

## **ÇİFT FAZLI GÜNEŞ ENERJİSİ KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN TEORİK ve DENEYSEL İNCELENMESİ**

Ahmet Samancı<sup>\*a</sup>, Kemal Altınışik<sup>b</sup>, Ahmet Ali Sertkaya<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Selçuk Üniversitesi, Cihanbeyli MYO, Cihanbeyli, Konya

<sup>b</sup>Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Konya

<sup>c</sup>Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Seydişehir, Konya

### **Özet**

Bu çalışmada, soğuk iklim bölgelerinde konutların ısıtılması için hava-hava çalışan bir ısı pompasına çift fazlı güneş enerjisi destekli düzlemsel güneş kolektörü kaynak olarak kullanıldı. Çalışma, teorik ve deneysel olarak gerçekleştirildi. Teorik çalışmada, sistemin matematik modelini oluşturmak için, sisteme giren ve çıkan tüm büyüklükler ayrı ayrı ifade edildi. Daha sonra deneysel çalışmada öngörülen aylar için Konya Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan son 15 yıla ait veriler kullanılarak teorik sonuçlar elde edildi. Deneysel çalışma, Aralık, Ocak ve Şubat ayları için yapıldı. Çift fazlı güneş kolektöründe R-11, ısı pompası sisteminde ise R-22 akışkan olarak kullanıldı. Kolektördeki buharlaşmayı hızlandırmak için boru içerisine özel formda hazırlanan profiller yerleştirildi. Hava+su-hava çalışan sistemin konvansiyonel sisteme göre Isıtma Tesir Katsayısı (ITK)' nda %24 lük bir artış sağladığı tespit edildi. Ölçümlerden kaynaklanan hata nedeniyle deneysel sonuçlardan elde edilen ITK değerinin, teorik sonuçlara göre biraz düşük olduğu gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Isı pompası, ısı borusu, çift fazlı güneş kolektörü, soğutma çevrimi

## THEORITICAL and EXPERİMENTAL INVESTIGATION OF THE HEAT PUMP USING TWO-PHASE SOLAR ENERGY SOURCE

### Abstract

In this study, two phase solar collector was used as a source for a heat pump (air-air) so that the heat pump was obtained which working (air+water-air) for cold climate conditions. Study is realized experimentally and theoretically. The input and output values of the systems was used for determination of mathematical model. Instantaneous solar radiation data were also taken from Konya Directorship of Meteorology Citation. The tests were realized in December, January and February months. R-11 and R-22 were used as working fluids in two phase solar collector and heat pump systems respectively. When the heat pump system (air+water-air) is compared with the conventional heat pump system (air-air), it is derived that the coefficient of performance of the air+water-air system is 24 % more efficient than the other.

**Keywords:** Heat pump, heat pipe, two phase solar collector, cycle of cooling

### 1. Giriş

Enerji, kalkınmanın en önemli gereksinimlerinden biri olup, enerjiye olan talep günden güne artmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için, günümüzde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar hızla artmıştır. Üzerinde çalışılan en önemli enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir.

Güneş enerjisinden faydalanmada yaygın olarak düzlemsel güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Son zamanlarda güneş kollektörleri üzerinde yapılan çalışmalar *çift fazlı sistemler* üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu sistemin sağladığı önemli avantajlar, don olayından etkilenmemesi, termal yükün az olması ve kısa sürede rejime girmesidir. Soğuk iklim bölgelerinde güneş enerjisinden yararlanma yöntemlerinden biri de, güneş enerjisini, ısı pompalarının evaporatörlerine kaynak olarak kullanmaktır.

Isı pompaları ile ilgili olarak, Sullivan [1], mekanik buhar sıkıştırırmalı ısı pompasının temelleri ve çalışma prensipleri üzerinde durdu ve kompresör girişinde yapılan aşırı kızdırmanın, ısı pompası performans katsayısını artıracaklarını ifade etti. Trask [2], havadan-havaya çalışan ısı pompasının dizayn esaslarını inceledi ve

evaporatör sıcaklık ve basıncının dış hava sıcaklığının hemen altında seçilmesi halinde, ısı pompasının ITK değerinin daha yüksek olacağını ifade etti. Paikard [3], ısı pompaları için evaporatör ve kondenserlerin optimum dizaynlarını inceledi ve ısı transfer yüzeylerinin optimum değerlerini formülize etti.

