

TEZ ONAYI

Mikail Kuru tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası ve Doğalgazlı Isıtma Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Karşılaştırılması”adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi. Selmin ENER RÜŞEN

Jüri Üyeleri

İmza:

Dr.Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi Müh.Mim.
Fakültesi Makine Mühendisliği)



Dr.Öğr. Üyesi Kadir SABANCI
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Müh.Fak.
Elektrik-Elektronik Mühendisliği)



Dr.Öğr. Üyesi Selmin ENER RÜŞEN
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Müh.Fak
Enerji Sistemleri Mühendisliği)



Tez Savunma Tarihi: 10/05/2019

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç.Dr.Kamil ARI

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mikail KURU



ÖZET

Yüksek Lisans

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI VE DOĞALGAZLI ISITMA SİSTEMİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Mikail KURU

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Selmin ENER RÜŞEN

Mayıs,2019, 124 sayfa

Bu çalışmada, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi yerleşkesinde bulunan 510m² alana sahip bir seranın iklim şartlarına göre optimum düzeyde ısıtılması veya soğutulması için hibrit ısı pompası kullanılması tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemde kapalı çevrim su kaynaklı ısı pompası kullanımı ile üniversite merkezi ısı sistemi ısı dağıtım borularının bulunduğu galeri hatlarında oluşan atık ısının geri kazanımı planlanmıştır. Ayrıca ısı merkezinin aktif olmadığı bahar aylarında güneş enerjili sistem ile desteklenecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarıma akıllı kontrol sistemi eklenerek iklimsel sıcaklık farklarında bile sera ortamında sıcaklığın ve nem miktarının optimum seviyede sabit tutulması sağlanmıştır. Hâlihazırda sera alanı üniversitenin merkezi sistem ısı merkezi ile ısıtılmakta olup mevcut ısıtma sisteminin analizleri yapılarak tasarlanan sistem ile karşılaştırılmıştır. Seranın ısınma yükü 219,09MW/yıl olarak belirlenmiştir. Bu ısıyı karşılayabilmek için tasarlanan hibrit ısı pompası sistemi ile kış aylarında galeri hattından ortalama 274,27MW/yıl ve bahar aylarında güneş enerjisinden ortalama 0,3 MW/yıl enerji alınacağı hesaplanmıştır. Tasarlanan sistem için ekonomik analiz yapılarak basit geri ödeme süresi 4 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca mevcut sistem ile tasarlanan yeni sistem karşılaştırılarak avantajları belirlenmiştir. Fosil yakıt kullanımının azaltılması, sistem veriminin yükseltilmesi, bitkiler için iklimsel farklılıkların gözetilerek akıllı kontrol sistemlerinin oluşturulması, güneş enerjisinin kullanılması ve galeri ısı hatlarındaki atık ısının geri kazanılması gibi birçok önemli parametreyi bir arada bulunduran bu tasarımın ekonomik olarak da uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, Alternatif Enerji, Akıllı Kontrol Sistemi

ABSTRACT

MsThesis

THE COMPARİSON OF ENERGY EFFICIENCY OF NATURAL GAS HEATING SYSTEM AND SOLAR ASSISTED HEAT PUMP SYSTEM

Mikail KURU

Karamanoglu Mehmetbey University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Advanced Technologies

Supervisor: Asst. Prof.Dr. Selmin ENER RÜŞEN

May, 2019, 124 pages

In this study, a hybrid heat pump was designed for optimum heating or cooling of a greenhouse with an area of 510m² that found on the campus of Karamanoglu Mehmetbey University according to climate conditions. In this designed system, it was planned to recover the waste heat generated by the use of a closed loop water source heat pump in the gallery lines where the university central heating system heat distribution pipes were located. Also, it was designed to be supported by the solar powered system in the spring months, when the heat center is not active. By adding an intelligent control system to the design, it was ensured that temperature and humidity were kept constant at the optimum level in the greenhouse environment, even in the climatic temperature differences. Currently, the greenhouse area is being heated by the central heating system center of the university and the current heating system was analyzed and compared with the designed system. The heating load of the greenhouse was determined as 219,09 MW/year. With the hybrid heat pump system designed to meet this heat requirement, an average of 274,27 MW/year from the gallery line in the winter months and an average of 0,3 MW/year energy from solar energy in the spring months was calculated to be received. Economical analysis of the designed system was made and the simple payback period was calculated as 4 years. In addition, the advantages of the existing system were compared to the new system. It has been concluded that this design, which incorporates many important parameters such as reducing the use of fossil fuel, increasing the system efficiency, establishing intelligent control systems by considering climatic differences for plants, using the solar energy and recovering the waste heat in the gallery heat lines, is economically feasible.

Key Words: Heat Pump, Alternative Energy, Intelligent Control System

ÖNSÖZ

Dünyada enerji kaynaklarının hızla tükenmesi sonucu alternatif enerji kaynakları araştırması ve bu araştırmalar paralelinde alternatif enerjili sistemlerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Dışa bağımlılık oranı çok yüksek olan ülkemiz alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş ve son yıllarda bu kaynakların kullanılması ise büyük ivme kazanmıştır.

Tez çalışmam süresince benden bilgisini, tecrübesini esirgemeyen Dr.Öğr. Üyesi Selmin ENER RÜŞEN ve Dr.Öğr. Üyesi Aydın RÜŞEN'e sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu çalışmamda bana manevi desteğini eksik etmeyen eşim Sümeyra KURU'ya ayrıca teşekkür ederim.

Mikail KURU
Karaman-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Isı Pompası.....	3
1.2. Isı Pompası Tarihi.....	4
1.3. Isı Pompası Çalışma Prensibi	5
1.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)	7
1.5. Kompresör	8
1.6. Kısılma Valfi.....	8
1.7. Kondenser (Yoğuşturucu).....	9
1.8. Isı Pompası Enerji Kaynakları	9
1.8.1. Hava.....	10
1.8.2. Su.....	10
1.8.3. Toprak.....	10
1.9. Su Kaynaklı Isı Pompaları	10
1.9.1. Kuyu Suyu Kullanılan Sistemler	11
1.9.2. Yüzey Suyu Açık Sistemler.....	12
1.9.3. Yüzey Suyu Kapalı Sistemler.....	13
1.10. Isı Pompası Türleri.....	18
1.10.1. Hava Kaynaklı Isı Pompaları.....	18
1.10.2. Su Kaynaklı Isı Pompaları.....	19
1.11. COP ve EER Değeri	26
1.12. Isı Pompası Avantajları.....	27

1.13. Isı Pompası Dezavantajları	27
1.14. Isı Pompası Seçimi.....	28
1.15.1. Isı Pompası Kaynak Tipinin Seçimi	29
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	30
3. MATERYAL VE METOT	37
3.1. Tasarlanan Isı Pompası Sistemi	38
3.2. Uygulama Serası Bir Yıllık Isı Kaybı Hesabı.....	38
3.2.1. Uygulama Serası Toplam Isı Kazancı	41
3.2. Uygulama Serası Mevcut Isıtma Sistemi.....	46
3.3. Uygulama Serası Isıtılması İçin Seçilen Su Kaynaklı Isı Pompası Özellikleri	48
3.4. Boyler Suyu Isıtma Hesabı	49
3.5. Güneş Kollektörü Hesabı.....	50
3.5.2. Gerekli Güneş Kollektörü Alanı.....	53
1.5.3. Güneş Kollektörleri Sirkülasyon Pompası Hesabı	53
3.6. Termodinamik Eşitsizlikleri ile Sistem Analizi.....	56
3.6.1. Clausius Eşitsizliğine Göre Analiz.....	56
3.6.2. Carnot Çevrimine Göre Analiz.....	57
3.6.3. İkinci Yasa Analizi	57
3.7. Galeri Hattı Atık Isı Absorber Boru Hesabı	58
3.8. Primer Devre Seçilen Pompa Debisi	60
3.9. Sistemde Kullanılacak Boruların Çap Hesabı ve Akış Analizleri	60
3.9.1. Reynolds Sayısı	60
3.10. Boru İçi Akış Çeşitleri ve Akış Hesaplamaları.....	61
3.10.1. Laminer Akış	61
3.10.2. Geçiş Bölgesi Akışı	62
3.10.3. Türbülanslı Akış	62
3.10.4. Boru İçi Akış Hesabı	63
3.10.5. DN100 Çapındaki PE100 Borulama Sistemi Akış Analizi	64
3.11. Genel Otomasyon Sistemi	70
3.11.1. PID (Proportional Integral Derivative) Kontrol Sistemi	70
3.11.2. PT100 Sıcaklık Transmitteri.....	70

