

Havalı Güneş Kolektörlü Bir Isıtma Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi

Aynur Uçar^{1*}, Abdurrahman Oral²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Bismil Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Türkiye

*aucar@firat.edu.tr , aoral@dicle.edu.tr 

Makale gönderme tarihi:04.07.2023, Makale kabul tarihi: 27.10.2023

Öz

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinde bulunan bir güvenlik kabininin güneş enerjisinden yararlanılarak ısıtılması amaçlanmıştır. Kabin içi sıcaklık, referans sıcaklığı olan 21°C'nin altına düştüğünde ısıtma işlemi yapılmıştır. İmal edilen güneş enerjisi depolamalı bir ısıtma sisteminde iki adet düzlemsel havalı güneş kolektörü, ısı deposu kullanılmıştır. Güneş enerjisi, içerisinde 260 adet 1.5 lt'lik su şişesi bulunan ahşap duvarlı ve polietilen köpüğüyle yalıtılmış bir ısı deposunda depolanmaktadır. Isıtma ihtiyacı olduğunda, ısı deposundan çekilerek kabinin ısıtılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bu sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isı deposunda depolanan günlük ortalama ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.15 kW ve 386 W elde edilmiştir. Ortalama günlük net enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %83 ve %55.3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, ısı deposundan geri kazanılan ortalama günlük ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.25 kW ve 725 W olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isı depolama, konut ısıtma, enerji analizi, ekserji analizi

Experimental Investigation of a Heating System with Air Solar Collector

Abstract

In this study, it is aimed to heat a security cabinet in Diyarbakır by using solar energy. Heating was performed when the cabin temperature fell below the reference temperature of 21°C. In a solar energy storage heating system, two flat plate solar collectors and a heat store were used. Solar energy is stored in a heat storage with wooden walls and insulated with polyethylene foam. 260 plastic water bottles, each 1.5 l were lined horizontally into the storage tank. When there is a need for heating, the cabin is heated by withdrawing heat from the heat storage. In this study, the energy and exergy analysis of this system was made. The average daily rate of the heat kept inside the heat store was 2.15 kW and thermal exergy rate was 386 W. The average mean energy efficiency and exergy efficiency were obtained as 83% and 55.3%, respectively. The average daily heat rescued from the heat store was defined as 2.25 kW and thermal exergy was 725 W.

Keywords: Heat storage, building heating, energy analyses, exergy analyses

GİRİŞ

Günümüzde, özellikle artan enerji talebinin büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bunun sonucu olarak, küresel ısınma ve çevre kirliliği sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları azaltmak ve fosil yakıtların gelecekte tükeneceği düşüncesi, yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesi çalışmalarının yaygınlaşmasına neden olmuştur.

Mevsimlik ısı depolamalı bir güneş enerjisi destekli ısı pompalı sistemler önceki çalışmalarda incelenmiştir (Pahud, 2000; Uçar ve İnalı, 2005;

Yumrutaş ve Ünsal, 2012; Zhang vd., 2007). Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin bazı avantajları daha önce belirtilmiş ve bu sistemler konut ısıtma ve soğutma için en temiz, enerji açısından en verimli ve uygun maliyetli sistemler olarak kabul edilmiştir (Wang ve Zhao, 2005). Öztürk (2005), 180 m² alanlı bir serada, faz değiştiren malzeme (FDM) olarak parafin mumu kullanarak, mevsimlik ısı depolamalı bu sistemin performansını araştırmıştır. Sistem verimliliğini değerlendirmek için enerji ve ekserji analizlerini uygulamıştır. Hazami ve ark.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1319242

(2009), yeni tasarlanmış bir ısı depolama sisteminin performansını araştırmışlardır. Sistemleri esas olarak, 5 m³ boyutunda bir tahta kasadan oluşan bir ısı depolama ünitesinden, güneş kolektörü ve açıklıklı bir polipropilen kapiler ısı eşanjörü ağından oluşur. Özgener ve Hepbaşlı (2005), 50 m dikey U-bükümlü bir ısı eşanjörüne sahip bir güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompalı sera sisteminin performans analizini incelemişlerdir. Badescu (2002), güneş enerjili destekli ısı pompalı bir ısıtma sisteminin termodinamiğın birinci ve ikinci yasa analizini inceledi. Çalışmasında, Fotovoltaik sistemin, ısı pompası kompresörünü çalıştırmak için gereken tüm enerjiyi sağladığını görmüştür. Dikici ve Akbulut (2008), düz plakalı güneş kolektörlü bir güneş enerjili destekli ısı pompalı bir ısıtma sisteminin performansını araştırdılar.

