



## GÜNEŞ ENERJİSİYLE ÇALIŞAN ISI POMPASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Kadir BAKIRCI\* ve Bedri YÜKSEL\*\*

\*Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Müh. Böl., 25240 Erzurum, abakirci@atauni.edu.tr

\*\*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Makina Müh. Böl., 10569 Balıkesir, byuksel@balikesir.edu.tr

(Geliş Tarihi: 30. 03. 2006)

**Özet:** 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 sıkıştırıcı bir ısı pompası, su sirkülasyon pompaları ve diğer ölçüm elemanlardan meydana gelmiştir. Güneş enerjisi toplayıcılarından gelen ısı taşıyıcı akışkan (antifriz-su karışımı), ilk önce ısıtmanın bir kısmını enerji depolama tankındaki suya bıraktıktan sonra, bir plakalı ısı değiştiricisinden geçirilerek gündüzleri su kaynaklı buharlaştırıcıya ısı kaynağı olarak kullanılmış ve daha sonra da bir sirkülasyon pompasıyla toplayıcılara gönderilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, toplayıcı verimi ( $\eta_K$ ), ısı pompası ısıtma tesir katsayısı (COP) ve sistemin performansını (COPS) belirlemek için kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Güneş enerjisi, Isı pompası, Erzurum.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE HEAT PUMP RUNNING WITH SOLAR ENERGY

**Abstract:** In order to investigate the performance of the heat pump running with solar energy, an experimental set-up was constructed in the province of Erzurum. The experimental apparatus consisted of twelve flat-plate solar collector, a sensible heat energy storage tank, a water-to-water plate heat exchanger, a liquid-to-liquid vapour compression heat pump, water circulating pumps and other measurement equipments. The heat carrier fluid coming from the solar collectors first released some of its heat to the water in the energy storage tank, and then it was used as a heat source to the water sourced evaporator while being passed through a plate heat exchanger during the day. Then, it was sent to the solar collectors by the water circulating pump. The experimentally obtained results were used to determine the collector efficiency ( $\eta_K$ ), the coefficient of the performance of the heat pump (COP) and the performance of system (COPS).

**Keywords:** Solar energy, Heat pump, Erzurum.

### SEMBOLLER

$A_K$  Toplayıcı yüzey alanı [ $m^2$ ]

$C$  Özgül ısı [ $kJkg^{-1}C^{-1}$ ]

COP Isı pompası ısıtma tesir katsayısı

COPS Tüm sistemin performansı

$I$  Akım [ $A$ ]

$I_e$  Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı [ $Wm^{-2}$ ]

$\dot{m}$  Debi [ $kgs^{-1}$ ]

$\dot{Q}_e$  Buharlaştırıcı ısı gücü [ $kW$ ]

$\dot{Q}_k$  Yoğuşturucu ısı gücü [ $kW$ ]

$T$  Sıcaklık [ $^{\circ}C$ ]

$U$  Gerilim [ $V$ ]

$\dot{W}_k$  Kompresör gücü [ $kW$ ]

$\eta_K$  Toplayıcı anlık verimi

### Alt indisler

$a$  Isı taşıyıcı akışkan

$e$  Buharlaştırıcı, eğik yüzey, ısı değiştiricisi

$k$  Yoğuşturucu, kompresör

$K$  Toplayıcı

$p$  Sirkülasyon pompası

$s$  Su

### GİRİŞ

Kullanılmakta olan enerji kaynaklarının azalması ve bu kaynakların sebep olduğu hava kirliliğinin artması, güneş enerjisi üzerine olan çalışmalarını artırmıştır. Isı pompalarının elektrikli ısıtmaya nazaran 2 ile 6 kat daha avantajlı olmaları, çevre kirliliğine neden olmamaları, istenildiğinde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı

kullanılmaları nedeniyle üzerinde çok çalışılan bir konu olmuştur.

