



YATAY TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS ŞARTLARINDA EKSERJİ VERİMİNİN BELİRLENMESİ

Determination of Exergy Efficiency of Horizontal Ground Source Heat Pump System in Sivas Conditions

Mustafa CANER
Netice DUMAN
Ertan BUYRUK
Ferhat KILINÇ
Halil İbrahim ACAR

ÖZET

Bu çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompasının (TKIP) ekserji analizi yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak Sivas ilinde Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüsünde bulunan enerji evinde yatay tip ısı pompası sistemi kurulmuştur. TKIP sistemi ısı değiştiricisi, ısı pompası ve ısıtma devresi olmak üzere üç ana devreden oluşmaktadır. Sistemin çeşitli noktalarında sıcaklıklar ve basınç değerleri ile birlikte toprakaltı, ısı pompası ve ısıtma devresinde dolaşan akışkan debileri ile kompresör ve pompaların tükettiği güçler ölçülmüştür. Aralık ayı boyunca ölçülen değerler günlük olarak dakikada bir kaydedilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda ısı pompasının ve sistemin ekserji verimleri sırasıyla %34 - %30 ve %29 - %26 arasında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, yatay TKIP sisteminin Sivas ilinde ısıtma amaçlı kullanımda yeterli olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar kelimeler: toprak kaynaklı ısı pompası, ekserji, ekserji verimi, ısıtma

ABSTRACT

In the present study, exergy analysis of a ground source heat pump (GSHP) is performed. For this purpose, a horizontal type GSHP test system is installed in the energy house located at Sivas Cumhuriyet University in Sivas Province. GSHP system is consist of three main circuits. These are ground the heat exchanger (GHE), the heat pump (HP) and the heating circuit. The temperatures and pressures are measured at the various points of the system. Besides, the mass flow rate the working fluid circulating in the GHE, heat pump and heat circuit are measured. In addition, power consumption of the compressor and the pumps are measured. The measured values during the month of December are recorded on a daily basis.

As a result of the calculations, the exergy efficiencies of the heat pump and the system are obtained between 34% - 30% and 29% - 26% respectively. According to these results, it is concluded that the horizontal TKIP system will not be sufficient for heating purposes in Sivas.

Key words: ground source heat pump, exergy, exergy efficiency, heating

1.GİRİŞ

Ekserji, bir sistemin bir durumdan çevre şartlarına (ölü durum) genişlemesi sırasında sistemden elde edilen en fazla iş miktarı olarak tanımlanır. Ekserji analizi, tersinmezliklerin yerini ve büyüklüğünü belirleyerek enerjiyi daha verimli kullanmayı amaçlamaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin azaltılması, çevre kirliliği sorunları, enerji politikaları ve iklim değişiklikleri gibi nedenler son yıllarda alternatif olarak toprak kaynaklı ısı pompalarının daha fazla kullanılmasına yol açmıştır.

Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %90 'ına yakını fosil yakıtlardır. Enerji Bakanlığı projeksiyonu 2020 yılı itibariyle Türkiye'nin enerji tüketiminin yıllık 222 mtep'e ulaşmasını öngörmektedir. Şu an yürürlükte olan enerji politikası 2020 yılı itibariyle bu talebin karşılanışında yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının oranını mümkün olduğunca artırmayı ve önümüzdeki 10 yıllık süre içerisinde enerjide ülkenin dışa bağımlılığında %3'lük bir azalmayı öngörmektedir [1].

Enerji tüketiminin %35 'i konutlarda, %36' sı sanayide, %21 'i ulaşım ve %8' lik kısmı diğer kollara harcanmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin %80' lik kısmı ısıtmak için kullanılmaktadır. Enerjiden tasarruf etmek için ısının iç ortamda muhafaza edilmesini sağlamak gereklidir [2]. Yalıtım ile birlikte ısıyı elde etmek için yenilenebilir enerji kaynakları ile beraber kullanılacak alternatif teknolojiler geliştirilmeli, sanayide ve evsel kullanılabilirliğinin sağlanması gereklidir.

