



Diyarbakır İli Şartlarında Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Isıtma Analizi

Heating Analysis with the Horizontal Type Ground Source Heat Pump in Diyarbakır Conditions

Fatih KOÇYİĞİT

Dicle Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Diyarbakır
fatih.kocyyigit@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-6383-3163

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 20 Mart 2020
Düzeltilme: 23 Nisan 2020
Kabul: 4 Haziran 2020

Anahtar kelimeler:

Buhar Sıkıştırma Isıtma, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Termodinamik Analiz, Enerji Analizi, Ekserji Analizi.

ÖZET

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde 9x8x2.8 m ölçülerinde deney alanının ısıtılması için yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kış sezonunda performansı değerlendirilmiştir. İncelenen sistemin kış sezonunda elde edilen sonuçları değerlendirilerek sistem ve sistem ünitelerine enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Kurulan sistemde belirlenen 11 adet düğüm noktası için kış sezonunda (01.12.2017 / 28.02.2018) ölçülen verilerin aylık ve sezonluk ortalama değerleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlarla yapılan enerji analizinde sistemde meydana gelen enerji kaybı 3.550 kW ve enerji verimliliği %75.47 olarak hesaplanmıştır. Sistem üniteleri için ise en düşük enerji verimliliği ile çalışan ünite kompresör olarak belirlenmiştir. Sisteme uygulanan ekserji analizine göre sistemin ekserji kaybı 2.032 kW ve ikinci yasa verimliliği %23.35 olarak hesaplanmıştır. Sistemde en fazla ekserji kaybı görülen ünite olarak yine kompresör belirlenmiştir. Gerek enerji analizi gerekse ekserji analizi sonuçlarına göre planlanacak iyileştirme çalışmaları için kompresöre öncelik verilmelidir. Sistemin COP değeri 3.08 olarak belirlenmiş ve kış sezonunda kullanımı incelenen sistemin Diyarbakır ili için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.706761

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 May 2020
Revised: 23 April 2020
Accepted: 4 June 2020

Keywords:

Steam Compression Heating, Ground Source Heat Pump, Thermodynamic Analysis, Energy Analysis, Exergy Analysis.

ABSTRACT

In this study, the performance of the horizontal type ground source heat pump system in the winter season was evaluated for heating the 9x8x2.8 m test area in Diyarbakır. Energy and exergy analysis was applied to the system and system units by evaluating the results of the examined system in the winter. Monthly and seasonal average values of the data measured in the winter (01.12.2017 / 28.02.2018) were taken for 11 node points determined in the established system. In the energy analysis made with the obtained results, the energy loss in the system was calculated as 3.550 kW and the energy efficiency was 75.47%. For system units, the unit with the lowest energy efficiency has been determined as a compressor. According to the exergy analysis applied to the system, the exergy loss of the system is calculated as 2.032 kW and the second law efficiency is 23.35%. The compressor was determined as the unit with the highest exergy loss in the system. The compressor should be given priority for the improvement works to be planned according to the results of both energy and exergy analysis. The COP value of the system was determined as 3.08 and it was determined that the system, which was examined in the winter, was usable for Diyarbakır province.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Fatih KOÇYİĞİT
✉ fatih.kocyyigit@dicle.edu.tr

Giriş

Dünya nüfusunun giderek artmasına bağlı olarak enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıtlarla çalışan sistemlerinde çevreye olan zararlı etkilerinin artmasından dolayı kullanıcıları gelişen teknolojiye paralel olarak farklı çözüm arayışlarına yönlendirmiştir. Enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji fiyatlarının hızlı artması nedeniyle enerjinin verimli kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Bu kapsamda dünyada üretilen enerjinin büyük bir bölümü konutların ısıtılması ve soğutulmasında tüketilmektedir. Enerjinin daha verimli kullanılması amacıyla pek çok çalışma yapılmakta ve klasik iklimlendirme sistemlerine alternatif çözümler aranmaktadır. Isı pompaları yüksek kullanım verimleri ve çevreye daha duyarlı teknolojileri nedeni ile yaygın olarak kullanılan klasik iklimlendirme sistemlerine nazaran birçok uygulamada tercih edilerek giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ise daha çok konutların iklimlendirilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda konutların iklimlendirilmesinde harcanan enerjinin ısı pompaları yardımıyla azaltılabileceği dolayısıyla da enerjinin daha verimli kullanılabileceği belirtilmiştir [1].

Literatürde ısı pompalarının iklimlendirme amaçlı kullanımına ve değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Akbulut vd. [2], belirtilen deney alanı için kış sezonunda dikey bir toprak kaynaklı ısı pompası ile entegre duvardan ısıtma sisteminin ekserji, eksergoekonomik ve çevresel analizini yapmışlardır. Çalışmalarında dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin İstanbul ili için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ünal vd. [3] Mardin ili Midyat ilçesinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma sezonu için enerji, ekserji ve ekonomik analizi yapmışlardır. Çalışmalarında Mardin ilinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kullanılmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ünal ve Demir [4,5] yine aynı deney alanında toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutma sisteminin hem termodinamik analizini hem de ekonomik analizini ayrı ayrı inceleyerek sistemin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Özyurt ve İkinci [6], Atatürk Üniversitesi'nde kurdukları 53 m derinliğinde dikey toprak kaynaklı ısı pompasının performansını deneysel olarak belirlemişler ve sistemin enerji analizini yapmışlardır. Isı pompası sisteminin COP değerinin 2.07-2.43 ve sistemin COP değerini

