

Kadir BAKIRCI
Ömer ÖZYURT
Ömer ÇOMAK
Bedri YÜKSEL

Özet:

Soguk iklim bölgesinde güneş-toprak kaynaklı ısı pompası (GTKIP) sisteminin performansını incelemek amacıyla, Erzurum Atatürk Üniversitesi Enerji Laboratuvarında bir deneysel sistem kurulmuştur. Deneysel sistem, 8 adet düzlemsel güneş enerjisi toplayıcısı, 53 m derinlikte U-borulu toprak ısı değiştiricisi, sıvı-sıvı prensibine göre çalışan buhar sıkıştırırmalı bir ısı pompası, radyatör ünitesi, sirkülasyon pompaları ile ölçüm ve kontrol elemanlarından meydana gelmiştir. Güneş enerjisi toplayıcılarından gelen ısı taşıyıcı akışkan (%50 antifriz-su karışımı), ilk olarak toprak ısı değiştiricisi yardımıyla yeraltına gönderilerek enerjisinin bir kısmı burada depolanmış ve daha sonra su kaynaklı buharlaştırıcıda ısı kaynağı olarak kullanılıp, bir sirkülasyon pompasıyla tekrar toplayıcılara gönderilmiştir. Güneş ışınları etkisiz hale gelince yeraltında depolanan enerji, buharlaştırıcıda ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, toplayıcı verimi (η), ısı pompası (COP) ve sistemin (COPS) performans katsayısını hesaplamak için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi, güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası, yeni ve yenilenebilir enerji, soğuk iklim

Güneş-Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi, insanların yaşam seviyelerinin artması ve ülkelerin endüstrileşmesi ile direkt olarak ilgilidir. Dünya nüfusu ve yaşam standardının artmasından dolayı enerji tüketimi de büyük ölçüde artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynaklarının belirlenip geliştirilmesini ve enerjinin daha verimli kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Mevcut olan enerjinin daha ekonomik olarak kullanılması ve atık enerjinin yeniden kazanılmasında tercih edilen en önemli sistemlerin başında ısı pompası sistemleri gelmektedir.

Isı pompaları, sürekli gelişmekte olan enerji tasarruf sistemleri olarak bilinirler. Aynı sistemde hem ısıtma hem de soğutma yapabilmeleri en önemli avantajlarından biridir. Endüstride birçok uygulamalarının olmasına ve atık ısıyı kullanarak enerji ekonomisine katkı sağlamaları na rağmen, ısı pompalarının uygulamaya sokulmasında nedense geri kalmaktadır. Enerji maliyetlerinin artışı, verimli enerji üretimi için avantajlı sistemler olan ısı pompalarının kullanımını gündeme getirmiştir. Enerji fiyatları arttığı sürece, ekonomik alternatif enerji kaynağı olarak ısı pompalarının büyük ölçüde rağbet göreceği açıktır.

Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı, kullanılan ısı kaynağının karakteristikleriyle yakından ilgilidir. Isı kaynağı seçimi yapılırken coğrafik durum, iklim şartları, ilk maliyet ve uygunluk faktörleri dikkate alınmalıdır. Isı pompalarına kaynak olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmek, enerji tasarrufu ve çevresel faktörler bakımından son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de, ülkemizde önemli bir potansiyele sahip olan güneş enerjisidir. Ancak bu enerji gündüz ve gökyüzünün açık olduğu günlerle sınırlıdır. Bu bakımdan ısı pompası sistemine ikinci bir kaynak olarak topraktan çekilebilecek ısı enerjisi, sisteme süreklilik kazandırmaktadır.

Güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası, güneş ve topraktan gelen enerjiyi kullanarak çevreye zarar vermeden ısıtma ve soğutmada ideal konfor şartlarını en ekonomik şekilde sağlayabilirler. Literatürde,

lar yapılmıştır. Bu çalışmalar genelde sadece güneş veya toprak kaynaklı çalışmalar olup, her iki kaynağı da kullanarak yapılan çalışmalar ise sınırlı sayıda

Literatürde güneş, toprak ve güneş-toprak kaynaklı ısı pompaları konusunda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmektedir.

