
Araştırma Makalesi / Research Article

Soğutma Sezonu için Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompası Ekserji Analizi: Sivas İli Örneği

Ferhat KILINÇ*, Dilara BAŞCIL

*Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas
(ORCID: 0000-0003-2707-6438) (ORCID: 0000-0002-1132-8963)*

Öz

Kullanımı yaygınlaşan toprak kaynaklı ısı pompaları farklı iklim bölgeleri için uygulanabilen yenilenebilir enerji kaynağı sistemlerinden biridir. Toprak altı sıcaklığının birkaç metre derinlikte yıl boyunca fazla değişmemesi ve toprağın ısıyı depolama özellikleri bakımından çok iyi bir ısı kaynağı olması ısı pompası sistemlerinin başlıca üstünlükleridir. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları da uygulama kolaylığı sebebiyle tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesine kurulan deney düzeneği ile 51 m³ hacme sahip iki odanın toprak kaynaklı ısı pompası vasıtasıyla soğutulması amaçlanmıştır. Sistem 2.5 m sondaj derinliğine sahip toprak devresi, ısı pompası devresi ve radyatör devresi olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Deneyler sırasında dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, salamuranın yoğunlaştırucuya giriş ve çıkış sıcaklığı, soğutucu akışkan R410A'nın ısı pompası bileşenlerine giriş ve çıkış sıcaklıkları ve soğutma suyunun radyatörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları ile farklı derinliklerde toprak sıcaklıklarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kompresör giriş ve çıkış basınçları ile salamuranın ve soğutma suyunun debisi ve güç tüketimleri ölçülmüştür. Deneysel veriler kullanılarak her bir sistem bileşeninin ekserji kaybı, ekserji kaybı oranı, termodinamik mükemmellik derecesi ve ekserji verimi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı pompası ve sistemin ekserji verimleri sırasıyla %41.90 ve %34.18 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekserji, ekserji verimi, ekserji kaybı, ekserji kaybı oranı, termodinamik mükemmellik derecesi.

Exergy Analysis of Horizontal Ground Source Heat Pump for Cooling Season: Sivas Province Sample

Abstract

Ground source heat pumps, which are becoming widespread, are one of the renewable energy source systems that can be applied for different climatic zones. The main advantages of heat pump systems are that the underground temperature does not change much during the year at a depth of a few meters and that the soil is a very good source of heat storage properties. Horizontal type ground source heat pumps are also preferred due to their ease of application. In this study, it was aimed to cool two rooms with a volume of 51 m³ by means of ground source heat pump with the experimental setup established in Sivas Cumhuriyet University. The system consists of three main sections: ground circuit with a drilling depth of 2.5 m, heat pump circuit and radiator circuit. During the experiments, outdoor temperature, indoor temperature, inlet and outlet temperature of brine to condenser, inlet and outlet temperatures of refrigerant R410A, inlet and outlet temperatures of cooling water and radiators to different depths were measured. In addition, compressor inlet and outlet pressures, brine and cooling water flow and power consumption were measured. Using the experimental data, exergy loss, exergy loss rate, thermodynamic excellence degree and exergy efficiency of each system component were examined. As a result of the calculations, exergy efficiency of heat pump and system were obtained as 41.90% and 34.18%, respectively

Keywords: Exergy, exergy efficiency, exergy loss, exergy loss rate, thermodynamic perfect degree.

*Sorumlu yazar: fkilinc@cumhuriyet.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.07.2019, Kabul Tarihi: 13.03.2020

1. Giriş

Günümüzde temel enerji sağlayıcı olarak kullanılan fosil yakıtların her geçen gün tükenmesi, değişen teknoloji ile enerji ihtiyaçlarının artması gibi birçok etken sebebiyle araştırmacılar alternatif enerji kaynakları arayışına yönelmişlerdir. Son yıllarda ülkemizde de hala araştırmaları ve uygulamaları devam eden ısı pompaları iyi bir enerji kaynağı alternatifi olarak ilgi çekmektedir. Isı pompası sistemleri hava, toprak, kuyu, göl, deniz gibi düşük sıcaklıktaki kaynaktan alınan ısıyı ısıtma mevsiminde istenilen ortama aktarmakta, soğutma mevsiminde ortamdaki çekilen ısı ise yüksek sıcaklık kaynağı olarak görev yapan toprak, hava, kuyu, göl ve denize aktarılmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompalarının kullanımı daha yaygın olmasına karşın toprak kaynaklı ısı pompası uygulamaları da son dönemde kullanılmaya başlanmıştır.