3.11.3.Motorlu Vanalar	71
3.11.4.DHT11 Nem ve Sıcaklık Modülü.....	72
3.11.5. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kartı	72
3.11.6. Röle Modülü	73
3.11.7. Toprak Nem Modülü	74
3.11.8. Selenoid Valf	75
3.11.9. LCD Ekran.....	76
3.11.10. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kodları	78
3.12. Tasarlanan Isı Pompası Sistemi Ekipmanları	86
3.12.1. Tek Serpantinli Boyler	86
3.12.2. Su kaynaklı Isı Pompası Genel Açıklamalar	86
3.12.3. Kullanılacak Güneş Kolektörleri.....	88
3.12.4. Frekans Konvertörlü Sirkülasyon Pompası	89
3.12.5. Küresel Vanalar	89
3.12.6. Kolektörler.....	90
3.12.7. Borular	91
3.12.8. PT100 Sıcaklık Transmitteri.....	91
3.12.9. Vana Aktüatörü (Oransal)	92
3.13. Mevcut Isıtma Sistemi Doğalgaz Tüketimi Hesabı	92
4. BULGULAR	94
4.1. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Analizi	94
4.2. Ekonomik Analiz	94
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	98
KAYNAKLAR	102
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye'nin Enerji Kullanımı Dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012)	1
Şekil 1.2. Türkiye'nin Toplam Elektrik Tüketimi MWh(www.enerjiatlası.com)	2
Şekil 1.3. Türkiye'nin Birincil Enerji Talebi 2023 Hedefi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013).....	2
Şekil 1.4. Güneş Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi(www.enerji.gov.tr)	3
Şekil 1.5. Isı Pompası Çalışma Prensibi	6
Şekil 1.6. Isı Pompası Elemanları	7
Şekil 1.7. Hava Kaynaklı Isı Pompası Evaporatörü (Bulut, 2010)	7
Şekil 1.8. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kompresörü (Bulut,2010).....	8
Şekil 1.9. Isı Pompası Kısılma Valfi (Bulut, 2010)	9
Şekil 1.10. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kondenseri (Bulut, 2010)	9
Şekil.1.11. Su Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi(www.psmenerji.com)	12
Şekil 1.12. Yüzey Suyu Açık Isı Pompası Sistemi(http://www.maxen.com.tr)	13
Şekil 1.13. Yüzey Suyu Kapalı Isı Pompası Sistemi(http://www.maxen.com.tr)	13
Şekil 1.14. Dolaysız Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	14
Şekil 1.15. Dolaylı Isı Pompası Sistemi	15
Şekil.1.16. İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Çevrim T-s Grafiği (Çengel ve Boles, 2002)	15
Şekil 1.17. İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Çevrimin P-h Grafiği (Çengel ve Boles, 2002).....	16
Şekil 1.18. Isı Pompası Çeşitleri(http://www.metantech.com).....	18
Şekil 1.19. Hava Kaynaklı Isı Pompası Şematik Gösterimi	19
Şekil 1.20. Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Kurulumu (http://isle-eco.com)	19
Şekil 1.21. Su Kaynaklı Isı Pompası Şematik Kurulumu	20
Şekil 1.22. Açık Sistem Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi(http://www.nibeturkiye.com)	21
Şekil 1.23. Kapalı Sistem Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (http://www.nibeturkiye.com)	21
Şekil 1.24. Atık Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Araz ve ark., 2014)	22

Şekil 1.25. Atık Su Kaynaklı Isı Pompası Çevrimi (http://www.huber.com.tr).....	22
Şekil 1.26. Kanalizasyon Atık Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (http://www.huber.com.tr)	23
Şekil 1.27. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kurulumu (Çomaklı ve ark., 2011)	24
Şekil 1.28. Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (http://nibeisipompasi.com)	25
Şekil 1.29. Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Omer, 2006)	26
Şekil 3.1. Uygulama Serası Görünümü	37
Şekil 3.2. Tasarlanan Kapalı Devre Su kaynaklı Isı Pompası	38
Şekil 3.3. Seranın Termal Kamera Görüntüsü	39
Şekil 3.4. Karaman İli Ortalama Sıcaklık Değerleri(https://www.mgm.gov.tr).....	41
Şekil 3.5. Uygulama Serası Isı Kayıpları Grafiği	41
Şekil 3.6. Karaman İli Aylık Ortalama Güneş Radyasyonu (kWh/m ² -gün).....	42
Şekil 3.7. Uygulama Serası Aylık Güneş Kaynaklı Isı Kazancı Grafiği	43
Şekil 3.8. Uygulama Serası Aylık Havalandırma Kaynaklı Duyulur Isı Kazancı Grafiği	44
Şekil 3.9. Uygulama Serası Gizli Isı Kazancı Grafiği	45
Şekil 3.10. Uygulama Serası Net Isı Kaybı Grafiği.....	46
Şekil 3.11 Mevcut Isıtma Sistemi	47
Şekil 3.12. Uygulama Serası Isıtma Radyatörleri	48
Şekil 3.13. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Grafiği	49
Şekil 3.14. Boyler Sistemi	50
Şekil 3.15. Moody Diyagramı (Cengel ve ark., 2010).....	55
Şekil 3.17. Isı Pompası Aylara Göre COP Değişimi Grafiği.....	57
Şekil 3.18. Merkezi Sistem Galeri Hattı	59
Şekil 3.19. Isı Merkezi Galeri Hattı ve Termal Kamera Görüntüsü	59
Şekil 3.20. DN100 PE Boru(http://www.adasulama.com.tr).....	60
Şekil 3.21. Boru İçi Laminer Akış(http://toplubilgi.com)	61
Şekil 3.22. Geçiş Bölgesi(http://toplubilgi.com)	62
Şekil 3.23. Türbülanslı Akış (http://toplubilgi.com).....	62
Şekil 3.24. Moody Diyagramı (Cengel ve ark., 2010).....	64

Şekil 3.25. DN100 PE Boru İçi Akışkan Giriş Çıkış Sıcaklığı.....	69
Şekil 3.26. Isı Pompası COP Değeri Değişimi	69
Şekil 3.27. Genel PID Akış Şeması	70
Şekil 3.28. PT100 Sensörlü Sıcaklık Kontrol Sistemi	71
Şekil 3.29. Sıcaklık Kontrol Sistemine Motorlu Vananın Takılması	71
Şekil 3.30. DHT11 Nem ve Sıcaklık Modülü Bağlantısı	72
Şekil 3.31. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kartı (www.robotistan.com)	73
Şekil 3.32. Röle Modülü Bağlantı Şeması	74
Şekil 3.33. Toprak Nem Modülü Bağlantı Şeması	75
Şekil 3.34. Selenoid Valf Bağlantısı	75
Şekil 3.35. LCD Ekran Bağlantısı	76
Şekil 3.36. Gömülü (Arduino) Kontrol Sistemi Şematik Gösterimi.....	77
Şekil 3.37. Gömülü Sistem(Arduino) Blog Diyagramı	78
Şekil 3.38. Uygulama Serası ve Soğutma Fanları	85
Şekil 3.39. Tek Serpantinli Boyler (http://www.isitesiatmarket.com).....	86
Şekil 3.40. Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Durmaz, 2012).....	88
Şekil 3.41. Güneş Kollektörleri(http://www.enginmuh.com).....	89
Şekil 3.42. Frekans Konvertörlü Sirkülasyon Pompası (https://www.alarko-carrier.com.tr)	89
Şekil 3.43. Küresel Vana (http://www.fafvana.com.tr)	90
Şekil 3.44. Kollektör (http://www.tankdunyasi.com.tr)	90
Şekil 3.45. Siyah Dikişli Boru (https://www.fobuma.com).....	91
Şekil 3.46. PT100 (http://www.inverter-plc.net)	91
Şekil 3.47. Vana Aktüatörü (http://www.siemens-bj.cn).....	92
Şekil 3.48. Merkezi Sistem Aylara Göre Doğalgaz Tüketimi Grafiği.....	93
Şekil 3.49. Merkezi Scada Kontrol Sistemi	93
Şekil 4.1. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Grafiği	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Uygulama Serası Teknik Özellikleri	37
Çizelge 3.2. Hesaplama parametreleri Çizelgesi	40
Çizelge 3.3. Tasarlanan Isı Pompası Özellikleri Çizelgesi	48
Çizelge 3.4. Güneş Kollektörü Hesaplama Parametreleri Çizelgesi	51
Çizelge 3.5. Boru Pürüzlülük Katsayısı Çizelgesi	54
Çizelge 3.6. Suyun Termal Özellikleri Çizelgesi	63
Çizelge 3.7. Boru Pürüzlülük Katsayısı Çizelgesi	65
Çizelge. 3.8. Gömülü Sistem Kartı Özellikleri	73
Çizelge 3.9. Mevcut Isıtma Sistemi Çizelgesi	92
Çizelge 4.1. Isı Pompası Kurulum Maliyeti Çizelgesi	95
Çizelge 5.1. Uygulama Serası İçin Mevcut Merkezi Isıtma Sistemi ve Akıllı Kontrol Sistemli Hibrit Isı Pompası Tasarımının Karşılaştırılması	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

