



**T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YATAY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS
ŞARTLARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

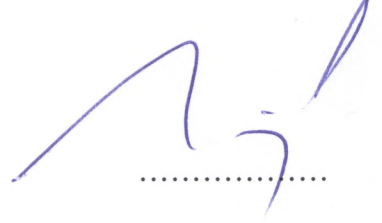
**Mustafa CANER
(201492091259)**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertan BUYRUK**

**SİVAS
OCAK 2018**

Mustafa CANER' in hazırladığı ve “YATAY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS ŞARTLARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Prof. Dr. Ertan BUYRUK**
Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi **Prof. Dr. H. İbrahim ACAR**
Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi **Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA**
Ege Üniversitesi



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

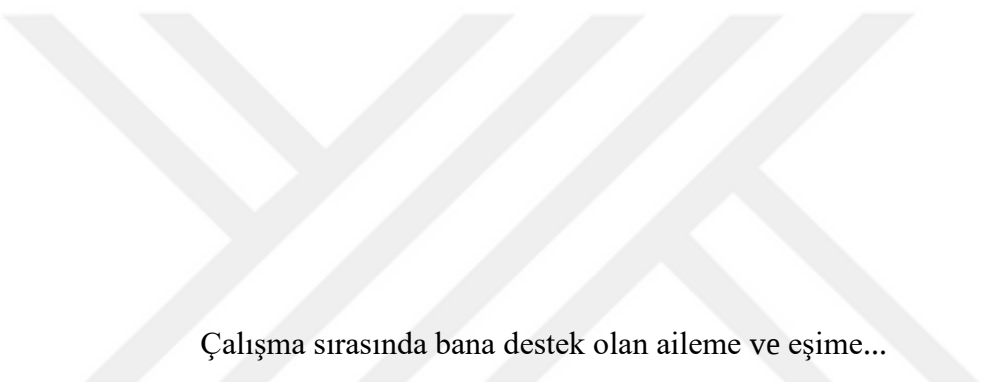
Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mustafa CANER, 2018



Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve eşime...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

4.01.2018

Mustafa CANER

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında hoşgörölü ve sabırlı yaklaşımları ile derin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, her aşamada desteğini hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertan BUYRUK’a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Görüş ve önerilerinden yararlandığım hocalarım Sayın Prof. Dr. H. İbrahim ACAR, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferhat KILINÇ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Koray KARABULUT’a desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Sistemin kurulum ve deney aşamalarında beraber çalıştığım hocam Sayın Öğr. Gör. Netice DUMAN’a katkıları için teşekkür ederim. Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nün değerli öğretim elemanlarına ve idari personellerine ayrıca teşekkür ederim.

Büyük bir sabırla beni destekleyen ve her konuda destek olan değerli eşime ve hayatım boyunca desteklerini hissettiğim başta değerli annem ve babam olmak üzere değerli ailemin bütün fertlerine teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

YATAY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS ŞARTLARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa CANER

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

2018, 92+xviii sayfa

Ülkemizde iklimlendirme için harcanan enerji toplam tüketimin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında iklimlendirme için daha verimli sistemler veya yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması son derece önemlidir. Bu sistemlerden biride kaynak olarak doğadaki enerjiyi kullanan ısı pompası sistemleridir. Çok fazla değişmeyen nispeten daha kararlı durumda olan toprak soğuk iklim bölgelerinde de kullanılabilir.

Bu çalışmada, Sivas ilinde toprak kaynaklı ısı pompasının performansı araştırılmıştır. Bunun için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan enerji evine yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurulmuştur. Toplam uzunluğu 370 m olan ve 4 hattan meydana gelen toprak altı ısı değiştiricisi 2,5 m derinliğine yerleştirilmiştir. Topraktan ısı çekmek için ısı değiştiricide su - antifriz karışımı dolaştırılmıştır.

Deneyler 2016 yılının Aralık ayında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, su-antifriz karışımının buharlaştırıcıya giriş çıkış sıcaklığı, soğutucu akışkanın ısı pompası elemanlarına giriş çıkış sıcaklıkları, ısıtma suyunun radyatörlere gidiş ve dönüş sıcaklıkları ve farklı derinliklerde toprak sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca kompresör giriş ve çıkış basınçları, su-antifriz karışımının ve ısıtma suyunun debisi ve güç tüketimleri ölçülmüştür.

Ölçümler sonucunda toprak sıcaklıklarının değişimi, iç ve dış ortam sıcaklıklarının değişimi ile ısı pompasının ve sistemin performans katsayılarının değişimi bulunmuştur.

Isı pompasının ve sistemin performans katsayıları (COP_{IP} ve COP_S) sırasıyla 2,3 – 1,96 ve 1,99 ve 1,7 değerleri arasında elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Toprak kaynaklı ısı pompası, performans katsayısı, enerji



ABSTRACT

EVALUATION OF HORIZONTAL TYPE GROUND SOURCE HEAT PUMP SYSTEM ON SIVAS CONDITIONS

Mustafa CANER

Master of Science Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

2018, 92+xviii pages

Spent energy in our country for air conditioning composes an important part of total consumption. When this case is considered, more efficient systems or using of renewable energy sources are intensely important for air conditioning. One of these systems is heat pump systems which uses energy in the nature as well. Soil that is not very much changing and is relatively more stable can also be used in cold climate regions.

In this study, performance of soil source heat pump was investigated in province of Sivas. For this aim, horizontal type soil source heat pump system was set up in energy home existed in Cumhuriyet University campus in Sivas. Underground heat exchanger that had total length of 370 m and composed of four lines was placed in 2.5 m deep. Mixture of water-antifreeze in heat exchanger was circulated to draw heat from soil.

Experiments were carried out in month of december, 2016. During the experiments, temperatures of inner and outer environments, inlet temperature of water-antifreeze mixture to evaporator and inlet and outlet temperatures of coolant to heat pump components, going and turning temperatures of heating water to radiators and soil temperatures in different deeps were measured. Besides, inlet and outlet pressures of compressor, flow rates of water-antifreeze mixture and heating water, power consumptions were gauged.

The results of the measurements, the soil temperature variations, variation of performance coefficients of heat pump and system with variation of inner and outer environment temperatures were found. The performance coefficients of heat pump and system (COP_{HP} and COP_S) were obtained in the range value of 2.3-1.96 and 1.99-1.7, respectively.

Key Words: Ground Source Heat Pump, Coefficient of Performance, Energy



İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
SİMGELER DİZİNİ	xvii
KISALTMALAR DİZİNİ	xviii

1. GİRİŞ	1
1.1. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
2. GENEL BİLGİLER.....	13
2.1. Isı Pompası Kavramı	13
2.2. Isı Pompası Tarihi	13
2.3. Isı Pompası Elemanları	14
2.3.1. Kompresör.....	14
2.3.2. Buharlaştırıcı.....	15
2.3.3. Yoğuşturucu	15
2.3.4. Kısılma vanası.....	16
2.3.5. Yardımcı elemanlar.....	17
2.3.5.1. Dryer (kurutucu)	17
2.3.5.2. Gözetleme camı.....	17
2.3.5.3. Alçak basınç anahtarı	17
2.3.5.4. Yüksek basınç anahtarı	17
2.4. Isı Pompası Çevrimi	17
2.4.1. Tersine Carnot çevrimi	17
2.4.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.....	18
2.4.3. Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	19
2.5. Isı Pompasında Kullanılan Isı Kaynakları.....	20
2.5.1. Hava	21
2.5.2. Su	22
2.5.2.1. Yeraltı suyu	22
2.5.2.2. Yerüstü suyu	23
2.5.3. Toprak	24
2.5.4. Güneş	24
2.6. Toprak kaynaklı ısı pompası	25
2.6.1. Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi.....	25
2.6.2. Toprak kaynaklı ısı pompası çeşitleri	26
2.6.2.1. Dikey toprak kaynaklı ısı pompası.....	26
2.6.2.2. Yatay toprak kaynaklı ısı pompası.....	27
3. MATERYAL VE METOT.....	29
3.1. Sistemin Projelendirilmesi	29
3.1.1. Enerji evi.....	29
3.1.2. Isı kaybı hesabı	30
3.2. Ön Çalışma.....	33
3.2.1. Toprak Isı Değiştiricisinin Boyutlandırılması	35
3.2.1.1. Topraktan Isı Çekme Kapasitesi	35
3.2.1.2. Döşeme Alanı.....	35
3.2.1.3. Boru Boyu	35

3.2.2. Toprak kazı işlemi.....	38
3.2.3. Boruların toprak altına yerleştirilmesi	39
3.2.4. Tesisatın kurulması	40
3.3. Deney Sistemi	41
3.3.1. Toprak devresi	44
3.3.2. Isı pompası devresi	45
3.3.3. Isıtma Devresi	47
3.4. Deneylerde Yapılan Ölçümler.....	49
3.4.1. Sıcaklık Ölçümleri	49
3.4.2. Basınç Ölçümleri	51
3.4.3. Debi Ölçümleri.....	51
3.4.4. Güç Ölçümleri.....	52
3.5. Kullanılan Yazılımlar.....	53
3.5.1. Benchlink data logger 3	53
3.5.2. Kael viewer	54
3.5.3. Cool pack	54
3.5.4. Microsoft Excel.....	55
3.6. Deneylerin Yapılışı	56
3.6.1. Deneysel verilerin değerlendirilmesi	56
4. DENEYSEL BULGULAR	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Scroll kompresör	15
Şekil 2.2 Plakalı ısı değiştirici	15
Şekil 2.3 Termostatik genleşme valfi	16
Şekil 2.4 Çevrimin tesisat şeması ve T-s diyagramı.....	17
Şekil 2.5 Çevrimin tesisat şeması	18
Şekil 2.6 Çevrimin T-s ve P-h diyagramı	19
Şekil 2.7 Çevrimin tesisat şeması ve T-s diyagramı.....	20
Şekil 2.8 Havadan havaya ısı pompası	21
Şekil 2.9 Havadan suya ısı pompası	22
Şekil 2.10 Isı kaynağı olarak yeraltı suyu	23
Şekil 2.11 Isı kaynağı olarak yerüstü suyu	23
Şekil 2.12 Isı kaynağı olarak toprak	24
Şekil 2.13 Farklı derinliklerde toprak sıcaklıklarının değişimi	25
Şekil 2.14 Salamura ile toprak arasında gerçekleşen ısı transferinin yönü	26
Şekil 2.15 Dikey toprak kaynaklı ısı pompası	27
Şekil 2.16 Yatay toprak kaynaklı ısı pompası	28
Şekil 3.1 Enerji evinin kuzey cepheden görünüşü.....	29
Şekil 3.2 Enerji evinin mimari planı ve farklı tip duvar uygulamaları	30
Şekil 3.3 Ön çalışmaya ait görüntüler	33
Şekil 3.4 16 Aralık 2015 tarihinde ölçülen dış ortam sıcaklıkları	34
Şekil 3.5 18 Aralık 2015 tarihinde farklı derinlikler ölçülen toprak sıcaklıkları	34
Şekil 3.6 Kazı işleminin başlarında kazı alanı.....	38
Şekil 3.7 Kazı işleminin sonunda kazı alanı	39
Şekil 3.8 Toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilme aşamaları.....	40
Şekil 3.9 Deney tesisatı	41
Şekil 3.10 Deney tesisatının tesisat şeması	42
Şekil 3.11 Toprak devresi.....	44
Şekil 3.12 Kollektör.....	45
Şekil 3.13 Isı pompası devresi	46
Şekil 3.14 Kullanılan ısı pompası	47
Şekil 3.15 Isıtma devresi	48
Şekil 3.16 Toprak sıcaklık ölçüm probu.....	49
Şekil 3.17 Kullanılan veri toplama ünitesi ve modüller	50
Şekil 3.18 Manometrelerin görünümü.....	51
Şekil 3.19 Ultrasonik termal enerji sayacı.....	52
Şekil 3.20 Şebeke analizörü.....	52
Şekil 3.21 Veri toplama ünitesi programı arayüzü	53
Şekil 3.22 Şebeke analizöründen alınan verilerin görüntülenmesi.....	54
Şekil 3.23 Cool pack programında değerlerin belirlenmesi	55
Şekil 3.24 Microsoft Excelde yapılan işlemler.....	55

Şekil 3.25 Su – etilen glikol karışımının yoğunluğu	57
Şekil 3.26 Su – etilen glikol karışımının özgül ısısı	58
Şekil 3.27 Su – etilen glikol karışımının ısıl iletkenliği	58
Şekil 3.28 Sistem sınırları.....	59
Şekil 4.1 7 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	61
Şekil 4.2 7 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	62
Şekil 4.3 7 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	63
Şekil 4.4 7 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	64
Şekil 4.5 13 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	64
Şekil 4.6 13 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	65
Şekil 4.7 13 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	66
Şekil 4.8 13 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	67
Şekil 4.9 18 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	67
Şekil 4.10 18 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	68
Şekil 4.11 18 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.12 18 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.13 28 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	70
Şekil 4.14 28 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	71
Şekil 4.15 28 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.16 28 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.17 Deneylerin ilk haftasında $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	73
Şekil 4.18 Deneylerin ilk haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	74
Şekil 4.19 Deneylerin ilk haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.20 Deneylerin ilk haftasında COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	76
Şekil 4.21 Deneylerin ikinci haftasında $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	76
Şekil 4.22 Deneylerin ikinci haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	77
Şekil 4.23 Deneylerin ikinci haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	78
Şekil 4.24 Deneylerin ikinci haftasında COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.25 Deneylerin üçüncü haftasında $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	79
Şekil 4.26 Deneylerin üçüncü haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	80
Şekil 4.27 Deneylerin üçüncü haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	81
Şekil 4.28 Deneylerin üçüncü haftasında COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi.....	82
Şekil 4.29 Deneylerin son haftasında $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi	82
Şekil 4.30 Deneylerin son haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi	83
Şekil 4.31 Deneylerin son haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi.....	84
Şekil 4.32 Deneylerin son haftasında COP_{IP} ve COP_S ’nin zamanla değişimi	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler	28
Çizelge 3.1. Numaralandırılmış duvar tipleri	30
Çizelge 3.2. Evin ısı kaybı hesabı	31
Çizelge 3.3 Toprak türüne göre ısı çekme kapasitesi	35
Çizelge 3.4 Toprak ısıl direnci	37
Çizelge 3.5 Boru ısıl direnci	37
Çizelge 3.6 Şematik gösterimde kullanılan kısaltmalar	41
Çizelge 3.7 Şematik gösterimde kullanılan kısaltmalar	43
Çizelge 3.8 Isı pompasının teknik değerleri	47
Çizelge 3.9 Deney sisteminde yapılan sıcaklık ölçümleri	50
Çizelge 3.10 Şebeke analizöründe yapılabilen ölçümler	53
Çizelge 3.11 Denklemden yer alan katsayılar	57
Çizelge 4.1 Bazı verilerin aylık ortalamaları	85

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan, m ²
L	Uzunluk, m
m	Kütlesel debi, kg/s
c_p	Özgül ısı kJ/kg°C
T	Sıcaklık, °C
P	Basınç, bar
h	Entalpi, kJ/kg
Q̇	Isıl güç, kW
R	Isıl direnç
F	Çalışma faktörü

Alt indisler

sa	Salamura
y	Yoğuşturucu
s	Sistem
ıp	Isı pompası
komp	Kompresör
top	Toplam
sp	Sirkülasyon pompası
ıs.	Isıtma
soğ.	Soğutma
b	Boru
t	Toprak

KISALTMALAR DİZİNİ

TEP	Ton eşdeğer petrol
HKIP	Hava kaynaklı ısı pompası
TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası
TID	Toprak ısı değiştirici
COP	Performans katsayısı
PPRC	Poly propilen random co-polymer



1. GİRİŞ

Geçmişte olduğu gibi bugünde insanlığın en büyük problemlerinden biri artan enerji ihtiyacıdır. Enerji tüketimi teknolojinin gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Günümüzde enerjinin büyük bir kısmı doğalgaz, petrol ve kömür gibi yakıtlardan üretilmektedir. Bu yakıtların azalma eğiliminde olması ve çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda devletlerin enerji politikalarının önemi anlaşılmaktadır. Birçok devlet enerjinin daha verimli kullanılması için çeşitli çalışmalar yapmaktadır.

Türkiye birincil enerji kaynaklarının büyük bir bölümünü ithal etmektedir. Bu durum ülkemizi enerji konusunda dışa bağımlı hale getirirken aynı zamanda enerji üretim maliyetlerini de artırmaktadır.

Türkiye'nin 2014 yılındaki toplam birincil enerji arzı 124 milyon TEP'dir. Arzın kaynaklara dağılımında, 40,2 milyon TEP ve toplam arzın % 32,5'i ile doğalgaz, 36,13 milyon TEP ve % 29,14 ile kömür, 32,43 milyon TEP ve % 26,2 ile petrol ilk üç sırayı almıştır. Geriye kalan yaklaşık %12 kısmı diğer kaynaklar oluşturmuştur. Ayrıca Türkiye'nin 2014 yılındaki toplam birincil enerji üretimi 31 milyon TEP düzeyinde gerçekleşmiştir. Üretimin kaynaklara dağılımında, 16,36 milyon TEP ve % 52,7 ile yarıdan fazlasını, yüzde doksan dördü linyit olan kömür, 3,52 milyon TEP ve % 11,3 oranı ile jeotermal, 3,5 milyon TEP ve % 11,3 payı ile hidrolik ilk üç sırada bulunmaktadır. Geriye kalan %24,7'lik kısmı diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %5 civarındadır. Bu veriler sonucunda 2014 yılında Türkiye'nin enerji üretiminin ihtiyacını karşılama oranı %25 olarak bulunmaktadır (MMO, 2016). Bu nedenlerle ülkemiz enerji ihtiyacında yerli kaynakların miktarını artırmak zorundadır. Bu ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının artırılması ile mümkün olacaktır.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif olarak kullanılabileceği bir coğrafi bölgede bulunmaktadır. Kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması ile birlikte enerjide dışa bağımlılığımız büyük ölçüde azalacaktır. Ülkemizde konutların ve binaların iklimlendirilmesi için harcanan enerji tüketilen toplam enerjinin önemli bir kısmına denk gelmektedir. Bu nedenle enerji tasarrufu sağlayacak sistemler önem kazanmaktadır.

Çevre dostu olarak görülen ve son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan ısı pompası sistemleri bir çözüm yöntemi olarak enerji gereksinimine ışık tutmaktadır (İnan, 2014). Bu sistemler çevreden aldıkları yenilenebilir enerjiyi kullanılırlar. Yıl boyunca toprak altında, yeraltı sularında ve havada depolanan güneş enerjisi, elektrik enerjisi yardımı ile ısıtma enerjisine dönüştürülür (Dumlu, 2012). Ülkemizin iklim özellikleri dikkate alındığında ısı pompasının kullanımının yaygınlaşması ülkemizin menfaatleri doğrultusunda olacaktır.

Isı pompası, elektrik enerjisi kullanarak düşük sıcaklıklı ortamdaki yüksek sıcaklıklı ortama ısı enerjisi taşıyan sistem olarak tanımlanabilir. Bu tanımdaki düşük sıcaklıklı ortam ısı kaynağı olarak ifade edilebilir. Isı pompalarında kaynak olarak hava, su ve toprak kullanılabilir. Isı pompasının performansı kaynak sıcaklığına ve sıcaklığın kararlılığına doğrudan bağlıdır.

Ulaşılması en kolay kaynak olması nedeniyle havanın kullanımı oldukça yaygındır. Ancak havanın sıcaklığı diğer kaynaklara göre düşük ve sıcaklık değişimleri fazla olduğu için kararsızdır. Bu durum enerji tüketimini artırmakta ve ısı pompasının performansını olumsuz etkilemektedir.

Kaynak olarak su, yeraltı ve yerüstü suyu olarak iki şekilde kullanılmaktadır. Derin kuyularda su sıcaklıkları karardır. Buna bağılı olarak ısı pompası performansı da karardır. Ancak yerüstü suyu sıcaklıkları hava sıcaklığına bağılı olarak değışir. Bu durum havaya benzer olarak enerji tüketimini artırmakta ve ısı pompasının performansını da olumsuz etkilemektedir.

Kış mevsiminde toprak sıcaklığı, dış ortam sıcaklığından fazla olduğu için ortam ısıtmasında toprak ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Benzer şekilde yaz mevsiminde toprak sıcaklığı daha düşük olacağı için toprağı ısı atarak ortam soğutulması gerçekleştirilebilir. Toprağın sıcaklık değışimi az olduğu için toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemleri karardır bir yapıdadır ve bu sistemlerin performansı dış ortam sıcaklığından fazla etkilenmez. Böylece bu sistemler soğuk iklim bölgelerinde de kullanılabilir.

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti hava ve su kaynaklı sistemlerden daha fazla olmasına rağmen sistem performansı daha yüksek ve daha

verimli oldukları için işletme giderleri düşüktür. Bu nedenle ülkemizde birçok bölgede kullanımları uygundur.

Yapılan çalışmaların sayısı artırılarak yeni sistemlerin ülkemizde çeşitli bölgelere uygunluğu araştırılmalıdır. Sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalara hız verilmelidir böylece sistemlerin ilk yatırım maliyetleri düşürülerek kullanımı yaygınlaştırılabilir.

1.1. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Isı pompaları ile ilgili son yıllarda yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Chwleduk (1996), Polonya'daki ısı pompaları için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliğini karşılaştırmıştır. Toprak, çevre havası, yerüstü ve yeraltı suları ve güneş ısı kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Tüm bu kaynakların Polonya'da yerden ısıtma için ısı üretebileceği belirtilmiştir. Toprağın özellikle küçük ölçekli düşük sıcaklıklı sistemlere uygun olduğu ifade edilmiştir.

Savaş (1996), toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin tek katlı bir binayı yerden ısıtmak için kullanımını incelemiştir. Bu nedenle yatay ve dikey toprak ısı değiştiricileri tasarlanmıştır. Alternatif yakıtlar için yakıt maliyeti analizi yapılmıştır.

Petit ve Meyer (1998), Johannesburg'da yaptığı çalışmada dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı sistemin ekonomikliğini karşılaştırmıştır. Bunun için sistemlerin ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri belirlenmiştir. Sonuç olarak toprak kaynaklı sistemin daha uygun maliyetli olduğu elde edilmiştir.

Hepbaşlı ve Akdemir (2004), Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde bulunan 65 m²'lik bir odayı ısıtmak için 50 m derinliğinde kapalı devre dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurmuşlardır. Bu sistemin performansını belirlemek ve ekserji analizini yapmak için deneyler yapmışlardır.

Demir (2006), doktora çalışmasında yatay tip toprak kaynaklı ısı değiştiricinin performansını incelemek amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde bir ısı pompası sistemi kurmuştur. Sistem 800 m² açık arazi üzerine kurulmuştur. Toprak altı ısı değiştirici 1,8 m derinlikte, aralarında 3 m boşluk bulunan toplam 120 m PPRC borudan oluşmaktadır. Isıl çiftler kullanılarak borudan itibaren düşeyde ve yatayda çeşitli konumların sıcaklıkları ölçülerek sıcaklık dağılımları elde edilmiştir.

910 saat sonunda elde edilen sıcaklık dağılımlarının matematiksel model ile yapılan hesaplamalarla öngörülen biçimde gerçekleştiği belirtilmiştir.

Erdoğan vd. (2006), ısı pompası sistemlerinin seçiminin nasıl yapılacağı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Isı pompası sistem tipinin seçimi, ısıtma/soğutma yüklerinin hesaplanması, dağıtım sistemi sıcaklığının belirlenmesi, ısı pompası işletim sisteminin seçimi ve ısı pompası tipinin seçimi aşamaları detaylı şekilde açıklanmıştır.

Esen vd. (2006), Elazığ da yerden ısıtma için bir test odasına bağlanan yatay toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarlamış ve kurmuşlardır. Deneyler sonucunda sistemin performansı belirlenmiş ve ekonomik analizi yapılmıştır. Sistemin doğalgaz için ekonomik bir alternatif olmadığı anlaşılmıştır.

Bakırcı vd. (2007), Deneysel ölçümler 21 Nisan 2007 tarihinde, Erzurum ili için ısıtma sezonunda alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda güneş ışınlamı miktarı, günlük ortalama toplayıcı verimi, ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcılara giriş ve çıkış sıcaklığı, ısı pompasına sağlanan kaynak sıcaklığı ile yoğunlaştırıcıdan çıkan su sıcaklığı, ısı pompasının (COP) ve tüm sistemin performans katsayısının (COP_s) gün boyunca değişimleri incelenmiştir.

Ekinci (2007), yüksek lisans çalışmasında ısı pompalarının konutların ısıtılmasında kullanımını incelemek amacıyla Erzurum da 53 m derinliğinde dikey tip ısı pompası deney seti kurmuştur. 2007 yılının başında başlayan deneyler mayıs ayının sonuna kadar devam etmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak ısıtma sezonu için sistemin performans katsayısı (COP_s) 2,3 olarak hesaplanmıştır.

Esen (2007), doktora çalışmasında sondaj derinliğinin ısıtma sistemi performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Bu amaçla Elazığ'da 30 m, 60 m ve 90 m derinliğinde kuyular açılmıştır. Deneyler ısıtma ve soğutma sezonunda gerçekleştirilmiştir. Soğutma sezonunda ortalama toprak sıcaklıkları 30 m derinliğinde 13,37 °C, 60 m derinliğinde 16,23 °C ve 90 m derinliğinde 19,97 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma sezonunda bu derinlikler için ortalama sıcaklıklar sırasıyla 13,35 °C, 17,07 °C ve 21,02 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma sezonunda bu derinlikler için hesaplanan COP_s değerleri sırasıyla 1,93, 2,37 ve 3,03 iken soğutma sezonunda 3,37, 3,85, 4,33 şeklindedir. Elde edilen veriler 90 m derinlikte ısı pompası sisteminin en yüksek performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Esen vd. (2007), yatay toprak ısı değiştiricilerinin 1 m ve 2 m derinliklerde enerji ve ekserji verimliliklerini araştırmışlardır. Sistemlerin enerji verimliliği sırasıyla 2,5 ve 2,8 olarak elde edilirken, sistemin ekserji verimi %53,1 ve %56,3 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda ısı kaynağının sıcaklığının artmasının her iki verimi de arttırdığı görölmüştür.

Yılmaz (2007), çalışmada düşük sıcaklık ısı pompası ismiyle de anılan soğuk iklim ısı pompasının Erzurum ilinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu sisteminin denge sıcaklığının ve işletme giderlerinin hava kaynaklı ısı pompasına göre daha düşük olması yanında COP değerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Acar (2009), doktora çalışmasında Denizli ilinde 110 m derinliğe sahip dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin soğutma ve ısıtma performansını incelemiştir. Ayrıca bu ısı pompası kullanılarak bazı gıda ürünlerinin kurutulmuştur. Isıtma deneyleri 16 Ekim 2007 ile 21 Nisan 2008 arasında yapılmıştır. Deneyler sonucunda ısı pompası ve sistem için performans katsayılarının sırasıyla 2,5 – 4,5 ve 2,03 – 2,66 değerleri arasında değiştiği görölmüştür. Bunun yanında, ekserji verimlerinin %74,61 ve %72,62 olduğu belirtilmiştir. Soğutma deneyleri 4 Haziran 2008 ile 16 Eylül 2008 arasında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda ısı pompası ve sistem için performans katsayılarının sırasıyla 3,1 – 4,8 ve 2,1 – 3,1 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu süreçte, ekserji verimlerinin %78,37 ve %76,08 olduğu belirtilmiştir.

Bakırcı vd. (2009), Atatürk üniversitesinde bulunan Enerji Laboratuvarında güneş enerji kaynaklı ısı pompası sistemi kurulmuştur. Sistem güneş kolektörleri, su-su ısı pompası ve ısıtma ünitesi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmuştur. En soğuk günlerden biri olan 14 Ocak tarihinde ısı pompası ve sistemin COP değerleri sırasıyla 4,2 ve 3,6 olarak bulunmuştur. Güneş kaynaklı ısı pompasının Erzurum şartlarında uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Pulat vd. (2009), Bursa'nın kış mevsimi koşullarını dikkate alarak yatay toprak kaynaklı ısı pompasının performansını değerlendirmişlerdir. Dış ortam sıcaklığının sistem kapasitesi ve COP üzerine etkisi ayrıca ortalama toprak sıcaklığının COP üzerine etkisi belirlenmiştir. Isı pompası ve sistemin COP değerleri sırasıyla 2,46 – 2,58 ve 4,03 – 4,18 arasında bulunmuş ve TKIP sisteminin maliyetinin geleneksel sistemlere göre daha uygun olduğu gözlenmiştir.

Tarnawski vd. (2009), Japonya’da 200 m² yaşam alanı için yatay topraklı kaynaklı ısı pompası sisteminin bilgisayar simülasyonunu ve analizini yapmışlardır. Sonuç olarak, kuzey Japonya’da konut ve ticari kullanım için yeni ve yenilenebilir yatay sistemlerin özellikle tarım arazileri alanında uygulanabilir olduğu bulunmuştur.

Aksu (2010), yüksek lisans çalışmasında Balıkesir ilinde Gönen Meslek Yüksekokulu’nda bulunan gölete yerüstü suyu kaynaklı ısı pompası sistemi kurmuş ve performansını incelemiştir. 15 °C, 20 °C ve 25 °C sabit giriş havası sıcaklığı için, üç farklı hava hızında ve üç farklı su debisinde deneyler yapılmış ve veriler kayıt edilmiştir. Deneyler sonucunda hava hızının ve su debisinin artmasıyla birlikte sistem performansının da arttığı görülmüştür. En yüksek performans katsayısı 3,15 olarak hesaplanmıştır.

Çamdalı ve Tunçel (2010), Bolu ilinde TKIP sisteminin ısıtma ve soğutma modunda ekonomik parametreleri elde edilmiştir. Sistemin projelendirilmesi yapıldıktan sonra toplam maliyeti belirlenmiştir. Sistemde üretilen ısının birim yatırım maliyeti 7,9 €/kwh, birim işletme maliyeti 9,12 €/kWh olarak hesaplanmıştır.

Başkal (2011), yüksek lisans çalışmasında Yıldız Teknik Üniversitesi’nde kurulu dikey toprak kaynaklı ısı pompası sistemini duvardan ısıtma ve soğutma amacıyla kullanmıştır. Toprak ısı değiştiricisinin yerleştirildiği kuyuların derinliği 60 m ve aralarındaki mesafe 7,5 m’dir. Isıtma performansın hesabı 12.03.2010 tarihinde saat 12.00’da elde edilen verilere göre yapılmıştır. Soğutma performansının hesabı ise 05.07.2010 tarihinde saat 11.40’da elde edilen verilere göre yapılmıştır. Isıtma ve soğutma deneylerinde performans katsayıları sırasıyla 3,88 ve 5,15 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ısınma için gerekli enerjinin yaklaşık %75’inin, soğutma için gerekli enerjinin yaklaşık % 80’inin topraktan sağlandığı ifade edilmiştir.

Özdemir (2011), doktora çalışmasında Gazi Üniversitesi’nde 20,7 m³ hacminde bir odanın ısıtılması ve soğutulması için dikey tip TKIP sistemi kurulmuştur. 40 m sondaj derinliğine sahip sistemde ısı taşıyıcı akışkan olarak R407c kullanılmıştır. Isıtma mevsiminde ısı pompası ve sistemin COP değerleri sırasıyla 3,85 ve 3,44 olarak hesaplanmıştır. Soğutma mevsiminde ise bu değerler sırasıyla 3,12 ve 2,8 olarak bulunmuştur. R407c gazının ısı pompalarında yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir.

Özsolak (2011), doktora çalışmasında Elazığ'da bulunan 12 m² odayı ısıtmak için slinky toprak ısı değiştiricili ısı pompası sistemi kurmuştur. TID'ın yerleştirilmesi için 2 m derinlikte 1 m x 15 m boyutlarında iki tane çukur açılmıştır. Toprak ısı değiştiricisi çukurlara yatay ve dikey olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca sisteme 6 adet düzlemsel güneş kollektörü eklenmiştir. Böylece güneşli günlerde güneş ısı kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 0,1 kg/s debide yatay ısı değiştirici için ısı pompasının ve sistemin COP değerleri sırasıyla 3,55 ve 2,88, dikey ısı değiştirici için ise 2,91 ve 2,34 olarak bulunmuştur. Bu değerler 0,2 kg/s için sırasıyla yatay ısı değiştirici için 2,85 ve 2,27, dikey ısı değiştirici için 2,70 ve 2,16 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 0,1 kg/s debide yatay ısı değiştiricili, dikey ısı değiştiricili ve güneş kaynaklı ısı pompası için ekserji verimleri sırasıyla % 44,8, % 43,3 ve %41,1 olarak belirlenmiştir.

Özyurt ve Ekinci (2011), Atatürk Üniversitesi'nde bulunan Enerji Laboratuvarı'nda kurulan 53 m derinliğinde dikey toprak kaynaklı ısı pompasının deneysel performansını belirlemiş ve enerji analizi yapmışlardır. Isı pompası ve sistemin COP değerleri sırasıyla 2,43 – 3,55 ve 2,07 – 3,04 aralığında bulunmuştur. Bu sonuçlar bu sistemin Erzurum ilinde konut ısıtması için kullanılabileceğini göstermiştir.

Tunçel (2011), yüksek lisans çalışmasında TKIP sisteminin tasarım parametrelerini elde etmek amacıyla, literatürde bulunan denklemleri kullanarak bir MATLAB programı geliştirmiştir. Farklı soğutucu akışkanların (R12, R22, R134a, R404a, R410a, R502) termofiziksel özellikleri programa aktarılmıştır. Böylece aynı koşullarda farklı soğutucu akışkanların karşılaştırılması mümkün hale getirilmiştir. Program ara yüzünden toprak derinliği ve toprak ısı değiştiricisinin boru çapı girilerek, ısı pompası sisteminin her bir elemanının kapasitesi, toprak ısı değiştiricisinin boru uzunluğu ve yerleştirilmesi için gerekli alan, ısı pompasının performans katsayısı elde edilmektedir. Soğutucu akışkanların performansa etkisini incelemek için yapılan çalışmada en yüksek COP değeri R22 akışkanında elde edilmiştir.

Çolak (2012), yüksek lisans çalışmasında, Erzurum'da ısıtma amaçlı dikey TKIP sistemi kurmuştur. Deneyler 2009 yılının sonunda başlamış ve 2010 yılının Mart ayında sona ermiştir. Performans katsayıları için en yüksek değerler Nisan ayında, en düşük değerler ise Ocak ayında elde edilmiştir. Deneyler sonucunda ısı pompasının COP değeri yaklaşık olarak 2,6, sistemin COP değeri ise 2,2 olarak bulunmuştur. Sistem

performansını artırmak için sirkülasyon pompasının kapasitesinin iyi belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Öztürk vd. (2012), Isparta, Antalya ve Burdur illeri için teorik toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ve sistem bileşenleri için enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Isıtma mevsiminde sistemin COP değerleri Isparta için 2,52 – 3,52 arasında, Antalya için 1,32 – 2,03 arasında ve Burdur için 2,41 – 3,48 arasında değişmektedir. Ayrıca sistemin ekserji yıkım oranları büyükten küçüğe sırasıyla Isparta, Burdur ve Antalya şeklindedir.