Geçtiğimiz yıllarda birçok araştırmacı, toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ekserji analizi üzerine çalışmalar yürütmüştür. Hepbaşlı ve Akdemir [3], ekserji analizi yapmak için Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde dikey bir TKIP sistemi uygulamıştır. Esen vd. [4], Elazığ' da yerden ısıtılan bir test odasına sistem performansını belirlemek ve ekonomik analizini yapmak için yatay toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurmuşlardır. TKIP sistemi, konvansiyonel ısıtma metotlarıyla (elektrik direnci, akaryakıt, sıvı petrol gazı, kömür, yağ ve doğal gaz) karşılaştırılmış, detaylı bir maliyet analizi sunulmuş ve geri ödeme süreleri saptanmıştır. TKIP sisteminin değinilen ilk 5 konvansiyonel ısıtma metotlarının üzerinde ekonomik avantajlar sunduğu gösterilmiştir. Deney ve analizler sonucunda sistemin doğalgaz kullanımına göre ekonomik bir alternatif olmadığı tespit edilmiştir. Özgener ve Hepbaşlı [5], toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performans değerlendirmesi için enerjetik ve ekserjetik modellemesiyle ilgili çalışmışlardır. Analizleri, güneş destekli dikey TKIP ve yatay TKIP olmak üzere iki farklı TKIP sistemini kapsamaktadır. Her iki TKIP sisteminin performansları, deneysel verilere dayalı enerji ve ekserji analiz metodu kullanılarak değerlendirilmektedir. Her iki sistemin ekserji verimliliğinin en yüksek değerlerinin, %80,7 ve %86,13 aralığında olduğunu göstermişlerdir. Acar [6] doktora çalışmasında Denizli'de, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin soğutma ve ısıtma performansını incelemiştir. Ekserji analizi sonuçlarına göre, ısı pompasının ekserji verimi %74,61 ve sistemin ekserji verimi %72,62 olduğu belirtilmiştir. Bi ve diğ. [7] bina ısıtma ve soğutma sistemleri için toprak kaynaklı bir ısı pompası sisteminin karşılaştırmalı ekserji analizini yapmıştır. Çalışma sonucunda, ısıtma modunda ekserji kaybının, soğutma modunda ekserji kaybindan daha büyük olduğunu ve tüm sistemin ekserji veriminin, sistem elemanlarının ekserji veriminden daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Bakırcı vd.[8], Erzurum'da güneş enerjisi destekli dikey tipli kapalı devre toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile ısıtma uygulamalarının enerji analizi üzerinde çalışmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda sistemin Erzurum'da kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Özdemir [9], doktora çalışmasında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat bölümünde bir test odasının ısıtılması ve soğutulması için 40 m sondaj derinliğindeki dikey TKIP sistemini kurmuştur. Isı taşıyıcı akışkan olarak R407c kullanılan sistemin yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir. Isıtma mevsiminde ısı pompası ve sistemin ekserji verimi sırasıyla %86 ve %74 olarak verilmiştir. Özsolak [10], doktora çalışmasında Elazığ'da bulunan bir köy evinde 12 m² odayı ısıtmak için güneş destekli slinky toprak ısı değiştiricili ısı pompası sistemi kurmuştur. Yatay ısı değiştiricili, dikey ısı değiştiricili ve güneş kaynaklı ısı pompası için ekserji verimleri sırasıyla %44,8, %43,3 ve %41,1 olarak belirlenmiştir. Lia vd. [11], Toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ısıtma ve soğutma ekserjilerinin teorik analizini yapmışlardır. Murat Öztürk [12],Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üreten bir sistemle kombine edilmiş toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin verimlilik analizlerini yapmıştır. TKIP sistem bileşenleri ısı pompası çevrimi, yeraltı ısı değiştiricileri çevrimi, ısıtıcı termal çevrimi ve soğutma kulesi çevriminden oluşmaktadır. Sistem verimliliğini maksimize etmek için optimum çalışma parametreleri ve soğutma kulesi performans etkilerini incelemiştir. Ekserji kaybı oranları, ekserji verimleri, ekserji kayıpları, sistem ve bütün sistem bileşenleri için incelenmiştir. Ünal[13], doktora çalışmasında Termodinamiğin 1. ve 2. Yasaları, Eksergo Ekonomik analiz metotlarını kullanılarak Mardin ili Midyat ilçesinde seçilen deney odasında kullanılan güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemine ait enerji, ekserji ve eksergo ekonomik analizler yapmıştır. TKIP sistemlerinin Türkiye'nin farklı bölgelerindeki çalışması Korkmaz [14], tarafından incelenmiş ve bu sistemlerin Türkiye'nin uygun bölgelerinde ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Menberk vd [15], yaptıkları çalışmada doğalgazlı kazan ile düşey toprak kaynaklı ısı pompası hibrit sisteminin ısıtma ve soğutma sezonu için her bir elemanın ayrıntılı termodinamik analizini yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası ekserji performansının soğutma için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

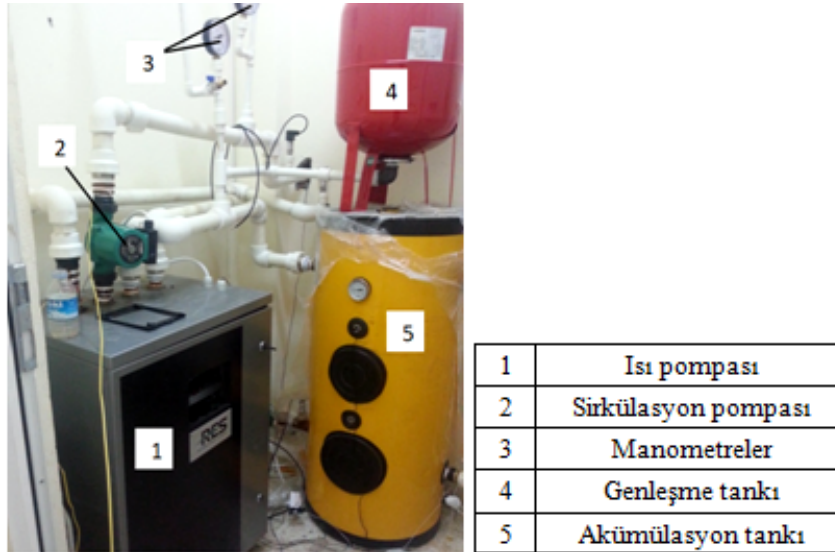
2. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, yatay tip toprak ısı değiştircili bir ısı pompası sisteminin ekserji analizi yapılmıştır. Bu amaçla, yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi (TKIP) Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan yaklaşık 30 m² taban alanına sahip enerji evine kurulmuştur. Sistemde kullanılan ısı pompası Restherma markasına ait IP11SS modeli olup, cihazın teknik özellikleri Tablo 1 'de verilmiştir.

