

Thermodynamic Analysis of Heating with Solar Assisted Vertical Type Ground Source Heat Pump: Mardin Case Study

Fatih Unal (Corresponding author)
Mardin Artuklu University, Mardin Vocational School, 47100, Mardin, Turkey
funal81@hotmail.com

Ahmet Erhan Akan
Namik Kemal University, Corlu Vocational School, 59870, Tekirdag, Turkey
aeakan@nku.edu.tr

Abstract

In this study, for experimental area with a ground area of 120 m² determined in district Midyat of province Mardin in the hot climate zone of Turkey, analysis of energy and exergy are applied to the system by investigating the results of experimental studies for the heating season of solar assisted vertical type ground source heat pump integrated with fan coil system. Solar energy is used with the aim of sustaining the heat pump system. Instant data records were taken in the heating process (01.10.2013 / 31.03.2014) for the 14 node points determined in the installed system. In the analysis of experimental data through immediate data recording, the COP value of the system was 3.61, the energy loss was 8.9952 kW, the loss of exergy was 6.2673 kW, the energy efficiency was 64.52% and the second law efficiency was 24.51%. In the heating season, solar energy's rate of meeting energy need of the heat pump system was found to be 9.75%. The elements with the most loss of exergy in the system are designated as collectors and compressors. In this context, it has been determined that priority should be given to compressor for improvement studies to be considered. As a result, it has been determined that the system examined for Mardin Province is appropriate.

Keywords: Solar Assisted Ground Source Heat Pump, Energy, Exergy, thermodynamic analysis

Güneş Enerjisi Destekli Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Isıtmanın Termodinamik Analizi: Mardin Durum Çalışması

Özet

Bu çalışmada Türkiye'nin sıcak iklim kuşağında bulunan Mardin ili Midyat ilçesinde belirlenen 120 m² taban alanına sahip deney alanı için fan coil sistemiyle entegre çalışan güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma sezonu için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelenerek sisteme ve sistem elemanlarına enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Güneş enerjisi, dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemine destek olması amacıyla kullanılmaktadır. Kurulan sistemde belirlenen 14 düğüm noktası için ısıtma sürecinde (01.10.2013 / 31.03.2014) anlık veri kayıtları alınmıştır. Elde edilen deneysel verilerle yapılan analizlerde sistemin COP değeri 3,61, enerji kaybı 8,9952 kW, ekserji kaybı 6,2673 kW, enerji verimliliği %64,52 ve ikinci yasa verimliliği %24,51 olarak bulunmuştur. Güneş

Page | 1

www.iiste.org

enerjisinin ısıtma sürecinde ısı pompası sisteminin enerji ihtiyacını karşılama oranı %9,75 olarak hesaplanmıştır. Sistemde en fazla ekserji kaybı olan elemanlar kollektörler ve kompresör olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda yapılması düşünülecek iyileştirme çalışmaları için kompresöre öncelik verilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, incelenen sistemin Mardin İli için kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası, Enerji, Ekserji, Termodinamik analiz

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji fiyatlarının artmasından dolayı enerjinin daha da verimli kullanılması zorunluluk haline gelmiştir. Enerjinin doğru ve ekonomik kullanmanın önemli bir aracı da sosyal ve ekonomik büyüme hedeflerine engel olmayacak şekilde enerji tüketiminin azaltılması diğer bir deyişle enerji verimliliğin sağlanmasıyla mümkün olacaktır [1]. Türkiye güneş enerjisi yönünden oldukça şanslı bir coğrafi yapıya sahiptir. Önemli derecede güneş alan Türkiye’de, bu enerjiyi kullanmak gerek çevre kirliliği gerekse enerji ekonomisine katkı sağlaması bakımından son derece önemlidir. Mevcut enerji talebini karşılamanın yanında verimlilik artırma çalışmaları yapılarak daha az enerji ile daha çok iş yapılabilir. Aynı zamanda enerji üretim ve tüketimi esnasında çevreye verilen zarar minimuma indirilmelidir. Bunun için özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile beraber kullanılacak alternatif teknolojiler geliştirilmeli ve bu sistemlerin sanayi ve günlük yaşamda kullanılabilirliğini sağlayacak çalışmalara yönelmek gerektiği görülmektedir [2,3].

