

# Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Duvardan Isıtma Sisteminin Enerjistik Performans İncelemesi

Uğur AKBULUT  
Özgen AÇIKGÖZ  
Olcay KINCAJ

## ÖZET

*Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (DTKIP) ile ilgili literatürde birçok yayın mevcuttur. Bu sistemleri ısıtma ve soğutma amacıyla kullanırken görülen enerji performans katsayısı değerleri (COP) enerjinin ekonomik kullanımı hususunda oldukça etkilidir. Duvardan Isıtma ve Soğutma Sistemi (DISS) ise duvara monte edilmiş olan ve içerisinde ısıtma/soğutma suyunun dolaştırıldığı bataryalardan oluşmaktadır. Bu çalışmada, DTKIP ile DISS'nin birlikte çalıştığı birleşik sistemin enerjistik performansı incelenmiştir. Bu inceleme gerçek bir binanın ısıtma ihtiyacının karşılanması sürecinde yapılan teorik ve deneysel araştırmaya dayanmaktadır. Konu ile ilgili olarak ısıtma sezonu için aylık olarak enerji analizi yapılmıştır. İncelenen sistem İstanbul'da Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi'nde bulunan, Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde (YYEV) kurulu bulunmaktadır. Bu sistem YYEV'nin ve komşu yurt binasında bulunan toplantı odasının ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır. Sistem parametreleri 2010 yılı için saniye bazında kaydedilerek enerji analizi yapılmıştır. Isıtma sezonu için ısı pompası ünitesinin verimi %85 iken sistemin bütünü için hesaplanan verim değeri %67,36'dır. Ayrıca ısı pompası ünitesinin ve tüm sistemin  $COP_H$ 'si sırasıyla 4,13 ve 2,76 olarak hesaplanmıştır. Sistemin birim ısı kuyusu derinliği başına çektiği ısı enerjisi 50 W/m olup bu değer literatürde belirtilen sınırlar içinde kalmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Analizi, Yenilenebilir Enerji, Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi, Duvardan Isıtma ve Soğutma Sistemi.

## 1. GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek tükenmesi ve artan enerji talebi, ülkelerin enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynaklarını en üst düzeyde değerlendirecek şekilde yönlendirmelerine sebep olmaktadır. Bu kaynaklar son yılların en popüler araştırma alanlarından biri haline gelmiştir.

Birçok yenilenebilir enerji kaynakları arasında, DTKIP sistemleri önemli bir seçenek olarak kabul edilmektedir. DTKIP sistemleri

## Abstract:

Extensive studies on Vertical Ground-Source Heat Pump (VGSH) systems' performance have been published in the literature. Coefficient of performance (COP) on heating and cooling modes significantly influences thermal energy economics for these systems. Wall Heating Cooling (WHC) systems are equipped with heating coils mounted on the walls, through which water is circulated. In this study, energetic performance of the combined system which consists of GSHP and WHC systems working together is investigated. This is a theoretical and experimental investigation of a real building's heating system. Monthly energy analysis was performed for heating season. The investigated system is located in İstanbul Yıldız Renewable Energy House (YREH) at Yıldız Technical University and fulfills the heating demand of both YREH and a living room in a neighboring dormitory. System parameters were recorded every second during the year 2010. For heating season, calculated overall system efficiency was 67,36%, while the GSHP unit's efficiency was 85%. In addition, overall system  $COP_H$  was 2,76, while the ground-source heat pump (GSHP) unit's  $COP_H$  was 4,13. Furthermore, the heat extraction rate was 50 W/m of bore depth for the heating period which corresponds to the range already reported in the literature.

## Key Words:

Energy Analysis, Renewable Energy, Vertical Ground Source Heat Pump System, Wall Heating and Cooling System.