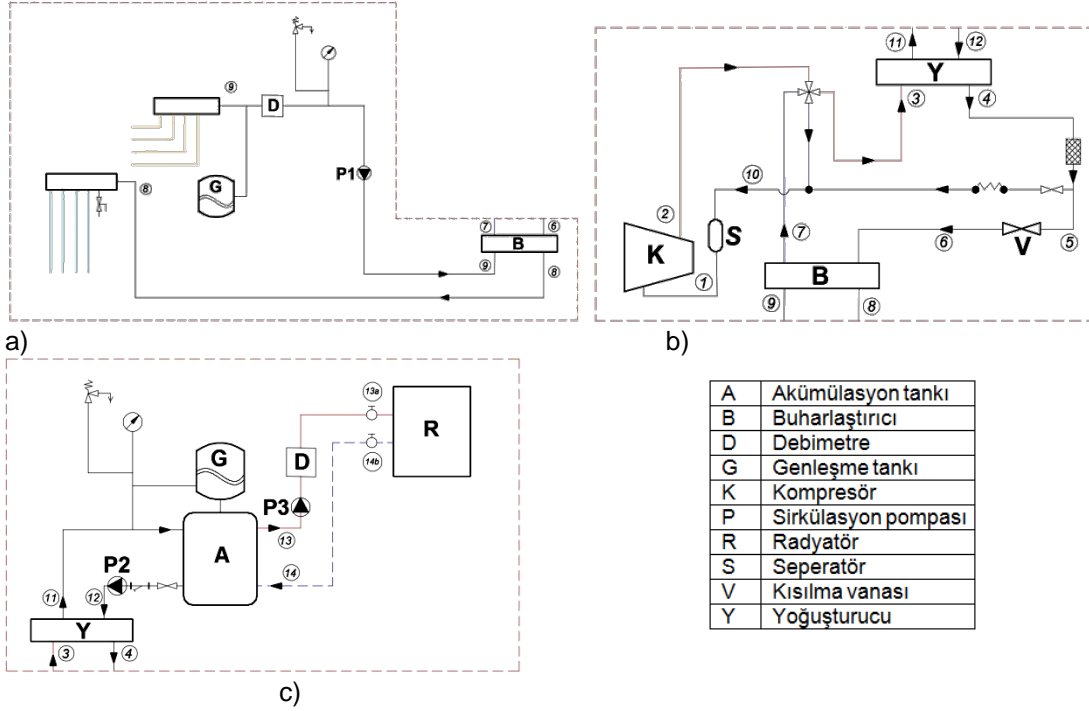
Tablo 1. Isı pompası teknik değerleri

ISITMA	Nominal kapasite	10.5 kW
	COP	5
	Maksimum ıkış suyu sıcaklığı	55 °C
SOğUTMA	Nominal kapasite	8.5 kW
	EER	4.29
	Maksimum ıkış suyu sıcaklığı	7 °C
	Soğutucu akışkan	R410A
	Kompresör tipi	Scroll

Sistem, toprak altı devresi, ısı pompası devresi ve ısıtma devresi olmak üzere üç kapalı devreden oluşmaktadır. şekil 1 'de ısı pompası ünitesinin resmi ve şekil 2 'de üç devreye ait tesisat şemaları verilmiştir.

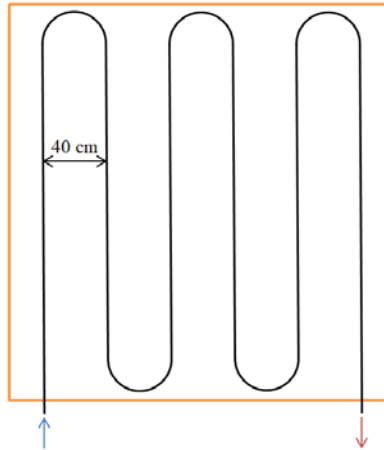


şekil 1. Isı pompası ünitesi



Şekil 2. a) Toprak devresi b) ısı pompası devresi c) ısıtma devresi

Toprak ısı değiştiricisi toprağın 2,5 m derinliğine yerleştirilmiş olup 10 bar işletme basıncına dayanaklı PE100 (polietilen) borudan oluşturulmuştur. Toprak ısı değiştiricisinde akışkan olarak antifrizli su (kütlesel antifriz oranı %20) ve ısı pompası devresinde soğutucu akışkan olarak R410A kullanılmıştır. Toprak ısı değiştiricinin sergi biğimi Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. Toprak ısı değiştiricinin sergi biğimi

