



## ROLLBOND BUHARLAŞTIRICILI DOĞRUDAN GENLEŞMELİ BİR ISI POMPASI SU ISITICISININ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Emine MUTLU CERİT ve L.Berrin ERBAY\*

\*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 26480 Batı Meşelik, Eskişehir, Türkiye, lberbay@ogu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 15. 12. 2010, Kabul Tarihi: 25. 11. 2011)

**Özet:** Bu çalışmada, rollbond buharlaştırıcı doğrudan genleşmeli güneş destekli ısı pompası (DG-GDIP) su ısıtıcısının performansı Bilecik ilinde 2010 yılı Kasım ayı şartlarında, deneysel olarak araştırılmıştır. Soğutucu akışkan olarak R134a gazı kullanılmaktadır. Deneylemlerden elde edilen verilere göre, en yüksek COP değeri 18°C hava sıcaklığı ve 448 W/m<sup>2</sup> ışınım şiddeti değeri için 3.69 olarak belirlenmiştir. Rollbond buharlaştırıcı DG-GDIP su ısıtıcısı performansının yıllık performansının tahmin edilmesi için bir temel sağlaması amacıyla, COP değerinin hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti ile değişimini veren ampirik bir bağıntı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rollbond, Buharlaştırıcı, Isı pompası, Güneş enerjisi.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF A DIRECT EXPANSION SOLAR ASSISTED HEAT PUMP WATER HEATER WITH ROLLBOND EVAPORATOR

**Abstract:** In this study, performance of a direct expansion solar assisted heat pump (DX-SAHP) water heater with rollbond evaporator is investigated experimentally under the conditions in November of 2010 in the province of Bilecik. According to the experimental results, maximum COP value has obtained for the outdoor temperature of 18°C and solar radiation of 448 W/m<sup>2</sup> as 3.69. An empirical correlation has been derived, which gives the COP value of the system with respect to the solar radiation and outdoor temperature, to estimate the DX-SAHP's all year around performance.

**Keywords:** Rollbond, Evaporator, Heat pump, Solar energy.

#### SEMBOLLER

C	Özgül ısı [J/kgK]
COP	Performans katsayısı
I	Işınım şiddeti [W/m <sup>2</sup> ]
T	Sıcaklık [°C]
P	Basınç [bar]
$\dot{Q}_{yog}$	Isı akısı [W]
$\dot{W}_{komp}$	Kompresör işi [W]
$\dot{m}$	Kütleli debi [kg/m <sup>3</sup> ]
buh	buharlaştırıcı

#### GİRİŞ

Sıcak su ihtiyacı günümüz modern yaşamında önemli bir yer tutmaktadır. Su ısıtmak için kullanılan enerji, evsel enerji tüketiminin %12'sini ticari enerji tüketiminin %7'sini oluşturmaktadır (www.aceee.org/topics/water-heating). Bu nedenle verimliliği yüksek su ısıtma sistemleri üzerine çalışmalar artmıştır. Su ısıtma sistemleri; depolu su ısıtıcılar, ani su ısıtıcıları, ısı pompası su ısıtıcıları ve güneş enerjisi destekli su ısıtıcılar olmak üzere dört temel grupta sınıflandırılabilir.

Güneş enerjisi destekli ısı pompaları, ısı pompaları ve geleneksel güneş enerjisi destekli su ısıtıcılarının sahip olduğu avantajları tek bir ünite de toplamaktadır. Güneş enerjisi destekli ısı pompaları iki ayrı sınıfta incelenebilir.

Bunlardan biri, geleneksel güneş enerjisi sistemleri ile hava kaynaklı ısı pompasının entegre edildiği uygulamalardır. Bu uygulamalarda hava kaynaklı ısı pompası aracılığı ile ortamdan çekilen ısı enerjisi depodaki suya aktarılırken; su deposuna yerleştirilmiş ayrı bir serpantin, kolektörde ısınan aracı akışkanın ısısının depodaki suya aktarılmasını sağlamaktadır.

Diğeri ise, buharlaştırıcının kolektör ile birleştirildiği doğrudan genleşmeli güneş destekli ısı pompalarıdır (DG-GDIP). Bu ısı pompalarında buharlaştırıcı-kolektör ile ortam havası ve güneş ışınımı aracılığıyla çekilen ısı suya aktarılmaktadır.

Literatürde daha ziyade geleneksel güneş enerjisi destekli ısı pompaları üzerine yapılmış yayımlar bulunmaktadır (Özgener ve Hepbaşı, 2007; Bakirci ve Yüksel, 2011; Kaygusuz, 2000; Esen, 2000; Yumrutaş ve Ünsal, 2000).