3.04-3.55 olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara bağlı olarak sistemin Erzurum ilinde konut ısıtması için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Öztürk vd. [7], toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ve sistem ünitelerinin enerji ve ekserji analizleri teorik olarak Isparta, Antalya ve Burdur illeri için yapmışlardır. Yapılan değerlendirmelerde en büyük ekserji kayıp oranının Isparta'da, en düşük ekserji kayıp oranının ise Antalya'da olduğunu belirtmişlerdir. Kim vd. [8], Kore'deki Pusan Uluslararası Üniversitesi'nde dikey tip bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin gerçek işletme koşullarında performans değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda ısıtma periyodunda ısı pompasının COP değerlerini 4.3-8.3 ve sistemin COP değerlerini 3.0-6.2 olarak elde etmişlerdir. Fei ve Pingfang [9], Çin'de kurdukları ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre ısı pompasının ve sistemin COP değerlerini ısıtma sürecinde 4.57 ve 3.1 olarak hesaplamışlardır. Sarbu ve Sebarchievici [10], toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin literatür taramasını yapmış ve son gelişmeler üzerinde durmuşlardır. Farklı toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Binalarda iklimlendirme ihtiyacı için çeşitli hibrid toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri açıklanarak, sistemlerin enerji, ekonomik ve çevresel performansı da değerlendirilmiştir. Alkan vd. [11], Isparta ilinde ısıtma amaçlı altı farklı soğutucu akışkan kullanarak dikey toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin termodinamik analizini yapmışlardır. İncelenen sistemde R22, R404A, R410A, R407C, R134A ve R600 akışkanları için sistem elemanlarının ekserji kaybı ve ekserji verimlerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak R600 akışkanının en iyi performansa sahip olduğu belirtmişlerdir. Luo vd. [12], Güney Almanya'nın Nürnberg kentinde bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma ve soğutma performans analizini yapmışlardır. Isıtma ve soğutma performansı 4 yıl boyunca elde edilen verilere dayalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kış günü için COP değerinin 3.9 olacağını tahmin etmişlerdir. Menberg vd. [13], doğalgazlı kazan ile dikey toprak kaynaklı ısı pompası hibrit sisteminin ısıtma ve soğutma sezonu için her bir elemanın ayrıntılı termodinamik analizini yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistem performansının soğutma için daha uygun olduğunu

belirtmişlerdir. Hepbaşlı vd. [14], İzmir ilinde 65 m²'lik bir odanın iklimlendirme ihtiyacının karşılanması amacıyla 50 m derinliğe sahip dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının performansını incelemek amacı ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Özgener ve Hepbaşlı [15], toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin modellenmesi ile performans değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında modelledikleri dikey tip ve yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performans analizi yaparak elde edilen sonuçlarla sistemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Ünal ve Akan [16], Mardin ilinde güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının elde edilen deneysel verilere bağlı olarak enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Yaptıkları analizlerde ekserji kaybı oranı en fazla olan sistem ünitesinin kompresör olduğunu belirtmişlerdir. Esen [17], Elazığ'da bir evin bahçesinde yaz ve kış sezonunda kullanılması için 30 m, 60 m ve 90 m olacak şekilde farklı derinliklerde sondaj kuyularına sahip bir dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi

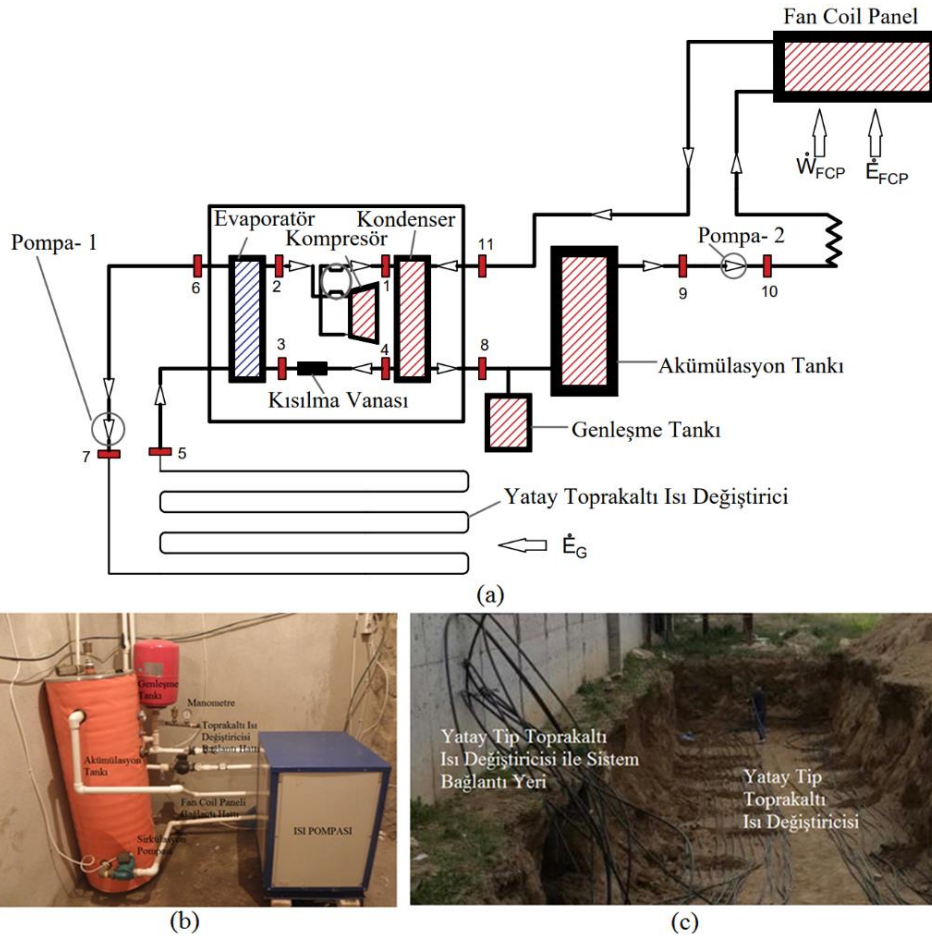
tasarlamıştır. Farklı yapay sinir ağları yöntemleri kullanarak üç sistemin performans kıyaslamasını yapmıştır. Yaz ve kış sezonunda elde ettiği sonuçlarla en yüksek sistem performansının 90 m derinliğe sahip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde olduğunu belirtmiştir. Kılıç [18], çalışmasında Adana'da bulunan iki katlı bir villanın hem ısıtma hem de soğutma ihtiyacının karşılanması amacıyla farklı iki yöntem kullanarak toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan sistemin hem yaz sezonu hem de kış sezonu için analizini yapmıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iklimlendirme ihtiyacını genellikle fosil kökenli yakıtlar ile sağlayan Diyarbakır ili Bismil ilçesinde yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma sistemi deneme amaçlı kurulmuştur. Kurulan sistemde kış sezonu boyunca yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara bağlı olarak sistem ve ünitelerine enerji ve ekserji analizi yapılmış ve değerlendirilen sistemin bu ilçede kullanılabilirliği incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinin Bismil ilçesinde bir iş yerinin 9 m uzunluğunda, 8 m eninde ve 2,8 m yüksekliğindeki zemin katının ısıtma ihtiyacını karşılamak için deneme amaçlı yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası kurulmuş olup kurulan sistemin kış sezonunda elde edilen deneysel verileri incelenerek enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Deney tesisatı kompresör, kondenser, evaporatör, kısılma vanası, iki adet pompa, yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi, akümülyasyon tankı ve fan coil panelinden olmak üzere toplam dokuz adet ünite ve ölçümlerin alındığı 11 adet düğüm noktasına sahiptir. Deney tesisatı, odanın ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca sistemde belirlenen 11 adet düğüm noktasına yerleştirilen PT-100 tipi ısı çiftleri (hassasiyet $\pm 1^\circ\text{C}$) ile sıcaklık, pompalardan sonra yerleştirilen GT-TD-20 tipinde $\frac{3}{4}$ " PVC türbin debimetreler (hassasiyet %1) ile akışkanın debileri, ısı pompasının kontrol cihazından soğutucu akışkan debisi ve ısı pompası üzerinde bulunan manometreler yardımı ile basınç ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler ile elde edilen