Benli (2013), 30 m²'lik bir cam sera ısıtması için TKIP sisteminin kullanımının teknik ve tasarım fizibilitesini göstermiştir. Yatay toprak kaynaklı bir ısı pompası sistemi ve dikey bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma performansı arasında deneysel bir karşılaştırma yapılmıştır. İki topraklı kaynaklı ısı pompasının ve genel sistemin performanslarının ısıtma katsayısı sırasıyla, YTKIP için 3,1 – 3,6 ve 2,7 – 3,3, DTKIP için 3,2 – 3,8 ve 2,9 – 3,5 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımının bu ilçede sera ısıtması için uygun olduğunu göstermiştir.

Coşman (2013), yüksek lisans çalışmasında İstanbul'da bulunan bir uçak hangarının yerden ısıtılması için kurulacak ısı pompası sisteminde enerji kazıklarının kullanılması amaçlanmıştır. Isıtma sezonunda ısıtma için kullanılan doğalgazlı ve soğutma sezonunda kullanılan Chiller sistemleri birlikte klasik sistem diye adlandırılmıştır. Bu iki sistemin ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Sistemlerin kurulum maliyetleri birbirine yakınken, klasik sistemde birim ısıtma enerjisi % 35 fazla olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle ısı pompası sisteminin geri ödeme süresi 1,1 yıl olarak belirlenmiştir.

Naili vd. (2013a), toprak kaynaklı ısı pompasının Tunus'ta soğutma uygulaması için performansını araştırmışlardır. Deneyler 12 m² taban alanına sahip bir oda da gerçekleştirilmiştir. Isı pompasının ve sistemin COP değerleri sırasıyla 4,25 ve 2,88 olarak bulunmuştur. Bu değerler TKIP sisteminin bu bölgede soğutma için uygun olduğunu göstermiştir.

Naili vd. (2013b), Kuzey Tunus'ta Enerji Araştırma ve Teknoloji Merkezine kurulan TKIP sisteminin soğutma performansını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda ısı pompasının ve sistemin COP değerleri sırasıyla 3,8 – 4,5 ve 2,3 – 2,7 olarak

bulunmuştur. Sonuçlar sıcak iklim bölgesinde yer alan Tunus'ta TKIP sisteminin kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir.

Alkan vd. (2014), Isparta ilinde ısıtma için TKIP sisteminin farklı soğutucu akışkanlar için termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıcı soğutucu akışkanların çevresel etkilerinden bahsedilmiştir. Özellikle ozon krizi nedeniyle yeni arayışların gerekliliği vurgulanmıştır. Sistemlerde kullanılabilecek akışkanlar R22, R404A, R410A, R407C, R134A ve R600 için COP ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bu akışkanların COP değerleri sırasıyla 1,79, 1,54, 1,63, 1,64, 1,77 ve 1,81 olarak elde edilmiştir.

Gültekin (2014), yüksek lisans çalışmasında, 100 m ve 50 m derinliğinde aralarında 3 m uzaklık bulunan kuyular birlikte çalıştırılarak performanslarının zamanla değişimi incelemek amacıyla 44 gün boyunca toprağa ısı atma deneyleri gerçekleştirilmiştir.. Kuyuların beraber çalışma zamanına bağlı olarak performansı düşmeye başlamıştır. Deneylerde başlangıçta kuyuların birbirlerine etkisi görülmemiştir ve sistem kuyular tek başlarına çalışıyor gibi çalışmıştır. Isıl etkileşim etkisiyle 2 haftadan sonra kuyu performanslarında %1 civarında performans düşüşü meydana gelmiştir. 44 günün sonunda kuyulardaki performans düşüşü %5 olarak görülmüştür. Kuyular arası uzaklığın her TKIP uygulaması için değişik birçok parametreye bağlı olması nedeniyle uygulamaya özel optimum bir değer bulunmasının önemini vurgulanmıştır.

Ünal (2014), doktora çalışmasında Mardin'de 120 m² alanın ısıtılması ve soğutulması amacıyla dikey tip TKIP sistemi kurulmuştur. Toprak ısı değiştiricisi için 100 m derinliğinde ve aralarında 6 m olan iki kuyu açılmıştır. Ayrıca sistem güneş enerjisi ile desteklenmiştir. En yüksek ısı kaybı, ısıtma deneylerinde buharlaştırıcıda (2,492 kW), soğutma deneylerinde ise kompresörde (3,704 kW) meydana gelmiştir. Isı pompasının ve tüm sistemin COP değeri sırasıyla ısıtma sürecinde 4,09 ve 3,18, soğutma sürecinde ise 4,84 ve 3,7 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisinin sisteme verdiği destek oranı ortalama %9,75 olarak bulunmuştur.

Çamdalı vd. (2015), Bolu'da bulunan 9,68 m² taban alanlı bir oda için, ısıtma modunda çalışan YTKIP sisteminin sayısal modellenmesini gerçekleştirmişlerdir. Kodlar, Bolu için geliştirilen modelden elde edilen denklemlerin çözümü için MATLAB programında yazılmıştır. Sonuçlar, R134a soğutucu akışkan için COP değerlerinin sırasıyla

MATLAB programı ve Solkane Soğutucu Yazılım programı için 3,33 ve 3,28 olduğunu göstermektedir.

Korkmaz (2015), Türkiye’de değişik iklim bölgelerinde TKIP sistemleri kullanılan çalışmalar incelenmiştir. Farklı kullanım alanlarında (oda, bina, sera vb.) yapılan çalışmalarda çoğunlukla enerji, ekserji ve ekonomik analizler yapıldığı belirtilmiştir. Bu analizler sonucunda bu sistemlerin Türkiye’nin değişik bölgelerinde rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Luo vd. (2015), Almanya’nın Nürnberg şehrinde bir ofis binasına kurulan TKIP sisteminin performansı 4 yıl boyunca izlenmiştir. Çalışmanın sonucunda tipik bir kış günü için COP 3,9 olarak, tipik bir yaz günü için enerji verimliliği oranı 8,0 olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca 4 yıllık dönemde TKIP sisteminin ısıtma ve soğutma performansı, binanın ısıtma ve soğutma yükünün eşit bir şekilde dağılması nedeniyle ters yönde hareket etmiştir.

Naili vd. (2015), Kuzey Tunus’un sıcak iklim koşullarında 1 m derinlikte gömülü 50 m uzunluktaki YTID’nin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Çeşitli derinliklerde toprak sıcaklıkları ölçülmüş, toplam ısı transfer katsayısı saptanmış ve ısı değişim oranı incelenmiştir. Bununla birlikte, YTID uzunluğu, boru çapı ve dolaşan suyun kütle akış hızı gibi çeşitli parametrelerin etkileri analitik olarak incelenmiştir.

Öztürk (2015), yüksek lisans çalışmasında Karabük Üniversitesinde bulunan Laboratuvar’da toprak kaynaklı ısı pompasının küçük bir uygulamasını yapmıştır. Toprak haznesi olarak 0,4 m x 0,5 m x 0,4 m boyutlarında ve yaklaşık 100 kg toprak kapasitesindedir. Toprak neminin enerji tüketimine etkisini incelemek amacıyla belirli toprak nem oranlarında (% 0, % 10, % 20, % 30, % 40) deneyler gerçekleştirilmiştir. Kumun nem oranının artmasıyla, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kapasitesinin sırasıyla %39 ve %32 oranında, sistem performansının ise %7 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca kumun ısı iletkenliğinin yükseldiği görülmüştür.

Kim vd. (2016), deneyler ve sayısal analizler yaparak YTID’nin performansını araştırmışlardır. Isı değişim oranlarını değerlendirmek için yatay slinky ve spiral bobin tipi TID’lar kuru Joomunjin kumuyla doldurulmuş 5 m × 1 m × 1 m’lik bir çelik kutuya yerleştirilmiş ve termal yanıt testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları ve sayısal

analizler bobin tipi TID'ların yatay slinky tipi TID'lardan daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Verda vd. (2016), yatay topraklı kaynaklı ısı pompasının belirli çalışma koşullarında ekserji analizini yapmışlardır. Yatay bir toprak ısı değiştirici yüzeyden 1 m aşağıda 210 m²'lik alan kaplayan bir boru ağı ile oluşturulmuştur. Mevcut tesisatın yüzeyden 2 m aşağıda daha derin bir kurulumla ekserji çıktısının %60'dan fazla arttığı gösterilmiştir.

Al-Ameen vd. (2017), günlük ısı depolama birimi olarak çalışan bir güneş destekli yatay TKIP sistemini Nottingham Trent Üniversitesi'nde 15 m²'lik test odasına bağlamışlardır. Toprak ısıtma kabloları ile 70 °C sıcaklığına ısıtılmış ve TID içerisinde ısı aktarım sıvısı dolaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda ısı aktarım sıvısının kütle akış hızı, TKIP sisteminin kapasitesini ve ısı değişim oranlarını etkileyen en önemli parametre olarak bulunmuştur.

Lu vd. (2017), Melbourne, Avustralya'daki konut tipi Düşey Kaynaklı Isı Pompası (GSHP) sistemleri için bazı ekonomik göstergeleri değerlendirmişlerdir. Analizler sonucunda, 20 yıllık bir tasarım ömrü için bir hava kaynaklı ısı pompası (HKIP) sisteminin, bir TKIP sisteminden daha cazip olduğu bulunmuştur. Ancak 40 yıllık bir tasarım ömrü için TKIP sisteminin, HKIP sistemleri de dahil olmak üzere diğer alternatiflerden çok daha fazla tasarruf sağlayacağı belirtilmiştir.

Mao ve Chan (2017), 16,6 kW gücünde toprak kaynaklı bir ısı pompası sistemi kurmuşlardır. Dört derinliğin toprak sıcaklığını deneysel olarak test etmişler ve sistemin COP değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar altı gün süren deneylerde toprak sıcaklığının 11.00 – 18.00 arasında hafif bir şekilde değiştiğini ve sistemdeki COP değerlerinin 1,56 – 2,01 aralığında olduğunu göstermektedir.

Zhai vd. (2017), 180 m² kapalı alana sahip bir toplantı salonunu iklimlendirmek amacıyla Shanghai Jiao Tong Üniversitesi yeşil enerji binasında küçük bir TKIP sistemi tasarlayıp kurmuşlardır. TID 9 dikey sondaj deliğinden oluşur. Her bir delikte 32 mm çapında tek bir U borusu vardır ve bu boruların toplam uzunluğu 580 m'dir. Yapılan deneyler sonucunda TKIP sistemlerinin Şangay'daki binalarda uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Farabi-Asl vd. (2018), yarı açık devre TKIP sisteminde soğutma testleri yapmış ve her testte sistemin termal performansını ölçmüşlerdir. Sonuçlar, geleneksel TKIP işlemi ile karşılaştırıldığında hızlı yeraltı suyu akışı koşullarında soğutma performans katsayısı ve sistem performans katsayısının sırasıyla %13,1 ve %6,6 oranında artırılabilir olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada yatay tip TKIP sisteminin Sivas ili şartlarında performansı araştırılmıştır. Bu amaçla Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan enerji evine ısı pompası sistemi kurulmuştur. Toprak ısı değiştiricisi, 2,5 m derinliğe yerleştirilen yaklaşık 370 m borudan oluşturulmuştur. 2016 yılı aralık ayı boyunca sistem kesintisiz çalıştırılmıştır ve iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, su-antifriz karışımının buharlaştırıcıya giriş çıkış sıcaklığı, soğutucu akışkanın ısı pompası elemanlarına giriş çıkış sıcaklıkları, ısıtma suyunun radyatörlere gidiş ve dönüş sıcaklıkları ve farklı derinliklerde toprak sıcaklıkları kaydedilmiştir. Ayrıca kompresör giriş ve çıkış basınçları, su-antifriz karışımının ve ısıtma suyunun debisi ve güç tüketimleri ölçülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı pompasının ve sistemin COP değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Isı Pompası Kavramı

Isı transfer yönünün yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama doğru olduğu bilinmektedir. Herhangi bir enerji tüketmeden bunun tersine bir ısı transferi gerçekleştirmek mümkün değildir. Ters yönde ısı transferi gerçekleştirmek amacıyla soğutma makineleri veya ısı pompaları kullanılabilir.

Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrime göre çalışırlar. Bu sistemler arasındaki temel fark kullanım amaçlarının farklı olmasıdır. Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı çekilerek bu ortamın düşük sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktır. Soğutma makinelerine örnek olarak buzdolapları verilebilir. Buzdolaplarında yiyeceklerin bulunduğu kısım ortam havasına göre daha düşük sıcaklıktadır. Buna rağmen kompresörde tüketilen elektrik enerjisi yardımıyla bu kısımdan ısı çekilip ortam havasına atılmaktadır. Isı pompasının kullanım amacı ise, ısıtılan ortamın yüksek sıcaklıkta olmasını sağlamaktır. Bu amaç, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekilerek, evin içi gibi yüksek sıcaklıktaki ısıtılmak istenen ortama aktarılmasıyla gerçekleştirilir (Çengel ve Boles, 2015).

Isı pompaları, amaçlarını gerçekleştirmek için bir enerji kaynağına gereksinim duyarlar. Kullanılan enerji kaynağı ısı pompasının performansı etkilemektedir. Bu nedenle enerji kaynağı seçilirken iklim koşulları ve sistem maliyetleri dikkate alınmalıdır.

2.2. Isı Pompası Tarihi

19. Yüzyılın başlarında Carnot'un yaptığı çalışmalar ve 1824 yılında yayınlanan Carnot çevrimiyle ilgili tezi, ısı pompasının temel ilkelerine kaynak oluşturmaktadır. William Thomson (sonrasında Lord Kelvin olarak anılacak) tarafından önerilen ilk pratik ısı pompası, soğutma makinelerinin ısıtma içinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Thomson bu sistemin geleneksel sistemlerden daha az enerji tüketeceğini ileri sürmüştür (Reay ve Macmichael, 1988).

1927 yılında İskoçya'da Haldane tarafından mahal ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla kurulan hava kaynaklı bir ısı pompası sisteminin kurulumu ve testi üzerine yapılan çalışmalar kendisi tarafından 1930'da sunulmuştur (Reay ve Macmichael, 1988).

Avrupa’da ilk büyük ısı pompası sistemi 1938-1939 yıllarında Zürih’te devreye alınmıştır. 60  C sıcaklığında su elde edilen sistemle belediye binası ısıtılmıştır. Sistem yaz aylarında soğutma sağlayacak şekilde düzenlenmiştir (Reay ve Macmichael, 1988).

2.3. Isı Pompası Elemanları

Isı pompası, kompresör, buharlaştırıcı, kondenser ve kısılma vanası olmak üzere dört temel elemandan oluşmaktadır.

2.3.1. Kompresör

Kompresör, buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan basıncını ve sıcaklığını yükseltmekten sorumlu bir bileşendir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, buharın basıncının arttırılması, soğutucu akışkan akışının oluşması için gereken basınç farkını oluşturur. İkinci olarak, soğutucu akışkanın sıcaklığının arttırılması, sistemin ısısını başka bir ortama kolayca aktarmasını sağlayacaktır (Silberstein, 2003)

 yi bir kompresörde aşağıdaki özellikler aranır:

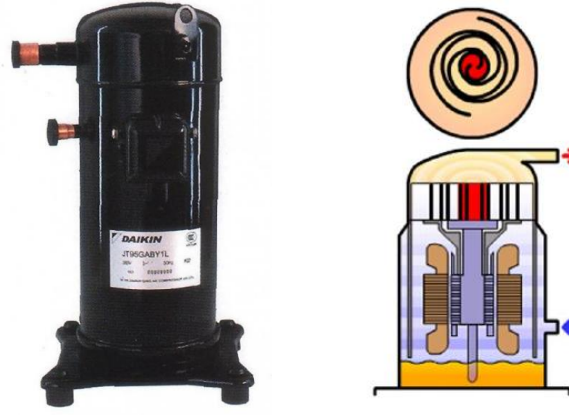
- a) İlk kalkışta dönme momentlerinin mümkün olduğunca az olması
- b) Verimlerinin kısmi yüklerde de düşmemesi
- c) Emniyet ve güvenliği muhafaza etmesi
- d) Maliyetinin mümkün olduğunca az olması
- e) Titreşim ve gürültü seviyelerinin belirli bir seviyenin üstüne çıkmaması

(Yamankaradeniz vd., 2013)

Farklı tiplerdeki kompresörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) Pistonlu kompresörler
- b) Rotatif kompresörler
- c) Vidalı kompresörler
- d) Santrifüj kompresörler
- e) Scroll kompresörler (Yamankaradeniz vd., 2013)

Isı pompası sistemlerinde en çok scroll tipi kompresörler tercih edilmektedir. Her biri spiral (scroll) şeklinde olan iki metal levhadan oluşur. Levhanın biri sabit diğeri ise dönme hareketi yapar. İki spiral alın altına dönerken buhar spiralin merkezine doğru sıkıştırılır (MEGEP, 2013).



Şekil 2.1 Scroll kompresör (url-1; MEGEP, 2013)

2.3.2. Buharlaştırıcı

Isı pompası sistemlerinde buharlaştırıcı olarak genellikle plakalı ısı değiştirici kullanılır. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında sıcaklıklardaki sıvı durumdaki soğutucu akışkan ısı değiştiricisine girer. Soğutucu akışkan eşanjöre pompalanan salamura, su veya tuz tarafından ısıtılır ve buharlaştırılır. Soğutucu akışkan buharlaşma sırasında yalnızca ısıtma yoluyla elde edilenden çok daha fazla enerji emer. Bu enerji daha sonrasında ortam ısıtması için kullanılabilir. Buharlaştırıcıda, soğutucu akışkanın ısı değiştiricisine eşit olarak dağıtılması oldukça önemlidir (Bonin, 2015).



Şekil 2.2 Plakalı ısı değiştirici (url-2)

2.3.3. Yoğuşturucu

Genellikle büyük ölçekli plakalı bir ısı değiştirici kondenser olarak kullanılır. Yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın soğutucu akışkan yoğunlaştırıcıya akarak burada soğur ve yoğuşur (diğer bir deyişle sıvılaşır). Yoğuşma yoluyla çıkan ısı, ısıtma sistemine

aktarılır (Bonin, 2015). Yoğuşturucu da ısı aktarılan akışkan hava veya su olabilir. Bu nedenle yoğuşturucular hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki ayrılabilir.

Kanatlı borulu olarak üretilen hava soğutmalı yoğuşturucular da borunun içinden soğutucu akışkan, dışarıdan ise hava geçer. Borunun dış tarafında ısı taşınım katsayısı küçük olduğu için büyük soğutma yüklerinde çok büyük yüzey alanı gerekir. Bu nedenle hava soğutmalı yoğuşturucular genellikle küçük soğutma yüklerinde kullanılır. Hava sıcaklığının değişiklik göstermesi nedeniyle kullanımları zordur (Sulatisky ve Van Der Kamp, 1991).

2.3.4. Kısılma vanası

Kısılma vanaları, soğutucu akışkanın basıncını istenilen buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır. Endüstriyel ve ticari iklimlendirme ve soğutma alanında kullanılan genel kullanılan kısılma vanaları aşağıda belirtilmiştir.

- a) El ayar vanası
- b) Otomatik kısılma vanası
- c) Termostatik kısılma vanası
- d) Elektrikli kısılma vanası
- e) Kılcal Boru
- f) Şamandıralı ayar valfi (Yamankaradeniz vd., 2013)



Şekil 2.3 Termostatik genleşme valfi (url-3)

2.3.5. Yardımcı elemanlar

2.3.5.1. Dryer (kurutucu)

Bir ısı pompası üretildiğinde tahliye işlemlerine rağmen soğutma devresinde nem kalabilir. Kalan nemin önemli bir bozulmaya neden olmasını önlemek ve onu devreden çıkarmak/bağlamak için kullanılır (Bonin, 2015).

2.3.5.2. Gözetleme camı

Sistemin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığının kontrolü sağlanır.

2.3.5.3. Alçak basınç anahtarı

Bu eleman önemli bir emniyet mekanizmasıdır. Soğutucu akışkan basıncı çok düşük olduğunda sistemi kapatır.

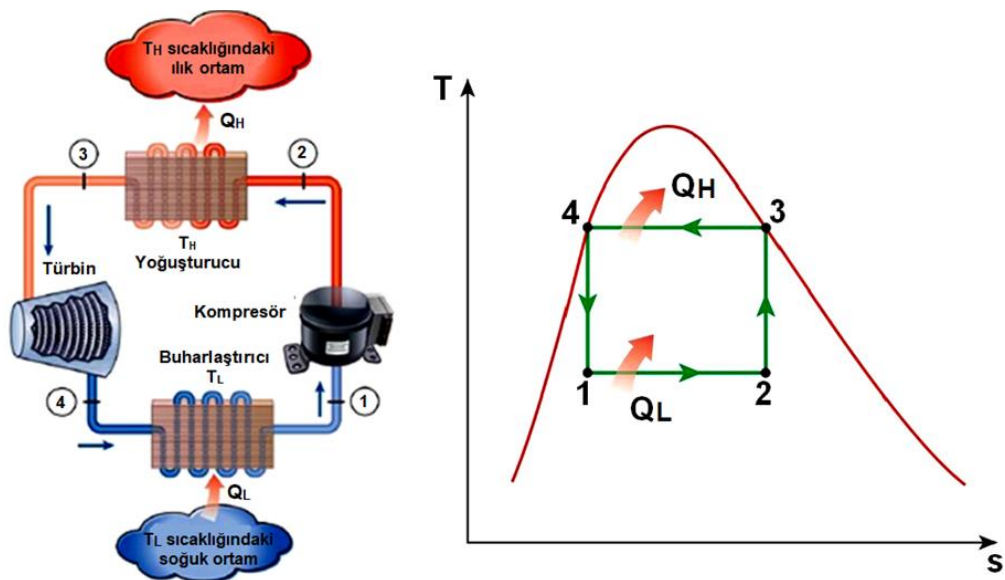
2.3.5.4. Yüksek basınç anahtarı

Bu anahtar da önemli bir güvenlik işlevine sahiptir. Kompresörü ve yoğuşturucuyu korumak için soğutucu akışkan basıncı çok yüksek olduğunda kompresörü kapatır.

2.4. Isı Pompası Çevrimi

2.4.1. Tersine Carnot çevrimi

Carnot çevrimi tersinir olduğu için bu çevrim ters yönde de gerçekleşebilir. Bu prensibe göre çalışan ısı pompalarına Carnot ısı pompası adı verilir. Çengel ve Boles (2015), çevrimin tesisat şemasını ve T-s diyagramını şekil 2.4'deki gibi göstermiştir.



Şekil 2.4 Çevrimin tesisat şeması ve T-s diyagramı

1-2 hal değişimi: Sabit sıcaklıkta soğuk ortamdan akışkına ısı geçişi (Q_L)

2-3 hal değişimi: Akışkanın izantropik sıkıştırılması

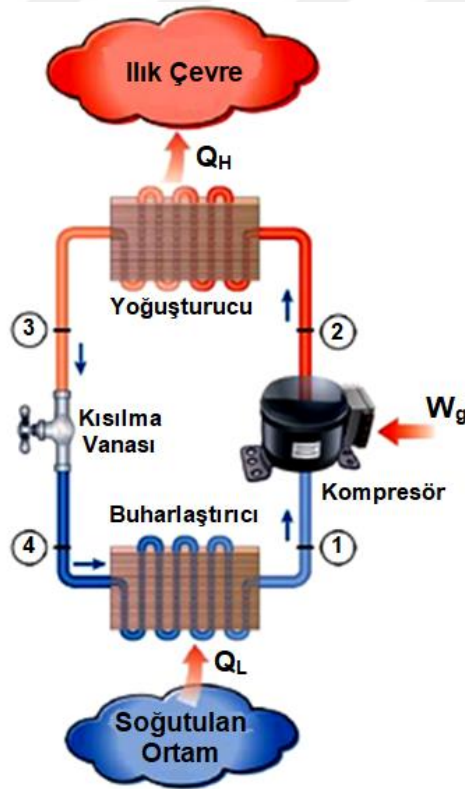
3-4 hal değişimi: Akışkandan sabit sıcaklıktaki ılık ortama ısı geçişi (Q_H)

4-1 hal değişimi: Akışkanın izantropik genişlemesi

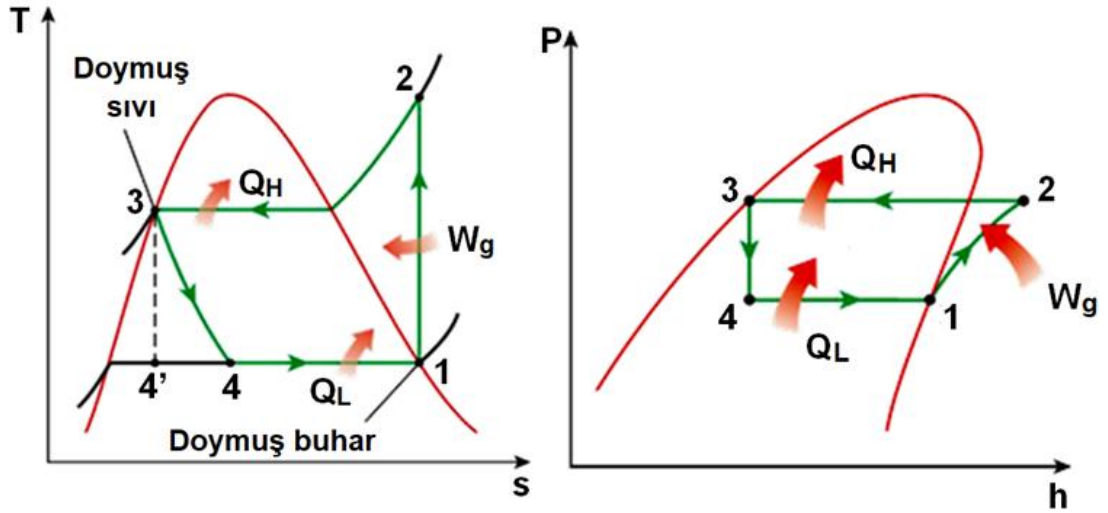
Carnot çevrimi ısı pompaları için ideal çevrim olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu çevrimin uygulamasının mümkün olmaması nedeniyle gerçekçi bir model değildir.

2.4.2. İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Ters Carnot çevriminin uygulamasında ki sorunları çözmek için akışkan kompresöre girmeden önce tamamen buharlaştırılır ayrıca çevrimde türbin yerine kısılma vanası kullanılır. Çevrimin tesisat şeması şekil 2.5'te, çevrimin T-s ve P-h diyagramı şekil 2.6'da verilmiştir (Çengel ve Boles, 2015).



Şekil 2.5 Çevrimin tesisat şeması



Şekil 2.6 Çevrimin T-s ve P-h diyagramı

1-2 hal değişimi: Kompresörde izantropik sıkıştırma

2-3 hal değişimi: Yoğuşturucu da sabit basınçta ısı atılması (Q_H)

3-4 hal değişimi: Kısılma vanasında genişleme

4-1 hal değişimi: Buharlaştırıcıda sabit basınçta ısı çekilmesi (Q_L)

İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde, buhar kompresöre 1 noktasında doymuş buhar olarak girer. Soğutucu akışkan kompresörde yoğuşturucu basıncına izantropik olarak sıkıştırılır. Sıcaklığı ve basıncı artan soğutucu akışkan kompresörden 2 halinde kızgın buhar olarak çıkar ve yoğuşturucuya girer. Soğutucu akışkan sabit basınçta ılık çevreye ısı verir ve doymuş sıvı halinde yoğuşturucudan çıkar. Daha sonra kısılma vanasına giren soğutucu akışkan buharlaştırıcı basıncına genişler. Buharlaştırıcı da soğuk ortamdan sabit basınçta doymuş buhar haline gelir ve çevrimi tamamlar (Çengel ve Boles, 2015).

2.4.3. Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin elemanlarında tersinmezlikler meydana gelmektedir. Bu çevrime ait tesisat şeması ve T-s diyagramı Çengel ve Boles (2015) tarafından şekil 2.7'deki gibi verilmiştir.

c) COP değerini artırmak ve maliyeti azaltmak için, sirkülasyon pompaları ve fanlar mümkün oldukça az enerji tüketmelidir (Von Cube ve Steimle, 1981)

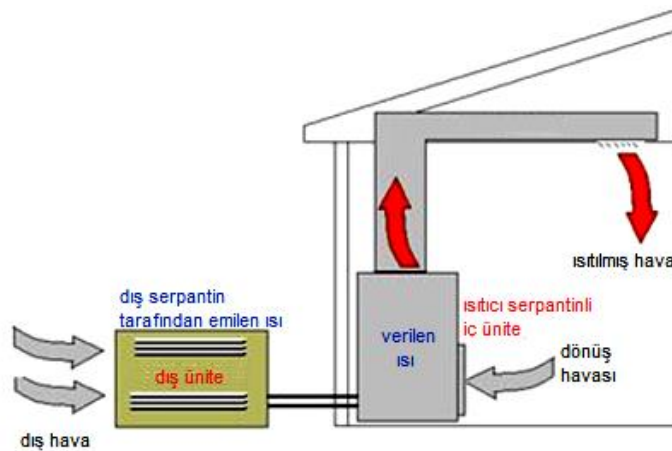
Isı pompalarında ısı kaynağı olarak hava, su, toprak ve güneş kullanılmaktadır. Ancak, güneş genellikle diğer sistemlere yardımcı kaynak olarak değerlendirilir.

Isı kaynağı belirlenirken dikkate alınması gereken önemli hususlar; sıcaklık seviyesi, yıl bazında sıcaklık dalgalanmaları ve kaynağın tercih edilmesi durumunda oluşan ilk yatırım maliyetleridir. Seçim sırasında yerel koşullar sınırlama meydana getirecektir.

2.5.1. Hava

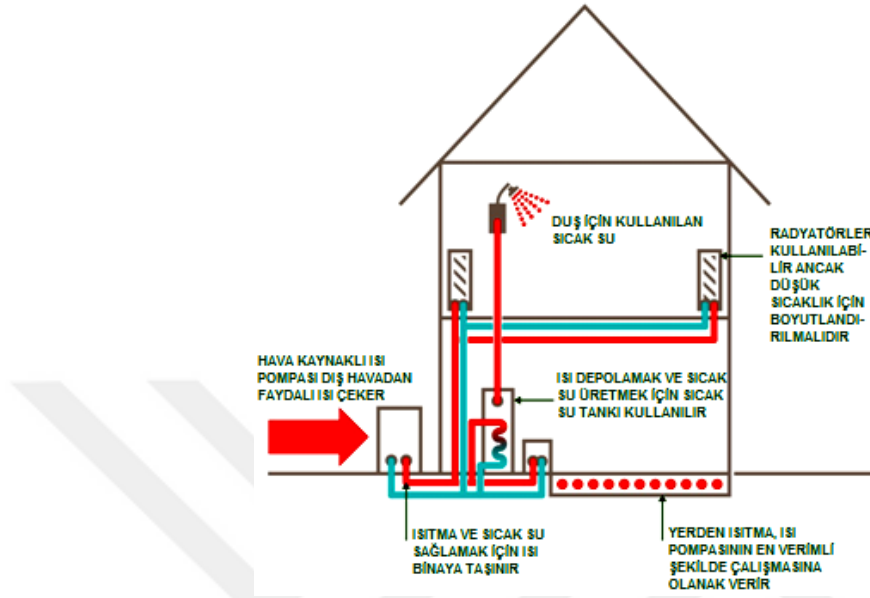
Dünya da en çok kullanılan ısı kaynağı, çevre havasıdır. Bunun nedeni sistemin kurulumunun kolay ve hızlı olmasının yanında havanın sınırsız kullanım olanağıdır. Çevre sıcaklığı zamana bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterir. Çevre sıcaklığı ile ısı alıcı akışkan arasındaki sıcaklık farkı ısı pompasının durdurulmasını gerektirecek kadar fazla olabilir. Bu nedenle soğuk iklim bölgelerinde evin maksimum ısı yükünü karşılamak üzere yardımcı bir ısıtma sistemine ihtiyaç duyulur. Kaynak olarak çevre havasının kullanılmasının olumsuz başka bir yönü daha vardır. Soğuk ve nemli çevre havası ısı değiştirici üzerinde donma meydana getirebilir. Bu durumda oluşan buzu gidermek için defrost yapılmalıdır. Defrost işlemi sırasında ısıtılacak ortama ısı aktarılmaz, ısı değiştiricisine aktarılır (Forsen,2005).

Hava kaynaklı ısı pompaları havadan havaya ve havadan suya şeklinde incelenebilir. Havadan havaya ısı pompalarında ısı taşıyıcı olarak her iki tarafta da hava kullanılır. Bu sistemlerde ısı enerjisi dış ortam havasından çekilir ve iç ortam havasına aktarılır.



Şekil 2.8 Havadan havaya ısı pompası (url-4)

Havadan suya ısı pompası sistemlerinde, ısı dış ortam havasından çekilir ve yoğunlaştırıcuda suya aktarılır. Böylece elde edilen sıcak su ısınma veya diğer ihtiyaçlar için kullanılabilir.



Şekil 2.9 Havadan suya ısı pompası (url-5)

Havadan havaya ve havadan suya sistemler karşılaştırılırsa;

İki sistemde de ısı kaynağı olarak hava kullanıldığı için, dış ortam sıcaklığı düştükçe sistemlerin etkinliği de azalır. Ayrıca dış ortam sıcaklığının çok düşmesi iki sistem için don tehlikesi meydana getirir. Ancak havanın ısı iletkenliği sudan daha düşük olması nedeniyle havadan havaya sistemlerin boyutları havadan suya sistemlere göre daha büyük olacaktır.

2.5.2. Su

Yeraltı suyu ve yerüstü suyu şeklinde iki başlıkta incelenebilecek bir kaynak olan su yaygın olarak tercih edilmektedir.