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) uygulamaları ile alakalı sayısal ve deneysel birçok akademik çalışma mevcuttur. Esen tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada Elazığ'da bulunan köy evinin bahçesine 30, 60 ve 90 m olmak üzere üç farklı derinlikte sondaj açılmıştır. Düşey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekserji verimleri, sondaj derinliğinin fonksiyonu olarak hem ısıtma mevsimi hem de soğutma mevsimi için belirlemiştir. Isı pompası ünite bazında 30, 60 ve 90 m'lik kuyular için ekserji verimleri sırasıyla %70, %78.3 ve %82.6 iken sistem bazında ise ekserji verimleri sırasıyla %68.4, %71.3 ve %75.8'dir. Ekserji kaybı değerleri, 30 m'lik sistem için kompresör, yoğunlaştırıcı, kılcal boru, buharlaştırıcı ve toprak ısı değiştiricisinde (TID) sırasıyla 0.358, 0.342, 0.2, 0.368 ve 0.233 olarak bulunmuştur. Aynı değerler 60 m'lik sistem için sırasıyla 0.328, 0.165, 0.018, 0.325 ve 0.347, 90 m'lik sistem için de 0.323, 0.702, 0.016, 0.309 ve 0.290 olarak bulunmuştur [1]. Batı Akdeniz Bölgesinde (Antalya, Burdur ve Isparta) bir ev için TKIP'nin sistem bileşenlerinin ve ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarını ısıtma mevsiminde gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak ekserji yıkım oranının en fazla kompresör ve kondensere ait olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Antalya ili için COP değeri 2.25-4.54 aralığında, Burdur ili için 5.4 ile 7.81 aralığında ve Isparta ili için 5.64 ile 7.89 aralığında bulmuşlardır [2]. Özdemir ve Özkaya, Ankara ilinde 20.7 m³ hacmindeki odayı ısıtmak ve soğutmak için deney düzeneği kurmuşlardır. Isı pompasının performans katsayısını (COP_{ip}) ısıtma mevsimi için 3.85, soğutma mevsimi için 3.12 olarak bulunmuştur. Sistemin performans katsayısını (COP_{sis}) ise ısıtma mevsiminde 3.45, soğutma mevsimi için 2.81 olarak bulunmuştur. Ayrıca ısıtma mevsiminde ısı pompasının ünite bazında ekserji verimi %77, soğutma mevsiminde %78.6 olarak saptanmıştır. Sistem bazında ise ısıtma mevsiminde %71 iken soğutma mevsiminde %70.8 olarak hesaplanmıştır [3]. Zhai vd., Şanghay Jiao Tong Üniversitesinde 180 m² kapalı alana sahip bir toplantı odasına ısı pompası sistemi kurmuşlardır. Isı pompasının nominal soğutma kapasitesi 5.3 kW, elektrik tüketimi ise 22.3 kW'tır. Isıtma modunda ise nominal ısıtma kapasitesi 29.5 kW, elektrik tüketimi ise 6.9 kW'dır. Deneysel inceleme hem soğutma modunda hem de ısıtma modunda gerçekleştirilmiştir. Deneysel incelemeye göre, ısıtma modunda COP değeri 3 ve soğutma modunda ise COP değerini 3.2 olarak bulmuşlardır [4]. Duman, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan enerji evi için ısıtma modunda enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Çalışma sonucunda ekserji verimi kompresörde %44.4, yoğunlaştırıcıda %88.5, akümülyasyon tankında %44.6, kısılma vanasında %88.2, buharlaştırıcıda %37, radyatörlerde %60.5, TID'de %52.6 olarak hesaplanmıştır [5]. Dikici vd. çalışmalarında konutları ısıtmak amacıyla kurulan güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performans özellikleri, enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Deney düzeneği, Elazığ Fırat Üniversitesi'nde 60 m² taban alanı üzerinde bulunan bir test odasına kurulmuştur. Deneylerini ısıtma mevsiminde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, güneş kaynaklı, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin her bir elemanı için ısıtma performans katsayıları, enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, hava kaynaklı ısı pompalarının performans katsayılarındaki düşüklük ve yüksek ekserji kaybı sebebiyle diğer ısı pompalarına göre daha az tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca TKIP sisteminde ekserji kaybının düşük ve bakım maliyetinin az olması gibi nedenlerden dolayı konutunda toprak alanı yeterli ise kullanılmasının yatırım olarak faydalı olacağı belirtilmiştir [6]. Babacan, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi kampüsünde mevcut ısıtma sisteminin toprak kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürülmesi analiz etmiştir. Bu çalışma sonucunda, ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da toprak kaynaklı ısı pompası diğer konvansiyonel sistemlere göre daha az işletme giderine sahip olduğu ve daha düşük enerji gerektirdiğini göstermiştir. Geri ödeme süresini ise 11 yıl olarak hesaplamıştır [7]. Bi vd., çalışmasında binanın hem ısıtma hem de soğutma modları için toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin

ekserji analizini yapmışlardır. Ekserji verimliliği, ekserji kaybı, ekserji kaybı oranı, ekserji kaybı katsayısı ve termodinamik mükemmel derecesinin analitik formüllerini türetmişlerdir. Sonuç olarak, bina ısıtma modu için ekserji kaybının soğutma modundan daha büyük olduğunu göstermiştir. Çalışılan sistemdeki maksimum ekserji kaybının kompresörde olduğunu belirtmişlerdir [8]. Gao vd. çalışmalarında, R290/yağ kullanan adyabatik olmayan bir emici ile hava soğutmalı atık ısıyla tahrikli bir emme soğutma çevrimi sunmuşlardır. Simülasyon sonuçlarından, sistemin COP değerini 0.4696 olarak bulmuşlardır. Sistemde ısı eşanjörünün ve jeneratörün, sistemin toplam ekserji tahribatına en büyük katkısı sağladığını belirtmişlerdir [9]. Öztürk, Güneş enerjisi ile elektrik üretmekte olan bir sistemle kombine toprak kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji verimliliklerini belirlemiştir. Isı pompası çevrimi için ekserji yıkım oranları, ekserji verimleri, sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin ekserji kayıp oranları ile enerji ve enerji dışı performans katsayısı (COP) değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin ekserji verimliliği, COP_{sys} ve COP_{ex} değerleri sırasıyla %74.72, %2.895 ve %0.39 olarak bulunmuştur [10]. Özsolak ve Esen Elazığ'da bulunan 12 m² alana sahip deney odasını TKIP ile ısıtmak amacıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda sistemin COP değeri 2.88 ve ısı pompasının COP değeri 3.55 olarak bulunmuştur. COP_{sis} değeri buharlaştırıcıya giren su antifriz karışımının sıcaklığının artmasıyla arttığı görülmüştür [11]. Ünal çalışmasında, Mardin ili Midyat ilçesinde bulunan deney odasını güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (DTKIP) ile ısıtma ve soğutma mevsimi için enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak ise soğutma mevsiminde kompresörün 3.704 kW'lık ısı kaybı 1.6539 kW'lık ekserji kaybı ve %27.26 ekserji kaybı oranı olduğunu belirtmiştir [12]. Esen çalışmasında, Elazığ ilinde bulunan toprak kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. 1 m derinlikteki TID ünitesinin enerji verimi 2.5 iken, 2 m derinlikteki TID ünitesinin ise 2.8'dir. Genel sistemin ekserji verimi ise 1 m de % 53.1 iken, 2 m derinlikte % 56.3 olarak bulunmuştur [13]. Luo çalışmalarında, Güney Almanya'da toprak kaynaklı ısı pompasının termal performansını incelemişlerdir. Isı pompası sistemini Nürnberg şehrindeki bir ofis binasına kurmuşlardır. Sistem performansını değerlendirmek için sistemi 4 yıl boyunca sürekli izlemişlerdir. Sonuç olarak tipik bir yaz günü için enerji verimliliği oranı (EER) 8.0, tipik bir kış günü için performans katsayısı 3.9 olarak değerlendirilmiştir [14].

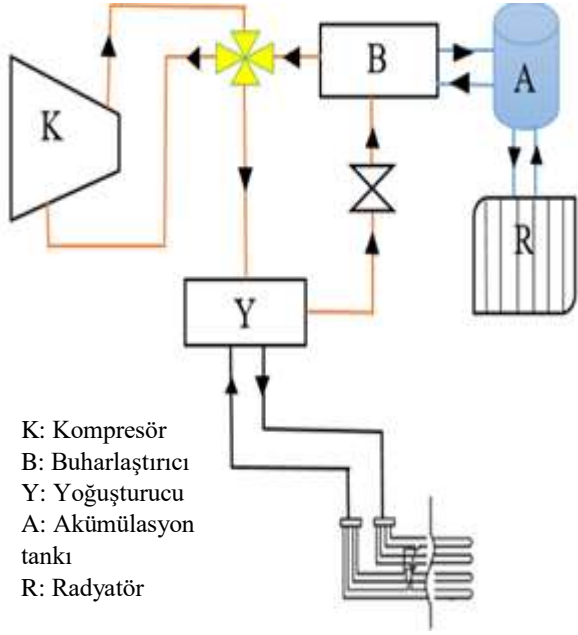
Bu çalışmada R410A soğutucu akışkanı kullanılan yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası (YTKIP) sisteminin Sivas ili koşullarındaki kullanılabilirliği soğutma sezonunda deneysel olarak incelenmiştir. Literatür çalışmasında görüldüğü üzere bu konuda pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada Türkiye'nin en soğuk illerinden biri olan Sivas'ta toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımının uygun olup olmayacağı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu yönüyle tatmin edici performans katsayılarıyla ılıman iklim bölgeleri için uygunluğu kanıtlanmış ısı pompası uygulamasının, soğuk iklim bölgeleri için deneysel olarak nasıl davranış sergileyeceği incelenmiştir.

2. Deney Düzenegi

Kurulan deney düzenegi ile 51 m³ hacme sahip iki odanın toprak kaynaklı ısı pompası vasıtasıyla soğutulması amaçlanmıştır. Sistem 2.5 m sondaj derinliğine sahip toprak devresi, ısı pompası devresi ve radyatör devresi olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Toprak devresinde salamura (antifriz-su), radyatör devresinde şebeke suyu ve ısı pompası devresinde ise R410A soğutucu akışkanı dolaştırılmıştır. Sistemin fotoğrafı ve şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneyler soğutma sezonunda 01 Temmuz - 01 Ağustos tarihleri arasında gerçekleşmiştir. Ancak bu makalede diğer günlere kıyasla en verimli gün olarak 26 Temmuz tarihi belirlenmiş ve 26 Temmuz tarihine ait veriler kullanılarak yapılan hesaplama sonuçları verilmiştir. Tablo 1'de ısı pompasının 1 Temmuz-1 Ağustos tarihleri için teknik değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Isı pompasının teknik değerleri

SOĞUTMA	Nominal kapasite	8.5 kW
	EER	4.29
	Maksimum çıkış suyu sıcaklığı	7 °C
	Soğutucu akışkan	R410A
	Kompresör tipi	SCROLL
	Kompresör markası	DAIKIN