veriler 24 kanallı datalogger yardımıyla anlık olarak kaydedilmiştir. Kompresör, pompalar ve soğutma panelinin elektrik tüketimlerinin ölçümleri için sisteme elektrik sayacı bağlanmıştır. Elde edilen verilerin kış sezonu için belirlenen 3 aylık süreçte ortalamaları alınarak sistem ve üniteleri için değerlendirme yapılmıştır. Isıtma amaçlı kullanılan sistemin genel şeması Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin teorik olarak çalışma sürecinde yatay tip toprak ısı değiştiricisi topraktan çektiği ısıyı (\dot{E}_G) ısı pompasının evaporatörüne aktarır. Daha sonra evaporatöre aktarılan ısı (\dot{E}_L) ile ısı transfer akışkanı gaz haline gelir. Isı transfer akışkanı gaz halinde iken sıcaklığı ve basıncı kompresörde gerçekleşen sıkıştırma işlemi ile yükseltilerek kondensere taşınır. Kondenserde yoğuşma işlemi esnasında ortaya çıkan ısı (\dot{E}_H) sistemin fan coil paneline (\dot{E}_{FCP}) aktarılırken, ısı pompası içinde soğutucu akışkan kısılma vanasından geçer ve çevrim bu şekilde devam eder.



Şekil 1. a) Kış sezonunda sistemin akış şeması b) Isı pompası odası c) yatay toprakaltı ısı değiştirici

Şekil 1’de verilen sistem sürekli akışlı açık sistem modeline uyan bir sistemdir. Sistemde deney mahalının ısıtma ihtiyacının karşılanması için kullanılan yatay tip toprak kaynaklı Restherma marka ısı pompasının ısıtma kapasitesi katalog verilerinde 10 kW olarak verilmiştir. Yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi için 15 m uzunluğunda ve 10 m genişliğinde 150 m² alana 2 m derinliğe yatay serme işlemi yapılmıştır. Yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisi için toplam 730 m uzunluğunda PE 80 tip boru kullanılmıştır. Sistemde yapılan teorik ve deneysel değerlendirmelerde, yatay tip toprakaltı ısı değiştiricisinin etrafı tamamen toprak ile çevrili olduğu için ısı kayıpları ihmal edilmiştir. Isı pompasında yer alan 2 adet ısı değiştirgeci kondenser ve evaporatör olarak görev yapmaktadır. Isı pompasının kompresörü scroll tip Coopeland marka kompresördür.

Analizler

Enerji analizlerinde termodinamiğin birinci yasası temel alınırken, ekserji analizlerinde ise termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasaları birlikte kullanılmıştır. Sürekli akışlı açık bir sisteme uyan incelenen sistemde

Kısılma vanasında entalpi kaybı yoktur. Diğer bir ifadeyle kısılma işleminin sabit entalpide gerçekleştiği kabul edilmiştir ($h_3=h_4$). Akümülyasyon tankı 200 lt kapasitede olup her ne kadar yüksek oranda izolasyona sahip olsa da ısı kaybı meydana gelmektedir. Sistemde sıcak suyun muhafazası için denge tankı amacıyla akümülyasyon tankı kullanılmıştır. Sistemde kasetli döşeme tipi 2 borulu AE 400 model fan coil paneli kullanılmıştır. Isı taşıyıcı akışkan olarak toprakaltı ısı değiştiricisi ve fan coil panelinde su, ısı pompasında ise soğutucu akışkan R407C kullanılmıştır. Suyun özellikleri EES paket programı, R407C’nin özellikleri ise Refprop paket programı yardımı ile belirlenmiştir. Ayrıca ekserji analizinde referans çevre değerleri $T_0= 0.01^\circ\text{C}$ ve $P_0= 1$ bar olarak kullanılmıştır.

yükseklik değişimi ve hız değişimine bağlı olarak gerçekleşen enerji değişimi iç enerjiye göre çok küçük olduğundan potansiyel ve kinetik enerjilerin değişimi sıfır kabul edilmiştir. Potansiyel enerji ve kinetik enerji

ihmal edildiğinde enerji dengesi Eşitlik 1 ile verilmiştir.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot h \quad (1)$$

Bu çalışmada, enerji kaybının ifadesi Eşitlik 2 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{\text{kayıp}} = \dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} \quad (2)$$

Sistemin veya sistem ünitesinin verimi (COP: Coefficient of Performance-Performans Katsayısı), elde edilmek istenen değerin bu amaçla harcanması gereken değere bölünmesi ile bulunmuştur.

$$\eta = \frac{\text{elde edilmek istenen değer}}{\text{harcanması gereken değer}} \quad (3)$$

Ekserji diğer bir deyişle kullanılabilirlik, bir sistemin verilen bir halde yapabileceği en çok yararlı iş olup sistem ve çevrenin halleriyle ilişkili bir özelliktir. Bu çalışmada sadece fiziksel ekserji eşitlikleri kullanılmıştır. Fiziksel ekserji Eşitlik 4 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_x = \dot{m}\Psi = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (4)$$

Ayrıca sistem sınırlarında aktarılan işin ekserjisi kendi değerine eşittir. İşin ekserji ifadesi Eşitlik

5 ile verilmiştir. Aktarılan ısının ekserji ifadesi ise Eşitlik 6 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{xW} = W \quad (5)$$

$$\dot{E}_{xQ} = Q(1 - \frac{T_0}{T}) \quad (6)$$

Bu çalışmada, ekserji kaybının ifadesi Eşitlik 8 ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{x\text{kayıp}} = \dot{E}_{x\text{giren}} - \dot{E}_{x\text{çıkan}} \quad (8)$$

