



T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YATAY TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SIVAS İÇİN
SOĞUTMA PERFORMANSININ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin GÖKSEL
(201092091004)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KILINÇ

SIVAS
TEMMUZ 2019

Yasemin GÖKSEL'in hazırladığı “**YATAY TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS İÇİN SOĞUTMA PERFORMANSININ ANALİZİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KILINÇ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ahmet CAN İstanbul Rumeli Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ertan BUYRUK Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

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

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas 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.

© Yasemin GÖKSEL, 2019



Sami GÖKSEL ve Duru'ya...

ETİK

Sivas 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, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

11.07.2019

Yasemin GÖKSEL

TEŞEKKÜR

Desteğiyle beni yücelten kıymetli insan, varlığıyla aydınlatan, daha iyilerini yapabileceğime inanan, kıymetli hocam, Prof. Dr. Ertan BUYRUK'a Őükranlarımı sunuyorum.

İyi niyeti, desteği, arkadaşlığı ve bilgisiyle emeğini esirgemeyen, hakkını asla ödeyemeyeceğim kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KILINÇ hocama sonsuz teŐekkürler ederim. Blmmn en kıymetlilerinden, yardımını hiğbir zaman esirgemeyen, fedakr ve başarıyı hak eden değerli insan Ast. Mustafa Caner hocama teŐekkürü bir borę bilirim.

Bu zor yolda beni ruhen destekleyen, anlayan ve inanan herkese, aileme teŐekkürler ederim. Varlığınız ıŐıęımdır.

ÖZET

YATAY TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN SİVAS İÇİN SOĞUTMA PERFORMANSININ ANALİZİ

Yasemin GÖKSEL

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KILINÇ

2019, 65 + xvii sayfa

Isıtma ve soğutma ülkemizde ihtiyaca binaen, günümüz şartlarında iyileştirilmeye çalışılan, alternatif aranan bir sektör haline gelmeye başlamıştır. Buna dayanarak iklimlendirme uygulamaları için özellikle yenilenebilir enerji kaynakları en iyi alternatif olarak düşünülebilir. Güneş, hava, su, toprak değerlendirilmesi gereken yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Bu çalışmada zamana bağlı olarak değişimin en kararlı olduğu toprak kaynağını tercih ettik. Sivas ili iklim şartları değerlendirilerek enerji evinde var olan yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının Temmuz ayı sıcaklık değerleri içerisinde, soğutma performansını inceledik. Dört farklı derinliğe yerleştirilmiş olan ısı değiştirgeçleri aracılığı ile gün boyunca toprak sıcaklıkları ölçülmüştür. Isı değiştirici içerisinde salamura olarak su-antifriz karışımı dolaştırılmıştır.

Çalışma, Temmuz 2018 tarihinde yapılmıştır. Soğutucu akışkan olarak R410A kullanılmıştır. Düzenli olarak dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, soğutucu akışkanın pompaya giriş çıkış sıcaklıkları, dört farklı derinlikteki toprak sıcaklıkları, kompresör giriş-çıkış basınçları, soğutma suyu debisi ve güç tüketimleri düzenli olarak kayıt altına alınmıştır.

Ölçümler neticesinde iç-dış ortam sıcaklıkları değişimi, dört farklı derinlikteki ısı değiştirgeçlerinden alınan toprak sıcaklık değişimleri, ısı pompası ve sistemin performans katsayıları hesaplanmıştır.

Amaç neticesinde ortalama COP_{ıp} değeri 4,369, COP_s değeri ise 3,569 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toprak kaynaklı ısı pompası, enerji, soğutma, performans katsayısı



ABSTRACT

COOLING ANALYSIS OF HORIZONTAL SOIL SOURCE HEAT PUMP IN SİVAS

Yasemin GÖKSEL

Master of Science Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ferhat KILINÇ

2019, 65 + xvii pages

Heating and cooling has started to become an alternative sector which is sought to be improved in today's conditions. Based on this, especially renewable energy sources can be considered as the best alternative for air conditioning applications. The sun, air, water and soil are renewable energy sources that need to be valued.

In our experiment, we preferred the soil source where the change was most stable depending on time. We evaluated the cooling performance of the horizontal type ground source heat pump in the energy house in July temperature by evaluating the climatic conditions of Sivas. Soil temperatures were measured throughout the day by means of heat exchangers placed at four different depths. The water-antifreeze mixture was circulated as brine in the heat exchanger.

The experiment was conducted in July 2018. R410A was used as refrigerant. Regular outdoor temperature, indoor temperature, inlet and outlet temperatures of the refrigerant, soil temperatures at four different depths, compressor inlet and outlet pressures, cooling water flow and power consumption are recorded regularly.

As a result of the measurements, indoor-outdoor temperature changes, soil temperature changes from four different heat exchangers, heat pump and system performance coefficients were calculated. As a result, the average COP_{ip} value was calculated as 4,369 and COPs value was 3,569.

Keywords: Ground source heat pump, energy, cooling, performance coefficient

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
SİMGELER DİZİNİ	xvi
KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1 Isı Pompası Kavramı	8
2.2 Isı Pompası Tarihi	8
2.3 Isı Pompası Elemanları	9
2.3.1 Kompresör	9
2.3.2 Buharlaştırıcı	10
2.3.3 Yoğuşturucu	11
2.3.4 Kısılma vanası	12
2.3.5 Yardımcı Elemanlar	12
2.3.5.1 Dryer (kurutucu)	12
2.3.5.2 Gözetleme camı	12
2.3.5.3 Alçak basınç anahtarı	13
2.3.5.4 Yüksek basınç anahtarı	13
2.3.5.5 Dört yollu vana	13
2.4 Isı Pompası Çevrimi	14
2.4.1 Ters Carnot çevrimi	14
2.4.2 İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	15
2.4.3 Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	16
2.5 Isı pompası Kullanılan Isı Kaynakları	17
2.5.1 Hava	17
2.5.2 Su	19
2.5.2.1 Yeraltı suyu	19
2.5.2.2 Yerüstü suyu	20
2.5.3 Toprak	21
2.5.4 Güneş	22

2.6 Toprak Kaynaklı Isı Pompası	22
2.6.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Çalışma Prensibi	22
2.6.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) Çeşitleri	24
2.6.2.1 Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası	24
2.6.2.2 Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası	25
3. MATERYAL VE METOT.....	27
3.1 Sistemin Projelendirilmesi	27
3.1.1 Enerji evi	27
3.2 Ön Hazırlık	28
3.2.1 Tesisat	29
3.3 Deney Düzeneği	30
3.3.1 Toprak devresi	33
3.3.2 Isı pompası devresi	33
3.3.3 Soğutma devresi	35
3.4 Deneyde Yapılan Ölçümler	36
3.4.1 Sıcaklık Ölçümleri	36
3.4.2 Basınç ölçümü	38
3.4.3 Debi ölçümleri	38
3.4.4 Güç ölçümleri	39
3.5 Kullanılan Yazılımlar	40
3.5.1 Benchlink datalogger 3	40
3.5.2 Kael viewer	40
3.5.3 Cool pack	41
3.5.4 Microsoft excel	42
3.6 Deney Başlangıcı	42
3.6.1 Deneysel verilerin değerlendirilmesi	42
4. DENEYSEL BULGULAR	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Scroll kompresör (url-3)	10
Şekil 2.2 Plakalı ısı değiştirgeci (url-4).....	11
Şekil 2.3 Kondanser (url-5)	11
Şekil 2.4 Termostatik Genleşme Valfi (url- 5)	12
Şekil 2.5 Dört Yolu Vana	13
Şekil 2.6 Çevrimin tesisat şeması ve T-S diyagramı	14
Şekil 2.7 Tesisat şeması.....	15
Şekil 2.8 T-s ve P-h diyagramları	15
Şekil 2.9 Tesisat şeması ve T-s diyagramı.....	16
Şekil 2.10 Havadan havaya ısı pompası (url-7).....	18
Şekil 2.11 Havadan suya ısı pompası (url-8).....	19
Şekil 2.12 Isı kaynağı yeraltı suyu (url-9).....	20
Şekil 2.12 Isı kaynağı yerüstü suyu (url-10).....	20
Şekil 2.13 Isı kaynağı toprak (url-11)	21
Şekil 2.14 Farklı toprak derinliğinde toprak sıcaklık değişimi (url-11).....	22
Şekil 2.17 YTKIP (url-14).....	25
Şekil 3.1 Enerji evinin dıştan görünümü (Caner,2018).....	27
Şekil 3.2 Enerji evinin mimari planı (Bostancı,2017)	28
Şekil 3.3 Toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi (Caner,2018)	29
Şekil 3.4 Deney Düzeneği (Duman,2018).....	30
Şekil 3.5 Üç devreden oluşan soğutma şeması.....	32
Şekil 3.6 Toprak Devresi.....	33
Şekil 3.7 Isı pompası hattı	34
Şekil 3.8 Deneyde kullanılan ısı pompası (Restherma Ürün Kataloğu)	35
Şekil 3.10 Datalogger ve modül	37
Şekil 3.13 şebeke analizörü.....	39
Şekil 3.14 Datalogger programı ara yüzü ekran görüntüsü.....	40
Şekil 3.15 Güç verileri ekran görüntüsü.....	41
Şekil 3.16 Cool pack programı ekran görüntüsü	41
Şekil 3.17 Excel ekran görüntüsü	42
Şekil 3.18 Buharlaştırıcı	43
Şekil 3.18 Yoğuşturucu.....	44
Şekil 4.1 Temmuz 2018 dış ortam sıcaklıkları (url 16)	46
Şekil 4.2 3-4-5 Temmuz iç ve dış ortam sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği.....	47
Şekil 4.3 3-4-5 Temmuz tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	47
Şekil 4.4 Toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.5 3 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	49
Şekil 4.6 4 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	49
Şekil 4.7 5 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	50

Şekil 4.8 19-21-24 Temmuz sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği.....	50
Şekil 4.9 19-21-24 Temmuz 2018 tarihlerinde ki ortalama COP değerlerinin zamanla değişimi	51
Şekil 4.10 19-21-24 Temmuz 2018 Toprak Sıcaklığının zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.11 19 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.12 20 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	53
Şekil 4.12 23 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	53
Şekil 4.13 26-30-31 Temmuz sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği.....	54
Şekil 4.14 26-30-31 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	54
Şekil 4.15 26-30-31 Temmuz 2018 Toprak Sıcaklığının zamana bağlı değişimi	55
Şekil 4.16 26 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	55
Şekil 4.17 30 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	56
Şekil 4.18 31 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi	56
Şekil 4.19 Temmuz 2018 tarihlerinde ki ortalama COP değerlerinin zamanla değişimi	57
Şekil 4.20 Temmuz 2018 sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği	57
Şekil 4.21 Temmuz 2018 Ortalama toprak sıcaklığının zamana bağlı değişimi	58
Şekil 4.22 Dış ortam sıcaklığının en düşük olduğu 5 Temmuz 2018'e ait toprak sıcaklık değişim grafiği	59
Şekil 4.23 Dış ortam sıcaklığının en düşük olduğu 30 Temmuz 2018'e ait toprak sıcaklık değişim grafiği	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Boru çapı ve boyu arasında tavsiye	25
Çizelge 3.1 Numaralandırılmış duvar tipleri (Bostancı,2017)	28
Çizelge 3.2 Düzenekteki numaralandırmaları	30
Çizelge 3.3 Şemadaki kısaltmaları.....	31
Çizelge 3.4 Teknik veriler	35
Çizelge 3.5 Sistemde yapılacak sıcaklık ölçümleri.....	37



SİMGELER DİZİNİ

A	Alan, m ²
L	Uzunluk, m
\dot{m}	Kütleli Debi, kg/s
C_p	Özgöl Isı kJ/kg °C
T	Sıcaklık, °C
P	Basınç, bar
h	Entalpi, kJ/kg
\dot{Q}	Isıl Güç, kW
R	Isıl Direnç
F	Çalışma Faktörü
(h)	Saat

Alt İndisler

sa	salamura
y	yoğuşturucu
s	sistem
ip	ısı pompası
komp	kompresör
top	toplam
sp	sirkülasyon pompası
ıs.	ısıtma
soğ.	soğutma
b	boru
t	toprak

KISALTMALAR DİZİNİ

TEP	Ton eşdeğer petrol
HKIP	Hava kaynaklı ısı pompası
TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası
TID	Toprak Isı Değiştirici
COP	Performans Katsayısı
PPRC	Poly propilen randomco-polymer



1. GİRİŞ

Günümüzde insanlık için en önemli ihtiyaçlardan birisi enerjiye artan gereksinimdir. Teknolojinin gelişmesi, enerji gereksinimini artırmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi doğal enerji kaynaklarının azalması, alternatif enerji gereksinimi doğurmuştur. Enerjinin verimli kullanılabilmesi, devletlerin strateji geliştirdiği, çalışmalar yaptığı, en önemli alanlardan biri haline almıştır. Fosil yakıt kaynaklarında ki azalış ve azalışa bağlı artan fiyatlar; artan CO2 emisyonu ve bunun sonucu oluşan sera etkisi; fosil yakıtların yanma ürünü olan çevreye ve insan sağlığına zararlı gaz emisyonunda tehlikeli artışlar, “Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının “ kullanımına yönelik ilgiyi daha fazla arttırmıştır (O. Kınca vd., 2009).

Ülkemiz enerji kaynaklarının önemli bir kısmını ithal ettiği için, enerjide dışa bağımlı olmakla birlikte yüksek enerji maliyetleri ile karşı karşıya kalmaktadır.

Türkiye'nin 2016 yılındaki birincil toplam enerji arzı 136,5 milyon TEP'tir. Bu arzın kaynaklara dağılımında, ilk sırayı 42 milyon TEP ve toplam arzın %31'i ile petrol almıştır. Petrolü, 38 milyon TEP ve %28 pay ile kömür, kömüre çok yakın değerle doğal gaz, 8,3 milyon TEP ve %6 ile jeotermal, rüzgâr ve güneş toplamı, 5,8 milyon TEP ve %4 ile hidrolik, 3,4 milyon TEP ve %3 ile biyoenerji, atık ve diğer kaynaklar izlemiştir. 2000-2016 yılları arasındaki on altı yılda ise toplam enerji ithalatı %105 oranında artarak, 55.081 bin TEP 'ten 113.117 bin tep düzeyine yükselmiştir. Bu dönemdeki toplam enerji ihracatı 1.584 bin TEP 'ten 7.250 bin tep düzeyine yükselerek %358 artmıştır. Türkiye'nin toplam enerji arzında dışa bağımlılığı, 1990'da %52 iken, 2000 yılında %67, 2010'da %70 ve 2016 yılında %74 düzeyine çıkararak son yirmi altı yılda %22 artmıştır. Sonuç olarak, stratejik planlama dâhilinde, enerji üretiminin artırılması, enerji arzını karşılama oranının yükseltilmesi gerekir. Ülkemizde yanlış enerji politikaları nedeniyle üretime gereken önem verilmemiş ve enerji üretimi artışı gerileyerek Türkiye'nin dışa bağımlılığı ve cari açığı artmıştır (MMO/691, 2018). Görülmektedir ki artan enerji ihtiyacını en makul yollardan karşılayabilmek için yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ile sağlanabilir.

Türkiye coğrafi olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif kullanılabilceği bir yerleşkeye sahiptir. Etkin bir planlama ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması ülke olarak dışa bağımlılığımızı azaltarak, ekonomik olarak canlanmayı sağlayacaktır. Binalarda ki iklimlendirme faaliyetleri tüketimin önemli bir kısmını

oluşturduğu için bu alanda teknolojinin imkânları kullanılarak enerji de tasarrufa gidilmesi önemli bir ekonomik dönüşüm sağlayacaktır.

Isı pompası sistemleri, artan temiz enerji ihtiyacına cevap verebilecek, enerji ihtiyacını karşılayabilecek çözümler sunan sistemlerdir. Bu sistemler çevre ortamdan aldıkları yenilenebilir enerjiyi kullanarak ihtiyaca cevap verirler. Yıl boyunca toprak altında, yeraltı sularında ve havada depolanan güneş enerjisi, elektrik enerjisi yardımı ile ısıtma enerjisine dönüştürülür (Dumlu, 2012).

Düşük sıcaklıklı ortamdaki, yüksek sıcaklıklı ortama elektrik enerjisi kullanarak ısı enerjisi taşıyan sistemler ısı pompası olarak adlandırılır. Düşük sıcaklıklı ortam tanımı ısı kaynağı olarak tanımlanabilir. Bahsedilen kaynak; hava, su, toprak olabilir. Kaynak sıcaklığı ve bu sıcaklığın kararlı olması ısı pompasının performansını etkileyen en önemli unsurlardır (O. Kincay vd., 2009).

Isı pompalarında kaynak seçiminde ulaşılabilirlikte önemli bir faktördür. Hava en ulaşılabilir ve maliyetsiz bir kaynak olmasına rağmen, sıcaklık değişimlerinin kararsız olması ısı pompasının enerji tüketimini artıracığından performans olumsuz etkilenecek ve amacımıza hitap etmeyecektir.

Diğer bir kaynak olarak su; yeraltı ve yerüstü suyu olarak kullanılır. Derinlik arttıkça kararlılık artar. Dolayısıyla ısı pompası da kararlıdır. Fakat yerüstü suları için aynı durum söz konusu değildir. Yerüstü suyu sıcaklığı hava sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden aynı hava gibi bu kararsızlık ısı pompasının enerji tüketimini artıracığından performansı düşürecektir.

Toprak ise; kış mevsiminde sıcaklığı, ortam sıcaklığından fazla olduğundan, ortamı ısıtmak için kaynak olarak toprak kullanılabilir. Yaz mevsiminde ise toprak sıcaklığı ortam sıcaklığından düşük olacağından, ortamdaki ısıyı toprağa atarak soğutma gerçekleştirebiliriz. Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) toprak sıcaklığının kararlı yapısından ötürü, soğuk iklim bölgelerinde de kullanıma izin verir.

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti hava ve su kaynaklı sistemlere göre fazla olmasına rağmen, yüksek performans ve verimlilik sebebiyle işletme maliyeti düşüktür. Güneşten gelen enerjinin en iyi depolanma şekillerinden birisi topraktır. Toprak dış ortam şartlarına göre her zaman daha elverişlidir. Yani kışın dış ortam sıcaklığından daha sıcak, yazın dış ortam sıcaklığından daha soğuktur. Toprağın

altına gömülü olan boru sistemi ile ısıyı alır ve aktarıcı organları ile ısının taşınmasını ve transferini sağlar. Sistemde toprağın altından ısıyı belirli hesaplamalar sonucunda uzunlukları belli olan polietilen kaplı ve içinden ısı taşıyıcı soğutucunun geçtiği borular vasıtasıyla alır. Buradan ısı kapalı devre akışkanı tarafından ısı pompası eşanjörüne taşınır. Bu devrede akışkanı taşıyan sirkülasyon pompası da bulunur. Akışkanın devridaim olayı böyle devam eder ve ısı bir yerden bir başka yere transfer olur.

Toprakta bulunan ısı iki farklı toprak ısı değiştirici aracılığı ile çekilmektedir. Bunlar; yatay toprak ısı değiştirici ve dikey toprak ısı değiştiricidir. Yatay toprak ısı değiştiriciler, ısı değiştirici olarak en yaygın olan sistemlerdir. Sistemde boru veya borular toprağa yatay olarak gömülürler. Genellikle küçük yapılar ve ticari binalarda kullanılırlar. Yatay tip değiştiricilerde borular genellikle 0,9-1,8 m derinliklere gömülürler. Boru hatları arasındaki mesafe de 0,3-0,6 m arasında alınabilir. Dikkat edilmesi gereken hususlar, arazinin üstüne bitki ekilmemesi, yağmur sularının sızıntısı engellenmemesidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ve alternatif teknolojiler, özellikle dünya fosil yakıt kaynaklarının azalması ve bunların kullanımının çevreye olan zararları nedeniyle son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Isı pompaları CO₂ emisyonu olmadığı için çevre dostudur. Isı pompalarının özellikle konut ısıtması ve soğutulması uygulaması vardır. Hem ısıtma hem de soğutmanın aynı sistemle yapılması ısı pompalarının bir avantajıdır (Tarnawski vd., 2009).

Ayrıca 2020 yılında uluslararası turist sayısının 1.6 milyar ve Avrupada ki turistik destinasyon ülkelerinin otel kapasitelerinin % 35 artacağı düşünüldüğünde turizm sektörü için karbon dioksit salınımının önüne geçilmesinde alternatif enerji kaynaklarının önemi daha net anlaşılmaktadır (Karabuğa vd., 2015).

Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar teorik, deneysel ve bilgisayarlı benzetim olarak gruplandırılabilir. Gerek deneysel gerekse teorik olarak yapılan çalışmaların birçoğu ısı pompalarının verimliliği, kullanılabilirliği, ekonomiye katkıları ve çevreye etkileri üzerinedir. Bilgisayarlı benzetim çalışmaları ise COP tahminleri, ekserji analizleri, ısı değiştirgeci giriş çıkış sıcaklıklarının tahmin edilmesi üzerinedir.

Çalışmalar ve bölgesel analizler arttıkça, sistem geliştirilip yatırım maliyetinin düşmesiyle birlikte kullanımı yaygınlaştırılabilir. Örneğin; İsviçre ETH Üniversitesi için yapılan bir çalışmada, 260 metre derinliğe inildiğinde toprak sıcaklığı 15.27 °C ölçülmüştür. Yaklaşık olarak 10000 öğrenci ve çalışanın bulunduğu İsviçre ETH

Üniversitesi'nin ısıtılması ve soğutulması toprak kaynaklı ısı pompasıyla yapılmaktadır. Toplam ısıtma için gerekli olan enerjinin %95 ve soğutma için gerekli olan enerjinin % 63' ü bu yolla sağlanmıştır. 2017 tarihine kadar iki noktada olmak üzere toplam 227 adet sondaj borusu yerleştirilmiş ve 2020 yılında bu sayı 434'e çıkarılacaktır. Isıtma için gerekli enerji miktarı 29 GWh, ve soğutma için gerekli olan enerji miktarı 23 GWh olarak hesaplanmıştır (Gewatt, 2015).

1.1 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Isı pompalarının kullanılabilirliği ile kullanım alanlarına ilişkin yapılmış çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Ersöz (2000), "Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması" başlıklı yüksek lisans tezi çalışmasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü binası içerisinde bulunan bir dersliğin, toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutulması hedeflemiştir. Yerel hava ve toprak sıcaklıkları, toprak özellikleri ve yatırım maliyetleri göz önünde tutularak ısı pompası ve toprak ısı değiştiricisi tasarımı yapılmış, elde edilen sonuçlar teorik ve pratik olarak karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

Esen (2007), Elazığ'da ısıtılacak ve soğutulacak bir köy evinin bahçesinde 30 m, 60 m ve 90 m olarak üç farklı derinlikte sondaj kuyularına sahip bir DTKIP sistemini YSA ve UBSA yöntemlerini kullanarak sistemlerin performans karşılaştırmasını yapmıştır. Soğutma ve ısıtma deneyleri sonucuna göre, en yüksek sistem performansını 90 m derinlikteki ısı değiştiricili sistem için elde etmiştir.