Isı pompalarının performans katsayısını artırmak için, pek çok araştırmacı güneş enerjisi desteğini kullandılar [4-13]. Klasik tek fazlı güneş enerjisi destekli ısı pompalarının performanslarını deneysel ve teorik olarak incelediler. Chaturvedi [14], çift fazlı güneş kollektörlerinin ısı pompalarına uygulanması üzerinde çalıştı ve sistemin termodinamik analizini yaptı. Aziz ve ark.[15], çift fazlı güneş kollektörünü evaporatör kabul eden bir ısı pompasının termodinamik analizini yaptılar ve böyle bir sistemde kullanılacak evaporatör-kollektör tasarımı için bir yöntem geliştirdiler. Altınışık [16], Çift fazlı güneş kollektörü kaynaklı ısı pompası sisteminin termodinamik analizini yaparak, soğuk iklim bölgelerinde kullanılabileceğini ifade etti.

Bu çalışmada, özellikle soğuk iklim bölgelerinde, kış şartlarında daha az enerji harcanarak konutların ısıtılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çift fazlı güneş destekli hava+sudan-havaya çalışan ısı pompası sistemi incelendi. Sistemin matematiksel modeli kuruldu ve dinamik simülasyonu yapıldı.

#### Kısaltma ve Semboller

- $A$  Evaporatör toplam ısı transferi alanı,  $m^2$   
 $A_k$  Kollektör alanı,  $m^2$   
 $C_p$  Freon-11 nin özgül ısısı,  $J/^\circ Ckg$   
 $h_1$  Kompresör girişindeki entalpi,  $kJ/kg$   
 $h_2$  Kompresör çıkışındaki entalpi,  $kJ/kg$   
 $h_3$  Kondenser çıkışındaki entalpi,  $kJ/kg$   
 $I$  Güneş ışınım şiddeti ( $W/m^2h$ )  
ITK Isıtma tesir katsayısı  
 $k$  İzentropik üs  
 $m_{R-11}$  Kollektörde dolaşan Freon-11 nin debisi,  $kg/s$   
 $n$  Kompresörün devir sayısı, devir/s  
 $P_e$  Evaporatör basıncı, Pa  
 $P_k$  Kondenser basıncı, Pa

- $T_e$  Evaporatör sıcaklığı, °C  
 $T_{k2}$  Kollektör çıkış sıcaklığı, °C  
 $T_{k1}$  Kollektör giriş sıcaklığı, °C  
 $U$  Evaporatör toplam ısı transferi katsayısı, W/m<sup>2</sup>°C  
 $V_e$  Kompresörün strok hacmi, m<sup>3</sup>  
 $W_{komp}$  Kompresörün elektrik gücü, kW  
 $\eta_k$  Kollektör anlık verimi  
 $\eta_e$  Kompresörün elektrik verimi  
 $\eta_i$  Kompresörün izentropik verimi  
 $\eta_m$  Kompresörün mekanik verimi  
 $\eta_v$  Kompresörün volümetrik verimi

## 2. Sistemin matematiksel modeli ve dinamik simülasyonu

Bu çalışmada, sistemin matematik modelini oluşturmak için, tüm sistem alt sistemlere ayrıldı ve alt sistemlere giren ve çıkan büyüklükler matematiksel olarak ifade edildi. Daha sonra tüm sistem için dinamik simülasyon modeli kuruldu.

Çift fazlı güneş kollektörü sisteminin dinamik simülasyon modelini kurmak için, güneş kollektörüne gelen anlık toplam güneş ışınımının bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, Konya Bölge Meteoroloji Müdürlüğü'nden 09:00–16:00 saatlerinde alınan, son 15 yılın ortalama güneş ışınım değerleri veri olarak kullanıldı.

Güneş kollektöründen elde edilen anlık faydalı ısı;

$$Q_f = A_k I \eta_k \quad (1)$$

veya

$$m_{R-11} C_p (h_{k2} - h_{k1}) = A_k I \eta_k \quad (2)$$

şeklinde verilir. Burada;  $h_{k2}$  ve  $h_{k1}$  kollektör giriş ve çıkışındaki R-11 in entalpisidir.  $\eta_k$  kollektör verimi olup, çalışma şartları dikkate alınarak (kollektör cinsi, yapısı, eğimi ile dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı) günün her bir saati için deneysel olarak tespit edilmiştir.