Bu çalışmada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Sistem elemanları sürekli akışlı açık sistem modeline uymaktadır.
- Bileşenleri birbirine bağlayan borulardaki ısı transferi ve basıncı düşmeleri boru uzunlukları kısa olduğundan ihmal edilmiştir.
- Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir ve kimyasal reaksiyonlar yoktur.
- Kompresör adyabatik olarak çalışmaktadır.
- Toprakaltı ısı değiştiricisi tamamen toprak tarafından çevrili olduğundan ısı kaybı ihmal edilmiştir.
- Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı yalıtımlı olduğundan dolayı ısı kayıpları ihmal edilmiştir.

Enerji analizi termodinamiğin birinci yasasına bağlıdır ve enerjinin korunumu ile ilgilidir. Hangi üniteye enerji kalitesinin ne kadar olduğu ve ne kadar değiştiği hakkında bilgi vermez. Bu bilgiler ancak ikinci yasaya dayanan bir ekserji analizi ile belirlenebilir. Ekserji analizi, enerji kaynaklarını daha verimli kullanılmasına yardımcı olur.

Ekserji analizi kütlelerin, enerjinin korunumu ve ekserji dengesi eşitlikleri kullanılarak yapılmaktadır.

Kütlelerin korunumu:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \text{ (kg/s)} \quad (1)$$

Enerjinin korunumu:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \theta_c - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (2)$$

Sürekli akışlı açık sistem için termodinamiğin ikinci yasası aşağıdaki gibi yazılır:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_c - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_0} \quad (3)$$

Burada birinci kanun denklemi de kullanılarak ısı geçişi terimi yok edilirse,

$$\dot{W} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c - T_0 s_c \right) - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (4)$$

Tersinir iş, yukarıdaki denklemde toplam entropi üretimi ($\dot{S}_{\text{üretim}}$) terimi sıfıra eşitlenerek potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilerek aşağıdaki gibi yazılır:

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c)] \text{ (kW)} \quad (5)$$

ψ ile gösterilen ekserji akısı denklem 6 ile yazılır.

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (6)$$

Ekserji ise

$$\dot{E}_x = \dot{m} \psi \quad (7)$$

Şeklinde verilir.

Isı pompasının ve tüm sistemin ekserji verimi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır [5], [7], [16],

$$\eta_{\text{IP}} = \frac{\dot{E}_{x_{yog.g}} - \dot{E}_{x_{yog.c}}}{\dot{W}_{\text{komp}}} \quad (8)$$

$$\eta_{\text{sys}} = \frac{\dot{E}_{x_{yog.g}} - \dot{E}_{x_{yog.c}}}{\sum \dot{W}_{\text{top}}} \quad (9)$$

$$\sum \dot{W}_{\text{top}} = \dot{W}_{\text{komp}} + \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{p3} \quad (10)$$

3. DENEYSEL BULGULAR

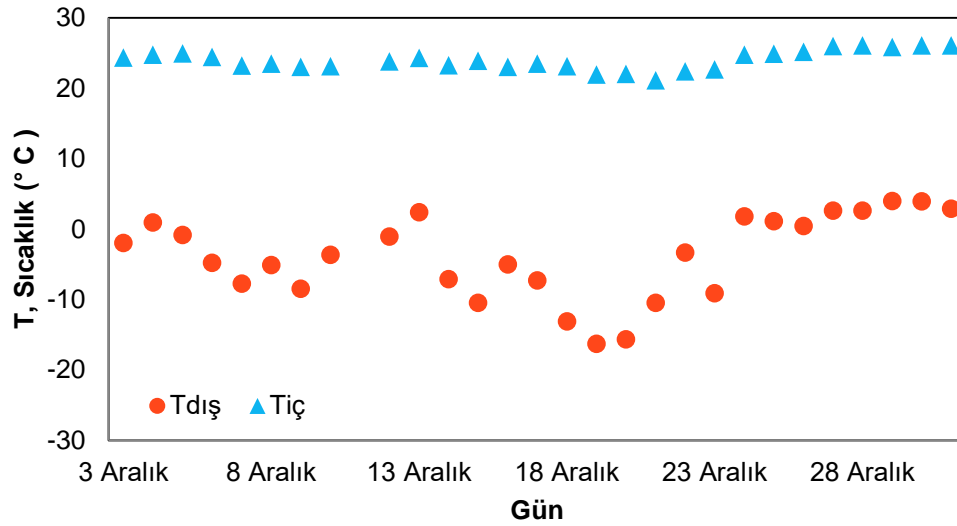
Deneyler sırasında TKIP tesisat şemasında verilen noktalarda yapılan ölçümlere ait bilgiler ve ölçülen değerlere bağlı olarak yapılan hesaplamalar Tablo 2 'de görülmektedir. Ayrıca dolaşım pompalarının ve kompresörün elektrik tüketimi ölçülmüştür. 2016 yılı Aralık ayı boyunca yapılan tüm bu ölçümler dakika da bir olarak kayıt edilmiştir. Ekserjinin hesaplanmasında Aralık ayı boyunca ölçülen debi, sıcaklık ve basınç değerlerinin ortalamaları ve Coolpack programından alınan entalpi ve entropi

değerleri kullanılmıştır. Termodinamik eşitlikler kullanılarak soğutucu akışkan R410A ve su için hesaplanan ekserji değerleri tabloda görülmektedir.