Esen vd. (2007), YTKIP 1m ve 2m 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 neticesinde ısı kaynağının sıcaklığının artmasının her iki verimi de arttırdığı görülmüştür.

Tarnawski ve arkadaşları (2009), Japonya'daki bir konut için, yatay tip TKIP sisteminin ısıtma ve soğutma dönemleri için bilgisayar simülasyonu ile performans analizlerini yapmışlardır. Çalışmada ayrıca, ısı pompasında kullanılan elektriğin, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması durumunda sera gazı emisyonu oluşturmayan çevre dostu bir sistem olacağı belirtmişlerdir.

Elbir (2010), TKIP sisteminin termodinamik analizi üzerine Göller Bölgesinde bir ofis binasında meteorolojik değişimler ışığında yaptığı çalışmada kompresör ve pompanın

ekserji yıkım yüzdeleri dış ortam sıcaklıkları ile ters orantılı olarak değiştikleri izlenmiş, kondenser, kısma vanası, evaporatör ve tankın ekserji yıkım oranlarının ise dış ortam sıcaklıkları ile orantılı olduğunu tespit etmiştir.

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 performansı 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

Akbulut vd., (2012) Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Duvarlı Soğutma Sisteminin Enerjistik Performans İncelemesi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda; Soğutma sürecinde ısı pompası cihazının verimi %80.76 iken hesaplanan toplam sistem verimi %74.90 dır. Bu süreçte ısı pompası cihazına ait COP 4.78 iken sistemin bütününe ait COP 4.38 olarak bulunmuştur.

Kural A.K. (2012) Tezinde Malatya ili için toprak kaynaklı ısı pompasının doğal gaz ve diğer yakıtlarla olan karşılaştırmasını çok yönlü gerçekleştirmiştir. Deney neticesinde TKIP'nın para geri ödeme süresi, merkezi klima sistemiyle karşılaştırıldığında yaklaşık 5 ay, doğalgazlı sistemle karşılaştırıldığında yaklaşık 16 aydır. Ancak bu karşılaştırmalar, ısıtma ve soğutmanın birlikte yapıldığı ve yaklaşık 6 000 m²lik bir alanın iklimlendirildiği varsayılarak elde edilmiştir. Yani bu elde edilen yaklaşık süreler, sadece ısıtma olarak düşünülseydi ve 60 daireli yaklaşık 6 000 m²lik bir bina yerine müstakil daha düşük iklimlendirilme alanı düşünülseydi daha da uzun bir para geri ödeme süresi elde edileceği sonucuna varmıştır.

Sabin Imhasly , Ernst Rohner , Sarah Signorelli (2013), Kanton Zürich, The Dolder Grand Otelinin toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılıp soğutulması üzerinde çalışmışlar. 1899 Yilinda kurulmus 5 yildizli The Dolder Grand Otelinin ısıtma ve soğutma sistemi 2008 yilinda degistirilmistir. Londra Merkezli Mimarlik Ofisi Foster and Partner Firmasi bu Projeyi gerceklestirmistir.20000 m² üzerine kurulu Otelin ısıtılması için 70 adet Toprak Kaynaklı Isı borusu 152 metre derinliğinde projelendirilmiştir. Bu Projelendirme sonucunda

178 odanın ısıtılması ve soğutulması bu sistemle gerçekleşmiştir. Bu Projelendirme sonucu; Otelin gerekli olduğu ısıtma kapasitesinin %75 i bu sistemle karşılanmış ve otelin soğutulması Toprak Kaynaklı Isı Pompası tarafından yapılmıştır.

Özsolak ve Esen (2013), Elazığ'da 12 m²'lik bir test odası güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile ısıtmışlardır. Sistemde, 1 m eninde, 2 m derinliğinde ve 15 m uzunluğunda açılan çukura toprak ısı değiştirgeci boruları yatay serme yapılmıştır. Ayrıca sistemde düzlemsel güneş kolektörleri kullanarak sistemin performansını araştırmışlardır.

Gewatt Firması (2015) tarafında İsviçre ETH Üniversitesi için yapılan bir çalışmada, 260 metre derinliğe inildiğinde toprak sıcaklığı 15.27 °C ölçülmüştür. Yaklaşık olarak 10000 öğrenci ve çalışanın bulunduğu İsviçre ETH Üniversitesi'nin ısıtılması ve soğutulması toprak kaynaklı ısı pompasıyla yapılmaktadır. Toplam ısıtma için gerekli olan enerjinin %95 ve soğutma için gerekli olan enerjinin % 63' ü bu yolla sağlanmıştır. 2017 tarihine kadar iki noktada olmak üzere toplam 227 adet sondaj borusu yerleştirilmiş ve 2020 yılında bu sayı 434'e çıkarılacaktır. Isıtma için gerekli enerji miktarı 29 GWh, ve soğutma için gerekli olan enerji miktarı 23 GWh olarak hesaplanmıştır.

Özdemir m. B., Özkaya M. G., “ Ankara ili için düşey tip toprak kaynaklı ısıpompası sisteminin enerji ve ekserji analizi”, çalışmasını yapmış ve sonuç olarak soğutma mevsimi için COP_ı ve COPs değerlerini sırayla 3,12 ve 2,81 olarak hesaplamıştır.

Temel (2016), çalışmasında Türkiye'de bölgelere göre ısı pompası seçim kriterlerini incelemiştir. 7 iklim bölgesinde 7 ayrı şehir seçerek 4 katlı bir villanın her bölge için ısıtma soğutma tepkilerini incelemiştir. Deneyler neticesinde ısı pompalarının, elektrikli sistemlere göre 2,5 kat daha az kaynak kullanarak istenilen enerjiyi sağlayabilmekte olduğunu görmüştür. Bunun yanında çevre dostu olması endüstriyel ve günlük uygulamalarda kullanılabilirliğini artırılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Horzum (2018), Bu çalışmasında toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin bir turizm tesisinde kullanımının termodinamik analizini yapmıştır. Antalya ilinde ki tesiste yaptığı incelemeler neticesinde (TKIP) kurulmadan önce ve kurulduktan sonraki ısıtma, soğutma ve sıcak su üretimi için harcanan yakıt ve elektrik değerlerini incelemiştir. Analizler neticesinde TKIP COP değeri 3,683 olarak hesaplanmıştır.

Caner (2018), Çalışmasında YTKIP Sivas ili şartlarında performansını araştırmıştır. Cumhuriyet Üniversitesinde bulunan enerji evine kış mevsiminde toprağın 0,5 m, 1 m, 1,5

m ve 2m de toprak sıcaklıkları ölçülmüş ve toprak sıcaklığının 2 metre derinliğinde 11 °C olduğu belirlenmiş fakat topraktan devamlı ısı çekileceği için ısı değiştiriciler 2,5 m derinliğe yerleştirilmiş. Ölçümler neticesinde ortalama COP_{ıp} 2,09 ve COPs 1,82 olarak bulunmuştur.

Duman (2018), Çalışmasında Sivas ili şartları içinde YTKIP'nın sistemin üç devresinin ekserji analizini incelemiştir. Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde bulunan 30 m² alana sahip enerji evinde bulunan sistemde toprak altı derinliğin 2,5 m, 1 m, 0,5 m, olduğu noktalardan sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Deney aralık ayı boyunca ölçümlenmiştir. Deney neticesinde, ekserji verimi kompresörde %44,4, yoğunlaştırıcıda % 88,5, akümülyasyon tankında % 44,6, radyatörlerde %60,5, buharlaştırıcıda %37, TID'de %52,6, kısılma vanasında % 88,2 bulunmuştur. Sistem elemanları içinde en yüksek ekserji verimi kısılma vanasında gerçekleşmiştir. Isı pompasının ve sistemin ekserji verimleri sırasıyla %31 , % 27 olarak hesaplanmıştır.

Kılınç F., Buyruk E. ve Caner M., (2019) Sivas ili şartlarında yatay toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma ve soğutma için performans analizi çalışması yapmışlardır. Aralık ve Haziran aylarının belli bir günü belirlenmiş ve ölçülen değerler neticesinde; ısıtma modunda COP_{ıp} 2.10 ve COPs 1.83, soğutma modunda ise COP_{ıp} 4.79 ve COPs 3.86 hesaplanmıştır. Soğutma güç tüketimi ortalama 1.69 kW olarak hesaplanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Isı Pompası Kavramı

Isı transferinin yüksek sıcaklıklı bir ortamdan, düşük sıcaklıklı bir ortama doğru gerçekleştiği bilinmektedir. Normal şartlar altında, bunun aksi bir davranışı beklemek mümkün değildir. Fakat tersine bir ısı transferi gerçekleştirmek istendiğinde, enerji harcamak gerekir. Bu işlem ısı pompaları ya da soğutma makinaları ile gerçekleştirilebilir.

Soğutma makinaları ve ısı pompaları aynı çevrim esasına dayanarak çalışırlar. Ayrıntı ise bu iki makinanın kullanım amacının farklılığıdır. Temel termodinamik bilgilerine dayanarak soğutma makinaları, soğutulacak olan ortamdan çektiği ısıyı başka bir ortama aktararak mahalde soğutmayı sağlar. Buzdolapları, klimalar vs. bu prensibe göre çalışırlar. Örneğin buzdolabının içi, buzdolabının bulunduğu ortamın sıcaklığından daha düşük sıcaklıktadır. Kompresörde harcanan elektrik enerjisi sayesinde buzdolabının içinden çekilen ısı ortam havasına aktarılır. Böylece soğutma gerçekleşmiş olur (Çengel ve Boles, 2015).

Isı pompası ısı akış yönü itibariyle termodinamiğin sıfırıncı yasasına aykırı prensiptedir. Sıfırıncı yasa ısının yüksek sıcaklık ortamından düşük sıcaklık ortamına akacağını ifade ederken, ısı pompasında ısı akımı bu ifadenin tamamen tersi bir durumda meydana gelmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa ısı aktarımı olabilmesi için belli bir iş yapılması gerekir. Bu amaçla genellikle elektrik motoruyla çalışan sıkıştırıcılar veya gaz motorları kullanılır (Elbir, 2010).

Isı pompasının amacı ise; ortamın sıcaklığını artırmaktır. Bu işlemi düşük sıcaklıklı bir ortamdan ısı çekip, ısıtılmak istenen ortama aktarılması şeklinde gerçekleştirebiliriz. Aynı zamanda ısı pompası gerekli eklentiler yapılarak soğutma işleminde de kullanılabilir. Isı pompaları bir enerji kaynağının varlığıyla çalışabilirler. Bu nedenle seçilecek olan kaynak sistem maliyeti, enerji gereksinimi, kaynağın iklimsel değişimiyle ilgili etraflıca değerlendirilmelidir.

2.2 Isı Pompası Tarihi

Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılan teori, ısı pompasının temel teorisidir. Soğutamadığı sürece ısıtan bir yapıya sahip ısı pompası sisteminin çalışabilmesi için ısıtılacak ortam ve soğutulacak ortam birlikte gereklidir. Isıtılacak ortam genellikle eviniz

olacağından, soğutulacak ortam hava, su ya da toprak olacaktır. 26 yıl sonra 1850 yılında Lord Kelvin'in soğutma cihazlarının ısıtma maksadı ile kullanılabilceğini ileri sürmesiyle ısı pompası uygulamaya girdi. II. Dünya Savaşından önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılabilir hale getirilebilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yaptı. Savaş yıllarında endüstri, imkânları daha acil problemlere yönelttiği için ara verilen bu çalışmalara savaştan sonra tekrar başlandı. Isı pompası endüstrinin 1950'ler de sahip olduğu potansiyel, yüksek kurulu maliyeti, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması nedeniyle ısı pompasına olan güven 1960'lı yıllarda azaldı. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır (url-1).

Avrupa ve Amerika'da özellikle 1990'lı yıllardan itibaren kullanımı yaygınlaşmaya başlamış ve her geçen gün kullanıcı sayısı artmıştır.

İlk büyük ısı pompası sistemi 1938 yılında İsviçre'nin Zürich şehrinin belediye binasında uygulanmıştır. 100 kW olan sistemi Heinrich Lier firması tarafından geliştirilmiştir (Reay Macmichael, 1988).

İlk TKIP sistemi 1945 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılmış ve 1968 yılında aktif olarak evlerde kullanılmaya başlanmıştır (url-2).

Ancak ülkemiz her konuda olduğu gibi bu teknolojiyle tanışma konusunda da geç kalmış ve ısı pompasının sunduğu bütün avantajlara rağmen hala ciddi sayıda kullanıcı sayısına ulaşamamıştır. Türkiye'de ısı pompası uygulamaları ilk olarak 1990'ların ortalarında gerçekleşmiştir.

Fosil yakıtların bulunabilirliğinin azalması, her geçen gün artan maliyetler, dışa bağımlılık sebebiyle ısı pompalarının aktif kullanımı ve ülkemizde yaygınlaşması kaçınılmaz ve temenni edilecek bir sonuçtur.

2.3 Isı Pompası Elemanları

2.3.1 Kompresör

Sistemde ki soğutucu akışkanın, buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra, basıncını ve sıcaklığını yükseltmekle görevli ana eleman kompresördür. Buhar basıncının yükseltilmesi, soğutucu akışkanın, basınç farkıyla akışının oluşumunu sağlar. Soğutucu akışkanda ki

sıcaklık artışının sisteme olan getirisi; sistem ısısının başka bir ortama kolaylıkla transferini sağlamaktır (Silberstein, 2003).

Kompresör çeşitleri şöyle sıralanabilir:

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

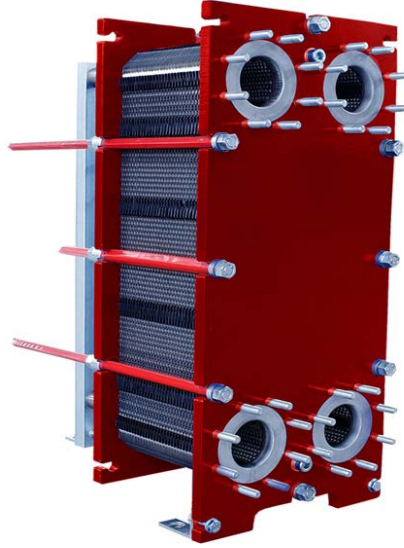
Isı pompası sistemlerinde tercih edilen kompresör tipi scroll kompresörlerdir. Bu kompresörler biri sabit diğeri dönme hareketi yapan iki levhadan oluşur. İki spiral alın altına dönerken, buhar spiralin merkezine doğru sıkıştırılır (MEGEP,2013).



Şekil 2.1 Scroll kompresör (url-3)

2.3.2 Buharlaştırıcı

Bir soğutma sisteminde evaporatör, doymuş sıvı-buhar karışımı olarak giren soğutucu akışkanı en az doymuş buhar veya kızgın buhar olarak çıkmasını etraftan ısı çekerek sağlayan bir ısı değiştiricisidir. Soğutucu akışkanın buharlaşarak, soğutulmak istenen ortamdan ısının çekilmesini sağlayan elemanlardır. İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde genellikle soğutulan ortama yerleştirilir (Bulut, 2010).



Şekil 2.2 Plakalı ısı değiştirgeci (url-4)

2.3.3 Yoğuşturucu

Kondenser kompresörden çıkan kızığın buhar halindeki soğutucu akışkanın içerisindeki ısıyı atarak, ideal çevrimde, sabit basınç ve sıcaklık altında, doymuş sıvı haline dönüşmesini sağlar. Kondenserler su soğutmalı, hava soğutmalı üzere ikiye ayrılır (Bonin, 2015).

Yoğuşturucular esasında büyük ölçekli, plakalı ısı değiştiricidir.



Şekil 2.3 Kondanser (url-5)

2.3.4 Kısılma vanası

Çevrimde, soğutucu akışkanın basıncını, istenilen buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlar kısılma vanalarıdır. İklimlendirme ve soğutmada kullanılan kısılma vanaları;

- 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 2.4 Termostatik Genleşme Valfi (url- 5)

2.3.5 Yardımcı Elemanlar

2.3.5.1 Dryer (kurutucu)

Dryer filtre kurutucu; Soğutma sistemlerinde montaj sırasında kalabilecek kaynak artıklarını kompresörün zamanla aşınıp soğutucu akışkanla sisteme yayılan metal tozlarını süzer nem ve oluşabilecek asidi tutar. Kondenser çıkışına varsa likit deposundan sonra monte edilir. Kompresör yanması, gaz kaçağı gibi arızalar ve büyük tadilatlarda dryerin değişimi gerekir (url-6).

2.3.5.2 Gözetleme camı

Sistemin işleyişini kontrol etmek için kullanılır.

2.3.5.3 Alçak basınç anahtarı

Sistemde soğutucu akışkanın basıncı düştüğünde, sistemi kapatarak ciddi zararları önlemiş olmaktadır.

2.3.5.4 Yüksek basınç anahtarı

Bu bir güvenlik anahtarıdır. Soğutucu akışkan basıncı çok yükseldiğinde kompresör ve yoğuşturucuyu korumak adına kompresörün çalışmasını durdurarak olası tehlikeleri önlemektedir.

2.3.5.5 Dört yollu vana

Dört yollu vanalar özellikle ısıtma ve soğutmanın aynı tesis üzerinde yapılacağı sistemlerde en önemli gereçlerden birisidir. Isıtma modundan soğutma moduna, soğutma modundan ısıtma moduna geçmeyi sağlayan vanalardır. Bir gövde ve içerisinde hareketli pistondan oluşan, üstte kompresörden gelen akışkanın geçtiği basma hattı, altta ise sırayla dış serpantin, iç serpantin ve ortada kompresöre tekrar dönüşü sağlayan emme hattı bulunmaktadır (url-16).



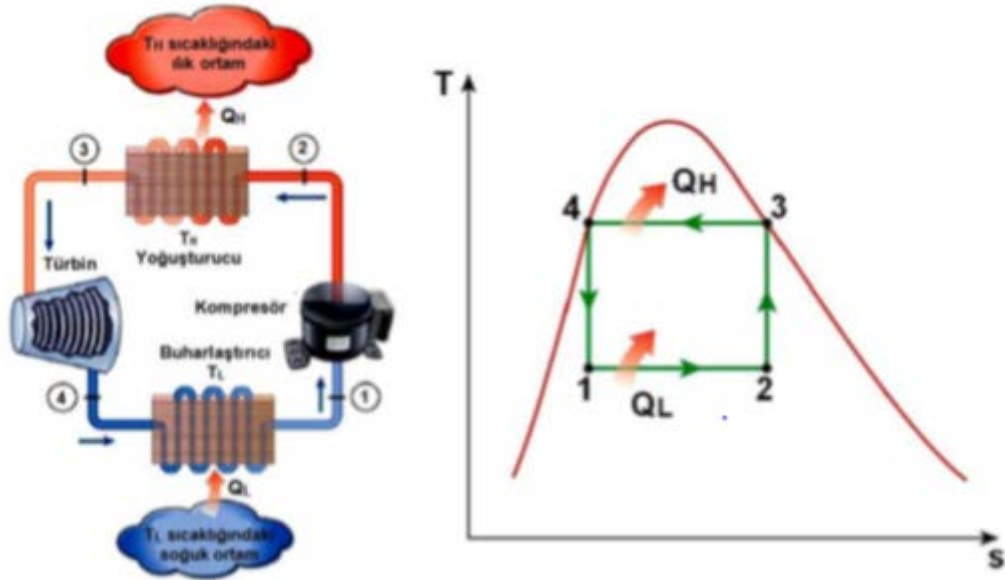
Şekil 2.5 Dört Yolu Vana

2.4 Isı Pompası Çevrimi

2.4.1 Ters Carnot çevrimi

Isı makinaları çevrim gerçekleştirirken, soğutucu akışkan her çevrim sonunda ilk haline geri döner. Bu tanım kısaca Carnot çevriminin tanımıdır. Net iş ya da verimin artması en az iş olarak en çok iş yapmaya yani tersinir hal değişimleri kullanmaya bağlıdır.

Carnot ısı makinası çevrimi tümünden tersinir bir çevrim olması sebebiyle tüm hal değişimleri tersine yönde gerçekleşebilir. Bu durumda soğutma makinası çevrimi elde edilmiş olur. Bu çevrimin Carnot çevriminden farkı ısı ve iş etkileşimlerinin yönleridir. Bunun dışında sistem aynen kendini tekrar eder. Carnot çevrimi ısı pompaları için ideal çevrim olarak tanımlanır. Çengel ve Boles çevrimin şemasını ve T-S diyagramını şekil 2.5 te' ki gibi göstermiştir.

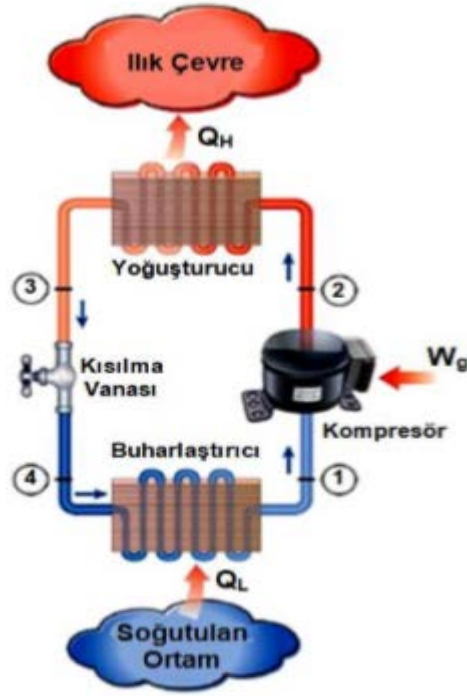


Şekil 2.6 Çevrimin tesisat şeması ve T-S diyagramı

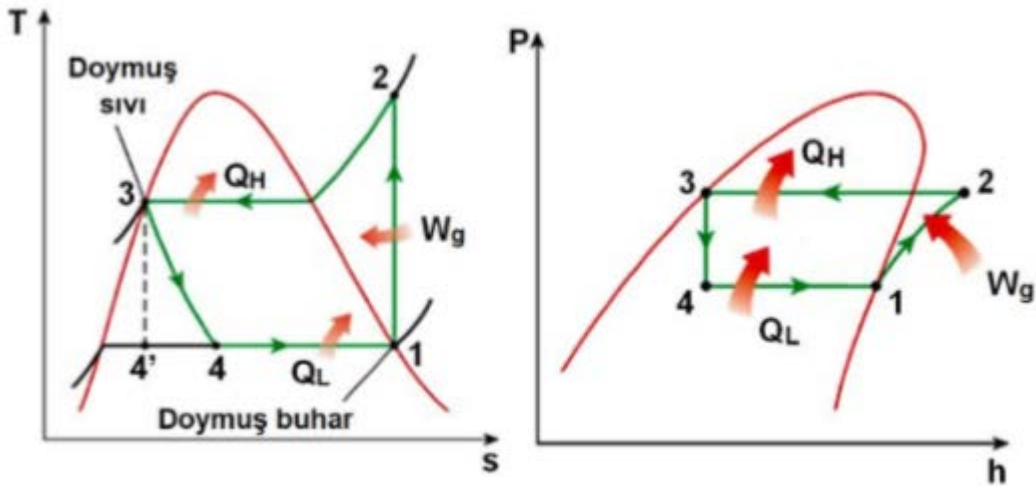
- 1-2: Sabit sıcaklıkta soğuk ortamdaki akışkanın ısınması
- 2-3: Akışkanın izantropik sıkıştırılması
- 3-4: Akışkandan sabit sıcaklıktaki ılık ortama ısı geçişi
- 4-1: Akışkanın izantropik genişlemesi

2.4.2 İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi

Ters Carnot Çevrimi teoride ideal bir çevrim iken uygulamada sorunlarla karşılaşılacağından, sorunlara çözüm bulmak için soğutucu akışkan kompresöre girmeden önce tamamen buharlaştırılır. Çevrimde ayrıca türbin yerine kısılma vanası kullanılır. Çevrimin şeması Şekil 2.6'da, T-s ve P-h diyagramları Şekil 2.7'de verilmiştir (Çengel ve Boles, 2013).