## Makale

bilindiği üzere ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın çok makul elektrik tüketim bedelleri ve bakım maliyetleri sağlamaktadırlar. Ayrıca hava ve su kaynaklarından daha istikrarlı sıcaklık aralığında çalışmaları da önemli bir tercih sebebidir. Toprak, kışın hava sıcaklığından daha yüksek, yazları ise daha düşük bir sıcaklığa sahiptir. Bu durum DTKIP sistemlerinin, su ve hava gibi diğer kaynakları kullanan ısı pompası sistemlerine göre daha yüksek COP değerlerine sahip olmasına neden olmaktadır. DTKIP sistemleri toprağı ısıtma sezonunda ısı kaynağı, soğutma sezonunda ise bir tahliye yeri (ısı kuyusu) olarak kullanır. Ayrıca bu sistemler, düşük gürültü seviyesi, daha az yer işgali ve azalan sera gazı emisyonu sağlama özellikleriyle, konfor ve çevre sorunları açısından birçok avantaj getirmektedir. DTKIP sistemlerinin performanslarında son birkaç yılda önemli bir artış olmuştur.

Literatürde DTKIP sistemlerinin ısıtma sezonlarındaki performansının derinlemesine incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [1-4]. Urchueguia ve ark. [5] çalışmalarında toprak kaynaklı ısı pompalarının Avrupa'nın Akdeniz kıyılarında ısıtma amaçlı kullanılmaları halinde geleneksel sistemlere göre %43  $\pm$ 17 enerji tasarrufu sağladığını belirtmektedirler.

Dikici ve Akbulut [6], mahal ısıtma amacıyla güneş destekli ısı pompalarının kullanımını araştırmak için 60 m<sup>2</sup> toplam alana sahip bir test odasında deney düzeneği kurmuştur. Bu deney düzeneğinde toprak ısı değiştiricisi ve 11.1 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip düz plakalı güneş kolektörleri mevcuttur. Isıtma sezonunda sistemdeki suyun donmasını önlemek için, %30 propilen glikol çözeltisi kullanılmıştır. Tüm sistemin COP değeri 3,08, kolektör ekserji kaybı 1,92 kW, enerji verimi %65,6 ve ekserji verimi 30,8 olarak hesaplanmıştır.

DTKIP sistemi evsel ve endüstriyel yapılardaki kullanımları durumunda enerji ekonomisi sağlamaktadır. Bu sistemlerin performansı çevre şartları, kullanılan cihazlar ve yapılan teknik uygulamalardan etkilenerek oldukça değiştiği için bu konu üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Isı pompası üniteleri

evsel uygulamalarda kullanılan 5,5 kW'lık ünitelerden, endüstriyel uygulamalarda kullanılan 120 kW'lık ünitelere kadar değişik tiplerde üretilmektedir [7]. Sistem temel olarak toprağı gömülen boru döngüsü, ısı pompası ünitesi ve yapının ısı dağıtım sisteminden oluşur. Konstrüksiyon bakımından daha az yer gerektiğinden ve daha verimli bir sistem olduğundan toprak ısı değiştiricisinin dikey olarak konumlandırılması yatay olarak yerleştirilmesinden daha çok tercih edilmektedir. DTKIP sistemlerine ait ısı kuyusu derinliği 40-150 m, çapı ise 0,075-0,15 m arasında değişmektedir. Toprak hava ile mukayese edildiğinde daha stabil sıcaklıkta bir enerji kaynağı/kuyusu olduğundan, toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinden daha verimlidir. Özgener ve ark. [8] İzmir'deki uygulamaları için toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi COP'lerini sırasıyla 3,64 ve 3,12 olarak ifade etmişlerdir. Ağustos ve ark. [9] ise İstanbul'daki uygulamaları için aynı parametreleri 3,68 ve 3,30 olarak belirtmişlerdir. Bu sonuçlara bakılarak, kullanılan ısı pompası sistemine ait COP değerlerinin uygulamanın özelliklerine ve bulunduğu çevreye göre değiştiği açık olarak görülmektedir.