Bilindiği üzere, soğutma makinalarında soğutulacak ortamdan alınan ısı yoğuşturucu (kondenser) aracılığıyla dış ortama atılmaktadır. Yani soğutma devresinde soğutma işlemi buharlaştırıcının (evaporatörün)

bulunduğu yerde sağlanmaktadır. Isı pompasında ise dışarıya atılan ısı enerjisinden faydalanılmaktadır. Isı pompasında ısıtma işlemi yoğunlaştırıcunun bulunduğu yerde sağlanmakta olup, soğutma devresinden farkı, kullanım amacının farklı olmasıdır (Dağsöz, 1981).

Isı pompalarının satın alma ve kurulma maliyeti, diğer ısıtma sistemlerine göre daha yüksektir. Fakat uzun dönemde ısıtma faturalarının daha düşük olması, bu sistemlerin bazı bölgelerde kazançlı olmasını sağlar. Yüksek ilk yatırım giderlerine karşın ısı pompalarının kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır (Çengel ve Boles, 1989).

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre bir çok avantajı vardır. Her şeyden önce Türkiye’de rahatlıkla kullanılacak kapasitede mevcut, temiz ve yerel uygulamalar için elverişlidir. Dış ülkelere sayın alınmadığı için, çıkabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır. Özellikle petrol fiyatlarının artması, güneş enerjisini gittikçe cazip kılmakta ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır (Kılıç ve Öztürk 1983).

Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmektedir.

Çomaklı *vd.* (1993) tarafından, Türkiye’nin Karadeniz Bölgesinde evsel ısıtma için enerji depolamalı güneş enerjisi ile çalışan ısı pompası sisteminin performansını araştırmak için bir deneysel düzenek kurulmuştur. Toplayıcı verimi %70, ısı pompası COP’u %4.5, sistem COP’u %4 ve güneş enerjisinin ısı olarak depolama verimi %60 olarak tespit edilmiştir.

Best *vd.* (1994), güneş enerjisiyle çalıştırılan ısı pompası kullanarak pirinç kurutma sisteminin değerlendirmesini yapmışlardır. Güneş enerjisinin kullanıldığı ısı pompası pirinç kurutma sistemi, mevcut mekanik kurutuculara alternatif olarak geliştirilmiştir.

Abou-Ziyan *vd.* (1997), düşük sıcaklık uygulamaları için güneş enerjisiyle ve R-22, R-134a soğutucu akışkanlarıyla çalışan ısı pompası sistemleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Isı pompasının performans karakteristiklerini, R-22 ve R-134a soğutucularını kullanarak araştırılmıştır.

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 anlık, aylık ve mevsimlik ortalama ısıtma tesir katsayıları ve sistemin diğer özellikleri incelenmiştir.

Huang ve Chyng (1999), integral tip güneş enerjisiyle çalıştırılan ısı pompası su ısıtıcısının tasarımı ve uygulamalı araştırılması konusunda bir çalışma yapmıştır. Yapılan deneylerde COP değeri 3.83 bulunmuştur.

Kaygusuz (2000) tarafından yapılan çalışmada ısı pompasının güneş enerjisiyle çalıştırıldığı ısıtma sisteminin performansı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Kasım ayından Nisan ayına kadar olan deneysel sonuçlar, ısıtma sezonu boyunca elde edilmiştir. Ortalama mevsimlik ısıtma tesir katsayısı, seri ısı pompası sistemleri için 4.0, paralel ısı pompası sistemleri için 3.0 olarak bulunmuştur. Ayrıca güneşle ısıtma sisteminin analizi için matematik model geliştirilmiştir.

Hawlder *vd.* (2001) su ısıtma sisteminde güneş enerjisiyle çalıştırılan ısı pompasının performansını incelemişlerdir. R134a soğutucusuna uygun buharlaştırıcı gibi işlev gören, üzeri camla kaplanmamış düzlemsel güneş enerjisi toplayıcı ve güneş enerjisiyle çalıştırılan ısı pompası su ısıtma sisteminde analitik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Bakırcı (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, güneş enerjisiyle çalışan ve güneş enerjisinin ısı şeklinde depolandığı bir ısı pompası sistemi kurulmuştur. Çalışma, Erzurum’un kış ısıtma sezonu şartlarında yapılmış, sisteminin performansı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

## MATERYAL ve METOD

Deneysel çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nün Enerji Laboratuvarı’nda kurulan deney düzeneğinde yapılmıştır. Deney düzeneği; güneş enerjisinin absorplandığı toplayıcı devresi, güneş enerjisinin duyulur ısı şeklinde depolandığı enerji depolama tankı 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.