2.5.2.1. Yeraltı suyu

45-150 m derinliklerinden elde edilen suyun sıcaklığı 10 °C değerinin üzerindedir. Ayrıca 10 m'den daha derin yeraltı sularının sıcaklığı yıl içinde çok fazla değişmez. Bu yönüyle yeraltı suyu ısı pompası için önemli bir ısı kaynağıdır. Ancak ısısını soğutucu akışkana aktaran ve soğuyan su tekrar kuyuya gönderilirse kuyu suyunun sıcaklığı

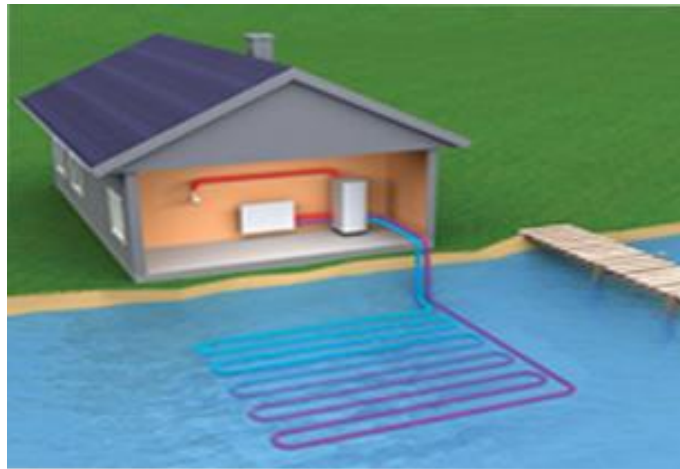
düşecektir. Bu nedenle buharlaştırıcıdan çıkan su başka bir bölgeye atılmalıdır. İlk yatırım ve işletme giderlerinin yüksek olması bu sistemin olumsuz yönüdür (Ersöz, 2000).



Şekil 2.10 Isı kaynağı olarak yeraltı suyu (url-6)

2.5.2.2. Yerüstü suyu

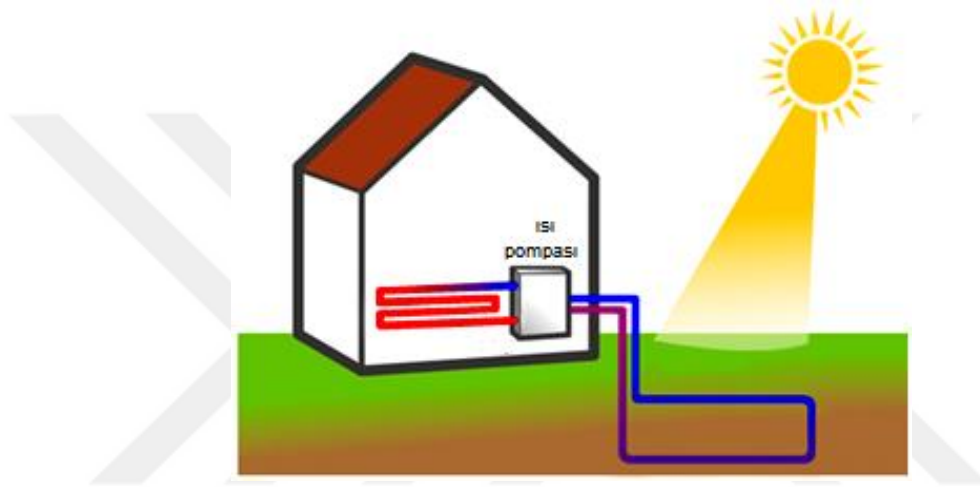
Atmosfere açık olan göller, denizler, nehirler gibi yerüstü suları da ısı kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bu suların sıcaklığı dış ortam sıcaklığına bağlı olarak yıl içerisinde değişecektir. Bu değişim havanın sıcaklık değişiminden daha azdır ve ülkemizde yerüstü sularının sıcaklığı yıl boyunca 0 °C değerinin üzerindedir. Ancak buharlaştırıcı sık aralıklarla temizlenmelidir (Ersöz, 2000).



Şekil 2.11 Isı kaynağı olarak yerüstü suyu (url-7)

2.5.3. Toprak

Yeryüzüne gelen güneş ışınları toprak tarafından depolanır. Toprak sıcaklığı 1-2 m derinlikte yıl boyunca çok az değişir. Topraktan ısı çekmek için genellikle su veya salamura (su + antifriz) kullanılır. Toprak yapısı ve toprak altı ısı değiştiricinin yerleştirileceği derinlik boyutlandırma için önemli parametrelerdir. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde kış mevsimi boyunca topraktan ısı çekebilmek için büyük alanlara ihtiyaç duyulur. Ayrıca belirli bir süre sonra ısı değiştiriciye yakın bölgelerde toprak sıcaklığının düşmesi sistem performansının düşmesine neden olacaktır (Ersöz, 2000).



Şekil 2.12 Isı kaynağı olarak toprak (url-8)

Isı kaynağı olarak su ve toprak kullanan sistemlerde ısı enerjisi su ile çekilir. Bu sistemler ısının aktarıldığı ortama bağlı olarak sudan havaya ve sudan suya şeklinde incelenebilir.

Bu sistemler dış hava sıcaklığından bağımsız oldukları için sıcaklık değişimi fazla olan (özellikle soğuk iklim bölgelerinde) kullanılırlar. Sudan havaya sisteminde bir tane hava ısı değiştiricisi bulunduğundan havadan havaya sistemlere göre daha küçük boyuttadır. Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde genellikle sudan suya sistemler tercih edilmektedir.

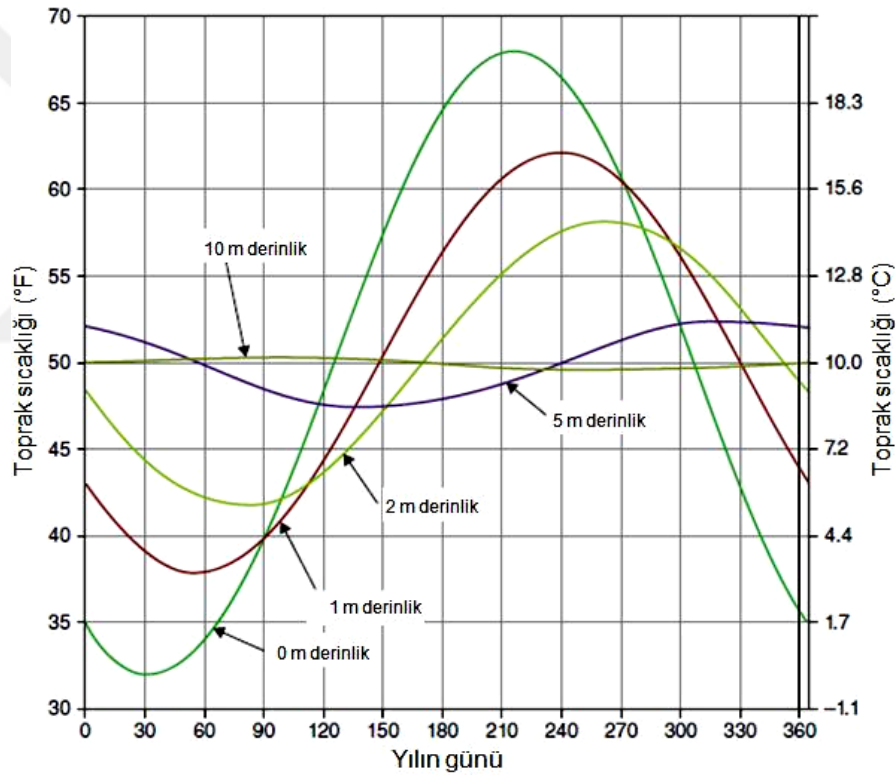
2.5.4. Güneş

Isı kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanma konusunda çalışmalar devam etmektedir. Mevcut olduğu zamanlar güneş enerjisi diğer ısı kaynaklarından daha yüksek sıcaklıklarda ısı sağlar. Bu bakımdan ısı tesir katsayısı daha büyük olur. Ancak güneş enerjisi sürekli enerjiyi verebilen bir kaynak değildir; kışın ve geceleri ısı

verememektedir. Buna rağmen güneş enerjisi ile birlikte yardımcı ısı kaynağı beraber ya da bina içerisine bir ısı deposu koymak suretiyle elverişli bir sistem kurulabilir (Yamankaradeniz, 2007).

2.6. Toprak kaynaklı ısı pompası

Toprak kaynaklı ısı pompası ısı kaynağı olarak toprağı kullanır. Toprak sıcaklığı kış mevsiminde dış ortam sıcaklığından yüksek, yaz mevsiminde ise dış ortam sıcaklığından düşüktür. Toprak sıcaklığı nispeten kararlı yapıdadır ve çok fazla değişmez. Bu nedenle ısıtma sürecinde toprak iyi bir ısı kaynağı, soğutma sürecinde ise iyi bir ısı kuyusu olarak değerlendirilebilir. Farklı derinliklerde toprak sıcaklığının yıl içinde değişimi şekil 2.13’de verilmiştir.



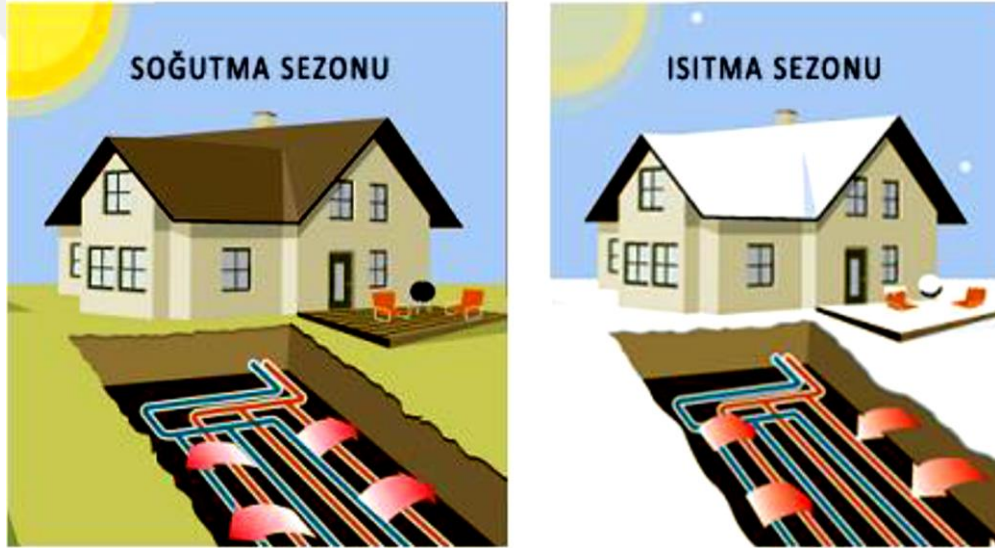
Şekil 2.13 Farklı derinliklerde toprak sıcaklıklarının değişimi (Chiasson, 2016)

2.6.1. Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi 3 kapalı devre şeklinde ifade edilebilir. Bunlar; toprak altı ısı değiştirici devresi, ısı pompası devresi ve ısıtma devresidir. Toprak altı ısı değiştirici devresi, topraktan ısı çekebilmek için toprak altına yerleştirilen ve içerisinde ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılan borulardan meydana gelir. Isı pompası devresi, içerisinde soğutucu akışkan dolaşan ve ısı pompası elemanlarından meydana gelen devredir.

Isıtma devresi, ısıtma suyunun dolaştığı ve genellikle radyatör veya fan coillerin kullanıldığı devredir.

Isıtma sezonunda toprak altında dolaştırılan salamura toprak tarafından ısıtılır. Isınan salamura ısı pompasının buharlaştırıcısında soğutucu akışkanı ısıtır ve buharlaştırır. Buharlaştıran soğutucu akışkan kompresöre girer. Burada basıncı ve sıcaklığı artan akışkan yoğunlaştırıcıda yoğunlaşırken ısısını ısıtma suyuna aktarır. Isıtma suyu radyatörlere gönderilerek ortam ısıtması sağlanmış olur. Çevrim aynı şekilde tekrarlanır. Soğutma sezonunda ise çevrim tersi yönünde gerçekleşir. Böylece ortamdaki ısı düşük sıcaklıktaki toprağa atılır. Sezona göre salamura ile toprak arasında gerçekleşen ısı transferinin yönü şekil 2.14’de (Akbulut, 2012) gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Salamura ile toprak arasında gerçekleşen ısı transferinin yönü

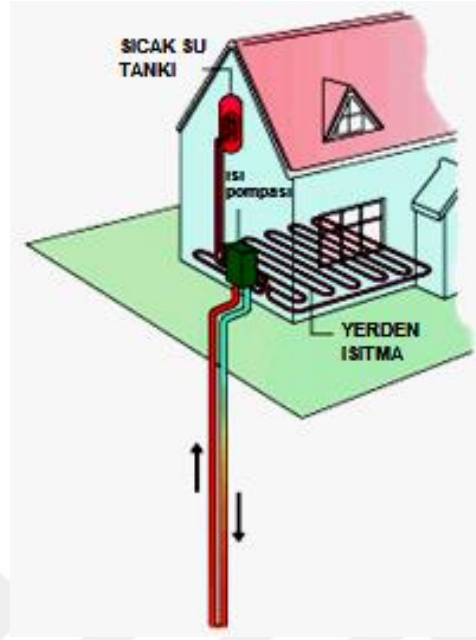
2.6.2. Toprak kaynaklı ısı pompası çeşitleri

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri toprak altı ısı değiştiricisine göre dikey tip ve yatay tip olarak incelenebilir.

2.6.2.1. Dikey toprak kaynaklı ısı pompası

Dikey TKIP en yaygın türdür. Toprak altı ısı değiştirici genellikle, bir kuyu içine yüksek yoğunluklu polietilen yerleştirilerek oluşturulur. Boruların nominal çapı genellikle 25mm – 40 mm arasında değişir ve U şeklinde yerleştirilir. Yaygın sondaj derinliği 60 m ve 90 m arasında değişir, ancak yerel koşullar 150 m’den fazla derinlik

gerektirebilir. Daha derin sondajlar yaygın değildir (Kavanaugh ve Rafferty, 2014). Dikey toprak kaynaklı ısı pompasına ait görsel şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15 Dikey toprak kaynaklı ısı pompası (url-9)

DTKIP Sisteminin Avantajları;

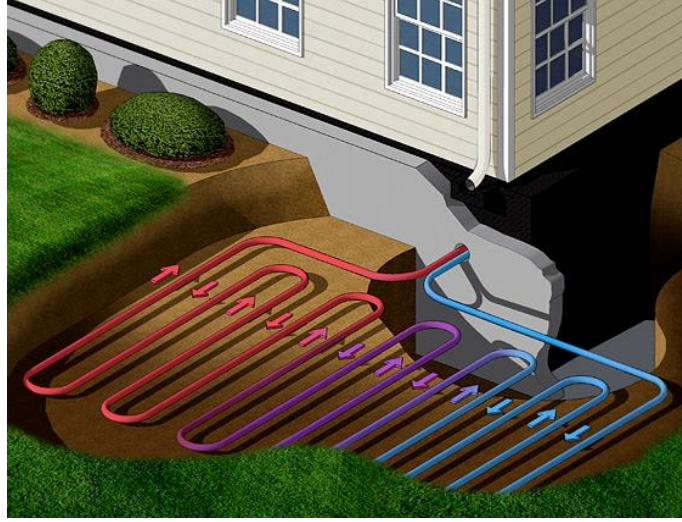
- Dar toprak alanı gereksinimi,
- Toprak sıcaklığındaki değişimin az olması,
- Termal özelliklerin az değişmesi,
- Boru boyunun kısa olması,
- Düşük pompalama enerjisi,
- En yüksek sistem performansıdır (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).

DTKIP Sisteminin Dezavantajı;

- Yüksek kurulum maliyetidir (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).

2.6.2.2. Yatay toprak kaynaklı ısı pompası

Yatay ısı değiştiriciler tek veya çok borulu olarak oluşturulabilir. Tek borulu yatay ısı değiştiricilerin ilk tasarımında borular en az 1,5 m derinliğe dar aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu tasarımda toprak alanı ihtiyacı en fazladır. Borular daha derine ve birden fazla hat olacak şekilde yerleştirilirse alan ihtiyacı azaltılabilir. (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).



Şekil 2.16 Yatay toprak kaynaklı ısı pompası (url-10)

Çizelge 2.1’de boru çaplarına göre pratikte uygulanan uzunluk sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler (Ünlü, 2005)

Boru Çapı (inç)	Boru Uzunluğu (m)
3/4	≤150
1	≤230
1+1/4	≤900
1+1/2	≤1200
2	≤2500

YTKIP Sisteminin Avantajları;

- Kurulum donanımlarının kolay bulunması,
- Kurulum maliyetlerinin düşük olmasıdır (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).

YTKIP Sisteminin Dezavantajları;

- Geniş toprak alanı gereksinimi,
- Toprak sıcaklıklarının ve termal özelliklerin mevsime, yağışa ve derinliğine bağlı olması,
- Daha yüksek pompalama enerjisi gerektirmesi,
- Nispeten düşük sistem performansdır (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Sistemin Projelendirilmesi

Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nde bulunan enerji evinin ısıtılması için yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır.

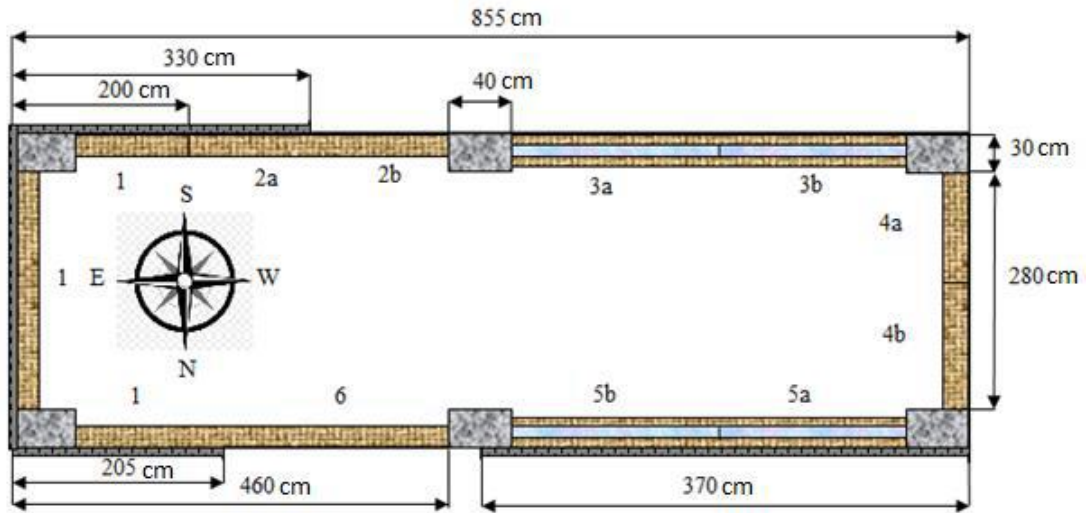
3.1.1. Enerji evi

Farklı yalıtım malzemelerinin ve farklı yalıtım kalınlıklarının Sivas ili için ısı kaybına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amacıyla Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi içerisinde yaklaşık 30 m² alana bir ev inşa edilmiştir (Kılınç, 2011). Ev, bu amaca uygun olarak başlangıçta ısı yalıtım evi olarak adlandırılmıştır. Ancak gerçekleştirilen projeler sonrasında enerji evine dönüşmüştür.



Şekil 3.1 Enerji evinin kuzey cepheden görünüşü

Evin girişi olan doğu cephesinde ısı pompasının bulunduğu bir oda, orta kısmında güney ve kuzey cepheli bir oda ve arka kısmında batı cepheli bir oda bulunmaktadır. Toprak altı ısı değiştirici boruları evin güney cephesinde bulunan alana yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Enerji evinin mimari planı ve farklı tip duvar uygulamaları (Bostancı,2017)

Şekil 3.2’deki numaralandırılmış duvar tipleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Numaralandırılmış duvar tipleri (Bostancı,2017)

1	(İç sıva- 19cm yatay delikli tuğla-5cm karbonlu EPS-dış sıva)
2a	(İç sıva-19cm bims tuğla-5cm karbonlu EPS-dış sıva)
2b	(İç sıva- 19cm bims tuğla-dış sıva)
3a	(İç sıva-8,5cm tuğla-5cm taşıyıcı-8,5cm tuğla-dış sıva)
3b	(İç sıva-8,5cm tuğla-5cm karbonlu EPS-8,5cm tuğla-dış sıva)
4a	(İç sıva-5cm EPS-19cm tuğla-dış sıva)
4b	(İç sıva-3cm EPS-19cm tuğla-dış sıva)
5a	(İç sıva-2cm EPS-8,5cm tuğla-2cm EPS-8,5cm tuğla-2cm EPS-dış sıva)
5b	(İç sıva-8,5cm tuğla-3cm EPS-8,5cm tuğla-3cm EPS-dış sıva)
6	(İç sıva-19cm tuğla)

3.1.2. Isı kaybı hesabı

Isı pompası seçiminin yapılabilmesi için ısıtılacak binanın ısı kaybının bilinmesi gerekmektedir. Binanın ısı kaybı, tak-çıkardış duvar yalıtım uygulamalı duvar için farklı yalıtım malzemesi kalınlıklarıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak; binanın ısı kaybının 4350 W ile 4700 W arasında değiştiği hesaplanmıştır (Kılınç, 2011). Enerji evine ait ısı kaybı hesabı çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Evin ısı kaybı hesabı (Kılınç, 2011)

ISI KAYBI HESABI ÇİZELGESİ

Tesisin Adı : Sivas , Dış ortam (-18 °C)

Sayfa

Kat

Tarih

121314151617

YAPI BİLEŞENİ

ALAN HESABI

ISI KAYBI HESABI

ARTIRIMLAR

İşaret

Yön

Kalınlık

Uzunluk

Yükseklik Genişlik

Toplam Alan

Miktar

Çıkarılan Alan

Hesaba Giren Alan

Isı geçiş katsayısı

Sıcaklık farkı

Artırmısız ısı kaybı

Birleşik Zam

Yükseklik Zam

Yön Zam

Toplam

Toplam ısı ihtiyacı

cm

m

m

m²

tane

m²

m²

W/m² K

°K

W

%

Z_d

Z_h

Z_w

Z

Q_h - Q_i + Q_s

W

W

%

I+%

W

ODA 02 (20 °C) Güney Sandviç

ÇCP

G

-

0,77

1,05

0,81

1

0,81

1,9

38

58,37

TASYUNU

Ki

G

20

1,55

0,40

0,62

1

0,62

3,282

38

77,32

DD1

G

-

1,55

2,80

4,34

1

1,43

2,91

0,544

38

60,19

ÇCP

G

-

0,77

1,05

0,81

1

0,81

1,9

38

58,37

CrbEPS

Ki

G

20

1,55

0,40

0,62

1

0,62

3,282

38

77,32

DD2

G

1,55

2,80

4,34

1

1,43

2,91

0,444

38

49,12

Ko

G

30

0,40

2,80

1,12

1

1,12

2,839

38

120,83

Artırmısız Isı Kaybı Q_o =

501,53

7

0

-5

1,02

511,56

Enfiltrasyon Isı Kaybı

Q_s = 1/3.6 Σa.l.R.H.ΔT.Ze=

0

0,0

Toplam Isı Kaybı Q_T

511,6

ODA 02 (20 °C) Batı İçten

ÇCP

B

-

1,05

1,10

1,16

0,5

0,58

2,8

38

61,45

İÇTEN 5

Ki

B

20

1,40

0,40

0,56

1

0,56

0,577

38

12,28

DD1

B

-

1,40

2,80

3,92

1

1,14

2,78

0,485

38

51,28

Ko

B

40

0,30

2,80

0,84

1

0,84

2,501

38

79,83

ÇCP

B

-

1,05

1,10

1,16

0,5

0,58

2,8

38

61,45

İÇTEN 3

Ki

B

20

1,40

0,40

0,56

1

0,56

0,861

38

18,32

DD2

B

-

1,40

2,80

3,92

1

1,14

2,78

0,672

38

71,05

Ko

B

40

0,30

2,80

0,84

1

0,84

0,796

38

25,41

Artırmısız Isı Kaybı Q_o =

381,07

7

0

0

1,07

407,74

Enfiltrasyon Isı Kaybı

Q_h = 1/3.6 Σa.l.R.H.ΔT.Ze=

0

0,0

Toplam Isı Kaybı Q_T

407,7

ODA 02 (20 °C) Kuzey Sandviç

ÇCP

K

-

1,01

1,09

1,10

0,5

0,55

1,5

38

31,38

2+2+2 EPS

Ki

K

20

1,55

0,40

0,62

1

0,62

0,691

38

16,28

DD1

K

-

1,55

2,80

4,34

1

1,17

3,17

0,435

38

52,39

Ko

K

30

0,40

2,80

1,12

1

1,12

0,562

38

23,92

ÇCP

K

-

1,01

1,09

1,10

0,5

0,55

1,5

38

31,38

3+3 EPS

Ki

K

20

1,55

0,40

0,62

1

0,62

0,861

38

20,29

DD2

K

-

1,55

2,80

4,34

1

1,17

3,17

0,435

38

52,39

Ko

K

40

0,20

2,80

0,56

1

0,56

0,827

38

17,60

Artırmısız Isı Kaybı Q_o =

245,62

7

0

5

1,12

275,09

Enfiltrasyon Isı Kaybı

Q_h = 1/3.6 Σa.l.R.H.ΔT.Ze=

0,28

24,36

0,9

2,43

38

1,2

674,8

ODA 02

Toplam Isı Kaybı Q_T

949,9

Çizelge 3.2. Evin ısı kaybı hesabı (Kılınç, 2011) (Devamı)

KOMBİ ODASI 02 (20 °C)																	
Ko	G	30	0,40	2,80	1,12	1		1,12	0,495	38	21,07					G Tuğla	
Ki	G	20	1,60	0,40	0,64	1		0,64	0,507	38	12,33						
DD1	G	-	2,00	2,80	5,60	1	1,76	3,84	0,435	38	63,48						
Ko	K	30	0,40	2,80	1,12	1		1,12	0,495	38	21,07					K Tuğla	
Ki	K	20	1,60	0,40	0,64	1		0,64	0,507	38	12,33						
DD1	K	-	2,00	2,80	5,60	1	1,76	3,84	0,435	38	63,48						
Ko	D	30	0,30	2,80	0,84	2		1,68	0,484	38	30,90					Kapı Tarafı	
Ki	D	20	2,80	0,40	1,12	1		1,12	0,507	38	21,58						
DK	D	-	1,20	2,20	2,64	1		2,64	5,5	38	551,76						
DD1	D	-	2,80	2,80	7,84	1	3,76	4,08	0,435	38	67,44						
							Artırimsız Isı Kaybı $Q_o =$					865,42	7	0	0	1,07	926,00
	Enfiltrasyon Isı				$Q_h = 1/3.6 \text{ n.p.c.p.} \Delta T.V =$				0,28	0,33	1,4	1,005	38	19		90,0	
	Enfiltrasyon Isı				$Q_h = 1/3.6 \sum a.l.R.H.\Delta T.Ze =$				0,28	13,6	0,9	2,43	38	1		314,0	
												Toplam Isı Kaybı				1329,9	

ODA 01 (20 °C) Güney Bims																	
ÇCP	G	-	0,79	0,99	0,78	1		0,78	1,5	38	44,58					Yltm Bims	
Ki	G	20	1,30	0,40	0,52	1		0,52	0,507	38	10,02						
DD1	G	-	1,30	2,80	3,64	1	1,30	2,34	0,348	38	30,92						
ÇCP	G	-	0,79	0,99	0,78	1		0,78	1,7	38	50,52					Bims	
Ki	G	20	1,30	0,40	0,52	1		0,52	3,282	38	64,85						
DD2	G	-	1,30	2,80	3,64	1	1,30	2,34	0,827	38	73,47						
Ko	G	30	0,40	2,80	1,12	1		1,12	2,839	38	120,83						
								Artırimsız Isı Kaybı $Q_o =$				395,19	7	0	-5	1,02	403,09

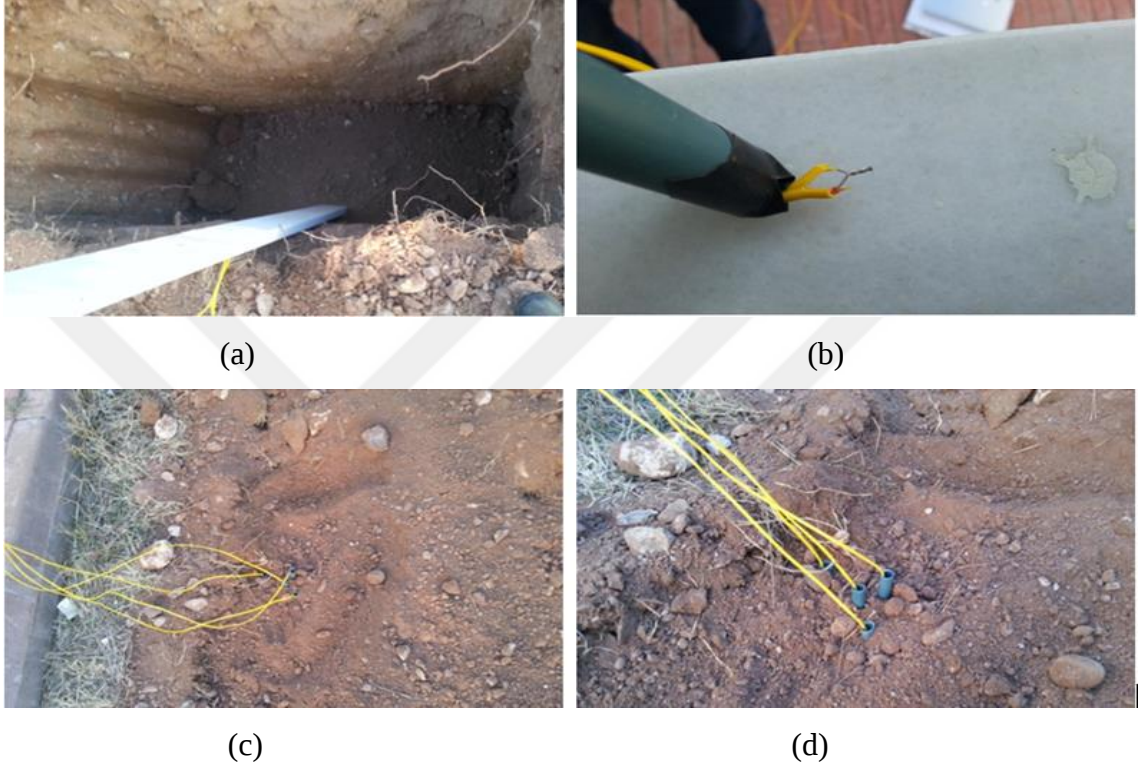
ODA 01 (20 °C) Kuzey Montaj Duvar 5cmEPS																	
Ki	K	20	2,60	0,40	1,04	1		1,04	0,577	38	22,80						
DD	K	-	2,60	2,80	7,28	1	1,04	6,24	0,485	38	115,00						
Ko	K	30	0,20	2,80	0,56	1		0,56	0,562	38	11,96						
Artırimsız Isı Kaybı $Q_o =$												149,77	7	0	5	1,12	167,74
Enfiltrasyon Isı $Q_h = 1/3.6 \Sigma a.l.R.H.\Delta T.Ze =$												0					0,0
Toplam Isı Kaybı																	167,7

TAVAN VE DÖŞEME (20 °C)																	
Dö	-	8,50	3,40	28,90	1		28,90	0,485	28	392,46							
Ta	-	8,50	3,40	28,90	1		28,90	0,293	22	186,29							
Artırimsız Isı Kaybı $Q_o =$												578,75	7	0	0	1,07	619,26
Enfiltrasyon Isı $Q_h = 1/3.6 \Sigma a.l.R.H.\Delta T.Ze =$												0					0,0
Toplam Isı Kaybı																	619,3

ODA 02 (20 oC) Güney Sandviç	511,6	W
ODA 02 (20 oC) Batı İçten	407,7	W
ODA 02 (20 oC) Kuzey Sandviç	949,9	W
KOMBİ ODASI 02 (20 oC)	1329,9	W
ODA 01 (20 oC) Güney Bims	658,9	W
ODA 01 (20 oC) Kuzey Montaj Duvar 5cmEPS	167,7	W
TAVAN VE DÖŞEME (20 oC)	619,3	W
GENEL TOPLAM	4645,0	W

3.2. Ön Çalışma

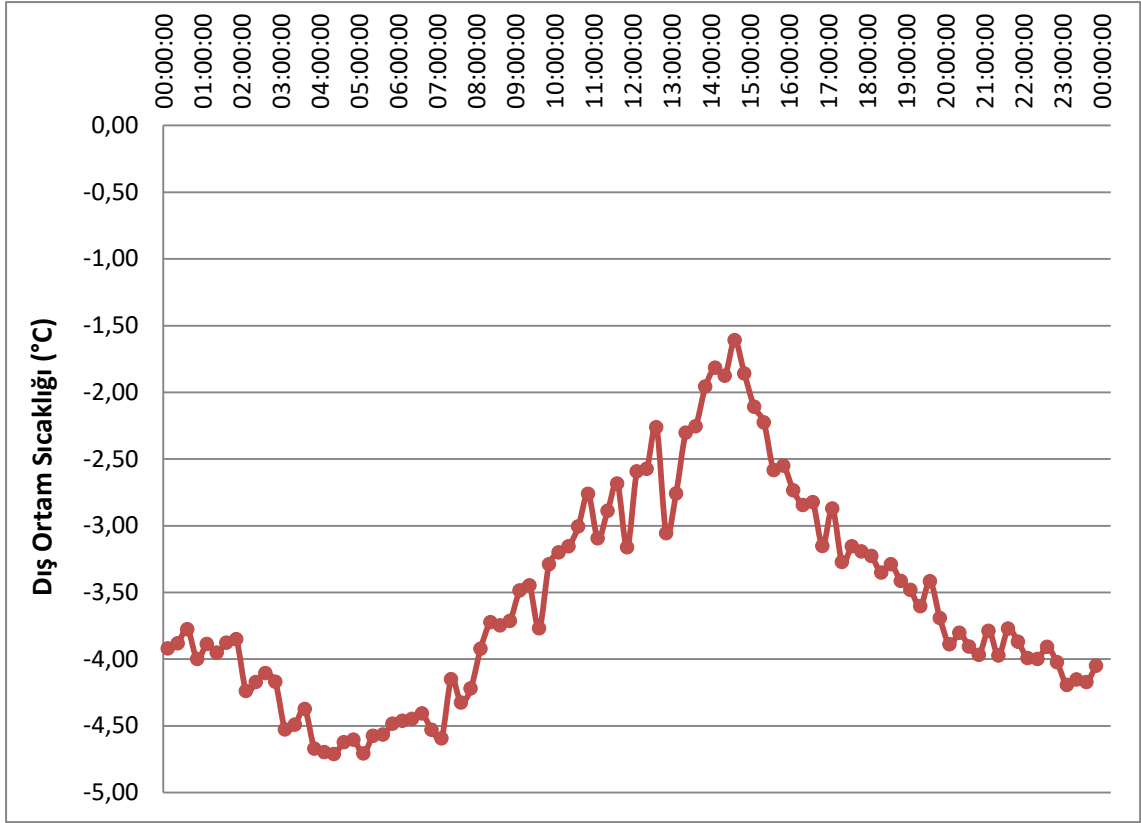
Deney düzeneği kurulmadan önce (2015 yılı aralık ayında), enerji evinin doğu cephesinde 2 m derinliğinde bir çukur açılmıştır. Farklı derinliklerde toprak sıcaklıklarını ölçmek için 2 m, 1,5 m, 1 m ve 0,5 m derinliğe K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Ayrıca toprak sıcaklıkları ile birlikte dış ortam sıcaklığı da kaydedilmiştir.