Isıl sistemler için Termodinamiğın ikinci yasası veya kullanılabilirlik analizi olarak da bilinen ekserji analizi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Ashouri ve arkadaşları, 2018; Gholami ve arkadaşları, 2018; Mirzaei ve arkadaşları 2018; Naseri ve arkadaşları 2017).

Bu çalışmada, Mart ve Nisan aylarında Diyarbakır ilinde bulunan bir güvenlikçi kabininin ısıtılması amacıyla imal edilen bir düz plakalı güneş kolektörlü ısı depolama sisteminin performansı incelenmiştir. Isıtma sisteminin verimliliğini değerlendirmek için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

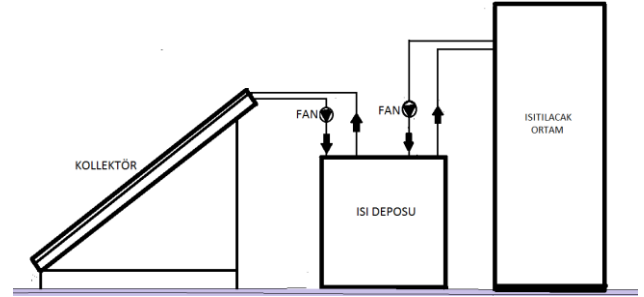
Deney Düzenegi

Bu çalışmada incelenen güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi, güneş kolektörü, ısı deposu ve ısıtılacak mahal olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Sistem, güneş kolektörü ile güneşten sağlanan ısı enerjisi ısı deposuna aktarılmaktadır. Isı deposu içerisinde bulunan şişeler içerisindeki 390 litre suya bu ısı depolanmaktadır. Daha sonra bu ısı enerjisi, ısıtma ihtiyacı olduğu saatlerde güvenlikçi kabininin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Şekil 1'de güneş enerjili bir ısıtma sisteminin prensip şeması verilmektedir.

Deney düzeneginde, güneş ışınımının toplanması için iki adet havalı düzlemsel güneş kolektörü kullanılmış olup, bu kolektörlerin yüzey

alanı 3.36 m² ve 0.89 mx1.89m boyutlarındadırlar. Kolektörlerin her biri 34.36°'lik optimum eğim açısıyla ve güneye bakacak şekilde kurulmuşlardır. Şekil 2'de düzlemsel güneş kolektörleri gösterilmektedir.

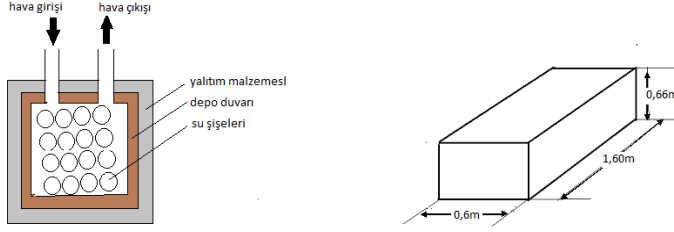
Isı deposu, 3.15 cm kalınlığında ahşap bir malzemeden yapılmıştır. Depo, 0.6336 m³ hacminde olup, 2.4 cm kalınlığında polietilen köpük ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Isı deposu içerisinde depolama materyali olarak 260 adet üst üste ve yatay bir şekilde dizilmiş 1.5 litrelik plastik su şişesi kullanılmıştır. Deponun ölçüleri ve görünümü Şekil 3' de verilmektedir.