Güneş enerjisi toplayıcılarından gelen ısı taşıyıcı akışkan, ilk olarak enerji depolama tankının serpantininden geçirilmiş ve ısısının bir kısmı duyulur ısı şeklinde depolanmıştır. Enerji depolama tankından çıkan ve hala sıcak olan ısı taşıyıcı akışkan bu sefer de plakalı ısı değiştiricisinden geçirilerek gündüzleri ısı pompasına kaynak sağlanmıştır. Güneş enerjisi etkisini yitirince de, enerji depolama tankı devreye sokulmuş, akşam ve gece geç saatlere kadar ısı pompasına kaynak sağlanmıştır.

Toplayıcılarda ısı taşıyıcı akışkan 20°C’de yoğunluğu 1071 kgm<sup>-3</sup> olan antifriz-su karışımıdır. Toplayıcılara gelen  $\dot{Q}_K$  ve ısı taşıyıcı akışkana aktarılan faydalı ısı  $\dot{Q}_{KF}$ , ısı taşıyıcı akışkanın özgül ısısı  $C_a$ , sırasıyla toplayıcılara giriş ile çıkış sıcaklıkları  $T_1$  ile  $T_2$  ve toplayıcılarda sirküle edilen ısı taşıyıcı akışkanın debisi  $\dot{m}_K$  olmak üzere,

$$\dot{Q}_K = A_K I_e \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{KF} = \dot{m}_K C_a (T_2 - T_1) \quad (2)$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Güneş toplayıcılarından gelen ısı taşıyıcı akışkan, gün boyunca enerjisinin bir kısmını duyulur enerji depolama tankına bırakmaktadır. Deponun ısı kayıplarına karşı iyi yalıtıldığı ve depodan ısı kaybı olmadığı kabul edilirse, ısı taşıyıcı akışkanın, enerji depolama tankına dt zaman aralığında bıraktığı ısı  $\dot{Q}_d$ ,

$$\dot{Q}_d = \dot{m}_K C_a (T_2 - T_3) = M_d C_s \frac{dT_d}{dt} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada,  $T_3$  enerji depolama tankından çıkan ısı taşıyıcı akışkan sıcaklığı,  $M_d$  enerji depolama tankındaki su miktarı,  $T_d$  ise enerji depolama tankı sıcaklığıdır. Enerji depolama tankından çıkan ısı taşıyıcı akışkan, plakalı ısı değiştiricisinden geçirilerek ısı tekrar alınır. Isı taşıyıcı akışkanın plakalı ısı değiştiricisine bıraktığı ısı  $\dot{Q}_p$ ,

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_K C_a (T_3 - T_1) \quad (4)$$

şeklinde yazılır. Diğer taraftan, plakalı ısı değiştiricisinin buharlaştırıcıya verdiği ısı  $\dot{Q}_e$ , suyun sabit basınçtaki özgül ısı  $C_s$ , buharlaştırıcıya giren sıcak suyun sıcaklığı  $T_4$ , ısı alıp buharlaştırıcıdan çıkan soğuk suyun sıcaklığı  $T_5$  ve buharlaştırıcı-ısı değiştirici arasında sirküle edilen su debisi  $\dot{m}_e$  olmak üzere,

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_e C_s (T_4 - T_5) \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Yoğuşturucuda radyatör suyuna verilen ısı ise, radyatörden çıkış (suyun ön ısıtma ısı değiştiricisine giriş) sıcaklığı  $T_{esg}$ , suyun yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı  $T_{ksç}$  ve yoğuşturucu-radyatör arasında sirküle edilen su debisi  $\dot{m}_k$  olmak üzere,

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_k C_s (T_{ksç} - T_{esg}) \quad (6)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Deneysel çalışmada hesaplamalar aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılmıştır:

Toplayıcının anlık verimi ise,

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_{KF}}{\dot{Q}_K} = \frac{\dot{m}_K C_a (T_2 - T_1)}{A_K I_e} \quad (7)$$

bağıntısıyla belirlenmiştir. Burada eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı, toplayıcı eğim açısına göre ayarlanabilen piranometrenin güneş sensöründen direkt olarak okunmuştur.