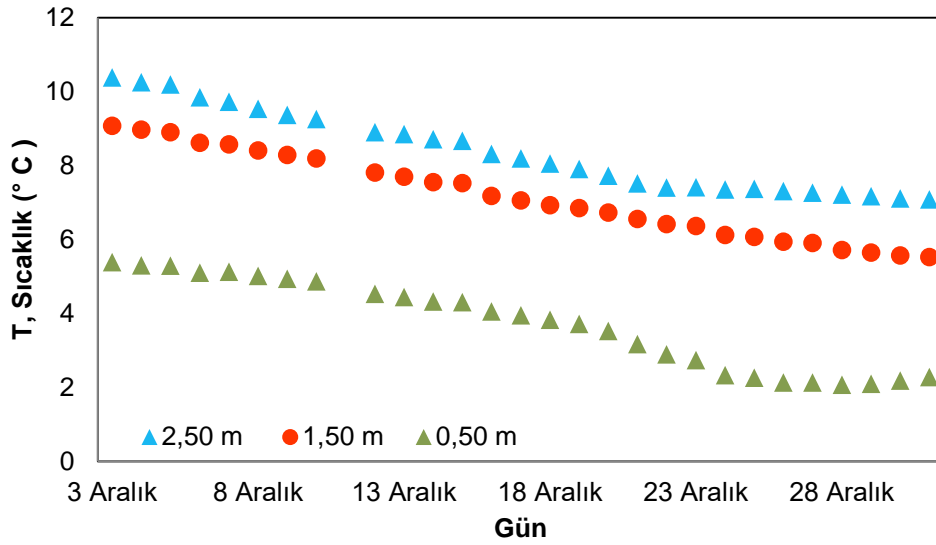
Tablo 2. Referans değerler ile TKIP sistemindeki tüm hal noktalarına ait ölçülen, belirlenen ve hesaplanan değerler

Hal No	Akışkan	Faz	Sıcaklık T,(°C)	Basınç P,(bar)	Debi m(kg/s)	Entalpi h(kJ/kg)	Entropi s(kJ/kgK)	Özgül ekserji é(kJ/kg)	Ekserji \dot{E}_x (kW)
0	R410A	Ölü hal	1	1,013	-	436,60	2,08935	-	-
0	Su	Ölü hal	1	1,013	-	4,02	0,01471	-	-
1	R410A	Kızgın buhar	7,54	7,68	0,038	431,71	1,85206	60,16	2,2862
2	R410A	Kızgın buhar	69,12	29,65	0,038	457,28	1,81106	96,97	3,685
3	R410A	Kızgın buhar	66,1	29,65	0,038	453,59	1,8005	96,178	3,655
4	R410A	sıvı	46,23	29,65	0,038	283,82	1,2757	70,28	2,670
5	R410A	sıvı	45,55	29,65	0,038	282,31	1,27112	70,03	2,66
6	R410A	Islak buhar	7,76	7,68	0,038	282,31	1,3014	61,73	2,346
7	R410A	buhar	7,76	7,68	0,038	282,31	1,3014	61,73	2,346
8	su	sıvı	10,38	1,5	0,609	51,41	0,184	0,963	0,586
9	su	sıvı	7,54	1,5	0,609	42,69	0,1534	0,646	0,646
11	su	sıvı	44,89	1,5	0,58	188,13	0,638	13,41	7,78
12	su	sıvı	42,26	1,5	0,58	177,01	0,60623	11,908	6,9
13	su	sıvı	42,55	1,5	0,2277	178,26	0,606	12,08	2,75
14	su	sıvı	39,69	1,5	0,2277	166,17	0,567	10,53	2,397

Şekil 4 'te iç ve dış ortam sıcaklıkları ile Şekil 5 'te toprak sıcaklıklarının günlük değişimleri verilmiştir.