Şekil 1. Güneş enerjili bir ısıtma sisteminin prensip şeması

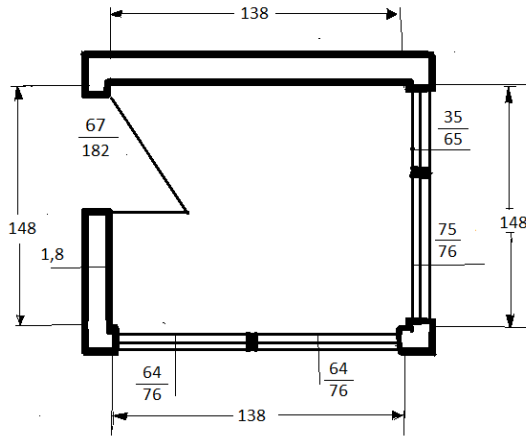


Şekil 2. Düzlemsel güneş kolektörleri



Şekil 3. Isı deposu detayları

Bu çalışmada, bir güvenlikçi kabini ısıtılmaktadır. Güvenlikçi kabinin taban ölçüleri 1.38mx1.48m olup, 2.36 m yüksekliğindedir. Kabinin tavanı ve duvarlarında 18 mm kalınlığında PVC lambri kullanılmıştır. Kabinin zeminde, 75 mm kalınlığında donatısız beton ve 8 mm kalınlığında polietilen köpük kullanılmıştır. Şekil 4’de güvenlikçi kabinin ayrıntılı ölçüleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Kabinin üst görünüşü

2014 yılının Mart ve Nisan aylarında deneyler yapılmıştır. Kolektörün giriş ve çıkışındaki hava sıcaklıkları, kolektör boyunca hava akışının hızı ve kolektör üzerindeki güneş ışınımı her deney sırasında ölçülmüştür. Kolektörün giriş ve çıkışındaki hava sıcaklıkları ile ısı deposu ve ortam sıcaklığı termometreler (-20, +120°C) kullanılarak ölçülmüştür. İki güneş kolektörü, 313 m³/s debisinde ve 120 W güce sahip radyal bir fan ile birleştirilmiştir.

HESAPLAMA YÖNTEMİ

Kabinin Isıl Kayıpları

Bir konutun ısı ihtiyacı, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardına göre, binanın duvar tipi, yalıtım durumu ve güneş ışınımı durumu gibi yapısal özellikleri ile iklim koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bir konuttan olan ısı kayıpları üç şekilde olmaktadır. İletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı:

$$Q_{i,t} = Z.A.U.(T_{iç} - T_{dış}) \quad (1)$$

hesaplanmaktadır. Burada U toplam ısı transfer katsayısıdır. Z değeri,

$$Z = 1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Z_D değeri %15, Z_W ve Z_H değerleri 0 olarak alınmıştır. Kapı ve pencerelerden sızıntı ile meydana gelen ısı kayıpları,

$$Q_{sız} = \frac{1}{3.6} [\sum(a.l)R.H.\Delta T.Z_e] \quad (3)$$

Burada; R oda durum katsayısı ve a sızdırganlık katsayısıdır. a değeri plastik tek camlı pencere için 2.0 m³/mh olarak, R değeri 0.9 olarak, H değeri 2.43 kJ/m²K olarak ve Z_e değeri ise her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2 olarak alınmıştır. Havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı;

$$Q_h = n.\rho.V.c_p.\Delta T \quad (4)$$

ile hesaplanır. Burada n değeri, hava değişim sayısıdır.

Enerji ve Ekserji analizi

Güneş kolektörün için faydalı ısı enerjisi miktarı Q_k ,

$$Q_k = \eta_k A_k I_e \quad (5)$$

veya

$$Q_k = m_h \cdot c_p \cdot (T_{kog} - T_{koç}) \quad (6)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Güneş kolektörleri için birinci yasa verimi, kolektörden sağlanan faydalı ısı miktarının güneş kolektör yüzeyine düşen toplam güneş ışınımına oranıyla bulunur:

$$\eta_k = \frac{m_h c_p (T_{kog} - T_{koç})}{A_k I_e} \quad (7)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ısı transfer miktarı (Ucar ve Oral, 2021),