Şekil 2.7 Tesisat şeması



Şekil 2.8 T-s ve P-h diyagramları

1-2: Kompresörde izantropik sıkıştırma

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

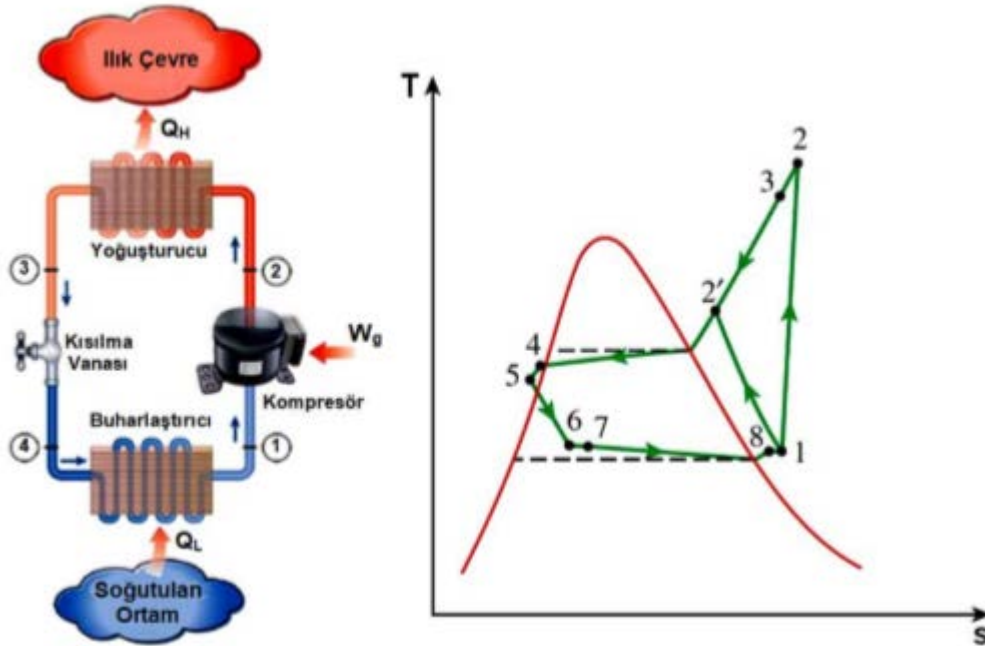
3-4: Kısılma vanasında genişleme

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

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde; 1 noktasında buhar kompresöre doymuş buhar olarak girer. Kompresör burada akışkanı Yoğuşturucu basıncına izantropik (akışkan entropisinin sabitliği) olarak sıkıştırılır. Akışkanın sıcaklığı ve basıncı artınca 2 halinde kompresörden kızgın buhar olarak çıkar ve yoğuşturucuya girer. Soğutucu akışkan sabit basınç altında ılık olan çevre ortama ısı verir ve doymuş sıvı halinde yoğuşturucudan çıkar. 3-4 hal değişim aralığında soğutucu akışkan kısılma vanasına girer buharlaştırıcı basıncına genişler. Soğutucu akışkan 4-1 hal değişim aralığında buharlaştırıcıda soğuk ortamdan sabit basınçta doymuş buhar haline gelir ve çevrim tamamlanmış olur (Çengel ve Boles, 2013).

2.4.3 Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi

Bu çevrim, uygulamada meydana tersinmezliklerin (kayıpların) ifadesidir. Çevrimin tesisat şeması ve T-s diyagramı Şekil 2.8 'de gösterilmiştir (Çengel ve Boles, 2013).



Şekil 2.9 Tesisat Şeması ve T-s diyagramı

İdeal çevrimde kompresöre doymuş buhar olarak giren soğutucu akışkan, gerçek çevrimde kompresöre sıvı kaçağını engellemek için bir miktar kızgın buhar haline getirilir. Kompresöre kızgın buhar olarak giren akışkan izantropik olarak sıkıştırılmaz. Sürtünme etkisi entropiyi artırır. Isı kayıpları da entropiyi artırıcı ya da azaltıcı etki gösterebilir (Çengel ve Boles, 2013).

Soğutucu akışkan kısılma vanasına girerken tamamen sıvı fazda olmalıdır. Bundan dolayı kısılma vanasına girmeden önce soğutucu akışkan biraz daha soğutulur yani doyma sıcaklığının altında bir sıcaklık elde edilir. Böylelikle akışkan buharlaştırıcıya daha düşük entalpide girip, ortamdaki daha fazla ısı çekebilecektir (Çengel ve Boles, 2013).

2.5 Isı pompası Kullanılan Isı Kaynakları

Isı pompasının veriminin maksimum olabilmesi için ısının çekildiği ya da atıldığı kaynak sıcaklığının stabilitesinin yüksek olması gerekmektedir. Yani sıcaklık değişimi ne kadar az olursa ısı pompası daha verimli bir çevrim gerçekleştirmiş olur. Kaynak seçiminde en önemli unsurlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- İklim şartları
- Coğrafi yapı
- Başlangıç maliyeti
- Kaynağa ulaşma maliyeti (Kural, 2012)

Isı pompalarında kullanılan kaynaklar aşağıdaki gibidir.

- Hava
- Su
- Toprak
- Güneş (genelde yardımcı kaynak olarak kullanılır)

Hangi kaynağı seçeceğimizin parametresini öncelikle kullanım amacı ve iklim şartları belirleyecektir.

2.5.1 Hava

Sınırsız kullanım olanağı, sistem kurulumunun ve kaynağa erişimin kolaylığı ele alındığında en cazip kaynak gibi görünse bile, sıcaklığın gün içerisinde sıklıkla değişim göstermesi, akışkanla çevre ortam arasındaki sıcaklık farkının artıp azalması ısı pompasının sıklıkla durdurulmasını gerektirecektir. Ayrıca havadaki rutubet sistem içerisinde, ısı değiştiricilerde, soğuk havada donma etkisi meydana getirebilir. Bu

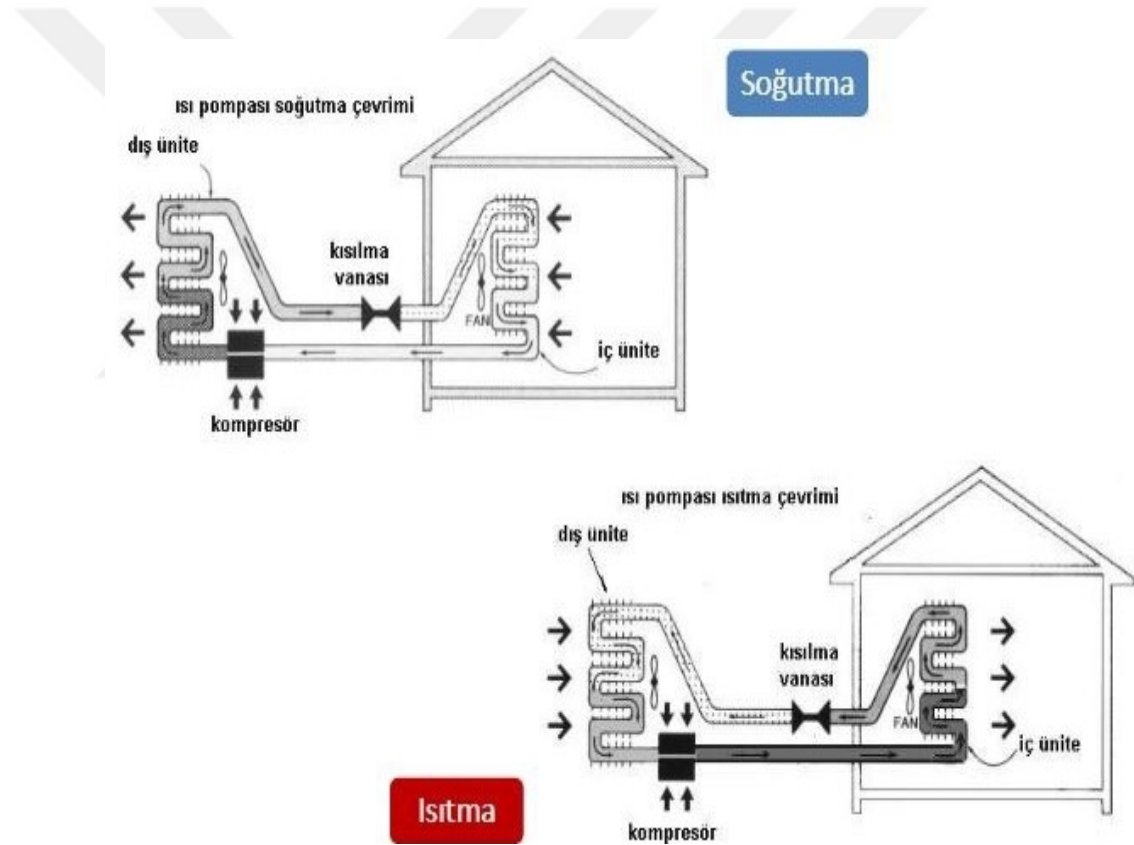
olumsuzluklarla baş edebilmek için sisteme defrost gibi eklentiler yapılmalıdır (Forsen, 2005).

Kaynağı hava olan ısı pompaları iki şekilde incelenebilir:

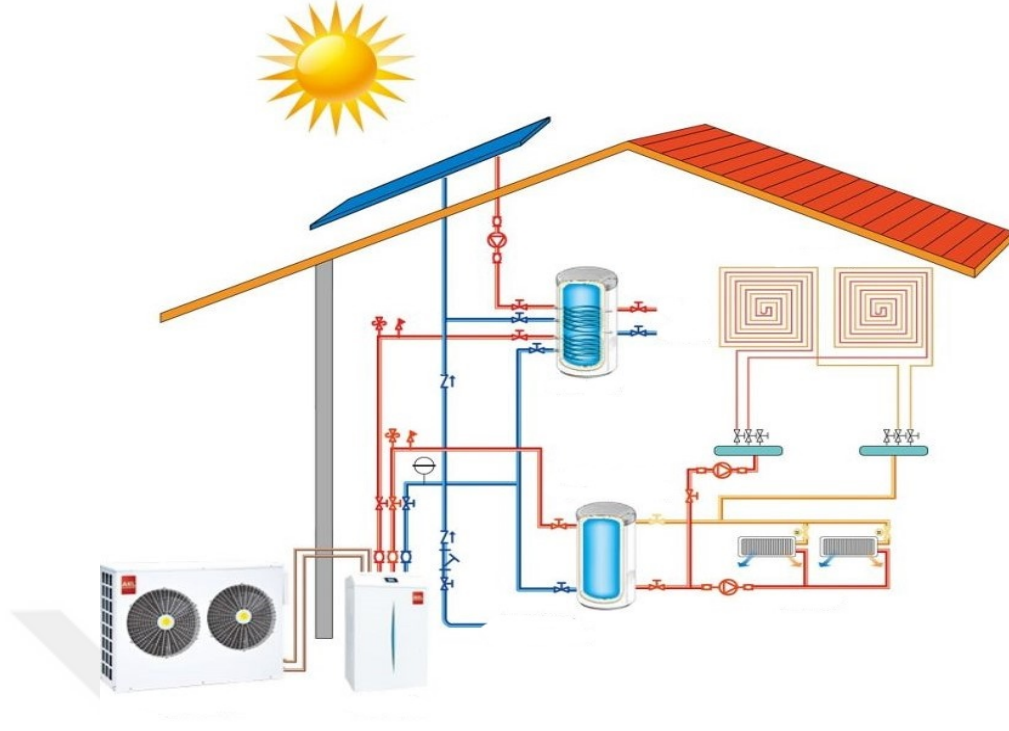
- Havadan havaya
- Havadan suya

Havadan havaya ısı pompalarında dış ortam havasından çekilen ısı enerjisi iç ortam havasına aktarılır. Ortam ve kaynak ikisi de havadır (Şekil 2.9)

Havadan suya ısı pompalarında ise; ısı dış ortamdan çekilerek yoğuşturucuda suya aktarılır ve sıcak su elde edilir. Elde edilen bu su mahal içerisinde ısınmada ya da diğer ihtiyaçlarda kullanılabilir (Şekil 2.10)



Şekil 2.10 Havadan havaya ısı pompası (url-7)



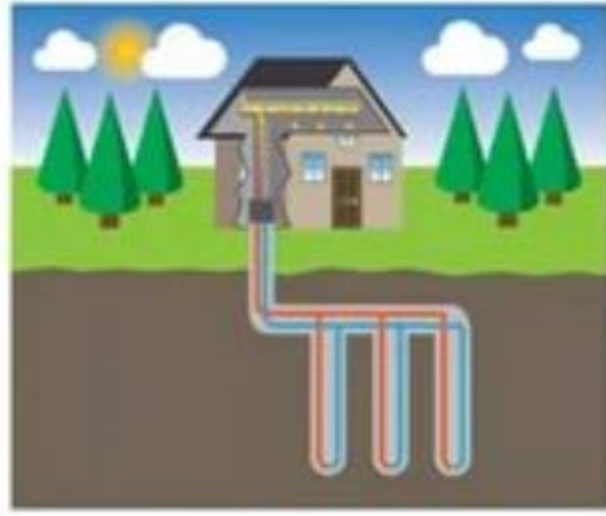
Şekil 2.11 Havadan suya ısı pompası (url-8)

2.5.2 Su

Yer altı ve yer üstü suları olarak incelemek mümkündür.

2.5.2.1 Yeraltı suyu

Yeraltı suların kuzey iklim bölgelerinde 45-150 m derinlikte sıcaklığı 10 °C civarında iken güney bölgelerinde kaynak suyu sıcaklığı 16 °C civarındadır. 10 m daha derine inildiğinde yeraltı suyu sıcaklığının çok fazla değişmediği görülmektedir. İlk bakıldığında kaynak sıcaklığının sabitliği sebebiyle tercih sebebi gibi görünse de, çevrim sırasında ısınıyı soğutucu akışkana aktaran sıcak su soğuduktan sonra kuyuya gönderildiğinde, kuyudaki suyun sıcaklığını düşürecektir. Bu istenilen bir durum değildir. Bunu önlemek için buharlaştırıcıdan çıkan suyun başka alanlara atılması gerekir. Bu da kurulum maliyetini artırdığından sistemin cazibesini kaybetmesine sebep olmaktadır (Ersöz, 2000).



Şekil 2.12 Isı kaynağı yeraltı suyu (url-9)

2.5.2.2 Yerüstü suyu

Yerüstünü kaplayan göller, denizler, nehirler de ısı pompalarında kaynak olarak kullanılabilirler. Burada da su sıcaklığı hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Fakat bu değişim hava sıcaklığı değişiminden azdır ve Türkiye de yerüstü sularının sıcaklığı yıl boyunca 0 °C değerinin üzerinde seyredir. Yerüstü suları ısı pompasında kaynak olarak kullanılacaksa buharlaştırıcının sıklıkla temizlenmesi gerekmektedir (Caner, 2018).

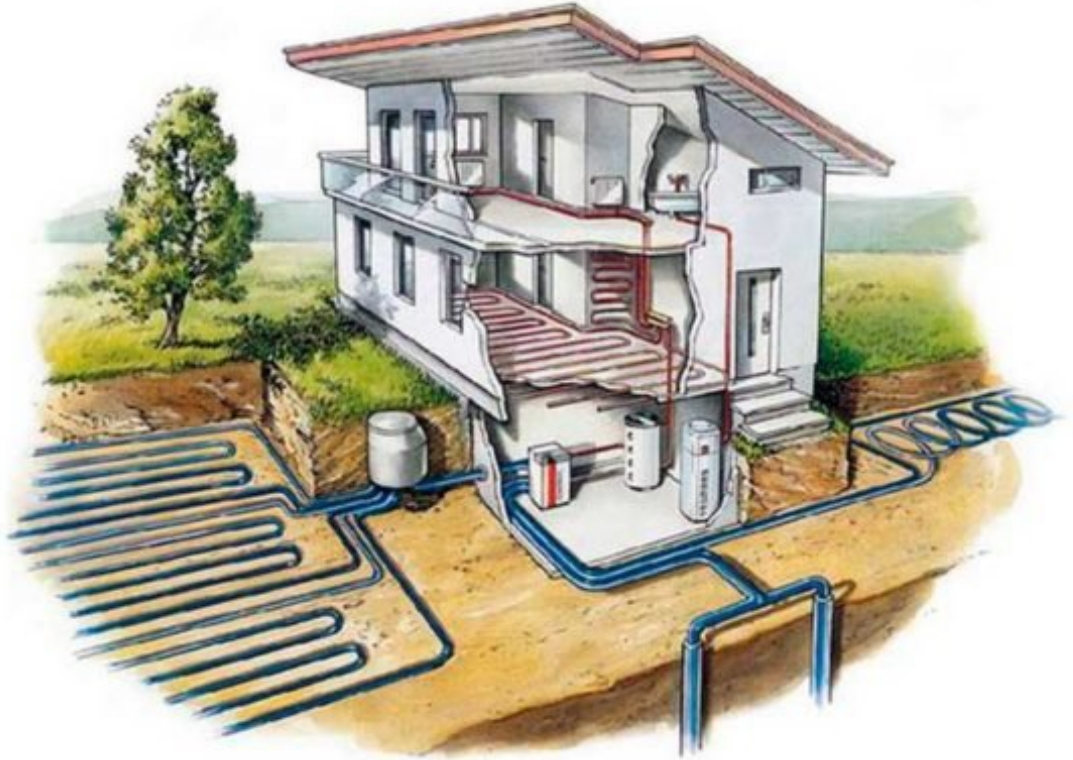


Şekil 2.12 Isı kaynağı yerüstü suyu (url-10)

2.5.3 Toprak

Toprak, yıl boyunca gelen güneş ışınlarını depolar. Toprağın 1-2 m altındaki sıcaklık değerleri çok az değişmekte olup, yıl boyunca en düşük sıcaklık 0°C'nin altına inmemektedir (Temel, 2016). Toprağın 1-2 m derinine indikçe sıcaklığın çok az değiştiğine şahit oluruz. Bu kaynak olarak önemli bir tercih sebebidir.

Fakat kaynak olarak toprağı kullanmak yüksek bir yatırım maliyeti gerektirir. Toprak altına yerleştirilecek yatay ya da düşey ısı değiştiricilerin yerleştirileceği derinlik ve yüzey alanı pompa seçiminde önemli parametrelerdir. Dar bir yüzey alanında çalışmak; topraktan sürekli ısı çekildiğinden, ısı değiştiriciye yakın olan bölgelerde toprak sıcaklığının düşmesine dolayısıyla verimin azalmasına sebep olabilir (Caner,2018).



Şekil 2.13 Isı kaynağı toprak (url-11)

Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak altındaki ısı değiştirici içerisinde soğutucu akışkan ya da düşük maliyet tercih sebebi ise tuz-su karışımı salamura kullanılabilir.

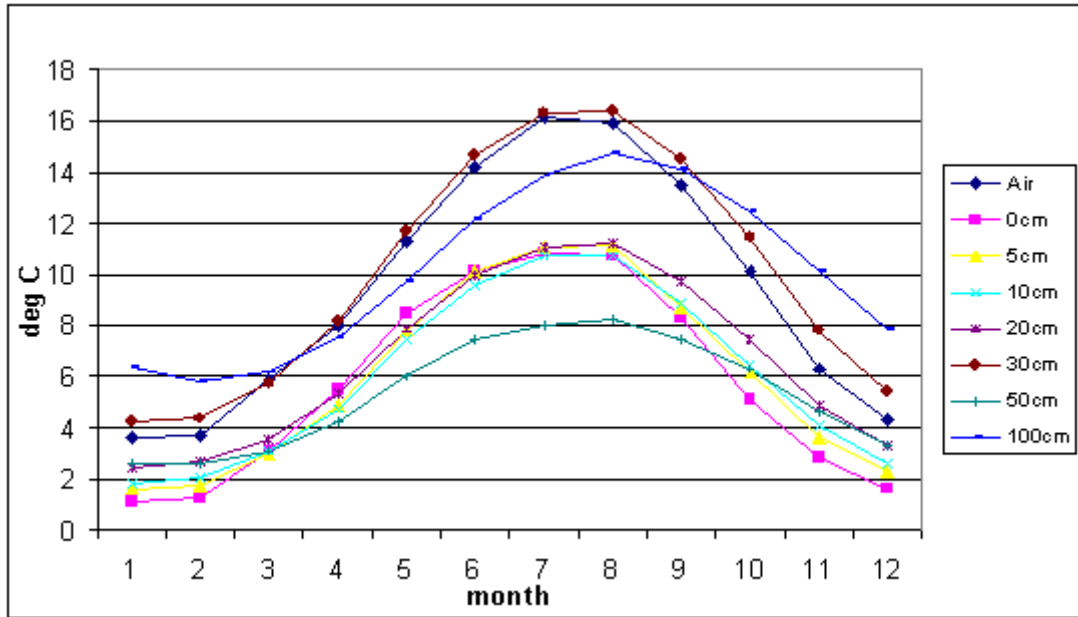
Yüksek yatırım maliyetine rağmen verim ve performans göz önüne alındığında, özellikle yıl içinde soğuk hava şartlarına sahip bölgelerde toprak altı sıcaklığının önemli ölçüde değişmediği düşünülürse toprak kaynaklı ısı pompaları en elverişli sistemlerdir diyebiliriz.