Bu çalışmada bir sistemin her bir ünitesinde gerçekleşen ekserji kaybı belirlendikten sonra ilgili ünitenin ekserji kaybının tüm sistemdeki ekserji kaybına oranlanmasıyla ekserji kaybı oranı elde edilmiştir. Ekserji kaybı oranı Eşitlik 9 ile verilmiştir.

$$d_k = \frac{\dot{E}_{x\text{kayıp,ünite}}}{\dot{E}_{x\text{kayıp,sistem}}} \quad (9)$$

İkinci yasa verimi yakıt-ürün prensibine göre Eşitlik 10 ile ifade edildiği biçimde tanımlanmıştır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}_{x\text{ürün}}}{\dot{E}_{x\text{yakıt}}} \quad (10)$$

Yapılan çalışmada enerji ve ekserji analizinin uygulanmasında kullanılan eşitlikler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de ise sistemde belirlenen düğüm noktaları için ölçülen ve elde edilen değerler verilmiştir.

Tablo 1. Termodinamik Analizde Kullanılan Eşitlikler

Ünite	Enerji Dengesi	Ekserji Dengesi
Sistem	$\dot{E}_K = \dot{m}_G h_G + \dot{W}_{\text{giren}} - \dot{m}_{\text{FCP}} h_{\text{FCP}}$ $\dot{W}_{\text{sistem}} = \dot{W}_{\text{giren}} = \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{\text{komp}} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{\text{FCP}}$ $\text{COP}_{\text{sistem}} = \frac{\dot{E}_{\text{FCP}}}{\dot{W}_{\text{giren}}}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_G \Psi_G + \dot{W}_{\text{giren}} - \dot{m}_{\text{FCP}} \Psi_{\text{FCP}}$ $\dot{W}_{\text{sistem}} = \dot{W}_{\text{giren}} = \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{\text{komp}} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{\text{FCP}}$ $\eta_{II} = \frac{\dot{E}_{x\text{ürün}}}{\dot{E}_{x\text{yakıt}}}$
Kompresör	$\dot{E}_K = \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{\text{komp}} - \dot{m}_1 h_1$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_2 \Psi_2 + \dot{W}_{\text{komp}} - \dot{m}_1 \Psi_1$
Kondenser	$\dot{E}_K = (\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{11} h_{11}) - (\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_8 h_8)$	$\dot{E}_{xK} = (\dot{m}_1 \Psi_1 + \dot{m}_{11} \Psi_{11}) - (\dot{m}_4 \Psi_4 + \dot{m}_8 \Psi_8)$
Evaporatör	$\dot{E}_K = (\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5) - (\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_2 h_2)$	$\dot{E}_{xK} = (\dot{m}_3 \Psi_3 + \dot{m}_5 \Psi_5) - (\dot{m}_6 \Psi_6 + \dot{m}_2 \Psi_2)$
Kısılma Vanası	$\dot{E}_K = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_4 \Psi_4 - \dot{m}_3 \Psi_3$
Pompa-1	$\dot{E}_K = \dot{m}_6 h_6 + \dot{W}_{p1} - \dot{m}_7 h_7$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_6 \Psi_6 + \dot{W}_{p1} - \dot{m}_7 \Psi_7$
Toprakaltı Isı Değiştiricisi	$\dot{E}_K = \dot{E}_G + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_5 h_5$	$\dot{E}_{xK} = \dot{E}_{xG} - \dot{m}_7 \Psi_7 - \dot{m}_5 \Psi_5$
Pompa-2	$\dot{E}_K = \dot{W}_{p2} + \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{10} h_{10}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{W}_{p2} + \dot{m}_9 \Psi_9 - \dot{m}_{10} \Psi_{10}$
Akümülayon Tankı	$\dot{E}_K = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_9 h_9$	$\dot{E}_{xK} = \dot{m}_8 \Psi_8 - \dot{m}_9 \Psi_9$
Fan Coil Paneli	$\dot{E}_K = \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{W}_{\text{FCP}} - \dot{E}_{\text{FCP}} - \dot{m}_{11} h_{11}$	$\dot{E}_{xK} = \dot{E}_{x1\dot{m}_{10}\Psi_{10}} + \dot{W}_{\text{FCP}} - \dot{E}_{\text{FCP}} - \dot{m}_{11} \Psi_{11}$

Tablo 2. Kış Sezonunda Düğüm Noktaları İçin Elde Edilen Değerler

Düğüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Debi (kg/s)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.35	0.35	0.21	0.21	0.21	0.21
Basınç (bar)	11.80	4.90	4.90	11.80	1.65	1.65	1.65	1.53	1.53	1.53	1.53
Sıcaklık (°C)	57.73	10.67	1.06	26.71	9.73	4.31	4.33	36.57	35.78	35.80	26.12
Entalpi (kJ/kg)	450.06	421.81	269.25	269.25	41.048	18.251	18.359	153.34	150.04	150.22	119.24
Entropi (kJ/kgK)	1.8541	1.8045	1.2619	1.2492	0.147	0.0658	0.0658	0.526	0.516	0.516	0.393
Enerji (kW)	18.002	16.872	10.770	10.770	14.367	6.388	6.426	32.201	31.508	31.546	25.040
Ekserji (kW)	7.188	6.502	6.328	6.467	0.327	0.111	0.149	2.038	1.918	1.956	2.506

Tablo 2’de verilen değerler ile birlikte ayrıca kış sezonunda kompresörün harcadığı güç 1.768 kW, sirkülasyon pompalarının her birinin harcadığı güç 0.048 kW ve fan coil panelinin harcadığı güç 0.250 kW olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte topraktan çekilen ısı 7.941 kW ve ekserji değeri 0.537 kW, fan coil panelinden

deney mahalline aktarılan ısı 6.506 kW ve ekserji değeri 0.619 kW olarak belirlenmiştir. ($\dot{W}_{komp} = 1.768$ kW, $\dot{W}_{P1} = 0.048$ kW, $\dot{W}_{P2} = 0.048$ kW, $\dot{W}_{FCP} = 0.250$ kW, $\dot{E}_G = 7.941$ kW, $\dot{E}_{FCP} = 6.506$ kW, $\dot{E}_{XG} = 0.537$ kW, $\dot{E}_{XFCP} = 0.619$ kW)