$$\dot{Q}_t(t) = \dot{m}_1 \rho c_p [T_i(t) - T_o(t)] \quad (8)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ısı transfer miktarı ile ısı deposundan olan kayıp ısı transfer miktarı arasındaki fark, ısı deposunda depolanan ısı miktarını vermektedir (Öztürk and Başçetinçelik, 2003):

$$\dot{Q}_s(t) = \dot{Q}_t(t) - \dot{Q}_l(t) \quad (9)$$

Isı deposundan kayıp olan ısı transfer miktarı,

$$\dot{Q}_l(t) = UA_s [T_m(t) - T_s(t)] \quad (10)$$

Enerji verimi, ısı deposuna giren ısı transfer miktarının ısı deposundan kaybolan ısı miktarına oranıdır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır,

$$\eta_{c,total}(t) = \frac{\dot{Q}_s(t)}{\dot{Q}_t(t)} \quad (11)$$

Isı deposundan çekilen ısı miktarı,

$$\dot{Q}_d(t) = \dot{m}_2 \rho c_p [T_o(t) - T_i(t)] \quad (12)$$

Güneş kolektöründen ısı deposuna aktarılan ekserji miktarı (Dincer and Rosen, 2001),

$$\dot{E}x(t) = \dot{Q}_t(t) - T_{os} \dot{m}_1 \rho c_p \ln \frac{T_i(t)}{T_o(t)} \quad (13)$$

Isı deposuna aktarılan ekserji miktarı ile ısı deposundan kayıp olan ekserji miktarı arasındaki fark, ısı deposunda tutulan ekserji miktarını vermektedir ve

$$\dot{E}x_s(t) = \dot{E}x_t(t) - \dot{E}x_l(t) \quad (14)$$

hesaplanmaktadır. Sistemin ısı deposundan kaybolan ekserji miktarı,

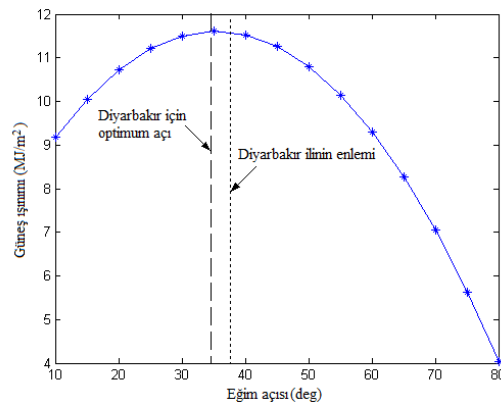
$$\dot{E}x_l(t) = \dot{Q}_l(t) \left[\frac{T_s(t)}{T_m(t)} \right] \quad (15)$$

bulunmaktadır. Ekserji verimi,

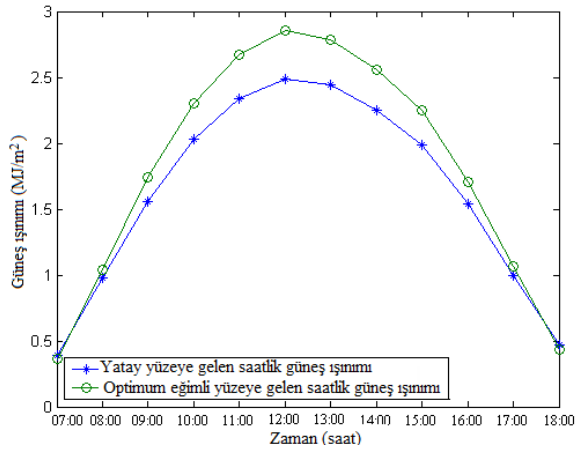
$$\eta_{exergy,net}(t) = \frac{\dot{E}x_s(t)}{\dot{E}x_t(t)} \quad (16)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