1 Isı pompası, 2 Sirkülasyon pompası, 3 Manometreler, 4 Genleşme tankı, 5 Akümülayon tankı

Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve sistem görseli

2.1. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi verilen sonuçların hassasiyeti hakkında bilgi verir. Deneylerdeki belirsizlik ve hatalar; cihaz kalibrasyonu, cihaz seçimi, cihazın durumu, gözlem vb. durumlardan kaynaklanabilir. Belirsizlik analizi sonuçları daha önce aynı sistem üzerinde gerçekleştirilen çalışmadan alınmıştır [5]. Deneysel düzende kullanılan ölçüm cihazları için hassasiyet değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Sunulan çalışmada; sıcaklık, debi, elektrik güç değerleri ölçülmüştür. Kütleli debi sıcaklık ve elektrik gücü için toplam belirsizlikler için kaynakta belirtilen denklemler kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda; kütleli debi belirsizliği, rotametre okumasındaki belirsizlik (%), sistem sızıntılarıyla ilişkili belirsizlik (%), sıcaklık farklarıyla ilgili belirsizlik (%), sıcaklık için belirsizlikler, datalogger belirsizliği (%), termokupl belirsizliği (%), okuma hataları belirsizliği (%), elektrik gücü için belirsizlikler ve analizörün belirsizliği (%) verileri kullanılmıştır.

Tablo 2: Ölçüm cihazları için hassasiyet değerleri

Hacimsel debi	±%3.36
Isıl eleman çiftleri	±%1.43
Kompresör basıncı	±%4.55
Güç değerleri için	±%1.02

3. Teorik Analiz

3.1. Ekserji Analizi

Termodinamik bir sistemin ekserjisi, sistemin sadece çevresi ile etkileşimde olması halinde ve çevresi ile termodinamik olarak denge haline gelirken elde edilen maksimum iş miktarıdır.

Genel ekserji korunumu Denklem (1)’de verilmiştir.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_g - \dot{E}x_c \quad (1)$$

Burada, $(\dot{E}x_g - \dot{E}x_c)$ ısı, iş ve kütle yoluyla olan net ekserji transferi miktarı ifade ederken, $\dot{E}x_k$ ekserji kaybı miktarı olup Denklem 2 ile ifade edilir.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_{tsl} - \dot{E}x_{i\psi} + \sum \dot{E}x_{k\dot{u}tle,g} - \sum \dot{E}x_{k\dot{u}tle,\dot{c}} \quad (2)$$

Denklem 2 kullanılarak genel ekserji korunumu:

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{kay}}\right) \dot{Q}_{kay} - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\dot{c} \psi_\dot{c} - \dot{E}x_k \quad (3)$$

haline gelir ve ψ değeri:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4)$$

Burada \dot{Q}_{kay} kaynak bölgesinde T_{kay} sıcaklığında sınır boyunca olan ısı transferini, ψ akış ekserjisini, \dot{W} iş miktarını, h entalpiyi, s entropiyi ve sıfır alt indisi P_0, T_0 durumundaki ölü hal şartları göstermektedir. Sistem elemanlarında sadece kompresör için iş girişi olurken, diğer sistem elemanlarında iş girişi olmamaktadır.

3.2. Ekserji Verimi

Literatürde, ekserji verimi ile ilgili değişik ifadeler mevcuttur. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılan ekserji verimi tanımı elde edilen ekserjinin sağlanan ekserjiye oranıdır [8].

$$\eta_{II} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}} \quad (5)$$

3.3. Termodinamik Mükemmellik Derecesi

Termodinamik mükemmellik derecesi; çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranıdır [8].

$$\varepsilon = \frac{\text{çıkan ekserji}}{\text{giren ekserji}} \quad (6)$$

3.3. Ekserji Kaybı Oranı

Ekserji kaybı oranı sistemin herhangi bir elemanın ekserji kaybının tüm sistemdeki toplam ekserji kaybına oranıdır [8].

$$d = \frac{\dot{E}x_k}{\sum \dot{E}x_k} \quad (7)$$

Buharlaştırıcı ve yoğuşturucuya ait debi değerleri enerji dengesi ile bulunmuştur. Ekserji hesaplamalarında ölü hal sıcaklığı 25 °C ve basıncı 1,013 bar olarak seçilmiştir. Tablo 3’de soğutma mevsiminde belirlenen çeşitli fiziksel özellikler ve ekserji miktarları verilmiştir.