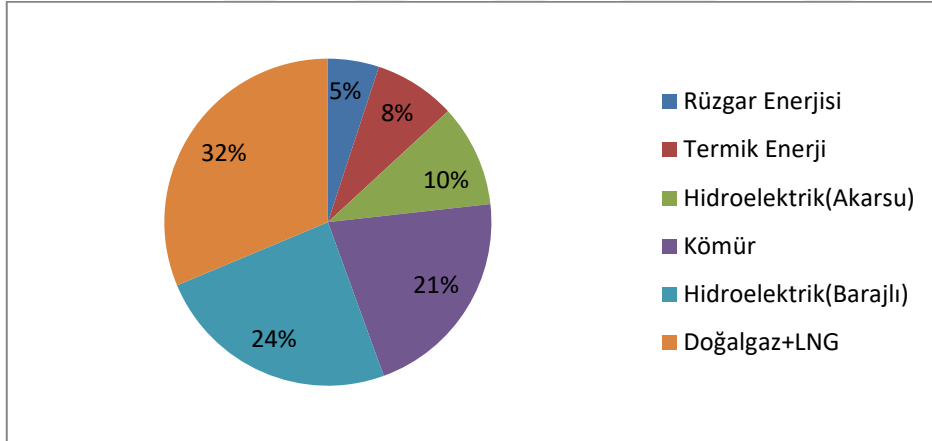
Simgeler

Açıklamalar

τ	Polikarbon Malzeme Işık Geçirgenlik Oranı
Γ	Yeşil Bitkilerin Işınımı Yansıtma Oranı
I	Güneş Radyasyonu Değeri (kWh/m ² -gün)
ρ	Havanın Özkütlesi (kg/m ³)
c_p	Havanın Özgül Isısı (kJ/kg.K)
T_i	Uygulama Serası İç Hava Sıcaklığı (K)
T_0	Dış Hava Sıcaklığı (K)
ε	Yüzeyin Güneş Işınımını Yayma Oranı
m	Kütle (kg)
ΔT	Sıcaklık Farkı (K)
R	Eğik Toplaç Dönüşüm Faktörü
AA	Toplaç Azimut Düzeltme Faktörü
N_m	Toplaç Dışı Sistem Verimi
N_k	Toplaç Verimi
Q_n	Yaralı Isı (kcal/gün)
Q_g	NŞA' da Sistem Gereksinimi (kcal/gün)
F_k	Gerekli Güneş Kollektörü Alanı (m ²)
V	Boru İç Hız (m/s)
\dot{V}	Hacimsel debi (m ³ /h)
k_s	Pürüzlülük Katsayısı
f	Darcy Pürüzlülük Katsayısı
U	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)

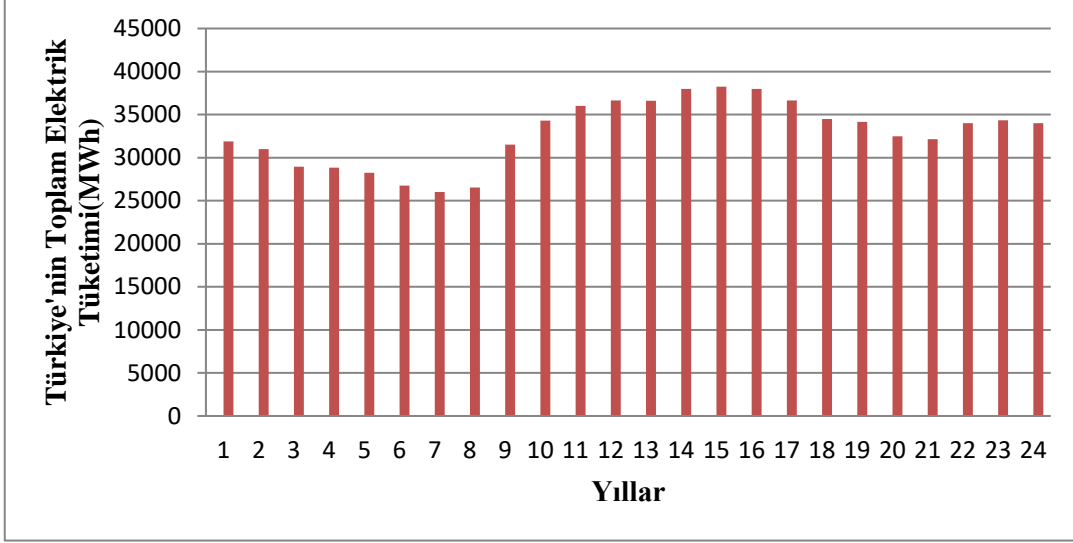
1. GİRİŞ

Dünyanın artan nüfusu ve gelişen ekonomisinden dolayı enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde olan ülkemizin de enerji talebi söz konusu ihtiyaca paralel olarak artış göstermiştir. Ülkemiz enerji kullanımında büyük oranda ithalatçı olmasından dolayı genel bütçesinin büyük kısmı enerji ithalatına ayrılmaktadır. Rakamlarla ifade etmek gerekirse 1990-2010 yıllarında birincil enerji tüketimi yılda ortalama %4'e yakın bir oranla sürekli artış göstermiştir. 2010 yılında birincil enerji tüketimi 109,3 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olarak gerçekleşmiş, böylece bu rakam ile Türkiye dünyada en fazla enerji tüketen 25 ülkeden birisi konumuna gelmiştir(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012). Türkiye'nin en yüksek enerji tüketimine sahip sektörler %39 ile sanayi sektörü ve %30 ile konut ve hizmet sektörleridir. Türkiye'nin enerji kullanımı kullanılan yakıtın türüne göre oranlanırsa Şekil 1.1'deki grafik elde edilir (Koç ve Kaplan, 2008).



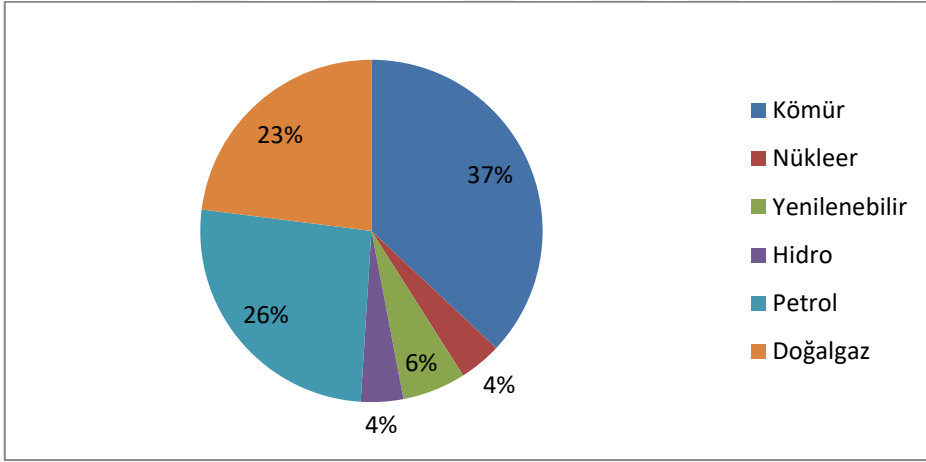
Şekil 1.1. Türkiye'nin Enerji Kullanımı Dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012)

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemiz bu kaynakların kullanımında son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Özellikle güneş potansiyeli yüksek olan bölgelerde güneş panelleri ile elektrik üretimi ve güneş kolektörleri kullanılarak sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. 2018 yılı itibariyle Türkiye'nin elektrik tüketimi Şekil 1.2'deki grafikte verilmiştir.



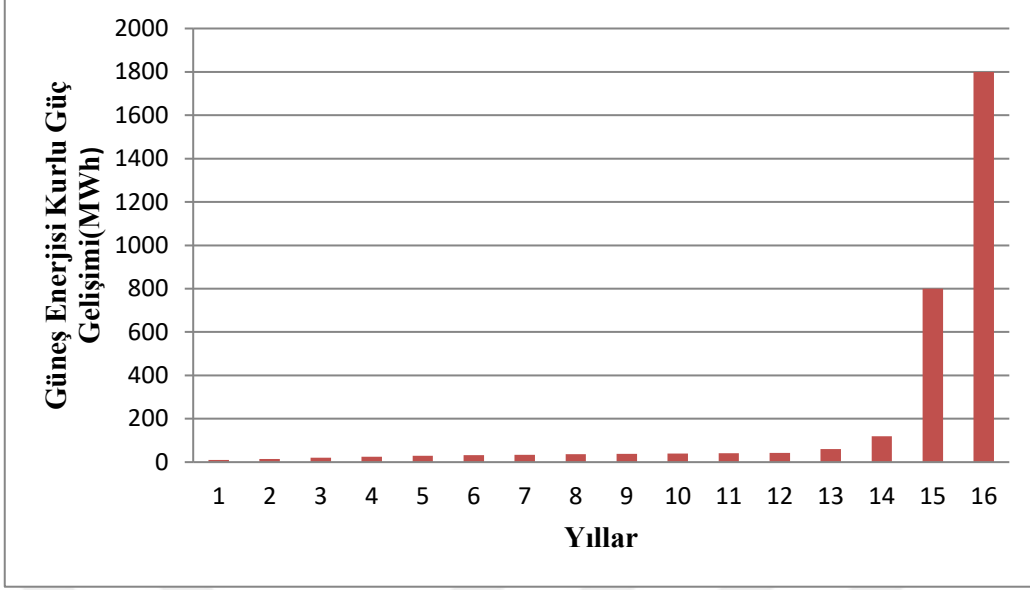
Şekil 1.2. Türkiye'nin Toplam Elektrik Tüketimi MWh(www.enerjiatlası.com)

Türkiye'nin 2023 hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Şekil 1,2'deki grafiğe göre bu oran %6'ya kadar çıkacaktır (Koç ve Kaplan, 2008).



Şekil 1.3. Türkiye'nin Birincil Enerji Talebi 2023 Hedefi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013)

Türkiye'nin yıllar itibariyle güneş enerjisi kurulu güç gelişimi aşağıdaki Şekil 1,4'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Güneş Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi(www.enerji.gov.tr)

Enerji Bakanlığı simülasyonu doğrultusunda Türkiye'nin güneş enerjisi üretimi 1800 MW düzeyine çıkmıştır ve son yıllarda daha da artmaktadır. Bu veriler ile yaptığımız araştırma sonucunda Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi yerleşke alanında bulunan 510m² alana sahip bir seranın alternatif enerji kaynakları ile nasıl ısıtılacağı araştırılmıştır. Uygulama serasının sıcaklığının sabit tutularak en uygun sıcaklığın sağlanması ve en yüksek COP değerine ulaşılması için alternatif enerjili atık ısı absorpsiyonlu ve akıllı kontrollü bir ısı pompası sistemi tasarlanmıştır (Dikici ve ark.,2003).