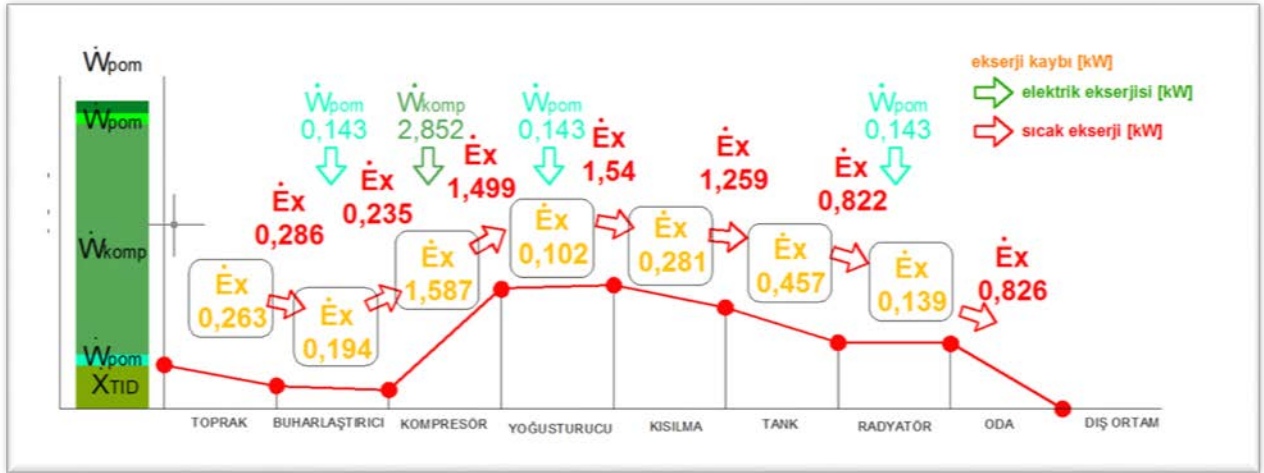


Şekil 4. Aralık ayı için iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları



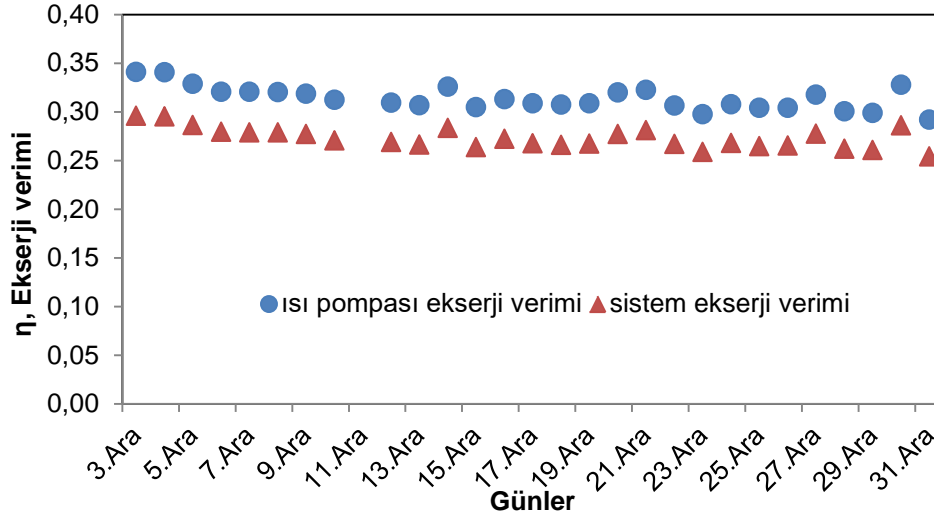
Şekil 5. Aralık ayı için toprak sıcaklıkları

Şekil 6 'da sistemin her bileşeninin ekserji akışı ve tüketim değerlerini kullanarak birbirlerine olan ekserji geçişi ve ekserji kaybı ekserji akış diyagramlarında gösterilmiştir [15]. Bu çizimler, x eksenlerinde işaretli her bir kaynaktan, sistem bileşenleri aracılığıyla dış ortama ekserji akışını sıralı olarak göstermektedir. Dış ortamdaki göreceli ekserji içeriği sıfırdır çünkü dış ortam sıcaklığı ekserji analizi için referans koşul olarak kullanılmıştır. Her bir çizginin sol tarafındaki çubuk, kaynaktaki ekserji girdisinin büyüklüğünü ve tek tek bileşenlerin katkısını göstermektedir. Her bir çizgi segmentinin eğimi, ilgili alt sistemdeki ekserji tüketimini göstermektedir. Bağımsız bileşenler arasındaki noktalar bir alt sistemden diğerine olan ekserji akış miktarına göre işaretlenmiştir. Akış diyagramlarında kutu içindeki turuncu sayı her bir elemanda yok olan ekserji, yeşil renkler dışarıdan verilen ekserji ve kırmızı oklar ile transfer edilen ekserji miktarları gösterilmektedir.