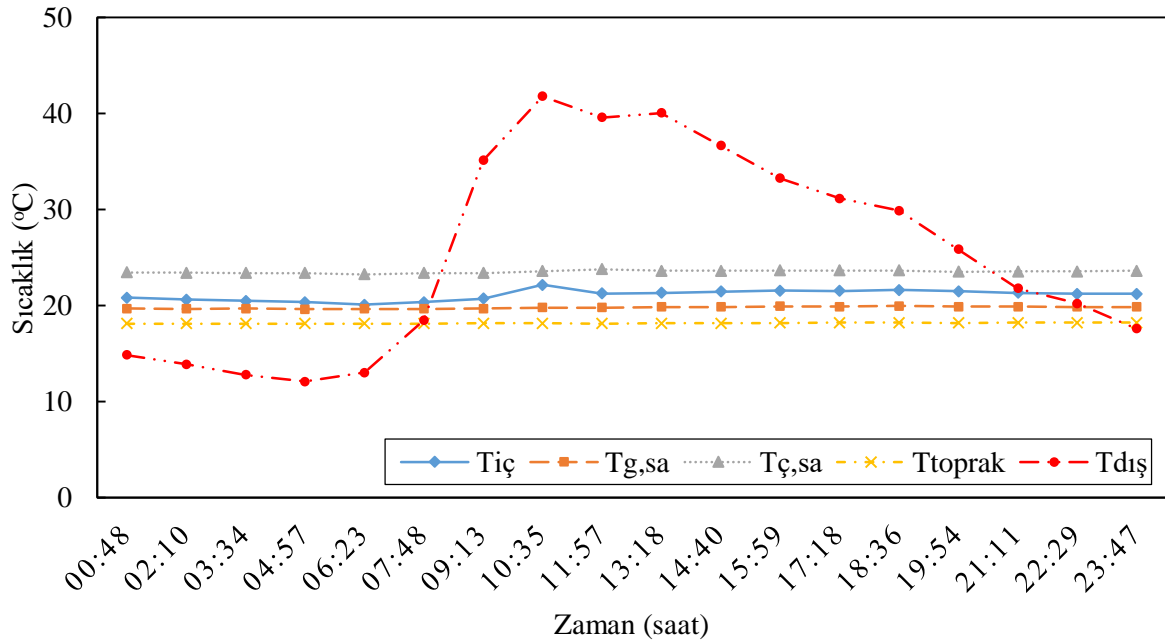
Sistemin performansını analiz edebilmek için deney sonuçlarının ortalamalarından yararlanılmıştır. Şekil 2’de toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin çalıştırılması sonucunda ulaşılan iç ortam, dış ortam ve salamura giriş, çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi verilmiştir.

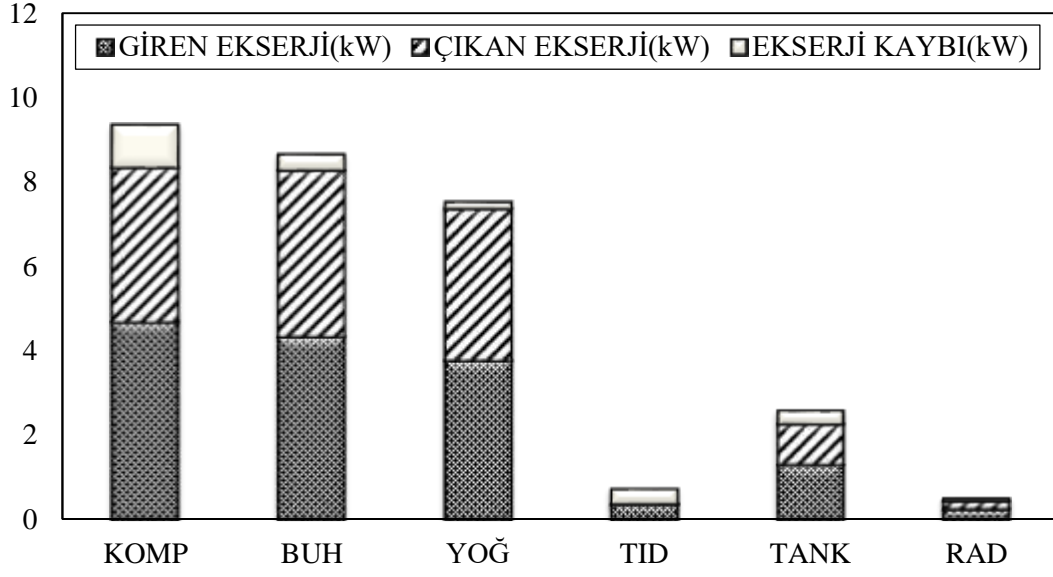
Şekil 3’te sistem elemanlarının günlük ekserji değerleri verilmiştir. Sistem elemanlarının ekserji kaybı değerleri kompresör de 1.014 kW, buharlaştırıcı da 0.373 kW, yoğuşturucu da 0.168 kW, toprak ısı değiştiricisinde (TID) 0.369 kW, akümülayon tankında 0.325 kW ve radyatör 0.05 kW olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada en büyük ekserji kaybının kompresörde olduğu gözlemlenmiştir. Sistem elemanlardaki ekserji kaybının dış ortam sıcaklığından etkilendiği düşünülmektedir.

Ekserji kaybı oranı iyileştirme yapılacak sistem bileşenini belirleme de yardımcı olmaktadır. Şekil 4’te sistem bileşenlerinin ekserji kaybı oranları verilmiştir. Ekserji kaybı oranı kompresörde % 38, buharlaştırıcıda %14, yoğuşturucuda %6, toprak ısı değiştiricisinde %14, akümülayon tankında %12 ve radyatörde %1,8 olarak bulunmuştur. Sistem elemanlarına bakıldığında ekserji kaybı oranının en yüksek kompresörde olduğu görülmektedir.