Eğrican (1991) yaptığı çalışmada, ısı kaynağı olarak güneş enerji deposu kullanan bir seri güneş ısı pompası sisteminin simülasyonunu yapmıştır. Simülasyon, alan ısıtma amacıyla İstanbul'da bir ev için yapılmıştır. Güneş destekli sistem tarafından sağlanan alan ısıtma yük miktarı, toplayıcı alanının ve termik depolama hacminin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Isı pompası, güneş panelleri, depolama tankı ve evin termik ihtiyacı dinamik olarak analiz edilmiş ve her biri için bir bilgisayar modeli elde edilmiştir. Panel alanı ve tank boyutu değiştirilerek, tüm sistemin simülasyonu yapılmıştır.

Çomaklı ve Bayramoğlu (1993) çalışmalarında, güneş destekli enerji depolu bir ısı pompası için teorik model geliştirmişlerdir. Model, sistemdeki güneş toplayıcısı, enerji deposu, buharlaştırıcı, kompresör, yoğunlaştırıcı, genleşme vanası gibi cihazlara ait termodinamik bağıntılara dayanmaktadır. Pilot tesisten alınan deneysel verilerden faydalanılarak sistemin bazı çalışma parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemin bazı tasarım parametrelerinin sistemin performansına etkisini görmek ve pilot tesiste ölçülemeyen bazı parametreleri hesaplayabilmek için model kullanılarak simülasyon çalışması yapılmıştır.

Yamankaradeniz ve Horuz (1998) tarafından İstanbul şartlarında açık günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelemesi yapılmıştır. Teorik çalışmada, İstanbul şartlarında açık günler için günlük, aylık ve mevsimlik ortalama ısıtma tesir katsayıları ve sistemin diğer özellikleri incelenmiştir. Kaygusuz ve Ayhan (1993), evsel ısıtma için güneş destekli ısı pompası sistemlerinin ekserjetik verimleri

- Mayıs aylarında tipik günler için elde edilmiştir. Deneyler, her bir ay için açık gökyüzü şartlarında yapılmıştır. Ekserjetik verimler deneysel veriler kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırmalar farklı sistemler arasında yapılmıştır.

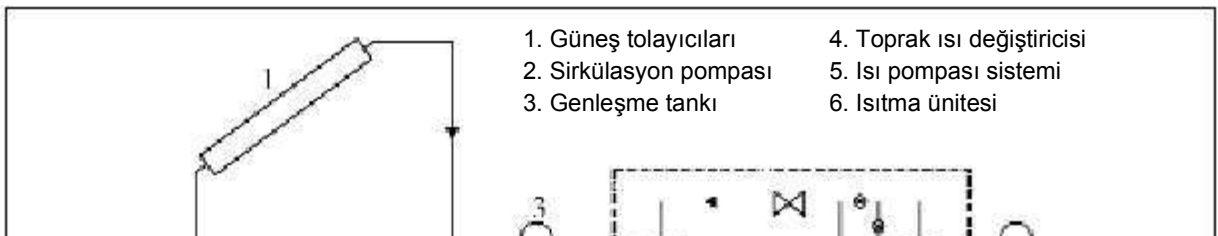
- Bakırcı ve Yüksel (2006) tarafından, güneş enerjisiyle çalışan ısı pompasının performansını incelemek amacıyla, Erzurum ilinde bir deney düzeneği kurulmuştur. Sistem, 12 adet düzlemsel güneş enerjisi toplayıcısı, güneş enerjisi depolama tankı, su-su plakalı bir ısı değiştiricisi, sıvı-sıvı prensibine göre çalışan buhar sıkıştırımlı bir ısı pompası, su sirkülasyon pompaları ve diğer ölçüm elemanlarından meydana gelmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, toplayıcı verimi (η_K), ısı pompası ısıtma tesir katsayısı (COP) ve sistemin performansını (COPS) belirlemek için kullanılmıştır.