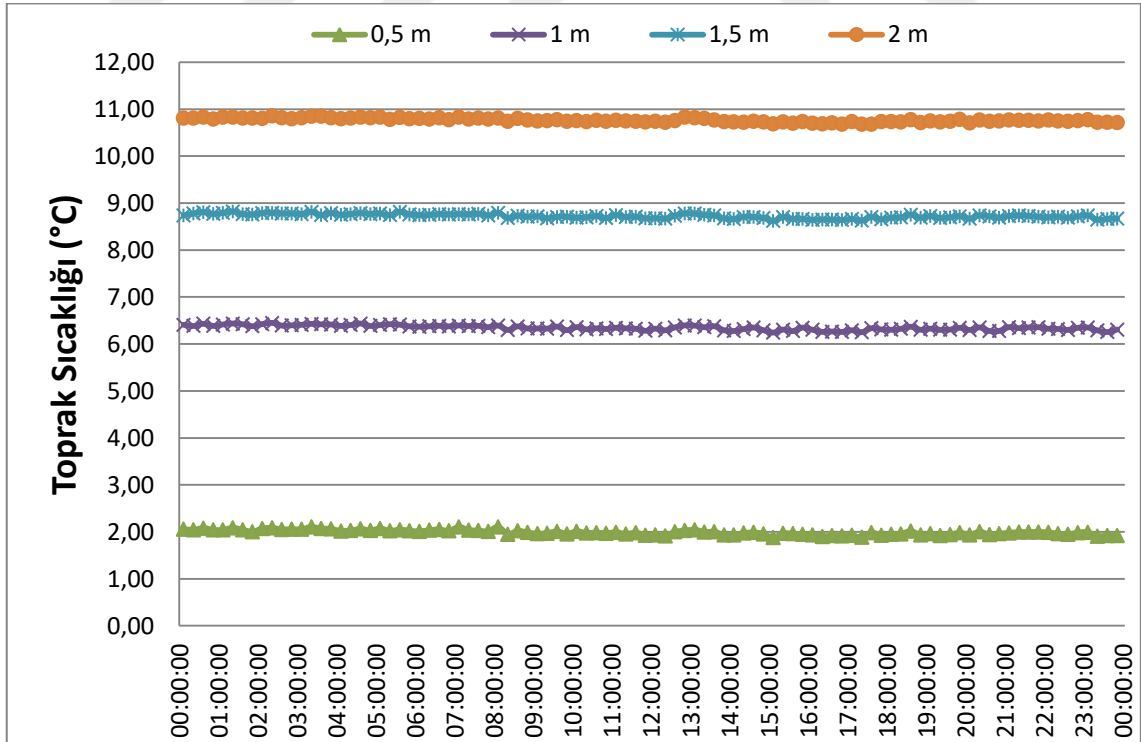
Şekil 3.3 Ön çalışmaya ait görüntüler

Termokupl ile sıcaklık ölçmek için, iletken teller şekil 3.3(b)'de gösterildiği gibi birbirine bağlanır. Termokupl kablusunun diğer ucu veri kaydediciye bağlanarak bağlı kısmın temas ettiği noktanın sıcaklığı ölçülür. Şekil 3.3(a)'da ayrıca 2 m derinliğinde açılan çukur ve şekil 3.3(c) ile şekil 3.3(d)'de termokupllar yerleştirildikten sonra çukurun kapatılmış hali görülmektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda; 2 m, 1,5 m, 1 m ve 0,5 m derinliklerinde toprak sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık olarak 11 °C, 9,5 °C, 7 °C ve 3 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca dış ortam sıcaklığının 0 °C altında olduğu görülmüştür. Sonuçlara ait grafikler şekil 3.4 ve şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4 16 Aralık 2015 tarihinde ölçülen dış ortam sıcaklıkları



Şekil 3.5 18 Aralık 2015 tarihinde farklı derinlikler ölçülen toprak sıcaklıkları

3.2.1. Toprak ısı Değiştiricisinin Boyutlandırılması

Toprak ısı değiştiricisinde kullanılacak borunun uzunluğunu belirlemek için iki yöntem bulunmaktadır.

Bunlardan birincisinde; literatürde bulunan toprak türüne bağlı ısı çekme kapasitesi değerleri kullanılır. Bu değerler yardımıyla öncelikle gerekli toprak alanı ve sonrasında boru uzunluğu hesaplanabilir. Bu yönteme ait hesaplama örneği aşağıda verilmiştir.

3.2.1.1. Topraktan ısı Çekme Kapasitesi

Toprak altı ısı değiştiricinin boyutlandırılması işleminde öncelikle toprağın ısı çekme kapasitesi belirlenmelidir. Toprak türüne göre ısı çekme kapasitesi çizelge 3.3’de verilmiştir (Yoldaş ve Durmaz, 2008; Dumlu, 2012).

Çizelge 3.3 Toprak türüne göre ısı çekme kapasitesi

Toprak Türü	Isı Çekme Kapasitesi
Kumlu kuru toprak	10 - 15 W/m ²
Kumlu yaş toprak	15 - 20 W/m ²
Killi kuru toprak	20 - 25 W/m ²
Killi ıslak toprak	25 - 30 W/m ²
Yeraltı suyu olan toprak	30 - 35 W/m ²

3.2.1.2. Döşeme Alanı

Isıtma kapasitesinin bilindiği durumlarda, denklem 3.1 kullanılarak döşeme alanı hesaplanabilir (Yoldaş ve Durmaz, 2008).

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \text{Isıtma Kapasitesi (W)} / \text{Isı Çekme Kapasitesi (W/m}^2\text{)} \quad [3.1]$$

Deney düzeneğinin kurulacağı bölgede toprağın killi ve ıslak olduğu kabul edilirse ısı çekme kapasitesi 25 W/ m² olarak alınabilir. Bu durumda 5 kW ‘lık bir ısı kapasitesi için gerekli alan

$$A = 5000 \text{ W} / 25 \text{ W/ m}^2 = 200 \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

3.2.1.3. Boru Boyu

PE boru 20 x 2,0 için ara mesafe 0,33 m olduğunda 1 m²’ye 3 m boru,

PE boru 25 x 2,3 için ara mesafe 0,50 m olduğunda 1 m²’ye 2 m boru,

PE boru 32 x 2,9 için ara mesafe 0,70 m olduğunda 1 m²’ye 1,5 m boru tekabül etmektedir (Yoldaş ve Durmaz, 2008).

DN 25 çaplı boru seçilirse boru boyu;

$$L = 200 \text{ m}^2 * 2 \text{ m} / \text{m}^2 = 400 \text{ m} \text{ olarak hesaplanır.}$$

İkinci yöntemde ise boru boyu ısıtma koşullarında denklem 3.2 ve soğutma koşullarında denklem 3.3 kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklemde bulunan bazı parametreler hesaplanır, bazı parametreler kataloglardan alınır bazıları ise kabul edilir.

Isıtma için;

$$L_{\text{is.}} = \frac{572 \frac{\text{COP}_{\text{is.}} - 1}{\text{COP}_{\text{is.}}} [R_b + (R_t * F_{\text{is.}})]}{(T_I - T_{\text{min}})} \quad [3.2]$$

Soğutma için;

$$L_{\text{soğ.}} = \frac{572 \frac{\text{COP}_{\text{soğ.}} + 1}{\text{COP}_{\text{soğ.}}} [R_b + (R_t * F_{\text{soğ.}})]}{(T_{\text{maks}} - T_h)} \quad [3.3]$$

$L_{\text{is.}}$: Isıtma kapasitesi için gerekli olan boru uzunluğu (m/kW)

$L_{\text{soğ.}}$: Soğutma kapasitesi için gerekli olan boru uzunluğu (m/kW)

$\text{COP}_{\text{is.}}$: Seçilen cihazın ısıtma etki katsayısı

$\text{COP}_{\text{soğ.}}$: Seçilen cihazın soğutma etki katsayısı

R_t : Toprak ısııl direnci ($\text{m}^\circ\text{C}/\text{W}$)

R_b : Boru ısııl direnci ($\text{m}^\circ\text{C}/\text{W}$)

T_I : Yılın en düşük toprak sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

T_h : Yılın en yüksek toprak sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

T_{min} : Cihaza giren minimum su tasarım sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

T_{maks} : Cihaza giren maksimum su tasarım sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

$F_{\text{is.}}$: Isıtma çalışma faktörü

$F_{\text{soğ.}}$: Soğutma çalışma faktörü'dür (Hepbaşlı ve Hancıoğlu, 2001).

Bu denklemde bulunan bazı parametrelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Toprak ısı direnci (R_t)

Toprak ısı direnci, toprak içinden geçen ısı akışı direncidir. Kuru hafif toprak, yoğun nemli toprak kadar hızlı bir şekilde, ısı enerjisini taşımaz. Ek olarak, yüzey altındaki boru derinliklerin, borular arasındaki uzaklığın ve toprak ısı değiştiricinde bulunan boruların boyutu ve sayısının hepsinin toprak direncine bir etkisi vardır. Kaya ve ağır nemli toprak içindeki dikey sistemlerin yanı sıra, tek borulu, çift borulu ve dört borulu çoklu sistemlerde kullanılan 3/4" den 2" e kadar çeşitli boru ölçüleri için ağır nemli toprak, ağır kuru toprak ve hafif nemli toprak için, toprak ısı direnci çizelge 3.4'de gösterilmektedir (Hepbaşlı ve Hancıoğlu, 2001).

Çizelge 3.4 Toprak ısı direnci (Miles, 1994; Hancıoğlu, 2000)

		$\frac{R_s(\text{AĞIR TOPRAK} - \text{NEMLİ})}{R_s(\text{KURU veya HAFİF NEMLİ TOPRAK})}$										$\frac{R_s(\text{KAYA})}{R_s(\text{NEMLİ})}$
												
B O R U Ç A P I	3/4"	1.02 1.38	1.06 1.44	1.09 1.47	1.11 1.49	1.31 1.77	1.37 1.84	2.05 2.75	2.15 2.86	2.11 2.85	1.88 2.53	0.60 1.06
	1"	0.97 1.32	1.02 1.37	1.04 1.40	1.06 1.42	1.26 1.70	1.32 1.77	2.00 2.88	2.10 2.79	2.07 2.78	1.84 2.47	0.57 1.01
	1 1/4"	0.92 1.25	0.97 1.31	0.99 1.34	1.01 1.36	1.22 1.63	1.27 1.70	1.96 2.61	2.05 2.72	2.02 2.71	1.79 2.40	0.54 0.96
	1 1/2"	0.89 1.21	0.94 1.27	0.97 1.30	0.98 1.32	1.19 1.59	1.25 1.66	1.92 2.57	2.02 2.68	1.99 2.67	1.76 2.36	0.53 0.94
	2"	0.85 1.15	0.89 1.20	0.92 1.24	0.94 1.26	1.14 1.53	1.20 1.60	1.88 2.51	1.98 2.62	1.94 2.61	1.71 2.29	0.50 0.89

Boru ısı direnci (R_b)

Boru ısı direnci çizelge 3.5'den boru çapına bağlı olarak belirlenebilir.

Çizelge 3.5 Boru ısı direnci (Dumlu, 2012)

R_b (yatay) / R_b (düşey)				
Boru Çapı	PE SCH-40	PE SDR-11	PE SDR-17	PE SDR-13,5
3/4"	0,17 / 0,116	0,144 / 0,096	0,16 / 0,11	0,20 / 0,14
1"	0,159 / 0,109	0,144 / 0,096	0,16 / 0,11	0,20 / 0,14
1 1/4"	0,130 / 0,089	0,144 / 0,096	0,16 / 0,11	0,20 / 0,14
1 1/2"	0,117 / 0,080	0,144 / 0,096	0,16 / 0,11	0,20 / 0,14
2"	0,098 / 0,068	0,144 / 0,096	0,16 / 0,11	0,20 / 0,14

Denklem 3.2 kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda ısıtma için boru uzunluğu 32 m/kW olarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Toprak kazı işlemi

Toprak sıcaklığının derinlikle değiştiği ve TKIP'in performansı için önemli bir parametre olduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Literatürde 2 m'den sonra toprak sıcaklığının çok fazla değişmediği belirtilmektedir. Bu nedenle yatay uygulamalar genellikle 2 m derinlikte yapılmıştır. Sivas'ın soğuk iklim bölgesinde yer alması nedeniyle toprak ısı değiştiricinin 2,5 m derinliğe yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bunun için iş makinası kullanılarak 2,5 m derinliğinde yaklaşık olarak 27 m uzunluğunda ve 6 m genişliğinde çukur kazılmıştır.

Kazılan alandan çıkan toprak, traktör yardımıyla kazı alanı dışına taşınmıştır. Boruların yerleştirilmesinden sonra çukur bu toprak ile tekrar doldurularak kapatılmış ve toprak iyice sıkıştırılmıştır.



Şekil 3.6 Kazı işleminin başlarında kazı alanı



Şekil 3.7 Kazı işleminin sonunda kazı alanı

3.2.3. Boruların toprak altına yerleştirilmesi

Toprak ısı değıştiricisi yüksek işletme basıncına dayanaklı polietilen borulardan oluşturulmuştur. Borular 100 m uzunluğunda kangallar halinde temin edilmiş ve 370 m uzunluğundaki ısı değıştirici için 4 kangal boru kullanılmıştır. Isı değıştirici oluşturulurken borular 2,5 m derinliğe yatay olarak yerleştirilmiş ve borular arasında 40 cm boşluklar bırakılmıştır. Hatların birleştirilmesi için sisteme bir kollektör eklenmiş ve borular kollektöre bağlanmıştır. Bu işlemten sonra borular su ile doldurularak sızdırmazlık testi yapılmıştır. Herhangi bir sızdırma tespit edilmediğinden dolayı çukur toprakla doldurularak kapatılmıştır. Şekil 3.8 toprak ısı değıştiricinin oluşturulma aşamaları gösterilmiştir.

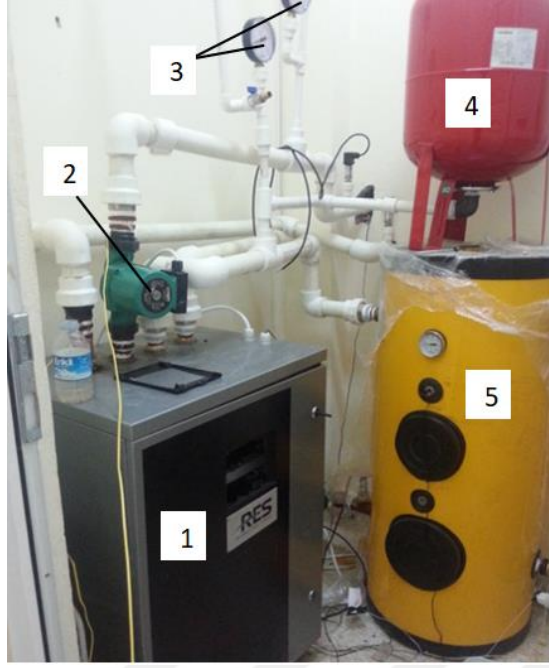


Şekil 3.8 Toprak ısı değıştircilerinin yerleştirilme aşamaları

3.2.4. Tesisatın kurulması

Sistemde kullanılan ısı pompası, elemanları bir arada bulunan kapalı bir yapıdadır. TID borularının ısı pompası girişine bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemde sıcak suyu depolamak için, ısı pompası ile radyatör hattı arasında 50 L hacminde bir akümülayon tankı kullanılmıştır.

Şekil 3.9’da ısı pompası, salamuranın dolaşımını sağlayan sirkülayon pompası, salamuranın ve iç tesisatta dolaşan suyun basıncı ölçen manometreler, genleşme tankı, akümülayon tankı ve bu bileşenler arasında oluşturulan tesisat gösterilmiştir. Şekildeki Elemanlar ve numaraları çizelge 3.6’da verilmiştir.



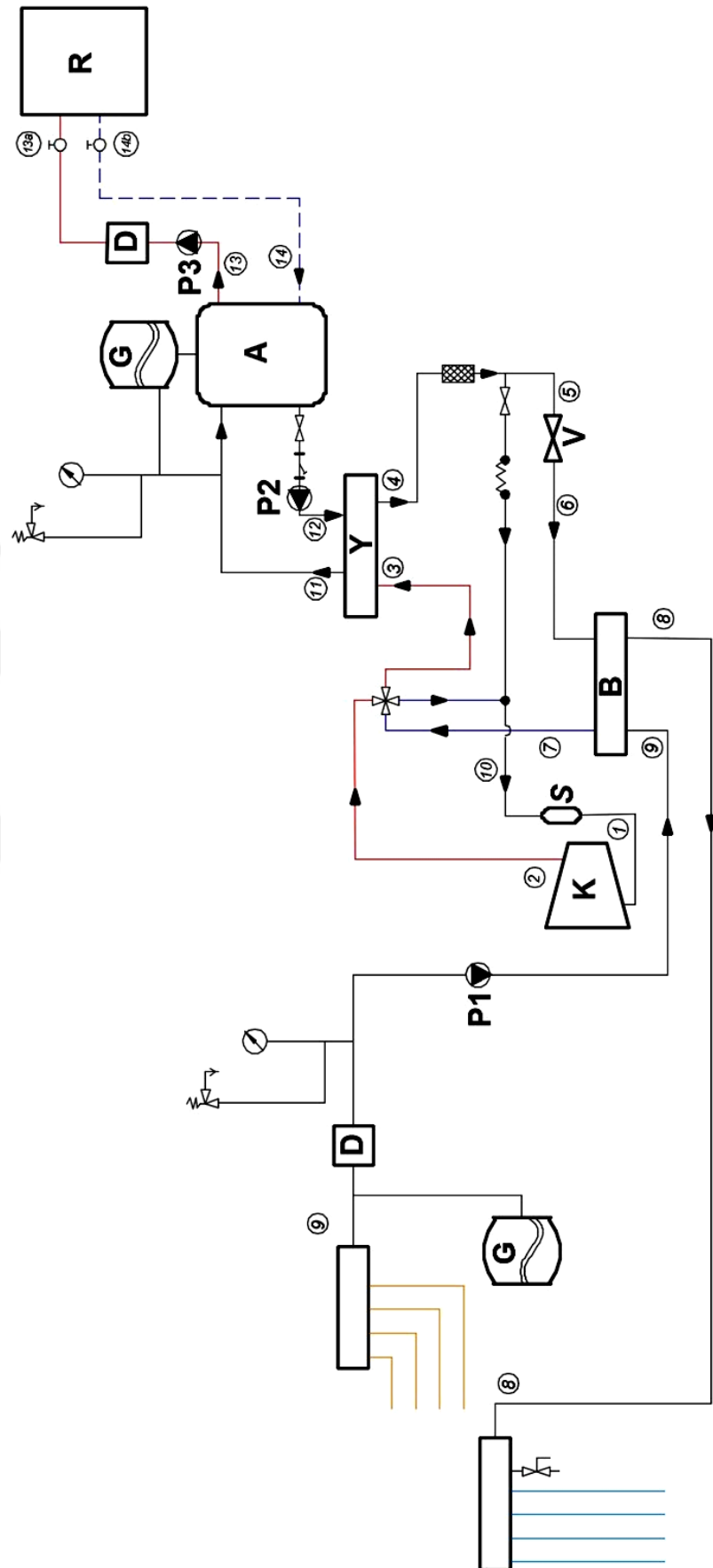
Şekil 3.9 Deney tesisi

Çizelge 3.6 Şematik gösterimde kullanılan kısaltmalar

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

3.3. Deney Sistemi

Isı pompası enerji evinin giriş odasına kurulmuştur. Deney sistemi, toprak devresi, ısı pompası devresi ve ısıtma devresi olmak üzere üç devreden oluşmaktadır. Deney sisteminde sıcaklık, basınç, elektrik gücü ve debi değerleri belli zaman aralıklarıyla kaydedilmektedir. Bu ölçümler ve kullanılan donanım bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Deney tesisatının şematik gösterimi şekil 3.10’da ve kullanılan kısaltmalar çizelge 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.10 Deney tesisatının tesisat şeması

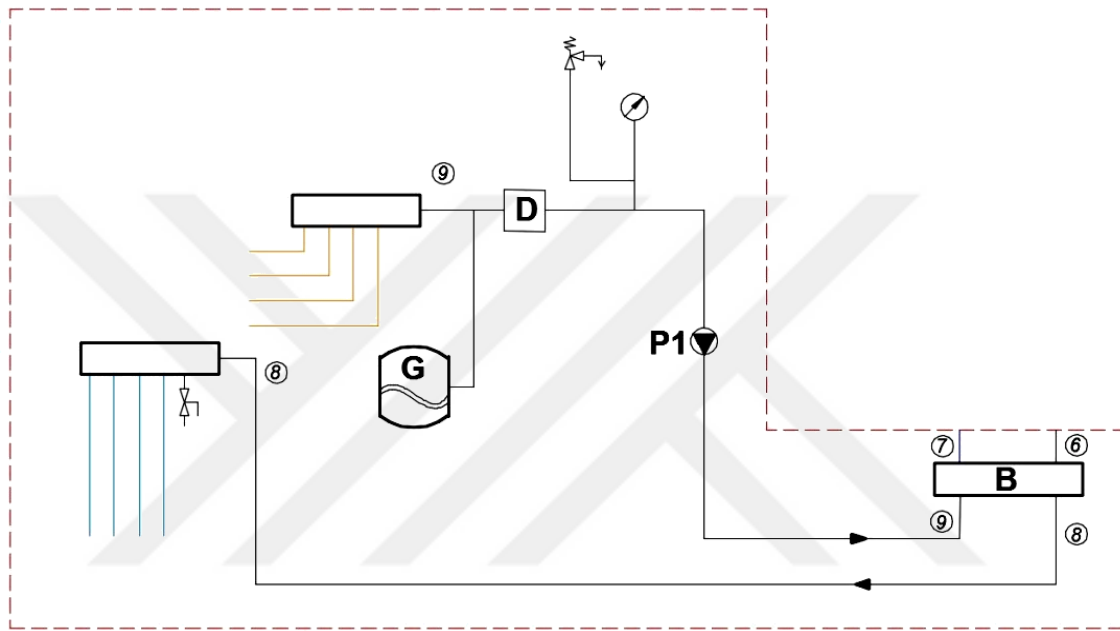
Çizelge 3.7 Şematik gösterimde kullanılan kısaltmalar

A	Akümülayon Tankı
B	Buharlaştırıcı
D	Debimetre
G	Genleşme Tankı
K	Kompresör
P	Sirkülayon Pompası
R	Radyatör
S	Sıvı Ayırıcı (Dryer)
V	Kısılma Vanası
Y	Yoğuşturucu

Buharlaştırıcıdan çıkan 8 numaralı soğuk salamura P1 sirkülayon pompası kullanılarak toprak altındaki borularda dolaştırılır. Toprakta ısı çekerek ısınan salamura 9 halinde toprak ısı değıştircisinden çıkar ve buharlaştırıcıya girmeden önce su sayacından geçirilerek debisi ölçölür. Salamura, buharlaştırıcıda ısısını soğutucu akışkana aktarır. Islak buhar (buhar – sıvı karışımı) olarak buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan bu işlem sırasında tamamen buharlaşır ve 7 halinde kızgın buhar fazında buharlaştırıcıdan çıkar. Kompresöre herhangi bir zarar vermemesi için sıvı ayırıcıdan geçirilen soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde girer. Kompresörde basıncı ve sıcaklığı yükselen soğutucu akışkan 2 koşullarında kompresörden ayrılır ve 3 koşullarında yoğuşturucuya girer. Soğutucu akışkan yoğuşturucuda sıvı faza geçerken ısısını suya aktarır. Sıvı fazdaki soğutucu akışkan filtreden geçer ve 5 koşullarında kısılma vanasına girer. Burada basıncı buharlaştırıcı basıncına düşürölen soğutucu akışkan 6 koşullarında ıslak buhar fazında buharlaştırıcıya giriş yapar ve bu döngüyü tekrarlar. Yoğuşturucuda ısınan su 11 koşullarında yoğuşturucudan çıkar ve akümülayon tankına girer. Akümülayon tankı ile yoğuşturucu arasındaki suyun dolaşımı P2 sirkülayon pompası ile sağlanır. Akümülayon tankından 13 koşullarında sıcak olarak ayrılan ısıtma suyu kalorimetreden geçer ve debisi ölçölür. Isıtma suyu radyatörlerde dolaşarak ısısını ortam havasına aktarır ve 14 koşullarında soğumuş olarak akümülayon tankına döner. Isıtma suyunun tesisatta dolaşımı P3 sirkülayon pompası ile sağlanır. Sistemde kompresör giriş ve çıkış basınçlarını ölçen manometreler bulunmaktadır. Ayrıca toprak altı ve iç tesisatın havasını alabilmek için yüksek noktalara hava purjörleri kullanılmıştır.

3.3.1. Toprak devresi

Toprak devresi, toprak altı ısı değıştirciler, kollektör, sirkülasyon pompası, debi ölçmede kullanılan su sayacı, genleşme tankı ve bir ısı değıştiriciden meydana gelmektedir. Isı değıştirici ısıtma modunda buharlaştııcı, soğutma modunda ise yoğuşturucu olarak çalışmaktadır. Toprak devresine ait tesisat şeması şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Toprak devresi

Şekil 3.11’de kullanılan gösterim aşağıdaki gibidir.

- 6: Buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan
- 7: Buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan
- 8: Buharlaştırıcıda ısısını soğutucu akışkana aktarmış salamura
- 9: Topraktan ısı çekip buharlaştırıcıya giren salamura
- B: Buharlaştırıcı
- D: Salamuranın debisinin ölçüldüğü su sayacı
- G: Genleşme tankı
- P1: Salamuranın dolaşımını sağlayan sirkülasyon pompası

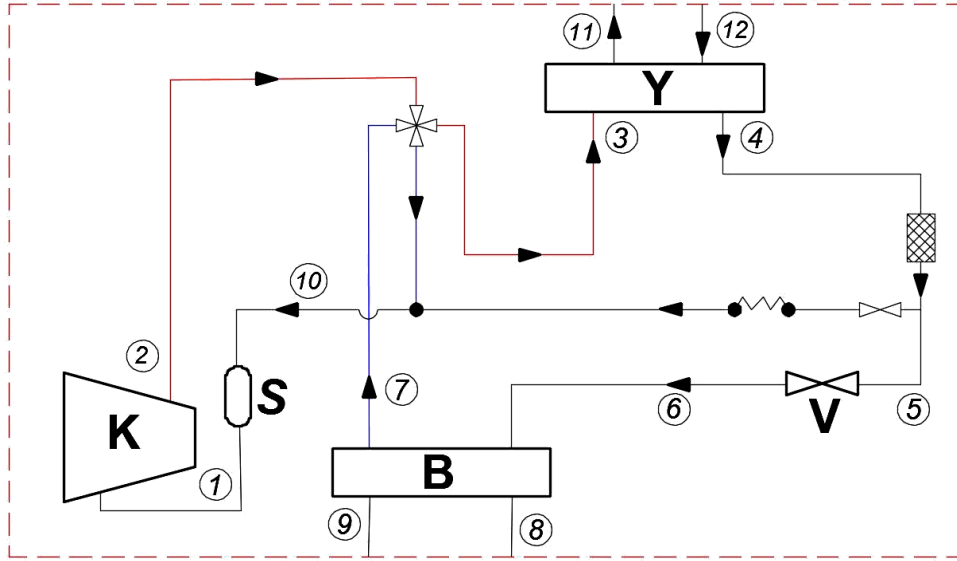
Toprak ısı değiştiricisi, 2,5 m derinliğinde 10 atü işletme basıncına dayanaklı PE100 (polietilen) borudan oluşturulmuştur. Toprak ısı değiştiricisinde akışkan olarak salamura kullanılmıştır. Salamuranın antifriz oranı kütlece %20'dir. TID borularını oluşturan dört hattın ısı pompasına girmeden önce birleştirilmesi ve ısı pompası dönüşünde tekrar ayrılması için sisteme bir kollektör eklenmiştir. Donma ihtimalini ortadan kaldırmak için, borular toprağın 1 m derinliğinden itibaren kollektör girişine kadar yalıtılmıştır. Ayrıca kollektörde meydana gelebilecek donmayı engellemek için kollektörün etrafı kapatılmıştır. şekil 3.12'de kollektör ve kollektörün bulunduğu hacimin görüntüsü verilmiştir.



şekil 3.12 Kollektör

3.3.2. Isı pompası devresi

Isı pompası devresi buharlaştırıcı, kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası, sıvı ayırıcı, dört yollu vana, filtre, kılcal boru ve by-pass vanasından oluşmaktadır. Isı pompası devresine ait tesisat şeması şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Isı pompası devresi

- 1: Kompresöre kızgın buhar olarak giren soğutucu akışkan
- 2: Kompresörden kızgın buhar fazında çıkan soğutucu akışkan
- 3: Yoğuşturucuya giren kızgın buhar fazında soğutucu akışkan
- 4: Yoğuşturucudan çıkan sıkıştırılmış sıvı fazında soğutucu akışkan
- 5: Kısılma vanasına giren sıkıştırılmış sıvı fazında soğutucu akışkan
- 6: Buharlaştırıcıya giren ıslak buhar fazında soğutucu akışkan
- 7: Buharlaştırıcıdan kızgın buhar olarak çıkan soğutucu akışkan
- 8: Buharlaştırıcıda ısınıp soğutucu akışkana aktarmış salamura
- 9: Topraktan ısı çekip buharlaştıracıya giren salamura
- 10: Sıvı ayırıcıya giren kızgın buhar fazında soğutucu akışkan
- 11: Yoğuşturucuda ısınıp akümülayon tankına giden su
- 12: Akümülayon tankından yoğuşturucuya dönen su
- B: Buharlaştırıcı
- K: Kompresör
- S: Sıvı ayırıcı
- V: Kısılma vanası
- Y: Yoğuşturucu

Bu elemanlar Restherma markasına ait IP11SS model cihazın içerisinde bir arada bulunmaktadır. Isı pompasına ait görseller şekil 3.14’de, teknik değerler çizelge 3.8’de verilmiştir.



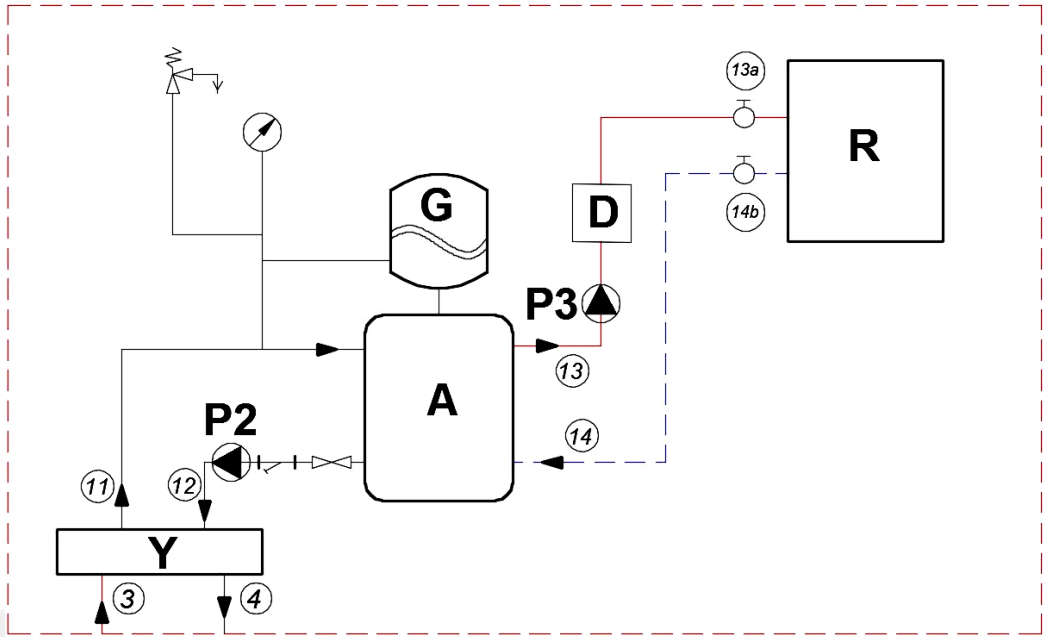
Şekil 3.14 Kullanılan ısı pompası (Restherma Ürün Kataloğu)

Çizelge 3.8 Isı pompasının teknik değerleri (Restherma Ürün Kataloğu)

ISITMA	Nominal kapasite	10,5 kW
	COP	5
	Maksimum çıkış suyu sıcaklığı	55 °C
SOĞUTMA	Nominal kapasite	8,5 kW
	EER	4,29
	Minimum çıkış suyu sıcaklığı	7 °C
	Soğutucu akışkan	R410 A
	Kompresör Tipi	SCROLL
	Kompresör markası	DAIKIN

3.3.3. Isıtma Devresi

Isıtma devresi, radyatörler, iki adet sirkülasyon pompası, kalorimetre ve akümülayon tankından oluşmaktadır. Kuzey- güney cepheli orta odada 1,5 m ve arka kısımdaki batı cepheli odada 1,6 m olmak üzere toplam 3,1 m radyatör bulunmaktadır. Isıtma devresinin tesisat şeması şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Isıtma devresi

- 3: Yoğuşturucuya giren kızgın buhar fazında soğutucu akışkan
- 4: Yoğuşturucudan çıkan sıkıştırılmış sıvı fazında soğutucu akışkan
- 11: Yoğuşturucuda ısınıp akümülayon tankına giden su
- 12: Akümülayon tankından yoğuşturucuya dönen su
- 13: Akümülayon tankından radyatörlere giden sıcak su
- 14: Radyatörlerden akümülayon tankına dönen soğumuş su
- A: Akümülayon tankı
- D: Kalorimetre
- G: Genleşme tankı
- P2: Yoğuşturucu ile akümülayon tankı arasındaki suyun dolaşımını sağlayan sirkülayon pompası
- P3: Akümülayon tankı ile radyatörler arasındaki suyun dolaşımını sağlayan sirkülayon pompası
- R: Radyatörler
- Y: Yoğuşturucu

3.4. Deneylerde Yapılan Ölçümler

Deneyler sırasında farklı noktalarda sıcaklık, basınç, debi ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca sirkülasyon pompasının ve sistemin elektrik tüketimi ölçülmüştür.

3.4.1. Sıcaklık Ölçümleri

Deneyler sırasında, termokupllar (ısıl çiftler) kullanılarak iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m ve 2,5 m derinliklerinde olmak üzere toprak sıcaklıkları, ısıtma suyu sıcaklıkları, soğutucu akışkan sıcaklıkları ve salamura sıcaklıkları ölçülmüştür. Dış ortam sıcaklığı 3 farklı noktadan ölçülmüş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu şekilde çevresel koşulların etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Benzer şekilde iç ortam sıcaklığı iki farklı noktadan ölçülüp ortalamaları alınmıştır. Ölçüm aralıklarının uygun olması sebebiyle ölçümler sırasında T tipi bakır – bakır nikel (Cu – Co) termokupllar kullanılmıştır.