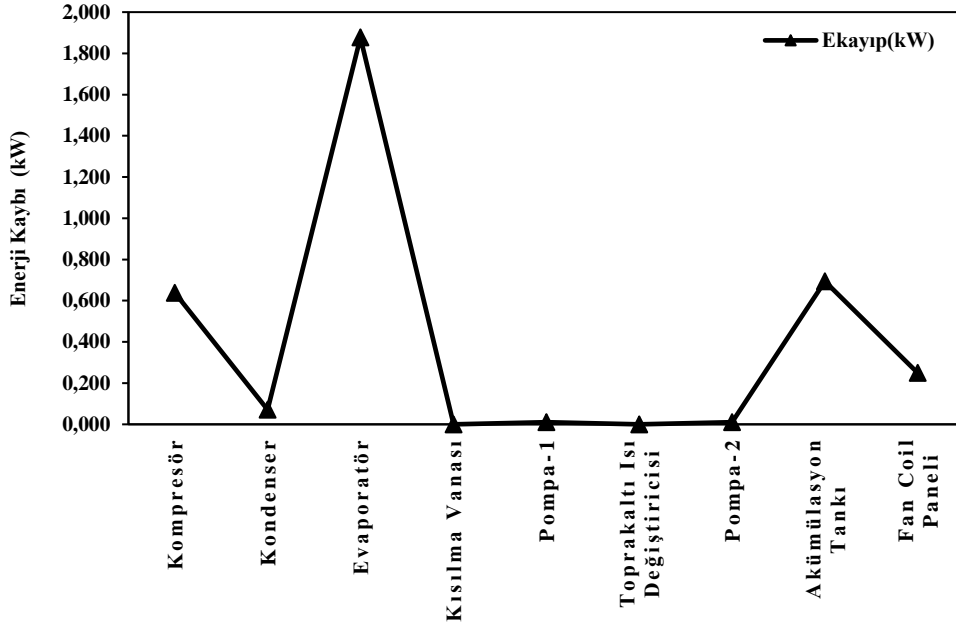
Tablo 3. Kış sezonunda sistem ve üniteleri için enerji analizi sonuçları

Ünite	Sistem	Kompresör	Kondenser	Evaporatör	Kısılma Vanası	Pompa-1	Toprakaltı Isı Değiştiricisi	Pompa-2	Akümülayon Tankı	Fan Coil Paneli
\dot{E}_{giren} (kW)	10.056	18.641	43.043	25.137	10.770	6.436	14.367	31.556	32.201	31.796
$\dot{E}_{çıkan}$ (kW)	6.506	18.002	42.971	23.260	10.770	6.426	14.367	31.546	31.508	31.546
$\dot{E}_{kayıp}$ (kW)	3.550	0.638	0.071	1.877	0.000	0.010	0.000	0.010	0.693	0.250
$\dot{E}_{yakıt}$ (kW)	8.620	1.768	7.232	7.979	10.770	0.048	7.941	0.048	32.201	6.756
$\dot{E}_{ürün}$ (kW)	6.506	1.130	6.506	6.102	10.770	0.038	7.941	0.038	31.508	6.506
η (%)	75.47	63.90	89.95	76.48	100.00	78.75	100.00	78.75	97.85	96.30

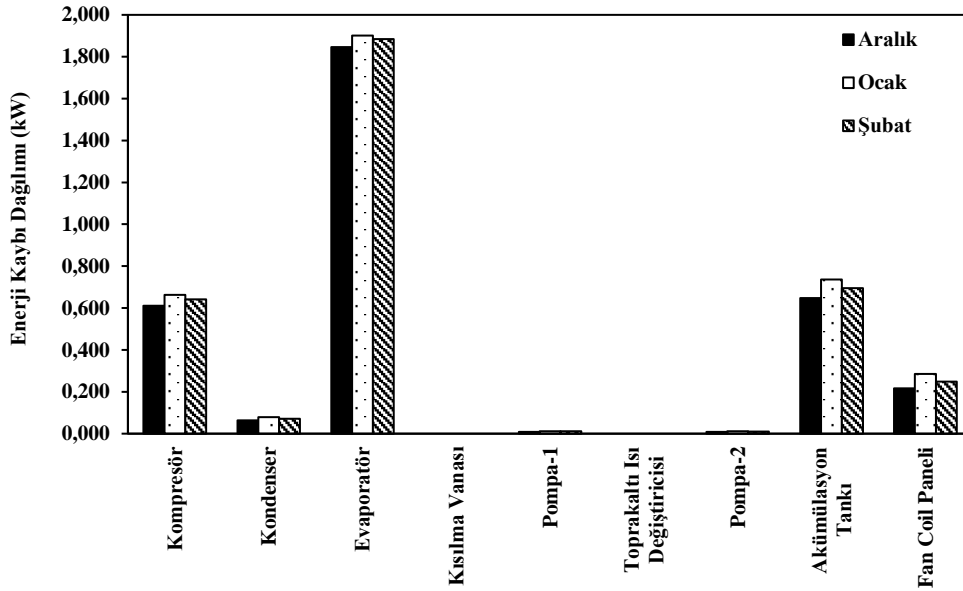
Tablo 2’de kış sezonunda belirlenen 11 düğüm noktası için ölçülen debi, sıcaklık ve basınç değerlerinin ortalamaları ile bu değerlerin yardımıyla elde edilen entalpi, entropi, enerji ve ekserji değerleri verilmiştir. Kış sezonunda sistem ünitelerinin enerji analizi için Tablo 2’de verilen düğüm noktalarına ait değerlere bağlı olarak Tablo 1’de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Sistem ve üniteleri için yapılan enerji analizine ait sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’te sistem ve üniteleri için giren enerji ve çıkan enerji miktarı ile birlikte enerji kaybı

miktarı değerleri verilmiştir. Ayrıca sistem ve ünitelerine ait yakıt enerjisi miktarı ile ürün enerjisi miktarı değerleri ve bu değerlerden elde edilen sistem ve sistem ünitelerinin enerji verimleri verilmiştir. Kış sezonunda sistem ünitelerinin enerji kaybı Şekil 2 de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tüm sistemde enerji kaybı miktarı 3.550 kW olarak belirlenmiştir. Sistemin enerji verimliliği %75.47 olarak elde edilmiştir. Tablo 3’te verilen sonuçlara göre kompresörün enerji verimlilik değeri %63.90 ile sistemin verimliliği en düşük olan ünite olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kış sezonunda sistemdeki enerji kaybının sistem ünitelerine dağılımı.



Şekil 3. Kış sezonunda sistemdeki enerji kaybının sistem ünitelerine aylık dağılımı.