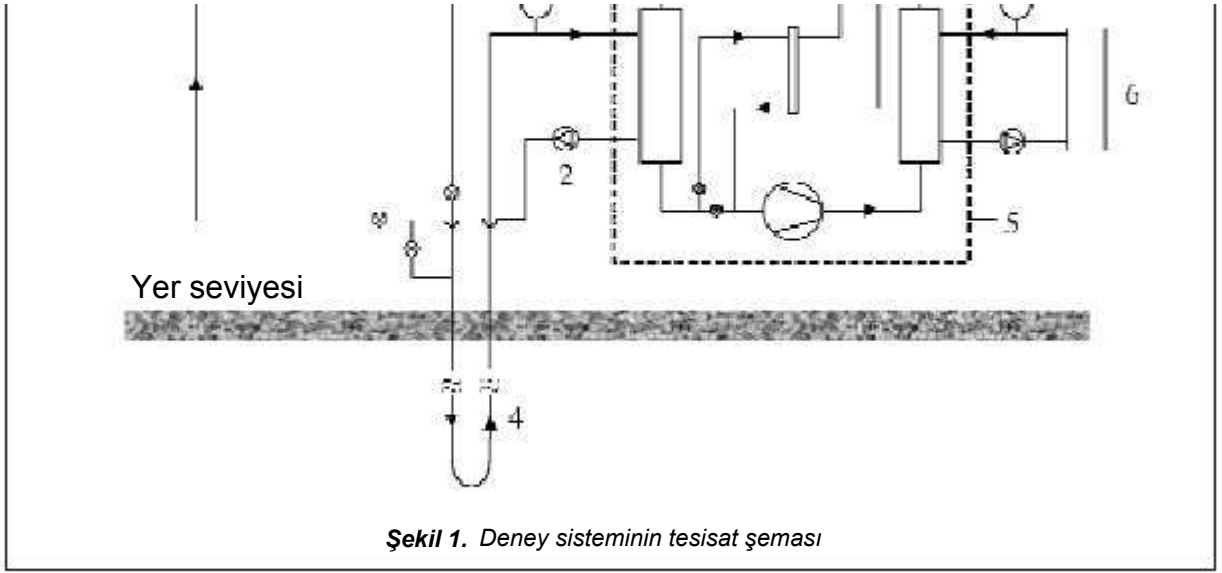
- Hepbaşı ve arkadaşları (2003), İzmir'de 50 m sondajla açılmış toprak kuyusuna gömülü U şeklindeki bir ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma performans katsayısını incelemiştir. Ayrıca, toprak kaynaklı ısı pompasının performansını ve kurulma maliyetini etkileyen parametreleri belirlemiştir.

- İnallı ve Esen (2004) alan ısıtma için kullanılan yatay toprak kaynaklı bir ısı pompası sisteminin performans üzerine, toprak ısı değiştiricisinin yüzeyden derinliği, topraktan ısı çeken akışkanın (salamuranın) debisi gibi parametrelerin etkisini incelemiştir. Deneysel çalışma, 2002-2003 ısıtma sezonunda Kasım-Nisan aylarında yapılmıştır. Yüzeyden 1 ve 2 m derinliklerdeki yatay toprak ısı değiştiricileri için sistemin ortalama performans katsayısı sırasıyla 2.66 ve 2.81 değerinde bulunmuştur.