2.5.4 Güneş

Güneş enerjisi son yıllarda ısı kaynağı olarak sıkça kullanılmaya başlanmış ve hala geliştirilmeye devam edilmektedir. Fakat unutulmaması gereken nokta güneşin sürekli bir enerji kaynağı olmadığıdır. Bu sebeple güneş çok verimli bir kaynak olmasına rağmen süreksizlik arz ettiği için başlı başına bir kaynak olarak değil de, yardımcı kaynak olarak çok önemli bir alternatiftir (Yamankaradeniz, 2007).

2.6 Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Isı kaynağının toprak olduğu sistemlerdir. Toprak, kış mevsiminde dış ortam sıcaklığından daha sıcak, yaz mevsiminde ise dış ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklığa sahiptir. Toprağı kaynak olarak ele alırsak sıcaklığının yıl içerisindeki kararlı yapısı, ısıtma için iyi bir ısı kaynağı, soğutma için ise iyi bir kuyu olarak değerlendirilebilir. Yıl boyunca, farklı derinliklerde toprak sıcaklık değişimi şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Farklı toprak derinliğinde toprak sıcaklık değişimi (url-11)

2.6.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Isı pompası, dışarıdan enerji verilmesi ile düşük sıcaklıktaki bir ortamdan aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama veren bir makinedir (Başkal, 2011).

3 kaplı devreden oluşur.

- Toprak altı ısı değıştirici
- Isı pompası devresi
- Isıtma devresidir

Toprak altı ısı değıştirici;

Topraktan ısıyı çekebilmek için, içerisinde ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılan boruların toprak altına serilmesi ile oluşturulan düzenektir.

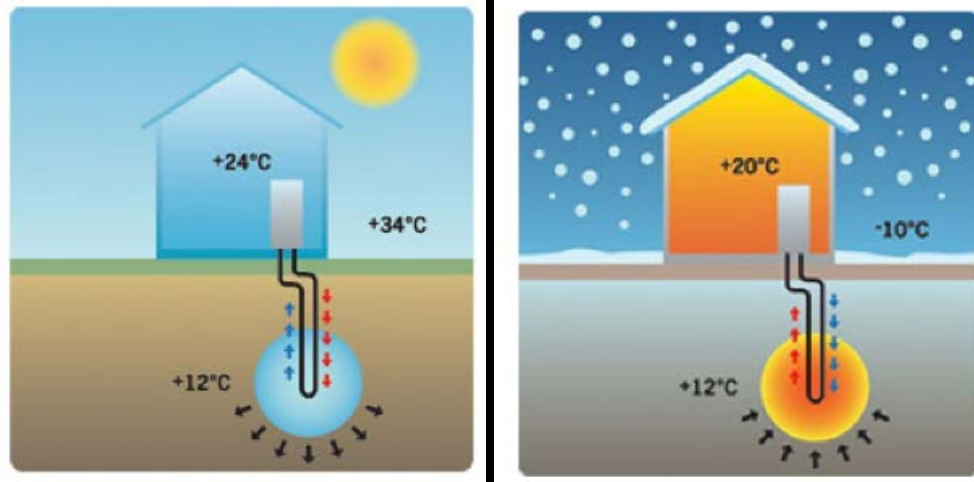
Isı pompası devresi;

İçerisinde soğutucu akışkan dolaşan, ısı pompası elemanlarından (kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kısılma vanası) oluşan düzenektir.

Isıtma devresi;

Isıtma suyunun dolaştığı radyatör ya da fan coillerden oluşan düzenektir (Caner,2018)

Isı transfer yönü ısıtma sezonu için topraktan salamuraya, soğutma sezonu içinse salamuradan toprağa şeklinde gerçekleşmektedir (Akbulut, 2012).



Şekil 2.15 Akışkan ile toprak arasındaki ısı transferinin yönü (url-12)

2.6.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) Çeşitleri

Toprak altına yerleştirilen ısı değiştiricinin yönüne göre yatay tip ve dikey tip olarak 2'ye ayrılır.

2.6.2.1 Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası

En yaygın kullanılan türdür. DTKIP genellikle toprak yüzey alanının ısıtma ya da soğutma yüklerini karşılayabilecek genişlikte olmadığı durumlarda kullanılır.

Toprak altı ısı değiştiricinin sondajlanmış uygun bir derinlik içerisine polietilen ya da polipropilen malzemeden oluşan, nominal boru çapı 25mm-40mm olan U şeklinde yerleştirilmiş borulardan oluşan sistemdir. Türkiye 'de yaygın sondaj derinliği 60m-90m iken kimi zaman 150 m'ye kadar çıkabilir (Kavanaugh ve Rafferty, 2014).



Şekil 2.16 DTKIP (url-13)

Avantajları;

- En az boruya ihtiyaç duyma
- En düşük yüzey alanına ihtiyaç duyulan sistem
- Düşük pompalama enerjisi

- Toprak sıcaklığının mevsimsel şartlardan etkilenmemesidir (url-13)

Dezavantajı;

- Sondaj ile kuyu açmak için ekstra donanım gerektirmesi
- Yüksek kurulum maliyeti (Kavanaugh ve Rafferty, 2014)

2.6.2.2 Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Yatay ısı değiştiricileri toprak altına, derinliği 1.2 m ile 1.5 m olacak şekilde yerleştirilir. Seçilecek boru uzunlukları ve çapları performansı doğrudan etkileyecektir. Çizelge 2.1 de uygulamada kullanılan boru çapları ve uzunlukları verilmiştir.

Boru apı (in)	Boru Uzunluğu (m)
3/4	≤150
1	≤230
1+1/4	≤900
1+1/2	≤1200
2	≤2500

Çizelge 2.1 Boru apı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler (Caner,2018)



şekil 2.17 YTKIP (url-14)

Avantajları;

- Kurulumu kolay ve maliyeti düşük

Dezavantajları;

- Artan yüzey alanı ihtiyacı
- Yüksek pompalama enerjisi gereksinimi
- Nispeten daha düşük performans (Caner,2018)



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Sistemin Projelendirilmesi

Çalışmamızda Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde bulunan enerji evinde soğutma gerçekleştirebilmek için, kurulumu tamamlanmış yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır.

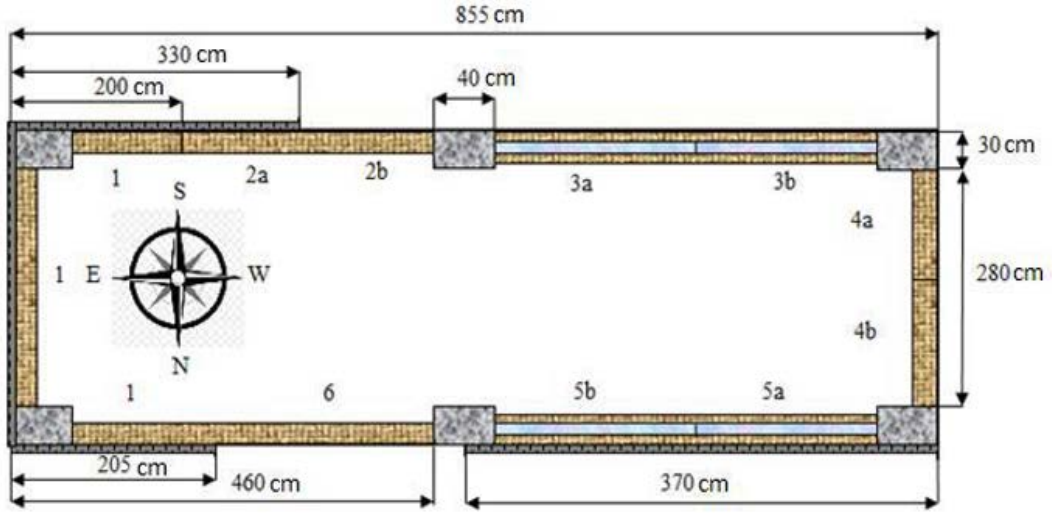
3.1.1 Enerji evi

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 (Caner,2018).



Şekil 3.1 Enerji evinin dıştan görünümü (Caner,2018)

Evin girişinde ısı pompasının bulunduğu küçük bir giriş, orta ve arka kısımda birer oda bulunmaktadır. Toprak altına yerleştirilmiş ısı değiştirici borular enerji evinin güney tarafında bulunan alana yerleştirilmiştir (Bostancı, 2017).



Şekil 3.2 Enerji evinin mimari planı (Bostancı,2017)

Mimari projede 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 taşıyünü-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)

3.2 Ön Hazırlık

Deney düzeneği Aralık 2015'te yatay tip toprak kaynaklı ısı pompalarının ısıtma analizlerini yapmak için kurulmaya başlanmıştır. 2m derinliğinde açılan çukurun farklı derinliklerinin(2m, 1,5m, 1m, 0,5m) toprak sıcaklığı termokupl yerleştirilerek düzenli olarak dış ortam sıcaklığıyla birlikte ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır.

Bu ölçümler neticesinde dış ortam sıcaklığının 0 °C altında olduğu, 2m derinlik için ölçüm değeri 11 °C, 1,5m derinlik için ölçüm değeri 9,5 °C, 1m derinlik için ölçüm değeri 7 °C, 0,5m derinlik için ölçüm değeri 3 °C olarak belirlenmiştir. Gerekli hesaplamalar yapılarak döşeme alanını 200 m², boru boyu ise 1 m² alan için 1,5 m olacak şekilde bulunmuştur.

Toprak sıcaklığının derinlikle ilişkili olduğunu daha önce ki bölümde belirtmiştik. TKIP için literatürdeki ortak kanaat 2 m’den sonra toprak sıcaklığının çok ciddi bir değişim göstermemesidir. Bizim sistemimiz de ise Sivas ilinin soğuk iklim bölgesinde olmasından kaynaklı toprak ısı değiştirici 2,5 m derinliğe yerleştirilmesine karar verilmiştir. Buna bağlı olarak 2,5 m derinliğinde, 27 m uzunluğunda ve 6 m uzunluğunda çukur kazılmıştır (Caner, 2018).



Şekil 3.3 Toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi (Caner,2018)

3.2.1 Tesisat

Kullandığımız ısı pompası, elemanları bir arada bulunan kapalı bir yapıdadır. Şekil 3.4’te ısı pompası, salamuranın sistemde dolaşmasını sağlayan sirkülasyon pompası, tesisattaki su basıncını ölçmeye yarayan manometreler, akümülyasyon tankı, genişleme tankından oluşan sistem fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Deney Düzenegi (Duman,2018)

Çizelge 3.2 Düzenekteki numaralandırmaları

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

3.3 Deney Düzenegi

Sistemimiz toprak devresi, ısı pompası devresi ve ısıtma (soğutma) devresi olarak üç devreden oluşmaktadır. Deneyde bizim için önemli olan parametreler; sıcaklık, basınç, debi, elektriksel güç belirli bir zaman aralığında düzenli olarak kaydedilmiştir.

Soğutma deneyi için 29 Haziran 2018 -17 Ağustos 2018 tarihleri arasında değerler ölçülmüştür.

Soğutma için ısı pompası kullanımı, kompresörde ki akış yönünün ve yoğuşturucu ile buharlaştırıcının işlevsel olarak tersine çalıştırılması ile sağlanabilir. Bu tersine işlem akışkanın ve ısının ters yönde hareket etmesini sağlayacaktır. Teknik açıdan bakıldığında dört yollu vananın soğutma çevrimine dâhil edilmesi ile amacımıza ulaşabiliriz. Dört yollu vana tüm sistemin akış yönünü tersine çevirir.

Soğutma için akım yönü dört yollu vana yardımı ile tersine döndürülür. Yoğuşturucu, buharlaştırıcı olmuştur ve ortamdaki aldığı ısıyı soğutucuya aktarır. Gaz fazına geçen soğutucu akışkan kompresöre dört yollu vana yardımı ile getirilir ve ısını dışarı atacak olan yoğuşturucuya ulaşır (url-15).

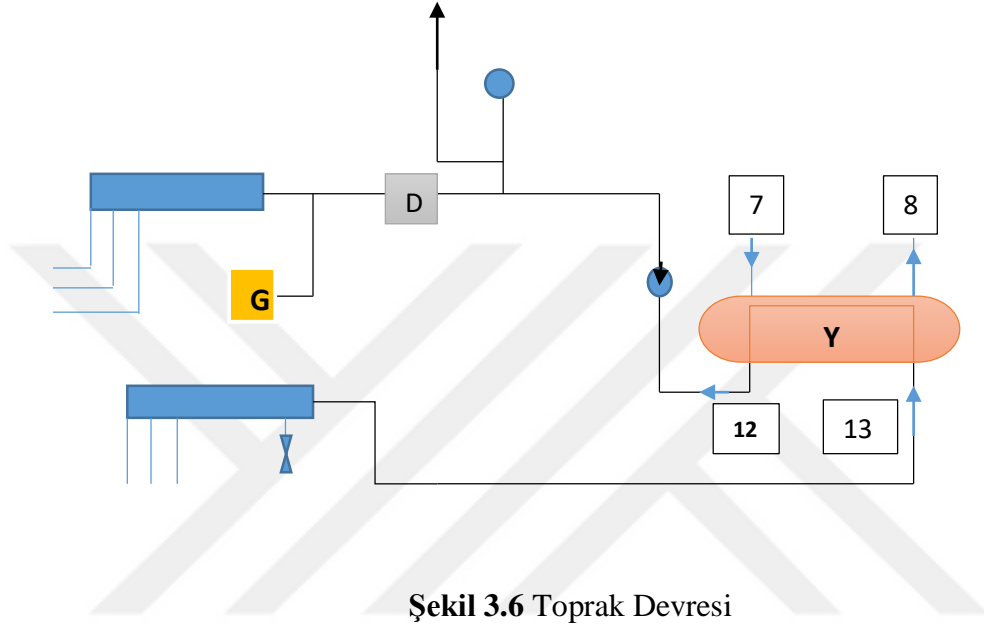
Gerçek çevrimi ideal çevrimden ayıran önemli bir detay vardır. Buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkan soğutucu akışkanın kompresöre girişi esnasında bir miktar daha kızdırılması gerekir. Bunun sebebi karışımda var olabilecek sıvı halin, kompresör sistemine zarar vermesini engelleyebilmek içindir. Böylelikle soğutucu akışkan bir miktar daha kızdırılarak ve sıvı ayırıcıdan geçirilerek, tam anlamıyla buharlaşmasının sağlanır. Şekil 3.5 'te belirtildiği üzere; soğutucu akışkan 3 hali ile buharlaştırıcıdan kızgın buhar olarak çıkar. Dört yollu vana vasıtasıyla akışkanı kompresör emme hattına ulaştırır. Buradan 4 yolunu izleyip, sıvı ayırıcıdan çıkıp, 5 yolunu izleyerek kompresöre kızgın buhar halinde girer. Soğutucu akışkan kompresöre girince yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Artan basınç ve sıcaklıkla 6 yolundan kompresörden çıkar. Soğutucu akışkan dört yollu vananın basma hattını takip ederek 7 yoluyla yoğuşturucuya ulaşır. Burada soğutucu akışkan sistemde dolaşan salamuraya ısını aktararak tam bir yoğuşma sağlar. Bunun gerçekleşebilmesi için akışkanın kısılma vanasına girmeden önce aşırı soğutulmasını sağlamak gerekir. Bu basıncı ve sıcaklığı kısılma vanasında azaltılan akışkan, 9 yoluyla buharlaştırıcıya, daha düşük entalpide girdiğinden, ortamdaki daha fazla ısı çekilecektir. Soğutulacak ortamdaki akışkana olan ısı transferi ile buharlaştırıcıda buharlaşma gerçekleşir. Buharın kompresöre dönmesi ile çevrim tamamlanmış olur.

Çizelge 3.3 Şemadaki kısaltmaları

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

3.3.1 Toprak devresi

Daha önce sistemi anlatırken 3 devreden oluştuğundan bahsetmiştik. Toprak devresi; toprak altına yerleştirilmiş ısı değıştirciler, sirkülasyon pompası, debi ölçer, genleşme tankı ve kollektör den oluşur. Isı pompamızla ısıtma yaparken buharlaştırıcı olarak kullandığımız ısı değıştircimiz, soğutma sisteminde yoğuşturucu işlevi görecektir. Şekil 3.6 da toprak devresi şeması verilmiştir.



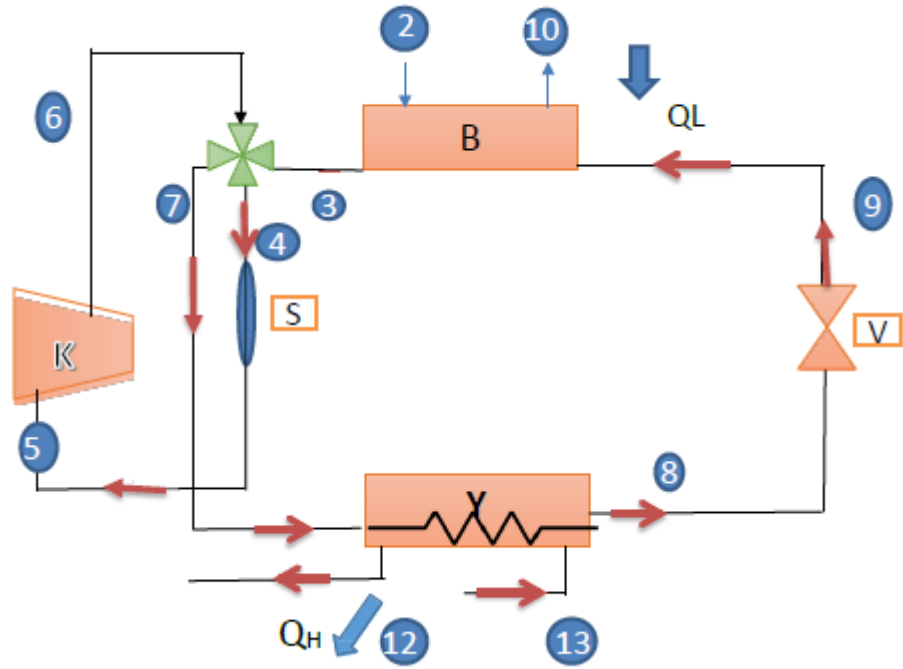
Şekil 3.6 Toprak Devresi

Şekil 3.6'da gösterilen toprak devresi;

- 7: yoğuşturucuya giren soğutucu akışkan
- 8: yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkan
- 12:soğutucu akışkanın ısınımlı alan salamura
- 13:toprağla ısınımlı bırakan salamura

3.3.2 Isı pompası devresi

Kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kısımlı vanası ve sıvı ayrıştırmacı, dört yollu vana, filtre, kılcal boru, by-pass vanasından oluşan devredir. Tesisatın şematik gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Isı pompası hattı

- 5: Soğutucu akışkan kızgın buhar olarak kompresöre girer
- 6: Soğutucu akışkan basınç ve sıcaklığı artarak kızgın buhar fazında kompresörden çıkar
- 7: Dört yollu vananın basma hattından giren kızgın buhar yoğuşturucuya girer
- 12: sıcaklığını soğuk salamuraya aktaran soğutucu akışkan
- 13: sıcaklığını salamuraya aktaran soğutucu akışkan
- 8: Tam yoğuşması sağlanmış soğutucu akışkan
- 9: Buharlaştırmaya düşük entalpi ile giren soğutucu akışkan
- 10: Buharlaştırmadan akümülyasyon tankına gönderilen soğuk su
- 2: Akümülyasyon tankından buharlaştırmaya dönen su
- 3: buharlaştırmadan kızgın buhar olarak çıkıp dört yollu vananın emme hattına giren kızgın buhar
- 4: kurutulmak için sıvı ayırıcıya giren kızgın buhar
- 5: Düşük basınçla kompresöre giren kızgın buhar
- K: Kompresör
- Y: Yoğuşturucu

- B: Buharlaştırıcı
- V: Kısılma vanası
- S: Sıvı ayırıcı

Teknik değerler Çizelge 3.4’te verilmiştir.



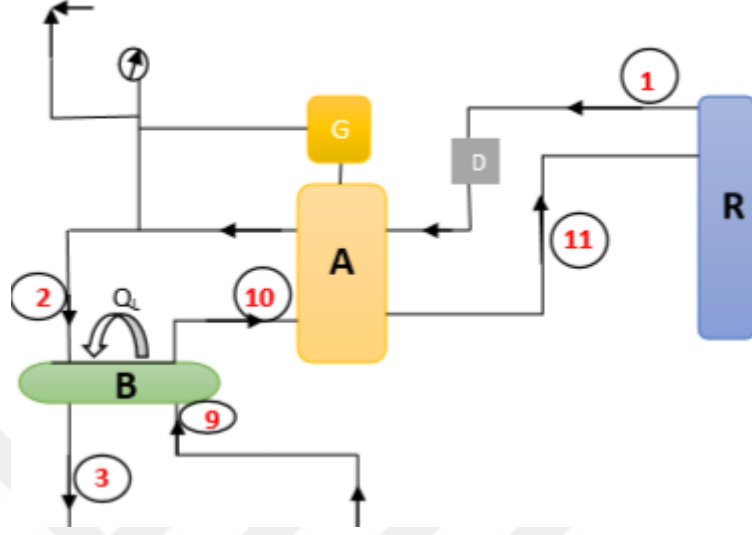
Şekil 3.8 Denede kullanılan ısı pompası (Restherma Ürün Kataloğu)

Çizelge 3.4 Teknik veriler

SOĞUTMA	Nominal kapasite	8.5 kW
	EER	4.29
	Maksimum çıkış suyu sıcaklığı	7 °C
	Soğutucu akışkan	R410a
	Kompresör tipi	Scroll

3.3.3 Soğutma devresi

Soğutma devresi; radyatör, sirkülasyon pompası (2 adet), akümülayon tankı ve kalorimetreden oluşmaktadır. Enerji evinde toplam 3,6 m radyatör bulunmaktadır. Soğutma devresinin şeması şekil 3.9 ‘da verilmiştir.



Şekil 3.9 Soğutma Devresi

- 9: Buharlaştırıcıya düşük entalpi ile giren soğutucu akışkan
- 10: Buharlaştırıcıdan akümüstasyon tankına gönderilen soğuk su
- 11: Akümüstasyon tankından radyatörlere ulaştırılan soğuk su
- 1: Radyatörden çıkıp akümüstasyon tankına dönen su
- 2: Akümüstasyon tankından buharlaştırıcıya dönen su
- 3: buharlaştırıcıdan kızgın buhar olarak çıkıp dört yollu vananın emme hattına giren kızgın buhar

3.4 Deneyde Yapılan Ölçümler

Soğutma deneyi için 29 Haziran 2018 -17 Ağustos 2018 tarihleri arasında sıcaklık, basınç ve debi ile sirkülasyon pompasının ve sistemin güç tüketimleri de ölçülmüştür.