Isı pompası sisteminde akışkan olarak R-22 kullanıldı. Isı pompasını oluşturan elemanlardan evaporatör aracılığıyla ortamdan çekilen ısı;

$$U A (T_d - T_e) = m_{(R22)} C_p (h_1 - h_4) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $T_d$  ve  $T_e$  depo ve evaporatör sıcaklıkları,  $U$  ve  $A$  ise evaporatörün toplam ısı iletim katsayısı ve alanıdır. Eşitlik (3)' den, evaporatör sıcaklığı ( $T_e$ ) için aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$T_e = T_d - (m_{(R22)} Cp (h_1 - h_4)) / (U A) \quad (4)$$

Sistemde kullanılan kompresör gücü ise;

$$W_{komp} = [ V_e \eta_v n / (k - 1) P_e ] [ ( P_k / P_e )^{((k-1)/k)} - 1 ] / (\eta_e \eta_i \eta_m) \quad (5)$$

olarak verilir. Burada;  $\eta_v$ ,  $\eta_i$ ,  $\eta_e$  ve  $\eta_m$  sırasıyla kompresörün volümetrik, izentropik, elektrik ve mekanik verimidir. Yine burada; kondenser basıncı ( $P_k$ ), kondenser sıcaklığı ( $T_k$ )'ya, evaporatör basıncı ( $P_e$ ) ise evaporatör sıcaklığı ( $T_e$ )'ye bağlı olarak Eşitlik (6) ve (7) bağıntıları aşağıdaki gibi verilir. Burada, R-22 akışkanına ait ( $P_k$ ) ve ( $P_e$ ) değerleri, en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edildi.

$$P_k = (( T_k / 2.248 ) - 123.993) \times 10^5 \quad (6)$$

$$P_e = (( T_e / 3.886 ) - 66.123) \times 10^5 \quad (7)$$

Kondenser sıcaklığı ( $T_k$ ), evaporatör sıcaklığı ( $T_e$ )'ye bağlı olarak;

$$T_k = ( A1 + ( A2 / A3 ) + 278.682 \quad (8)$$

şeklinde verilebilir [6]. Burada;

$$A1 = ( T_e / 1.729 ) - 130.123$$

$$A2 = E + ( T_e / 2.558 )^{(k/(k-1))}$$

$$A3 = 1.729 \left( ( T_e / 256.558 )^{(k/(k-1))} - 1 \right)$$

$$E = ( W_{komp} (k - 1) / ( 256.558 \eta_v V ) ) - 1$$

olarak tanımlanmıştır. Isı pompasının ısıtma tesir katsayısı, aşağıdaki şekilde verilir;

$$ITK = ( h_2 - h_3 ) (\eta_e \eta_i \eta_m) / ( h_2 - h_1 ) \quad (9)$$

Eşitlik (9) ifadesinde verilen  $h_1$ ,  $h_2$  ve  $h_3$  entalpi değerleri, R-22 gazı için doymuş sıvı ve kızgın buhar tablolarından yararlanılarak;

$$h_1 = ( a P_e^2 + b P_e + c ) T_e + ( d P_e^2 + e P_e + f ) \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen sabit katsayılar, Eşitlik (10)' da, yerlerine konursa;

$$h_1 = ( -0.0001 P_e^2 + 0.1265 P_e + 0.6759 ) T_e + ( 0.02736 P_e^2 - 5.489 P_e + 130.54 ) \quad (11)$$

bağıntısı elde edilir. Benzer şekilde  $h_2$  ve  $h_3$  entalpi değerleri için;

$$h_2 = B_1 \ln ( P_k ) + B_2 \quad (12)$$

$$B_1 = 49.128 S^2 - 210.602 S - 244.024$$

$$\begin{aligned} B_2 &= -79.292 S^2 + 717.534 S - 750.049 \\ S &= -0.000131 T_e + 2.11 \\ h_3 &= 0.00229 T_k^2 - 0.0845 T_k - 49.406 \end{aligned} \quad (13)$$