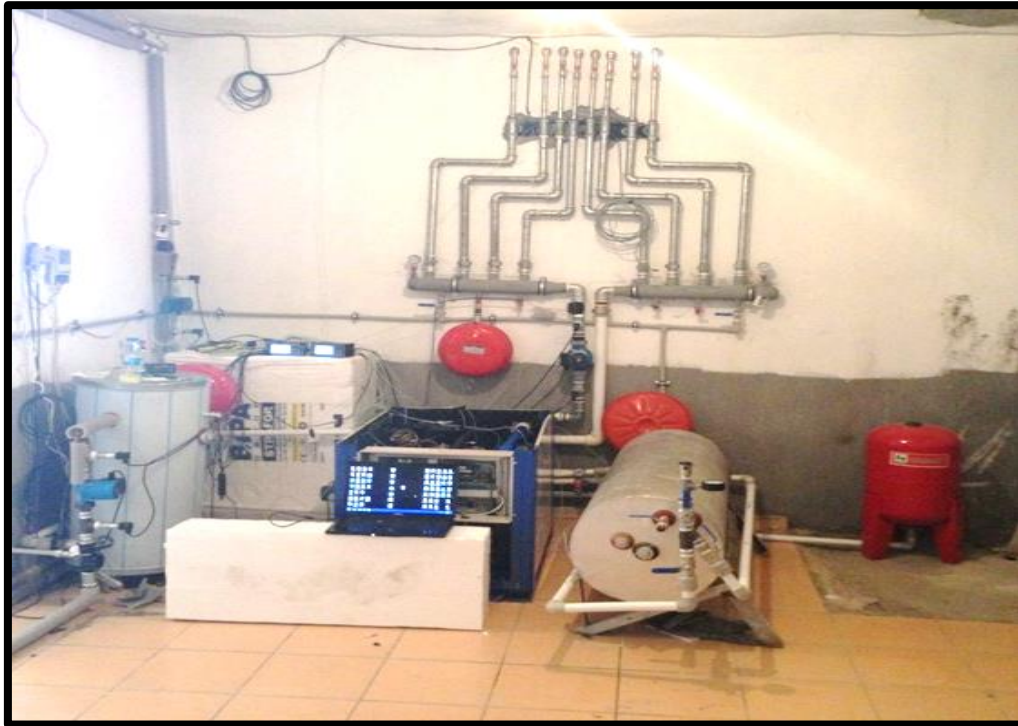
Literatürde, TKIP’ları ve güneş enerjisi desteği üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Cervantes ve Torres-Reyes [4], güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi üzerinde deney yapmışlar ve deney sonuçlarına bağlı olarak ekserji analizi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde de sistemdeki tersinmezliğin en fazla ısı pompasının evaporatöründe olduğunu belirlemişlerdir. Kıncay ve Temir [5], İstanbul Hadımköy’de bir villanın ısı kaybı ve ısı kazancı değerlerini belirleyerek hem ısıtma hem de soğutma sezonu için dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için boyutlandırma hesapları yapmışlardır. Dikici [6], Elâzığ İl’inde konutların ısıtılması amacıyla güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası deney seti kurmuştur. Çalışmasında tek tek ve ikili gruplar halinde sistemlerin performans katsayısı, güneş kolektörlerinin anlık verimi, sistemlerin ekserji kaybı ve ekonomi analizini yapmıştır. Yaptığı ekonomi analizi sonuçlarına göre, Elâzığ’da ısı pompası sistemleri içinde en karlı yatırım olarak TKIP sistemlerini göstermiştir. Hepbaşlı ve Özgener [7], Türkiye’de güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri için enerji ve ekserji analizi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerini sıcak su ısıtması, geleneksel tipte alan ısıtması, direkt yayılımla alan ısıtması ve güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile sera ısıtması şeklinde dört gruba ayırarak değerlendirmede bulunmuşlardır. Bunun yanında ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili bilgiler vermişlerdir. Özgener ve arkadaşları [8], İzmir’de Ege Üniversitesi’nin Güneş Enerji Enstitüsünde kurulan dikey U-borulu toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekserji ve eksergo ekonomik analizini yapmışlardır. Yapılan analizin neticesinde sistemdeki tersinmezlikleri ve yerlerini belirlemişlerdir. Hepbaşlı ve Özgener [9], çalışmalarında sera ısıtmasında çalışan 5 m dikey ve 1x1/4 inc nominal çap U-kıvrımlı ısı değiştiricisi ile çalışan güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin sera ısıtması için ekserji analizi yöntemini kullanarak deneysel performansı üzerine çalışmalar yapmışlar. Çalışmalarının sonucunda ısı pompası sisteminin COP değerini 2,64, tüm sistemin COP değerini de 2,38 olarak belirlemişlerdir. Çakır ve arkadaşları [10], deneysel enerji ve ekserji performans analizi yapmak için, havadan havaya, havadan suya, sudan suya, sudan havaya olacak şekilde dört farklı modeli çalıştırabilen sadece bir adet santrifüj kompresör kullanarak çalışabilen çok fonksiyonlu bir ısı pompası tasarlamışlar. Elde edilen sonuçlara göre maksimum COP değerine sahip olan ısı pompası ünitesini 3,94 ile sudan havaya, bunu takiben 3,73 ile sudan suya, 3,54 ile havadan havaya ve son olarak 3,40 ile havadan suya olarak belirlemişlerdir. Dört ısı pompası tipinin ortalama ekserji verimliliğine göre sıralamasını ise şu şekilde belirlemişlerdir; %30,23 ile sudan havaya, %30,22 ile havadan havaya, %24,77 ile havadan suya, %24,01 ile sudan suya. Akbulut ve arkadaşları [11], Yıldız Teknik Üniversitesi Davut Paşa Kampüsü’nde kurulu olan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evine ait, dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile duvardan ısıtma sistemi üzerine 01 Ocak- 30 Mart 2013 Tarihleri arasında kış sezonu için deneysel ve teorik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sistemin enerji, ekserji, eksergoçevresel ve