3.4.1 Sıcaklık Ölçümleri

Toprak, soğutucu akışkan, dış ortam, soğutma suyu ve salamura sıcaklıkları düzenli olarak ölçülmüştür. İç ortam sıcaklığı iki farklı noktadan ölçülüp ortalaması alınmıştır. Dış ortam sıcaklığı ise 3 noktadan ölçülerek ortalamaları hesaplanmıştır. Ölçüm aracı T

tipi bakır(Cu)-nikel(Ni) termokupllardır. Toprak sıcaklığının ölçümünü yapabilmek için K tipi ve T tipi termokupllar kullanılmıştır.

Ölçülen sıcaklık değerleri Agilent marka 34970A model veri toplama ünitesinde (datalogger) kaydedilmiştir. Kullanmış olduğumuz datalogger K ve T tipi termokupllarla kullanılabilen, ölçümleri bilgisayar hafızasına kayıt edebilen bir ünedir. Cihaz 20 ölçüm kanalına sahip ve ölçüm hassasiyeti ± 1 °C 'dir. Kullanılan iki modül ve datalogerin görüntüleri ile ölçüm parametreleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.10 Datalogger ve modül

Çizelge 3.5 Sistemde yapılacak sıcaklık ölçümleri

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

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 akümülyasyon tankına girişi sıcaklığı
Suyun akümülyasyon tankından çıkış sıcaklığı
Akümülyasyon tankı sıcaklığı

3.4.2 Basınç ölçümü

Yüksek ve alçak basınç değerlerinin ölçümünü yapabilmek için kompresör giriş-çıkışına manometreler yerleştirilmiştir. Manometrelerin görüntüsü Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Manometreler

3.4.3 Debi ölçümleri

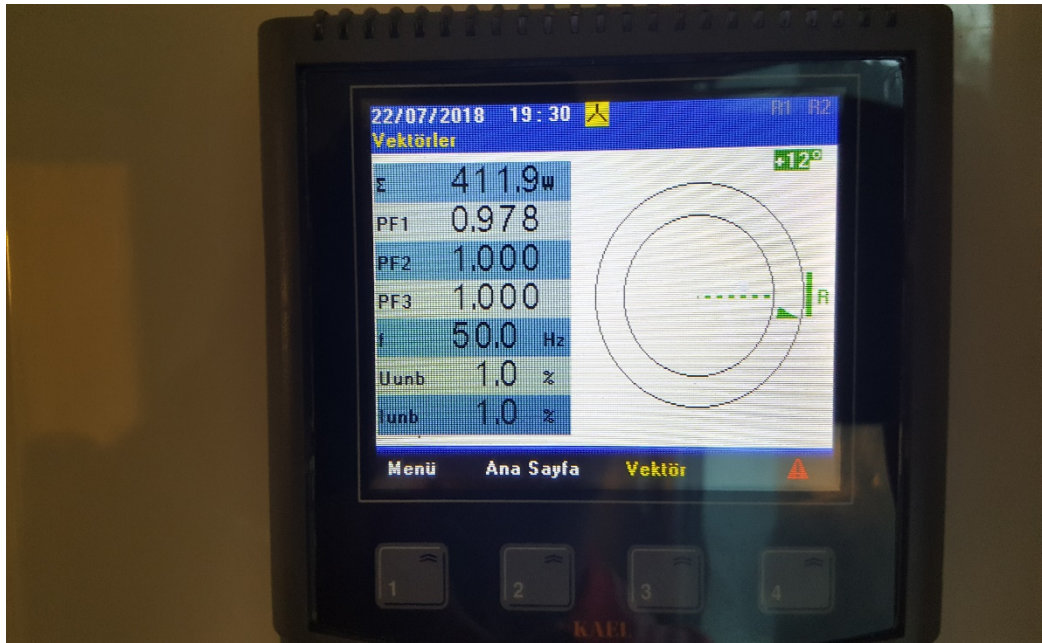
Toprak altında ki ısı değiştiricide dolaşan salamuranın ve soğutma sularının debileri ölçülmüştür. Soğutma suyunun debi ölçümünü CF-UltramaXX MK ultrasonik termal enerji sayacı ile ölçtük (hassasiyet EN1434 class2-3) (Şekil3.12)



Şekil 3.12 Ultrasonik termal enerji sayaç

3.4.4 Güç ölçümleri

Sirkülasyon pompası ve ısı pompasının tükettiği gücün ölçümü ve kaydı KAEL firması tarafından üretilmiş olan multiser-02-pc-tft şebeke analizörü tarafından tapılmaktadır. Hassasiyeti $\pm\% 1$ 'dir. Analizörün görseli şekil 3.13 'te verilmiştir.



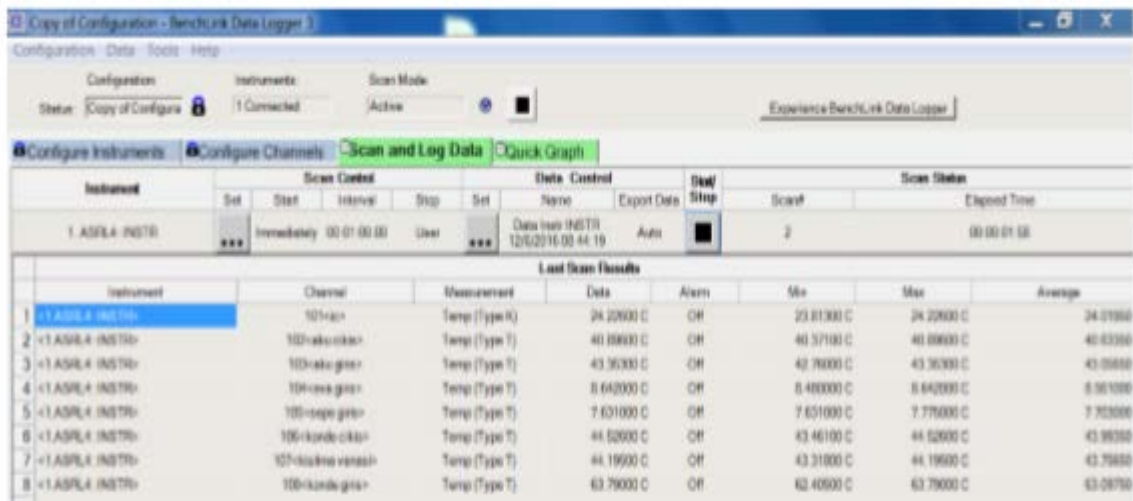
Şekil 3.13 Şebeke analizörü

3.5 Kullanılan Yazılımlar

Ölçümlerin depolandığı, bilgisayara aktarımın sağlanabildiği programlar aşağıda anlatılmıştır.

3.5.1 Benchlink datalogger 3

Veri toplama ünitesine ait bir yazılımdır. Veri depolanması, tablo oluşturulması ve verilerin bilgisayar ortamına aktarılması bu yazılım sayesinde. Kayıt periyotları ünite üzerinden ayarlanabilmektedir. Yazılımdan .csv uzantısında alınan kayıt dosyaları Microsoft Excel programına aktarılarak düzenlemeler yapılmıştır.

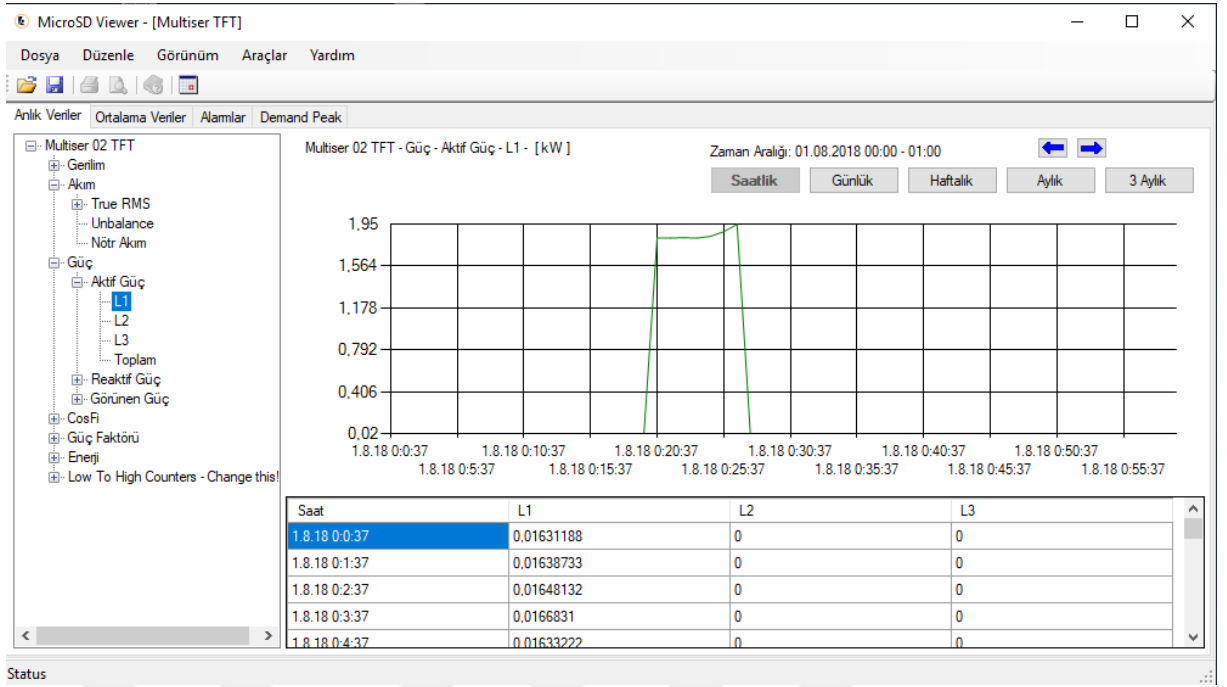


Instrument	Channel	Measurement	Data	Alarm	Min	Max	Average
1 ASPL4 INSTR	101+air	Temp (Type R)	24.2000 C	Off	23.81000 C	24.2000 C	24.01960
+1 ASPL4 INSTR	102+aksu-otak	Temp (Type T)	40.8800 C	Off	40.57100 C	40.8800 C	40.63360
+1 ASPL4 INSTR	103+aksu-gro	Temp (Type T)	43.3500 C	Off	42.78000 C	43.3500 C	43.06680
+1 ASPL4 INSTR	104+aksu-gro	Temp (Type T)	8.64000 C	Off	8.480000 C	8.642000 C	8.561000
+1 ASPL4 INSTR	105+sope-gro	Temp (Type T)	7.631000 C	Off	7.651000 C	7.775000 C	7.703000
+1 ASPL4 INSTR	106+kande-otak	Temp (Type T)	44.52000 C	Off	43.46100 C	44.52000 C	43.99350
+1 ASPL4 INSTR	107+kande-otak	Temp (Type T)	44.19000 C	Off	43.31000 C	44.19000 C	43.79850
+1 ASPL4 INSTR	108+kande-gro	Temp (Type T)	63.79000 C	Off	62.40600 C	63.79000 C	63.08750

Şekil 3.14 Datalogger programı ara yüzü ekran görüntüsü

3.5.2 Kael viewer

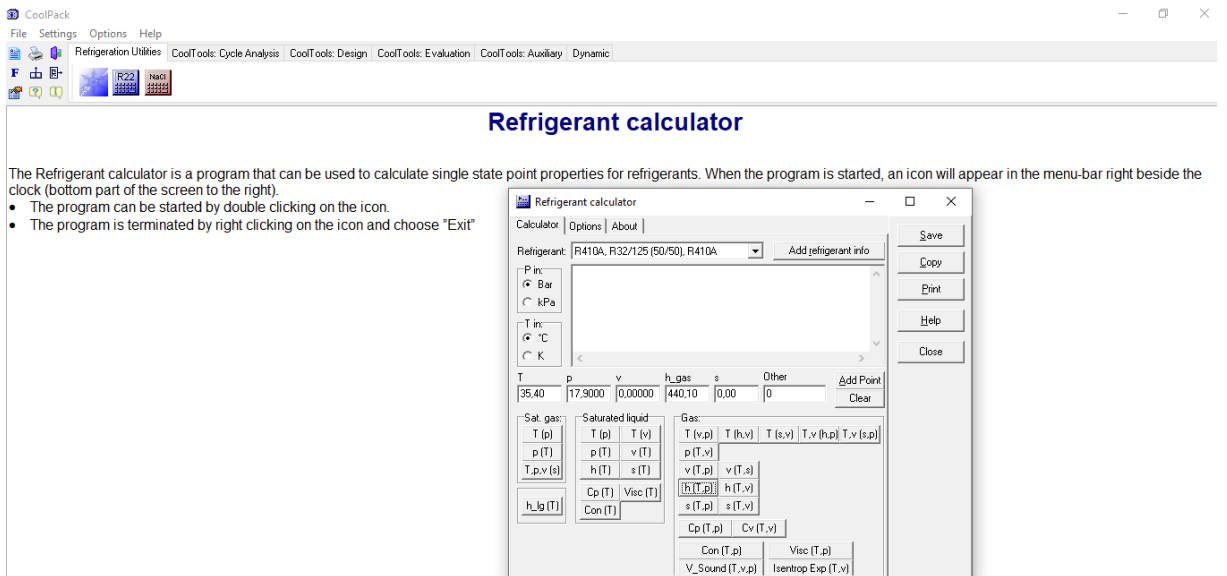
Sistemin çalışması için gerekli olan gücün ve enerjinin verilerini periyodik olarak hafıza kartına kayıt depolayan bir programdır. Sirkülasyon pompasının, kompresörün ve şebeke analizörünün tükettiği güçler depolanabilir. Şekil 3.15'te analizörün ekran görüntüsü şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15 Güç verileri ekran görüntüsü

3.5.3 Cool pack

Soğutucu akışkanların bilinen özelliklerinin ışığında, akışkanın termodinamik özelliklerinin hesaplanabildiği pratik bir programdır. Cool pack programında sistemde kullandığımız soğutucu akışkan R410A'nın pompanın çalışmaya başladığı andan durduğu ana kadar entalpi değerleri hesaplanmıştır. Ekran görüntüsü şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16 Cool pack programı ekran görüntüsü

3.5.4 Microsoft excel

Diğer program ve yazılımlardan toplanan veriler Excel programına aktarılarak daha rahat kullanım sağlanmıştır. Kayıtların ortalama değerleri hesaplanarak entalpi değerleri, buna bağlı olarak ta sistemin ve ısı pompasının COP değerleri termodinamik formüller kullanılarak analiz edilmiştir. Ekran görüntüsü şekil 3.17’de verilmiştir.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
7	23,97633333	21,28233333	8,165666667	7,168166667	32,59983333	5,7565	6,613166667	34,96016667	32,81566667				
8	23,73483333	21,25916667	7,8235	6,945166667	32,79766667	5,521333333	6,358166667	35,16483333	30,478				
9	23,37457143	21,52785714	8,238285714	7,745	31,98714286	6,157571429	7,521285714	34,66857143	28,87014286				
10	23,21416667	21,482	7,734833333	7,325666667	32,609	5,879166667	6,791	35,02233333	27,42433333				
11	23,33983333	21,3395	7,510666667	7,206666667	32,75916667	5,647166667	6,679333333	35,15366667	22,43633333				
12	22,8875	20,96333333	6,928166667	6,817666667	32,89033333	5,277333333	6,274	35,276	18,673				
13	22,79008333	20,84605556	6,818194444	6,740777778	32,91155556	5,314555556	6,147	35,278	17,2195				
14	22,589	21,02766667	6,927166667	6,9725	32,7915	5,554	6,4315	35,24283333	15,84766667				
15													
16													
17	17,92 bar	Alçak Basıç=8.60 bar											
18													
19													
20	Komp Giriş	Komp Çıkış	Buharlaştırıcı Giriş	Buharlaştırıcı Çıkış	Kısıtlama Giriş	Kısıtlama Çıkış	Yoğuş giriş	Yoğuş Çıkış	GÜÇ TÜKETİMİ	POMPA TÜKETİMİ	QL	COP	COPs
21	428,6	441,26	230,37	428,65					1,683239	0,405	7,732282	4,593692	3,702776
22	428,08	440,71	232,35	428,78					1,716	0,405	7,639519	4,451934	3,601848
23	429,16	439,92	234,47	429,57					1,695555	0,405	7,532824	4,442689	3,586111
24	428,88	439,76	235,06	429,38					1,675953	0,405	7,505326	4,478243	3,606677
25	429,56	439,25	235,17	429,8					1,655192	0,405	7,482593	4,52068	3,631988
26	428,82	439,61	235,17	429,31					1,686294	0,405	7,495793	4,445128	3,584284
27	428,6	439,82	234,84	429,11					1,689041	0,405	7,515592	4,449621	3,589038
28	429,62	439,3	235,31	429,82					1,687201	0,405	7,479293	4,432959	3,574845
29	428,98	439,67	235,23	429,45					1,701379	0,405	7,495793	4,405716	3,558615

Şekil 3.17 Excel ekran görüntüsü

3.6 Deneysel Başlangıcı

Soğutma deneyimiz 29 Haziran 2018 ile 17 Ağustos 2018 tarih aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu aralıkta sistem kesintisiz çalıştırılmış olup bazı günlerde bilgisayar kaynaklı yada elektrik kesintisi sebebiyle tam kayıt alınamamıştır.

Sıcaklık ölçümleri datalogger, elektriksel ölçümler ise şebeke analizörü sayesinde sistem çalıştığı sürece otomatik olarak kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında hesaplamalar ve analizler yapılmıştır.

3.6.1 Deneysel verilerin değerlendirilmesi

Deneyde buharlaştırıcıdan çekilen ısı, toprağa atılan ısı, ısı pompası ve sistemin etkinlik katsayıları (COP_{IP} , COP_S) hesaplanmıştır.

Toprak altı ısı değiştiricisi için, toprağa atılan ısı değeri 3.0 formülü ile hesaplanacaktır.

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{sa} c_{sa} (T_{sa,d} - T_{sa,g}) \quad [3.0]$$

\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 karışımıdır ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerektiği için literatürden elde edilen grafik ve denklemler kullanılabilir.

Salamura yoğunluğu daha önceki çalışmalarda denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır

(M. Conde Engineering, 2011).

$$Px = A_1 + A_2 \xi + A_3 \frac{273,15}{T} + A_4 \xi \frac{273,14}{T} + A_5 \xi \left(\frac{273,15}{T} \right)^2 \quad [3.1]$$

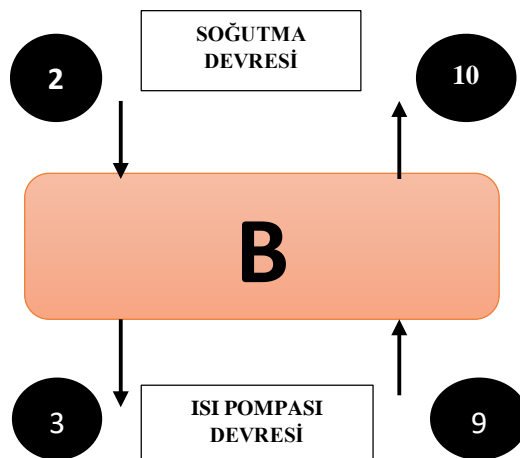
Px : Hesaplanacak Özellik

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

ξ : Karışımda ki etilen-glikol oranı

Buharlaştırıcıdan aktarılan ısı denklemi ;

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_{R410A} * (h_9 - h_3) \quad [3.2]$$



Şekil 3.18 Buharlaştırıcı

\dot{Q}_b : Buharlaştırıcıda aktarılan ısı (kW)

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

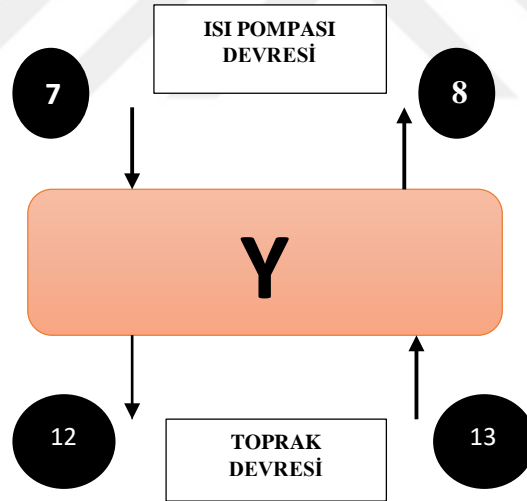
h_9 : Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdan giriş entalpisi (kJ/kg)

h_3 : Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya çıkış entalpisi (kJ/kg)

Soğutucu akışkan debisi yoğuşturucu için oluşturulan enerji dengesi denkleminde bulunmuştur. Soğutucu akışkan R410A'nın debisi kapalı sistem olduğundan sabit kabul edilmiştir (Caner,2018)

Kısılma vanası ile buharlaştırıcı sistemde birbirine yakın olduğundan ikisi arasında ki sıcaklık ve basınç düşüşü hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

Yoğuşturucu çıkışı buharlaştırıcı girişine ve yine buharlaştırıcı girişi kompresör girişine termodinamik değerler olarak eşit kabul edilmiştir. Soğutucu akışkanın çevrimi esnasında ki boru kayıpları ihmal edilmiştir.