- Bi ve arkadaşları (2004) dikey çift helisel sargılı toprak ısı değiştiricili güneş-toprak kaynaklı ısı pompası konusunda teorik ve deneysel çalışma yapmışlardır. Isıtma modunda yapılan çalışmada, güneş enerjisi kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemi dönüşümlü olarak kullanılmıştır. Deneysel olarak el

Makale





Şekil 1. Deney sisteminin tesisat şeması

de edilen sonuçlara göre, güneş-toprak kaynaklı ısı pompasının uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Özgener ve Hepbaşlı (2005), kurmuş oldukları bir GTKIP sistemi ile yaptıkları deneysel çalışmada, İzmir Ege Üniversitesi bünyesinde bir sera evinin ısıtılmasını gerçekleştirerek, sistemin performans karakteristiklerini incelemişlerdir. Özgener ve Hepbaşlı (2005), yaptıkları diğer bir çalışmada ise aynı sistemin ekserji ekonomikliğini analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada, güneş-toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde toplayıcılarından gelen ısı taşıyıcı akışkan ilk olarak toprak ısı değiştiricisine gönderilerek enerjisinin bir kısmı yeraltında depolanmış ve daha sonra su kaynaklı buharlaştırıcıda ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Güneş ışınları etkisiz hale gelince, yeraltında depolanan enerji buharlaştırıcıda ısı kaynağı olarak kullanılmış ve ısıtma sezonunda yapılan uygulama sonucu elde edilen deneysel veriler değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nün Enerji Laboratuvarı'nda kurulan deney düzeneğinde yapılmıştır. Deney düzeneği; güneş enerjisinin toplandığı toplayıcı devresi (yatay ile 29° eğimli), toprak ısı değiştiricisi ve ısı pompası sistemi olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Deney sistemin tesisat şeması Şekil 1'de, sistem elemanları ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Deneysel çalışmada hesaplamalar aşağıda verilen eşitlik ile yapılmıştır:

Toplayıcılarda ısı taşıyıcı akışkana (%50 antifriz-su karışımına) aktarılan faydalı ısı (Q_t), ısı taşıyıcı akışkanın özgül ısısı C_a , sırasıyla toplayıcılara giriş ile çıkış sıcaklıkları T_{tag} ile $T_{aç}$ ve toplayıcılarda dolaşan ısı taşıyıcı akışkanın debisi olmak üzere,

$$\dot{Q} = \dot{m}_t a (T_{aç} - T_{tag}) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Günlük ortalama toplayıcı verimi ise,

$$h_{tg} = \frac{Q_t}{A_t l_e} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Yatay yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı, laboratuvar binasında kurulu olan meteoroloji istasyonunda ölçülmüştür. Bu ölçümlerden hareketle eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı (I_e) Duffie ve Beckman, (1991) tarafından verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

miştir. Sirkülasyon pompalarının çektiği akım, amper metre yardımıyla ölçülmüştür. Bir sirkülasyon pompasının harcadığı elektrik enerjisi, pompanın çektiği akım I ve volt V olmak üzere,

$$\dot{W}_y = IV \cos(\phi) / 1000 \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada ısı pompasının performans katsayısı (COP),

Toplayıcı

Toplayıcı tipi	: Düz güneş toplayıcısı
Toplayıcı cam sayısı	: Tek camlı
Net toplayıcı alanı	: 1.64 m ²
Toplayıcı sayısı	: 8 adet

Toprak ısı değiştiricisi

Boru malzemesi	: Polietilen
Derinlik	: 53 m
Tip	: Dikey U-borulu
Çap	: 32 mm

Isı pompası

Kompresör	: Hermetik scroll, 3.4 HP
Yoğuşturucu	: Su soğutmalı, plakalı
Buharlaştırıcı	: Su soğutmalı, plakalı
Soğutucu akışkan	: Freon 134a

DeneySEL hesaplamalarda buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı (Q_b), antifriz-su karışımının özgül ısı C_a , sırasıyla buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıkları T_{bag} ile $T_{baç}$ ve debisi olmak üzere,

$$\dot{Q}_{ba} = \dot{m}(C_a T_{baç} - T_{bag}) \quad (3)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Yoğuşturucudan atılan faydalı ısı miktarı (Q_y) ise, suyun özgül ısı C_s , sırasıyla yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları T_{ysg} ile $T_{ysç}$ ve debisi olmak üzere,