Şekil 2 incelendiğinde sistem üniteleri için yapılan kabul ve hesaplamalarda sırasıyla evaporatör, akümülyasyon tankı, kompresör ve fan coil paneli enerji tasarruf potansiyeli yüksek üniteler olarak saptanmıştır. Sistemde kış sezonu için en fazla enerji kaybı sırasıyla 1.877 kW ile evaporatör, 0.693 kW ile akümülyasyon tankı ve 0.638 kW ile kompresörde saptanmıştır. Yapılan enerji analizlerinde ısı kayıpları ihmal edildiği için toprakaltı ısı değiştiricisi ve kısılma vanasında enerji kaybı

görülmüştür. Kış sezonu için sistemde görülen enerji kaybı miktarının aylık olarak ünitelere dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde sistem ünitelerinde meydana gelen enerji kayıplarında dış ortam sıcaklığının sistem üniteleri üzerindeki etkisi görülebilmektedir. Ayrıca sistem ünitelerinde en fazla enerji kaybının ocak ayında meydana geldiği görülmüştür. Tablo 4'te yatay tip toprak kaynaklı ısıtma sisteminin kış sezonunda elde edilen enerji analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. Kış sezonu için aylık enerji analiz sonuçları

Çalışılan Aylar	Aralık	Ocak	Şubat	Ortalama
$\dot{W}_{\text{kompresör}} \text{ (kW)}$	1.69	1.82	1.79	1.77
$\dot{W}_{\text{sistem}} \text{ (kW)}$	2.04	2.17	2.14	2.11
$\text{COP}_{\text{sistem}}$	3.16	3.02	3.07	3.08
$\text{COP}_{\text{ısı pompası}}$	4.18	3.96	4.01	4.05

Tablo 5. Kış sezonunda sistem ünitelerinin ekserji analiz sonuçları

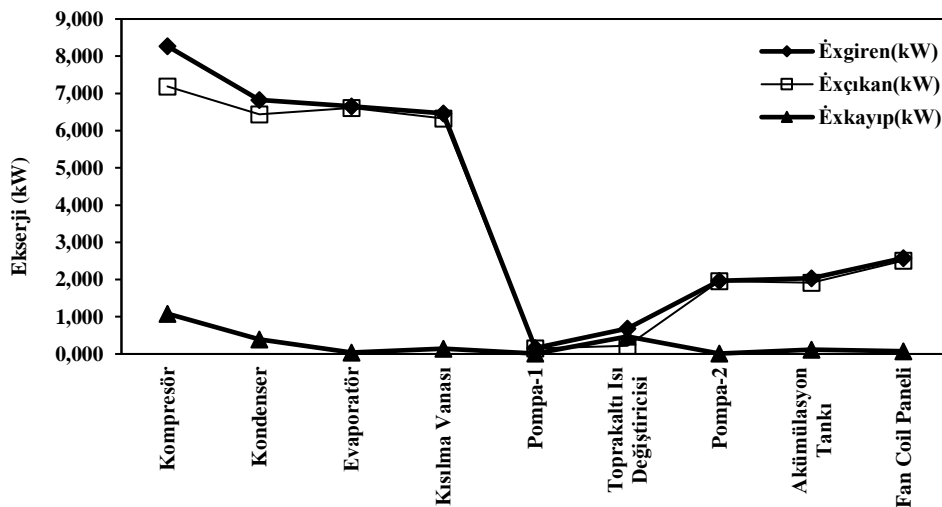
Ünite	Sistem	Kompresör	Kondenser	Evaporatör	Kısıtma Vanası	Pompa-1	Toprakaltı Isı Değiştiricisi	Pompa-2	Akümülayon Tankı	Fan Coil Paneli
$\dot{E}x_{\text{giren}} \text{ (kW)}$	2.651	8.270	6.829	6.655	6.467	0.159	0.686	1.966	2.038	2.575
$\dot{E}x_{\text{çıkan}} \text{ (kW)}$	0.619	7.188	6.439	6.613	6.328	0.149	0.216	1.956	1.918	2.506
$\dot{E}x_{\text{kayıp}} \text{ (kW)}$	2.032	1.082	0.390	0.042	0.139	0.010	0.470	0.010	0.119	0.070
$\dot{E}x_{\text{yakıt}} \text{ (kW)}$	2.651	1.768	0.722	0.216	6.467	0.048	0.537	0.048	2.038	0.869
$\dot{E}x_{\text{ürün}} \text{ (kW)}$	0.619	0.686	0.468	0.174	6.328	0.038	0.216	0.038	1.918	0.550
$\eta_n \text{ (\%)}$	23.35	38.82	64.87	80.52	97.85	78.75	40.25	78.75	94.14	63.24

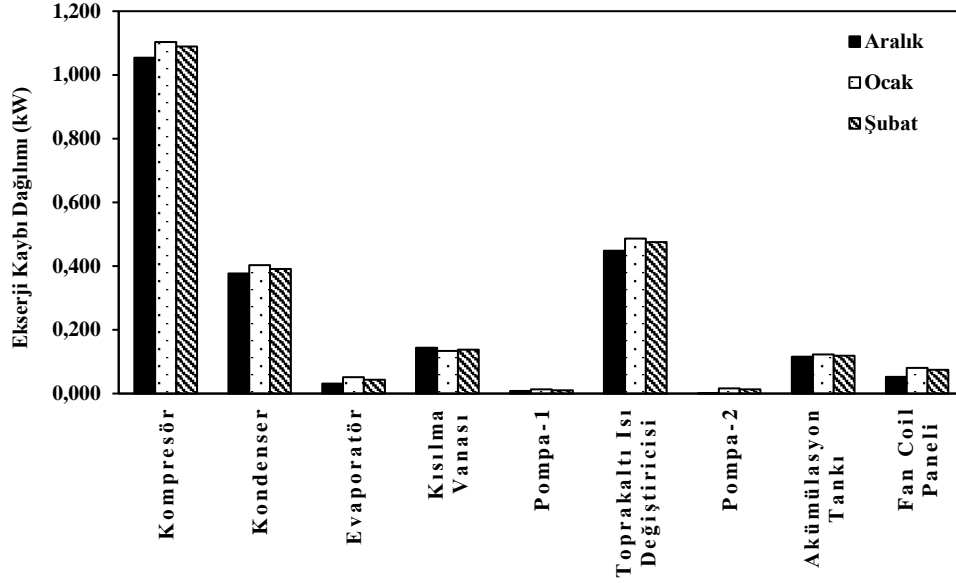
Tablo 4'te verilen sonuçlara göre kış sezonunda toprak kaynaklı buhar sıkıştırılmalı ısı pompası sisteminin tükettiği enerji miktarı ortalama 2.11 kW ve kompresörün tükettiği enerji miktarı ise ortalama 1.77 kW olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kış sezonunda sistemin COP değeri ortalama 3.08 olarak belirlenmiştir.