Şekil 3.18 Yoğuşturucu

Yoğuşturucu için enerji dengesi denklemi;

$$\dot{m}_{R410A} \times (h_7 - h_8) = \dot{m}_{sa} \times C_{sa} \times (T_{sa,g} - T_{sa,d}) \quad [3.3]$$

$$\dot{m}_{R410A} = \frac{\dot{m}_{sa} \times C_{sa} \times (T_{sa,g} - T_{sa,d})}{(h_7 - h_8)} \quad [3.4]$$

Bulduğumuz değer 3.1 denkleminde yerine yazılınca buharlaştırıcıdan aktarılan ısı hesaplanmış olur. COP değerini hesaplayabilmek için kompresörün güç tüketim değeri hesaplanır.

$$\text{COP} = \dot{Q}_b / \dot{W}_{\text{komp}} \quad [3.5]$$

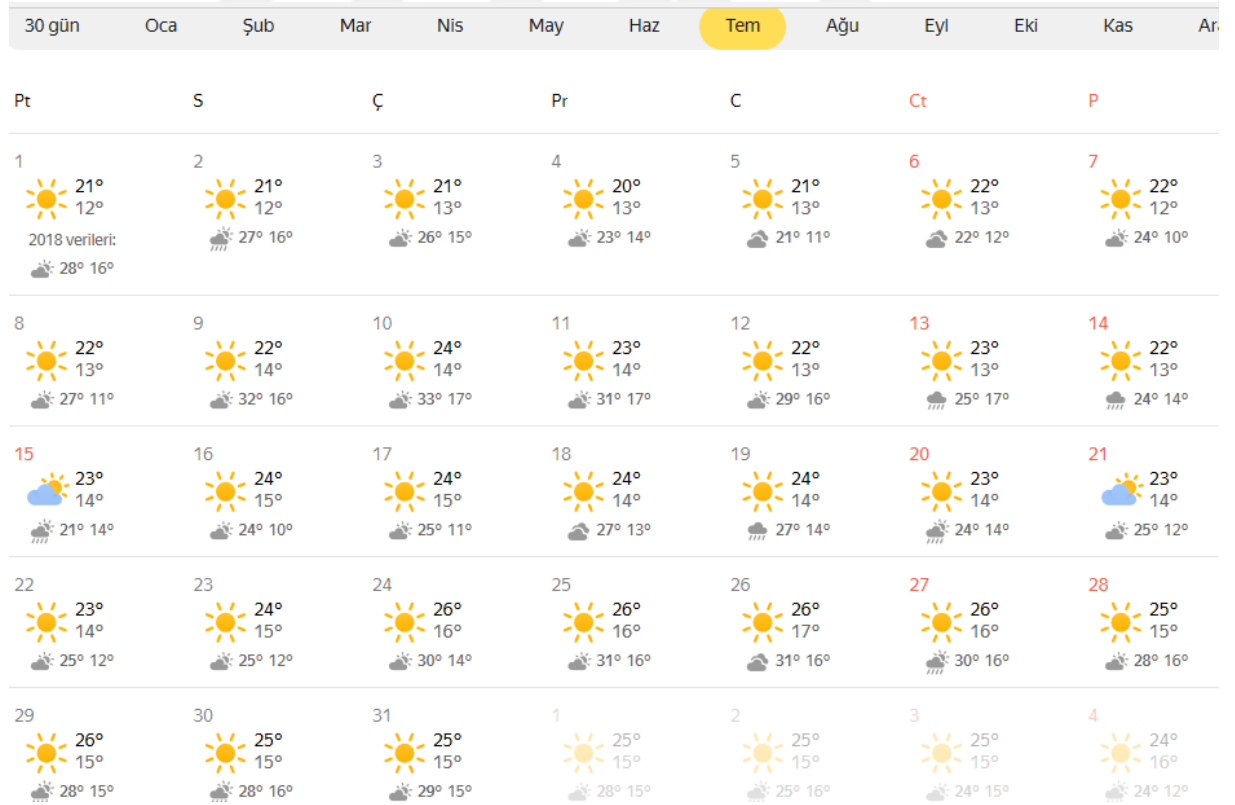
$$\text{COP}_s = Q_b / \dot{W}_{\text{komp}} + W_{\text{pomp}} \quad [3.6]$$

\dot{W}_{komp} : Kompresörün tükettiği güç değeri

W_{pomp} : Üç adet sirkülasyon pompasının tükettiği toplam güç.

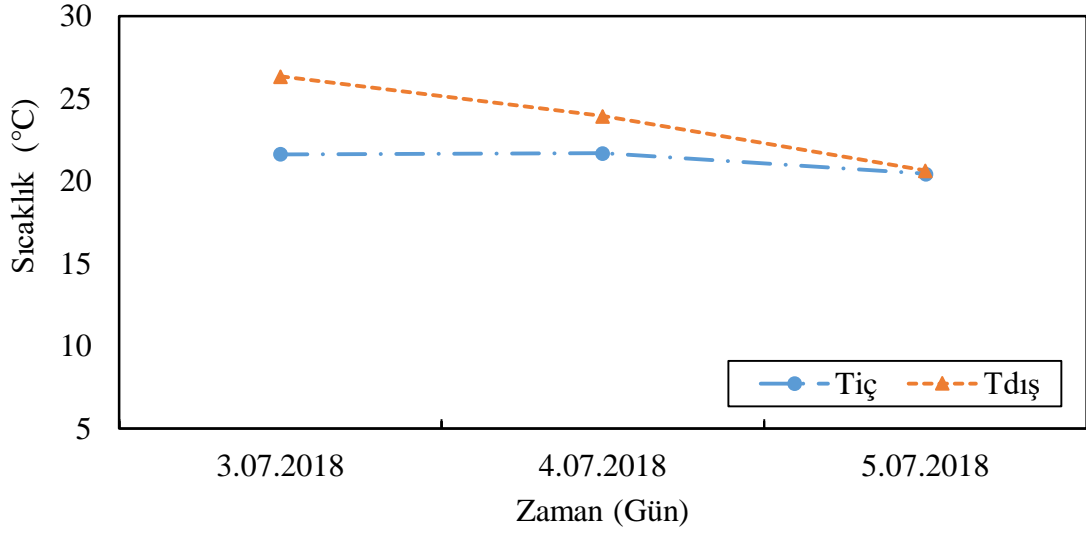
4. DENEYSSEL BULGULAR

Önceki bölümlerde izah edilen yazılımlar, programlar, denklemler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, mahalden çekilen ısı, ısı pompasının ve sistemin COP değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler 29.06.2018 tarihinde başlamış 17.08.2018 bitmiştir. Hesaplama ve grafiklerde baz aldığımız değerler temmuz ayına aittir. Temmuz ayını alma sebebimiz; Sivas ili şartlarında temmuz ve ağustos ayı dış ortam sıcaklığı ortalamasının en fazla olduğu aydır. Dolayısıyla soğutmaya da en fazla bu aylarda ihtiyaç duyulur. 3 Temmuzdan başlayıp 31 Temmuz'a kadar olan süreci değerlendirdiğimizde 15 günlük verinin tam olarak kaydedildiğini gördük. Eksik kayıt alan günler elektrik kesintisine bağlı olarak ya da veri kayıt işleminin gerçekleştirildiği bilgisayardaki sistemsel hatalardan kaynaklıdır. Gün içerisinde Sivas şartlarında soğutma ihtiyacının en fazla olduğu saatler 08:00 ile 20:00 arasındaki verilerle hesaplama yapılmış, grafikler yine bu aralıkta çizilmiştir. Verilerin ilk 3 günü, ay ortasında ki 3 gün ve ay sonu 3 gün ortalama değerleri ile grafikler değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Temmuz 2018 dış ortam sıcaklıkları (url 16)

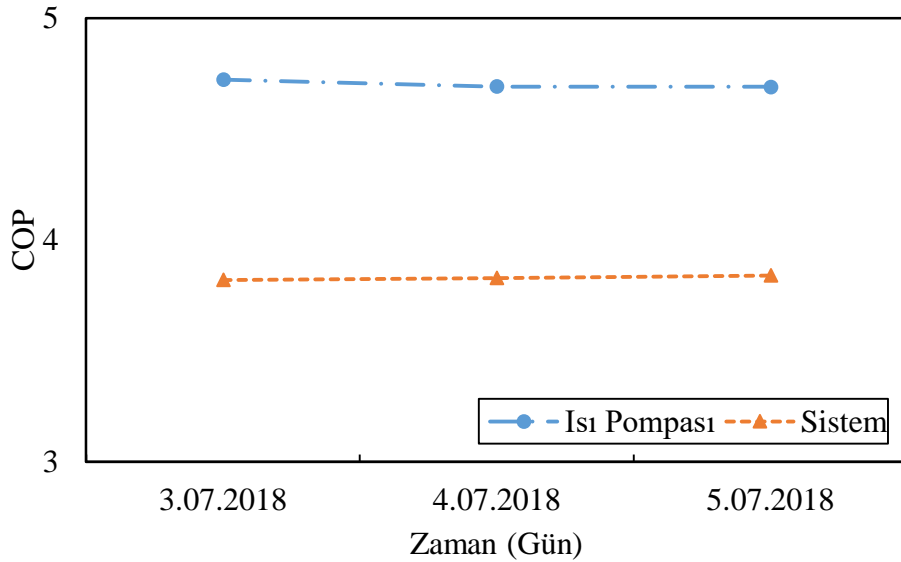
Şekil 4.2’de 3-4-5 Temmuz 2018 tarihinde iç ortam sıcaklığının ve dış ortam sıcaklığının zamana bağlı olarak gün içindeki değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.2 3-4-5 Temmuz iç ve dış ortam sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

3 Temmuz 2018 tarihinde, ölçüm yaptığımız aralıkta üç günün ortalamasında dış ortam sıcaklığı 23,63°C ile iç ortam sıcaklığı 21,24 °C ölçülmüştür.

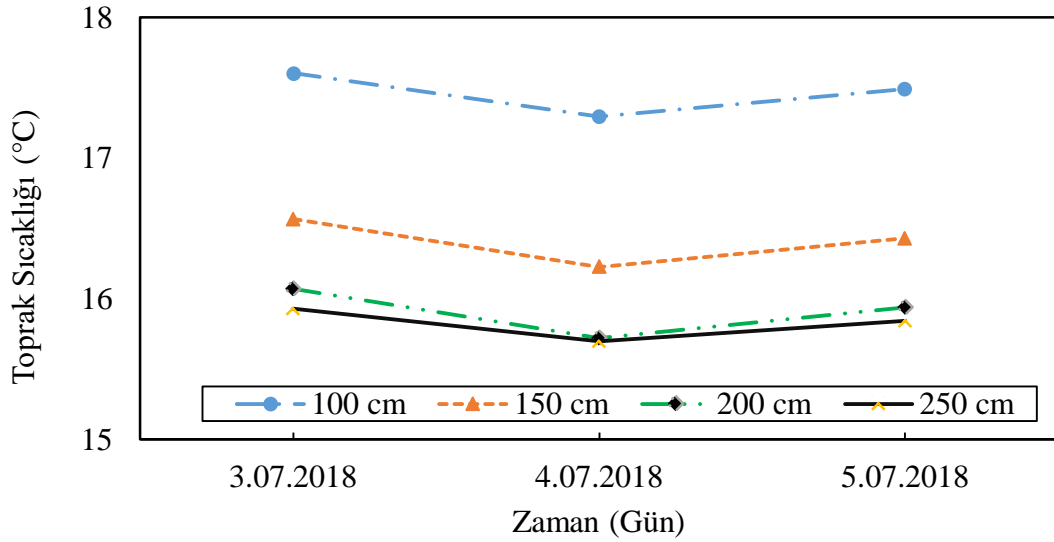
Şekil 4.3’te 3-4-5 Temmuz tarihinde ısı pompası ve sistemin etkinlik katsayılarının (COP_{İP}, COP_S) zamana bağlı gün içindeki değişimi verilmiştir.



Şekil 4.3 3-4-5 Temmuz tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

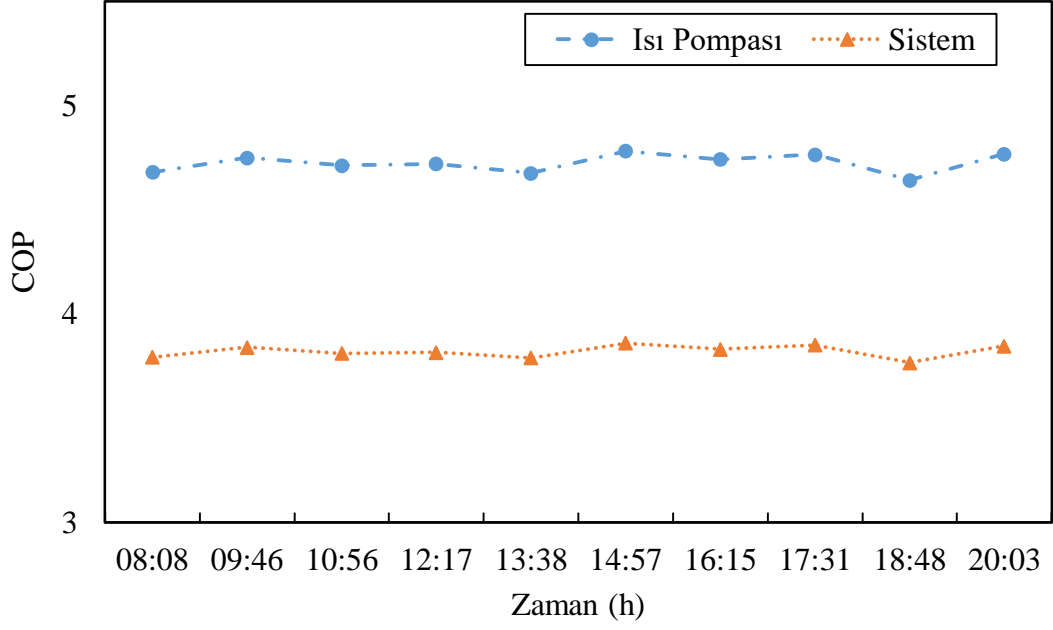
COP_{İP}'nin 3 günde ölçülen en yüksek değeri 3 Temmuz'da olup değeri 4,72 tür. Sistem için en yüksek değere ulaştığımız gün 3,84 ile 5 Temmuz'dur. Günler içinde ortalama değerler ise; COP_{İP}= 4,70 ve COP_S=3,82 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.4 Grafikte 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm derinliklerdeki toprak sıcaklıklarının gün içerisindeki değişimleri verilmiştir. Tüm derinliklerde ölçüme başlanılan sabah saatindeki değerler ölçümün en yüksek değeridir. 100 cm'lik derinlik için değer ortalama değer 17,46 °C' dir.150 cm ortalaması 16,4 °C' dir. 200 cm için ortalama değer 15,91 °C ve 250 cm için ortalama değer 15,82 °C ile günlerin en az sıcaklığa sahip değeridir. Derinlik arttıkça grafiklerde ki lineerlik te artmaktadır ve değişim en aza inmiştir.

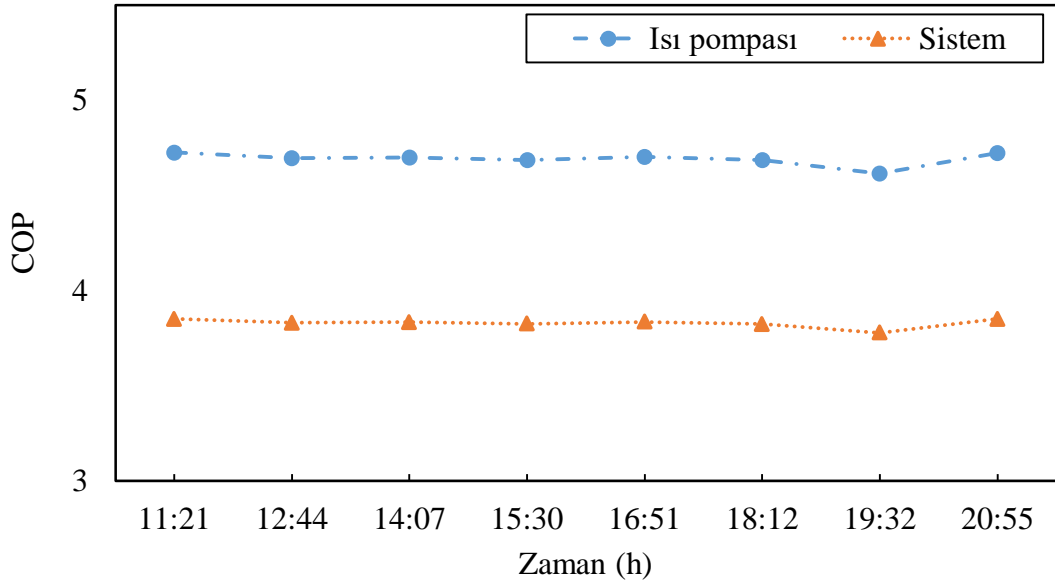


Şekil 4.4 Toprak sıcaklıklarının zamanla değişimi

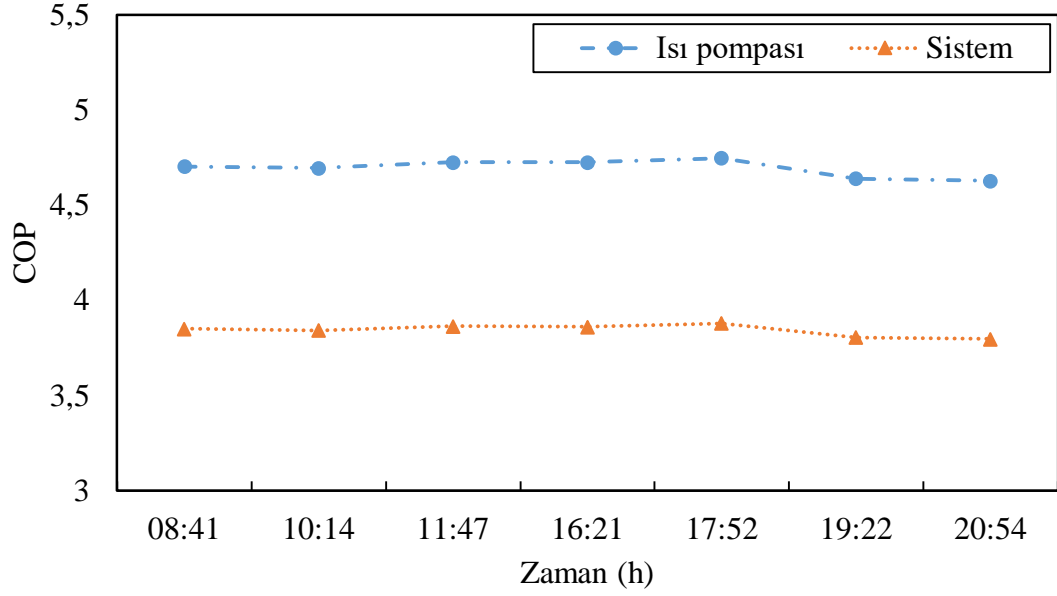
Şekil 4.5'te ölçümün ilk günü olan 3 Temmuz tarihinin saate göre COP değişim grafiği verilmiştir. Isı pompası ve sistem COP değerleri gün içerisinde neredeyse değişiklik göstermemiştir.



Şekil 4.5 3 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

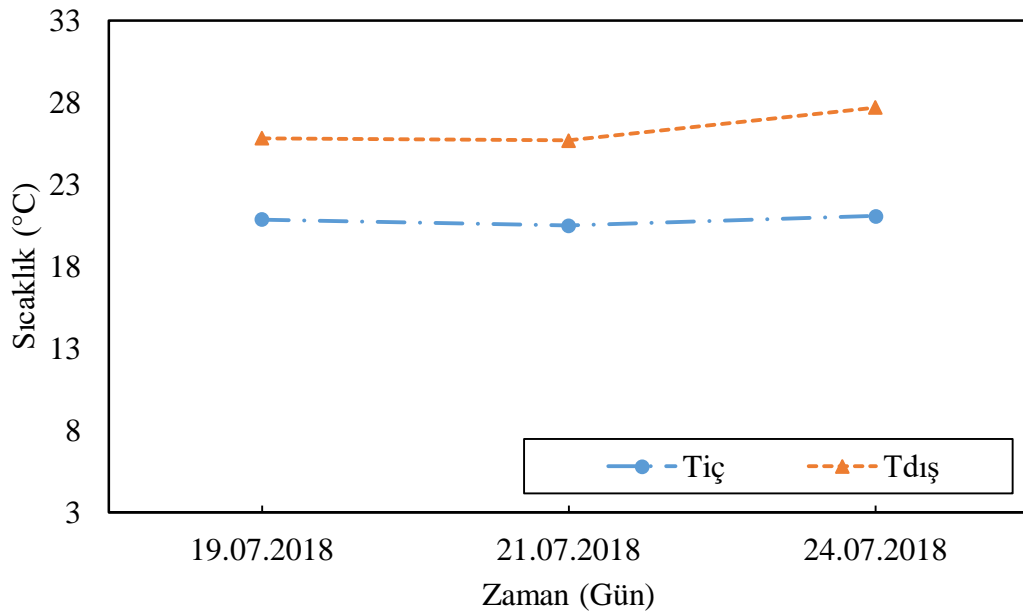


Şekil 4.6 4 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi



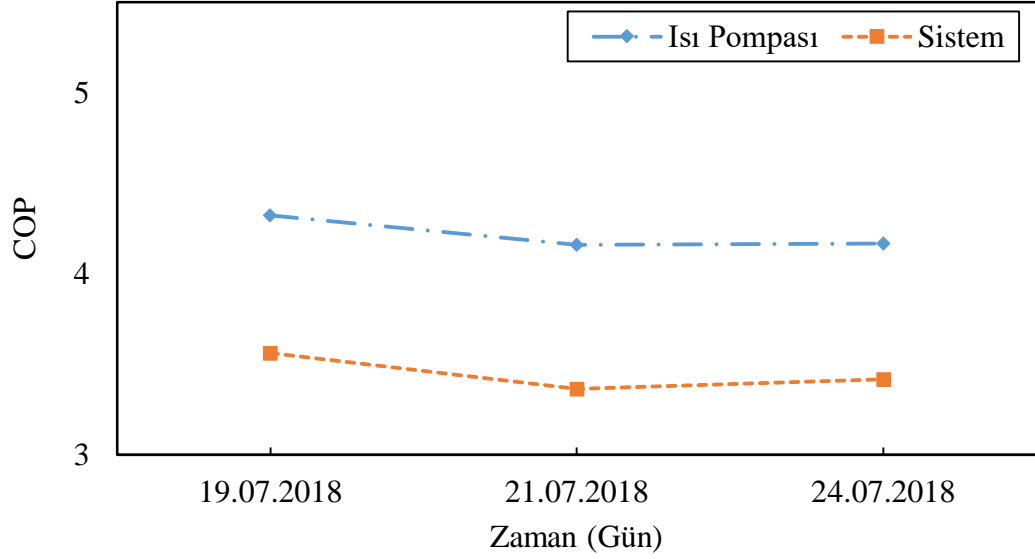
Şekil 4.7 5 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

Şekil 4.8’te İkinci periyot olarak nitelendirdiğim 19-21-24 Temmuz 2018 tarihleri arasında iç ve dış ortam sıcaklık değişimleri verilmiştir. Burada; ölçüm yaptığımız aralıkta üç günün ortalamasında dış ortam sıcaklığı en yüksek 27,69°C ile en yüksek iç ortam sıcaklığı 21,06 °C 24 Temmuz günü ölçülmüştür. Üç günün ortalama sıcaklıkları $T_{iç}=20,67$ °C ve $T_{dış}=25,74$ °C olarak ölçülmüştür.