eksergoekonomik analizlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak sistemin enerji ve ekserji verimliliklerini sırasıyla %67,36 ve %27,40, aylık ortalama ekserjiye dayalı çevresel etki değerini 0.212 mPts /s ve exergoekonomik faktörlerin %74,97'den %75,77'ye değişim gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak Türkiye'nin sıcak iklim kuşağında yer alan Mardin İ'inde yenilenebilir enerji sistemlerinin alternatif teknolojilerle desteklenmesi amacıyla kurulan güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma sezonu boyunca yapılan deneysel çalışmada elde edilen verilerle enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Elde edilen verilere bağlı olarak sistemin Mardin İli için kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

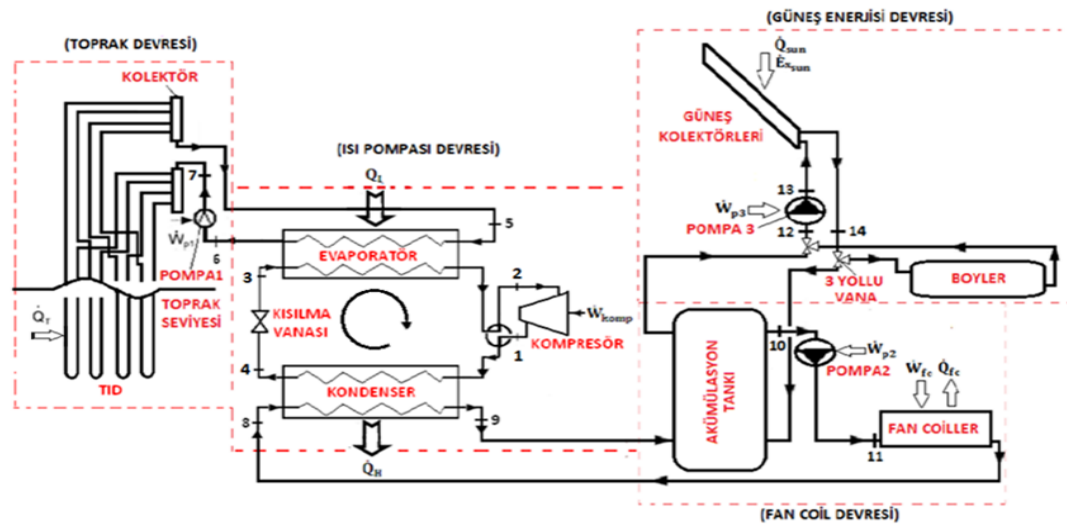
2. MATERYALVE METHOD

Bu çalışmada; Mardin ili Midyat ilçesinde belirlenen deney alanı için kullanılan güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma sezonu için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelenerek sisteme enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Deney tesisatı (Şekil 1), toplam on bir adet alt üniteyi içeren dört devreden oluşmuş olup, Deney odası 15x8 ölçülerinde 120 m² taban alanına sahip bir bölmedir. Deney tesisatı, belirlenen mahalın ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılmakta olan gerçek bir sistemdir. Ayrıca sisteme yerleştirilen sensörler (Oem basınç transmitteri (0-40 bar), PT-100 termokupl, GT-TD-20 pvc türbin tip debimetre), piranometre ve dataloggerlar (2 adet 16 kanallı Kehao DT200-B) vasıtasıyla saniye-dakika bazında veri toplama ve değerlendirme yapılmıştır. Elektrik ölçümleri ise sisteme bağlanan sayaç ile takip edilmiştir.