Deneysel hesaplamalarda yoğuşturucuda atılan ısıtma amaçlı faydalanılan ısı miktarı  $\dot{Q}_k$ , Eş. (6)'dan hesaplanmıştır.

Kompresörün çektiği güç  $\dot{W}_k$ , ölçülen akım ve gerilim değerlerinden tespit edilmiştir. Sirkülasyon pompalarının çektiği akım, ampermetre yardımıyla ölçülmüştür. Sirkülasyon pompası gücü, pompanın elektrik motorundan geçen akım I ve gerilim U olmak üzere,

$$\dot{W}_p = IU \cos(\varphi) / 1000 \quad (8)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Isı pompasının ısıtma tesir katsayısı (COP), aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir.

$$COP = \frac{\dot{m}_k C_s (T_{ksç} - T_{esg})}{\dot{W}_k} \quad (9)$$

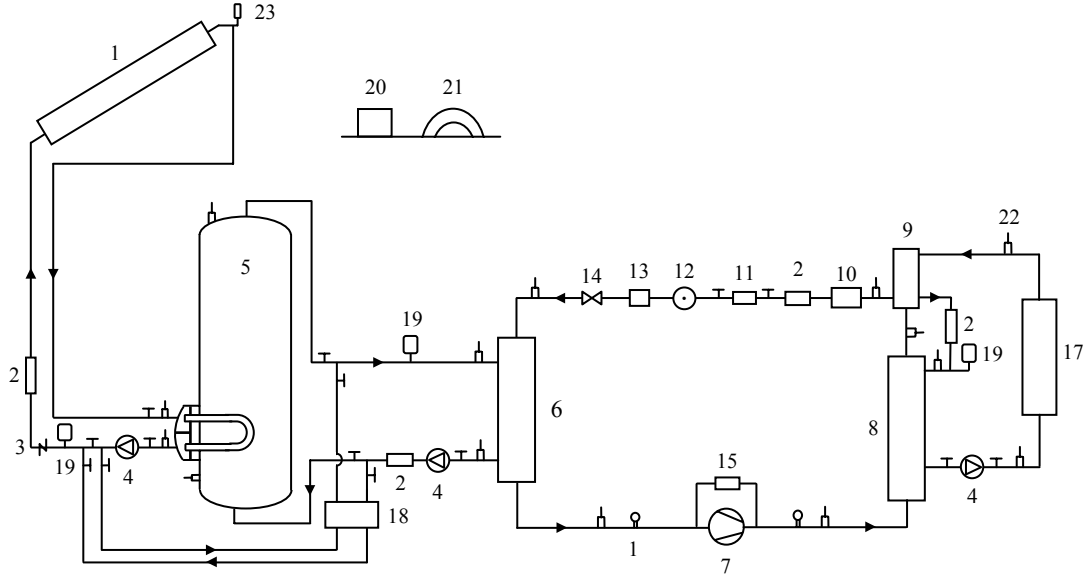
Tüm sistemin performansı (COPS) ise, sistemde çalışan sirkülasyon pompalarının toplam gücü  $\dot{W}_p$  olmak üzere,

$$COPS = \frac{\dot{m}_k C_s (T_{ksç} - T_{esg})}{\dot{W}_k + \dot{W}_p} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Sistem elemanları ile ilgili bilgiler.