Toprak sıcaklıkları ölçümünde termokupllar problarla birlikte kullanılmıştır. Ayrıca her derinliğe T tipi termokupllarla birlikte bir adet K tipi nikel krom – nikel (NiCr – Ni) termokupl yerleştirilmiştir. Bu şekilde toprak altına müdahalenin çok zor olması nedeniyle meydana gelebilecek olumsuzluklara karşı termokuplların yedeği oluşturulmuştur. Toprağa yerleştirilen problemlerin görüntüleri şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Toprak sıcaklık ölçüm probu

Sistemde kullanılacak termokupllar aynı bölgeye yerleştirilmiş ve veri toplama ünitesi (datalogger) ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Böylece termokuplların doğruluğu kontrol edilmiştir.

Ölçülen sıcaklık değerleri Agilent marka 34970A model veri toplama ünitesi ile kaydedilmiştir. Bu cihaz K ve T tipi dahil olmak üzere birçok termokupl ile kullanılabilmekte ve yapılan ölçümleri RS232 bağlantısı ile bilgisayara aktarılabilir. Cihaza ait bir modül 20 adet sıcaklık ölçüm kanalına sahiptir ve cihazın T tipi termokupl ile sıcaklık ölçüm hassasiyeti ± 1 °C'dir. Bu çalışmada iki adet modül kullanılmıştır. Deneyler sırasında kullanılan veri toplama ünitesi ve modüllerin görüntüsü şekil 3.17'de, yapılan sıcaklık ölçümleri çizelge 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.17 Kullanılan veri toplama ünitesi ve modüller

Çizelge 3.9 Deney sisteminde yapılan sıcaklık ölçümleri

Salamuranın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı
Salamuranın buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı
Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı
Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı
Soğutucu akışkanın kompresöre giriş sıcaklığı
Soğutucu akışkanın kompresörden çıkış sıcaklığı
Soğutucu akışkanın yoğuşturucuya giriş sıcaklığı
Soğutucu akışkanın yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı
Soğutucu akışkanın kısılma vanasına giriş sıcaklığı
Soğutucu akışkanın kısılma vanasından çıkış sıcaklığı
Suyun akümülayon tankına girişi sıcaklığı
Suyun akümülayon tankından çıkış sıcaklığı
Akümülayon tankı sıcaklığı

Çizelge 3.9 Deney sisteminde yapılan sıcaklık ölçümleri (Devamı)

Isıtma suyunun radyatöre giriş sıcaklığı
Isıtma suyunun radyatörden çıkış sıcaklığı
İç ortam sıcaklığı
Dış ortam sıcaklığı
0,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı
1 m derinliğinde toprak sıcaklığı
1,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı
2 m derinliğinde toprak sıcaklığı
2,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı

3.4.2. Basınç Ölçümleri

Kompresör giriş ve çıkışında bulunan manometreler yardımıyla sistemin yüksek ve alçak basınçları ölçülmüştür. Ölçüm yapılan manometreler şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Manometrelerin görünümü

3.4.3. Debi Ölçümleri

Deney düzeneğinde toprak altı ısı değiştiricisinde dolaşan salamuranın ve ısıtma suyunun debisi ölçülmüştür. Salamuranın debisinin belirlenmesinde su sayacı kullanılmıştır. Isıtma suyunun debisinin ölçümünde sistemde mevcut olan CF- Ultramaxx MK ultrasonik termal enerji sayacı (Şekil 3.19) kullanılmıştır. Sayacın hassasiyeti EN1434 class 2-3 (yaklaşık $\pm\%2-3$)’tür.



Şekil 3.19 Ultrasonik termal enerji sayacı

3.4.4. Güç Ölçümleri

Isı pompasının ve sirkülasyon pompalarının tükettiği gücün ölçülmesi ve kaydedilmesi için KAEL firmasının ürettiği multiser-02-pc-tft şebeke analizöründen iki adet kullanılmıştır. Şekil 3.17’de gösterilen analizör yapılan ölçümleri belirlenen aralıklarla hafıza kartına kaydedebilme özelliğine sahiptir. Şebeke analizörüne ait görsel şekil 3.20’de, yapılabilen bazı ölçümler çizelge 3.10’da verilmiştir. Analizörün hassasiyeti class 1 (yaklaşık $\pm\%1$)’dir.



Şekil 3.20 Şebeke analizörü

Çizelge 3.10 Şebeke analizöründe yapılabilen ölçümler

Gerilim
Akım
Güç Faktörü
Fazlara ait $\cos\Phi$ değerleri
Frekans (Hz)
Aktif Güç
İnduktif Reaktif Güç
Kapasitif Reaktif Güç
Görünen Güç
Aktif Enerji
İnduktif Reaktif enerji
Kapasitif Reaktif enerji

3.5. Kullanılan Yazılımlar

Ölçümlerin kayıt edilmesi, kayıt edilen verilerin bilgisayarda açılması ve düzenlenmesi için kullanılan yazılımlar bu başlıkta verilecektir.

3.5.1. Benchlink data logger 3

Sistemde kullanılan veri toplama ünitesine ait yazılım verilerin toplanması ve analiz edilmesi için kullanılmaktadır. Yazılımda şekil 3.21’de görüldüğü gibi toplanacak ölçüm verilerini tanımlamak için bir tablo oluşturulmaktadır. Bununla birlikte kayıt başlama zamanı, kayıt bitirme zamanı ve kayıt periyodu yazılımdan ayarlanabilmektedir.

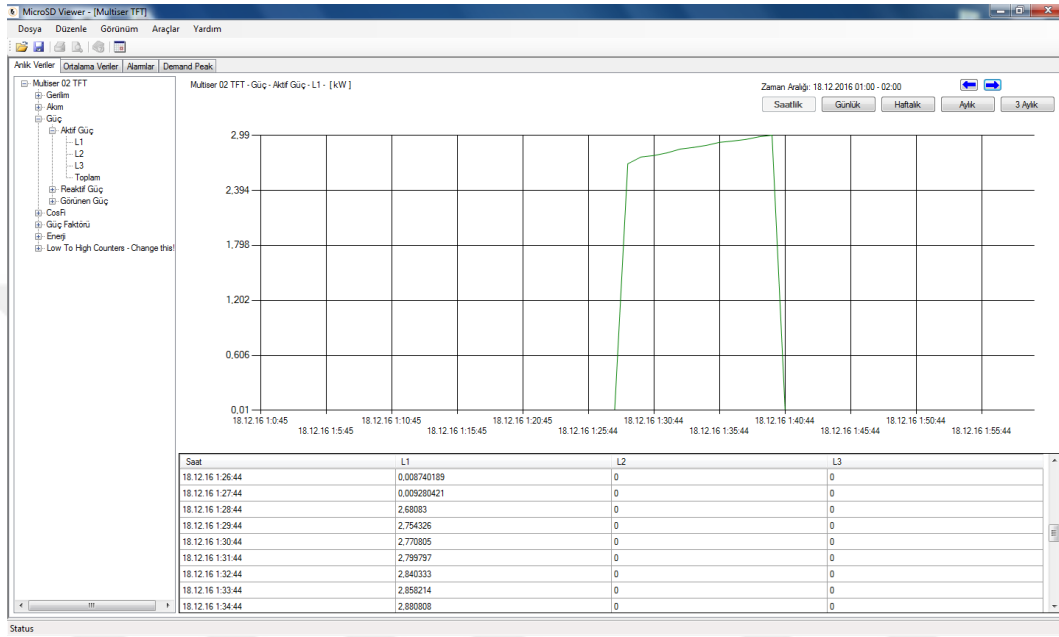
Yazılımdan .csv uzantısında alınan kayıt dosyaları Microsof Excel programına aktarılarak düzenlenmiştir.

Last Scan Results							
Instrument	Channel	Measurement	Data	Alarm	Min	Max	Average
1 <1.ASRL4::INSTR>	101<ic>	Temp (Type K)	24.22600 C	Off	23.81300 C	24.22600 C	24.01950
2 <1.ASRL4::INSTR>	102<aku cikis>	Temp (Type T)	40.89600 C	Off	40.37100 C	40.89600 C	40.63350
3 <1.ASRL4::INSTR>	103<aku giris>	Temp (Type T)	43.35300 C	Off	42.76000 C	43.35300 C	43.05650
4 <1.ASRL4::INSTR>	104<eva giris>	Temp (Type T)	8.642000 C	Off	8.480000 C	8.642000 C	8.561000
5 <1.ASRL4::INSTR>	105<sepe giris>	Temp (Type T)	7.631000 C	Off	7.631000 C	7.775000 C	7.703000
6 <1.ASRL4::INSTR>	106<konde cikis>	Temp (Type T)	44.52600 C	Off	43.46100 C	44.52600 C	43.99350
7 <1.ASRL4::INSTR>	107<kisilma vanasi>	Temp (Type T)	44.19500 C	Off	43.31800 C	44.19500 C	43.75650
8 <1.ASRL4::INSTR>	108<konde giris>	Temp (Type T)	63.79000 C	Off	62.40500 C	63.79000 C	63.09750

Şekil 3.21 Veri toplama ünitesi programı arayüzü

3.5.2. Kael viewer

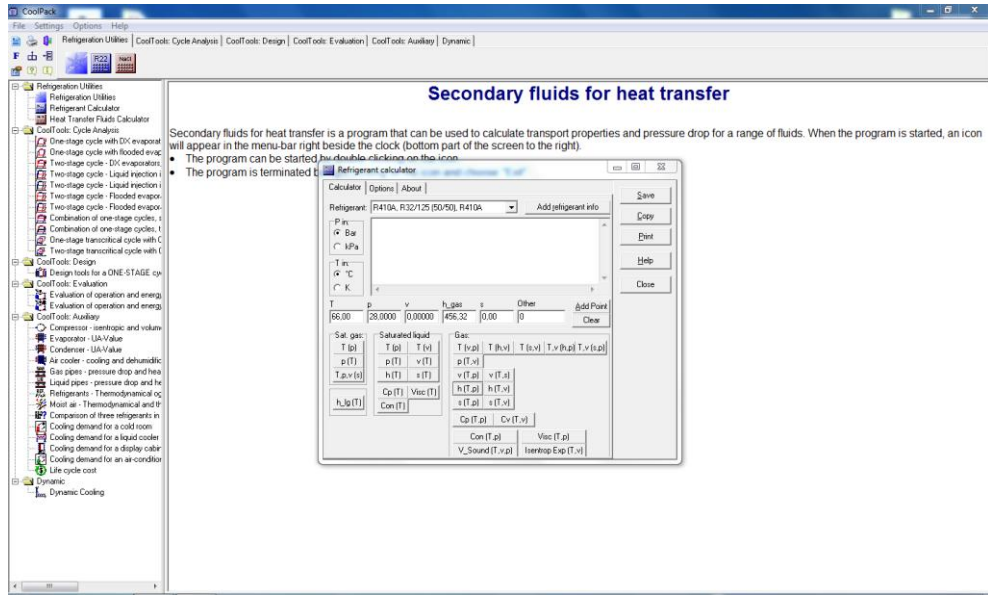
Şebeke analizörü, kompresör ve sirkülasyon pompasına ait güç ve enerji verilerini ayarlanan ölçüm aralıkları ile hafıza kartına kaydetmektedir. Bu veriler bilgisayarda kael viewer yazılımı kullanılarak görüntülenebilmekte ve excel formatından kaydedilebilmektedir. Programın ekran görüntüsü şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22 Şebeke analizöründen alınan verilerin görüntülenmesi

3.5.3. Cool pack

Çeşitli soğutucu akışkanların bilinen özellikleri kullanılarak termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir programdır. Bu çalışmada, ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri kullanılarak R410A’ nın entalpi değerleri elde edilmiştir. Programa ait görsel şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.23 Cool pack programında değerlerin belirlenmesi

3.5.4. Microsoft Excel

Diğer yazılımlar kullanılarak elde edilen veriler (sıcaklıklar, güç değerleri) Microsoft Excel programına aktarılmıştır. Çalışma süresince kayıt edilen verilerin ortalamaları alınmış ve bu değerler için cool pack programında entalpi değerleri belirlenmiştir. Isı pompasının ve ısı pompası sisteminin COP değerinin elde edilmesi için, termodinamik bağıntılar kullanılarak formülasyon oluşturulmuştur.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Komp Giriş	Komp Çıkış	Konde Giriş	Konde Çıkış	GÜÇ TÜKETİMİ	POMPA TÜKETİMİ	Qkon	COP	Dış Ortam	toplam güç	COPsis				
43	430,33	458,59	454,7	283,87	2,86765	0,448071736	5,86325376	2,044619727	-14,06190909	3,315721736	1,76832				
44	430,34	458,49	454,64	283,83	2,867059545	0,447516745	5,86124028	2,044338524	-13,59527273	3,314576291	1,76832				
45	430,29	458,57	454,67	283,87	2,861318167	0,45114082	5,8625826	2,048909719	-12,24443333	3,312458987	1,76986				
46	430,27	458,74	454,8	283,96	2,857245909	0,45245232	5,86526724	2,052769494	-11,3118	3,309698229	1,77215				
47	430,25	458,63	454,77	283,88	2,876843182	0,454767273	5,8659384	2,039019171	-11,34781818	3,331610455	1,76069				
48	430,32	458,39	454,5	283,58	2,853492583	0,44893963	5,86627398	2,055822403	-11,1688	3,302432213	1,77635				
49	430,35	458,31	454,5	283,49	2,864520727	0,450754145	5,86660956	2,048024825	-11,44484848	3,315274873	1,76957				
50	430,3	458,71	454,82	283,94	2,847002167	0,450233336	5,86493166	2,060037652	-12,41233333	3,297235503	1,77874				
51	430,3	458,13	454,32	283,31	2,862944667	0,450696991	5,86660956	2,049152269	-11,91378788	3,313641658	1,77044				

Şekil 3.24 Microsoft Excelde yapılan işlemler

3.6. Deneylerin Yapılışı

Deneyler 2016 yılının aralık ayında gerçekleştirilmiştir. Aralık ayı boyunca sistem sürekli olarak çalıştırılmıştır. Ancak bazı günler meydana gelen elektrik kesintisi gibi aksaklıklar nedeniyle sistem durmuş ve daha sonra tekrar çalıştırılmıştır.

Deneyler sırasında sıcaklık ölçümleri veri toplama ünitesi tarafından, elektriksel ölçümler şebeke analizörü tarafından her dakika kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak ısı pompasının ve ısı pompası sisteminin enerji analizi gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Deneysel verilerin değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda, topraktan çekilen ısı, yoğuşturucudan atılan ısı, ısı pompasının ve sistemin performans katsayısı (COP_{IP} ve COP_S) hesaplanmıştır.

Topraktan çekilen ısınin hesaplanmasında denklem 3.4 kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{sa} * C_{sa} * (T_{sa,g} - T_{sa,d}) \quad [3.4]$$

Burada,

$\dot{Q}_t$: Topraktan çekilen ısı (kW)

$\dot{m}_{sa}$: Salamuranın debisi (kg / s)

C_{sa} : Salamuranın özgül ısısı (kJ / kgK)

$T_{sa,g}$: Salamuranın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı (°C)

$T_{sa,d}$: Salamuranın buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı (°C)'dir.

Salamura, su – antifriz karışımı olduğundan termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için literatürden elde edilen grafikler ve denklemler kullanılabilir.

Su – etilen glikol karışımının yoğunluğu, ısıl iletkenliği ve özgül ısı kapasitesi denklem 3.5 kullanılarak hesaplanabilir (M. Conde Engineering, 2011).

$$P_x = A_1 + A_2\xi + A_3 \frac{273,15}{T} + A_4\xi \frac{273,15}{T} + A_5 \left(\frac{273,15}{T} \right)^2 \quad [3.5]$$

P_x : Hesaplanacak özellik

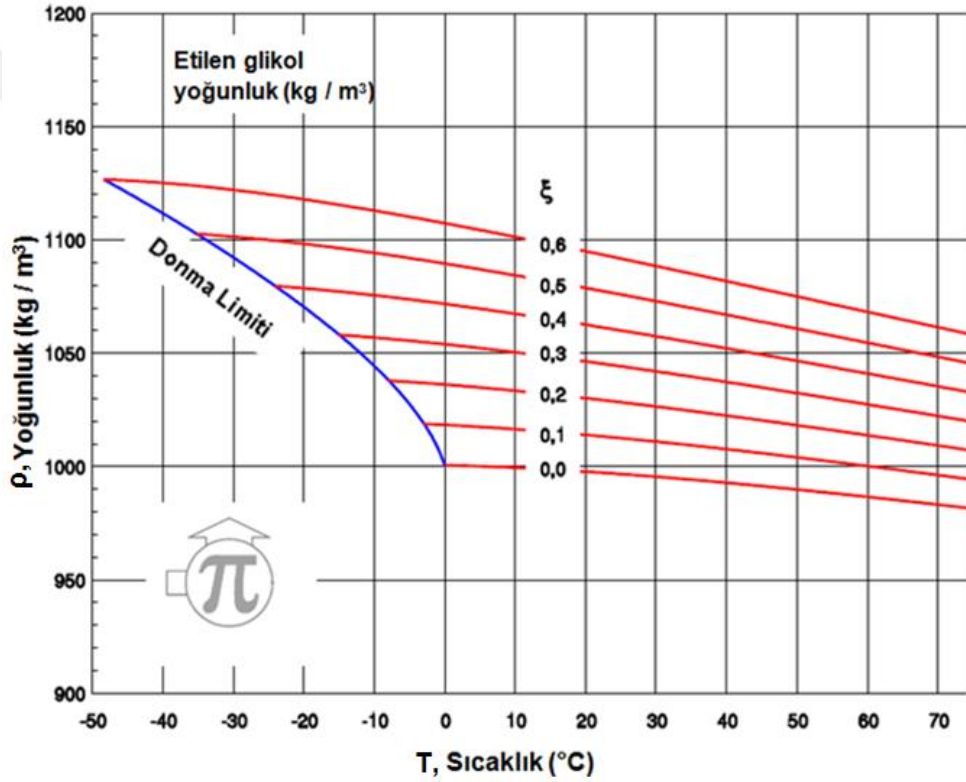
A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 : Denklem katsayıları

ξ : Karışımdaki etilen glikol oranı

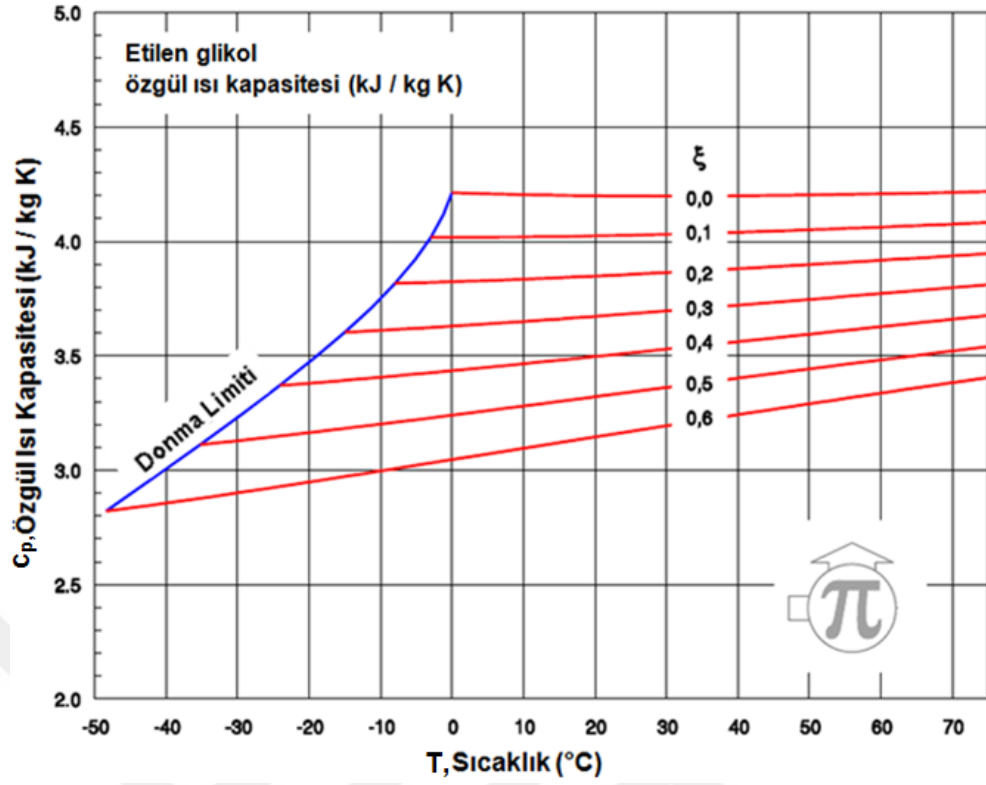
Çizelge 3.11 Denklemden yer alan katsayılar (M. Conde Engineering, 2011)

Katsayı Numarası	ρ (kg / m ³)	c_p (kJ / kgK)	k (W / mK)
1	658,49825	5,36449	0,83818
2	-54,81501	0,78863	-1,37620
3	664,71643	-2,59001	-0,07629
4	232,72605	-2,73187	1,07720
5	-322,61661	1,43759	-0,20174

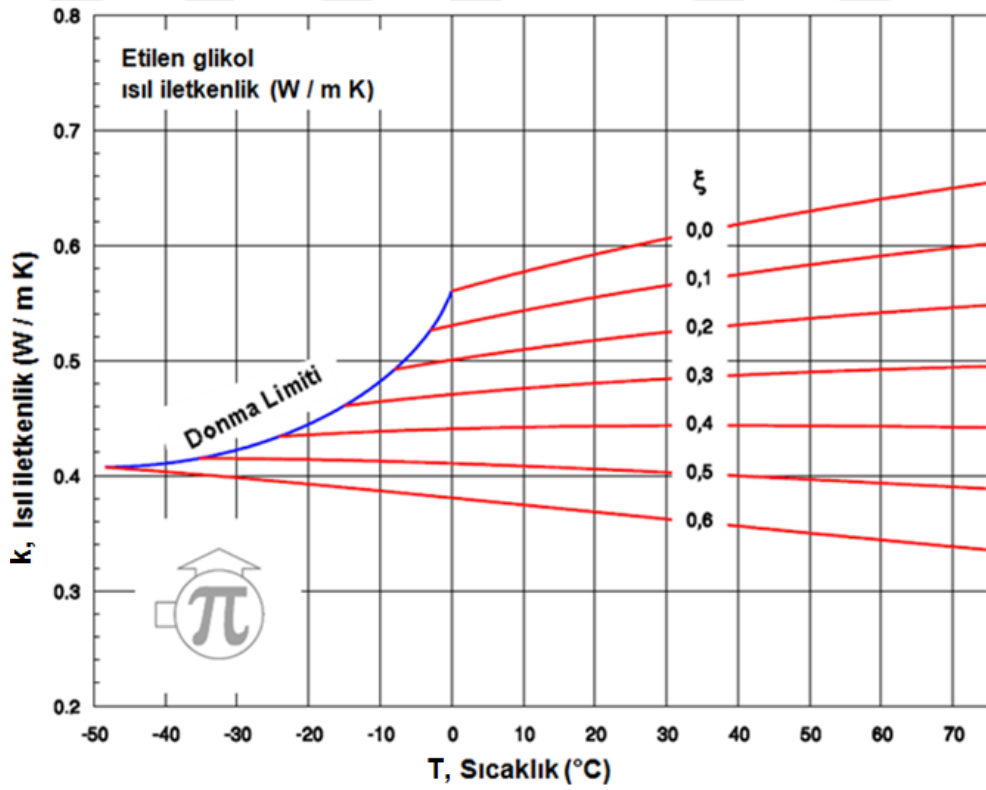
Salamuranın özelliklerini belirlemek için şekil 3.25, şekil 3.26 ve şekil 3.27’de verilen grafiklerde kullanılabilir.



Şekil 3.25 Su – etilen glikol karışımının yoğunluğu (M. Conde Engineering, 2011)



Şekil 3.26 Su – etilen glikol karışımının ölgöl ısısı (M. Conde Engineering, 2011)



Şekil 3.27 Su – etilen glikol karışımının ısıl iletkenliğı (M. Conde Engineering, 2011)

Yoğuşturucuda aktarılan ısı denklem 3.6 kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_{R410A} * (h_3 - h_4) \quad [3.6]$$

Bu denklemde,

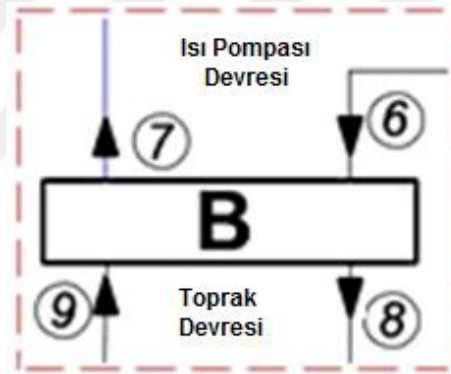
$\dot{Q}_y$: Yoğuşturucuda aktarılan ısı (kW)

$\dot{m}_{R410A}$: Soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg / s)

h_3 : Soğutucu akışkanın yoğuşturucu girişindeki entalpisi (kJ / kg)

h_4 : Soğutucu akışkanın yoğuşturucu çıkışındaki entalpisi (kJ / kg)

Sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisi ölçülmediğinden bilinmemektedir. Bu nedenle debi ısı kayıpları ihmal edilerek buharlaştırıcı için oluşturulan enerji dengesinden hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan kapalı devrede dolaştığı için bu değeri sabit olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.28 Sistem sınırları

Buharlaştırıcı için yazılan enerji dengesi denklem 3.7’de verilmiştir.

$$\dot{m}_{R410A} * (h_1 - h_4) = \dot{m}_{sa} * C_{sa} * (T_{sa,g} - T_{sa,d}) \quad [3.7]$$

buradan,

$$\dot{m}_{R410A} = \frac{\dot{m}_{sa} * C_{sa} * (T_{sa,g} - T_{sa,d})}{(h_1 - h_4)} \quad [3.8]$$

bulunur ve denklem 3.6’da yerine yazılarak yoğuşturucuda aktarılan ısı hesaplanır. Hesaplanan bu değer ile ölçülen kompresörün güç tüketimi değeri kullanılarak ısı pompasının COP değeri belirlenir.

$$COP_{IP} = \dot{Q}_y / \dot{W}_{komp} \quad [3.9]$$

Ayrıca denklem 3.10 kullanılarak sistemin COP değeri hesaplanır.

$$COP_S = \dot{Q}_y / \dot{W}_{top} \quad [3.10]$$

burada,

$$\dot{W}_{top} = \dot{W}_{komp} + \dot{W}_{sp} \quad [3.11]$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde yer alan $\dot{W}_{sp}$, sistemde kullanılan 3 adet sirkülasyon pompasının tükettiği toplam güç değerini ifade etmektedir.

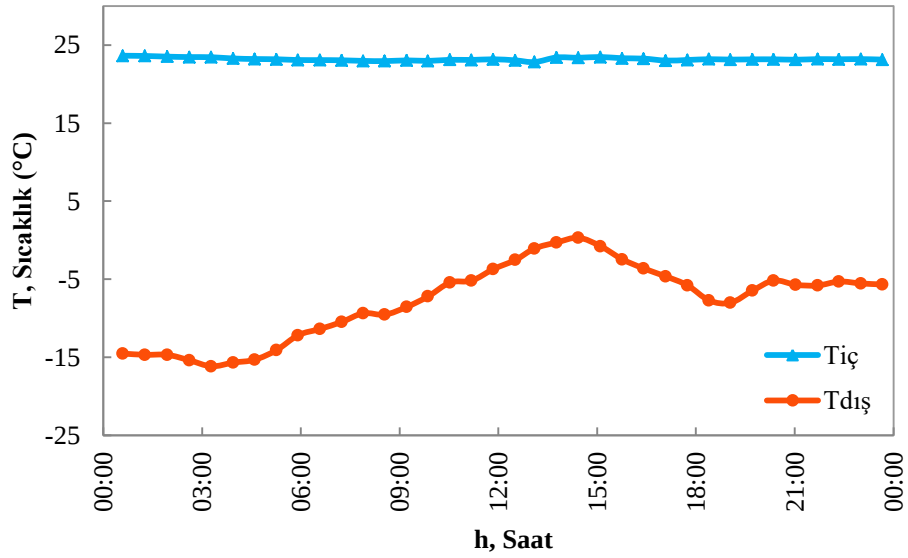
Soğutucu akışkan debisi her gün için, denklem 3.8’de bulunan parametrelerin günlük ortalaması kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplanan değer gün içerisinde sabit olduğu kabul edilmiştir. Yoğuşturucuda aktarılan ısı ve dolayısıyla COP_{IP} ve COP_S değerlerinin hesabında belirtilen sabit kütleli debi kullanılmıştır.

Soğutucu akışkanın ısı pompası bileşenlerini birleştiren borular içindeki basınç düşüşü ihmal edilmiştir ve hesaplamalarda soğutucu akışkanın yoğuşturucu girişindeki özellikleri kompresör çıkışındaki özelliklerine eşit alınmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR

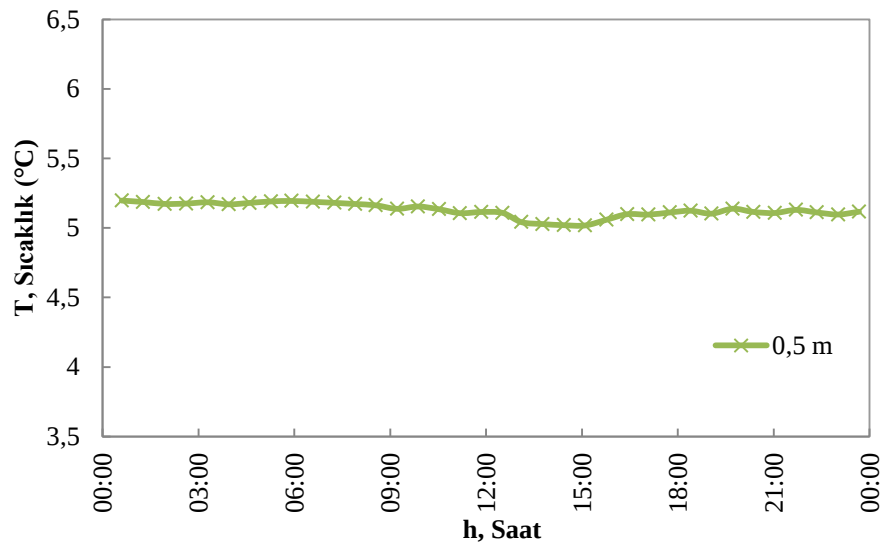
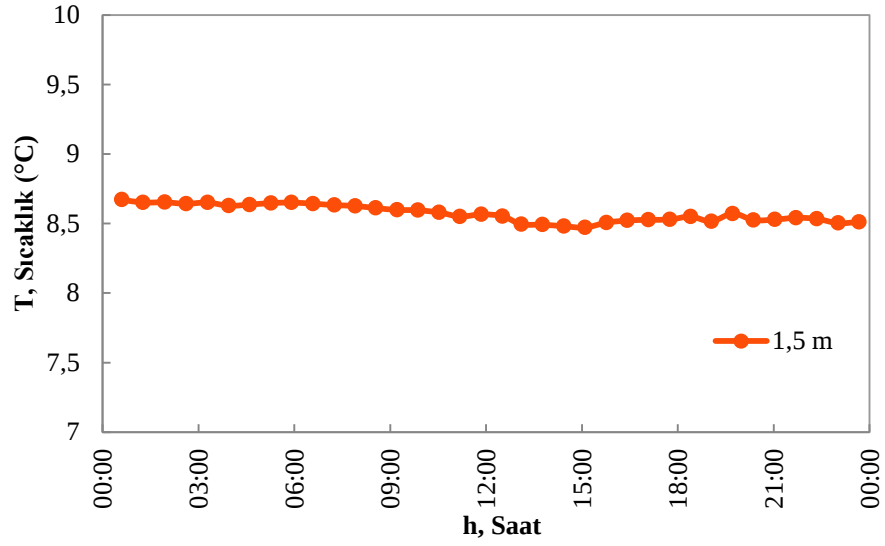
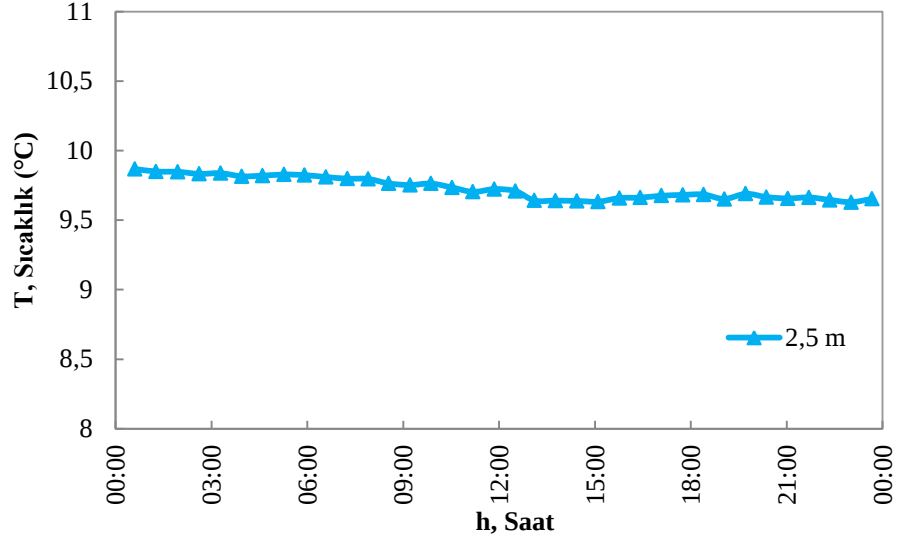
Bölüm 3’te verilen programlar ve denklemler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda topraktan çekilen ısı, ısı pompasının ve sistemin COP değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar haftalık ve günlük olarak bu bölümde verilecektir.

Şekil 4.1’de 7 Aralık 2016 tarihinde dış ortam sıcaklığının ($T_{dış}$) ve iç ortam sıcaklığının ($T_{iç}$) gün içerisindeki değişimi verilmiştir. Dış ortam sıcaklığının en yüksek değeri 0,32 °C, en düşük değeri -16,15 °C olarak ölçülürken, gün içindeki ortalama değeri ise -7,76 °C olarak elde edilmiştir. İç ortam sıcaklığının en yüksek değeri 23,63 °C, en düşük değeri 22,82 °C olarak kayıt edilmiştir. İç ortam sıcaklığının ortalama değeri ise 23,19 °C olarak belirlenmiştir.