Şekil 1. Deney tesisatı

Deney için kullanılan mahalın ısıtma ihtiyacının karşılanması için DTKIP kullanılmıştır. Güneş enerjisi ısıtma sezonunda DTKIP sistemini desteklemektedir. Güneş enerjisinden elde edilen sıcak su ise bir denge tankı gibi görev yapan akümülayon tankına iletilir. Böylece güneş enerjisi ile ısı pompası sistemi desteklenmiş olur. Sistem temel olarak 4 devreden oluşmaktadır. Bunlar toprakaltı devresi, ısı pompası devresi, fan coil devresi ve güneş enerji devresidir. ısıtma sürecine ait sistemin genel şeması Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Isıtma sezonunda genel sistem şeması

2.1. ANALİZLER

Sistem ve sistem elemanlarına uygulanan termodinamik analiz için kullanılan eşitlikler belirtilen referanstan alınmıştır [12]. Tablo 1’de ısıtma sürecinde ölçülen debi ve sıcaklık değerlerinin ortalamaları, soğutucu akışkan R407C için Solkane ve Coolpack, su için termodinamik tablolar ve EES programından alınan entalpi ve entropi değerleri termodinamik eşitliklere uygun olarak hesaplanan birim zamanda enerji ve ekserji değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Isıtma Sürecinde Düğüm Noktalarına Ait Belirlenen Değerler

Düğüm No	Faz	m[kg/s]	T [°C]	h[kj/kg]	s[kj/kgK]	Ė[kW]	Ėx [kW]
1	Gaz	0,09566	65,0	456,58	1,827	43,676	6,8496
2	Sıvı	0,09566	8,8	418,70	1,788	40,053	4,2451
3	Yaş Buhar	0,09566	3,1	263,14	1,220	25,172	4,2058
4	Gaz	0,09566	41,8	263,14	1,211	25,172	4,4409
5	Sıvı	0,900	9,3	39,060	0,141	35,154	0,5272
6	Sıvı	0,900	4,7	19,757	0,072	17,781	0,1172
7	Sıvı	0,900	4,6	19,337	0,070	17,403	0,2309
8	Sıvı	0,575	35,1	146,982	0,506	84,515	5,0647
9	Sıvı	0,575	42,8	179,165	0,610	103,020	7,2355
10	Sıvı	0,575	42,6	178,322	0,607	102,535	7,2220
11	Sıvı	0,575	42,5	177,900	0,605	102,293	7,2934
12	Sıvı	0,100	37,4	156,601	0,538	15,660	0,9686
13	Sıvı	0,100	37,3	156,180	0,536	15,618	0,9812
14	Sıvı	0,100	41,5	173,720	0,592	17,372	1,2055

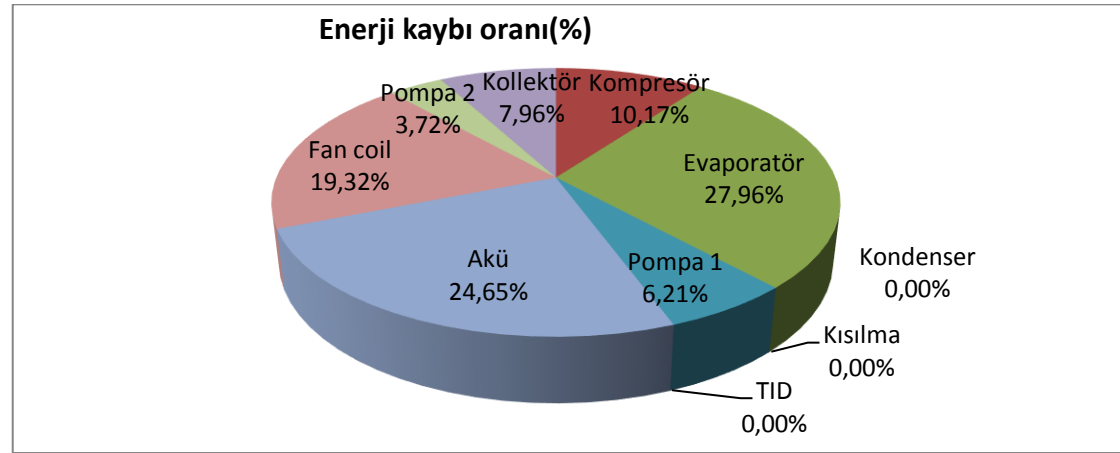
* $\dot{W}_{komp}=4,530$ kW; $\dot{W}_{p1}=0,176$ kW; $\dot{W}_{p2}=0,090$ kW; $\dot{W}_{p3}=0,040$ kW; $\dot{W}_{FC}=0,300$ kW; $\dot{Q}_{sun}=2,464$ kW; $\dot{E}_{x,sun}=2,348$ kW; $\dot{Q}_T=17,751$ kW; $\dot{E}_{x,T}=0,8183$ kW; $\dot{Q}_{FC}=16,3558$ kW; $\dot{E}_{x,FC}=2,035$ kW