| <b>Toplayıcı</b>             |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| Toplayıcı tipi               | Düz güneş toplayıcısı     |
| Toplayıcı cam sayısı         | Tek camlı                 |
| Net toplayıcı alanı          | 1.64 m <sup>2</sup>       |
| Toplayıcı sayısı             | 12 adet                   |
| <b>Enerji depolama tankı</b> |                           |
| Depo şekli                   | Silindirik                |
| Depo su hacmi                | 2000 litre                |
| Uzunluk                      | 2500 mm (bombe hariç)     |
| Çap                          | 1000 mm                   |
| Serpantin yüzey alanı        | 4 m <sup>2</sup>          |
| <b>Isı pompası</b>           |                           |
| Kompresör                    | Hermetik scroll, 2 HP     |
| Yoğuşturucu                  | Su soğutmalı, zarf-borulu |
| Buharlaştırıcı               | Su soğutmalı, zarf-borulu |
| Soğutucu akışkan             | Freon 134a                |



- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. Güneş enerjisi toplayıcısı                   | 13. Selenoid valf                     |
| 2. Debi ölçer                                   | 14. Genleşme vanası                   |
| 3. Çek valf                                     | 15. Alçak ve yüksek basınç ayarlayıcı |
| 4. Sirkülasyon pompası                          | 16. Manometre                         |
| 5. Enerji depolama tankı                        | 17. Radyatör                          |
| 6. Buharlaştırıcı                               | 18. Plakalı ısı değiştirici           |
| 7. Kompresör                                    | 19. Kapalı genişleme tankı            |
| 8. Yoğuşturucu                                  | 20. İntegratör                        |
| 9. Ön ısıtma ve aşırı soğutma ısı değiştiricisi | 21. Piranometre                       |
| 10. Soğutucu akışkan deposu                     | 22. Termoeleman yeri                  |
| 11. Filtre (kurutucu)                           | 23. Hava alma elemanı                 |
| 12. Gözetleme camı                              |                                       |

Şekil 1. Deney sisteminin tesisat şeması.

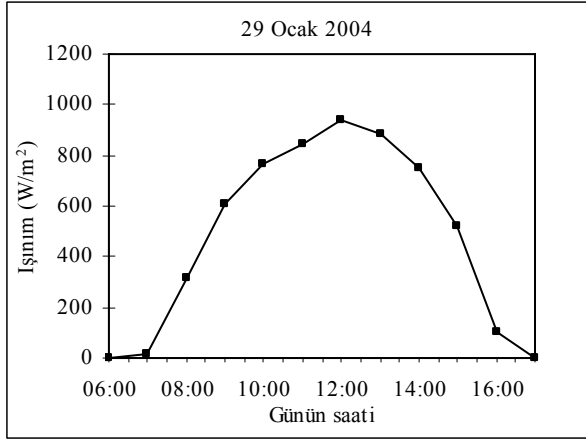
## ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Deneysel ölçümler, Erzurum ili için ısıtma sezonunda alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda güneş ışınımı miktarı, toplayıcı verimi, ısı taşıyıcı akışkanın güneş enerjisi toplayıcısından çıkış sıcaklığı, enerji depolama tankı sıcaklığı, ısı pompası kaynak sıcaklığı ile yoğuşturucudan çıkan su sıcaklığı, ısı pompası ısıtma tesir katsayısı (COP) ve tüm sistemin performansı (COPS) gün boyunca incelenmiştir.

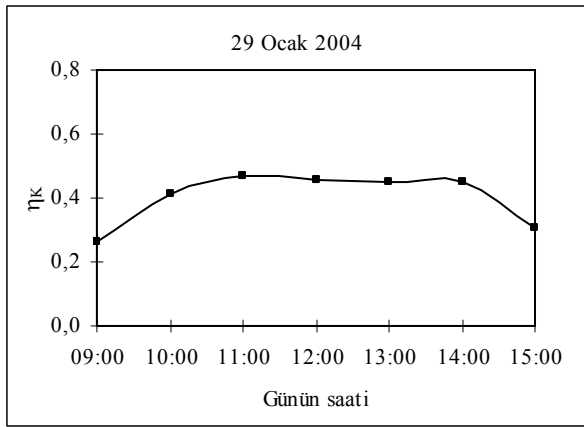
Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımının ( $I_e$ ) gün boyunca aylara göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Anlık toplayıcı veriminin ( $\eta_K$ ) gün boyunca değişimi Şekil 3’te verilmiştir. Genelde öğlene doğru güneş enerjisi toplayıcı kayıplarının azalmasıyla toplayıcı verimi artmış, akşama doğru ise tekrar kayıpların artmasıyla toplayıcı verimi düşmüştür. Isı taşıyıcı akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığının ( $T_2$ ) günün saatine göre değişimi Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 5’te enerji depolama tankının üst ve alt noktalarındaki sıcaklığın günün saatine göre değişimi verilmiştir. Şekil 6’da Isı pompası kaynak sıcaklığının ( $T_4$ ) ve yoğuşturucudan çıkan su sıcaklığının ( $T_{ksc}$ ) gün boyunca