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_y C_s (T_{ysç} - T_{ysg}) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Kompresörün çektiği elektrik enerjisi (W_k), dijital sayaçla ölçülerek tespit edil-

$$COP = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} = \frac{\dot{m}_y (C_s T_{ysç} - T_{ysg})}{\dot{W}_k} \quad (6)$$

eşitliğinden bulunmuştur. Tüm sistemin performans katsayısı (COPS) ise, sistemde çalışan tüm sirkülasyon pompalarının gücü $\square W_p$ olmak üzere,

$$COP = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k + \square \dot{W}_p} = \frac{\dot{m}_y (C_s T_{ysç} - T_{ysg})}{\dot{W}_k + \square \dot{W}_p} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

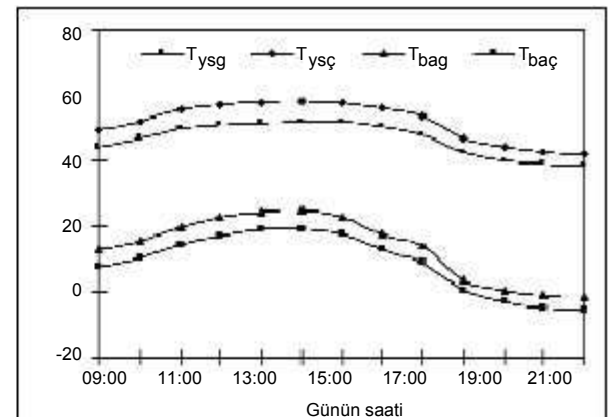
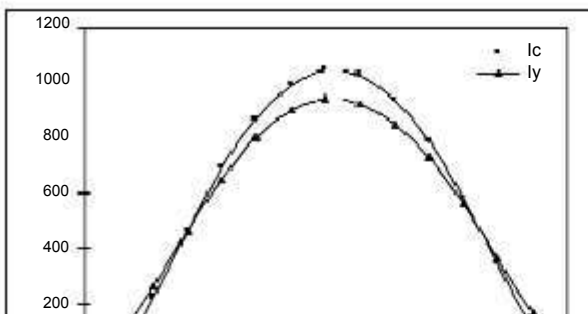
3. BULGULAR ve TARTIşMA

DeneySEL ölçümler 21 Nisan 2007 tarihinde, Erzurum ili için ısıtma sezonunda alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. DeneySEL çalışma sonucunda güneş ışınımı miktarı, günlük ortalama toplayıcı verimi, ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcılara giriş ve çıkış sıcaklığı, ısı pompasına sağlanan kaynak sıcaklığı ile yoğuşturucudan çıkan su sıcaklığı, ısı pompasının (COP) ve tüm sistemin performans katsayısının (COPS) gün boyunca değişimleri incelenmiştir.