Isıtma süreci için, Tablo 1’de verilmiş olan değerlere bağlı olarak termodinamik eşitlikler yardımıyla sınırları belirlenen sistem ünitelerinin enerji ve ekserji analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Isıtma sürecinde elemanlara ait ortalama enerji ve ekserji analizi sonuçları

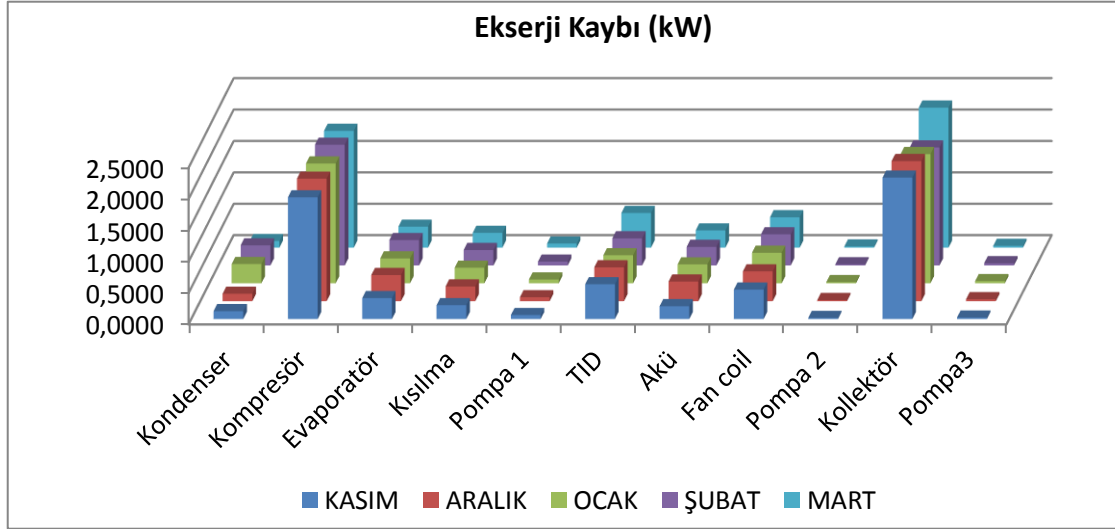
SİSTEM	\dot{E}_g [kW]	\dot{E}_c [kW]	\dot{E}_{lg} [kW]	η [%]	\dot{E}_{x_g} [kW]	\dot{E}_{x_c} [kW]	$\dot{E}_{x_{lg}}$ [kW]	η_{II} [%]
Tüm Sistem	25,351	16,3558	8,9952	64,52	8,3023	2,035	6,2673	24,51
Kondenser	128,192	128,192	0,000	100,00	11,9143	11,6764	0,2379	98,00
Kompresör	44,583	43,676	0,907	79,98	8,7751	6,8496	1,9255	78,06
Evaporatör	60,326	57,834	2,492	85,66	4,7330	4,3623	0,3707	92,17
Kısılma Vanası	25,172	25,172	0,000	100,00	4,4409	4,2058	0,2351	94,71
Toprakaltı ısı değiştiricisi	35,154	35,154	0,000	100,00	1,0492	0,5272	0,5220	50,25
Akü tankı	120,392	118,195	2,197	28,33	8,4410	8,1906	0,2504	97,03
Fan coil	102,593	100,871	1,722	90,47	7,5934	7,0997	0,4937	93,50
Kolektör	18,082	17,372	0,710	71,19	3,3292	1,2055	2,1237	36,21