değişimi verilmiştir. Şekil 7’de ise ısı pompası ısıtma tesir katsayısının (COP) ve tüm sistemin performansının (COPS) gün boyunca değişimleri verilmiştir. Buharlaştırıcı giriş suyu sıcaklığına paralel olarak her iki katsayı da değişmektedir. Aylara göre maksimum enerji depolama tankı sıcaklıkları Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kıştan yaz aylarına doğru enerji depolama tankı sıcaklıkları artmıştır.

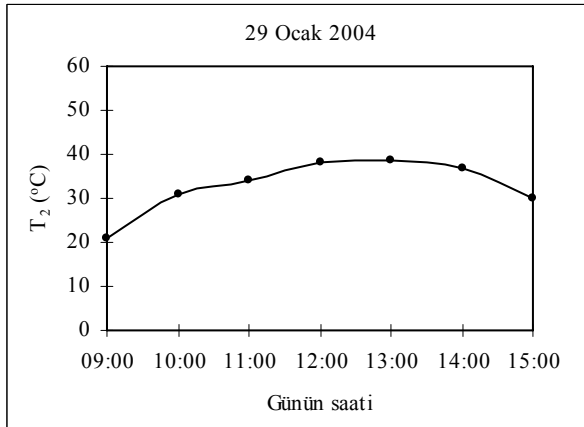
Aşağıda verilen şekillerin gün boyunca değişimleri incelendiğinde, tüm şekillerde eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı değerlerine paralel olarak bir değişim gözlemlenmektedir. Eğik yüzeye gelen güneş enerjisi oranına bağlı olarak, toplayıcılarda kazanılan faydalı enerjiye göre toplayıcı anlık verimleri, ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığı, ısı pompası kaynak sıcaklığı, ısı pompası ısıtma tesir katsayısı ve tüm sistem performansının değişim gösterdiği görülmektedir. Güneş enerjisi etkisini kaybedince enerji depolama tankı devreye sokulmuş ve ısı pompası kaynak sıcaklığı, ısı pompası ısıtma tesir katsayısı ile tüm sistem performansı bu seferde enerji depolama tankı sıcaklığına göre paralel değişim göstermiştir.



Şekil 2. Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımının ( $I_e$ ) gün boyunca değişimi.



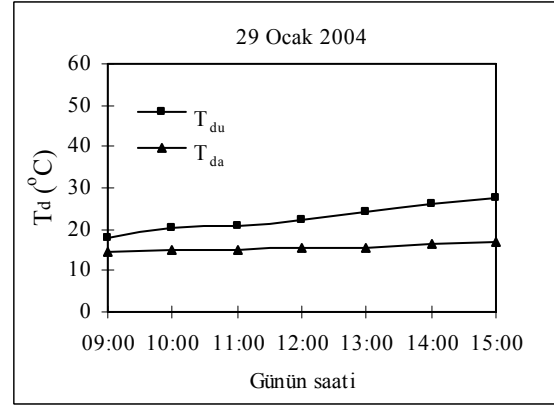
Şekil 3. Anlık toplayıcı veriminin ( $\eta_K$ ) gün boyunca değişimi.