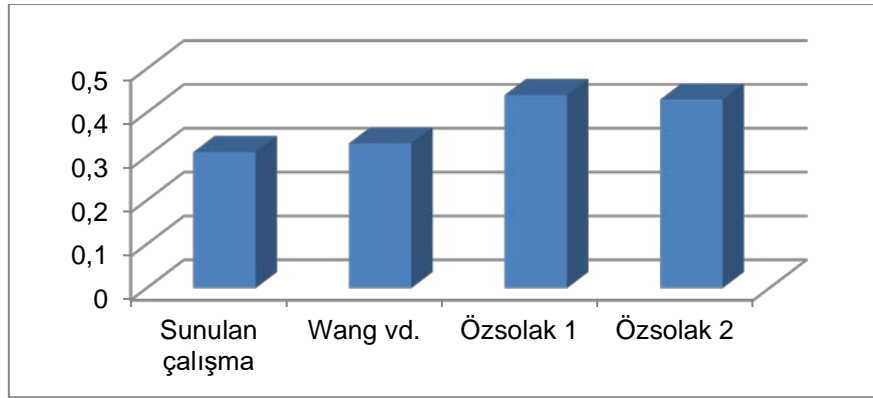
Şekil 6. Aralık ayı için ekserji akışı

Şekil 7 'de TKIP sisteminin ve ısı pompasının ekserji veriminin Aralık ayına ait günlük değerleri görülmektedir. Bu ay için ısı pompası ekserji verimi en yüksek %34,1 en düşük %29,2 ve ortalama %31,3 olarak ve sistem ekserji verimi ise en yüksek %29,6, en düşük %25,4 ve ortalama %27,2 olarak hesaplanmıştır. Verimlerdeki bu değişimin toprak sıcaklığındaki değişime bağlı olduğu düşünülmektedir.



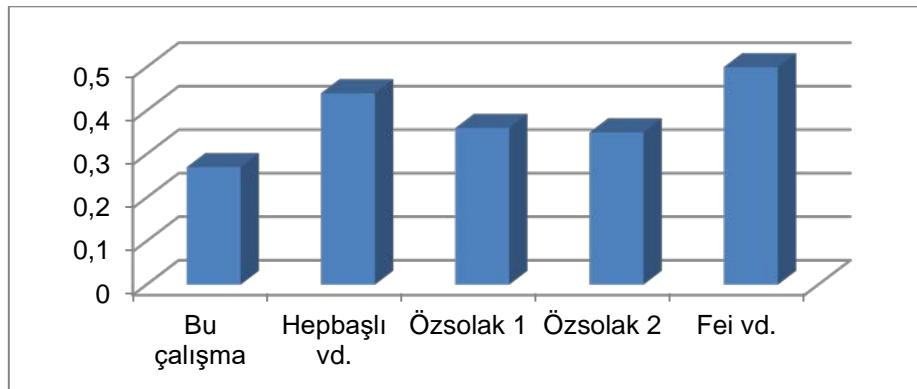
Şekil 7. Isı pompası ve sistemin ekserji verimi

Şekil 8 'de bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatürde yer alan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar mukayeseli olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, en yüksek ekserji verimi Özsolak [10] 'ın yaptığı çalışmada en düşük ekserji verimi ise sunulan çalışmada elde edilmiştir.



Şekil 8. Isı pompası ekserji verimleri karşılaştırma grafiği

Şekil 9 'da literatürde yapılan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuç görülmektedir. En yüksek sistem ekserji verimi Fei vd. [17] çalışmalarında ortaya çıkarken en düşük sistem ekserji verimi sunulan çalışmada ortaya çıkmıştır.



Şekil 9. Sistem ekserji verimleri karşılaştırma grafiği

SONUÇLAR

Aylık ortalama en düşük ve en yüksek dış ortam sıcaklığı ay içerisinde ortalama $-16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Bir ay boyunca 19 gün dış ortam sıcaklığı 0°C altında ölçülmüş ve iç ortam sıcaklığı $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir.

Deneyler sırasında topraktan sürekli olarak ısı çekilmesinden dolayı toprak sıcaklıkları zamanla azalmıştır. Aralık ayı boyunca 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde toprak sıcaklıkları ortalaması sırasıyla $8,35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $7,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $3,70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ölçülmüştür.

Isı pompasının çalışma süresinin dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Dış ortam sıcaklıklarının yüksek olduğu günlerde ısı pompası 9 dakika çalışmış ve 35 dakika ara vermiştir. Dış ortam sıcaklığının düşük olduğu günlerde ise 12 dakika çalışmış ve 35 dakika ara vermiştir.

Isı pompasının ve sistemin Aralık ayı ortalama ekserji verimleri sırasıyla %31, %27 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göreceli olarak küçüktür. Bu sonuçlara göre, yatay TKIP sisteminin Sivas ilinde ısıtma amaçlı kullanımda yeterli olmayacağı kanaatine varılmıştır. TKIP sisteminin Sivas'ta ısıtma amaçlı kullanımının daha cazip hale gelebilmesi için sistemin güneş enerjisi ile desteklenmesi, toprakaltı devresinden gelen suyun ısıtılması ve bina bazında fotovoltaik panellerle bütünleştirilmesi gibi tedbirler alınabilir. Ayrıca toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarımında kış ve yaz ısıtma ve soğutma yükleri olabildiğince birbirine yakın tutulmalı, sezonluk ısı denge sağlanmalı, ısıtma veya soğutma modunda toprağın belirli bir doygunluk limitine ulaşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Kısaltma ve semboller