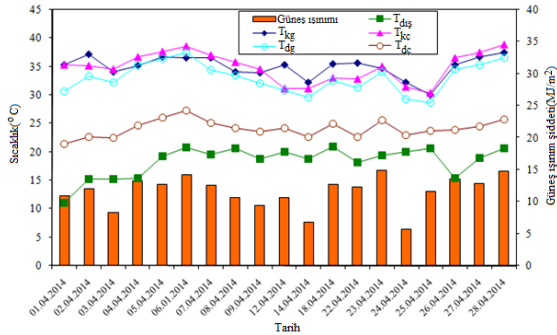
Önceki bölümlerde sunulan enerji ve ekserji analizi ile ilgili hesaplamalar MATLAB programı kullanılarak çözülmüştür. Şekil 5'de güneş kolektör yüzeyindeki güneş ışınımının Diyarbakır için eğim açısı ile aylık değişimi gösterilmektedir. Mart ve Nisan aylarına ait her bir gün için kolektörün optimum eğim açısı bulunmuştur ve 1 Mart ile 30 Nisan tarihleri arasında çalışan sistemimizde ortalama optimum eğim açısı 34.36° olarak belirlenmiştir. Kolektör tarafından alınan güneş ışınımı bu aylarda bu optimum eğim açısında maksimum değere ulaşmaktadır.



Şekil 5. Kolektör yüzeyindeki güneş ışınımının Diyarbakır için eğim açısı ile aylık değişimi



Şekil 6. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınımı değerlerinin değişimi

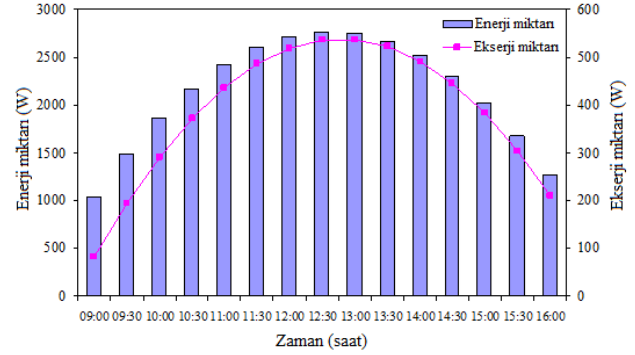


Şekil 7. Sıcaklık ve güneş ışınımı şiddetinin zamanla değişimi

Şekil 6'da yatay bir yüzeye ve optimum eğim açısında monte edilmiş bir yüzeye gelen güneş ışınımının saatlik değişimleri gösterilmektedir. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı miktarında yatay konuma göre yaklaşık %13 oranında bir artış olduğu görülmektedir. Şekil 7'de sıcaklık ve güneş ışınımı şiddetinin zamanla değişimleri gösterilmektedir. Güneş ışınımı şiddeti ve dış ortam sıcaklığının yüksek olduğunda güvenlik kabininin giriş ve çıkışında hava sıcaklıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

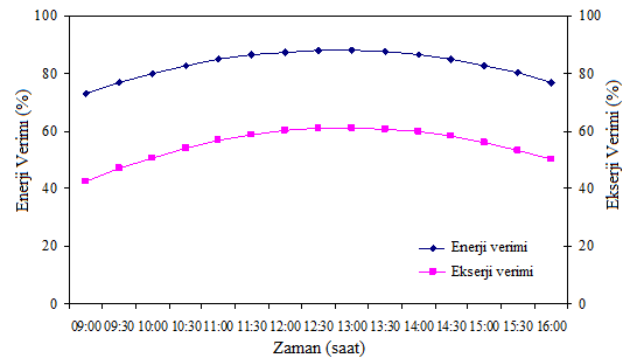
Şekil 8'de depolama süresince ısı deposunda depolanan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi gösterilmektedir. Isı deposunda depolanan ısı miktarı 1.03 ile 2.76 kW arasında değişirken, ısı depolama ünitesinde depolanan ekserji miktarı ise 80 W ile 535 W aralığında değişmektedir. Maksimum enerji ve ekserji değerleri saat 14:00'te elde edilmiştir. Ortalama saatlik enerji ve ekserji verimlerinin zamanla değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Saat 09:00 ve 17:00 arasında enerji verimliliğinin %73 ila 88

arasında değişirken, ekserji verimi ise %42 ile %61 arasında değişmektedir. Enerji ve ekserji verimleri maksimum değerlerine saat 13:00'de ulaşmaktadır. Ortalama günlük enerji ve ekserji verimliliklerinin sırasıyla %83 ve % 55.3 olarak hesaplanmıştır.