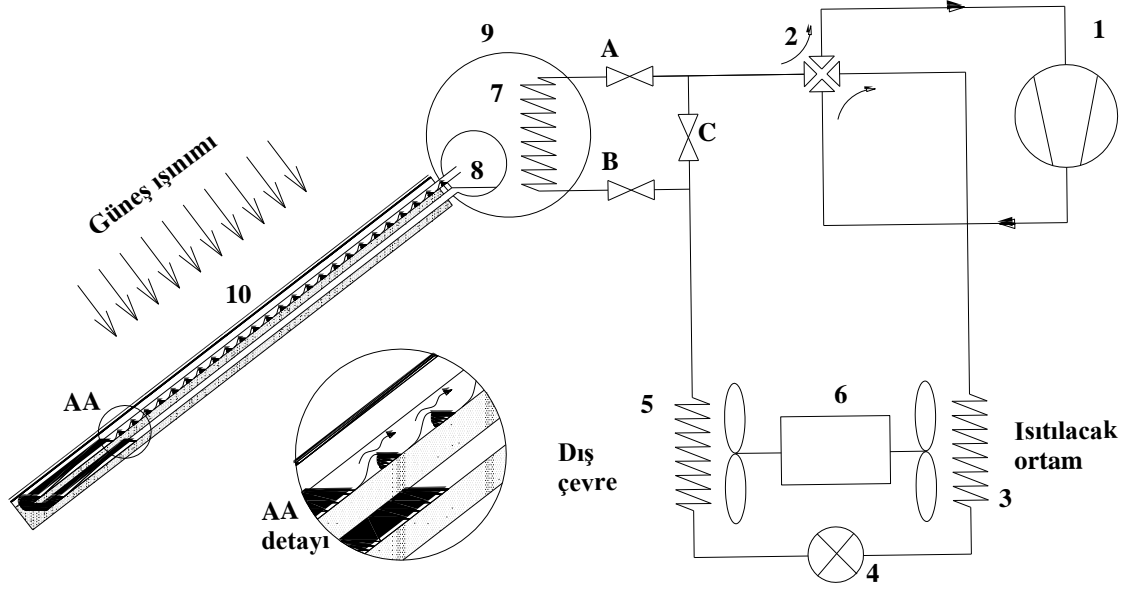
ifadeleri yazılabilir. Burada  $S$ , kompresörün çalışma bölgesindeki sabit entropidir.

Yukarıda ifade edilen regresyon denklemlerini kullanarak ısı pompasının performans katsayısı kolayca hesaplanabilir. Böylece her bir alt sistemin dinamik simülasyon modelleri süperpoze edilerek çift fazlı güneş kollektör kaynaklı ısı pompası sisteminin dinamik simülasyon modeli oluşturulur.

### 3. Deneysel çalışma

Sistem esas olarak, bir çift fazlı güneş kollektörü, yalıtımlı sıcak su deposu ve ısı pompası için pencere tipi klima cihazından oluşturuldu. Deney tesisatının prensip şeması ve ana elemanları Şekil 1.a' da ve fotoğrafı Şekil 1.b' de gösterildi. Şekil 1.a'da görülen 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 no' lu elemanlar klima cihazının orijinal parçalarıdır. Ayrıca sistemde basınç ölçümleri için manometreler, sıcaklık ölçümleri için termoelemanlar (Fe-Constant) kullanıldı. Termokupllarda oluşan gerilim değerleri sayısal tarayıcıdan sıcaklık olarak okundu. Elektrik bağlantıları bir panoda toplandı ve kompresörün çektiği güç için panoya elektrik sayacı bağlandı (Şekil 1.b).

Özel olarak tasarlanan çift fazlı güneş kollektörü sisteminde, akışkan olarak Freon-11 kullanıldı. Kollektör boyutları 84x150 cm olmak üzere 40mm çapında toplam 10 adet bakır boru ve absorber levha olarak da yine bakır levha kullanıldı. Boruların içinde buharlaşmayı hızlandırmak için özel olarak imal edilen ve Şekil 1'de ayrıntısı gösterilen formda yapılan profiller yerleştirildi.