Tablo 2’de sistem elemanlarına ait giren, çıkan ve kayıp enerji ve ekserji miktarı ile enerji ve ekserji verimliliği hesaplanmıştır. Tüm sistemde enerji kaybı 8,9952 kW, ekserji kaybı ise 6,2673 kW olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre, toprakaltı ısı değiştiricisi, kondenser ve kısılma vanası kayıpsız kabul edildiği için enerji kaybı görülmemektedir. Isıtma sezonunda sistem elemanlarına ait bir elemandaki enerji kaybı miktarının tüm sistemdeki enerji kaybı miktarına bölünmesiyle elde edilen enerji kaybı oranı değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



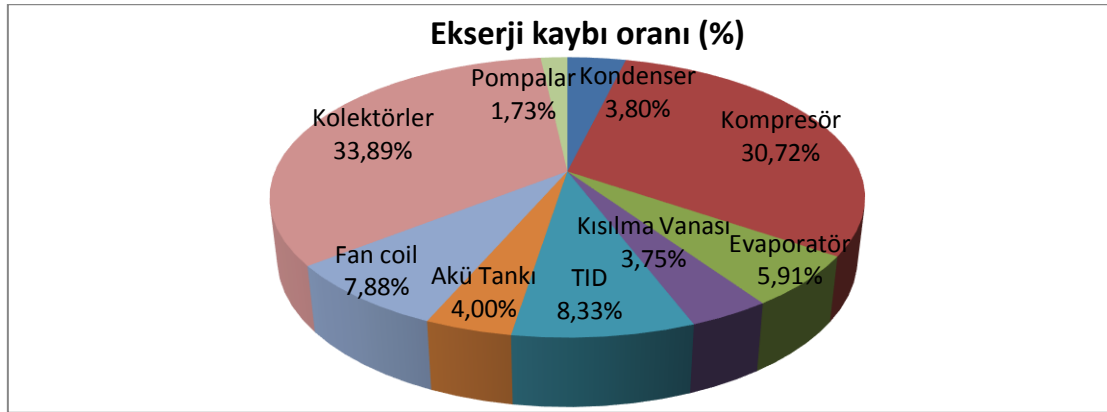
Şekil 3. Isıtma sürecinde sistem elemanlarına ait enerji kaybı oranı.

Şekil 3’te yapılan kabul ve hesaplamalar göre sistemde en fazla enerji kaybı oranına sahip elemanlar %27,96 ile evaporatör ve %24,65 ile akümülayon tankıdır. Evaporatör enerji verimliliği yüksek olan elemanlardan biridir. Evaporatördeki enerji kaybı yüksek enerji transferi yapmasından kaynaklanmaktadır. Akümülayon tankındaki enerji kaybı ise akümülayon tankının bir denge elemanı olarak sıcak suyu depolama amaçlı kullanılmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Şekil 4’te ısıtma sürecinde tüm sistem ve elemanlarına ait aylık ortalama ekserji kaybı dağılımı verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde sistem elemanları birbirleriyle mukayese edilirken aynı zamanda iklim değişiminin etkileri de görülebilmektedir.



Şekil 3. Isıtma sürecinde aylık ortalama ekserji kaybı dağılımı.

Şekil 4'te yapılan kabuller ve hesaplamalara göre bu değer kısılma vanası için dış hava sıcaklığına bağlı değildir. Diğer elemanlar için ise genel olarak hava sıcaklığı ile aynı yönde değişmektedir. Kompresör ve kolektörler sistemdeki en ciddi ekserji kaybının gerçekleştiği elemanlar olarak belirlenmiştir. Isıtma sezonunda sistem elemanlarına ait bir elemandaki ekserji kaybı miktarının tüm sistemdeki ekserji kaybı miktarına bölünmesiyle elde edilen ekserji kaybı oranı değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Isıtma sürecinde sistem elemanlarına ait ekserji kaybı oranı.