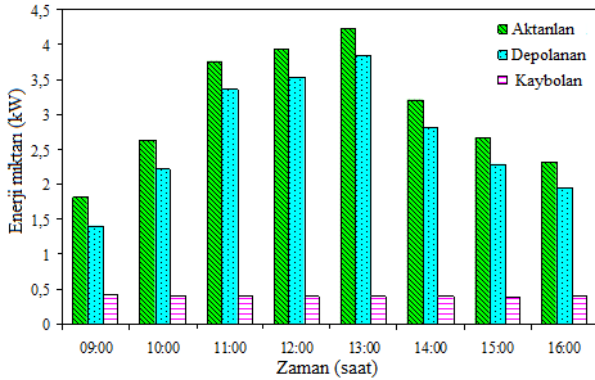
Şekil 8. Depolama süresince ısı deposunda depolanan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi

Şekil 10 ve Şekil 11'de ısı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan enerji ve ekserji miktarlarının günlük değişimi gösterilmektedir. Isı deposuna aktarılan ve depolanan günlük ortalama enerji miktarları sırasıyla 3 ve 2.67 kW olarak bulunmuştur. Isı deposunda kaybolan enerji miktarları ise 0.38-0.42 kW aralığındadır. Şekil 11'de ısı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan ekserji miktarlarının günlük değişimini göstermektedir. Isı deposunda depolanan ekserji miktarı 170–675 W aralığında bulunmuştur. Isı deposunda aktarılan ve depolanan ortalama günlük ısı ekserji miktarı sırasıyla 512 ve 433 W olmuştur. Isı deposunda günlük ortalama ekserji kaybı ise 79.1 W bulunmuştur.

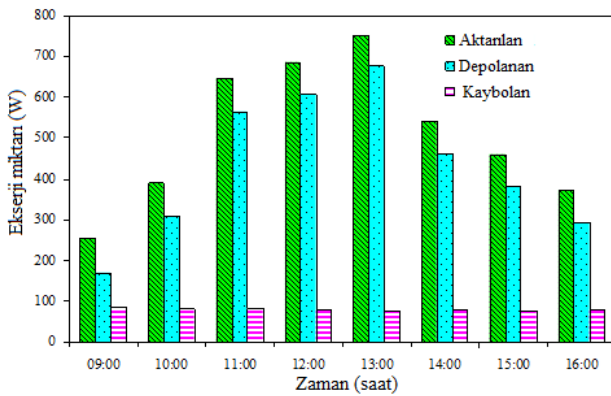


Şekil 9. Sistemin enerji ve ekserji verimlerinin saatlik değişimi

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1319242

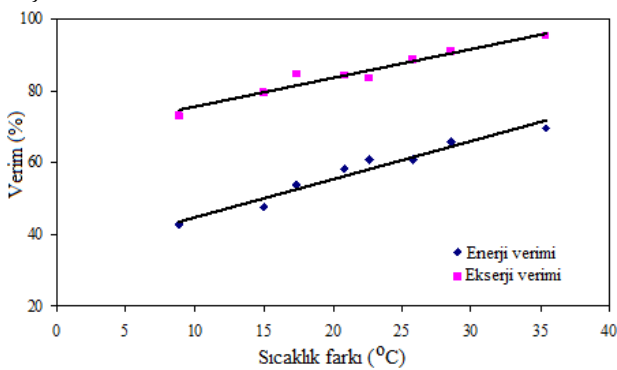


Şekil 10. Isı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan enerji miktarlarının günlük değişimi



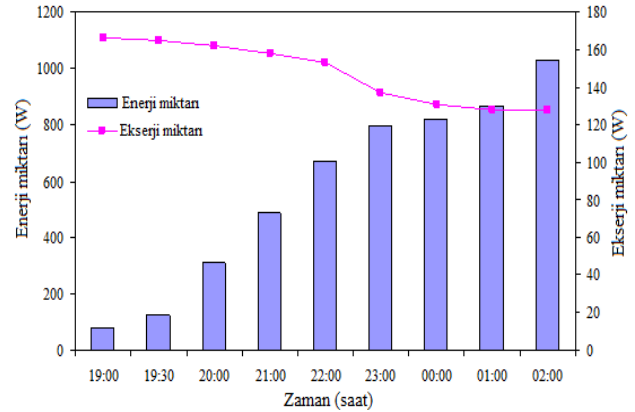
Şekil 11. Isı deposuna aktarılan, depolanan ve kaybolan ekserji miktarlarının günlük değişimi