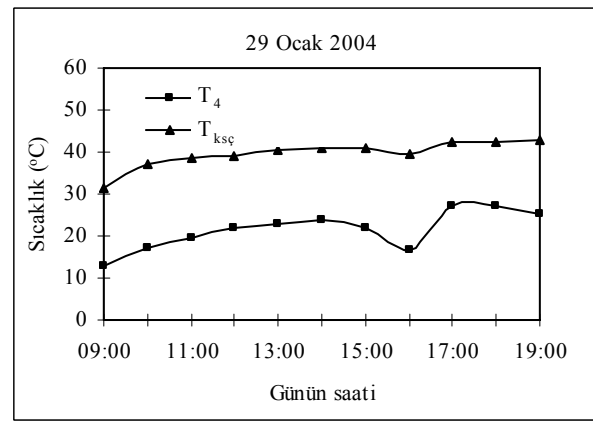
Şekil 4. Isı taşıyıcı akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığının ( $T_2$ ) günün saatine göre değişimi.

## TARTIŞMA ve SONUÇLAR

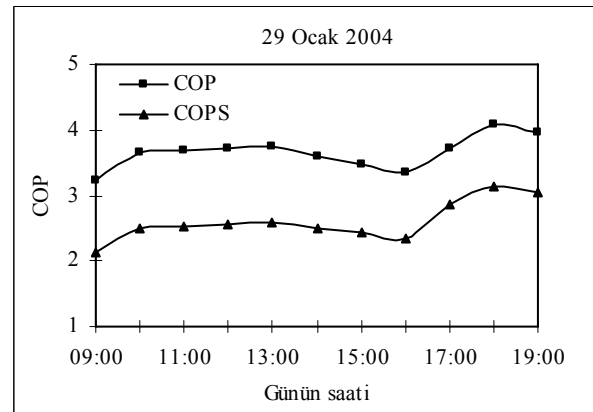
Günümüzde fosil kökenli enerji kaynaklarının azalması, yüksek maliyetleri ve bu kaynakların çevreye olan zararlı etkileri, alternatif yeni enerji kaynaklarının kullanılmasını gündeme getirmiştir. Bu bakımdan, güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde bu temiz enerji kaynağını kullanmak, gerek çevre kirliliği gerekse enerji ekonomisine katkı sağlaması bakımından önem arz etmektedir.



Şekil 5. Enerji depolama tankının üst ( $T_{du}$ ) ve alt ( $T_{da}$ ) noktalarındaki sıcaklığın günün saatine göre değişimi.

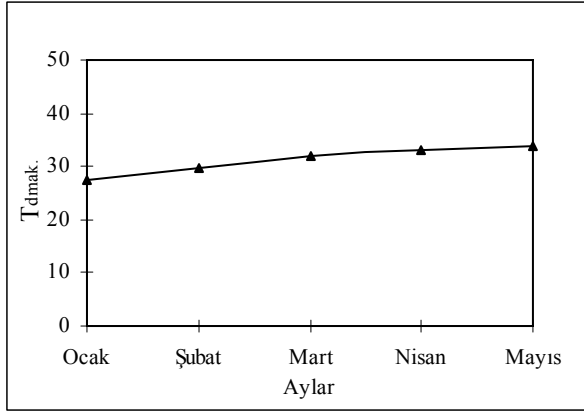


Şekil 6. Isı pompası kaynak sıcaklığının ( $T_4$ ) ve yoğuşturucudan çıkan su sıcaklığının ( $T_{ksc}$ ) gün boyunca değişimi.



Şekil 7. Isı pompası ısıtma tesir katsayısının (COP) ve tüm sistem performansının (COPS) gün boyunca değişimleri.

DeneySEL veriler incelendiğinde, Erzurum için en soğuk aylardan biri olan Ocak ayında, yoğuşturucudan çıkan su sıcaklığı yaklaşık olarak 40°C civarında olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bu nedenle, kullanılan ısı pompası sisteminin yerden ısıtma yapmaya uygun olduğu ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisini kaynak olarak kullanılarak, soğuk iklime sahip Erzurum'da güneş kaynaklı ısı pompası sisteminin, bilinen ısıtma sistemlerine bir alternatif olarak kullanılabileceği deneysel olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Aylara göre maksimum enerji depolama tankı sıcaklıkları.