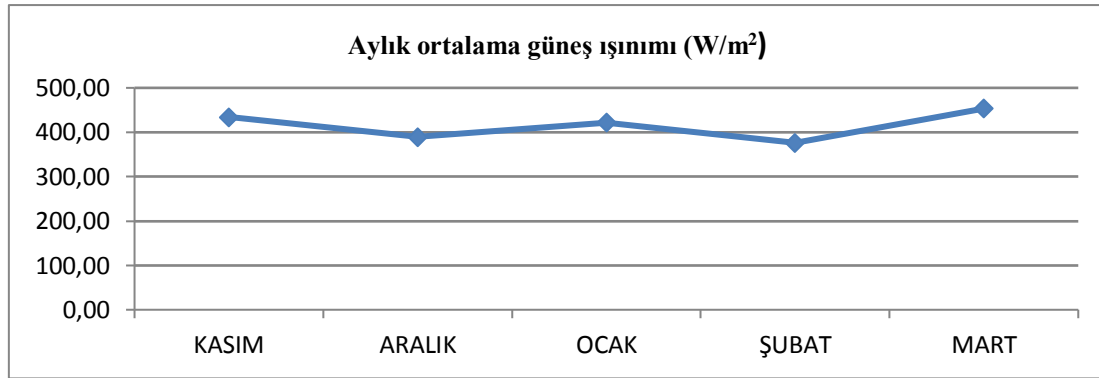
Şekil 5'te yapılan kabul ve hesaplamalar göre sistemde en fazla ekserji kaybı oranına sahip elemanlar %33,89 ile kolektörler ve %30,72 ile kompresör olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda sistemde yapılması düşünülen iyileştirmeler için ekserji kaybı oranları göz önünde tutulmalıdır.

3. SONUÇLAR

Isıtma sürecine (1 Kasım 2013—31 Mart 2014) dış hava sıcaklığı en soğuk ay olarak Şubat'ta ortalama 4,8°C, en sıcak ay olarak ise Mart'ta ortalama 11,8°C ve ortalama 8,0°C olarak ölçülmüştür. Toprak sıcaklığı 100 m olan kuyu derinliğinde en soğuk ay olarak Şubat'ta ortalama 13,2°C, en sıcak ay olarak ise Mart'ta ortalama 13,8°C ve ortalama 13,4°C olarak ölçülmüştür. Bu nedenle sistemin topraktan çektiği ısının değişimi yapılan ölçüm ve hesaplamalar neticesinde dış hava sıcaklığı ile orantılı olarak ve 17,617-18,079 kW arasında değiştiği görülmektedir. İncelenen süreçte mahalın ısı kaybını karşılamak üzere, ölçülen dış hava sıcaklığına bağlı olarak akümülayon tankında 42,3- 43,1°C sıcaklığında su

hazırlanmaktadır. Bu süreçte kompresör, 3 adet sirkülasyon pompası ve fan coillerin tükettiği elektrik gücü ortalama 5,136 kW olarak ölçülmüştür.

Sistemin deney odasına aktardığı ısı ise dış hava sıcaklığı değişiminden nispeten daha fazla etkilenmekte olup bu değer 16,102—16,411 kW arasında değişim göstermektedir. Sisteme ait elemanlar içinde kayıp enerji miktarının en fazla 2,492 kW ile evaporatörde olduğu görülmektedir. Enerji analizi sonucunda sistem çalışmasının dış hava sıcaklığından etkilendiği görülmüştür. Buna bağlı olarak tüm sistemin COP değeri ortalama 3,61 olarak belirlenmiştir. Her ne kadar ısı pompası cihazının COP değeri 4,09 olarak bulunsun da fan coil grubu ile beraber incelendiğinde COP değerinin 3,61'e düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün sebebi yine ısı pompası ile fan coiller arasındaki mesafede meydana gelen kayıplardan kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen desteği incelemek amacıyla Şekil 4'te ısıtma sürecine ait ortalama güneş ışınım değerleri verilmiştir.



Şekil 4. Isıtma sürecinde aylık ortalama güneş ışınım değerleri.

Güneş enerjisi sistemi ısıtma sezonunda sisteme destek olmak amacıyla akümülyasyon tankına sıcak su sağlamaktadır. Bu bağlamda kullanılan iki adet kolektör ile en yüksek enerji miktarı güneşlenmenin en fazla olduğu mart ayında 1,785 kW, güneşlenmenin en az olduğu şubat ayında ise 1,454 kW olarak elde edilmiştir. Elde edilen enerji miktarı kolektörlerden akışkan vasıtasıyla akümülyasyon tankına aktarılmıştır. Güneş enerjisinin karşılama oranında iklim değişikliği ile ilişkili olarak Kasım ayında ortalama %10,34; aralık ayında ortalama %9,48; ocak ayında %9,66; şubat ayında ortalama %8,83 ve mart ayında ise %10,43 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisinin ısıtma sürecinde ısı pompası sisteminin enerji ihtiyacını karşılama oranı ortalama %9,75 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak güneş enerjisi ile ısıtma sezonunda kolektör adedine göre beklenen oranda destek sağlandığı görülmüştür. Daha fazla kolektör adedi ile daha fazla destek sağlanabileceği de düşünülmelidir.