DG-GDIP, geleneksel güneş destekli ısı pompalarına göre bazı avantajlara sahiptir. Isı pompası bakımından, güneş enerjisi nedeniyle kolektör-buharlaştırıcı ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmekte, bu ise COP değerini artırmaktadır. Güneş enerjisi bakımından ise kolektörde çalışan akışkanın bir soğutkan olması nedeniyle daha düşük sıcaklıklarda faz değişimi gerçekleşir. Bu ise, ortam ile kolektör arasındaki sıcaklık farkını azaltarak kolektörden ortama olan kayıpları azalttığından, sıradan bir güneş enerjisi sistemine göre daha yüksek kolektör verimi sağlanmaktadır. Ayrıca, soğutkan kullanımı korozyon problemini ortadan kaldırarak, akışkan olarak su kullanımı ve korozyon nedeniyle ömrü 10 yıl olan kolektörlere kıyasla kolektör ömrünü uzatmaktadır. Diğer bir avantajı ise, soğutkanların çok düşük donma sıcaklıkları nedeniyle donma probleminin ortadan kalkmasıdır. Su ile çalışan kolektörlerde ilave olarak etilen glikol-su karışımı gibi bir kolektör sıvısı kullanılmadığı durumda sistemde donma problemi gerçekleşebilmektedir. Geleneksel güneş destekli ısı pompalarında ihtiyaç duyulan ara ısı değiştiricinin kaldırılmış olması DG-GDIP verimini artırmaktadır (Kuang ve Wang, 2006; Chata vd., 2005).

Huang ve Chyng (1999), çalışmalarında R134a soğutkanı ile çalışan, entegre tip bir ısı pompası su ısıtıcı geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, en yüksek COP değerini, güneş ışınımının  $1282 \text{ kJ/m}^2$  ve yoğunlaşma sıcaklığının  $45.6 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu durumda 3.83 olarak elde etmişlerdir.

Huang ve Chyng (2001), çalışmalarında R134a soğutkanı ile çalışan, entegre tip bir ısı pompası su ısıtıcısının karakteristiklerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülen bir performans modeli geliştirilmiştir. Su sıcaklığının  $61^\circ\text{C}$ , ortam sıcaklığının  $36 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu durumda COP değerini 2.52; su sıcaklığının  $25^\circ\text{C}$ , ortam sıcaklığının  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu durumda COP değerini 3.71 olarak belirtmişlerdir.

Huang ve Lee (2003), R134a soğutkanı ile çalışan entegre tip güneş-destekli bir ısı pompası su ısıtıcısı için uzun-dönem güvenilirlik testleri gerçekleştirmişlerdir. Prototip, 5 yıl süresince 13 000 saatten fazlası aralıksız olarak 20 000 saatten fazla süre çalıştırılmıştır. Ölçülen enerji tüketimi değerinin, geleneksel güneş destekli su ısıtıcıların elektrik enerjisi tüketiminden daha düşük olduğunu ve hiçbir mekanik arıza oluşmadığını belirtmişlerdir.

Kuang ve Wang [2006], kış aylarında ortam ısıtması, yaz aylarında iklimlendirme ve tüm yıl boyunca da sıcak su sağlanması gibi evsel kullanımlar için kullanılabilecek, R22 gazı kullanılan doğrudan genleşmeli güneş destekli bir ısı pompası sisteminin uzun-dönem performansının araştırılması üzerinde çalışmışlardır. Çok fonksiyonlu DG-GDIP sisteminin çeşitli hava şartları altında, tüm yıl boyunca oldukça düşük çalışma maliyeti ile uzun-dönem çalışabileceğini belirtmişlerdir.

Chata vd. [2005] çalışmalarında, çıplak ve kapaklı olmak üzere iki tip kolektör ile farklı soğutkanlar için doğrudan genleşmeli güneş destekli bir ısı pompasının ısı performansının analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; en yüksek performansın sırasıyla R12, R22 ve R134a gazlarına ait olduğu, karışım gazları arasında ise R410a'nın R407c ve R404a'ya göre daha etkin olduğunu ifade etmişlerdir.

Enaburekhan ve Yakasai (2009), çalışmalarında, Nijerya'da uygulanabilirliğini göstermek için soğutkanlı entegre tip bir güneş destekli su ısıtıcının ısı performansını analiz etmişlerdir. Çalışmada, R134a, R12 ve etanol kullanılan üç özdeş su ısıtıcı çeşitli çevresel şartlar altında test edilmiştir. Sonuç olarak; R12, R134a ve etanol için sırasıyla maksimum su sıcaklığını  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  ve maksimum toplama verimlerini %40.63, %56.59, %50.78 olarak belirlemişlerdir.