1.1. Isı Pompası

Isı pompaları prensip olarak enerji aldığı kaynağı ısıtma konumundayken soğutur, soğutma yaparken ise ortamı ısıtırlar. Yapılan işlem genel olarak sistemde kullanılan FREON grubu gazların faz değişimi ile enerji alma ve bu enerjiyi taşıma olayıdır. Bu taşıma ve faz değişimi esnasında belirli miktarda enerji tüketimi meydana gelir. Bir ısı pompası sisteminde harcanan elektrik 2 kW ve alınan toplam ısı enerjisi 5 kW ise bu cihazdan elde edilecek performans katsayısı (COP) 3 olur. Bütün ısı pompaları aynı prensiple çalışırlar. Termodinamiğin 1.kanununa göre enerji yoktan var edilemez, var

iken de yok edilemez, enerji ya biçim değiştirir ya da bir ortamdan başka bir ortama taşınır(Panesi ve ark., 2016).

Sonuç olarak, ısı pompası sistemlerinde ihtiyaç olan ısı enerjisinin %75'i doğada depolanmış güneş enerjisinden yani doğal termal enerjiden (toprak, su, hava), %25'i ise elektrik enerjisinden karşılanır. Toprak, su ve hava ücretsiz; yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynaklarındandır. Isı pompası sistemleri genellikle kış aylarında ısınma yaz aylarında ise serinletmek amacıyla da kullanılabilirler. Ayrıca su- su ve hava-su kaynaklı ısı pompası sistemleri, ısıtma ve soğutma işlemlerini aynı anda karşılayabilirler (Kuş ve Çomaklı, 2015). Diğer ısı pompası sistemlerinde ise soğutma için düşük bir ek maliyet yeterli olmaktadır. Ülkemizde ısı pompası sistemleri son yıllarda yaygınlaşmaktadır.

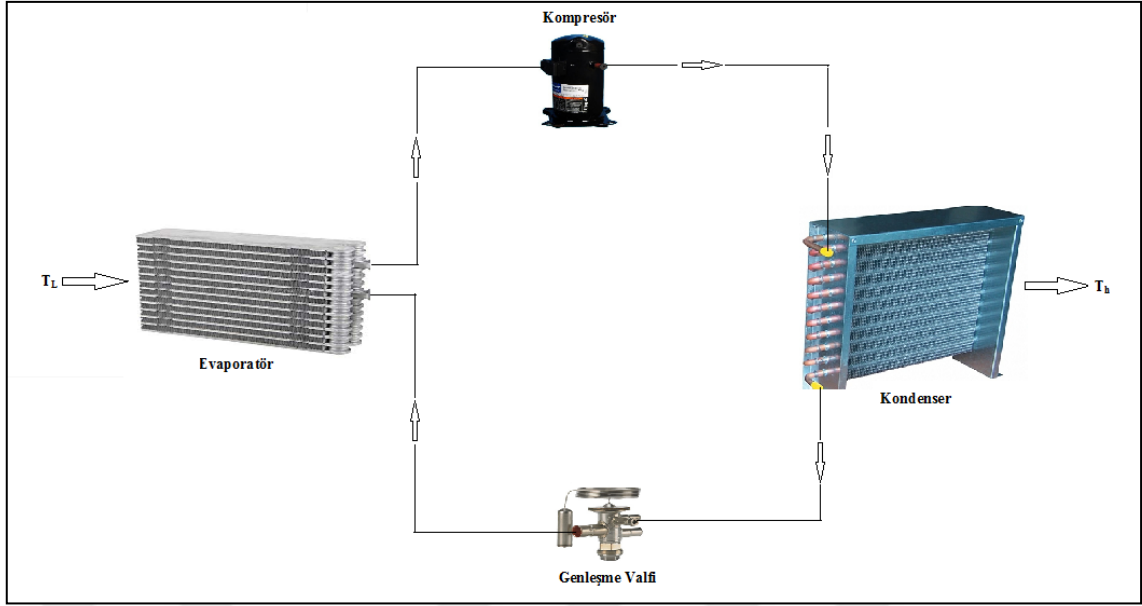
1.2. Isı Pompası Tarihi

Isı pompasının temel teorisi Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılmıştır. Söz konusu teoriye göre buhar makinesinden üretilen mekanik güç dışarıdan verilerek sıcak-soğuk çevrim sağlanır ve bu durumda sistem bir buhar makinesi olmaktan çıkarak sıcak ortamdan soğuk ortama enerji aktaran bir soğutma makinesi ya da soğuk ortamdan sıcak ortama enerji aktaran bir ısıtma makinesi olarak çalışır. Carnot döngüsü olarak adlandırılan bu çevrim, ısı pompası ve termodinamik için temel prensipleri oluşturur. Isı pompası sisteminin çalışması için hem ısıtılacak hem de soğutulacak ortam olmalıdır. Isıtılacak ortam çoğunlukla ev, alış-veriş merkezi gibi yaşam alanları olacağından, soğutulacak ortam hava, su ya da topraktır. Bu teorinin ortaya atılmasından 26 yıl sonra 1850 yılında Lord Kelvin tarafından soğutma cihazlarının ısıtma maksadı ile kullanılabilereğinin ileri sürülmesiyle ısı pompası sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. II. Dünya Savaşından önce ısı pompası sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması amacıyla birçok mühendis ve bilim insanı araştırmalar ve çalışmalar yapmışlardır. Savaş yıllarında ise endüstri imkânları daha acil olan problemlere yöneltilmiş ve ara verilen bu çalışmalara savaştan sonra tekrar başlanılmıştır. Isı pompası endüstrinin 1950'ler de sahip olduğu potansiyel 1960'lara

gelindiğinde azalma göstermiştir. Çünkü petrol ve doğalgaz 1960'larda ucuzlanmış dolayısıyla kurulum maliyeti yüksek olan ısı pompası sistemlerine ilgi azalmıştır. Isı pompalarının bu dönemde duraklamasından sonra tekrar önem kazanması 1973'te meydana gelen enerji krizinden sonra olmuştur ve bu tarihten sonra birçok bilim insanı tarafından yeniden çalışmalar yapılmıştır. Isı pompası sistemlerinin kullanımı Avrupa ve Amerika'da özellikle 1990'lı yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlamış ve her geçen gün kullanıcı sayısı artış göstermiştir. Fakat ülkemiz her alanda olduğu gibi bu teknolojiyle tanışma konusunda da geç kalmış ve ısı pompası sistemlerinin sunduğu bütün avantajlara rağmen hala ciddi bir kullanım oranına ulaşamamıştır. Ülkemizde ısı pompası sistemlerinin uygulanması ilk olarak 1990'ların ortalarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçta fosil yakıtların dünyada tükenmekte olması ve her geçen gün bu yakıtların fiyatlarında ciddi artışlar yaşanması ayrıca çevre bilincinin gelişmesi gibi birçok sebepten dolayı ısı pompası sistemlerinin çok yakın bir gelecekte ülkemizde de yaygınlaşması kaçınılmaz bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