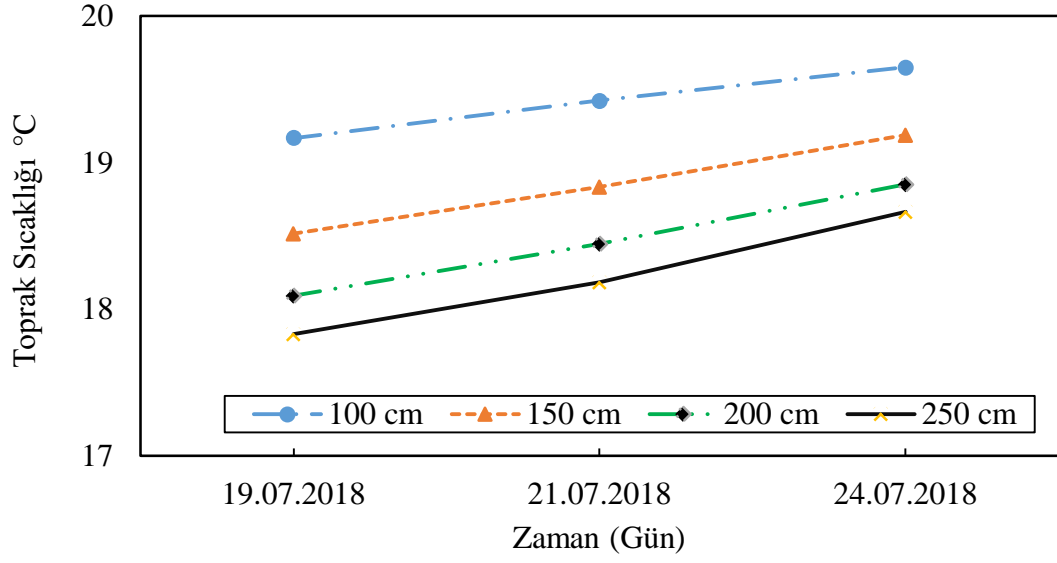
Şekil 4.8 19-21-24 Temmuz sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.9’da 19-21-24 Temmuz tarihlerinin ortalamasına bağlı hesaplanan COP değerlerinin günlere göre değişim grafiği verilmiştir. 3 günün ortalama değerleri $COP_{ip}=4,24$ ve $COP_s=3,46$ olup en yüksek değer 4,32 ile 3,56 ile 19 Temmuz tarihinde ölçülmüştür, en düşük değer ise 4,16 ile 3,36’dır ve bu değerler 21 Temmuz tarihinde alınmıştır.

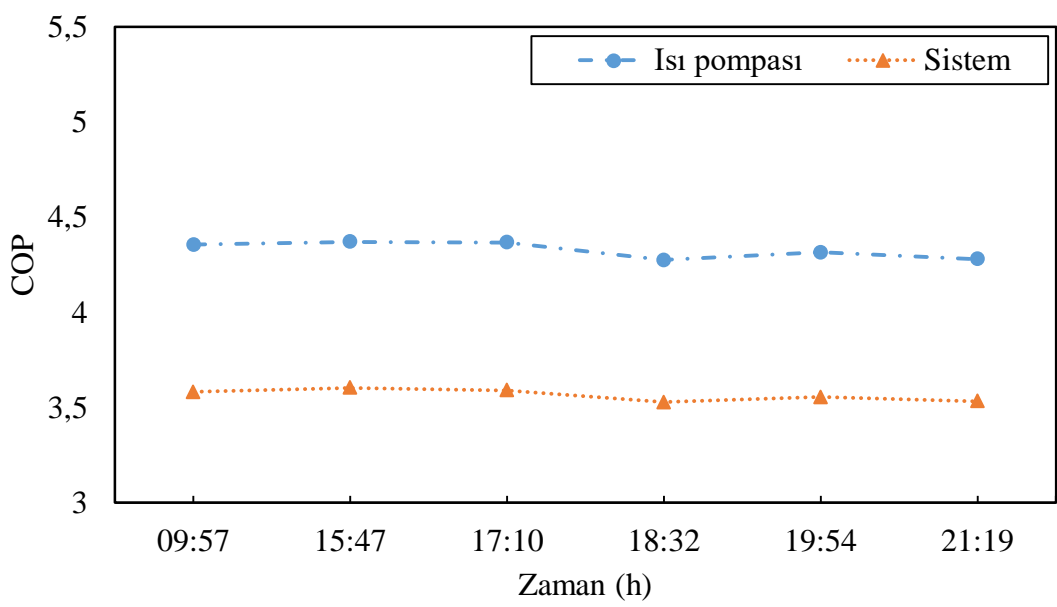


Şekil 4.9 19-21-24 Temmuz 2018 tarihlerinde ki ortalama COP değerlerinin zamanla değişimi

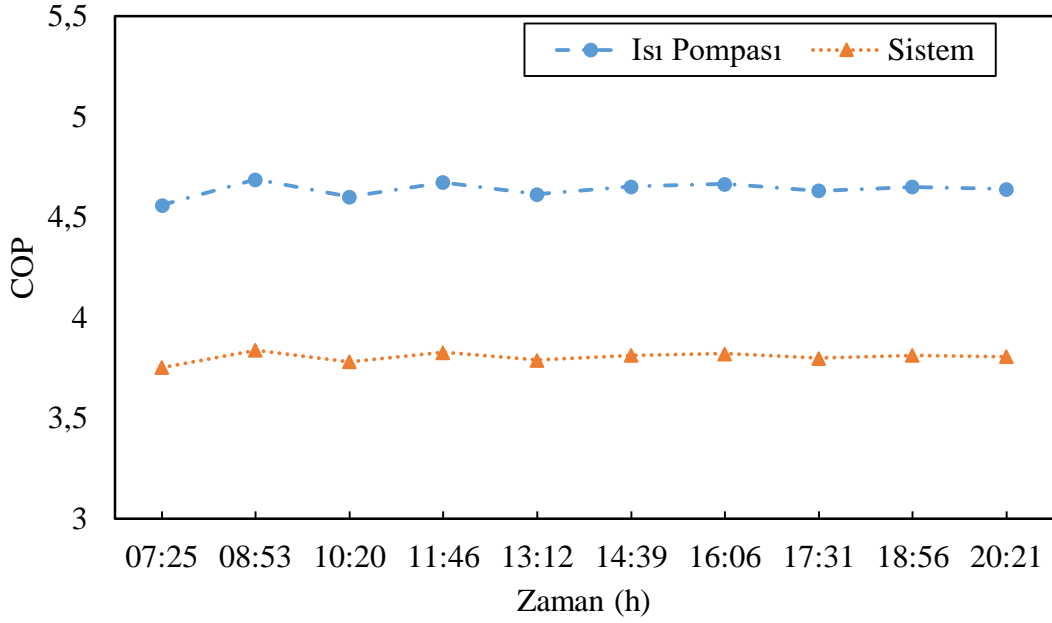
Şekil 4.10’de ki grafikte 19-21-24 Temmuz tarihlerinde ki toprak sıcaklık değişimleri verilmiştir. Soğutulan ortamdan çekilen ısının toprağa atılmasına bağlı olarak, zamanla toprak sıcaklığının minimal düzeyde artıyor olması beklediğimiz bir sonuçtur.



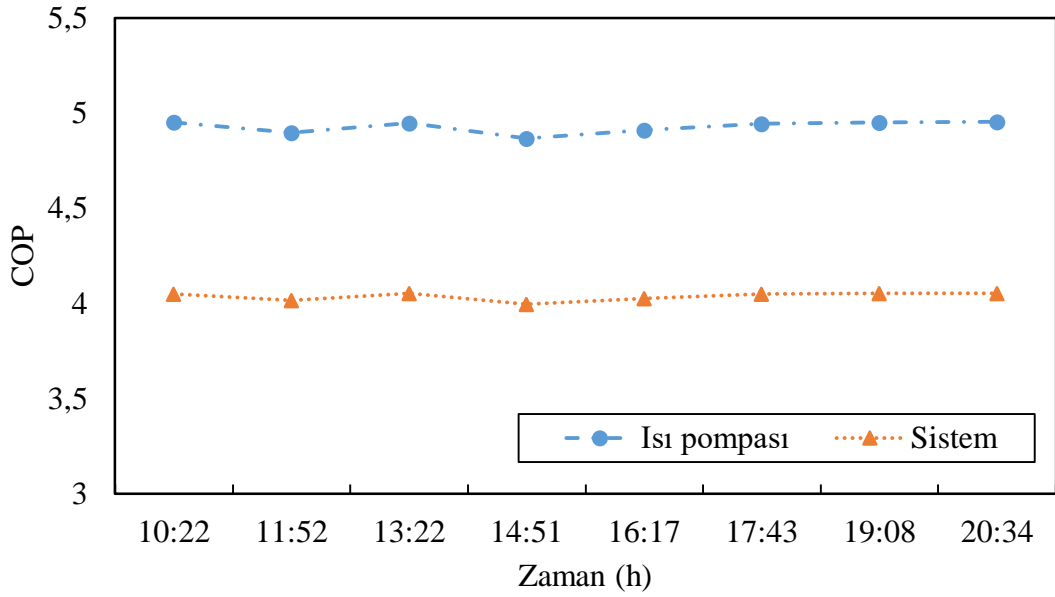
Şekil 4.10 19-21-24 Temmuz 2018 Toprak Sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.11 19 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi



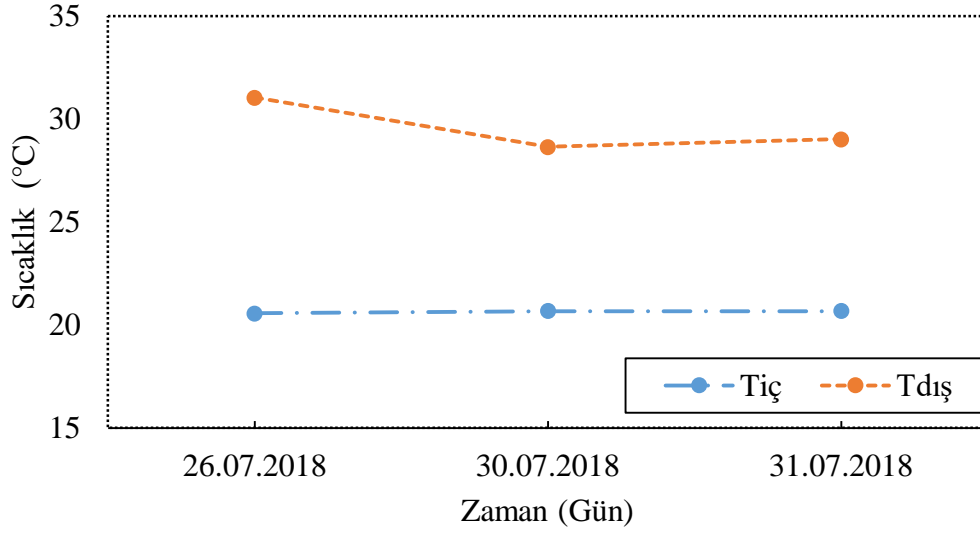
Şekil 4.12 20 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.12 23 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

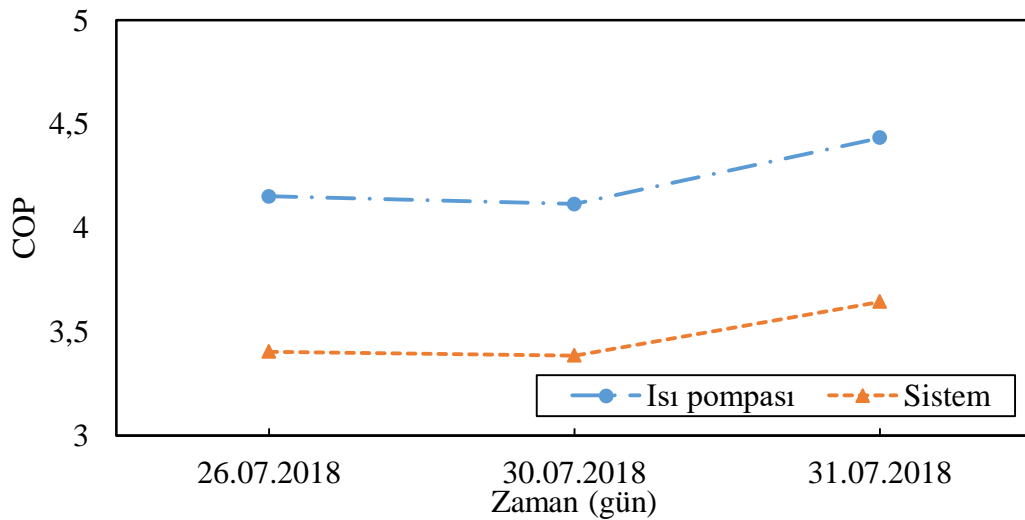
Şekil 4.13’de 26-28-30 Temmuz tarihlerinde ki zamana bağlı ortalama sıcaklık değişimleri grafikte verilmiştir. Burada; ölçüm yaptığımız aralıkta üç günün ortalamasında dış ortam sıcaklığı en yüksek 31,06 °C ile en düşük iç ortam sıcaklığı 20,56 °C 30 Temmuz günü ölçülmüştür. Üç günün ortalama sıcaklıkları $T_{iç}=20,86$ °C ve

$T_{dış}=30,05$ °C olarak ölçülmüştür. Hava sıcaklığının 30 °C üzerine çıktığı koşullarda da iç ortam sıcaklığı 20 °C değerini korumaktadır.



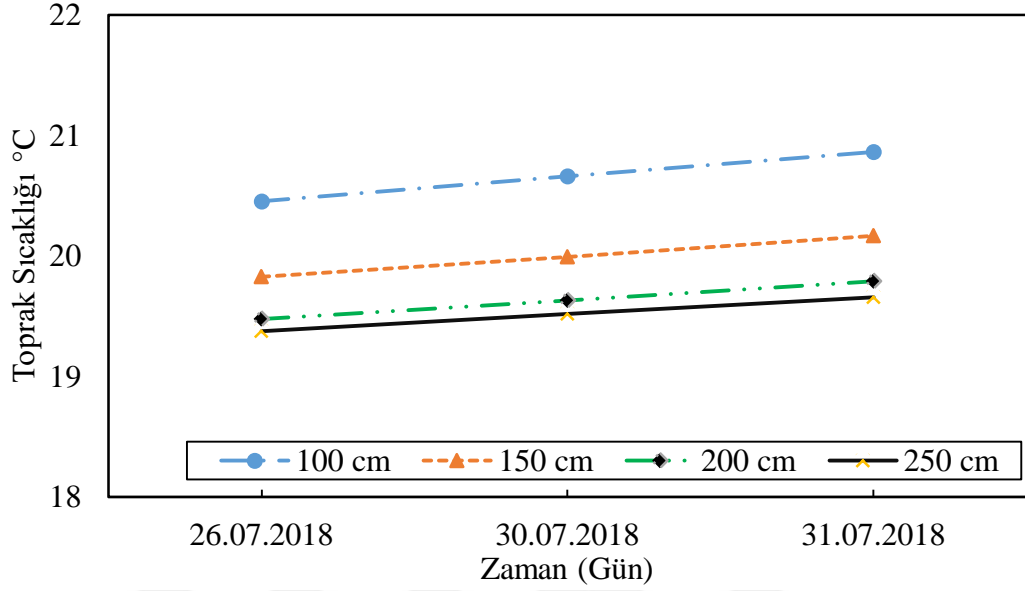
Şekil 4.13 26-30-31 Temmuz sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.14'da 26-30-31 Temmuz tarihlerinin ortalamasına bağlı hesaplanan COP değerlerinin günlere göre değişim grafiği verilmiştir. 3 günün ortalama değerleri $COP_{ip}=4,16$ ve $COP_s=3,41$ olup en yüksek değer 4,23 ile 3,46 ile 26 Temmuz tarihinde ölçülmüştür, en düşük değer ise 4,11 ile 3,38'dir ve bu değerler 31 Temmuz tarihinde alınmıştır. Üç günün ortalama değerlerinin grafiğinde ısı pompasının COP değeri ile sistemin COP değeri orantılı bir şekilde değişmiştir.

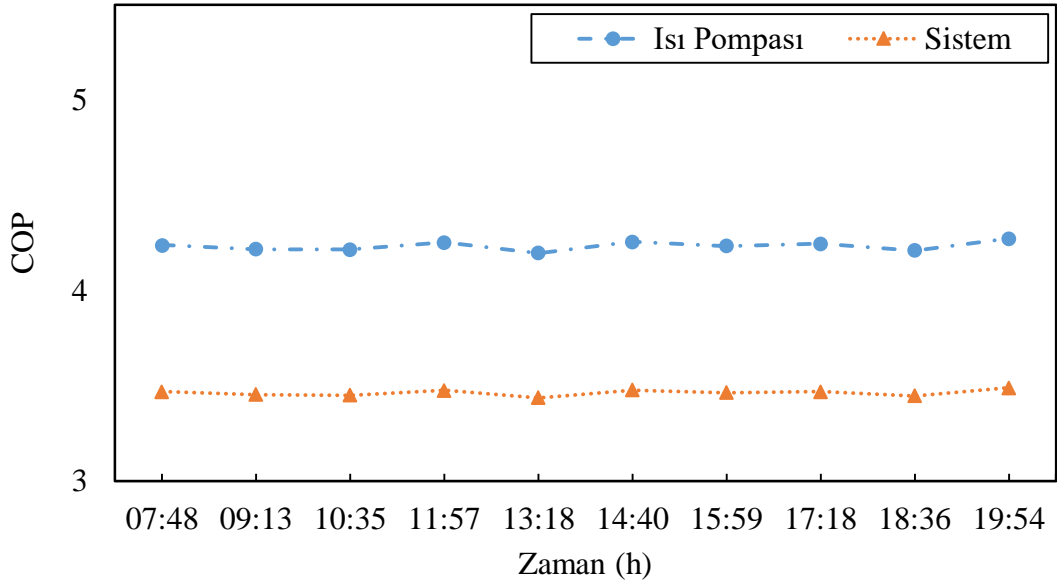


Şekil 4.14 26-30-31 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

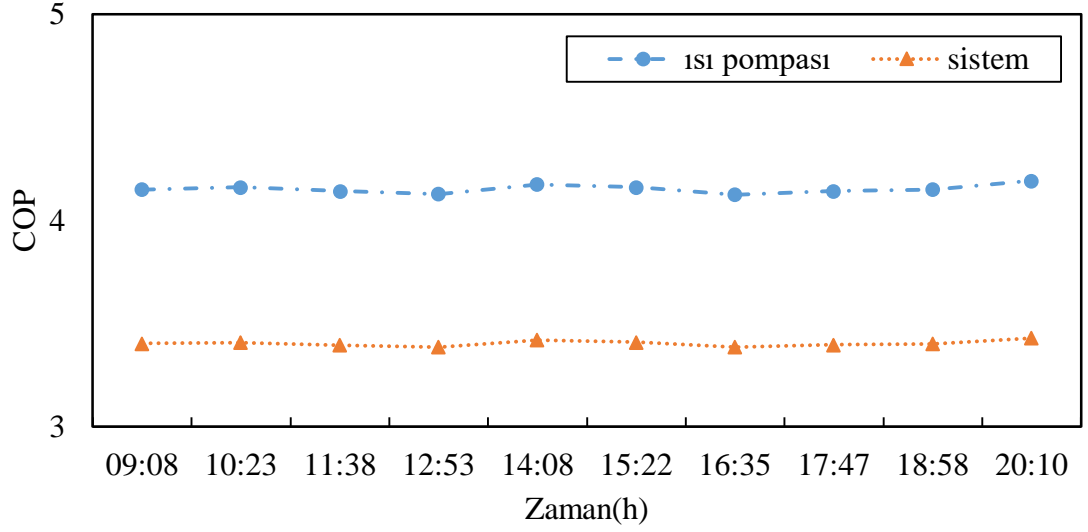
Şekil 4.15’da ki grafikte 26-30-31 Temmuz tarihlerinde ki toprak sıcaklık değişimleri verilmiştir. Soğutulan ortamdan çekilen ısının toprağa atılmasına bağlı olarak, zamanla toprak sıcaklığının artıyor olması beklediğimiz bir sonuçtur. Bütün derinliklerin son ölçümlerde ilk ölçümlere göre sıcaklığının giderek arttığı gayet açık görülebilmektedir.



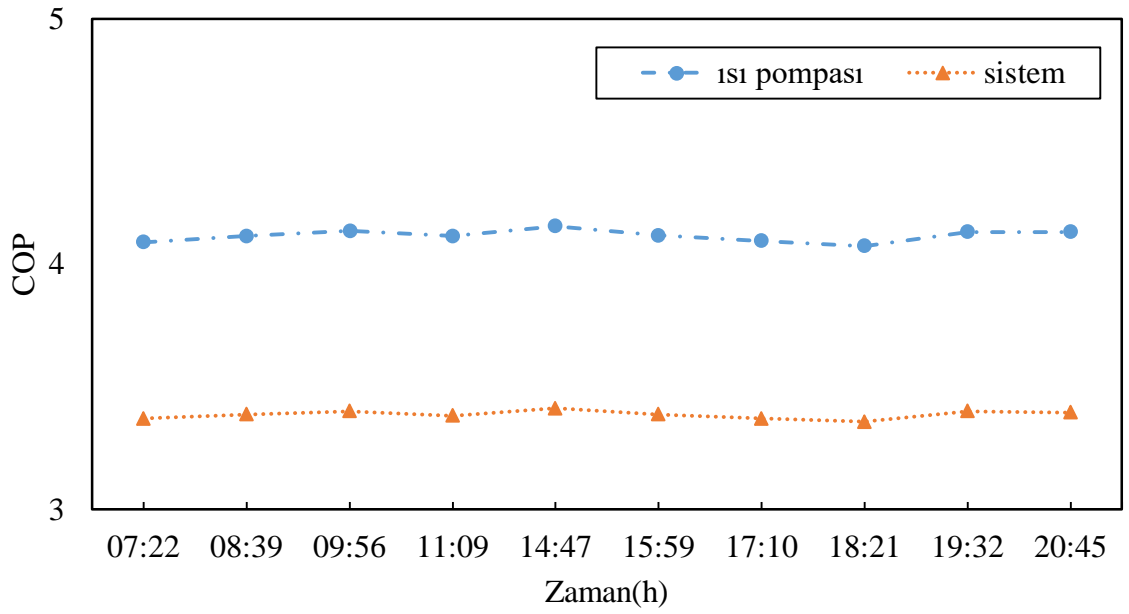
Şekil 4.15 26-30-31 Temmuz 2018 Toprak Sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.16 26Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

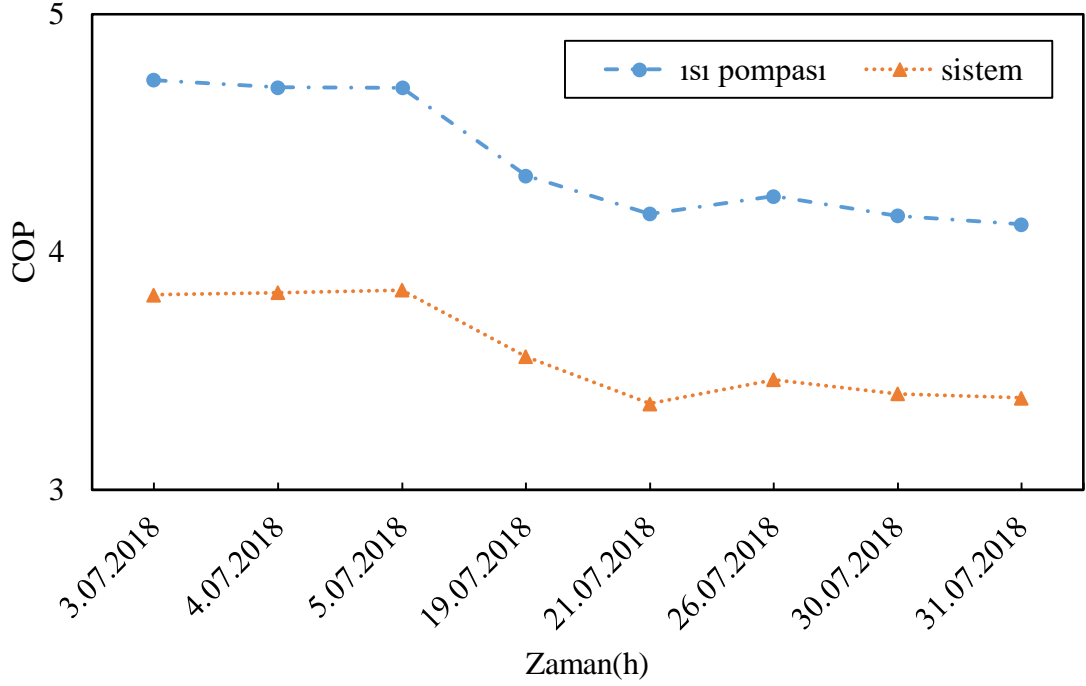


Şekil 4.17 30 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.18 31 Temmuz 2018 tarihinde ısı pompası ve sistemin performans katsayılarının zamana bağlı değişimi