Kış sezonu için, Tablo 2'de verilen düğüm noktalarına ait değerler ve Tablo 1'deki eşitlikler yardımıyla sistem ünitelerine ekserji analizi uygulanmıştır. Tablo 5'te sistem ve üniteleri için uygulanan ekserji analizine ait sonuçlar verilmiştir. Her bir ünitenin ikinci yasa

verimi literatür ile kıyaslandığında literatür değerleri ile birbirine yakınlık göstermektedir. Sistemde ikinci yasa verimi en düşük çıkan ünite kompresör olup literatürde yapılan çalışmaların birçoğu ile benzer sonuç vermek ile birlikte bazı çalışmalardan düşük değerde kalmıştır. Bu durum literatür [2]'de görülebilmektedir.

Ayrıca tablodan sistem ünitelerinin kıyaslaması yapılabilmektedir. Kış sezonunda sistem ünitelerine ait ekserji değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

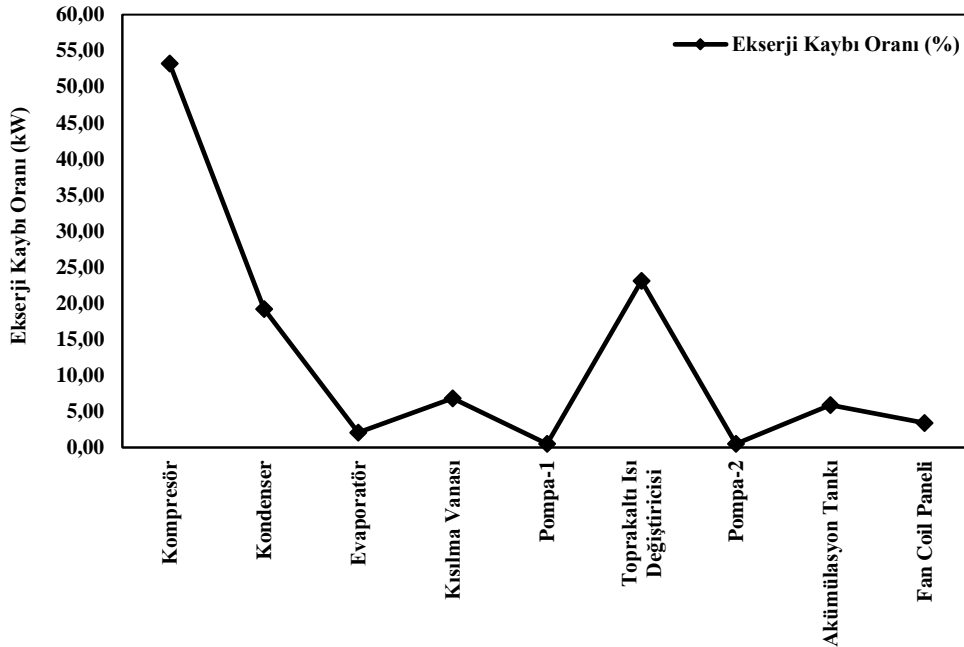
**Şekil 4.** Kış sezonunda sistem ünitelerine ait ekserji değerleri.



Şekil 5. Kış sezonunda sistem ünitelerine ait aylık ekserji kaybı dağılımı.

Tablo 5 ile Şekil 4 beraber incelendiğinde en fazla ekserji kaybı 1.082 kW ve %38.82 ile en düşük ekserji verimi olan ünite olarak kompresör belirlenmiştir. Şekil 5'te kış sezonu için sistem ünitelerine ait aylık ekserji kaybı dağılımı verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde kısılma vanası hariç tüm sistem ünitelerinin

aylık ekserji kaybı miktarlarının dış hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Sistem ünitelerinde en fazla ekserji kaybı ocak ayında meydana gelmiştir. Şekil 6'da kış sezonunda yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ünitelerinin ekserji kaybı oranı değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Kış sezonunda sistem ünitelerinin ekserji kaybı oranının dağılımı

Şekil 6'da kış sezonu için yapılan teorik ve deneysel kabuller yardımıyla yapılan termodinamik hesaplamalara göre sistemde kompresör %53.25 ile en fazla ekserji kaybı oranına sahip ünitelerdir. Bu bağlamda yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sisteminde yapılması planlanacak

iyileştirmelerde öncelikle dikkate alınması gereken parametrelerden biri ekserji kaybı oranları olmalıdır. Ekserji kaybı oranı yüksek olan ünitelerde yapılacak iyileştirmeler ünitenin ekserji kaybını azaltırken aynı zamanda sistemin ekserji verimliliğini de arttıracaktır.

Sonuçlar

Kış sezonunda (01 Aralık 2017—28 Şubat 2018) yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sisteminde kullanılan scroll tip kompresörün elektrik tüketimi dış hava sıcaklıklarından doğru orantılı olarak etkilenmekte dolayısıyla scroll tip kompresörün düşük hava sıcaklıklarında daha fazla devreye girdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapılan incelemeler neticesinde sistem COP değerlerinin de dış hava sıcaklıkları ile doğrudan etkilendiği tespit edilmiştir. İncelenen kış sezonu boyunca dış hava sıcaklığı sırasıyla en soğuk ve en sıcak aylar olan Ocak ayında ortalama 5.2°C, Aralık ayında ise ortalama 5.8°C olarak ölçülmüştür. 2 m olarak kazılan kuyu derinliğinde toprak sıcaklığı ise Aralık ayında ortalama 12.1 °C, Ocak ayında ortalama 11.3°C, Şubat ayında 11.6°C ve kış sezonunda ortalama 11.6°C olarak ölçülmüştür. Sistemin topraktan evaporatör yardımı ile çektiği enerji miktarının ise dış hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak 7.68–8.09 kW arasında değiştiği görülmüştür. Kış sezonu boyunca fan coil panelinden ortama aktarılan ortalama enerji miktarı 6.51 kW olarak hesaplanmıştır. Değerlendirmesi yapılan kış sezonunda deney odasında meydana gelen ısı kaybının karşılanması için akümülyasyon tankında 36.25–37.50°C sıcaklığında su hazırlanmıştır. Bu süreçte sayaçtan sistemin tükettiği elektrik gücü toplamı (kompresör, fan coil paneli ve sirkülasyon pompaları) ortalama 2.11 kW olarak ölçülmüştür. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin belirlenen deney odasına aktardığı enerji miktarı 6.24-6.65 kW arasında değişim göstermekte ve dış hava sıcaklığının değişimi ile doğru orantılı olarak etkilenmektedir. Bununla birlikte tüm sistemin COP değeri 3.02-3.16 arasında tespit edilmiştir.