Şekil 1.a. Çift fazlı güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası sisteminin prensip şeması

- |                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 1. Kompresör      | 6. Fan motoru                  |
| 2. 4 yollu vana   | 7. Evaporatör                  |
| 3. Kondenser      | 8. Kondenser (kollektörün)     |
| 4. Genleşme valfi | 9. Su deposu (ısı akümülatörü) |
| 5. Evaporatör     | 10. Çift fazlı güneş kolektörü |



Şekil 1.b. Çift fazlı güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası sistemi deney tesisatının fotoğrafı (kollektör eğim açısı 45°)

#### 4. Deney sonuçları ve tartışma

Deneysel çalışma kış şartlarında Aralık Ocak ve Şubat aylarında yapıldı. Deneysel çalışmada kullanılan ısı pompası, Şekil 1.a' da görüldüğü gibi A ve B valfleri kapalı, C valfi ise açık olarak, sistem hava-hava olarak çalıştırıldı. Bu durumda ITK değeri belirlendi. İkinci durumda evaporatör için kaynak güneş enerjisinden sağlandı. Bu durumda, sistem hava+su-hava olarak çalıştırılarak, ITK değerleri yeniden hesap edildi. Güneş enerjisi kaynaklı çalışma modunda, A ve B valfleri açık, C valfi ise kapalı konumdadır.

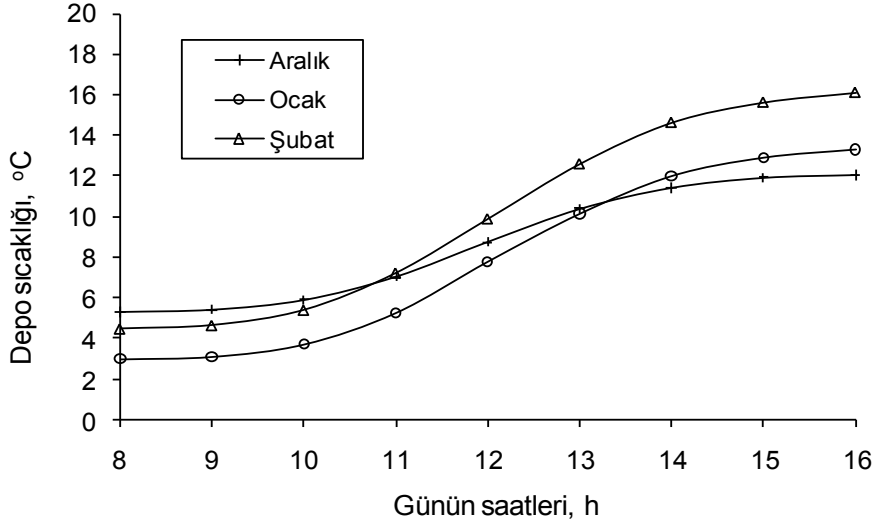
Su+havadan-havaya çalışan güneş destekli ısı pompası sisteminin ITK değeri, havadan-havaya çalışan sistemin ITK değerine göre yaklaşık %24 daha yüksek olduğu belirlendi. Deneylerin yapıldığı aylarda elde edilen veriler ile teorik sonuçlar karşılaştırıldı. Yapılan deneysel çalışma ile teorik sonuçlardan elde edilen değerlerin örtüştüğü gözlemlendi.

Örnek bir hesap için; Konya' da soğuk kış şartlarında ortalama  $100 \text{ m}^2$  lik bir konut için, ısı kaybı yaklaşık  $120.000 \text{ kcal/gün}$  kabul edildi. Söz konusu konutun çift fazlı güneş kolektörü kaynaklı ısı pompası sistemi ile ısıtılması durumu ele alındı. Yapılan örnek hesapta konutun gerekli ısı ihtiyacının yarısının ek ısı kaynağından, diğer yarısının da güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasından temin edildiği varsayıldı. Bu durumda yaklaşık olarak gerekli kolektör alanı;  $A=30 \text{ m}^2$ , güneş enerjisi su deposu hacmi;  $V=1000 \text{ lt}$  ve evaporatörden çekilen ısı  $Q_{evap}=2000 \text{ kcal/h}$  olarak seçildi.