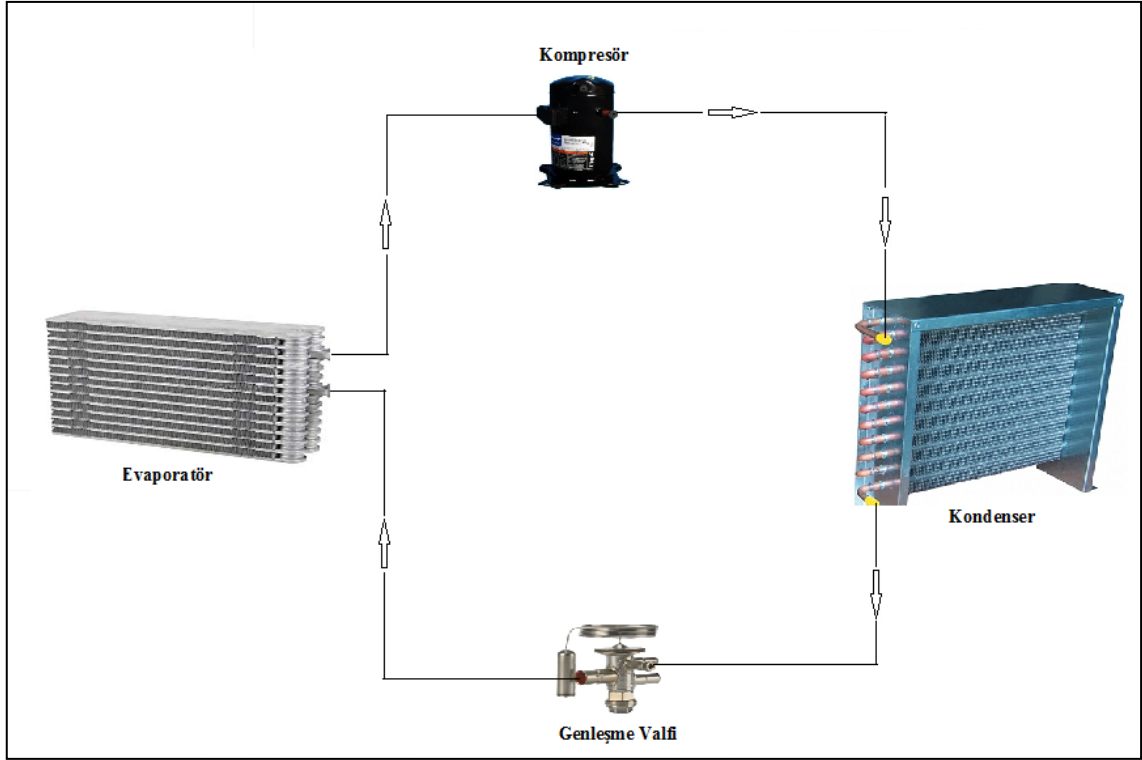
1.3. Isı Pompası Çalışma Prensibi

Isı pompası sistemlerinde ana enerji kaynağı olarak hava, toprak ve su kullanılır. Kullanılacak alanın özelliğine ve kullanım amacına göre kaynak seçimi yapılmalıdır. Bu sistemlerde önemli olan enerji kaynağının olabildiğince stabil olmasıdır. Enerji kaynakları arasında toprak en stabil kaynaktır. Ancak ilk yatırım maliyeti yüksektir. Örneğin ocak ayında ortalama 1m derinlikteki toprak sıcaklığı Ankara'da 12°C, İstanbul'da 8°C, İzmir'de ise yaklaşık 14°C olmaktadır. Hava sıcaklıkları ise mevsimsel sıcaklık farkına göre devamlı değişkendir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda tasarlanan yeni kompresörler ve laboratuvar ortamında keşfedilen yeni gazların kullanılmaya başlanması ile ılıman bölgelerde toprak kaynaklı ısı pompaları ile hava kaynaklı ısı pompalarının COP (performans katsayısı) değerleri birbirine çok yaklaştırılmıştır (Wu, 2009). Şekil 1.5'te ısı pompası çalışma prensibi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.5. Isı Pompası Çalışma Prensibi

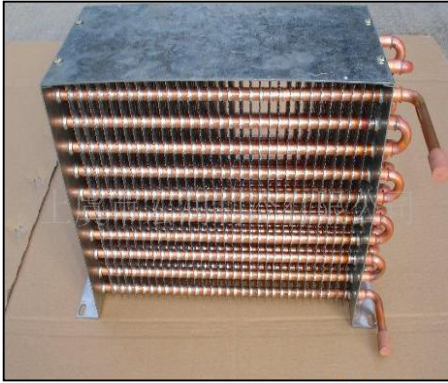
Isı pompası sistemlerinin kapalı devrelerinde soğutucu akışkanlar denilen FREON gazları kullanılmaktadır. Evaporatör(buharlaştırıcı) içerisinde dolaşan soğutucu akışkan, etrafındaki ortamdan gerekli ısıyı çekerek buharlaşır ve buharlaşan bu soğutucu akışkan, kompresör aracılığıyla kondensere (yoğuşturucu) basılır. Kondenserde, kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkan etrafındaki ortama ısı vererek yoğunlaşır ve doymuş sıvı fazına geçer. Kondenserden çıkan soğutucu akışkan kısılma valfindan geçer. Soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklığı buharlaştırıcı basınç ve sıcaklığına düşürülerek ısı pompası çevrimi tamamlanmış olur. Şekil 1.6'da ısı pompası bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Isı Pompası Elemanları

1.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Evaporatör, soğutucu akışkanını sıvı fazında girip buharlaştıktan sonra gaz fazında çıktığı sistem elemanıdır. Şekil 1.7’de hava kaynaklı ısı pompası evaporatörü gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Hava Kaynaklı Isı Pompası Evaporatörü (Bulut, 2010)

1.5. Kompresör

Kompresör, evaporatörden gaz fazında çıkan akışkanı belirli basınçta sıkıştırarak kondensere gönderen sistem elemanıdır. Şekil 1.8’de hava kaynaklı ısı pompası kompresörü gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kompresörü (Bulut,2010)

1.6. Kısılma Valfi

Kısılma valfi, soğutucu akışkan basıncını istenilen kondenser basıncına düşürmeye yarayan sistem elemanıdır. Kompresörde belirli oranda sıkıştırılan akışkan kondenserde ısı vererek sıvı faza geldikten sonra kısılma valfine gelir ve basıncı evaporatör basıncına düşürülür. Şekil 1.9’da ısı pompası kısılma valfi gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Isı Pompası Kısılma Valfi (Bulut, 2010)

1.7. Kondenser (Yoğuşturucu)

Kondenser, soğutucu akışkanın gaz fazında girdikten sonra ısısını vererek sıvı faza geçtiği sistem elemanıdır. Şekil 1.10'da hava kaynaklı ısı pompası kondenseri gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kondenseri (Bulut, 2010)

1.8. Isı Pompası Enerji Kaynakları

Mevcut ısı pompası sistemlerinde kullanılan enerji kaynakları üç grupta toplanır. Bu enerji kaynakları kullanılacak alan özelliklerine göre hava, su ve topraktır.

1.8.1. Hava

Hava, ısı pompası sistemleri için kolay elde edilen, maliyetsiz, bol ve doğal bir ısı kaynağıdır. Havanın en büyük avantajı doğada sürekli bulunan bir enerji kaynağı olmasıdır. Havanın diğer enerji kaynaklarına göre daha avantajlı olmasının bir diğer sebebi ise her ortamda kullanılabilmesidir. Isı kaynağı olarak hava kullanılan sistemlerin maliyetlerinin düşük, boyutlarının makul olması ise artı bir avantajdır (Tabatabei ve Treur., 2016).

1.8.2. Su

Isı kaynağı olarak kullanılan su, kuyulardan, göllerden, nehirlerden, şehir şebekesinden, denizlerden ve üretim işlerinden elde edilir. Ortalama 10m ve daha fazla derinlikteki yeraltı suyunun sıcaklığı yıl boyunca çok az farklılık gösterir. Ortalama yer altı suyu sıcaklığı 10⁰C'dir. Enerji kaynağı olan su spesifik(özel) ısıya sahiptir. Bu özelliğinden dolayı su ısınıp soğurken büyük miktarda enerji depolar ve verir (Rajapaksha ve Suen, 2003).

1.8.3. Toprak

Enerji kaynağı olan toprak yıl boyunca çok fazla değişmeyen bir sıcaklığa sahiptir. Bu sıcaklık yıl boyunca güneşin yeryüzüne ışıdığı ve toprağın depoladığı güneş enerjisinden kaynaklanır. Enerji kaynağı olan toprak stabil sıcaklığıyla ve enerjiyi depolama yönüyle çok elverişli bir enerji kaynağıdır. Toprak altına belirli derinlikte gömülen borulardan doğrudan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından glikol karışımlı su pompalar ile geçirilerek topraktaki enerji alınır ve sistemde kullanılır. Toprak altında ısı geçişini sağlayan borular yatay ve dikey olmak üzere iki farklı şekilde yerleştirilebilirler (Özgener ve Hepbaşlı, 2005).

1.9. Su Kaynaklı Isı Pompaları

Su kaynaklı ısı pompası sistemleri ısıtma ve soğutma amacıyla evlerde, otellerde ve diğer yaşam alanlarında kullanılmaktadır. Su kaynaklı ısı pompası sistemlerinde

COP(performans katsayısı) değeri yüksek ve karardır. Söz konusu sistemin kurulumu üç farklı şekilde yapılabilmektedir.

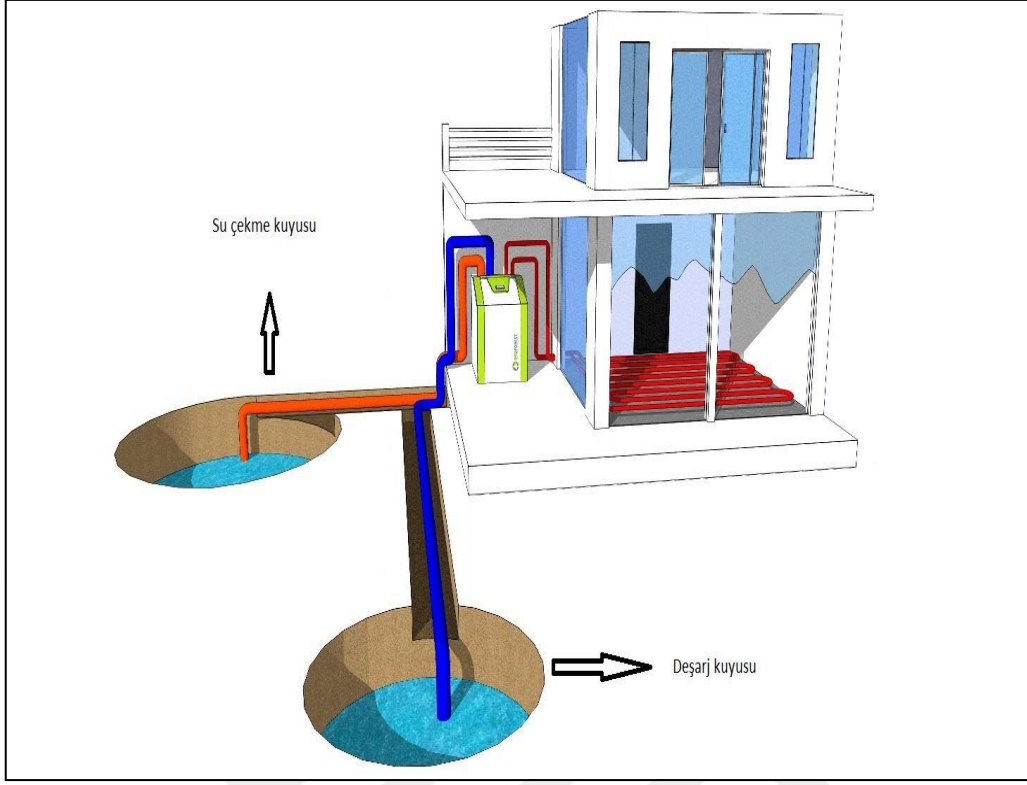
Kuyu Suyu Kullanılan Sistemler.