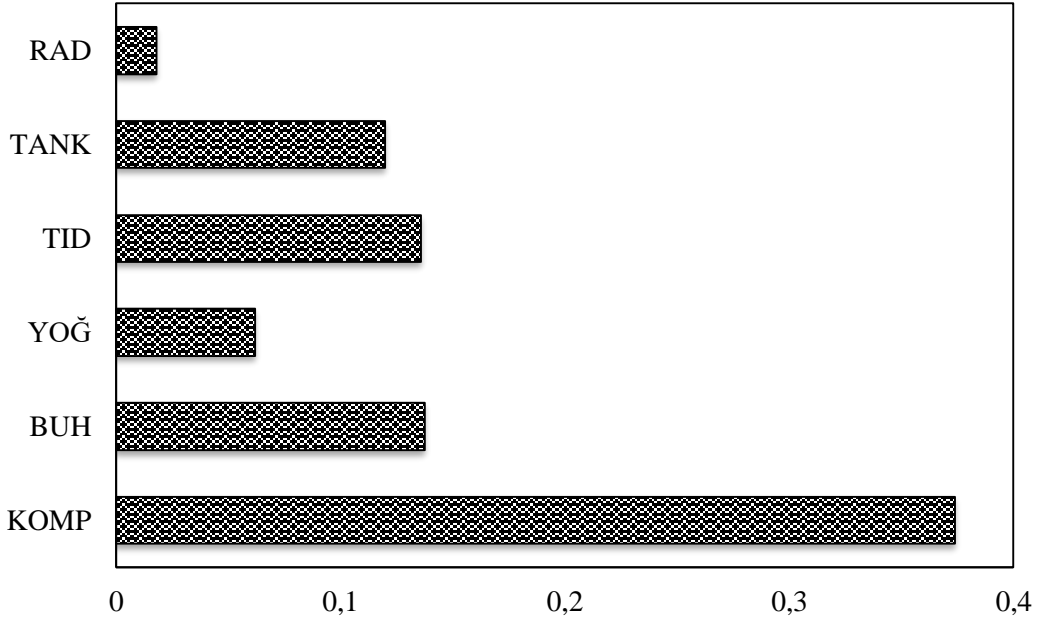
Tablo 3. Soğutma mevsiminde belirlenen çeşitli fiziksel özellikler ve ekserji miktarları

ELEMAN	AKIŞKAN	FAZ	SICAKLIK T(°C)	BASINÇ P,bar	DEBİ m (kg/s)	ÖZGÜL ENTALPİ h (kJ/kg)	ÖZGÜL ENTROPİ s (kJ/kgK)	ÖZGÜL EKSERJİ ψ (kJ/kg)	EKSERJİ $\dot{E}_x = \dot{m} \psi$ (kW)
-	R410A	ÖLÜ HAL	25	1,013		455,81	2,15648		
-	SU	ÖLÜ HAL	25	1,013		104,13	0,36467		
Kompresör giriş	R410A	KIZGIN BUHAR	6,8146	8,41	0,0408	429,8383	1,8364	69,4685	2,8351
Kompresör çıkış	R410A	KIZGIN BUHAR	39,5040	17,3	0,0408	445,3822	1,8209	89,6107	3,6572
Yoğuşturucu giriş	R410A	KIZGIN BUHAR	36,5663	17,3	0,0408	442,3278	1,8111	89,4809	3,6519
Yoğuşturucu çıkış	R410A	SIVI	24,6061	17,3	0,0408	240,7761	1,1402	87,9726	3,5903
Buharlaştırıcı giriş	R410A	ISLAK BUHAR	7,7541	8,41	0,0408	212,21	1,0434	88,2618	3,6021
Buharlaştırıcı çıkış	R410A	BUHAR	7,8784	8,41	0,0408	430,7672	1,8397	69,4110	2,8328
Akümülayon tankı giriş	SU	SIVI	10,9391	1,5	0,7777	44,99	0,1615	1,4322	1,1137
Akümülayon tankı çıkış	SU	SIVI	13,6878	1,5	0,7777	56,46	0,2017	0,9225	0,7174
TID gidiş	SALAMURA	SIVI	24,3749	1,5	0,5727	101,5	0,3558	0,0056	0,0032
TID geliş	SALAMURA	SIVI	19,7889	1,5	0,5727	81,99	0,2898	0,1914	0,1096
Radyatör giriş	SU	SIVI	12,1163	1,5	0,2108	49,87	0,1787	1,1929	0,2515
Radyatör çıkış	SU	SIVI	14,0735	1,5	0,2108	58,06	0,2073	0,8528	0,1798

**Şekil 2.** İç/dış ortam, salamura giriş/çıkış ve toprak sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi



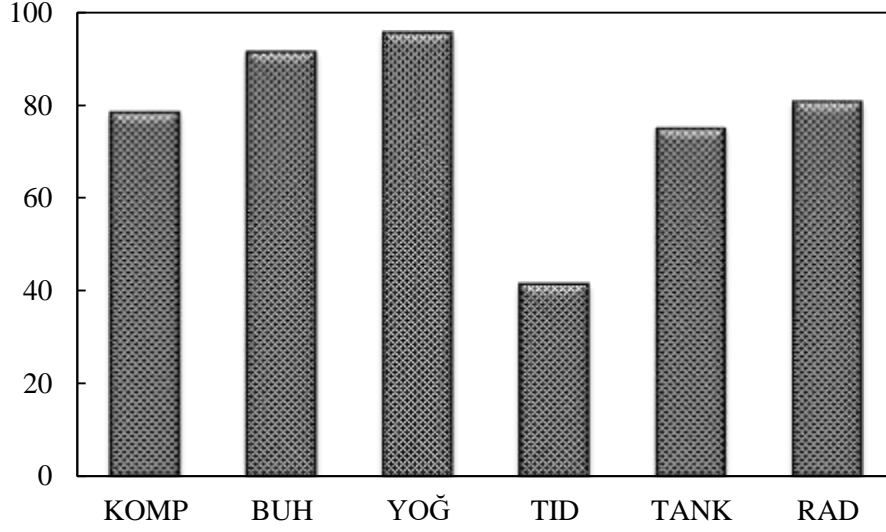
Şekil 3. Sistem elemanlarına ait giren, çıkan ve kayıp ekserji miktarları