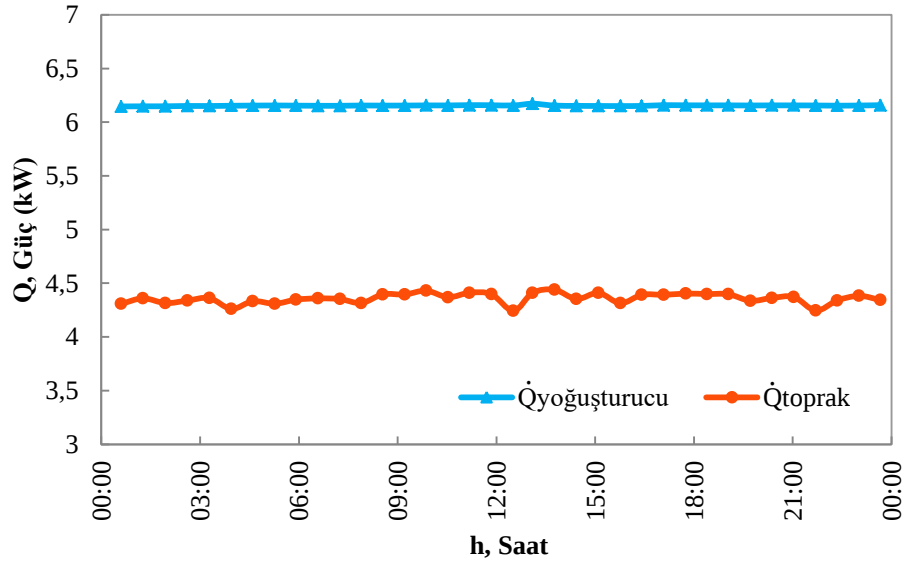
Şekil 4.1 7 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ 'in zamanla değişimi

Şekil 4.2’de 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde toprak sıcaklıklarının gün içindeki değişimi verilmiştir. Üç derinlik için de sıcaklık değerleri günün başında en yüksek değere sahiptir. Toprak altı boruların yerleştirildiği 2,5 m derinliğinde sıcaklık başlangıçta 9,87 °C değerindedir. 24 saatin sonunda bu derinlikte toprak sıcaklığı 9,65 °C değerine düşmüştür. Bu düşüşün sebebi topraktan çekilen ısıdır. Diğer derinliklerde de sıcaklıkta bir düşme meydana gelmiştir. 1,5 m ve 0,5 m’de toprak sıcaklıklarının ortalama değerleri sırasıyla 8,57 °C ve 5,13 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 7 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

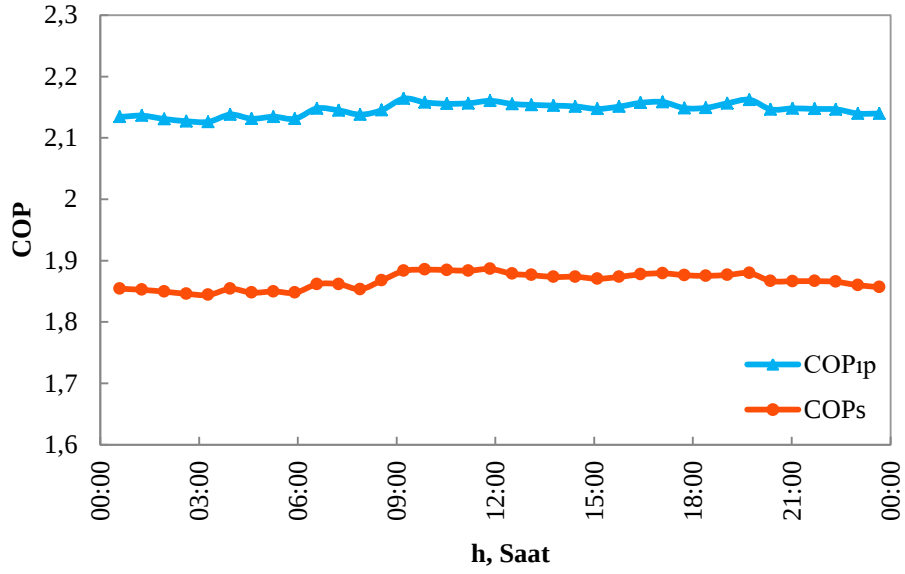
Şekil 4.3’de yoğuşturucuda suya aktarılan ısı ($\dot{Q}_y$) ve topraktan çekilen ısı ($\dot{Q}_t$) değerlerinin gün içindeki değişimi verilmiştir. Yoğuşturucuda suya aktarılan ısı gün içinde çok fazla değişmemiş ve yaklaşık 6,15 kW olarak ölçülmüştür. Topraktan çekilen ısı 4,24 – 4,44 kW arasında değişmiş ve ortalama 4,36 kW olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.3 7 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

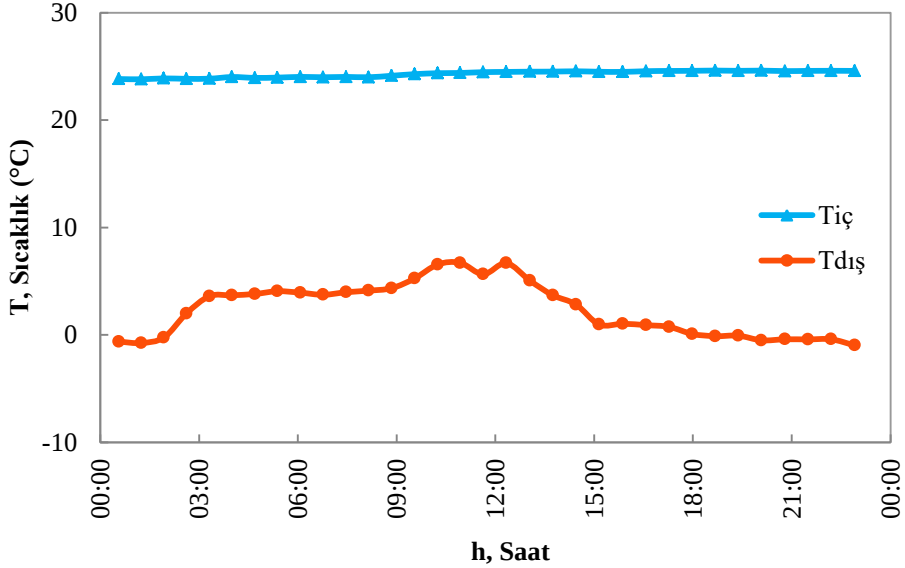
Şekil 4.4’de ısı pompasının ve sistemin performans katsayılarının (COP_{IP} ve COP_S) 7 Aralık 2016 tarihinde gün içindeki değişimi verilmiştir. COP_{IP} değeri 2,13 ile 2,16 arasında değişirken, COP_S değerinin 1,84 ile 1,89 arasında değiştiği görülmüştür. COP_{IP} ve COP_S değerlerinin ortalamaları sırasıyla 2,15 ve 1,87 olarak hesaplanmıştır.

Esen (2007) çalışmasında bu tarihlerde 60 m derinliğinde dikey toprak kaynaklı ısı pompası için COP_S değerini yaklaşık 2,7 olarak hesaplamıştır. Hesaplanan bu değer daha yüksek olmasında ısı pompasının dikey olması ile birlikte Elazığ ilinin iklim koşulları da etkili olmuştur.



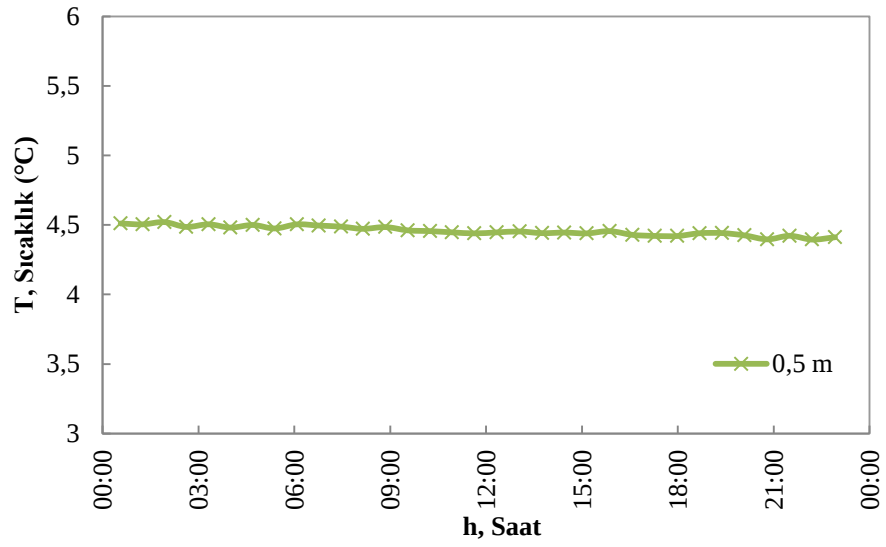
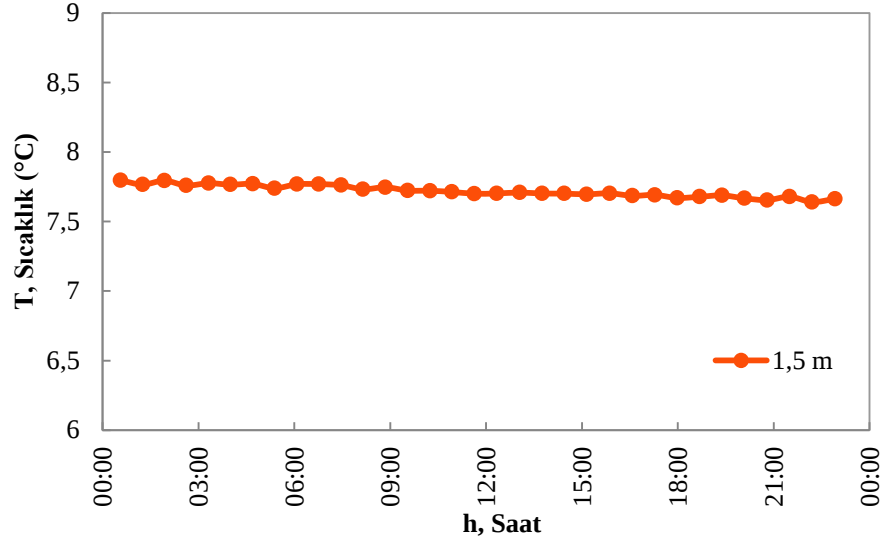
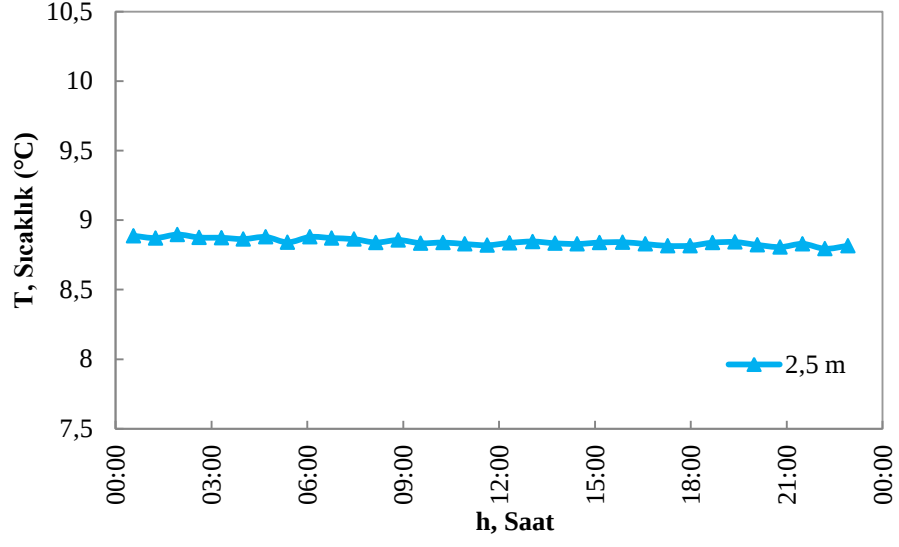
Şekil 4.4 7 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S'nin zamanla değişimi

13 Aralık 2016 tarihinde dış ortam sıcaklığı $-0,98^{\circ}\text{C}$ ile $6,71^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken iç ortam sıcaklığı $23,81^{\circ}\text{C}$ ve $24,62^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir. Sıcaklık ortalamaları ise $2,39^{\circ}\text{C}$ ve $24,30^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Bu güne ait ölçümler şekil 4.5'de verilmiştir.



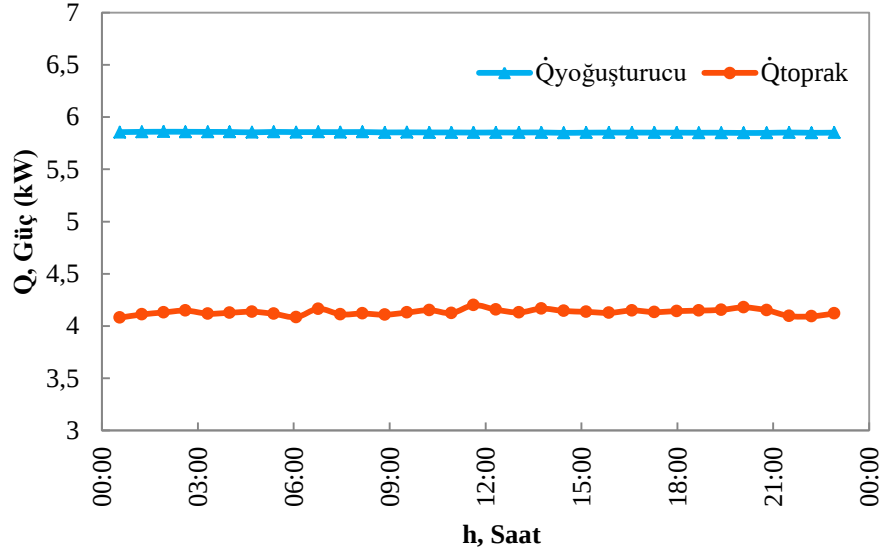
Şekil 4.5 13 Aralık 2016 tarihinde T_{dış} ve T_{iç}'in zamanla değişimi

13 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının 7 Aralık 2016 tarihine göre düştüğü gözlenmiştir. Gün içinde toprak sıcaklıkları 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerde sırasıyla $8,84^{\circ}\text{C}$, $7,72^{\circ}\text{C}$ ve $4,46^{\circ}\text{C}$ değerlerine yakın seyretmiştir. Gün içinde farklı derinliklerde toprak sıcaklıklarının değişimi şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 13 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

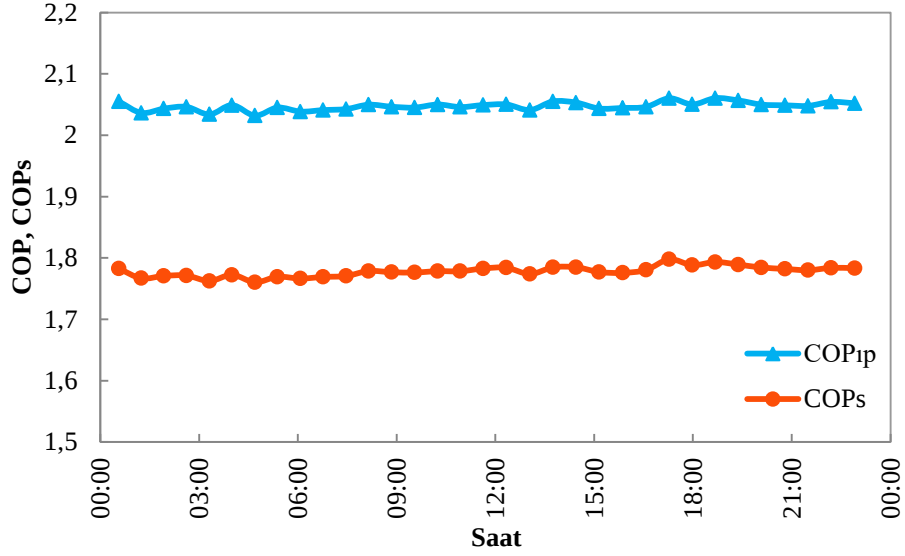
Şekil 4.7’de 13 Aralık 2016 tarihinde yoğuşturucuda aktarılan ısı ve topraktan çekilen ısı gösterilmiştir. Toprak sıcaklığının düşmesiyle beraber bu değerlerde 7 Aralık gününe göre bir miktar azalmıştır. $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin günlük ortalamaları sırasıyla 5,85 kW ve 4,13 kW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 13 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

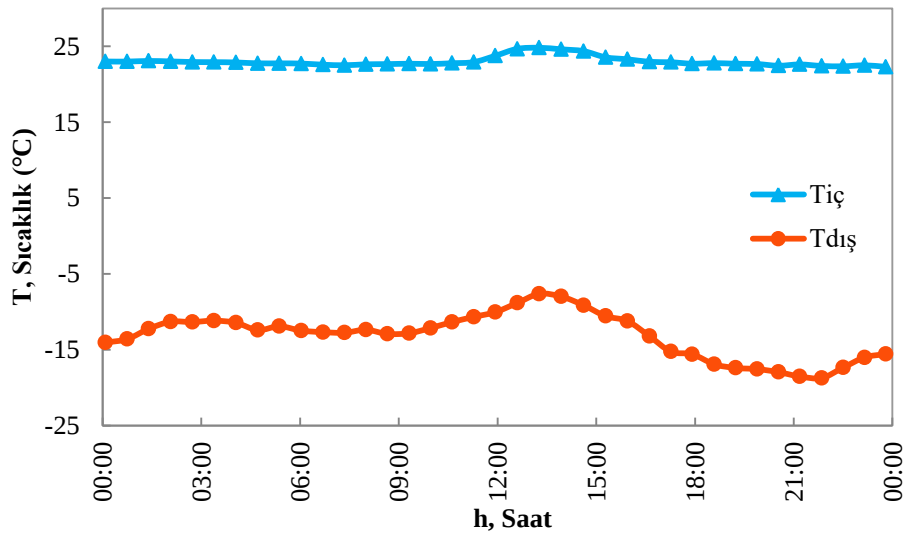
13 Aralık 2016 tarihi için hesaplanan performans katsayıları şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu değerler gün içinde sabit kabul edilebilir. Isı pompası için ortalama COP_{IP} değeri 2,05 iken COP_S değerleri 1,78 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ısı pompasının ve sistemin performansı azalmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında sistem çalıştıkça ısı pompasının ve sistemin performansının düştüğü görülmüştür. Esen (2007), çalışmasında bu tarihlerde COP_S değerini 2,5 olarak hesaplamıştır.



Şekil 4.8 13 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S’nin zamanla değişimi

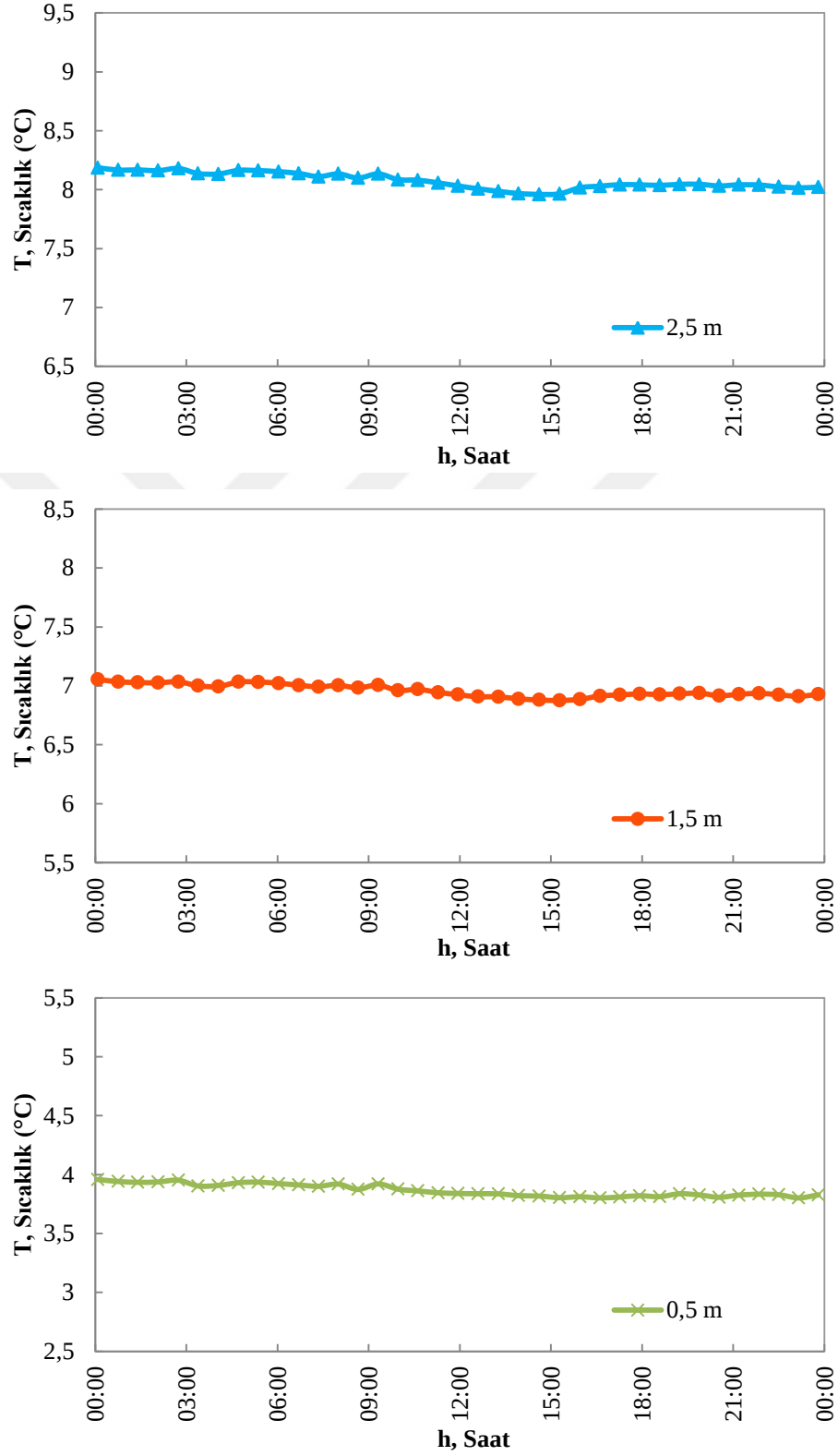
18 Aralık 2016 tarihi ayın en soğuk günlerinden biridir. Dış ortam sıcaklığının en yüksek değeri -7,63 °C, en düşük değeri ise -18,73 °C olarak kayıt edilmiştir. Dış ortam sıcaklığının günlük ortalaması ise -13,11 °C olarak hesaplanmıştır. İç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığının düşmesinin etkisi ile önceki günlere göre bir miktar azalmış ve ortalaması 23,0 °C olarak belirlenmiştir. Sıcaklıkların gün içindeki değişimi şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 18 Aralık 2016 tarihinde T_{dış} ve T_{İç}’in zamanla değişimi

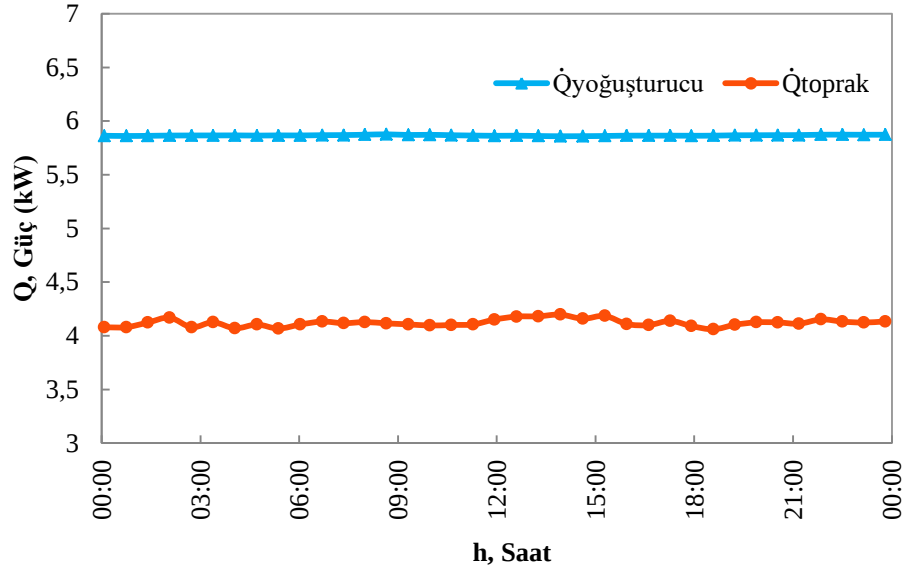
Toprak sıcaklıkları sistemin çalışmaya devam etmesi ile birlikte düşmeye devam etmiştir. 18 Aralık 2016 tarihinde toprağın en yüksek sıcaklığı 8,19 °C olarak

ölçülmüştür ve günlük ortalaması 8,08 °C olarak elde edilmiştir. 1,5 m ve 0,5 m ise toprak sıcaklıklarının ortalaması 6,96 °C ve 3,87 °C olarak belirlenmiştir. Toprak sıcaklıklarının gün içindeki değerleri şekil 4.10’da verilmiştir.



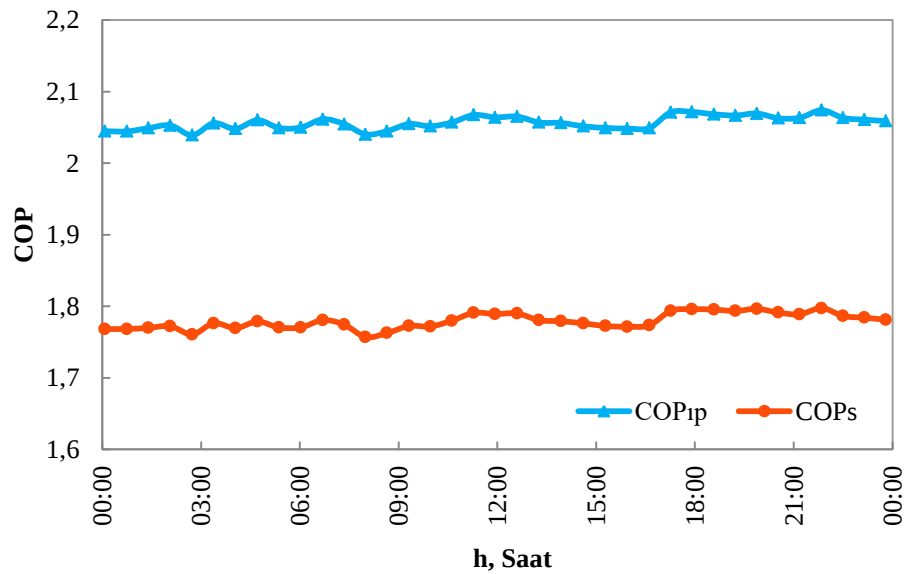
Şekil 4.10 18 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

Topraktan çekilen ısı miktarı ve yoğuşturucuda aktarılan ısı miktarı gün içerisinde çok fazla değişmemiştir. Ancak topraktan çekilen ısı değerlerinin düşmeye devam ettiği gözlenmiştir. Bu değerlerin ortalamaları sırasıyla 4,12 kW ve 5,87 kW olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere ait grafik şekil 4.11’de verilmiştir.



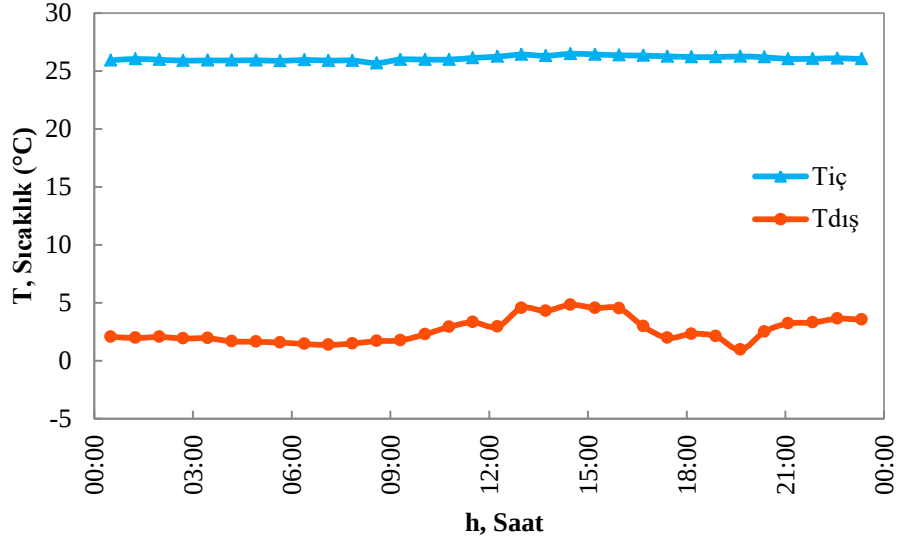
Şekil 4.11 18 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

Isı pompası ve sistemin performansı 18 Aralık 2016 tarihi için şekil 4.12’de verilmiştir. Sistemin performans katsayısı 1,76 ile 1,80 değerleri arasında değişirken ısı pompasının performans katsayısı 2,04 ile 2,07 değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 4.12 18 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S’nin zamanla değişimi

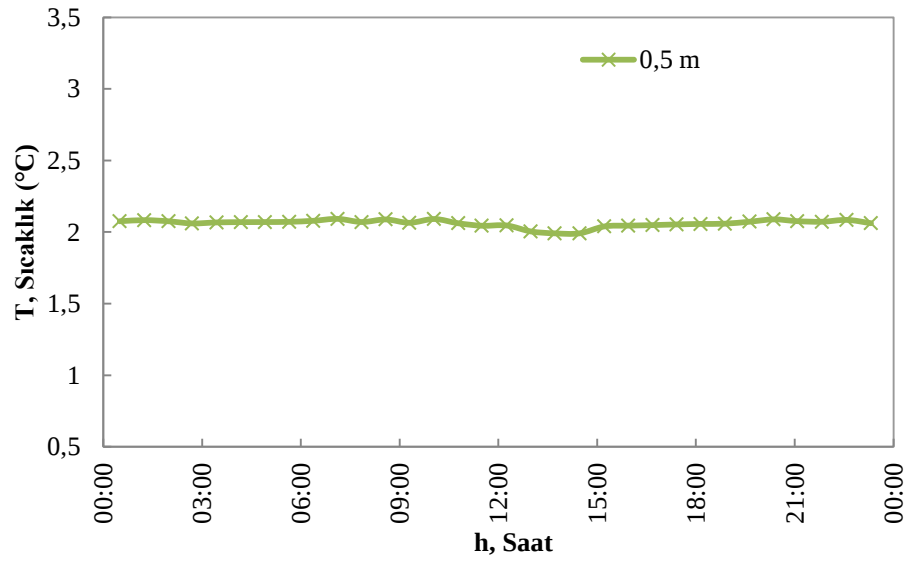
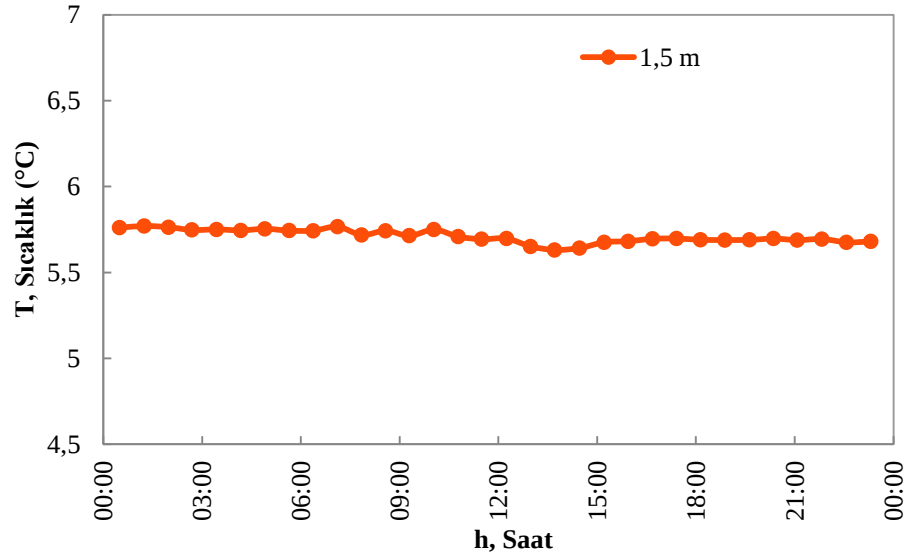
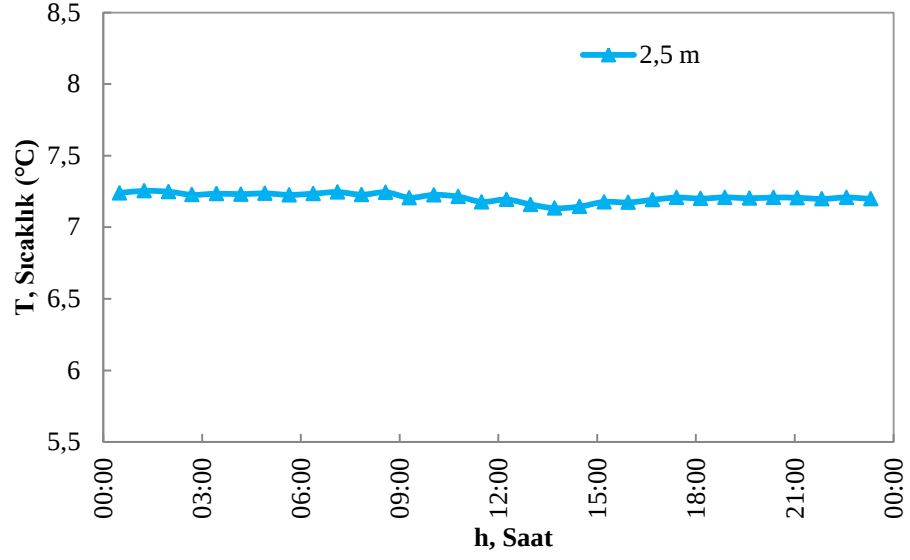
28 Aralık tarihinde ölçülen iç ve dış ortam sıcaklıkları şekil 4.13’de verilmiştir. Dış ortam sıcaklıkları 0 °C değerinin üzerinde seyretmiştir. Ölçülen değerlerin ortalaması 2,61 °C olarak bulunmuştur. İç ortam sıcaklıkları ise dış ortam sıcaklığına bağlı olarak bir miktar yükselmiştir. İç ortam sıcaklığının günlük ortalaması 26,09 °C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 28 Aralık 2016 tarihinde $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi

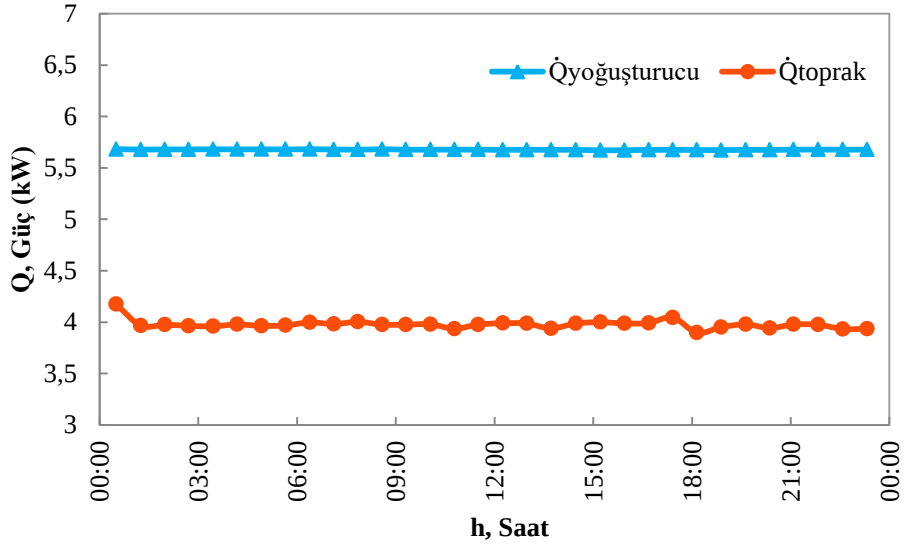
Toprak sıcaklıkları gün içerisinde az miktarda azalmasına rağmen 18 Aralık 2016 tarihi ile karşılaştırıldığında sıcaklıklarda önemli düşüşler meydana gelmiştir. 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde ortalama toprak sıcaklıkları sırasıyla 7,21 °C, 5,71 °C ve 2,06 °C olarak belirlenmiştir.