Yüzey Suyu (göl, deniz... vb.) Açık Sistemler.

Yüzey Suyu (göl, deniz... vb.) Kapalı Sistemler.

1.9.1. Kuyu Suyu Kullanılan Sistemler

Kuyu suyu kullanılan su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin konstrüksiyonu için ilk şart yer altı suyunun bulunmasıdır. Yeraltı suyu bulunan alanlarda kuyular açılır ve çıkan su pompalar vasıtasıyla ısı pompasına gönderilir. Yer altı suyu sıcaklığının 10-15°C arasında olmasından dolayı stabil bir COP (performans katsayısı) elde edilir. Çünkü su kaynaklı ısı pompalarının çalışması için enerji kaynağı olan suyun sıcaklığının ortalama 7-8°C olması yeterlidir. Isı pompası sisteminde primer devreye su alınan kuyuya şarj kuyusu, sekonder devrede kullanılan suyun boşaltıldığı kuyuya ise deşarj kuyusu denir. Su kirliliği meydana gelmez çünkü su alındıktan sonra tekrar deşarj kuyusuna verilir. Şekil 1.11.'de kuyu suyu su kaynaklı ısı pompası kurulumu gösterilmiştir (Doğan, 2003).



Şekil.1.11. Su Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi(www.psmenerji.com)

1.9.2. Yüzey Suyu Açık Sistemler

Deniz, göl, nehir veya kuyu enerji kaynağı olarak tercih edilebilir. Bu sistemlerde yılın her mevsiminde yeterli miktarda akışı karşılayacak miktarda suyun olması önemli bir kriterdir. Ayrıca su sıcaklığının uygun aralıklarda kalmasına dikkat edilmeli ve suyun çekildiği nokta ile deşarj edildiği nokta arasında yeterli mesafe bırakılmalıdır. Kullanım suyunun filtrelenmesi gerekir. Bu yüzden araya filtre koyulması gerekir. Böylece kum, yosun ve çakıl kalıntıları filtrelenerek ısı pompası eşanjörüne gönderilir (Doğan, 2003). Şekil 1.12’de yüzey suyu açık ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Yüzey Suyu Açık Isı Pompası Sistemi(<http://www.maxen.com.tr>)

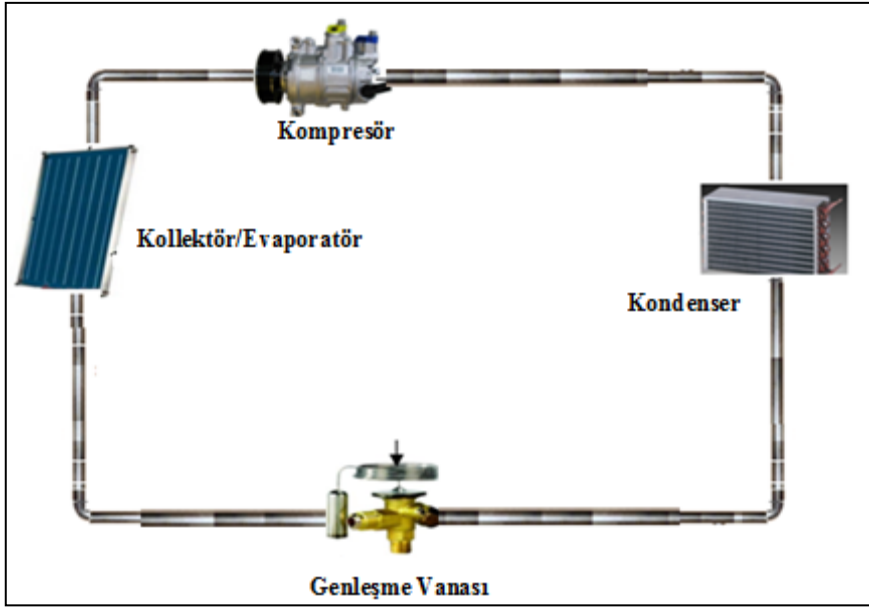
1.9.3. Yüzey Suyu Kapalı Sistemler

Bu sistemlerde açık sistemlerden farklı olarak ısı pompası evaporatörüne su alınmaz. Kapalı bir sistem içinde dolaşan su ile enerji kaynağı olan su arasında enerji transferi olur. Sistem kapalı olduğu için su kirliliği meydana gelmez ve ara eşanjöre de ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca araya filtre koymaya da gerek yoktur (Doğan, 2003). Şekil 1.13'te yüzey suyu kapalı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



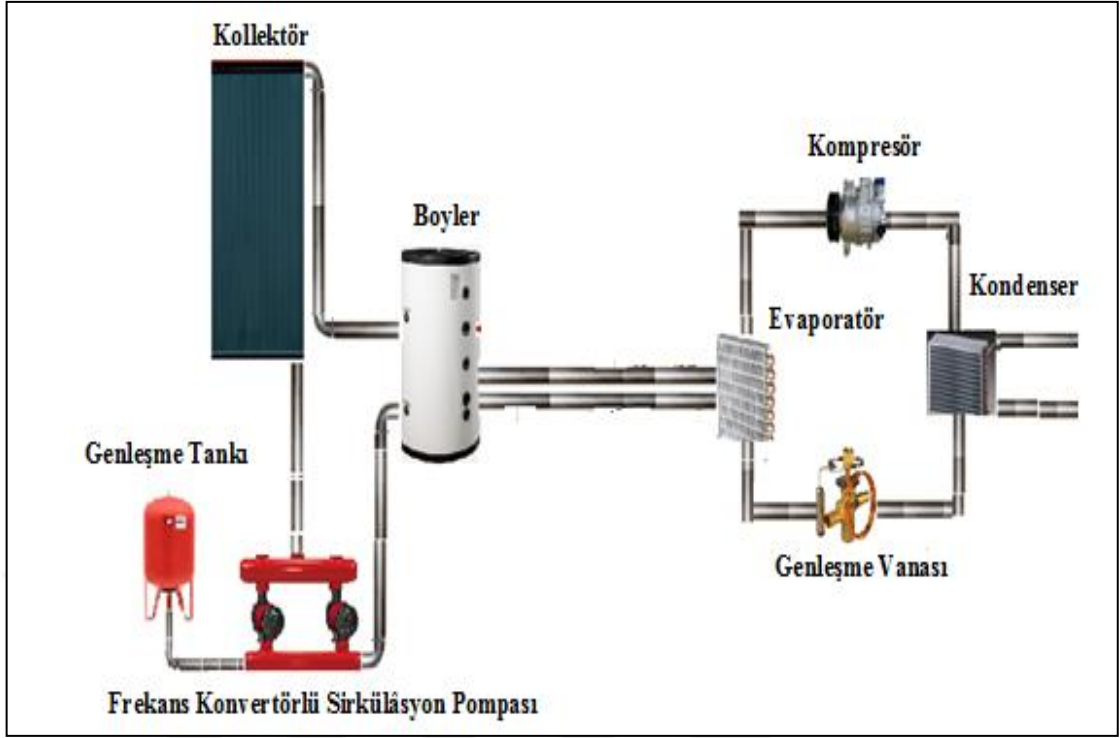
Şekil 1.13. Yüzey Suyu Kapalı Isı Pompası Sistemi(<http://www.maxen.com.tr>)

Tasarlanan sistemde su kapalı devre sistem içerisinde dolaşacağından yer altı suyuna ihtiyaç yoktur. Sisteme mikroişlemci kontrol sistemi eklenerek sıcaklık ve sera iç hava kalitesi kontrol edilip bitkiler için daha uygun bir ortam oluşturulacaktır. Enerji kaynağı olarak güneş kolektörleri ve merkezi ısıtma sistemi galeri hattı atık ısını absorbe edecek DN100 PE boru kullanılacaktır. Söz konusu sistemlerden biri olan güneş kolektörü destekli ısı pompası sistemleri ikiye ayrılır. Dolaysız ve dolaylı olarak adlandırılan bu sistemlerin adlandırılması güneş kolektöründe dolaşan akışkana bağlıdır. Dolaysız sistemlerde güneş kolektörü içinde soğutucu akışkan dolaşmaktadır. Şekil 1.14’te dolaysız ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



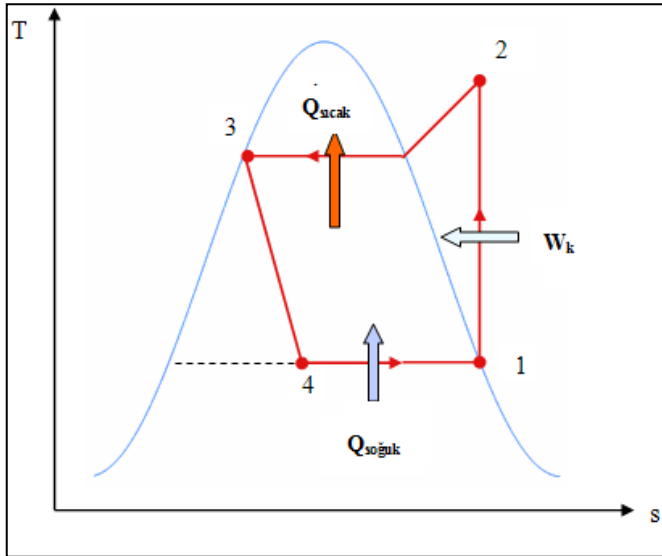
Şekil 1.14. Dolaysız Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

Dolaylı sistemlerde soğutucu akışkan, evaporatör ve kondenser arasındaki kapalı çevrim içerisinde yer alır. Isı kaynağı olan su-glikol karışımı bir depoda bulunur. Depoda bulunan su-glikol karışımı güneş kolektörleri içerisinde dolaşır(Dannemand ve ark.,2019). Şekil 1.15’te dolaylı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.