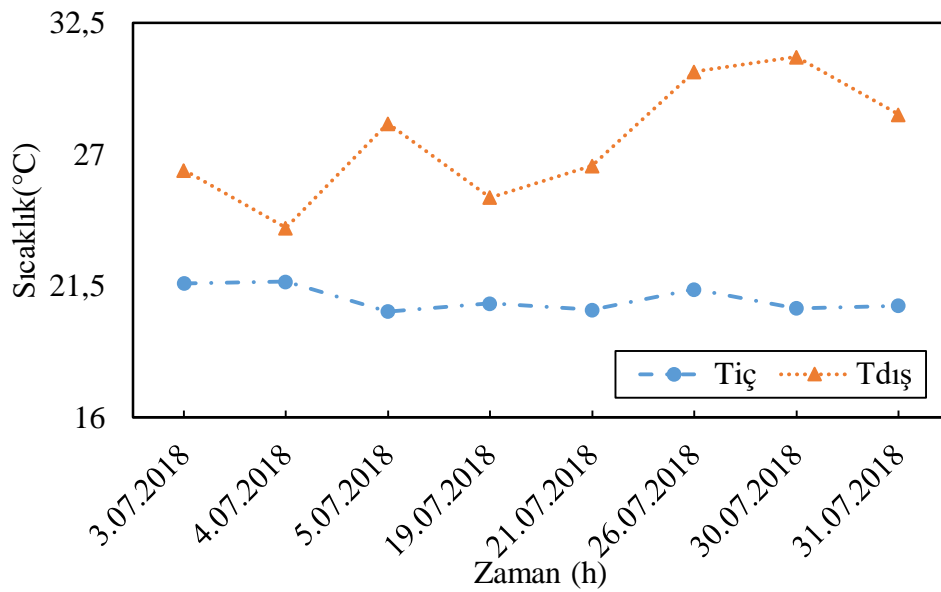
3-4-5, 19-20-21 ve 26-30-31 Temmuz tarihlerinin ortalama değerlerinin grafikleri Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21’te gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Temmuz 2018 tarihlerinde ki ortalama COP değerlerinin zamanla değişimi

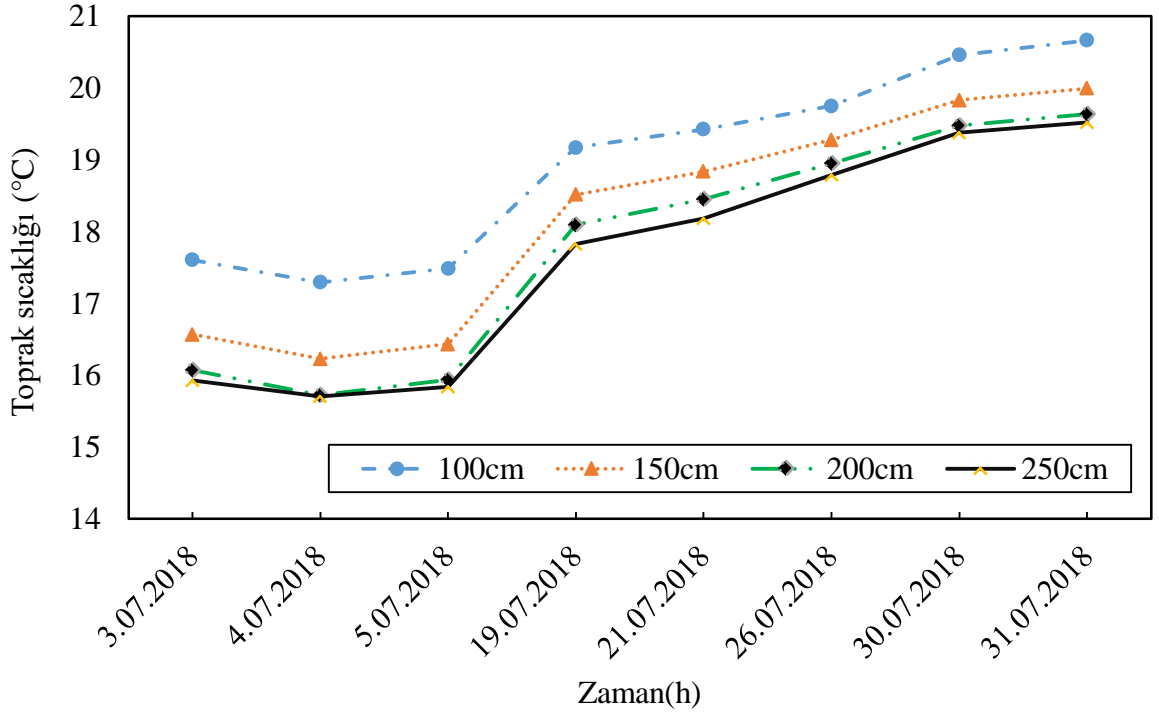
Günlerin ortalama değerleri alınıp COP grafiği çizildiğinde, ısı pompası ve sistemin performans katsayısı birbiriyle orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

Şekil 4.20’de Temmuz ayı seçilmiş günlerinin ortalama iç-dış ortam sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Görüldüğü gibi dış ortam sıcaklığı hızla arttığında bile iç ortam sıcaklığı neredeyse sabit kalmaktadır.

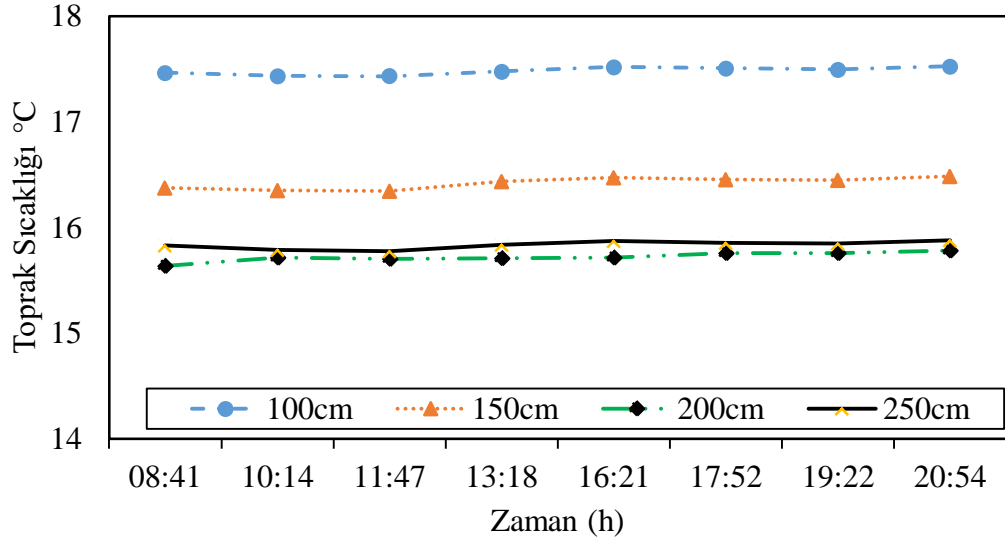


Şekil 4.20 Temmuz 2018 sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği

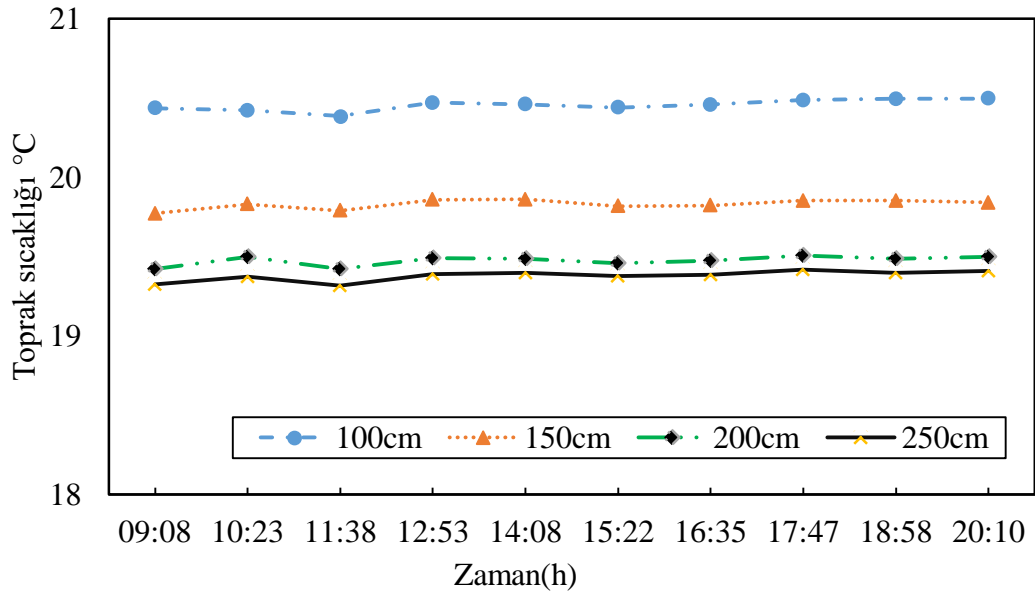
Şekil 4.21’te Temmuz ayı ortalama toprak sıcaklık değışimleri gösterilmiştir. Burada; toprak sıcaklığının dört derinlik için de düzenli bir biçimde arttığı gözlenmiştir. Bu sonuç soğutulan ortamdan çekilen ısının toprağa atılmasıyla toprağın ısınması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.21 Temmuz 2018 Ortalama toprak sıcaklığının zamana bağlı değışimi



Şekil 4.22 Dış ortam sıcaklığının en düşük olduğu 5 Temmuz 2018'e ait toprak sıcaklık değişim grafiği



Şekil 4.23 Dış ortam sıcaklığının en düşük olduğu 30 Temmuz 2018'e ait toprak sıcaklık değişim grafiği

Ölçümler neticesinde grafiklerini çizdiğimiz günlerin bazı verilerinin ortalama değerleri aşağıdaki gibidir.

250 cm derinlikteki toprak sıcaklığı (°C)	: 17,68 °C
200 cm derinlikteki toprak sıcaklığı (°C)	: 17,84 °C
150 cm derinlikteki toprak sıcaklığı (°C)	: 18,26 °C
100 cm derinlikteki toprak sıcaklığı (°C)	: 19,01 °C
Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	: 25,68 °C
İç Ortam Sıcaklığı (°C)	: 21,72 °C
Kompresör Güç Tüketimi (kW)	: 1,8166 kW
Pompaların Güç Tüketimi (kW)	: 0,405 kW
Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı (kW)	: 8,10 kW
Sistem Performans Katsayısı	: 3,569
Isı Pompası Performans Katsayısı	: 4,369

Çalışmayı yaptığımız Sivas ilinin iklim şartları soğuk olduğundan daha önce yapılan ısıtma çalışmaları mevcuttur. Caner (2018) Sivas'ta yaptığı çalışmada kış şartlarında ısıtma yapmış ve $COP_{ip}=2,09$ ve $COPs= 1,82$ olarak hesaplamıştır. Yaptığım soğutma çalışmasında COP ortalama değerleri sırayla 3,56 ve 4,36 olarak bulunmuş olup aynı şartlarda yapılan soğutma deneyine göre daha yüksek COP değerleri elde edildiği görülmüştür. Sivas ili için 2,5 m derinlikte elde edilen COP değerleri soğutma modunda tatmin edici aralıktadır (Kılınç F., Buyruk E., Caner M., 2019). Ankara ilinde soğutma mevsiminde yapılan çalışmada COP_{ip} ve $COPs$ değerleri sırasıyla 3,12 ve 2,81 olarak hesaplanmıştır (Özdemir M. B., Özkaya M. G., 2015).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yatay toprak kaynaklı ısı pompasının Sivas ili şartlarında soğutma performansının araştırıldığı çalışmada Temmuz ayına ait ayın başında, ortasında ve sonunda seçilen üçer günlük değerlerin ortalamaları alınarak, ayrıca çalıştığımız günlerin zamana bağlı değişimlerinin hesaplamaları yapılarak grafikleri çizilmiştir. Çalışmamda; Cumhuriyet Üniversitesi Merkez Kampüste bulunan 30 m² lik, yalıtım deneyi için inşa edilen (Kılınç, 2011) ve daha sonra sıtma ve soğutma deneylerinin yapıldığı enerji evini kullanılmıştır. Öncesinde yerleştirilmiş olan YTKIP üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 29 Haziran 2018'de başlanmış, 17 Ağustos 2018'de sonlandırılmıştır. Fakat değerlendirme yapıldığında en sağlıklı verilerin 3 Temmuz 2018 ile 31 Temmuz 2018 aralığında kaydedildiği görülmüştür. Bunun sebepleri elektrik kesintileri, kayıt alan bilgisayarda ki teknik aksaklıklardır. Aksaklıklar giderildiğinde, aldığımız veriler bizi tatmin edici sonuçlara ulaştırmıştır.

Sivas ili için 2,5 m derinlikte elde edilen performans katsayısı gayet tatmin edici değerlerdedir. Isı pompasının soğutma güç tüketim ortalama değeri 1,82 Kw 'dır.

2,5 m, 2 m, 1,5 m ve 1 m derinlikte Temmuz ayı toprak sıcaklık ortalaması sırasıyla 17,68°C, 17,84°C, 18,26 °C ve 19,01 °C olarak belirlenmiştir. Başlangıçtaki toprak sıcaklıkları sırasıyla 15,93 °C, 16,07 °C, 16,56 °C ve 17,60 °C iken son gün olana 31 Temmuz 2018 için toprak sıcaklık değerleri sırasıyla 19,52 °C, 19,63 °C, 19,99 °C, 20,66 °C olarak belirlenmiştir. Buradan, başlangıçta 250 cm derinlik için 15,93 °C olan toprak sıcaklığı, soğutulan mahalden çekilen ısının toprağa aktarılması sebebi ile ısınarak ay sonunda 19,52 °C' ye ulaşmıştır.

Soğutulan ortamdan çekilen ısının en yüksek değeri 8,36 kW olarak belirlenmiştir. Tüm günlerin ortalama değeri ise 8,10 kW değerindedir. Dış ortam sıcaklığı arttıkça ya da soğutma ihtiyacı arttıkça Q_L değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Sistemde ölçüm yaptığımız sürece ısı pompasının performans katsayısı ortalama değeri 4,37, sistemin performans katsayısı 3,57 olarak hesaplanmıştır. İlk günlerde ölçülen COP değerleri sırasıyla 4,70 ve 3,82 iken son ölçüm günlerinde değer 4,16 ve 3,41'dir.

Dış ortam sıcaklığının artmasıyla soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarı azalmış, kompresör gücü artmıştır. Bu sıcaklık artışı ile birlikte Q_L değeri azalmış, kompresör gücü

artmıştır. Bu sebeple son günlerde ki COP_{ip} ve COP_s değeri ilk günlerde ölçülenden daha düşük değer aldığı gözlenmiştir.

Temmuz ayı içerisinde incelediğimiz günlerin ortalamalarını değerlendirdiğimizde; 3-4-5 Temmuz tarihinde 23,63 °C olan dış ortam sıcaklığı, 26-30-31 Temmuz tarihlerinde 30,05 °C değerine ulaşmıştır. Bununla bağlantılı olarak 3-4-5 Temmuz ortalaması 3,83 olarak hesaplanan sistem performansı, 26-30-31 Temmuz için 3,42 olarak hesaplanmıştır. Bu düşüş hava sıcaklığının artmasına bağlı olarak, soğutulacak ortamdaki çekmemiz gereken ısının bir miktar artmasıyla birlikte kompresör ve sirkülasyon pompalarının daha çok çalışması ve daha çok enerji harcaması anlamına gelmektedir.

Sivas ili için yapılan bu çalışmada; iklim şartları çerçevesinde gece-gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu bilinmektedir. En soğuk gün olarak belirlenen 5 Temmuz 2018 dış ortam sıcaklığı 20,43 °C ve en sıcak gün olarak belirlenen 30 Temmuz 2018 dış ortam sıcaklığı 30,05 °C'dir. En sıcak ve en soğuk günlerin toprak sıcaklığı karşılaştırmasını yaptığımızda 250 cm derinlik için 5 Temmuz 2018 toprak sıcaklık değeri 15,84 °C, 30 Temmuz 2018 için toprak sıcaklık değeri 19,37 °C'dir. Yaklaşık 3,53 °C sıcaklık artışı dış ortam sıcaklığına değil de, daha çok soğutulmak istenen ortamdaki çekilen ısının toprağa atılmasından kaynaklanan bir artıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlar neticesinde bulduğum performans değerleri literatürle uyum sağlamaktadır. Bu da yaptığımız çalışmanın kullanılabilir olduğunun kanıtıdır. Sistemdeki elektrik kesintisi kaynaklı arızalar giderildiğinde daha net sonuçlar alınabilir. Soğutma işleminin peteklerle değil de bir fan yardımıyla yapılmasının daha olumlu sonuçlar doğurabileceği kanaatindeyim.

Ayrıca salamura debisi ölçümünde kullanılan sayacın dijital sayaç ile değiştirilmesi daha hassas ölçüm gerçekleştirilebilir.

Sivas'ta yapılan bu çalışmanın, yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının soğutma performansı değerlendirildiğinde umut vaat edici sonuçlar alındığı görülmüş olup, dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasıyla yapılacak olan çalışmaların önünü açmakta ve yaygınlaşması için umutlandırmaktadır.

KAYNAKLAR

- 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.
- 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
- Çengel, Y. A., Boles, M. A.,** (2015) *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill Education, 996s.
- Duman** (2018) Toprak kaynaklı ısı pompasının sivas şartlarında kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması. Sivas.
- Dumlu, S.** (2012) Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekonomik analizi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 66s, Erzurum.
- Ersöz, İ.** (2000) Toprak kaynaklı ısı pompası ile bir hacmin soğutulması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 333s, İzmir.
- Elbir, A.** (2010) “Toprak kaynaklı ısı pompasının termodinamik analizi”. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 106s, Isparta.
- Hepbaşı, 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
- Karabuğa A.,** (2016) Azot Sıvalaştırma Prosesinin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 84 s.
- Kavanaugh, S., Rafferty, K.** (2014) Geothermal Heating and Cooling. ASHRAE,420s.
- Kılınc, 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.
- Kılınc F., Buyruk E. ve Caner M.** (2019) “Sivas ili Şartlarında yatay toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma ve soğutma için performans analizi”, *Politeknik Dergisi*.
- Kıncay, O. Vd.** (2009) Yenilenebilir enerji kaynaklarında birleşme eğilimi Sigma27 60-82.

- (**TMMOB, 2018**) Türkiye'nin Enerji Görünümü (oda raporu). MMO/691
- (**MEGEP**) (Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi). (2013). *Soğutma İklimlendirme. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.*
- M. Conde Engineering** (2011) Thermophysical properties of brines, 9s.
- 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.
- Öztürk, M.** (2015) Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak neminin ısı pompasının enerji tüketimine etkisi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 85s, Karabük.
- 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
- Silberstein, E.** (2003) Heat pumps. *Delmar Learning*, 510s.
- 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.
- url-1 <<http://zapotopi.net/kelvin/papers>, <http://archive.org> >Alındığı Tarih 25.01.2018
- url-2 <<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmepumpe>> Alındığı Tarih 20.01.2018
- url-3<http://www.lanhoe.com.my/?ws=showproducts&products_id=394397&cat= > Alındığı Tarih 18.12.2017
- url-4< <http://ru.electro.co.uk/plate-heat-exchanger> >Alındığı Tarih 18.12.2017
- url-5< <https://www.enerjivetesisat.com/tesisat/hvac/4542-danfoss,-50-milyonuncu-t2-termostatik-genleşme-valfini-üretiyor> >Alındığı Tarih 15.12.2017
- url-6< <http://buzdolaplar.blogspot.com/2014/03/sogutma-devresi-elemanlar-kompresor-ana.html> >Alındığı Tarih 21.12.2017
- url-7< [http://hava kaynaklı ısı pompası \(alganmekanik.com.tr\)](http://hava kaynaklı ısı pompası (alganmekanik.com.tr)) >Alındığı Tarih 9.12.2017
- url-8< <https://image.made-in-china.com>> Alındığı Tarih 19.12.2017
- url-9< <https://mysynergyhome.com>> Alındığı Tarih 18.1.2018
- url-10< http://www.yazicilargrup.com/enerji/3_isi-pompasi> Alındığı Tarih 18.12.2017
- url-11<<http://www.halesowenweather.co.uk> >Alındığı Tarih 21.12.2017

url-12< <https://tr.pinterest.com/pin/669136457107870776/?lp=true> >Alındığı Tarih
18.1.2018

url-13 <<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/IsiPompasi.pdf>>

Alındığı Tarih 18.5.2018

url-14< [http://Viessmann Teknik Bilgiler CD'si, Aralık 2011](http://Viessmann%20Teknik%20Bilgiler%20CD'si,%20Aralık%202011)> Alındığı Tarih
18.12.2017

url-15 <<https://www.youtube.com/watch?v=HIGZiZ1jbiM&t=339s>>

Alındığı Tarih 12.5.2018

url-16< https://yandex.com.tr/hava/sivas/month/july?from=serp_urlnav >

Alındığı Tarih 18.5.2018

url-17< <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Elemenlar.pdf> >Alındığı Tarih 10.5.2018

Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S., Yamankaradeniz N.
(2013) Soğutma tekniği ve ısı pompası uygulamaları. *Dora Basım Yayın*, 689

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Yasemin GÖKSEL
Doğum Yeri ve Tarihi	Şebinkarahisar, 26.01.1981
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Mevlana mah. 20.sok. Sivas
E-posta Adresi	yasi8110@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Şebinkarahisar Lisesi, 1998
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2007
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Oflazlar Açılım Honda	2014
Oflazlar Nissan	2018