Isı pompası kaynak sıcaklığı, kayıpların azalmasıyla kış aylarından yaz aylarına doğru giderek artmıştır. Bu durum, enerji depolama tankında daha fazla ısı enerjisi depolanmasını sağlamış ve dolayısıyla sisteme kaynak sağlama süresini de artırmıştır (Şekil 8). Isı pompası ısıtma tesir katsayısında ve tüm sistemin performansındaki değişimin, buharlaştırıcı giriş suyu sıcaklığına bağlı olduğu görülmüştür (Şekil 6-7).

Bu çalışmada, Erzurum için Ocak ayında günlük ortalama ısı pompası ısıtma tesir katsayısı 3.63 ve tüm sistemin performansı ise 2.65 değerinde bulunmuş ve ısı pompası sisteminde R-134a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Kaygusuz (2000) tarafından Trabzon'da yapılan bir çalışmada, Ocak ayı için günlük ortalama ısı pompası ısıtma tesir katsayısı paralel sistem için 2.60 ve seri sistem için 4.22 değerinde bulunmuş ve ısı pompası sisteminde R-22 soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Yamankaradeniz ve Horuz (1998) tarafından İstanbul'da yapılan çalışmada ise, Ocak ayı için günlük ortalama ısı pompası ısıtma tesir katsayısı 4.40 ve tüm sistemin performansı 3.96 değerinde bulunmuş ve ısı pompası sisteminde R-12 soğutucu akışkanı kullanılmıştır.

**Teşekkür:** Deneysel sisteminin kurulmasına sağladığı katkılardan dolayı, Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkür ederiz.



**Kadir BAKIRCI**, 1994 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi oldu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 1998 yılında Yüksek Lisans ve 2004 yılında Doktora öğrenimini tamamladı. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



**Bedri YÜKSEL**, 1977 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1977-78 yıllarında Karayolları Genel Müdürlüğünde makina şefi olarak çalıştı. Askerlik görevini kontrol Mühendisi olarak tamamladıktan sonra, 1980 yılında Atatürk Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi oldu. 1984 yılında doktorasını tamamladı. 1994 yılında Doçent, 1999 yılında Profesör oldu. yaklaşık 10 yıl Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 10 yıl süre ile de Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü yaptı. 2005 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ne Dekan olarak atandı. Halen Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Termodinamik Anabilim Dalında görev yapmaktadır.

## KAYNAKLAR

Abou-Ziyan, H. Z., Ahmed, M. F., Metwally, M. N. and Abd El-Hameed, H. M., Solar-assisted R22 and R134a Heat Pump Systems for Low-Temperature Applications, *Applied Thermal Engineering*, 17 (5), 455-469, 1997.

Bakırcı, K., Erzurum İlinde Güneş Destekli ve Enerji Depolu Isı Pompası Sisteminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 2004.

Best, R., Soto, W., Pilatowsky, I. and Gutierrez, L. J., Evaluation of a rice Drying System Using a solar Assisted Heat Pump. *Renewable Energy*, 5 (1-4), 465-468, 1994.

Çengel, Y. A. and Boles, M. A., *Thermodynamics an Engineering Approach*. McGraw-Hill, USA, 1989.

Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K. and Ayhan, T., Solar-assisted Heat Pump and Energy Storage for Residential Heating, *Solar Energy*, 51 (5), 357-366 1993.

Dağsöz, A. K., *Soğutma Tekniği*, Arpaz Matbaacılık Tesisleri, İstanbul, 1981.

Hawladar, M. N. A., Chou, S. K. and Ullah, M. Z., The Performance of a Solar Assisted Heat Pump Water Heating System, *Applied Thermal Engineering*, 21 (10), 1049-1065, 2001.

Huang, B. J., Chyng, J. P., Integral-type Solar-assisted Heat Pump Water Heater, *Renewable Energy*, 16 (1-4), 731-734, 1999.

Kaygusuz, K., Experimental and Theoretical Investigation of a Solar Heating System with Heat Pump, *Renewable Energy*, 21 (1), 79-102, 2000.

Kılıç, A. Öztürk, A., *Güneş Enerjisi*, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.

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.