DISS, ısıtma sürecinde düşük işletme sıcaklıklı bir sistem olduğundan konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında önemli miktarda enerji ekonomisi sağlar. Bazı teorik ve deneysel çalışmalarda tasarruf edilen enerji tasarrufunun %30'a ulaştığı vurgulanmaktadır. Sistemin avantajları ve dezavantajları ASHRAE Elkitabı'nda özetlenmiştir [10]. Buna göre sistemin ana avantajı konvansiyonel ısıtma sistemlerine göre ısının homojen yayıldığı ve hava hızının düşük olduğu daha yüksek ısı konforlu ve iç hava kalitesine sahip yaşam ortamının sağlamasıdır. Ayrıca bu sistem düşük sıcaklıkla çalıştığından ısı geri kazanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını uygulamalarına son derece uygundur. Sistemin ilk yatırım, bakım ve işletme giderleri düşüktür.

Ülkemizde DISS kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Özellikle enerji tasarrufu bilincinin yaygınlaşması ile birlikte düşük sıcaklıklı ısıtma sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının art-

ması ile birlikte bu sistem yaygınlaşacaktır. DISS ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar genellikle ısıtılan ve soğutulan yüzeylere ait doğal konveksiyon katsayısının tespiti ile ilgilidir. Kapalı hacimlerdeki doğal konveksiyon probleminin çözüldüğü bu çalışmalarda yerden, duvardan ve çatıdan ısı yayılması incelenmektedir. DISS ile ilgili tüm literatür çalışmaları bu sistemin konforlu, ekonomik ve yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanılmaya son derece uygun olduğunu vurgulamaktadır. Ancak DTKIP sistemi ile birlikte çalışan gerçek bir DISS deneysel olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada bu tip bir sistemin ısıtma sezonu için analizi yapılmıştır. İncelenen sistem, İstanbul'da (41 °N, 29 °E), Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi'nde bulunan YYEV'nde kurulu bulunmaktadır. Bu sistem YYEV'nin ve komşu yurt binasında bulunan toplantı odasının ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır. YYEV'de her biri 8 m<sup>2</sup> olan 4 oda mevcut olup bahsi geçen toplantı odası da 50 m<sup>2</sup>'dir. Bu çalışma sürecinde ısıtma sezonunda YYEV'ne ait 3 oda ve toplantı salonu ısıtılmıştır. Sistem parametreleri 2010 yılı için saniye bazında kaydedilerek enerji analizi yapılmıştır.

## 2. SİSTEMİN TANITIMI

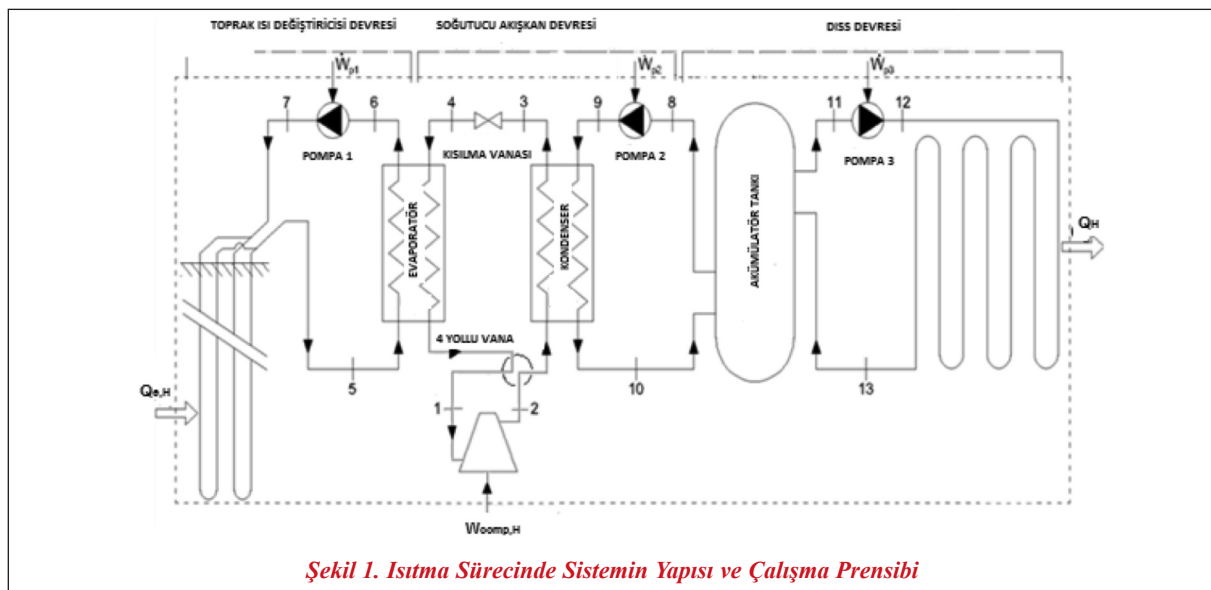
İncelenen sistem DTKIP destekli DISS olup şematik diyagramı Şekil 1'de verilmektedir. Bu sistem toprak ısı değiştiricisi devresi, ısı pompası ünitesi ve bina-