Sistem elemanları ile ilgili ekserji analizi sonuçlarına göre ısıtma sürecinde en yüksek ekserji kaybı gerçekleşen elemanlar kolektörler ve kompresör olarak saptanmıştır. Sistemde en fazla ekserji kaybı oranı olan elemanlar ısıtma sezonunda kolektörler ve kompresördür. Kolektörlerdeki ekserji kaybının nedeni güneş radyasyonu ile doğrudan ilişkili olduğundan yapılması düşünülecek iyileştirmeler kompresör için düşünülmelidir. Bu iyileştirmeler açısından bakıldığında öncelikle kompresörün daha az devreye girmesi sağlanabilir. Böylece hem daha az elektrik tüketimi olacak hem de ekserji kaybı azalacaktır. Bunun için ısı pompasının çalışma sıcaklıklarının aralığı ısı pompası yazılımında artırılabilir ve frekans konvertörlü kompresörler tercih edilebilir. Isı pompası böylece daha düşük sıcaklık rejimlerinde daha uzun süre çalışabilecek ve böylece kompresör verimi daha fazla olacaktır.

Sonuç olarak; sistemimiz gerek enerji tüketimini azaltmada gerekse sera gazlarının emisyonlarını düşürme bakımından oldukça etkilidir. Fosil yakıtlar ile ısıtma ihtiyacını karşılayan Mardin İli için sistemin kullanılması uygun görülmektedir. Bununla beraber benzer iklim kuşağında olan bölgelerde bu tip sistemlerin kullanılmasının gerek ekonomik gerekse çevre temizliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu tür sistemlerin kullanımının yaygın hale getirilmesi için daha fazla çalışmalar yapılmalı ve hükümetler tarafından desteklenmelidir.

4. KAYNAKLAR

- [1] Enerji Analizi TC Anadolu Üniversitesi Yayını No:2486,1. Baskı, Mayıs 2012.
- [2] Akbulut, U., (2012). Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Duvardan Isıtma ve Soğutma Sisteminin Teorik ve Deneysel İncelemesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.
- [3] Yüksel, T., (2011). Biyogaz, Güneş ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Sera Isıtmasının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.
- [4] Cervantes, J.,G. ve Torres-Reyes, E., (2002). “Experiments On A Solar Assisted Heat Pump and An Exergy Analysis of the System”, Applied Thermal Engineering, 22: 1289-1297.
- [5] Kıncay, O. ve Temir, G., (2002). “Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 68: 31-37.
- [6] Dikici, A., (2004). Güneş, Hava ve Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Elazığ Şartlarında Konut Isıtılması İçin Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi FBE, Elazığ.
- [7] Özgener, Ö. Ve Hepbaşlı, A., (2005). “Experimental Performance Analysis of a Solar Assisted Ground-Source Heat Pump Green House Heating System”, Energy and Buildings 37: 101-110.
- [8] Özgener, Ö., Hepbaşlı, A. ve Özgener, L., (2007). “A parametic Study on the Exergoeconomic Assessment of a Vertical Ground-Coupled(Geothermal) Heat Pump System”, Building and Environment, 42: 1503-1509.
- [9] Özgener Ö. ve Hepbaşlı A., Performance Analysis of a Solar Assisted Ground Source Heat Pump System for Green House Heating: an Experimental Study, Building and Environment, 40, 1040-1050, 2005.
- [10] Çakır U., Çomaklı K., Çomaklı Ö., Karşlı S., An Experimental Exergetic Comparison of Four Different Heat Pump Systems Sorking at Same Conditions: As Air to Air, Air to Water, Water to Water and Water to Air, Energy, 58, 210-219, 2013.
- [11] Akbulut U., Utlü Z., Kıncay O., Exergy, Exergoenvironmental and Exergoeconomic Evaluation of A Heat Pump-Integrated Wall Heating System, Energy, 107:502-522, 2016.
- [12] Ünal, F., (2014). Güneş Enerjisi Destekli Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Mardin İli İçin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.