Hawlader vd. (2001) çalışmalarında, düz camlı, düzlem kolektörlerin R134a soğutkanı için buharlaştırıcı olarak görev yaptığı güneş destekli ısı pompası su ısıtıcının performansını analitik ve deneysel olarak çalışmışlardır. Sonuç olarak, yoğunlaştırıcı tankındaki su sıcaklığının, aynı zamanda yoğunlaşma sıcaklığının, zamanla artması ile karşı gelen COP ve kolektör verimlerinin düştüğünü, yoğunlaştırıcı tankındaki su sıcaklığının  $30\text{-}50 \text{ }^\circ\text{C}$  aralığında değiştiği durumda COP değerinin 4-9 aralığında, kolektör veriminin ise %40-75 aralığında değiştiğini belirtmişlerdir.

Ataer vd.(2001) çalışmalarında, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde kullanılabilecek ozon tabakasını etkilemeyen soğutucu akışkanları karşılaştırmışlardır. Analiz sonucunda, aynı şartlar altında çalışan farklı soğutkanlar için en yüksek performansın R12'den sonra sırasıyla R290, R134a, R407c, R410a, R507 ve R404 ile elde edildiğini göstermişlerdir.

Kara vd. (2008) çalışmalarında, DG-GDIP sistemleri ile ilgili bir tarama çalışması ile birlikte yerden ısıtma sistemi ile birlikte kullanılan bir örnek bir sistemin matematik modelini sunmuşlardır.

Bu çalışmada, rollbond buharlaştırıcılı DG-GDIP bir su ısıtıcısının performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Soğutucu akışkan olarak R134a gazı kullanılmıştır. Kasım ayı şartlarında Bilecik ilinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında elde edilen veriler kullanılarak ele alınan sistem için COP değerinin hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti ile değişimini veren ampirik bir bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntının, rollbond buharlaştırıcılı DG-GDIP su ısıtıcısı performansının yıllık performansının tahmin edilmesi için bir temel sağlaması amaçlanmaktadır.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kullanılan DG-GDIP su ısıtıcısına ait deney düzeneğinin temel bileşenleri; kompresör, plakalı yoğunlaştırıcı, termostatik genleşme valfi ve rollbond buharlaştırıcıdan oluşmaktadır, bileşenlerle ilgili

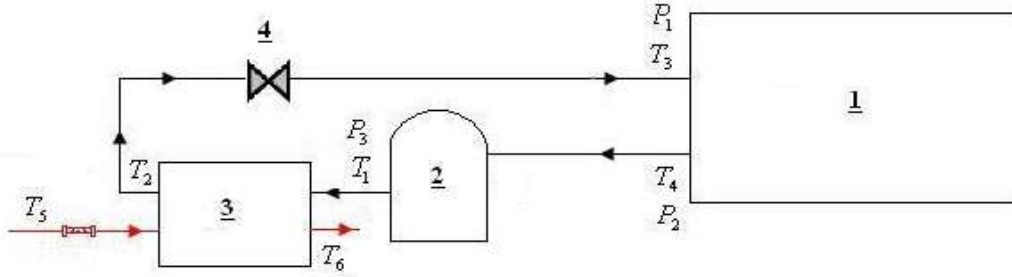
detaylar Tablo 1’de verilmiştir. Soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır.

Deney düzeneği üzerinde; buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki basınçlar Siemens QBE2001-P25U basınç sensörü ile, kompresör çıkış basıncı IFM PI2692 basınç sensörü ile, su ve R134a için sıcaklıklar NiCr-Ni ısı çiftleri ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Ayrıca, su debisi, hava sıcaklığı ve güneş ışınımı şiddeti değerleri ölçülmüştür. Güneş ışınımı ölçümü pyranometre ile gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler, bir veri toplama sistemi (GRANT SQ 2020) aracılığıyla yapılmakta ve zamana bağlı elde edilen sonuçlar kaydedilmektedir.

**Tablo 1.** Temel bileşenlere ait özellikler

Bileşen	Özellik
Kompresör	Danfoss SC15GHH, Pistonlu
Kondenser	Alfa Laval CBH-30, Plakalı tip
Buharlaştırıcı	Alüminyum, 1 m <sup>2</sup>
Termostatik genişleme valfi	Danfoss, TEN 2 tip

Kullanılan buharlaştırıcı numunesi Şekil 2’de yer almaktadır. Numunenin giriş, çıkış manifoldlarının detaylı görünümü ise Şekil 3’de gösterilmiştir. Buharlaştırıcı tasarımı; şaşırtmalı giriş manifoldlu, dört gövde geçişli, üç karışım bölgesi, simetrik buharlaştırıcı olarak tanımlanmaktadır. Deney sistemi ve ölçüm aygıtları Mutlu (2010) tarafından ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



1	Rollbond buharlaştırıcı
2	Kompresör
3	Plakalı yoğuşturucu
4	Termostatik genişleme valfi

**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik görünümü.



**Şekil 2.** Sistemde kullanılan buharlaştırıcı numunesi.



**Şekil 3.** Sistemde kullanılan buharlaştırıcı numunesi için giriş ve çıkış manifoldları.



Şekil 4. Deney düzeneğinin görünümü.

