, 2004.
- Eck M., Zarza E. "Saturated Steam Process with Direct Steam Generating Parabolic Troughs", Solar Energy, v80, p1424–1433, 2006.
- Zarza,E "Project DISS(Direct Solar Steam): update on project status and future planning, IESS World Congress, Jarusselam, vol. 1, pp 307-316,1999
- Soteris A. Kalogirou, "The potential of solar industrial process heat applications" Applied Energy, v76, p337–361, 2003.
- Halıcı, F., Çakır, K., Çoban, M., Çacur, H., "Sabit Odaklı Parabolik Bir Yoğunlaştırıcının Performansının İncelenmesi", ULIBTK'99, cilt 1, sayfa 119-124, Sakarya, 2000.
- Genceli, O.F., "Optik Ölçme Metotları" İ.T.Ü. Makine Fakültesi, 1983
- Barra A.Franceshi, L., "The Parabolic Through Plants Using Black Body Receivers: Experimental and Theoretical Analysis", Solar Energy, Vol.28, No.2, pp.163-171, 1982.
- Halıcı, F., Gündüz, M., "Isı Geçişi", Burak Ofset, İstanbul, 2001.
- Çetiner C. Halıcı F., Çaçur H., "İkiz-Silindirik Oluk Tipli Güneş Enerjisi yoğunlaştırıcısında Kızgın Su Üretiminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 31, 2, 87-94, 2011.
- Çetiner C., "Silindirik Oluk Tipindeki Güneş Yoğunlaştırıcının Deneysel ve Teorik İncelenmesi" Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- Holman, J.P., ve Gajda W.J., "Experimental Methods for Engineers" Mc.Graw-Hill Company, New York, 1986.