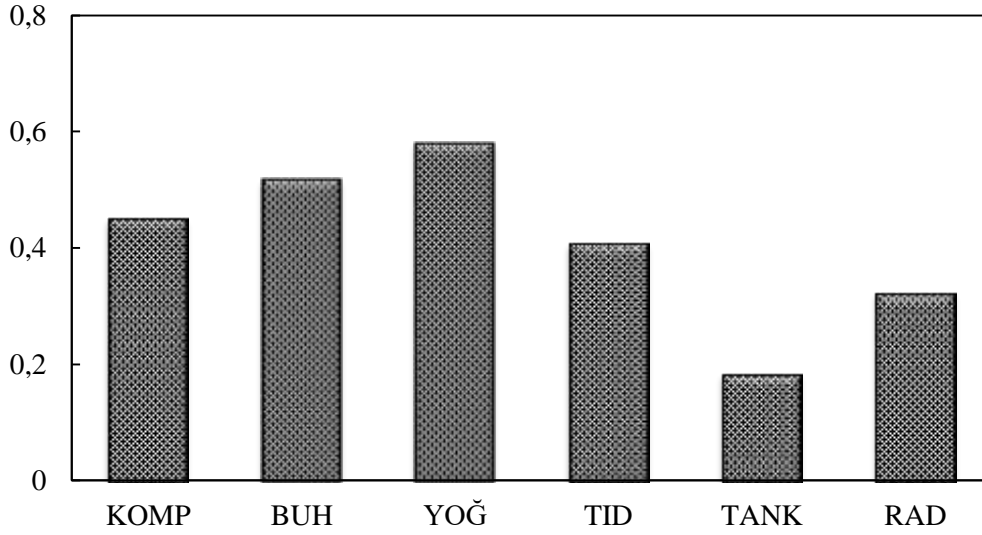
Şekil 4. Sistem elemanlarının ekserji kaybı oranları

Şekil 5'te sistem bileşenlerinin termodinamik mükemmellik dereceleri verilmiştir. Termodinamik mükemmellik derecesi kompresör %78, yoğuşturucuda %96, akümülayon tankında %75, radyatörlerde %81, buharlaştırıcıda % 91, TID'de %41 değerinde bulunmuştur. En düşük termodinamik mükemmellik derecesi toprak ısı değiştiricisine aittir.

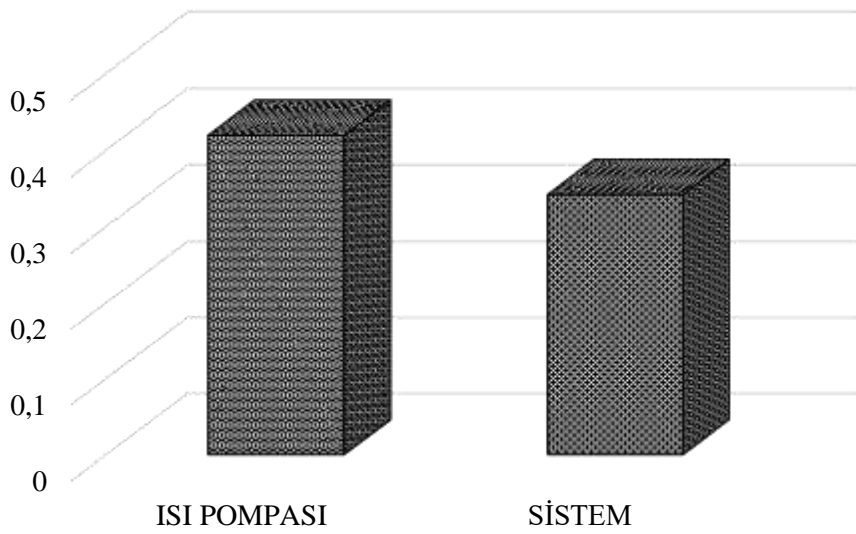
Şekil 6'da sistem elemanlarına ait ekserji verimleri verilmiştir. Şekil 7' de ise sistemin ve ısı pompasının ekserji verimleri verilmiştir. Soğutma mevsimi için yapılan ekserji analizi hesaplamalarından bulunan sonuçlara göre ısı pompası ekserji verimi % 41.90, sistemin verimi % 34.18 iken sistem elemanlarının ekserji verimleri kompresör de %45, buharlaştırıcı da %52, yoğuşturucu da %58, toprak ısı değiştiricisinde (TID) %41, akümülayon tankında %18 ve radyatör %32 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Sistem elemanlarının termodinamik mükemmellik derecesi