Toprak altı borularının yerleştirildiği 2,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı deneylerin ilk gününe göre 3,2 °C düşmüştür. Bu durum sistemin performansını da olumsuz etkilemiştir.



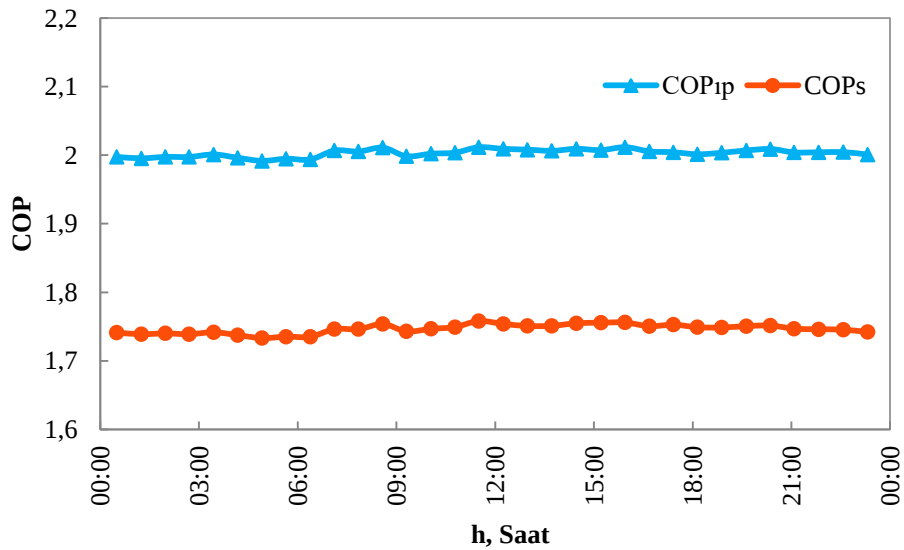
Şekil 4.14 28 Aralık 2016 tarihinde toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

Topraktan çekilen ısı ve yoğuşturucuda aktarılan ısı değerlerine bakıldığında bu değerlerde sistemin sürekli çalışması ve toprağın soğuması ile birlikte 18 Aralık tarihine göre bir miktar daha düşmüştür. Yoğuşturucuda aktarılan ısı gün içerisinde neredeyse sabit kalmış ve 5,68 kW civarında hesaplanmıştır. Topraktan çekilen ısı ise ortalama 3,98 kW olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 28 Aralık 2016 tarihinde $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

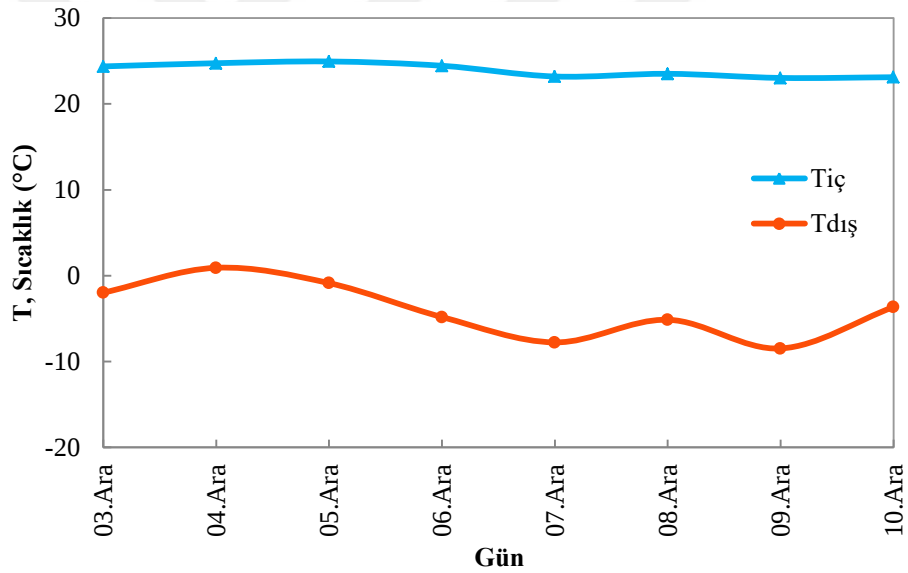
Isı pompası ve sistemin performans katsayıları da 18 Aralık 2016 tarihine göre bir miktar azalmıştır. Bu değerlerin günlük ortalamaları sırasıyla 2,00 ve 1,75 olarak gerçekleşmiştir. COP_{IP} ve COP_S 'nin gün içindeki değişimi şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 28 Aralık 2016 tarihinde COP_{IP} ve COP_S 'nin zamanla değişimi

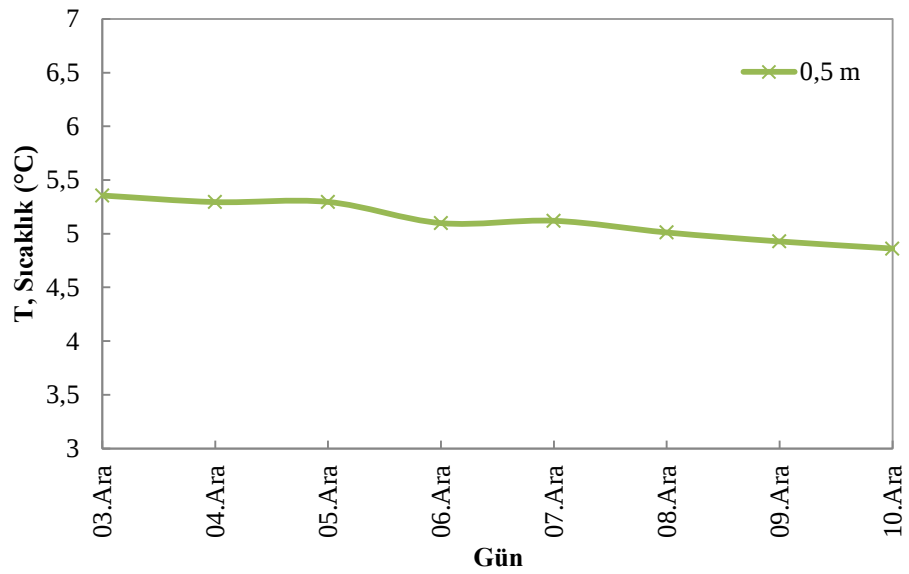
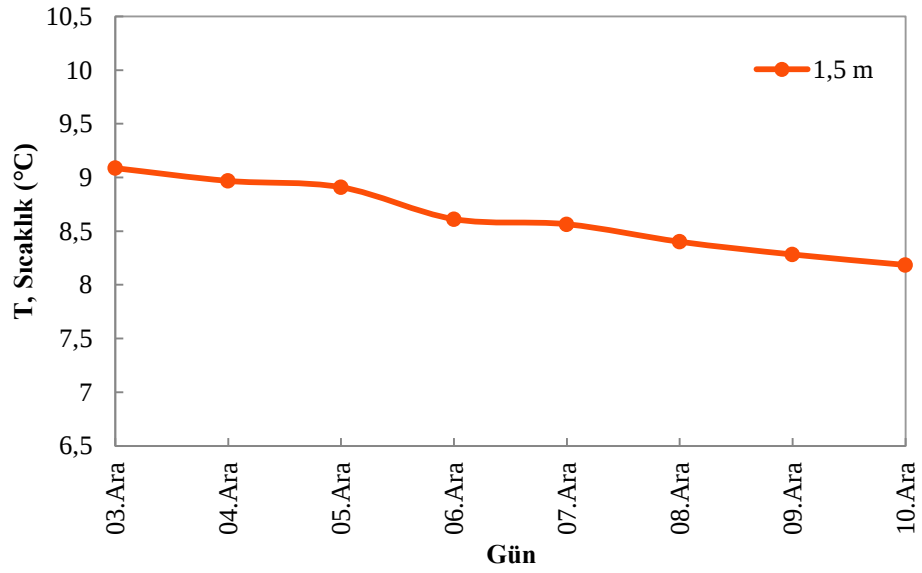
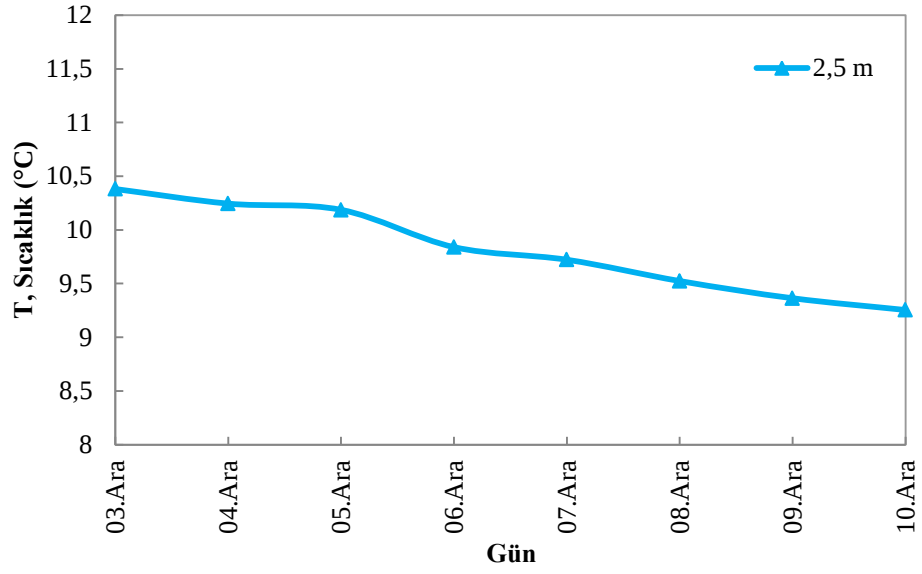
Topraktan çekilen ısı, yoğunlaştırucuda aktarılan ısı, ısı pompasının performans katsayısı ve sistemin performans katsayısı günlük olarak incelendiğinde çok büyük farklılıklar meydana gelmemiştir. Bu nedenle deney süresince bu verilerin değişimini daha net olarak görmek için haftalık olarak incelemekte fayda vardır. Günlük ortalama değerleri içeren haftalık grafikler aşağıda verilmiştir.

3 Aralık 2016 ve 10 Aralık 2016 tarihleri arasında yapılan deneylere ait sonuçlar deneylerin ilk haftası şeklinde verilmiştir. Deneylerin ilk gününde ortalama iç ortam sıcaklığı $24,37^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı gün ortalama dış ortam sıcaklığı ise $-1,98^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. İlerleyen günlerde dış ortam sıcaklığının azalmasıyla birlikte iç ortam sıcaklığının da bir miktar düştüğü şekil 4.17’de görülmektedir. İlk hafta da yapılan ölçümlerde ortalama dış ortam sıcaklığı $-3,97^{\circ}\text{C}$, ortalama iç ortam sıcaklığı ise $23,91^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur.



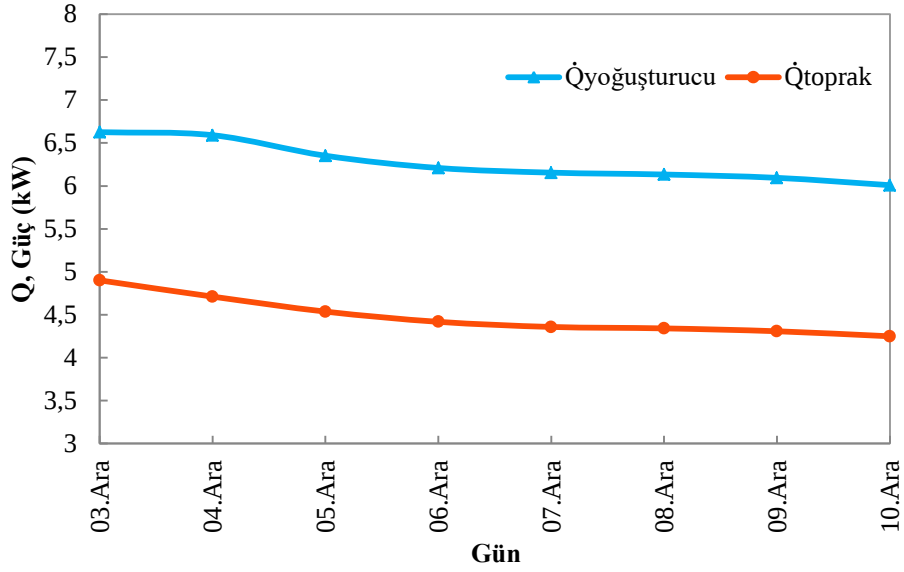
Şekil 4.17 Deneylerin ilk haftasında $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ ’in zamanla değişimi

Şekil 4.18’de farklı derinliklerde ortalama toprak sıcaklıkları verilmiştir. Dış ortamın soğuması ve ısı pompasının topraktan ısı çekmesi nedeniyle toprak sıcaklıklarında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Toprak ısı değiştiricilerinin bulunduğu 2,5 m derinliğinde toprak $10,38^{\circ}\text{C}$ değerinden $9,25^{\circ}\text{C}$ değerine düşmüştür. 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde ise sırasıyla $0,90^{\circ}\text{C}$ ve $0,49^{\circ}\text{C}$ düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 4.18 Deneylerin ilk haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

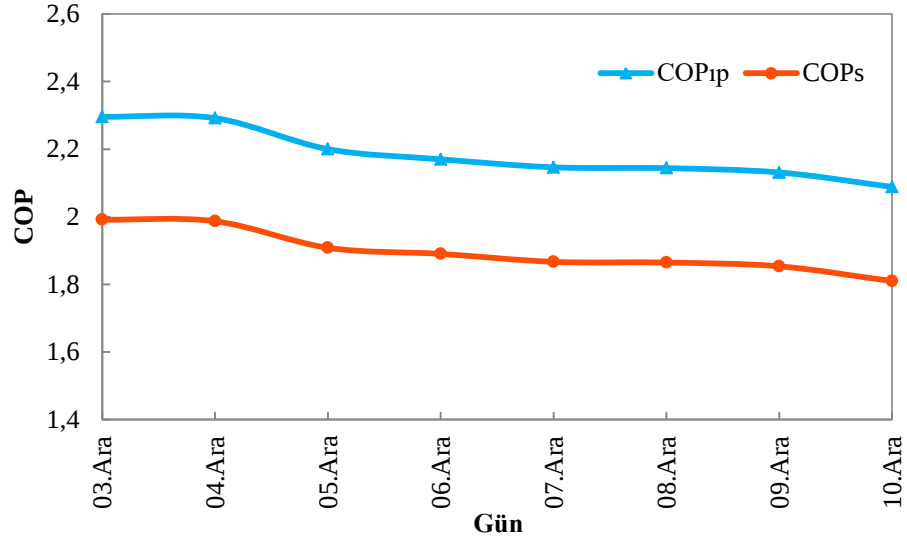
Topraktan çekilen ve yoğuşturucuda aktarılan ısı'nın ilk haftada ki değişimi şekil 4.19'da verilmiştir. Toprakta meydana gelen soğuma nedeniyle salamuranın toprağa gidiş ve dönüş sıcaklıklarındaki fark bir miktar azalmıştır. Bu nedenle topraktan çekilen ısı da azalmıştır. Ayrıca yoğuşturucuda aktarılan ısıda da bir miktar düşüş meydana gelmiştir. İlk haftada topraktan çekilen ısı ortalama 4,48 kW, yoğuşturucuda aktarılan ısı ortalama 6,27 kW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.19 Deneylerin ilk haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

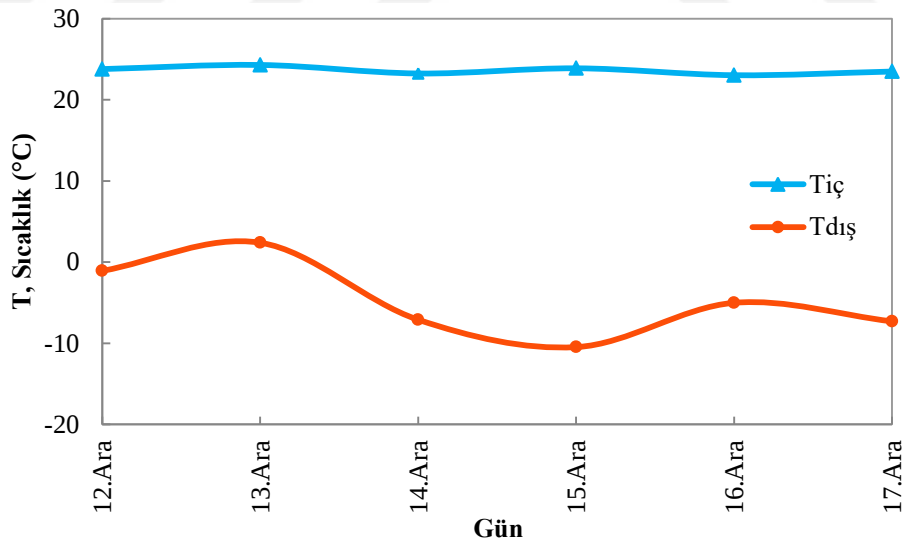
Dış ortam ve toprak sıcaklıklarının düşmesi sebebiyle COP_{IP} ve COP_S değerlerinde de düşme meydana gelmiştir. Bu değerlerin haftalık ortalamaları 2,18 ve 1,91 olarak belirlenmiştir. Sistem çalıştıkça toprak sıcaklığının düştüğü ve bu düşüşün topraktan çekilen ısı dolayısıyla COP_{IP} ve COP_S değerlerini de etkilediği belirtilmişti. Performansta meydana gelen azalma haftalık grafiklerde belirgin olarak görülmektedir. Şekil 4.20'de ise ısı pompasının ve sistemin performans katsayılarının hafta boyunca hesaplanan ortalama değerleri görülmektedir.

Isı pompasının performans katsayısı (COP) değerinin 2,18 olması enerji evine aktarılan ısı'nın yaklaşık olarak %55'inin topraktan karşılandığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.20 Deneylerin ilk haftasında COP_p ve COP_s'nin zamanla değişimi

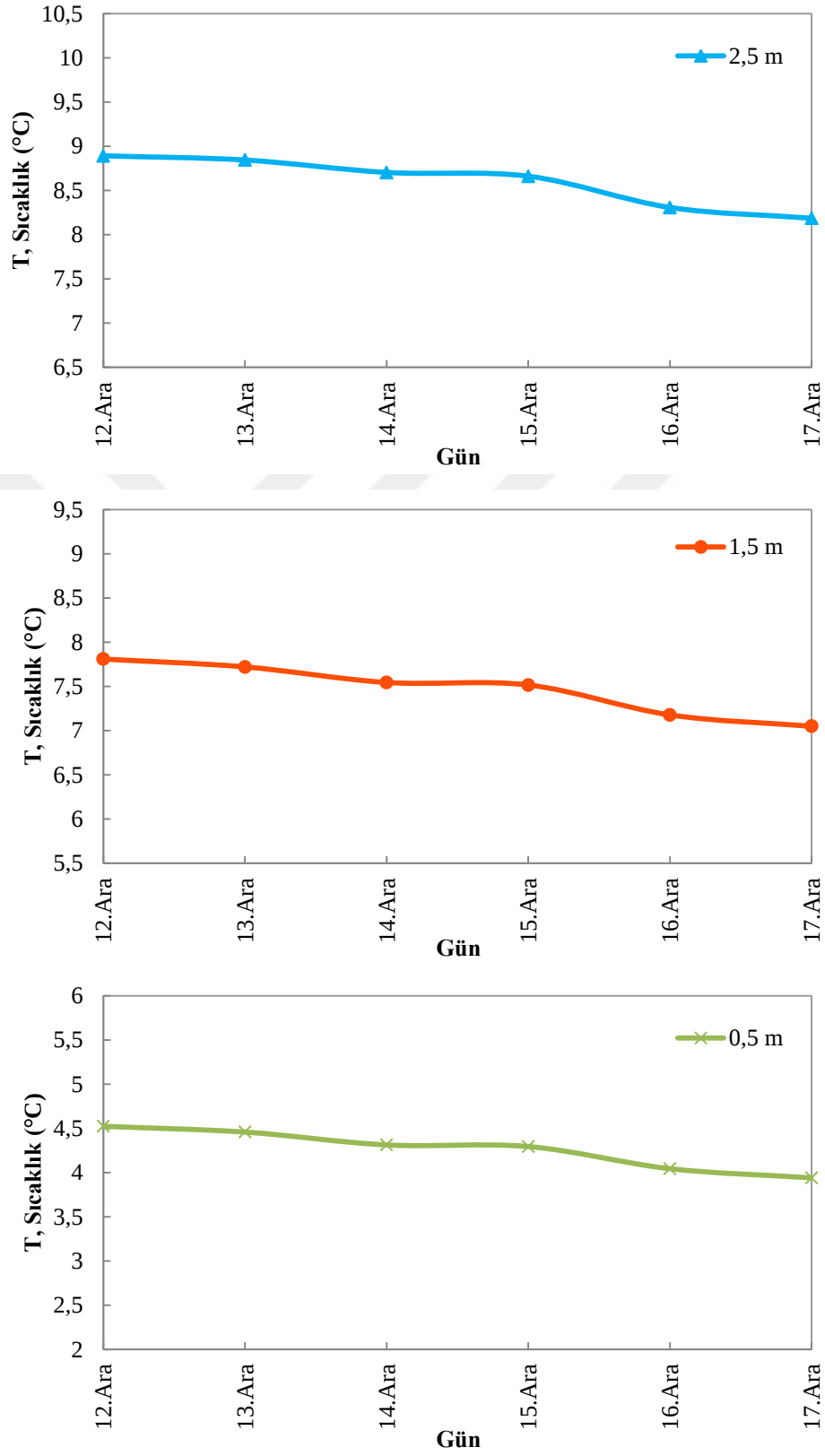
İkinci haftada iç ve dış ortam sıcaklıklarının değişimi şekil 4.21'de verilmiştir. Dış ortam sıcaklıkları genellikle 0 °C değerinin altında kalmış ve ortalaması -4,76 °C olarak belirlenmiştir. Ortalama dış ortam sıcaklığının bir önceki haftaya göre düşmesi nedeniyle ortalama iç ortam sıcaklığı da bir miktar azalmış ve 23,63 °C hesaplanmıştır.



Şekil 4.21 Deneylerin ikinci haftasında T_{dış} ve T_{iç}'in zamanla değişimi

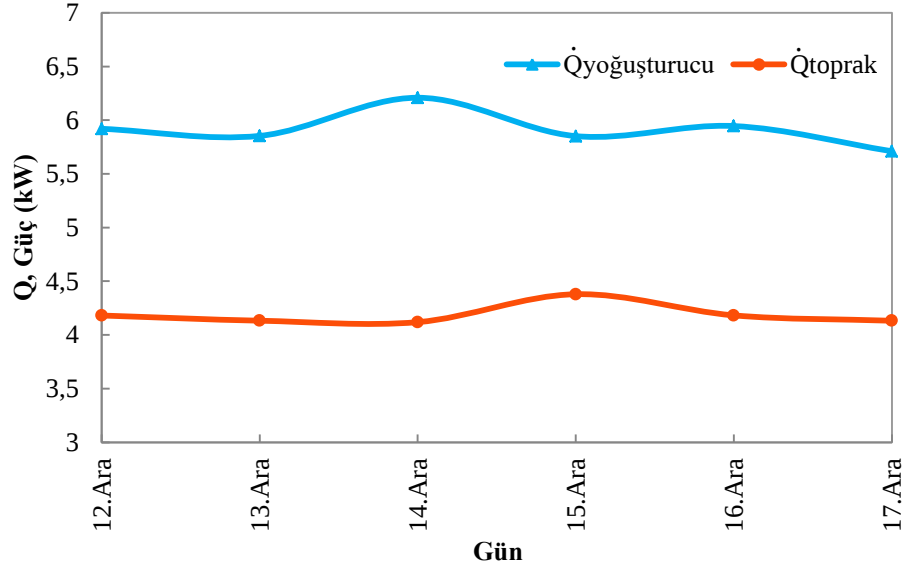
Toprak sıcaklıkları ikinci haftada azalmaya devam etmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde toprak sıcaklıklarının haftalık

ortalamaları 8,60 °C, 7,47 °C ve 4,26 °C olarak belirlenmiştir. Günlük ortalama sıcaklıklar şekil 4.22’de bulunmaktadır.



Şekil 4.22 Deneylerin ikinci haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

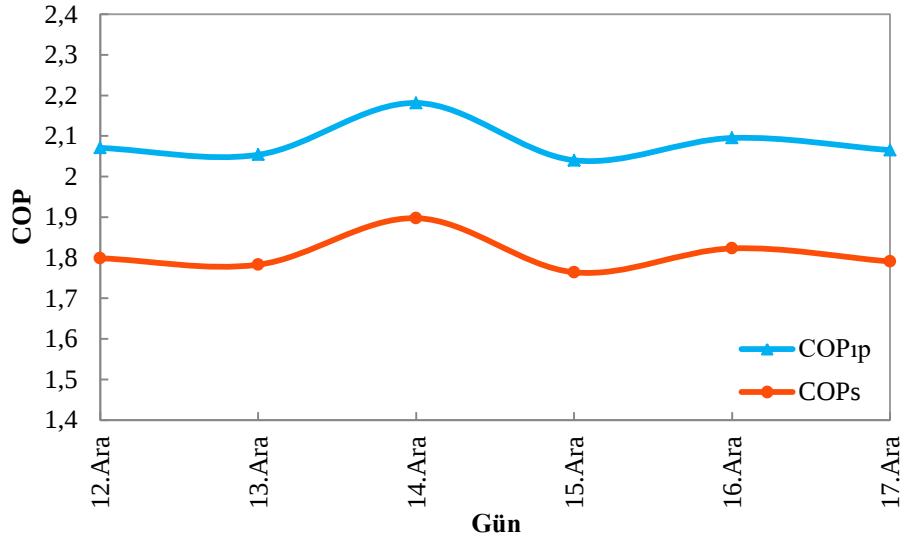
İkinci haftada hesaplanan, yoğuşturucu da aktarılan ve topraktan çekilen ısı değerleri şekil 4.23’de verilmiştir. Bu değerlerin haftalık ortalamaları sırasıyla 5,92 kW ve 4,19 kW olarak hesaplanmıştır. 14 Aralık 2016 ve 15 Aralık 2016 tarihlerinde sistem çalışmasında uzun süreli kesintiler yaşanmıştır. Bu tarihlerde topraktan çekilen ısı ve yoğuşturucu da aktarılan ısı da meydana gelen artışın nedeninin bu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.23 Deneylerin ikinci haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

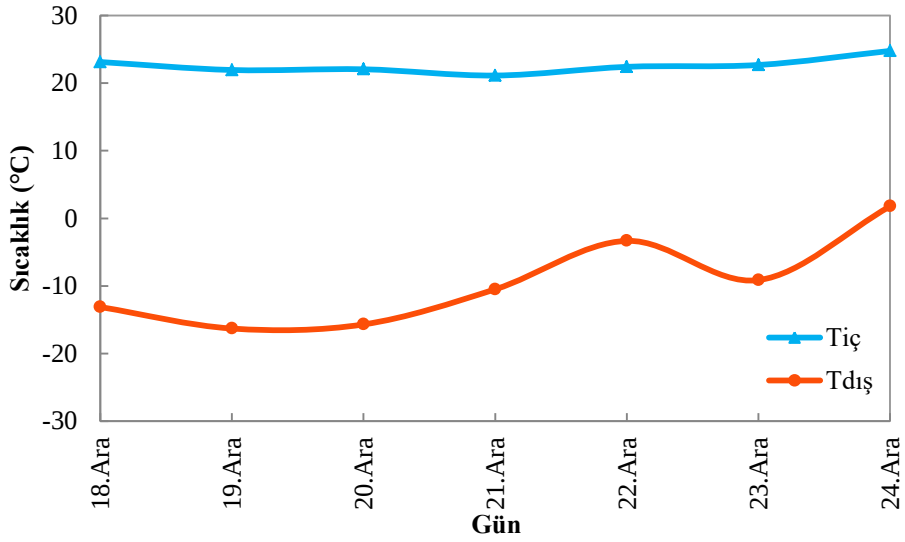
İkinci hafta da ısı pompasının ve sistemin performans katsayıları sırasıyla 2,05 ile 2,18 arasında ve 1,76 ile 1,82 arasında değiştiği belirlenmiştir. Haftalık ortalamaları ise 2,08 ve 1,81 olarak hesaplanmıştır. COP_{IP} ve COP_S değerlerine ait haftalık grafik şekil 4.24’de verilmiştir. 14 Aralıkta performans katsayısındaki yükselişin nedeninin bu tarihte meydana gelen kesinti olduğu düşünülmektedir.

Kesintiler nedeniyle meydana gelen dalgalanmalara rağmen COP değerleri azalmaya devam etmiştir. COP değerlerinin azalması ile birlikte eve aktarılan ısıнын topraktan karşılanma oranı %52’ye düşmüştür.