Kış sezonu boyunca incelenen sistemin üniteleri ile ilgili ekserji analizi sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek ekserji kaybı olan üniteler sırasıyla kompresör ve toprakaltı ısı değiştiricisi olarak belirlenmiştir. Sistemde

ekserji kaybı oranı en yüksek olan ünite ise kompresördür. Her ne kadar ilk bakışta evaporatördeki enerji kaybının kompresöre kıyasla yüksek olduğu görülse de ekserji kaybı kompresör ile mukayese edildiği zaman çok daha düşüktür. Ayrıca sistemde yapılan analizler neticesinde enerji verimliliği ve ekserji verimliliği birlikte değerlendirildiği zaman en verimsiz çalışan ünite olarak kompresör göze çarpmaktadır. Bu nedenle yapılması planlanacak iyileştirmeler için öncelikle kompresörün düşünülmesi gerekmektedir. Bu iyileştirmeler için düşünüldüğünde ilk öncelik olarak scroll tip kompresörün sistem çalışması esnasında devreye daha az girmesini sağlayacak şartların değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu amaçla ısı pompasına ait belirlenen çalışma sıcaklığı aralıkları sisteme ait yazılımda arttırılabilir. Böylece daha düşük sıcaklık rejimlerinde yüksek ısı konfor sağladığı bilinen toprak kaynaklı ısı pompasına ait kompresörün verimi arttırılmış olacaktır. Bu sayede de sistem daha uzun süreyle daha düşük sıcaklık rejimlerinde çalışabilecek ve scroll tip kompresörün veriminin artması sağlanacaktır. Sistemin bu şekilde çalışması ile hem ekserji kaybı azaltılmış olacak hem de elektrik tüketimi daha da azalacaktır. Diğer sistem ünitelerinde yapılması planlanacak iyileştirmeler ise olabildiğince maliyeti düşük ve enerji kaybının azaltılmasına yönelik tedbirler olmalıdır.

Sonuç olarak, genellikle birincil enerji kaynakları ile iklimlendirme ihtiyacını karşılayan Diyarbakır ili Bismil ilçesinde kullanılan yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin enerji tüketiminin azaltılarak enerjinin daha verimli kullanılması açısından değerlendirildiği zaman sistemin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Bu tip alternatif olabilecek sistemlerin tercih edilmesi enerjinin hem daha verimli kullanılmasını sağlarken hem de gerek ekonomi gerekse çevrenin korunması açısından kullanımının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Akan, A. E. ve Ünal, F.(2019). 4E Analysis of Thermal Power Plants, Theoretical Investigations and Applied Studies in Engineering, Chapter 17, 1st Edition, Ekin Publishing House, Turkey.
- [2] Akbulut, U., Utlu, Z., Kıncay, O., (2016).” Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system”, Energy, 107: 502-522
- [3] Ünal, F., Temir, G., Köten, H., (2018). “Energy, exergy and exergoeconomic analysis of solar-assisted vertical ground source heat pump system for heating season, Journal of Mechanical Science and Technology, 32(8): 3929-3942
- [4] Ünal, F., Temir, G., (2014). “Exergoeconomic Analysis Of The Ground Source Heat Pump For Cooling Season In The Mardin Province”, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32: 477-488
- [5] Ünal, F., Temir, G., (2017). “Thermodynamic Analysis of Cooling with Vertical Type Ground Source Heat Pump: Mardin Case Study”, International Journal of Scientific and Technological Research, 3(2):33-39.
- [6] Özyurt, O., Ekinci, D. A., (2011). “Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey”, Applied Energy, 88(4), 1257–1265.
- [7] Öztürk, M., Elbir, A., Yakut, A. K., Özsek, N., (2012). “Güneş destekli ısı pompasının enerji ve ekserji analizi”, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53(626), 46–55.
- [8] Kim, E., Lee, J., Jeong, Y., Hwang, Y., Lee, S. ve Park, N., (2012). “Performance Evaluation Under the Actual Operating Condition of a Vertical Heat Pump System in a School Building”, Energy and Buildings, 50: 1-6.
- [9] Fei L., Pingfang H., (2012). “Energy and Exergy Analysis of a Ground Water Heat Pump System” 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering Physics Procedia 24 (2012) 169 – 175.
- [10] Sarbu, I., Sebarchievici, C., (2014). “General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings”, Energy and Buildings, 70, 441–454.
- [11] Alkan, R., Kabul, A., Kızıllıkan, Ö., (2014). “Toprak Kaynaklı bir ısı pompasının Farklı soğutucu Akışkanlar için Termodinamik Analizi”, Journal of Thermal Science and Technology, 34(1), 27–34.
- [12] Luo, J., Rohn, J., Bayer, M., Priess, A., Wilkmann, L., Xiang, W., (2015). “Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany”, Geothermics, 53, 57–66.
- [13] Menberg, K., Heo, Y., Choi, W., Ooka, R., Choudhary, R., Shukuya, M. (2017). Exergy analysis of a hybrid ground-source heat pump system. Applied Energy, 204, 31–46.
- [14] Hepbaşlı, A., Akdemir, O. ve Hancıoğlu, E.,(2003). “Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System”, Energy Conversion and Management, 44: 527-548.
- [15] Özgener, Ö. ve Hepbaşlı, A., (2007). “Modeling and Performance Evaluation of Ground Source (Geothermal) Heat Pump Systems”, Energy and Buildings, 39: 66-75.
- [16] Ünal, F., Akan, A. E., (2017). “Thermodynamic Analysis of Heating with Solar Assisted Vertical Type Ground Source Heat Pump: Mardin Case Study”, International Journal of Scientific and Technological Research, 3(2):1-8.
- [17] Esen, H., (2007). Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.
- [18] Kılıç, İ., (2007). “Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Değişik Dizayn Yöntemlerinin Değerlendirilmesi”, ÇÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1):279-289.