Şekil 6. Sistem elemanlarının ekserji verimi



Şekil 7. Sistemin ve ısı pompasının ekserji verimi

4. Sonuç ve Öneriler

Yatay toprak kaynaklı ısı pompasının Sivas ili için soğutma performansının araştırıldığı deneysel çalışmada; soğutma performansı için Temmuz ayına ait birer günlük veriler kullanılmıştır. Böylece ısı pompası uygulamasının Sivas ili için tipik yaz sezonu iklim özelliklerinin sergilenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada iki odadan oluşan toplam 51.3 m³ hacme ısı pompası uygulaması yapılmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek ekserji kaybının 1.014 kW ile kompresörde gerçekleştiği görülmüştür. Toprak ısı değiştiricisinin verimi ile termodinamik mükemmellik derecesi %41 olarak hesaplanmıştır. Aynı sonucun çıkması toprak ısı değiştiricisinde daha fazla iyileştirme yapamayacağımızı düşündürmektedir. Isı pompası ve sistemin ekserji verimleri ise sırasıyla %41.90 ve %34,18 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ısı pompası Sivas ili için soğutma mevsiminde kullanmaya elverişlidir.

Sivas ili için ısı pompasının yatay olarak uygulanması sonucu elde edilen veriler ışığında sistemdeki ekserji verimliliği çeşitli yollarla iyileştirilebilir. Bunun için sistem elemanlarının tersinmezlikleri azaltılmalıdır.

Son olarak toprağın ekolojik bir enerji kaynağı olması ve yıl boyunca toprak sıcaklığının stabil kalması ısı kaynağı olarak ısı pompalarını cazip hale getirmiştir. İlk yatırım maliyetinin fazla olmasına karşın, bakım maliyetlerinin düşük olması, hem ısıtma hem de soğutma da kullanılması toprak kaynaklı ısı pompalarının tercih sebebi olması için önemli özelliklerdendir. Toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinin fiyatı ve sondaj kazı maliyetleri düşürülürse bu sistemlerin kullanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan yararlı olacaktır. Ayrıca Sivas ili için yatay tip ısı pompası uygulamasından elde edilen veriler ışığında gelecek çalışmalar için DTKIP kullanımı daha iyi olacaktır.

EK: Semboller

\dot{E}_x	Ekserji [kJ, kW]
\dot{E}_{x_k}	Ekserji kaybı [kW]
d	Ekserji kaybı oranı
η	Verim [%]
\dot{W}	Güç [kW]
S	Entropi [kJ/K]
s	Entropi, birim kütle için [kJ/kg.K]
T	Sıcaklık [K, °C]
ε	Termodinamik mükemmellik derecesi
ψ	Açık bir sistemde birim kütle için ekserji değişimi [kJ]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
\dot{Q}	Çekilen/atılan ısı [kW]
h	Entalpi [kJ/kg]
$T_{g,sa}$	Salamura geliş sıcaklığı
$T_{ç,sa}$	Salamura gidiş sıcaklığı
YOĞ	Yoğuşturucu
BUH	Buharlaştırıcı
TANK	Akümülyasyon tankı
TID	Toprak ısı değiştiricisi
RAD	Radyatör
KOMP	Kompresör
TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası
TID	Toprak ısı değiştirici
DTKIP	Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası
YTKIP	Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası
0	Referans hali

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Ferhat KILINÇ kaynak ve cihaz sağlama, analiz, yorum ve makalenin yazımı konusunda; Dilara BAŞÇIL ise analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Esen H. 2007. Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Öztürk M., Elbir A., Yakut A.K., Özek N. 2012. Güneş destekli ısı pompasının enerji ve ekserji analizi. Mühendis ve Makina Dergisi, 53 (626): 46-55.
- [3] Özdemir M.B., Özkaya M.G., 2015. Ankara ili şartlarında düşey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizi. Politeknik Dergisi, 18 (4): 269-280.
- [4] Zhai X.Q., Cheng X.W., Wang R.Z. 2016. Heating and cooling performance of a minitype ground source heat pump system. Applied Thermal Engineering, 111: 1366-1370.
- [5] Duman N. 2018. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sivas Şartlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [6] Dikici A., Akbulut A., Gülçimen F. 2006. Güneş, hava ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompalarının Elazığ şartlarında kullanımının deneysel olarak araştırılması ve enerji ve ekserji analizleri. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 25 (2): 49-61.
- [7] Babacan Z. 2008. Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [8] Bi Y., Wang X., Liu Y., Zhang H., Chen L. 2009. Comprehensive exergy analysis of a ground-source heat pump system for both building heating and cooling modes. Applied Energy, 86: 2560-2565.
- [9] Gao Y., He G., Chen P., Zhao X., Cai D. 2019. Energy and exergy analysis of an air-cooled waste heat-driven absorption refrigeration cycle using R290 / oil as working fluid. Energy, 173: 820-832.
- [10] Öztürk M. 2014. Energy and exergy analysis of a combined ground source heat pump system. Applied Thermal Engineering, 73: 362-370.
- [11] Özsolak O., Esen M. 2011. Slinky toprak ısı değiştirgeçli toprak kaynaklı ısı pompasının deneysel olarak araştırılması. Technological Applied Sciences, 6 (3): 37-47.
- [12] Ünal F. 2014. Güneş Enerjisi Destekli Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Mardin İli İçin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Esen H., İnallı M., Esen M., Pıhtılı K. 2007. Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers. Buildg and Environment, 42: 3606-3615.
- [14] Luo J., Rohn J., Bayer M., Priess A., Wilkmann L., Xiang W. 2015. Geothermics Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany. Geothermics, 53: 57-66.