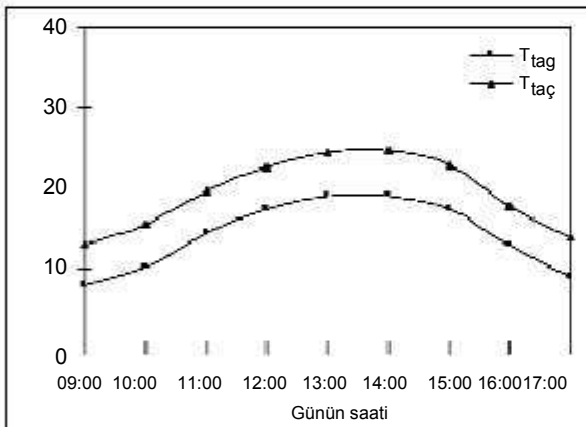
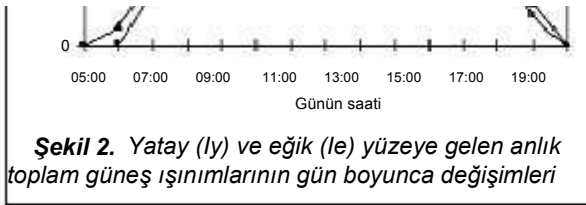
şekil 2'de aylara göre yatay (I_y) ve eğik (I_e) yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımının gün boyunca değişimleri verilmiştir. şekil 3'de ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcılara giriş (T_{tag}) ve çıkış ($T_{taç}$) sıcaklıklarının gün boyunca değişimleri verilmiştir. şekil 4'de suyun ve antifriz-su karışımının sırasıyla yoğuşturucu ve buharlaştırıcıya giriş-çıkış sıcaklıklarının gün boyunca değişimleri verilmiştir. şekil 5'de yoğuşturucu ve buharlaştırıcının enerji kapasiteleri

Makale

nin gün boyunca değişimleri gösterilmiştir. şekil 6'da ise ısı pompasının (COP) ve tüm sistemin (COPS) performans katsayılarının gün boyunca değişimleri verilmiştir. Buharlaştırıcı giriş suyu sıcaklığına paralel olarak her iki performans katsayısı da değişmektedir.



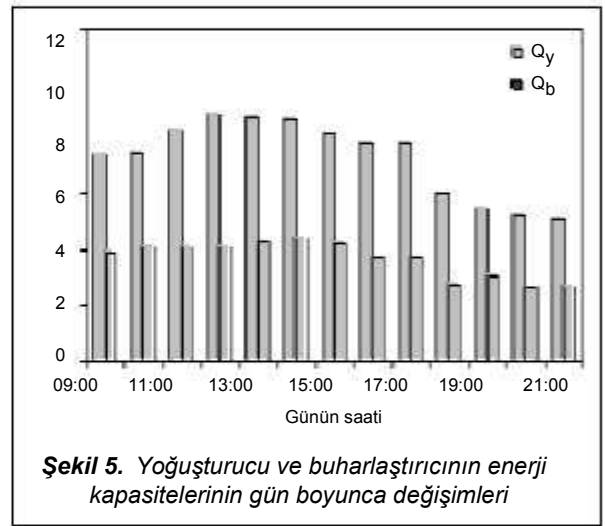
şekil 4. Suyun ve antifriz-su karışımının sırasıyla yoğuşturucu ve buharlaştırıcıya giriş-çıkış sıcaklıklarının gün boyunca değişimleri



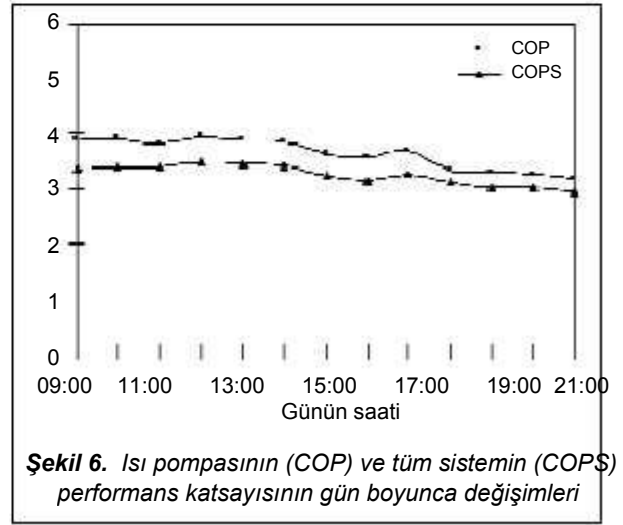
Şekil 3. Isı taşıyıcı akışkanın toplayıcılara giriş (T_{tag}) ve çıkış ($T_{taç}$) sıcaklıklarının gün boyunca değişimleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, temiz enerji kaynakları ısı pompasının da kullanılmış ve Erzurum ilinde güneş-toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin, bilinen ısıtma sistemleri ne bir alternatif olarak kullanılabileceği deneysel olarak gözlemlenmiştir. Sisteme en yüksek kaynak sıcaklığı yaklaşık $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerinde öğlen saatlerinde sağlanmıştır. Gün boyunca sisteme sağlanan kaynak sıcaklığına bağlı olarak yoğuşturucu su çıkış sıcak