daki DISS devresinden oluşmaktadır. Düşey tip toprak ısı değiştiricisi U tüp borulu olup 2 adet ısı kuyusu mevcuttur. Kuyuların derinliği 65 m ve çapı 0,15 m dir. Toprak ısı değiştiricisi olarak düşey yönde 240 m, yatay yönde ise 45 m DN40 polietilen kompozit boru kullanılmıştır. Sistemde 3 adet sirkülasyon pompası ve 500 lt hacminde akümülayon tankı mevcuttur. DISS sisteminde ise 840 m DN16 ve 40 m DN 20 polietilen boru kullanılmıştır. Sistemin test odasını ısıtma sürecinde 20 °C mertebesinde tutması planlanmıştır. Bu bağlamda yapılan ölçümlerde ısıtma suyunun ortalama olarak 31 °C civarında seyrettiği görülmüştür. Isıtma sezonu 01.01.2010 ve 31.03.2010 tarihleri arasında toplanan veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Bu süreçte ısı pompası cihazı 863 saat online çalışmış olup bu değer ısıtma sürecinin %30'una tekabül etmektedir.

Şekil 1'deki verilen ısıtma sezonuna ait sistem şeması temel olarak üç ayrı devreden oluşmaktadır. Bunlar; (i) toprak ısı değiştiricisi devresi, (ii) soğutucu akışkan devresi ve (iii) DISS devresidir. Isıtma sürecinde YYEV'nin 3 odası ve yurda ait toplantı odası ısıtılmaktadır. Sistemde soğutucu akışkan olarak R-410 A kullanılmıştır.

## 3. ENERJİ MODELİ

Genel olarak bir sistemde ısı girişinin ve enerji verimliliğinin hesabı kütle ve enerji dengesi eşitlik-



Şekil 1. Isıtma Sürecinde Sistemin Yapısı ve Çalışma Prensibi

## Makale

leri kullanılarak yapılır. İncelenen sistemde kararlı halde, sürekli akış prosesi mevcuttur. Bu duruma uygun olan kütle ve enerji eşitliği formları (1) ve (2) nolu ifadeler ile verilmektedir. Giren kütle çıkan kütle, giren enerji ise çıkan enerjiye eşittir.

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_{in} h_{in} = \dot{W} + \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad (2)$$

Isı ve iş transferi sürecinde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiğinde, enerji dengesi eşitliği (3) no'lu ifadedeki formu alır.

$$\sum \dot{m}_{in} h_{in} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad (3)$$

Sistemin ısıtma sürecinde topraktan çektiği ısı miktarı (toprak ısı değiştiricisi yükü)  $\dot{Q}_{e,H}$ , (4) no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_{e,H} = \dot{m}_{w1}(h_7 - h_5) \quad (4)$$

Isı pompasının kondenserinde atılan ısının hesabında ise (5) no'lu ifade kullanılır.

$$\dot{Q}_{con,H} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_2) \quad (5)$$