Deneysel çalışmanın doğruluğunu, kişiye bağlı hatalar, sistematik hatalar ve rastgele hatalar etkileyebilmektedir. Hata oranlarının tespitinde, belirsizlik analizi yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda sistem COP değerinin hesaplamasındaki belirsizlik oranı % 1.026 olarak belirlenmiştir. Hata analizi ile ilgili yapılan hesaplamalar Mutlu (2010) tarafından ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

#### DENEY SONUÇLARI

2010 yılı Kasım ayı şartlarında Bilecik ilinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Deneyler sırasında yapılan ölçümlerden faydalanılarak, ısı pompası için COP değeri aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

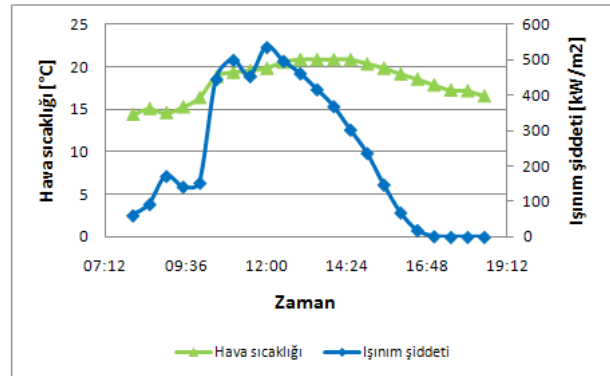
$$COP = \frac{\dot{Q}_{yog}}{\dot{W}_{komp}} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{m}_{su} c \Delta T \quad (2)$$

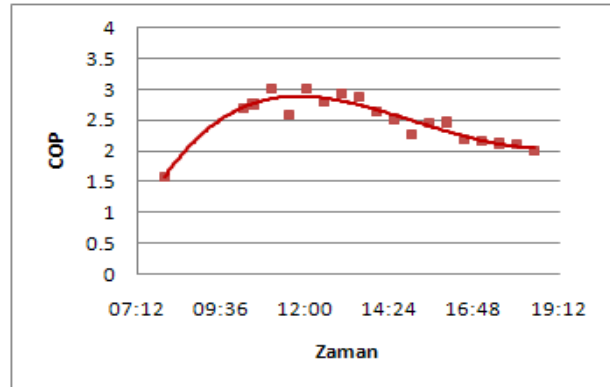
$$\dot{W}_{komp} = -0.005T_{buh}^3 - 0.009T_{buh}^2 + 8.896T_{buh} + 461.1 \quad (3)$$

1 numaralı deneyde, 24 saat boyunca elde edilen, sıcaklık, ışıma ve COP değerleri Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur. Ölçümler sırasında en yüksek COP değeri 12:00'de 3.01 olarak belirlenmiştir. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 18.9 °C iken, ışıma şiddeti 446 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Deney süresince, saat 00:00 – 07:00 ve 19:00-00:00 saatleri arasında ışıma değerlerinin sıfır olarak ölçüldüğü görülmektedir.



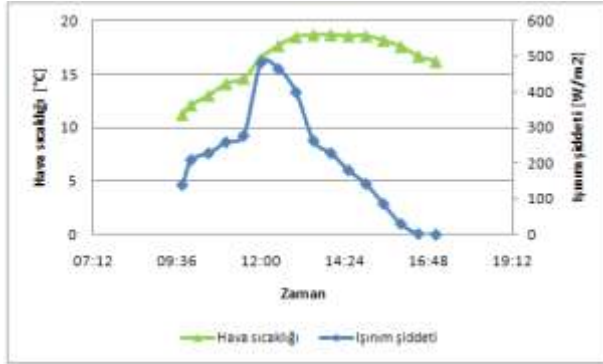
Şekil 5. 1 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışıma şiddeti değerinin zamana göre değişimi.