Şekil 4.24 Deneylerin ikinci haftasında COP_{IP} ve COP_S’nin zamanla değişimi

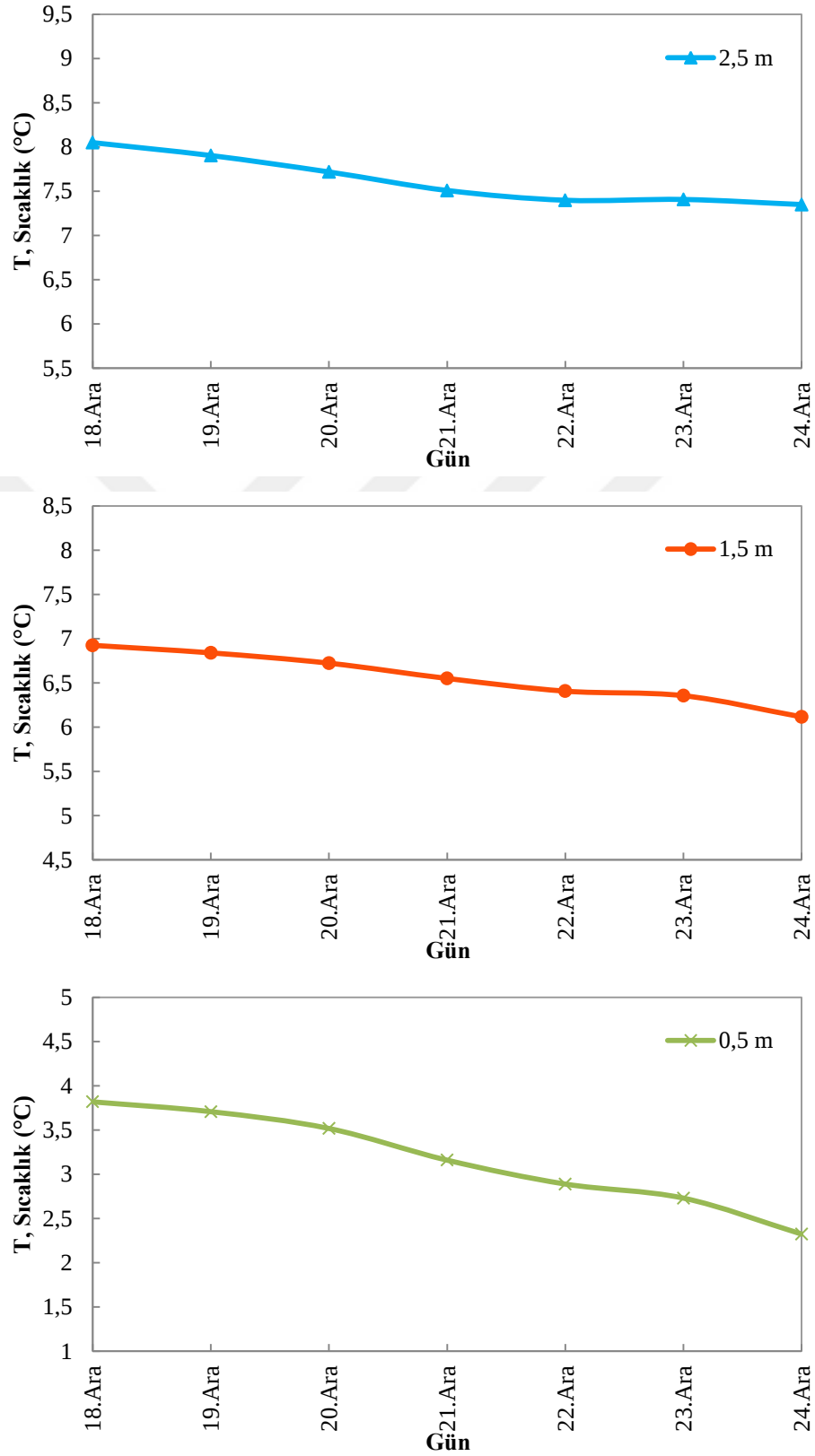
Üçüncü haftanın başında düşük dış ortam sıcaklıkları nedeniyle iç ortam sıcaklığı düşmüştür. Ancak haftanın sonuna doğru sıcaklıkların artması ile iç ortam sıcaklıkları bir miktar yükselmiştir. Ölçülen değerlerin ortalamaları iç ortam için 22,58 °C, dış ortam için -9,47 °C’dir. Bu haftaya ait iç ve dış ortalamaları şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25 Deneylerin üçüncü haftasında T_{dış} ve T_{iç}’in zamanla değişimi

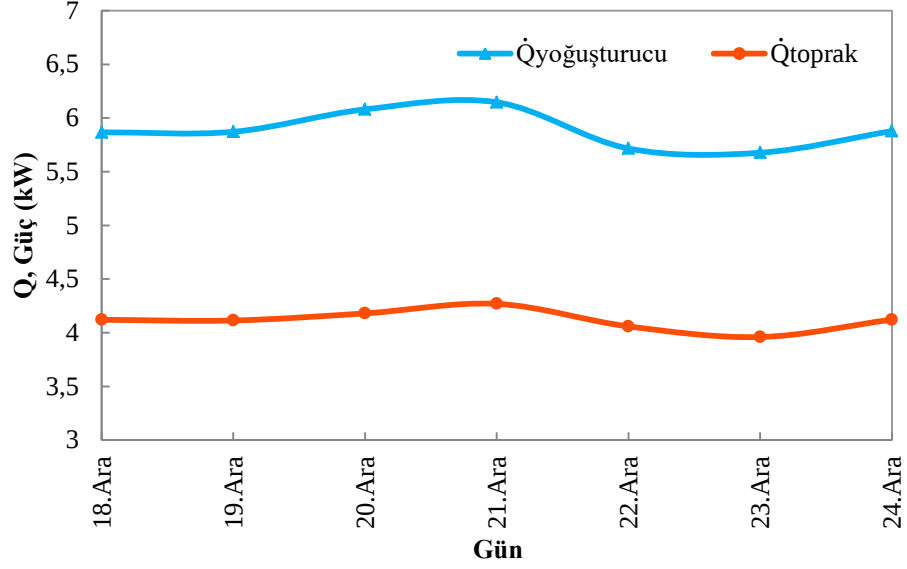
Toprak sıcaklıklarında meydana gelen düşme üçüncü haftada da devam etmiştir. 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m de ölçülen ortalama sıcaklıkları sırasıyla 7,62 °C, 6,56 °C ve 3,16 °C olarak belirlenmiştir. 0,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığında etkilenmektedir. Bu nedenle bu derinlikte sıcaklıkta daha fazla bir düşüş meydana

gelmiştir. Deneylerin üçüncü haftasında ölçülen ortalama toprak sıcaklıkları şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26 Deneylerin üçüncü haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

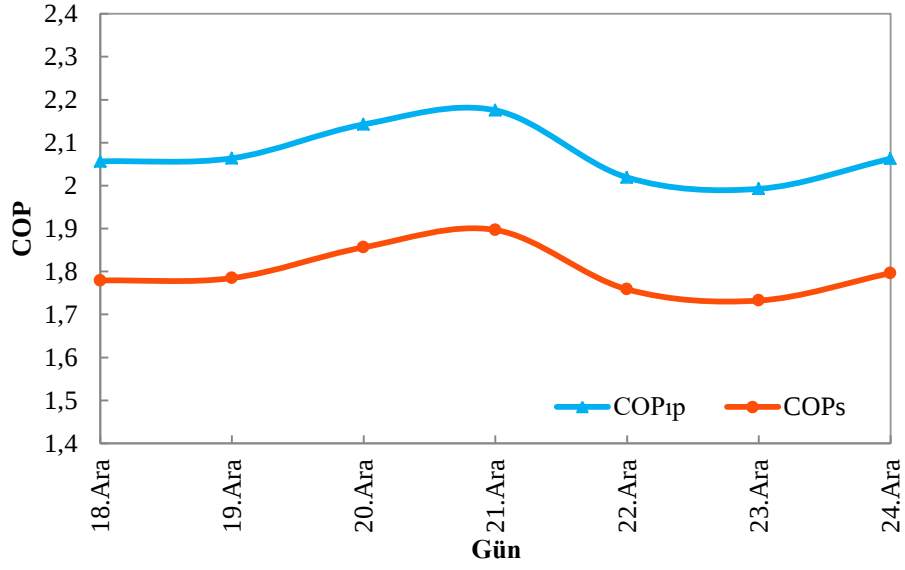
Üçüncü hafta da topraktan ortalama 4,12 kW ısı çekilmiştir. Yoğuşturucuda aktarılan ısı ortalama 5,89 kW olarak hesaplanmıştır. Bu değerler önceki haftalara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Üçüncü hafta için hesaplanan değerler şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 Deneylerin üçüncü haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

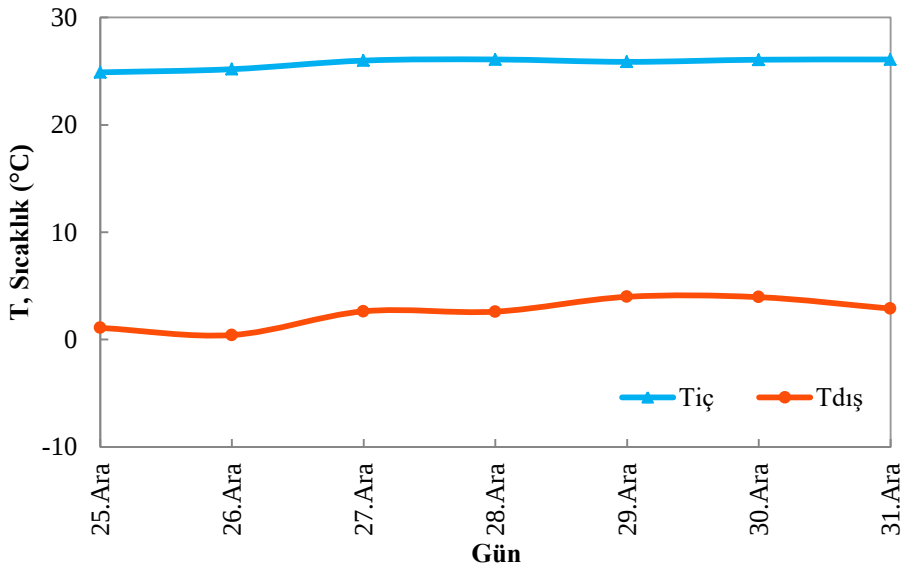
Üçüncü haftada ısı pompasının ve sistemin performans katsayılarının ortalamaları sırasıyla 2,07 ve 1,80 olarak belirlenmiştir. COP değerlerindeki azalma bu hafta da sürmüştür. Bunun başlıca nedeni toprağın soğumaya devam etmesidir. COP değerlerinin düşmesi, elektrik tüketiminin yüzdesinin artması şeklinde yorumlanabilir.

21 Aralık 2016 tarihinde öğleden sonra deney yapılamamıştır. Bu nedenle öğleden önce elde edilen verilerin ortalamaları biraz yüksek çıkmıştır. COP_{IP} ve COP_S değerlerinin değişimi şekil 4.28’de bulunmaktadır.



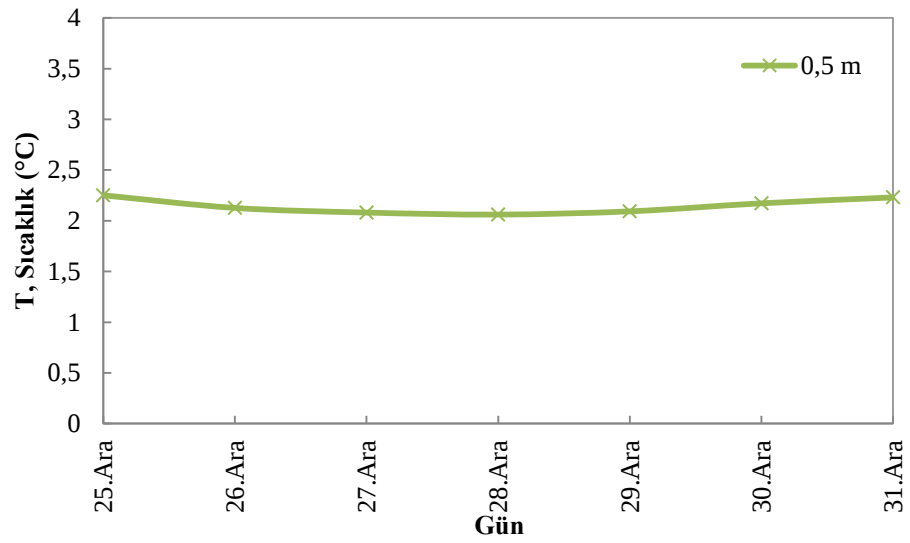
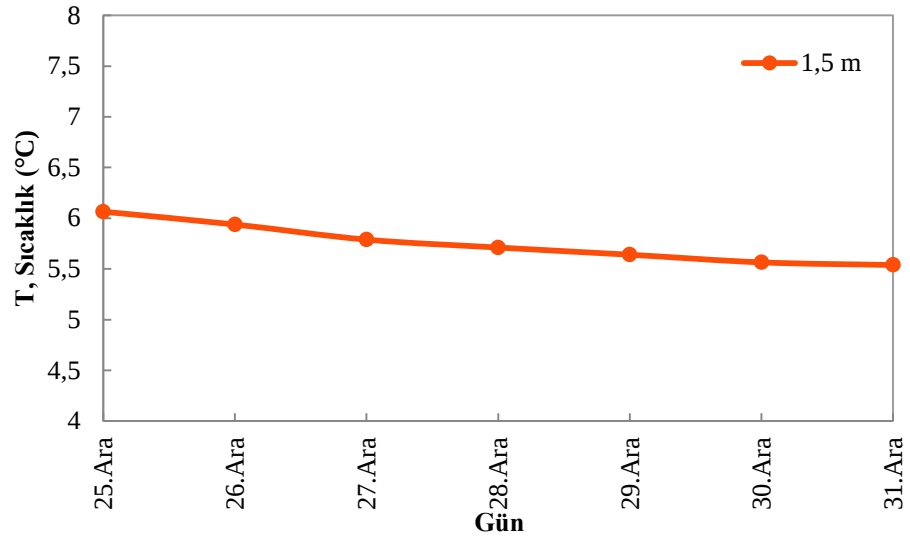
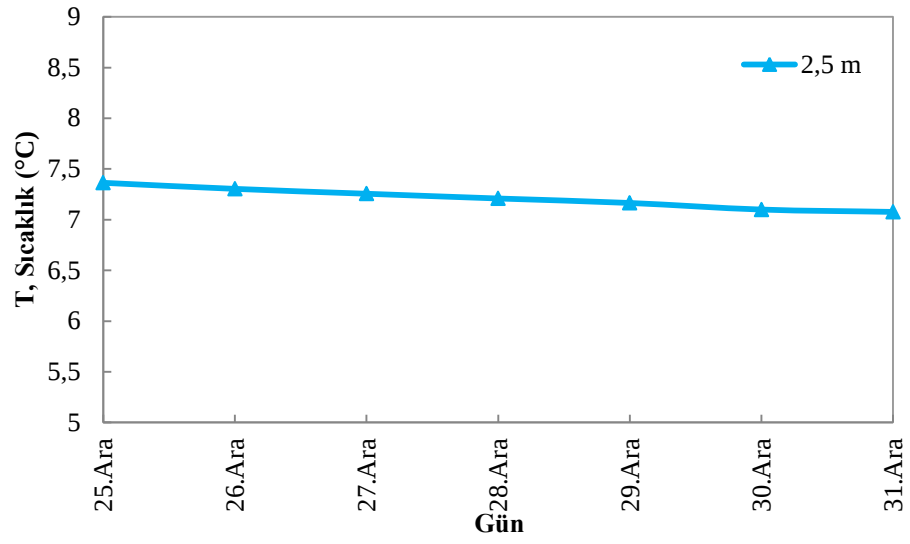
Şekil 4.28 Deneylerin üçüncü haftasında COP_{IP} ve COP_S'nin zamanla değişimi

Deneylerin son haftasında dış ortam sıcaklıkları 0 °C değerinin biraz üzerinde ölçülmüştür. Buna bağlı olarak iç ortam sıcaklıkları 25,74 °C ortalama ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Son haftada ölçülen iç ve dış ortam sıcaklıkları şekil 4.29'da gösterilmiştir.



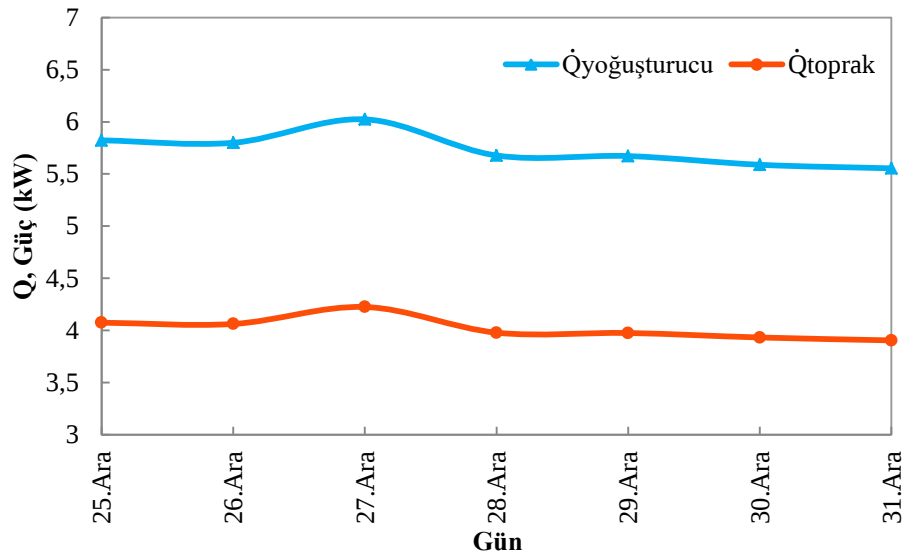
Şekil 4.29 Deneylerin son haftasında T_{dış} ve T_{iç}'in zamanla değişimi

Toprak sıcaklıkları deneylerin son haftasında da düşmeye devam etmiştir. 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde haftalık ortalama toprak sıcaklıkları 7,21 °C, 5,75 °C ve 2,14 °C olarak kayıt edilmiştir. Toprak sıcaklıkları şekil 4.30'da görülmektedir.



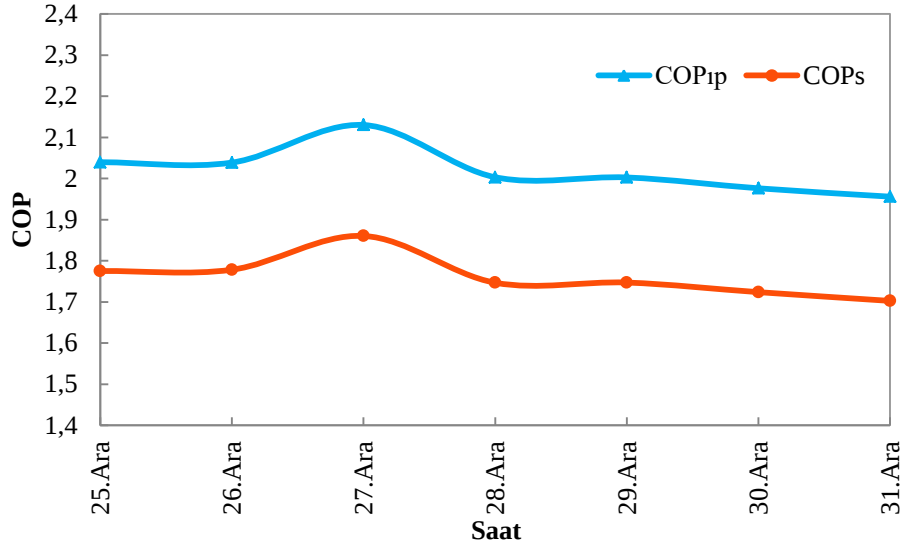
Şekil 4.30 Deneylerin son haftasında toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

Deneylerin son haftasında topraktan çekilen ısınn haftalık ortalaması 4,02 kW olarak belirlenirken, topraktan çekilen en düşük ısı 3,90 kW olarak bu hafta hesaplanmıştır. Yoğuşturucuda aktarılan ısınn haftalık ortalaması 5,73 kW olarak bulunmuştur. Yoğuşturucuda aktarılan en az ısı miktarı da 5,55 kW olarak bu hafta hesaplanmıştır. Bu haftaya ait değerler şekil 4.31’de görölmektedir. 26 Aralık 2016 günü akşama doğru sistem durmuş ve 27 Aralık 2016 tarihinde öğleden sonra tekrar devreye alınmıştır. Bu tarihteki ölçümler tüm günü kapsamadığı için yoğuşturucuda aktarılan ısı değerleri bir miktar yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.31 Deneylerin son haftasında $\dot{Q}_y$ ve $\dot{Q}_t$ değerlerinin zamanla değişimi

Toprak sıcaklıkları, topraktan çekilen ısı ve yoğuşturucu da aktarılan ısı gibi performans katsayıları da son haftada en düşük değerine ulaşmıştır. Isı pompasının ve sistemin son hafta için hesaplanan değerleri şekil 4.32’de gösterilmiştir. Isı pompasının performans katsayısının haftalık ortalama değeri 2,02 iken, sistemin performans katsayısının haftalık ortalama değeri 1,76 olarak bulunmuştur. Son hafta düşük COP değerleri nedeniyle ısınma maliyetinin en yüksek olduğu dönemdir.



Şekil 4.32 Deneylerin son haftasında COP_{IP} ve COP_S'nin zamanla değişimi

Deneyler sırasında ölçülen veya hesaplanan bazı verilerin aylık ortalamaları çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Bazı verilerin aylık ortalamaları

Ölçülen / Hesaplanan Veri	Aylık Ortalama
2,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı (°C)	8,35
1,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı (°C)	7,14
0,5 m derinliğinde toprak sıcaklığı (°C)	3,70
İç ortam sıcaklığı (°C)	23,98
Dış ortam sıcaklığı (°C)	-3,89
Kompresörün güç tüketimi (kW)	2,85
Sirkülasyon pompalarının toplam güç tüketimi (kW)	0,43
Topraktan çekilen ısı (kW)	4,21
Yoğuşturucuda aktarılan ısı (kW)	5,97
Isı pompasının performans katsayısı	2,09
Sistemin performans katsayısı	1,82

Isı pompası ve sistem ortalama COP değerleri sırasıyla 2,09 ve 1,82 olarak bulunmuştur. Bu değerler daha önceki çalışmalara göre nispeten düşüktür. Çolak (2012) Sivas'a benzer iklime sahip olan Erzurum ilinde yaptığı çalışmada aralık ayı boyunca ısı pompasının ve sistemin günlük ortalama performans katsayılarını sırasıyla 2,4 ve 2,1 olarak hesaplamıştır. Dikey ısı değiştiricilerle elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulursa, bu çalışmada yatay toprak ısı değiştirici ile elde edilen sonuçların literatüre uygun olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının Sivas ili şartlarında performansı araştırılmıştır. Bu amaçla Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan ve daha önce farklı yüksek lisans çalışmalarının yapıldığı enerji evine ısı pompası sistemi kurulmuştur.

Sistem kurulmadan önceki kış mevsiminde 2 m, 1,5 m, 1 m ve 0,5 m derinliklerinde toprak sıcaklıkları ölçülüp kayıt edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda 2 m derinliğinde toprak sıcaklığının 11 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Sistem çalıştığı sürece topraktan ısı çekileceği ve Sivas'ın soğuk iklim bölgesinde yer alması nedeniyle 370 m uzunluğundaki toprak ısı değiştirici boruları 2,5 m derinliğe yerleştirilmiştir.

Deneyler sırasında iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, su-antifriz karışımının buharlaştırıcıya giriş çıkış sıcaklığı, soğutucu akışkanın ısı pompası elemanlarına giriş çıkış sıcaklıkları, ısıtma suyunun radyatörlere gidiş ve dönüş sıcaklıkları ve farklı derinliklerde toprak sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca kompresör giriş ve çıkış basınçları, su-antifriz karışımının ve ısıtma suyunun debisi ve güç tüketimleri ölçülmüştür. Yapılan tüm ölçümler birer dakikalık periyotlar halinde kayıt edilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen bazı sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Deneyler sırasında toprak sıcaklıkları zamanla azalmıştır. Bunun nedeni topraktan sürekli olarak ısı çekilmesidir. Aralık ayı boyunca 2,5 m, 1,5 m ve 0,5 m derinliklerinde ölçülen ortalama toprak sıcaklıkları sırasıyla 8,35 °C, 7,14 °C ve 3,70 °C olarak belirlenmiştir.

Topraktan çekilen ısıнын en yüksek değeri 4,90 kW ve en düşük değeri ise 3,90 kW olarak belirlenmiştir. Deney süresince topraktan çekilen ısıнын ortalaması 4,21 kW olarak hesaplanmıştır. Su-antifriz karışımının topraktan çektiği ısı arttıkça ısı pompasının performans katsayısının da arttığı gözlenmiştir.

Isı pompasının çalışma rejimi dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Sıcak günlerde ısı pompası durduktan 35 dakika sonra tekrar çalışmış ve 9 dakika devrede kalmıştır. Soğuk günlerde tekrar çalışma süresi 27 dakikaya kadar düşmüş ve

devrede kalma süresi 12 dakikaya kadar çıkmıştır. Bu durum toplam enerji tüketimini arttırmıştır.

Sistem çalıştırıldığı sürece ısı pompasının ortalama performans katsayısı 2,09, sistemin ortalama performans katsayısı 1,82 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler soğuk iklim bölgeleri için yapılmış çalışmalarda elde edilen değerlere yakındır.

Elde edilen sonuçlara göre yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistem Sivas ili için uzun süreli kullanımda tek başına yeterli değildir. Sisteme takviye olarak güneş enerjisi düşünülebilir veya sistem performansını artırmaya yönelik uygulamalar gerçekleştirilebilir.

Sistemin performansını artırmanın en belirgin yolu dikey tip ısı değiştirici kullanmaktır. Toprak derinliği arttıkça toprak sıcaklığı artacak ve sıcaklık daha kararlı olacaktır. Bu nedenle sistem performansı artarken daha uzun süre yüksek COP değerleri elde edilebilecektir.

Daha net sonuçlar elde edebilmek için su-antifriz karışımının ölçümünde mekanik su sayacı yerine dijital sayaç kullanılabilir. Ayrıca soğutucu akışkanın debisinin ölçümü de sonuçları hassaslaştıracaktır.

Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaları ve çevreci olmaları nedeniyle ısı pompaları iklimlendirme için önemli sistemlerdir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kurulumundaki kazı ve sondaj maliyetleri ve ısı pompasının maliyeti yüksektir. Bu nedenle sistemlerin üretilmesi ve geliştirilmesi için yapılan çalışmalar artırılmalıdır böylece sistemlerin ilk yatırım maliyetleri düşürülerek kullanımı yaygınlaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aira, R., Fernández-Seara, J., Diz, R., Pardiñas, Á.** (2017). Experimental analysis of a ground source heat pump in a residential installation after two years in operation. *Renewable Energy*, 114, 1214–1223.
- Akbulut, U.** (2012). Yenilenebilir enerji kaynaklı duvardan ısıtma ve soğutma sisteminin teorik ve deneysel incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 137s, İstanbul.
- Aksu, B.** (2010). Balıkesir yöresinde yer-su kaynaklı ısı pompasının performansının deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 71s, Ankara.
- Al-Ameen, Y., Ianakiev, A., Evans, R.** (2017). Thermal performance of a solar assisted horizontal ground heat exchanger. *Energy*, 140, 1216–1227.
- Alkan, R., Kabul, A., Kızılkın, Ö.** (2014). Toprak Kaynaklı bir ısı pompasının Farklı soğutucu Akışkanlar için Termodinamik Analizi. *Journal of Thermal Science and Technology*, 34(1), 27–34.
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Çomak, Ö., Yüksel, B.** (2007). Güneş-Toprak kaynaklı ısı pompasının deneysel incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 100, s. 48-53.
- Bakırcı, K., Çomaklı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M.** (2009). Güneş destekli ısı pompasının enerji ve ekserji analizi. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 50, sayı 590, s. 26–32.
- Başkal, A.** (2011). Duvardan ısıtma ve soğutmalı toprak kaynaklı ısı pompasının performansının incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 162s, İstanbul.
- Benli, H.** (2013). A performance comparison between a horizontal source and a vertical source heat pump systems for a greenhouse heating in the mild climate Elazığ, Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 50(1), 197–206.
- Bonin, J.** (2015). Heat pump planning handbook. *Routledge* (Translate: Trezek, J. S.), 326s.
- Bostancı, E.** (2017). Yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna olan etkilerinin deneysel ve sayısal incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 88s, İzmir.
- Chiasson, A. D.** (2016). Geothermal heat pump and heat engine systems. *Wiley*, 473s.
- Chwleduk, D.** (1996). Analysis of Umlisatıon of Renewable Energies As Heat Sources for Heat. *WREC 1996*, 720–723.
- Coşman, S.** (2013). Fore kazıklara entegre edilen ısı pompası uygulaması ve ekonomik analizi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 126s, İstanbul.
- Çamdalı, Ü. Tunçel, E.** (2010). Bolu ve çevresi için toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistem analizi: ekonomik yaklaşımla. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 51, sayı 604, s. 22-35.
- Çamdalı, U., Bulut, M., Sozbir, N.** (2015). Numerical modeling of a ground source heat pump: The Bolu case. *Renewable Energy*, 83, 352–361.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A.** (2015). Thermodynamics: An engineering approach. *McGraw-Hill Education*, 996s.
- Çolak, D.** (2012). Toprak kaynaklı ısı pompasının performans analizi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 54s, Erzurum.

- Demir, H.** (2006). Toprak kaynaklı ısı pompası ve toprak ısı değiştiricilerinin optimizasyonu ve geliştirilmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 128s, İstanbul.
- Dumlu, S.** (2012). Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekonomik analizi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 66s, Erzurum.
- Ekinci, D. A.** (2007). Erzurum’da mahal ısıtma amaçlı kullanılan toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin deneysel incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 101s, Erzurum.
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B., Özyurt, Ö.,** (2006). Isı pompası sistemlerinin seçimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 92, s. 40-49.
- Ersöz, İ.** (2000). Toprak kaynaklı ısı pompası ile bir hacmin soğutulması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 333s, İzmir.
- Esen, H., Inalli, M., Esen, M.** (2006). 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.
- Esen, H.** (2007). Düşey borulu toprak kaynaklı ısı pompasının konut iklimlendirme sistemlerinde mevsimlik davranışının araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 183s, Elazığ.
- Esen, H., Inalli, M., Esen, M., Pihtili, K.** (2007). Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers. *Building and Environment*, 42(10), 3606–3615.
- Farabi-Asl, H., Fujii, H., Kosukegawa, H.** (2018). Cooling tests, numerical modeling and economic analysis of semi-open loop ground source heat pump system. *Geothermics*, 71(August 2017), 34–45.
- Forsen, M.** (2005). Heat pumps technology and environmental impact, SVEP, Part1 35s.
- Gültekin, A.** (2014). Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde kuyular arası uaklığın performansa etkisinin deneysel ve sayısal incelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 71s, İstanbul.
- Güven Acar, Ş.** (2009). 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.
- Hancıoğlu, E.** (2000). Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası ile bir hacmin ısıtılması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 227s, İzmir.
- Hepbaşlı, A., Hancıoğlu E.,** (2001). Toprak kaynaklı (Jeotermal) ısı pompalarının tasarımı, testi ve fizibilitesi. *V. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi bildiriler kitabı*, s. 521-564
- Hepbaşlı, A., Akdemir, O.** (2004). Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system. *Energy Conversion and Management*, 45(5), 737–753.
- İnan, İ.** (2014). Derece-saat metodu yaklaşımıyla sera ısıtmasında toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 94s, Isparta.
- Kavanaugh, S., Rafferty, K.** (2014). Geothermal Heating and Cooling. *ASHRAE*, 420s.
- Kılınç, F.** (2011). Sivas için farklı yalıtım malzemelerinin ısı kaybına olan etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 118s, İzmir.

- Kim, M.-J., Lee, S.-R., Yoon, S., Go, G.-H.** (2016). Thermal performance evaluation and parametric study of a horizontal ground heat exchanger. *Geothermics*, 60, 134–143.
- Korkmaz, M.** (2015). Türkiye’de Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri İle Konutların Isıtılmasıyla İlgili Yapılan Bilimsel Çalışmaların Değerlendirilmesi. ISITES2015 Valencia –Spain
- Lu, Q., Narsilio, G. A., Aditya, G. R., Johnston, I. W.** (2017). Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne. *Energy*, 125, 107–117.
- Luo, J., Rohn, J., Bayer, M., Priess, A., Wilkmann, L., Xiang, W.** (2015). Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany. *Geothermics*, 53, 57–66.
- M. Conde Engineering** (2011). Thermophysical properties of brines, 9s.
- Makina Mühendisleri Odası,** (2016). Türkiye’nin Enerji Görünümü (oda raporu). MMO/659
- Mao, Q., Chen, Y.** (2017). Experimental investigation of thermal performance of a ground source heat pump system for spring season. *Energy and Buildings*, 152, 336–340.
- MEGEP** (Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi). (2013). Soğutma İklimlendirme. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Miles, L.** (1994) Heat Pumps: Theory and Service. *Delmar Publishers Inc.*, NY, 397p.
- Naili, N., Attar, I., Hazami, M., Farhat, A.** (2013a). First in situ operation performance test of ground source heat pump in Tunisia. *Energy Conversion and Management*, 75, 292–301.
- Naili, N., Hazami, M., Attar, I., Farhat, A.** (2013b). In-field performance analysis of ground source cooling system with horizontal ground heat exchanger in Tunisia. *Energy*, 61, 319–331.
- Naili, N., Hazami, M., Kooli, S., Farhat, A.** (2015). Energy and exergy analysis of horizontal ground heat exchanger for hot climatic condition of northern Tunisia. *Geothermics*, 53, 270–280.
- Özdemir, M. B.** (2011). R407C soğutucu akışkan kullanılan düşey tip toprak kaynaklı ısı pompasının performansının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 135s, Ankara.
- Özsolak, O.** (2011). Güneş ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımının araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 150s, Elazığ.
- Öztürk, M., Elbir, A., Yakut, A. K., Özsek, N.** (2012). Güneş destekli ısı pompasının enerji ve ekserji analizi. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 53, sayı 626,s. 46–55.
- Öztürk, M.** (2015). Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak neminin ısı pompasının enerji tüketimine etkisi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 85s, Karabük.
- Özyurt, O., Ekinci, D. A.** (2011). Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey. *Applied Energy*, 88(4), 1257–1265.
- Petit, P. J., Meyer, J. P.** (1998). Economic Potential of vertical ground-source heat pumps compared to air source air conditioners in south africa. *Energy*, 23(2), 137–143.
- Pulat, E., Coskun, S., Unlu, K., Yamankaradeniz, N.** (2009). Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey. *Energy*, 34(9), 1284–1295.

- Reay, D. A., Macmichael D. B. A.** (1988). Heat Pumps . *Pergamon Pres*, 337s.
- Res Enerji Sistemleri**, Restherma Ürün Kataloğu, (<http://www.resenerji.com/katalog/restherma.html>) Erişim tarihi : 25.10.2017
- Savaş, A. F.** (1996). Toprak kaynaklı ısı pompası ile konut ısıtılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 132s, Kütahya.
- Silberstein, E.** (2003). Heat pumps. *Delmar Learning*, 510s.
- Sulatisky, M.T., Van Der Kamp, G.** (1991), Ground-source heat pumps in the Canadian Prairies. *Ashrae Transactions*. 1, 97. 374-385.
- Tarnawski, V. R., Leong, W. H., Momose, T., Hamada, Y.** (2009). Analysis of ground source heat pumps with horizontal ground heat exchangers for northern Japan. *Renewable Energy*, 34(1), 127–134.
- Tunçel, E.** (2011). Bolu ve çevresi özelinde toprak kaynaklı ısı pompasının sayısal incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 119s, Sakarya.
- Url-1** <<http://www.ataksogutma.com.tr/image/cache/catalog/urunler/kompresorler/daikin-scroll-kompresor-700x850.jpg>>. alındığı tarih: 08.10.2017.
- Url-2** <http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/8605-2853507.jpg>. alındığı tarih: 08.10.2017.
- Url-3** <<http://www.totem.com.tr/TRE1abe.jpg?id=505>>. alındığı tarih: 08.10.2017.
- Url-4** <<https://www.energydepot.com/RPUres/library/heatpumps.asp>>. alındığı tarih: 24.10.2017.
- Url-5** <<http://www.scurfieldsolar.com/images/www.airsource.jpg>>. alındığı tarih: 24.10.2017.
- Url-6** <<http://wellowner.org/wp-content/uploads/2012/06/open-loop-systems-wb.jpg>>. alındığı tarih: 24.10.2017.
- Url-7** <[http://www.emagrup.com/images/resimler/1.1.2 Water%20Sourced%20Heat%20Pump1_1.jpg](http://www.emagrup.com/images/resimler/1.1.2%20Water%20Sourced%20Heat%20Pump1_1.jpg)>. alındığı tarih: 24.10.2017.
- Url-8** <<http://www.johnwestrenewables.co.uk/images/ground-source.png>>. alındığı tarih: 24.10.2017.
- Url-9** <http://www.soloheatinginstallations.co.uk/images/Ground_Source_Heat_pump.png>. alındığı tarih: 25.10.2017.
- Url-10** <<http://nfecoop.coopwebbuilder2.com/sites/nfecoop/files/images/Geothermal/Ground-Source-Heat-Pump.jpg>>. alındığı tarih: 25.10.2017.
- Ünal, F.** (2014). Güneş enerjisi destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının Mardin ili için kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 115s, İstanbul.
- Ünlü, K.** (2005). Hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etki eden parametrelerin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 195s, Bursa.
- Verda, V., Cosentino, S., Russo, S. Lo, Sciacovelli, A.** (2016). Second law analysis of horizontal geothermal heat pump systems. *Energy and Buildings*, 124, 236–240.
- Von Cube, H. L., Steimle, F.** (1981). Heat pump technology. *Butterworths* (Translate: Heinrich, I. M.), 379s.
- Yamankaradeniz, N.** (2007). Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 62s, Bursa.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S., Yamankaradeniz N.** (2013). Soğutma tekniği ve ısı pompası uygulamaları. *Dora Basım Yayın*, 689s.
- Yılmaz, M.** (2007). Soğuk iklim ısı pompası ve Erzurum. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 97, s. 46-53.

- Yoldaş, T., Durmaz, Ş.,** (2008). Isı pompası sistemleri ve toprak kaynaklı bir ısı pompasının bir villaya uygulanması. *TTMD Dergisi*, sayı 55, s. 31-38.
- Zhai, X. Q., Cheng, X. W., Wang, R. Z.** (2017). Heating and cooling performance of a minitype ground source heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 111, 1366–1370.



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Mustafa Caner
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	mustafacaner@cumhuriyet.edu.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lisans	Bozok Üniversitesi, 2009 - 2013
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2015 - 2018

İş Tecrübesi

Egefer Isı Sistemleri	Makine Mühendisi, 2013
Cumhuriyet Üniversitesi	Araştırma Görevlisi, 2014

Kongreler ve Bildiriler

Uluslararası

Buyruk E., Kılınç F., Karabulut K., Caner M., Bostancı A. E. Investigation of the Effect of Insulation Thickness on Energy Saving by Using Thermography, 8th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye, 2017.