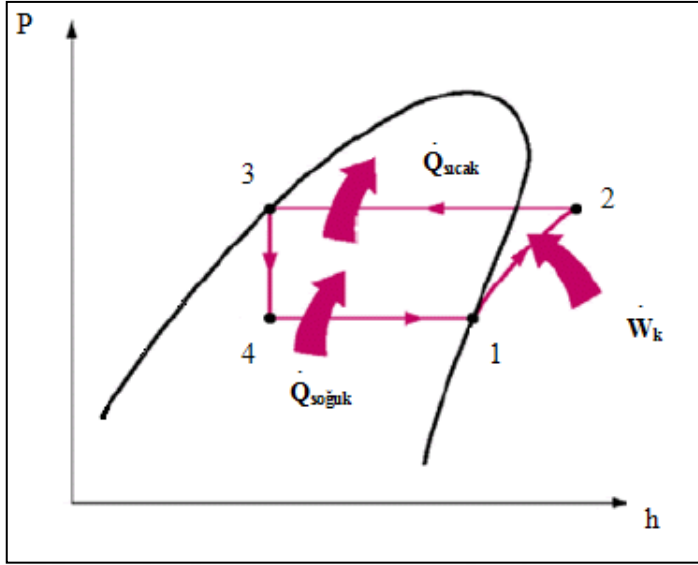


Şekil 1.15. Dolaylı Isı Pompası Sistemi

Isı pompası ideal buhar sıkıştırımlı sistemler olarak anılırlar ve bu çevrimin diyagramı Şekil 1.16 ve Şekil 1.17’de verilmiştir.



Şekil.1.16. İdeal Buhar Sıkıştırımlı Çevrim T-s Grafiği (Çengel ve Boles, 2002)



Şekil 1.17. İdeal Buhar Sıkıştırma Çevrimin P-h Grafiği (Çengel ve Boles, 2002)

Şekil 1.16 ve Şekil 1.17’de meydana gelen olaylar aşağıda verilmiştir.

- 1-2.Kompresörde izentropik sıkıştırma.
- 2-3.Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı verilmesi.
- 3-4.Genleşme vanasında kısılma.
- 4-1.Buharlaştırıcıda sabit basınçta ısı alınması.

Tasarladığımız su kaynaklı ısı pompası sistemi dolaylı ısı pompası sistemi kategorisindedir. Bu sistemlerin COP değeri diğer su kaynaklı ısı pompası sistemlerine göre daha yüksektir. Bu çalışmamızda su kaynaklı ısı pompalarında COP değerini arttırmak için atık ısı absorbe edebilen bir mekanizma eklenmiştir.

Çanakçı ve ark. (2015) tarafından yapılan araştırmada sera alanı yeraltından çıkan sıcak su ile ısıtılmıştır. Tasarlanan sistemde sera alanı boru serpantinlerle ısıtılmıştır. Projemizde ısı pompasının çalışması için kapalı sistem içerisinde bulunan güneş kolektörleriyle ısıtılan su ile sağlanarak başka bir kaynağa ihtiyaç duyulmamaktadır. Isı pompasının çalışması için minimum 7-8°C su sıcaklığı yeterlidir.

Abdulaziz ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada dolaylı ve dolaysız su kaynaklı ısı pompalarını incelemiş ve şu sonuçlara ulaşmıştır:

Dolaysız sistemlerde soğutucu akışkanın doğrudan buharlaşması güneş kolektörü- evaporatör elemanında daha yüksek ısı transfer katsayılarına ulaşılır.

Dolaysız sistemlerde güneş kolektörü evaporatör olarak kullanılır böylece sistem maliyet düşer.

Dolaysız sistemlerde akışkan direkt olarak dış ortama açık olduğu için donma meydana gelebilir.

Dolaysız çevrimde soğutucu akışkanın direkt olarak dolaşmasından dolayı sistem kayıpları daha azdır.

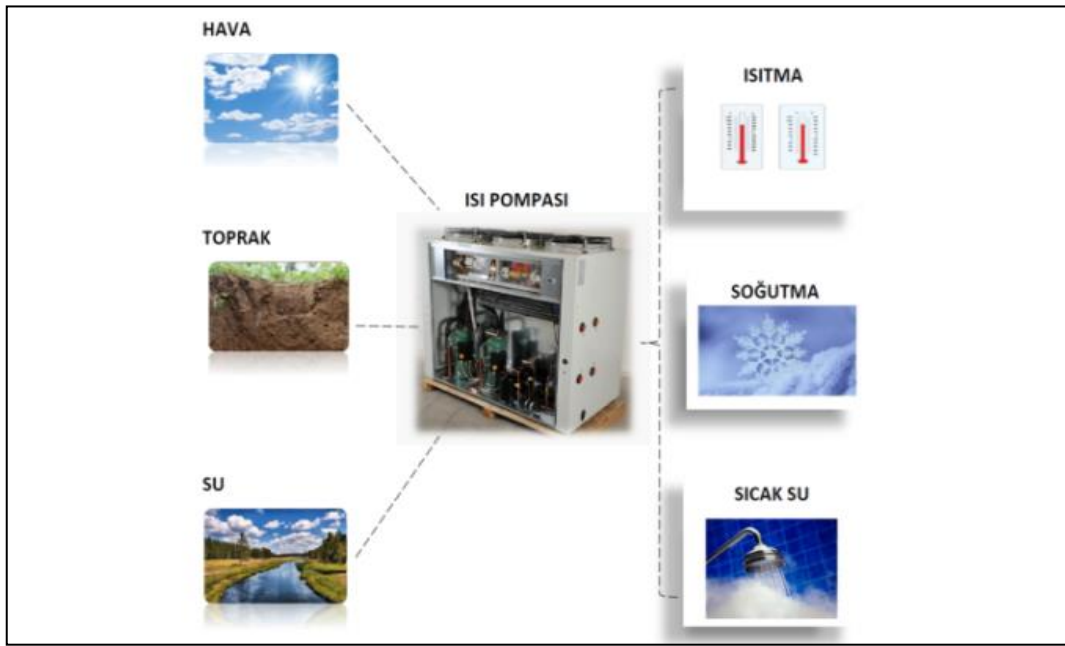
Yapılan bu araştırma dolaysız sistemlerin avantajları olduğu gibi dezavantajları olduğunu da göstermiştir. Akışkanın kolektörde direk olarak dolaştırılması COP açısından verimli olabilir ama çok düşük sıcaklıklarda akışkan gereken ısı transferini yapamaz. Tasarladığımız sistem aynı zamanda atık ısı absorbesi yapabildiği için COP değerinde ani düşmeler meydana gelmez. Sıcak su depo edildiğinden güneş kolektörü sistemiyle de yedeklenecektir.

Chow ve ark. (2006) dolaysız tip direkt genleşmeli ısı pompasının incelemesini yapmıştır. Sistemin COP değeri yaz aylarında en yüksek 10'a çıkmıştır. Temmuz ve ocak aylarında ortalama COP değeri 7,50 ile 5,47 arasında değişmiştir. Yıllık ortalama COP değeri ise 6,46 civarında olmuştur. Sonuçlara göre geleneksel ısı pompası sisteminden daha yüksek COP değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada güneşten en iyi yararlanma metodu uygulanmış ve bu sistem COP 'ta verim artışı olarak karşımıza çıkmıştır. Tasarladığımız sistemin sıcaklık değeri minimum 20°C olarak ayarlanmış bu veriye göre güneş kolektörü seçimi yapılmıştır. Mevsimsel olarak güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda merkezi sistem galeri hattına dönecek DN100 PE boru ile sistemin devamı sağlanacaktır. Kurmayı planladığımız sera alanı Karamanoğlu

Mehmetbey Üniversitesi yerleşkesinde bulunmaktadır ve ısıtma işlemi merkezi doğalgaz sistemi ile yapılmaktadır. Sistem alternatif enerji kaynaklı çevreci atık bırakmayan özellikle AB ve ABD’de kullanılan bir sistemdir.

1.10. Isı Pompası Türleri

Isı pompası sistemleri genel olarak 3 ana gruba ayrılır ve ısı kaynağı ve ısıtma sistemlerine enerjinin aktarılması türlerine göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.18’de ısı pompası çeşitleri verilmiştir.