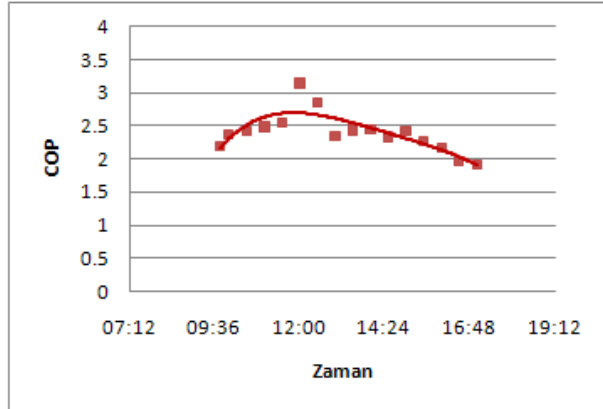
Şekil 6. 1 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.

2 numaralı deneyde, 09:45-17:00 saatleri arasında elde edilen sıcaklık, ışınım ve COP değerleri Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Ölçümler sırasında en yüksek COP değeri, 12:00'de 3.14 olarak ölçülmüştür. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 16.5 °C iken, ışınım şiddeti 482 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

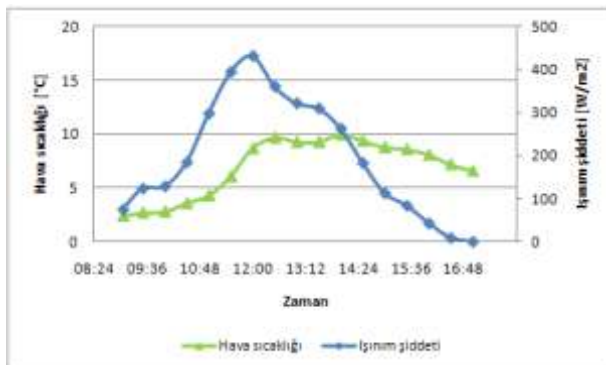
3 numaralı deneyde, 09:03-17:00 saatleri arasında elde edilen sıcaklık, ışınım ve COP değerleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Ölçümler sırasında en yüksek COP değeri saat 12.00'de 2.71 olarak ölçülmüştür. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 6.1 °C iken, ışınım şiddeti 395 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.



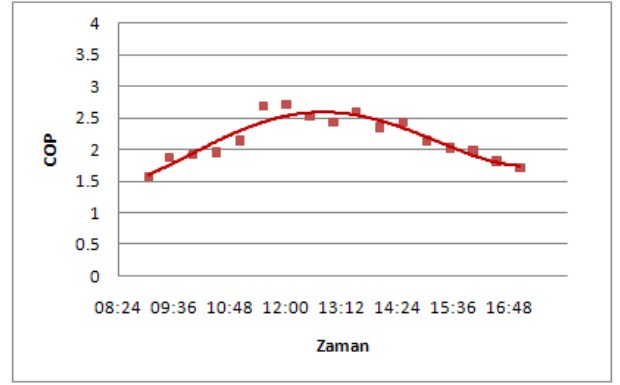
Şekil 7. 2 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti değerinin zamana göre değişimi



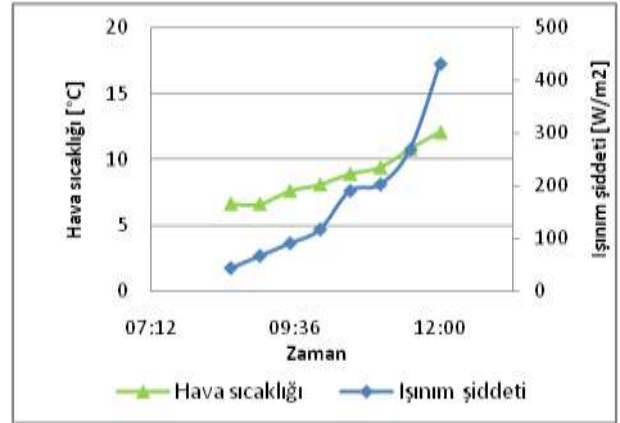
Şekil 8. 2 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.



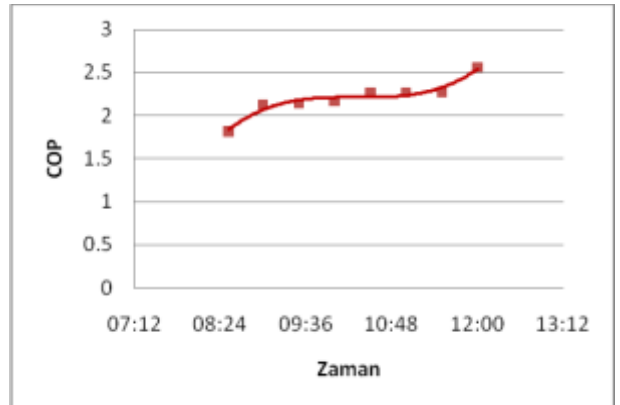
Şekil 9. 3 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti değerinin zamana göre değişimi.