Evaporatördeki ısı aktarımı ise (6) no'lu ifadede elde edilir.

$$\dot{Q}_{eva,H} = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \quad (6)$$

Bu süreçte kompresöre verilmesi gereken enerji miktarını veren ifade (7) no'lu denklemde verilmiştir.

$$\dot{W}_{comp,H} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad (7)$$

Isıtma sürecinde akümülatör tankına giren ve çıkan enerji miktarı sırasıyla (8) ve (9) no'lu eşitliklerde gösterilen formüllerle hesaplanır.

$$\dot{Q}_{ATE,H} = \dot{m}_{w2}(h_{10} - h_8) \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{ATR,H} = \dot{m}_{w3}(h_{11} - h_{13}) \quad (9)$$

Isıtma yükü ( $\dot{Q}_H$ ), aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\dot{Q}_{ATE,H} = \dot{m}_{w2}(h_{10} - h_8) \quad (10)$$

Isı pompası cihazının ısıtma sürecindeki COP'si ise (11) no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$CO_{PHP,H} = \frac{\dot{Q}_{con,H}}{\dot{W}_{comp,H}} \quad (11)$$

Isıtma sürecinde tüm sistemin performans katsayısı ( $COP_{SYS,H}$ ), ısıtma yükünün kompresör ve sirkülasyon pompasında harcanan toplam güce oranı olup (12) no'lu eşitlik ile elde edilir:

$$CO_{SYS,H} = \frac{\dot{Q}_{con,H}}{\dot{W}_{comp,H} + \dot{W}_{p,1} + \dot{W}_{p,2} + \dot{W}_{p,3}} \quad (12)$$

## 4. BULGU VE TARTIŞMALAR

Sistemin analizi sürecinde hesaplamalar yapılırken toprak ısı değiştiricisindeki, kısılma vanasındaki ve izole edilmiş olan borulardaki enerji kayıpları ihmal edilmiştir. Sistem Bölüm 3'de verilen şekilde modellenmiştir. Yapılan incelemede 1 Ocak-31 Mart 2010 tarihinde toplanan veri kullanılmıştır. Kurulan veri toplama sistemi ile saniye bazında veri toplanarak MySQL veritabanında depolanmıştır. Hesaplamalar için özgün Microsoft Excell çalışma sayfaları oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılmak üzere, soğutucu akışkan R-410'a ait termodinamik özellikler Solkane 6,0'dan, suya ait termodinamik özellikler ise EES'den alınmıştır. Analiz ve hesaplamalardan sonra ısıtma sürecinde sistemin kritik noktalarına ait ortalama kütleli debi, sıcaklık, basınç, entalpi ve enerji akısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca ürün enerji akısı, yakıt enerji akısı, enerji kayıpları ve ürün/yakıt prensibine göre bulunan enerjistik verimler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Isıtma sürecinde topraktan çekilen ortalama ısı (4) nolu eşitlikten 6,51 kW olarak hesaplanmıştır. Pompalanan salamuranın kütleli debisi ortalama olarak 1,584 m<sup>3</sup>/h bulunmuş olup harcanan pompa gücü elde edilen birim ısıtma gücü başına 13,94 W/kW'dır. Literatürde TKIP sistemlerinde elde edilen soğutma kapasitesine göre toprak ısı değiştiricisinde harcanan gücün mukayese edilebileceği bir