Isı deposunun giriş ve çıkışındaki ısı transfer akışkanının sıcaklık farkının, enerji ve ekserji verimlerinin deneysel ve teorik değerlerine etkisi Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilden deneysel ve teorik sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı arttıkça enerji ve ekserji verimleri de artmaktadır. Başlangıçta, ısı deposunun giriş ve çıkışındaki ısı transfer akışkanının sıcaklık farkı küçük iken zamanla artmaktadır.

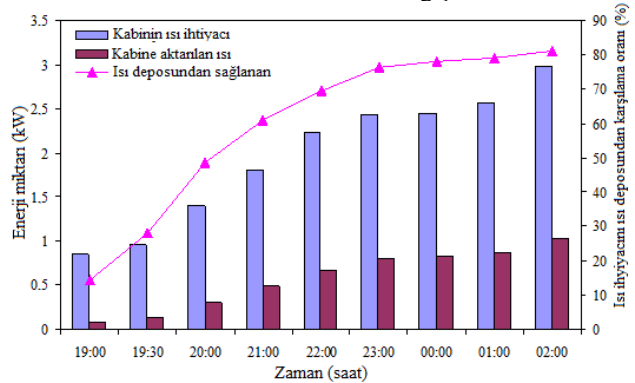


Şekil 12. Isı depolama sisteminin deneysel ve teorik verimi üzerinde sıcaklık farkının etkisi

Şekil 13'de ısı deposundan çekilen ısı ve ekserji miktarlarının zamanla değişimi verilmektedir. Isı deposundan çekilen ısı miktarı 2 kW ve 2.5 kW arasındadır. Isı deposundan çekilen ekserji miktarı ise 550 W ile 900 W arasında değişmektedir. Ortalama günlük ısı ve ekserji miktarları sırasıyla 2.25 kW ve 725 W olarak bulunmuştur.



Şekil 13. Isı deposundan çekilen ısı ve ekserji miktarlarının zamanla değişimi



Şekil 14. Güvenlik kabinin toplam ısıtma ihtiyacı ve ısı deposundan aktarılan ısı miktarının zamanla değişimi

Güvenlik kabinin toplam ısıtma ihtiyacı ve ısı deposundan aktarılan ısı miktarının zamanla değişimi Şekil 14'de verilmektedir. Kabinin ısıtma ihtiyacı 0.85 ile 2.97 kW arasında değişmekte iken, ısı deposundan çekilen ısı miktarı 81 W ile 1.02 kW arasındadır. Kabinin ortalama günlük ısıtma ihtiyacı 1.96 kW ve ısı deposundan çekilen ısı miktarı 577 W olmaktadır. Kabinin toplam ısıtma ihtiyacının ısı deposundan karşılama oranı yaklaşık %60 olduğu tespit edilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1319242

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir ısı depolamalı bir ısıtma sisteminin ısı performansını incelenmiştir. Isı deposunda depolanan ısı ve ekserji miktarlarının günlük ortalama değerleri sırasıyla 2.15 kW ve 386 W olarak bulunmuştur. Sistemin enerji verimi %73 ile %88 arasında değişmektedir. Sistemin ekserji verimi ise %42 ile %61 arasındadır. Sonuçlar, enerji ve ekserji miktarları arasındaki farkın önemli olduğunu göstermişlerdir.