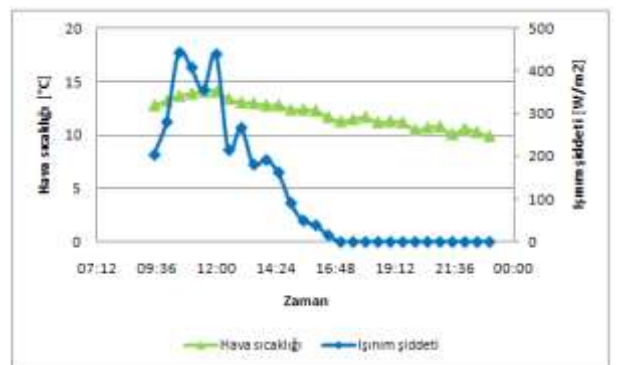
Şekil 10. 3 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.



Şekil 11. 4 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti değerinin zamana göre değişimi.



Şekil 12. 4 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.



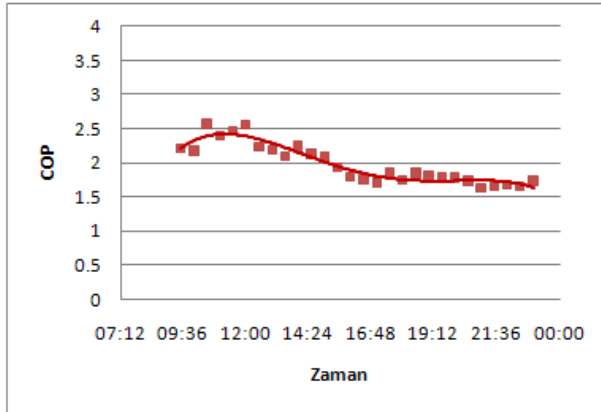
Şekil 13. 5 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti değerinin zamana göre değişimi.



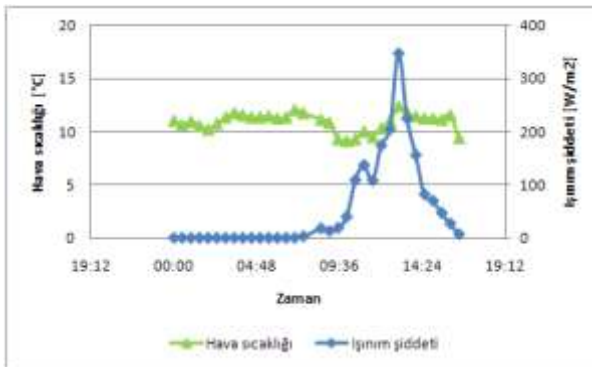
4 numaralı deneyde, 08:30-12:54 saatleri arasında elde edilen sıcaklık, ışınlım ve COP değerleri Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir. Ölçümler sırasında en yüksek COP değerinin, saat 12:00’de 2.55 olarak belirlenmiştir. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 12.1 °C iken, ışınlım şiddeti 431 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

5 numaralı deneyde, 09:30 – 23:00 saatleri arasında elde edilen sıcaklık, ışınlım ve COP değerleri Şekil 13 ve Şekil 14’de verilmiştir. Saat 17:00 – 23:00 saatleri arasında ışınlım değerlerinin sıfır olarak ölçüldüğü görülmektedir. Ölçümler sırasında en yüksek COP değeri, saat 10:30’da 2.56 olarak ölçülmüştür. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 13.7 °C iken, ışınlım şiddeti 443 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

6 numaralı deneyde, 00:00-16:30 saatleri arasında elde edilen sıcaklık, ışınlım ve COP değerleri Şekil 15 ve Şekil 16’de verilmiştir. Saat 00:00 – 07:00 saatleri arasında ışınlım değerlerinin sıfır olarak ölçüldüğü görülmektedir. Ölçümler sırasında en yüksek COP değeri, 12:30’da 2.25 olarak belirlenmiştir. Aynı saat diliminde karşılık gelen hava sıcaklığı 11.1 °C iken, ışınlım şiddeti 204 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

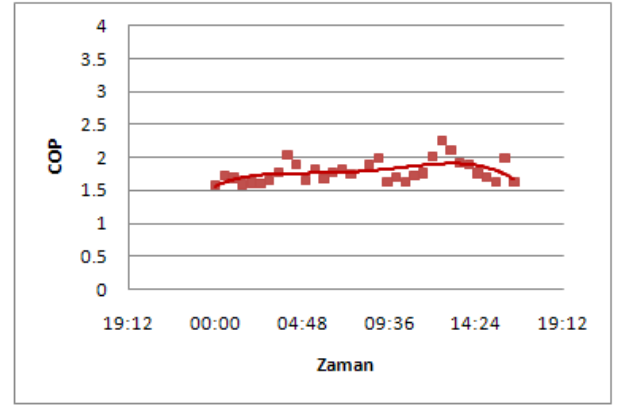


Şekil 14. 5 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.