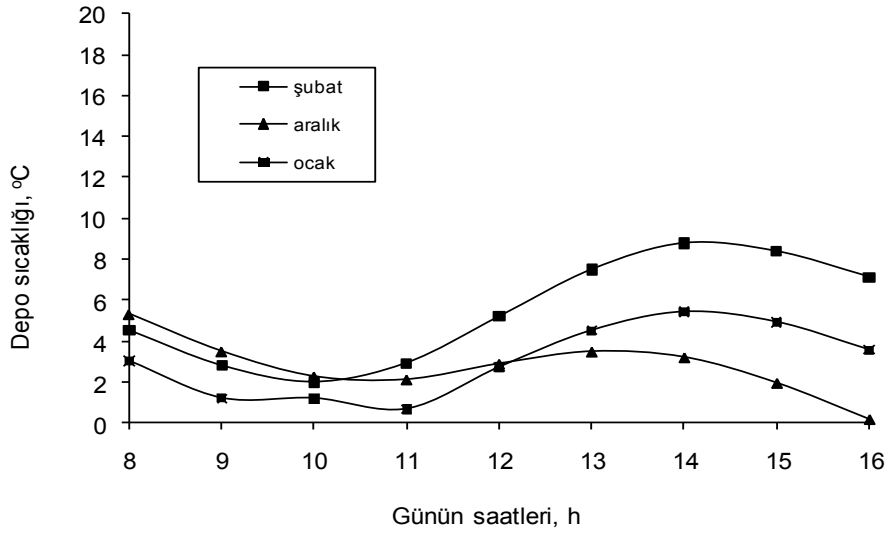
Depodan su ya da ısı pompası tarafından enerji çekilmediği durumda, depo suyu sıcaklığının aylara ve günün saatlerine göre değişimi Şekil 2' de verildi. Depo suyu başlangıç sıcaklığı, Meteoroloji Bölge Müdürlüğü' nden alınan toprak (1m derinlik) sıcaklığı olarak alındı ve her sabah saat 8' de depo, şebeke suyu ile yeniden dolduruldu. Aynı sistemde ısı pompası tarafından  $Q_{evap}=2000 \text{ kcal/h}$  ısı çekildiği durumda depo suyu sıcaklığının aylara ve günün saatlerine göre değişimi Şekil 3' de gösterildi.

Şekil 4' te ise evaporatör sıcaklık ve basıncının, depo suyu sıcaklığına bağlı değiştiği dikkate alınarak (ısı transferi için depo ile evaporatör sıcaklık farkı  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  alınmıştır) yapılan dinamik simülasyon neticesinde ısı pompasının aylara ve günün saatlerine göre performans katsayısının değişimi verildi.



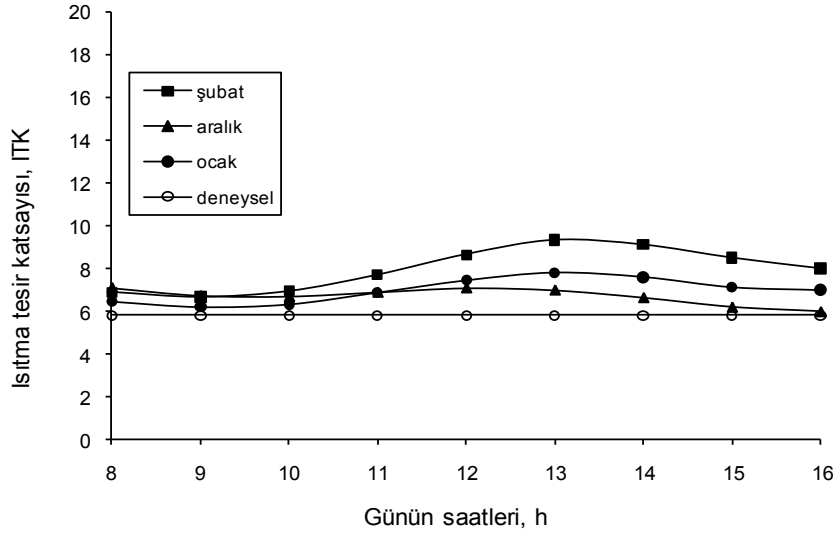


Şekil 2. Depodan ısı çekilmeksizin depo sıcaklığının günlük değişimi



Şekil 3. Isı pompası tarafından ısı çekilmesi durumunda depo sıcaklığının günlük değişimi

Depo suyu sıcaklığı arttıkça, kompresör girişindeki gaz sıcaklığı artmaktadır. Kompresör giriş sıcaklığının artması, kompresör girişindeki gazın entalpisini artırmakta ve bu durumda kompresör çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Sonuç olarak, ısı pompası evaporatörüne kaynak olarak kullanılan çift fazlı güneş enerjisi desteği, sistemin ITK değerinde bir artış sağlamaktadır.