**Tablo 1. Isıtma Sürecinde Ölçülen Veri ve Hesaplanan Değerler**

No	İncelenen nokta	$\dot{m}$ [kg/s]	T[°C]	P[kPa]	h[kJ/kg]	$\dot{E}$ [kW]
1	Evaporator çıkışı/kompresör girişi	0.035	7.97	795	429.62	15.123
2	Kondenser girişi/kompresör çıkışı	0.035	63.16	2021	465.84	16.398
3	Kondenser çıkışı	0.035	28.37	2021	245.49	8.641
4	Evaporator girişi	0.035	-0.14	795	245.49	8.641
5	Toprak ısı değiştiricisi çıkışı	0.440	7.48	250	31.53	13.810
6	Toprak ısı değiştiricisi girişi	0.440	3.89	243	16.46	7.209
7	Toprak ısı değiştiricisi pompası girişi	0.440	3.94	180	16.67	7.301
8	Sirkülasyon pompası girişi	0.570	29.65	250	124.30	72.094
9	Sirkülasyon pompası çıkışı	0.570	29.70	300	124.50	72.210
10	Akümülatör tankı girişi	0.570	32.66	293	136.90	79.402
11	Akümülatör tankı çıkışı	0.270	30.60	250	128.30	29.509
12	Isıtma suyu girişi	0.270	30.70	300	128.70	29.624
13	Isıtma suyu dönüşü	0.270	24.77	250	103.90	23.897

**Tablo 2. Isıtma Sürecinde Sistem Elemanlarının Enerjistik Analizi**

Komponent	$\dot{P}$ [kW]	$\dot{F}$ [kW]	$\dot{E}_{\text{loss}}$ [kW]	$\eta$ [%]	COP <sub>H</sub>
Kompresör	1.268	1.711	0.443	74.10	—
Kondenser	7.068	7.712	0.644	91.65	—
Kısılma vanası	8.592	8.592	0.000	100.00	—
Evaporator	6.445	6.601	0.156	97.63	—
Toprak ısı değiştiricisi	6.509	6.509	0.000	100.00	—
Sirkülasyon pompası 1	0.092	0.130	0.038	70.75	—
Sirkülasyon pompası 2	0.114	0.130	0.016	87.69	—
Akümülatör tankı	6.588	7.182	0.594	91.73	—
Sirkülasyon pompası 3	0.108	0.130	0.022	83.08	—
DISS	5.799	6.696	0.897	86.61	—
Isı pompası cihazı	7.068	8.312	1.244	85.00	4.13
Tüm sistem	5.799	8.609	2.810	67.36	2.76

tablo mevcuttur [8, 11, 12] . Bu tabloya göre, birim soğutma kapasitesi (kW) başına 14 ve az Watt pompa gücü harcanması durumu mükemmel, 14-21 makul, 21-28 vasat, 28-42 verimsiz ve 42'nin üzeri ise israf olarak nitelendirilmiştir. Bu değerlere göre sistemde harcanan pompa gücü makuldür.

Toprak ısı değiştiricisi performansı ısı kuyusundan metre başına çekilen ısı (W) olarak ifade edilebilir.

Bu sistemde ısıtma sürecinde topraktan çekilen ısı 50 W/m olarak bulunmuştur. Sanner ve ark.nın çalışması [13] incelendiğinde, Orta Avrupa'da topraktan çekilen ısı akımının 40 ila 100 W/m arasında değiştiği ve ortalama olarak 55-70 W/m'de seyrettiği görülmektedir. Özgener ve ark. [9] İzmir'deki sistemlerinde bu değer 64.72 W/m olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada bulunan sonuç belirtilen çalışmalardaki aralığa uymaktadır.

**Makale****SONUÇ**

Bu çalışmada DTKIP destekli DISS'nin enerjistik performans incelemesi yapılmıştır. Çalışma sürecinde geniş bir MySQL veritabanı elde edilmiştir. Enerjistik analizden sonra sistem performansı literatürdeki bazı sistemlerle kıyaslanmış ve bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Toprak ısı değiştiricisi kapalı devresinde harcanan pompalama gücü durumu makul bir değerdedir.
- Toprak ısı değiştiricisi performansını niteleyen ısı çekimi değeri 50 W/m olarak bulunmuş olup literatürde belirtilen aralığa uymaktadır.
- Isıtma sürecinde ısı pompası cihazının verimi %85 iken hesaplanan toplam sistem verimi %67.36'dır. Bu süreçte ısı pompası cihazına ait  $COP_H$  4.13 iken sistemin bütününe ait  $COP_H$  2.76 olarak bulunmuştur.
- Isıtma sürecinde enerji tüketim dağılımı: kompresörde 1.71 kW, toprak ısı değiştiricisi devresi pompasında 0.092 kW, akümülatör tankı sirkülasyon pompasında 0.114 kW ve DISS sirkülasyon pompasında 0.108 kW'dır.