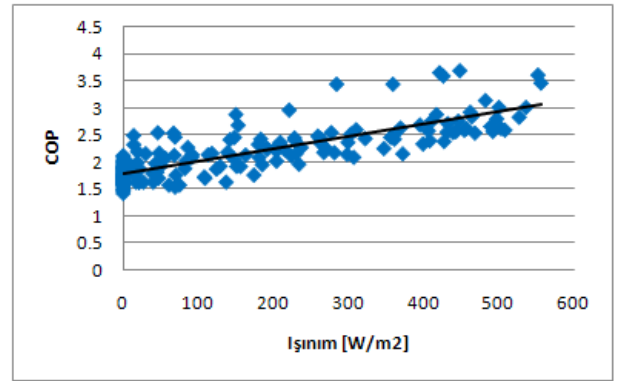


Şekil 15. 6 numaralı deney süresince hava sıcaklığı ve ışınlım şiddetinin zamana göre değişimi.

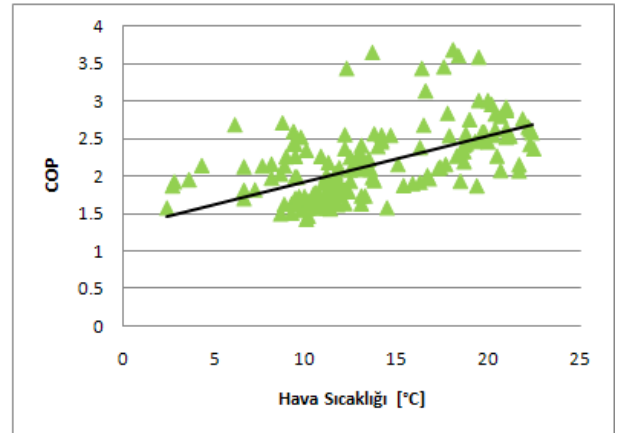
Genel olarak elde edilen COP değerlerinin ışınlım şiddeti ve hava sıcaklığı ile değişimi Şekil 17 ve Şekil 18’de yer almaktadır. Performansın ışınlım ve hava sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu bu grafiklerden açıkça görülmektedir.



Şekil 16. 6 numaralı deney süresince COP değerinin zamana göre değişimi.



Şekil 17. COP değerinin güneş ışınlımını ile değişimi.



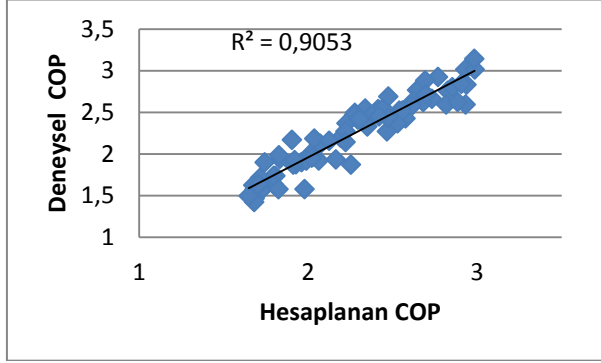
Şekil 18. COP değerinin hava sıcaklığı ile değişimi.

Deneylerden elde edilen veriler analiz edilerek, COP değerinin hava sıcaklığı ve güneş ışınlımına göre değişimini veren ampirik bir bağıntı elde edilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak elde edilen COP denklemi güneş ışınlım şiddeti ve hava sıcaklığına bağlı olarak,

$$\text{COP} = 1.990786 - 0.080468T - 0.001107I + 0.004926T^2 + 5.8391 \times 10^{-6} I^2 + 0.000657 TI - 3.06908 \times 10^{-5} T^2 I - 1.04455 \times 10^{-6} I^2 T + 4.33578 \times 10^{-8} I^2 T^2 \quad (4)$$

şeklinde bulunmuştur. Eşitlik (4)’de kullanılan parametrelerden I ve T sırasıyla, ışınlım şiddeti ve hava sıcaklığını temsil etmekte olup birimleri W/m<sup>2</sup> ve °C şeklindedir.

Elde edilen COP denklemine göre hava sıcaklığı ve güneş ışınımı şiddetinin COP üzerindeki etkisi istatistiksel olarak %92.54 seviyesindedir. Regresyon modeline göre hesaplanan COP verileri ile deneysel COP verilerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 19’da verilmiştir. Bu iki değerin ise %90.53 oranında uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 19. Deneysel ve hesaplanan COP değerlerinin karşılaştırılması.

## SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, Soğutucu akışkan olarak R134a gazı kullanılan, rollbond buharlaştırıcı DG-GDIP bir su ısıtıcısının performansı Bilecik ilinde Kasım ayı şartlarında, deneysel olarak araştırılmıştır. DG-GDIP, su ısıtmada verimliliği yüksek olan ısı pompaları ve geleneksel güneş enerjisi destekli su ısıtıcılarının sahip olduğu avantajları tek bir üniteye toplamaktadır. Deneylelerden elde edilen verilere göre, en yüksek COP değeri 18°C hava sıcaklığı ve 448 W/m<sup>2</sup> ışınım şiddeti değeri için 3.69 olarak belirlenmiştir. Rollbond buharlaştırıcı DG-GDIP su ısıtıcısı performansının yıllık performansının tahmin edilmesi için bir temel sağlaması amacıyla, COP değerinin hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti ile değişimini veren ampirik bir bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntının geçerliliği sürekli olarak izlenecek ve iyileştirmeler sürdürülecektir. Sistemin tüm yıl içindeki performansı ve bu çalışmada elde edilen denklem ile ifade edilip edilemeyeceği bir sonraki çalışmada yeniden ele alınacaktır. Bu çalışma temel olarak bir değerlendirme (benchmark) problemi olup, bu konu ile ilgili çalışma yapacak kişilere kaynak sağlanması, bu tür sistemlerin performansları hakkında fikir vermesi amaçlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türk Demirdöküm Fb. A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Ataer Ö.E., Özalp M. ve Bıyıkoğlu A., Buhar sıkıştırma soğutma sistemleri için soğutucu akışkan seçimi, *Teskon*, 2001.

Bakirci K., Yüksel B., Experimental thermal performance of a solar source heat-pump system for

residential heating in cold climate region, *Applied Thermal Engineering*, 31 1508-1518, 2011.

Mutlu, E., Rollbond Buharlaştırıcı Tasarımının Doğrudan Genleşmeli Isı Pompası Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, ESOGÜ, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2010.

Chata F.B.G., Chaturvedi S.K. and Almogbel A., Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerants, *Energy Conversion and Management*, 46 2614–2624, 2005

Enaburekhan J. and Yakasai U.T., Performance evaluation of a refrigerant-charged integrated solar water heater in northern Nigeria, *Desalination*, 243 208–217, 2009.

Esen M., Thermal performance of a solar-aided latent heat store used for space heating by heat pump, *Solar Energy*, 69 15-25, 2000.

Hawlder 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 1049-1065, 2001.

Huang B.J. and Chyng J.P., Integral-type solar-assisted heat pump water heater, *Renewable Energy*, 16 731-734, 1999.

Huang B.J. and Chyng J.P., Performance characteristics of integral type solar assisted heat pump, *Solar Energy*, 71 403–414, 2001.

Huang B.J. and Lee C.P., Long-term performance of solar-assisted heat pump water heater, *Renewable Energy*, 29 633–639, 2003.

Kara Ö., Ulgen K., Hepbaşlı A., Exergetic assessment of direct-expansion solar-assisted heat pump systems: Review and modeling, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 1383–1401, 2008.

Kaygusuz K., Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump, *Renewable Energy*, 21 79-102, 2000.

Kuang Y.H. and Wang R.Z., Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system, *Solar Energy*, 80 795-803, 2006.

Özgener, Hepbaşlı A., A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 482-496, 2007.

Yumrutaş R., Ünsal M., Analysis of solar aided heat pump systems with seasonal thermal energy storage in surface tanks, *Energy*, 25 1231-1243, 2000.

[www.aceee.org/topics/water-heating](http://www.aceee.org/topics/water-heating)



**Emine MUTLU CERİT**

Eskişehir, 1982 doğumludur. 2004 tarihinde Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji-Termodinamik Anabilim dalında yüksek lisansını 2006 yılında tamamladıktan sonra, aynı bölümde doktora eğitimine başlamış ve 2010 yılında doktora çalışmasını tamamlamıştır. Evli ve bir çocuk sahibidir.



**L. Berrin ERBAY**

Sivrihisar, Eskişehir 1957 doğumludur. Eskişehir DMMA Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra, Boğaziçi Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümünde Yüksek lisans ve İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsünde Doktora yapmıştır. Son dönem çalışmaları Duplex Stirling soğutma makinesi ve ısı pompaları, mikrokanallarda taşınım ve exergy yıkımının sayısal analizi, minikanalı ısı değiştiriciler, üzerinedir. Evli ve iki çocuğu vardır.