Şekil 4. Çift fazlı güneş kollektör kaynaklı ısı pompasının ITK değerinin günlük değişimi

## 5. Sonuçlar

Isı pompasının ITK değeri, doğrudan evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının bir fonksiyonudur. Sistemde enerji deposunun sıcaklığı, aylara ve günün saatlerine bağlı olarak değişir. Sistemden maksimum ITK değeri elde etmek için, evaporatör sıcaklığının ve basıncının, depo sıcaklığına bağlı olarak artırılması gerekmektedir.

Isı pompası evaporatörüne kaynak olarak kullanılan çift fazlı güneş enerjisi desteği, sistemin ITK değerinde yaklaşık % 24 lük bir artış sağlar. Deneysel olarak elde edilen ITK değeri, ölçüm hataları nedeniyle teorik sonuçlara göre % 6 daha düşüktür.

Güneş ışınımının mevsimlere, aylara ve hatta günlere göre değişiklik göstermesi, kışın bu değerlerin çok düşük olması, buna karşılık konutların ısı ihtiyacının bu aylar da maksimum değerde olması, güneş enerjisinin konutların ısıtılmasında, direkt veya ısı pompası ile birlikte kullanımını zorlaştırmaktadır. Ancak ısı pompası evaporatörüne güneş veya benzeri bir kaynak bulunabilirse, kış şartlarında belli oranda binanın ısı ihtiyacı karşılanabilir. Buna rağmen ek enerjiye her zaman ihtiyaç duyulur.

**Not:** Bu bildirinin ön çalışması, 30 Mayıs-2 Haziran 2007 tarihinde 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi' nde Poster Bildiri olarak sunulmuştur

### **Kaynaklar**

- [1] Sullivan, H.F, Principles of vapor compression heat pumps, Heat Pump Fundamentals, Espinho Portugal, 1980.
- [2] Trask, A, Design principles for air to air heat pumps, ASHRAE journal 1977; 5:30-33.
- [3] Paikart, P, Calculation and optimization of condensers and evaporators for heat pump, ASI Heat Pumps Fundamental. Espinho, Portugal 1980.
- [4] Kaygusuz K, Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump, Renewable Energy, 2000;21:79-102.
- [5] Kuang Y.H, Wang R.Z, Yu L.Q, Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply, Energy Conversion and Management, 2003;44:1089–1098.
- [6] Cervantes J.G, Torres E, Experiments on a solar-assisted heat pump and an exergy analysis of the system, Applied Thermal Engineering, 2002;22:1289–1297.
- [7] Huangb J, Chyng J.P, Integral-type solar-assisted heat pump water heater, Renewable Energy, 1999;16:731-734.
- [8] Viorel B, Model of a solar-assisted heat-pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit, Energy and Buildings, 2002;34:15–726.
- [9] Viorel B, Model of a thermal energy storage device integrated into a solar assisted heat pump system for space heating, Energy Conversion and Management, 2003;44: 1589–1604.
- [10] Chyng J.P, Lee C.P, Huang B.J, Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater, Solar Energy, 2003;74:33–44.
- [11] Hawlader M.N.A, Chou S.K, Solar-assisted heat-pump dryer and water heater, Applied Energy, 2003;74:185–193.
- [12] Abou-Ziyan H. Z. Ahmed M, Solar-assisted R22 and R134a heat pump systems for low-temperature applications, Applied Thermal Engineering, 1997;17:455-469.
- [13] Yamankaradeniz R. Horuz I, The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days, Int. Comm. Heat Mass Transfer, 1998;25(6):885-898.

- [14] Chaturvedi S.K, Chiang Y. F, Analysis of two-phase flow solar collectors with application to heat pumps, *J Sol Energy Eng Trans Asme*, 1982;104:358-365.
- [15] Aziz W, Chaturvedi S.K, Kheireddine A, Thermodynamic analysis of two-component, two-phase flow in solar collectors with application to a direct-expansion solar-assisted heat pump, *Energy*, 1996;24:247-259.
- [16] Altınışık, K, İki fazlı düzlemsel güneş kollektörü kaynaklı sudan havaya çalışan ısı pompası, IV. Türk-Alman Güneş Enerjisi Sempozyumu, 2-4 Mayıs, Güneş Enerjisi Dergisi, 1991;1:309-316.