Ekserji analizi, termal enerji depolama sistemlerinin uygun maliyetli tasarımı ve işletimi için gereklidir. Bu nedenle, mümkün olan en yüksek termodinamik verimliliğe sahip termal enerji depolama sistemlerini tasarlamak için ekserji analizi kullanılmalıdır. Isı deposundan çekilen ısı miktarı 577 W iken, kabinin ortalama günlük ısı ihtiyacı 1.96 kW olmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Semboller

A_k	: Kolektör yüzey alanı (m^2)
I_e	: Eğik yüzeyin birim alanına gelen güneş ışınımı (kJ/m^2)
V	: Hava akış hızı (m/s)
c_p	: Özgül ısı ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
m	: Akışkanın debisi (m^3/s)
T_i	: Akışkan giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{iç}$: İç sıcaklık ($^\circ C$)
$T_{dış}$: Dış ortam sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{dg}	: Isı deposu giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{dç}$: Isı deposu çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{kog}	: Kolektör giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{koç}$: Kolektör çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{kg}	: Kabin giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{kç}$: Kabin çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_m	: Isı deposu malzemesinin sıcaklığı
sıcaklığı ($^\circ C$)	
T_o	: Akışkan çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
T_{os}	: Dış referans sıcaklığı ($^\circ C$)
T_s	: Kabin içi ortalama sıcaklık ($^\circ C$)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
η_k	: Kolektör verimi (%)

KAYNAKLAR

- Ashouri, M., Ahmadi, M.H., Mohsen Pourkiaei, S., Astarai, F.R., Ghasempour, R., Ming, T. ve Hemati, J.H. (2018). Exergy and exergo-economic analysis and optimization of a solar double pressure organic Rankine cycle. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 72–86.
- Badescu, V. (2002). First and second law analysis of a solar assisted heat pump based heating system. *Energy Conversion and Management*, 43, 2539–52.
- Dikici, A., ve Akbulut, A. (2008). Performance characteristics and energy–exergy analysis of solar-assisted heat pump system. *Building and Environment*, 43, 1961–1972.
- Dincer, I., ve Rosen, M.A. (2001). *Thermal energy storage, system and applications*. Willey.
- Gholami, A., Hajinezhad, A., Pourfayaz, F. ve Ahmadi M.H. (2018). The effect of hydrodynamic and ultrasonic cavitation on biodiesel production: An exergy analysis approach. *Energy*, 160, 478–89.
- Hazami, M., Kooli, S., Lazâar, M., Farhat, A., ve Belghi, A. (2009). Energy and exergy efficiency of a daily heat storage unit for buildings heating. *Revue des Energies Renouvelables*, 12, 185–200.
- Mirzaei, M., Ahmadi, M.H., Mobin, M., Nazari, M.A. ve Alayi, R. (2018). Energy, exergy and economics analysis of an ORC working with several fluids and utilizes smelting furnace gases as heat source. *Thermal Science and Engineering Progress*, 5, 230–37.
- Naseri, A., Bidi, MAhmadi., M.H. ve Saidur, R. (2017). Exergy analysis of a hydrogen and water production process by a solar-driven transcritical CO2 power cycle with Stirling engine. *Journal of Cleaner Production*, 158, 165–81.
- Ozgener, O., ve Hepbasli, A. (2005). Experimental performance of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy and Buildings*, 37, 101–10.
- Ozturk, H.H. (2005). Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of aseasonal latent heat storage system for greenhouse heating. *Energy Conversion and Management* 46, 1523–1542.
- Öztürk, H.H., ve Başçetinçelik, A. (2003). Energy and Exergy Efficiency of a Packed-bed Heat Storage Unit for Greenhouse Heating *Biosystems Engineering*, 86, 231–245.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1319242

- Pahud, D. (2000). Central solar heating plants with seasonal duct storage and short-term water storage: design guidelines obtained by dynamic system simulations. *Solar Energy* 69, 495–509.
- Ucar, A., ve Inalli, M. (2005). Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 1005–1019.
- Ucar, A., ve Oral, A. (2021). Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, 43, 916–931.
- Wang, H., ve Zhao, J. (2005). Center solar heating technology with seasonal thermal storage. *Solar Energy*, 108, 27–31.
- Yumrutas, R. ve Unsal, M. (2012). Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. *Solar Energy*, 86, 983–993.
- Zhang, HF., Ge, XS., ve Ye, H. (2007). Modeling of space heating and cooling system with seasonal energy storage. *Energy* 32, 51– 58.