**SEMBOLLER**

COP	: performans katsayısı (boyutsuz)
$\dot{E}$	: enerji akısı (kW)
$\dot{F}$	: yakıt enerji akısı (kW)
h	: özgül entalpi (kJ/kg)
$\dot{m}$	: kütsel debi (kg/s)
P	: basınç (kPa)
$\dot{P}$	: ürün enerji akısı (kW)
$\dot{Q}$	: ısı akısı (kW)
T	: sıcaklık (°C)
$\dot{W}$	: iş (kW)

**ALT İNDİSLER**

AE	akümülatör tankının çektiği
AR	akümülatör tankının verdiği
comp	kompresör
con	kondenser
e	çekilen
eva	evaporator
in	giren
H	ısıtma
HP	ısı pompası

loss	kayıp
out	çıkan
pump	pompa
ref	soğutucu (R-410A)
SYS	sistem
w	su

**KAYNAKLAR**

- [1] Hepbaşlı, A., "Thermodynamic Analysis of a Ground-Source Heat Pump System For District Heating", International Journal of Energy Research 7; pp. 671–87, 2005.
- [2] Hepbaşlı, A., "Ground Source Heat Pumps. In: Cutler, J., Clevelan, C. J, Editors", The Encyclopedia of Energy, Vol. 3. pp. 97-106 Academic Press/Elsevier Inc. USA 2004.
- [3] Hepbaşlı, A., "Performance Evaluation of a Vertical Ground Source Heat Pump System in Izmir, Turkey", International Journal of Energy Research 26; pp. 1121-39, 2002.
- [4] Bi, Y., Chen L., Wu, C., "Ground Heat Exchanger Temperature Distribution Analysis and Experimental Verification", Applied Thermal Engineering 22; pp. 183-9, 2002.
- [5] Urchueguia, J. F., Zacares M., Corberan J. M., Montero A., Martos J., Witte H., "Comparison Between The Energy Performance of a Ground Coupled Water to Water Heat Pump System and an Air to Water Heat pump System for Heating and Cooling in Typical Conditions of The European Mediterranean Coast", Energy Conversion Management 49; pp. 2917-2923, 2008.
- [6] Dikici, A., Akbulut, A., "Performance Characteristics and Energy-Exergy Analysis of Solar Assisted Heat Pump System", Building and Environment 43; pp. 1961-1972, 2008.
- [7] Lund, J. W., Freeston, D. H., Boyd, T. L., "Direct Application of Geothermal Energy: 2005 Worldwide Review", Geothermics 34; pp. 691–727, 2005.
- [8] Özgener, Ö., Hepbaşlı, A., "Modeling and Performance Evaluation of Ground Source (geothermal) Heat Pump Systems", Energy and Buildings 39; pp. 66-75, 2007.
- [9] Ağustos, H., Açıkgöz, Ö., Akbulut U., Kıncay, O., "Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası

- Kullanımında Güneş Enerji Desteğinin Araştırılması”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi 106, pp. 47-53, 2008.
- [10] ASHRAE, 2004, “ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment”, Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [11] Kavanaugh, SP., “Field Test of Vertical Ground-Coupled Heat Pump in Alabama”, ASHRAE Transactions Vol. 98 (2), pp. 607-616, 1992.
- [12] Kavanaugh, S. P., “Using Existing Standards to Compare Energy Consumption of Ground Source Heat Pumps Wwith Cconventional Equipment”, ASHRAE Transactions Vol. 98 (2) pp. 599-606, 1992.
- [13] Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinis, D., Raybach L., “Current Status of Ground Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Europe”, Geothermics 32; pp. 579-588, 2003.