Ex,	Ekserji [kJ]
g	Yer çekimi ivmesi [m^2/s]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
Q	Isı enerjisi [kJ]
\dot{Q}	Isıl güç [kW]
P	Basınç [kPa, Bar]
S	Entropi [kJ/K]
s	Entropi, birim kütle için [kJ/kg.K]
h	Entalpi
T	Sıcaklık [K, $^{\circ}\text{C}$]
v	Hız [m/s]
W	İş [kJ]
\dot{W}	Güç [kW]
η	Ekserji Verimi [%]
ψ	Açık bir sistemde birim kütle için ekserji değişimi [kJ]
θ	Birim kütlenin toplam enerjisi
z	Kot [m]
TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası

Alt indisler

0	Referans hali
ç	Çıkan
g	Giren
sys	Sistem
p	Pompa
iç	İç ortam
dış	Dış ortam
komp	Kompresör
top	Toplam
yoğ	Yoğurturucu

Bilgi

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-617 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gurson, P., Topcu, M.K., Ulker, H.İ. and Erkan, E.T., “Renewable Energy Policies and Energy Supply Security”, International Conference on Euroasian Economies, Skopje, Macedonia, 1-3 Temmuz 2014
- [2] Özsoy,A.,“Merkezi ısıtma sistemlerinde ısınma problemleri ve yakıt paylaşımı”,SDU International Journal of Technologic Sciences Vol. 1, No 1, June 2009 pp. 10-17
- [3] Hepbasli, A., Akdemir, O., “Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system”, Energy Conversion and Management, 45(5), 737–753,2004
- [4] Esen, H., Inalli, M., Esen, M., “Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey”, Energy Conversion and Management, 47(9–10), 1281–1297,2006
- [5] Ozgener, O., & Hepbasli, A., “ A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(3), 482–496,2007
- [6] Güven Acar, Ş., “Denizli havzasındaki jeolojik formasyonlarda sıcaklık ve ısı depolama kapasitesi değişiminin incelenmesi ve ısı pompası uygulamalarının araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 142s, Denizli,2009
- [7] Bi., Y., Wang, X., Liu, Y., Zhang, H., Chen, L., “Comprehensive exergy analysis of a ground-source heat pump system for both building heating and cooling modes”, Applied Energy, 86(12), 2560–2565,2009
- [8] Bakirci, K., Ozyurt, O., Comakli, K., Comakli, O., “ Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications”, Energy, 36: 3224-3232,2011
- [9] Özdemir, M. B., “R407C soğutucu akışkan kullanılan düşey tip toprak kaynaklı ısı pompasının performansının deneysel incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 135s, Ankara,2011
- [10] Özsolak, O., “Güneş ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımının araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 150s, Elazığ,2011
- [11] Lia, R , Ookab, R. Shukuyaca, M., “Theoretical analysis on ground source heat pump Rand air source heatpump systems by the concepts of cool and warm exergy”, Graduate Energy and Buildings 75 447–455,2014
- [12] Öztürk,M., “Energy and exergy analysis of a combined ground source heat pumpSystem”, Applied Thermal Engineering ,73 362-370,2014
- [13] Ünal, F., “Güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının Mardin ili için kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 115s, İstanbul,2014
- [14] Korkmaz, M. “Ground Source Heat Pump Systems with dwellings heated by the Scientific Evaluation of Relevant Made in Turkey”, ISITES2015 Valencia –Spain,2015
- [15] Menberg, K., Heo, Y., Choi, W., Ooka, R., Choudhary, R., Shukuya, M., “Exergy analysis of a hybrid ground-source heat pump system”, Applied Energy, 204, 31–46,2017
- [16] Dinçer, İ, Rosen, A., “ Exergy”, Elsevier Science, pp 101-113,2013
- [17] Fei L., Pingfang H., “Energy and Exergy Analysis of a Ground Water Heat Pump System”, International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering Procedia 24 (2012) 169 – 175,2012
- [18] Wang X., Bi Y., Zhang H., “Exergy analysis of ground source heat pump system”,Chin. J. Solar Energy 6 20–25,2009

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa CANER

2013 yılında Bozok Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne araştırma görevlisi olarak başlamıştır. Aynı Üniversitede 2018 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve doktora çalışmasına devam etmektedir.

Netice DUMAN

1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2010 yılında Yüksek Mühendis ve 2018 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1991-1993 Yılları arasında bir özel şirkette Montaj mühendisi, 1993-2018 yıllarında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılından itibaren CÜ SİVAS MYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Makine Programında Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji yönetimi konularında çalışmaktadır.

Ertan BUYRUK

İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını aldı. Prof. Buyruk, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. 2012 yılından itibaren Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği ile ilgili Rektör Danışmanlığı görevini de yürüten Prof. Buyruk, 2015-2016 yılları arasında Rektör Yardımcılığı görevini de yürütmüştür. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Soğu Depolama, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.

Ferhat KILINÇ

2005 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Enerji Bilim dalında 2011 yılında Yüksek Lisansını ve 2015 yılında Doktorasını tamamlamıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.

Halil İbrahim ACAR

1981 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1988 yılında yüksek lisansının ve 1991 yılında doktorasını Erciyes Üniversitesinde tamamlamıştır. Sırasıyla Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde 1992 yılında yardımcı doçent, 1997 yılında doçent ve 2003 yılında profesör unvanlarını almıştır. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme üzerinedir.