Şekil 5. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcının enerji kapasitelerinin gün boyunca değişimleri



Şekil 6. Isı pompasının (COP) ve tüm sistemin (COPS) performans katsayısının gün boyunca değişimleri

lıklarının, $42\text{-}58\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre, günlük toplam toplayıcı verimi 0.43 olarak hesaplanmıştır. Isı pompasının (COP) ve tüm sistemin (COPS) günlük ortalama performans katsayısı sırasıyla 3.64 ve 3.25 değerinde bulunmuştur.

5. SEMBOLLER

A_t	Toplayıcı yüzey alanı (m^2)
C	Özgül ısı ($\text{kJkg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
COP	Isı pompasının performans katsayısı
COPS	Tüm sistemin performans katsayısı
I_e	Eğik yüzeydeki anlık toplam ışınım (Wm^{-2})
I	Akım (amper)
\dot{m}	Debi (kgs^{-1})
\dot{Q}_b	Buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı (kW)
\dot{Q}_y	Yoğuşturucudan atılan ısı miktarı (kW)
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
V	Gerilim (volt)

6. KAYNAKLAR

- Bakırcı, .K. ve Yüksel B., Güneş enerjisiyle çalışan ısı pompasının deneysel incelenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, ISSN 1300-3615, Cilt: 26, Sayı: 2, Sayfa: 23-28, 2006.
- Bi Y., Guo T., Zhang L., and Chen L., Solar and ground source heat-pump system. Applied Energy 78, 231-245, 2004.
- Çomaklı, Ö. ve Bayramoğlu, M., Güneş destekli kompresörlü ısı pompasının simülasyonu. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 16 (1), 25-35, 1993.
- Duffie, J. A. and Beckman W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.
- Eğrican, A. N., Performance of a solar assisted heat pump system. Energy Conversion and Management, 31 (1), 17-25, 1991.
- Hepbaşlı, A., Akdemir, O. and Hancıoğlu, E., Experimental Study of A Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System, Energy Conversion and Management 44 527-548 2003

\dot{W}_k Kompresöre verilen iş (kW)
 h_{tg} Günlük ortalama toplayıcı verimi

Alt indisler

a Antifriz-su (ısı taşıyıcı akışkan)
b Buharlaştırıcı
ç Çıkış
e Eğik yüzey
g Giriş
k Kompresör
p Sirkülasyon pompası
s Su
t Toplayıcı
y Yoğuşturucu

Teşekkür: Bu çalışmanın yürütülmesi için MAG-106M068, BAP-2004/114 ve BAP-2005/25 numaralı projeler kapsamında verdikleri desteklerden dolayı, TÜBİTAK'a ve Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu'na teşekkür ederiz.

management 11, 627-630, 2000.

- Inalli, M. and Esen, H., Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system, Applied Thermal Engineering 24, 2219-2232, 2004.
- Kaygusuz, K. and Ayhan, T., Experimental and theoretical investigation of combined solar heat pump system for residential heating. Energy Conversion and Management, 40 (13), 1377-1396, 1999.
- Ozgener Ö. and Hepbasli A., Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study, Building and Environment 40:8, 1040-1050, 2005.
- Ozgener Ö. and Hepbasli A., Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system, Applied Thermal Engineering 25:10, 1459-1471, 2005.
- Yamankaradeniz, R. and Horuz, I., The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days, International Communications in Heat and Mass Transfer 25:6, 885-898, 1998.