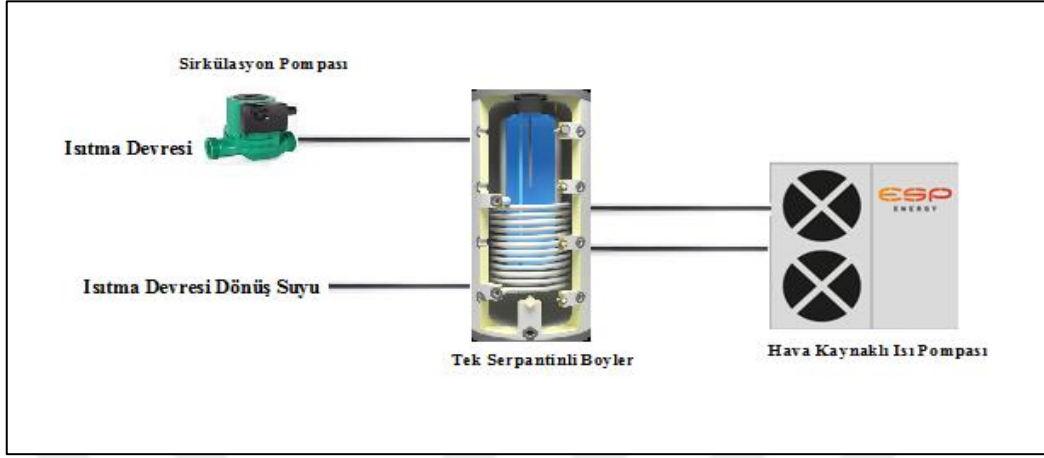


Şekil 1.18. Isı Pompası Çeşitleri(<http://www.metantech.com>)

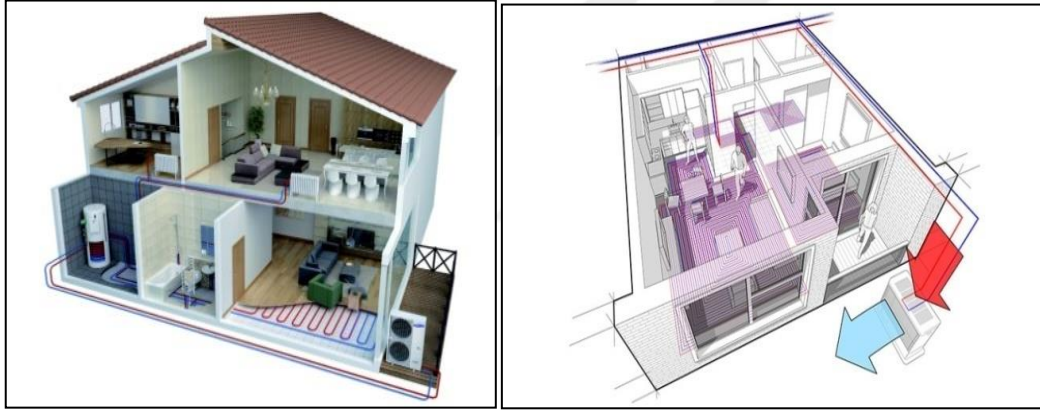
1.10.1. Hava Kaynaklı Isı Pompaları

Hava kaynaklı ısı pompalarında enerji kaynağı olarak dış hava kullanılır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı ise dış hava koşullarından çok fazla etkilenmesidir. Bu özelliğinden dolayı kısıtlı bir kullanım alanı vardır. Bu nedenle sistemin COP değeri değişkendir (Huang ve ark., 2019). Özellikle karasal iklimin hâkim olduğu ve iç ve dış ortam sıcaklığı farkı fazla olan yerlerde kullanılması ekonomik açıdan uygun değildir

(Hepbaşlı ve Balta, 2007). Şekil 1.19’da hava kaynaklı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.19. Hava Kaynaklı Isı Pompası Şematik Gösterimi



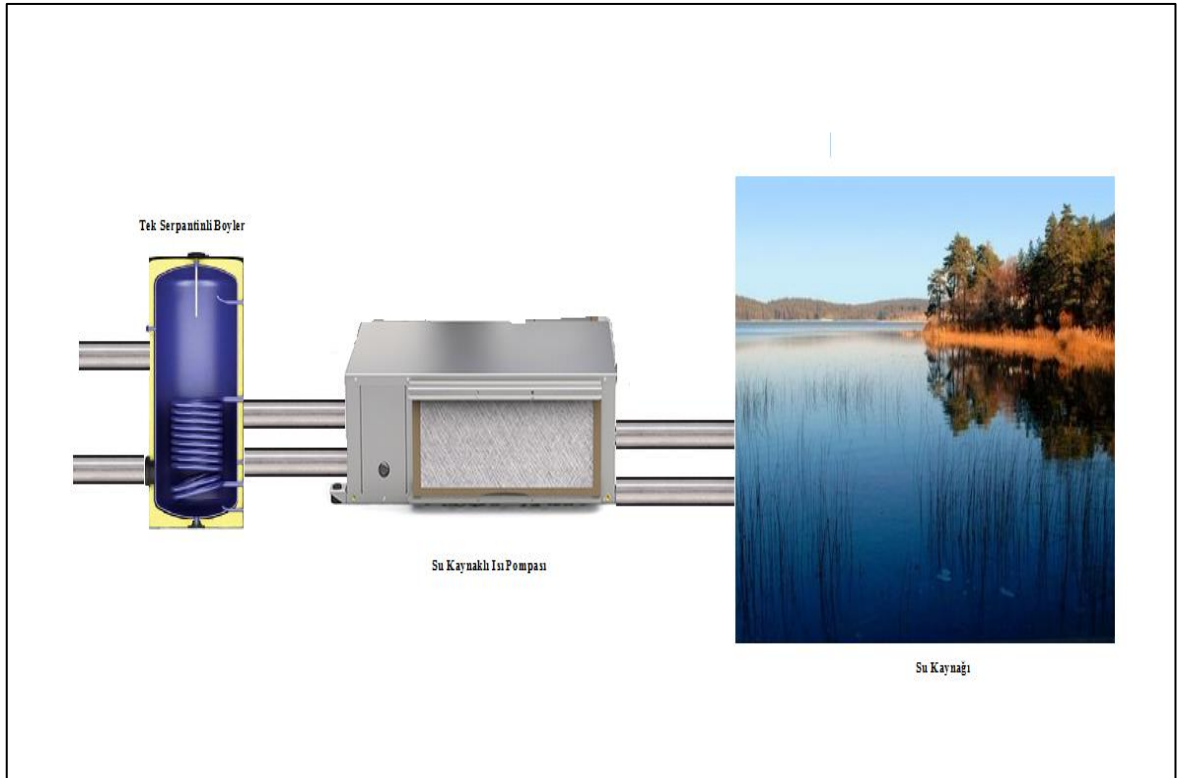
Şekil 1.20. Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Kurulumu (<http://isle-eco.com>)

1.10.2. Su Kaynaklı Isı Pompaları

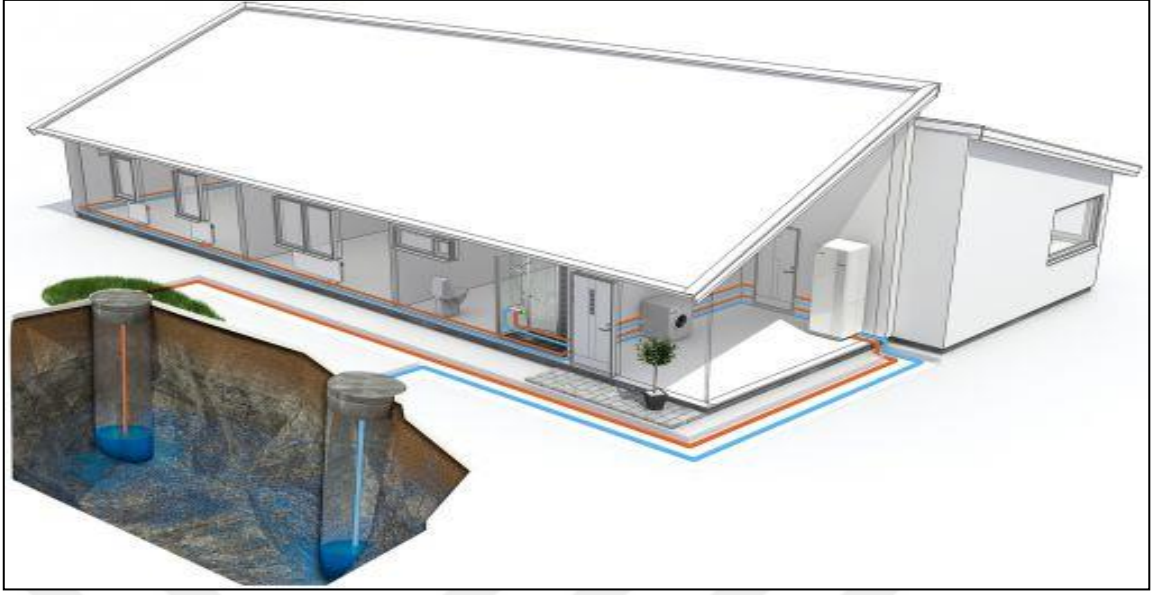
Su kaynaklı ısı pompası sistemlerinde enerji kaynağı olarak su kullanılır. Borulama mekanizmasına ve su kaynağına göre söz konusu sistemler gruplandırılır. Bu tür sistemlerde derinliği denizlere göre daha az olan göl veya nehirler ya da kuyu suları ısı kaynağı olarak kullanılır. Su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin çalışması toprak kaynaklı ısı pompalarına benzer. Deniz suyu büyük çaplı ısı ihtiyaçlarında kullanılan

mükemmel bir çözümdür. Ayrıca ortalama 50 m derinliklerde deniz suyu sıcaklığı 6-8°C'de sabittir. Su kaynaklı ısı pompası sistemleri için en uygun ısı kaynağı ise yeraltı sularıdır. Çünkü yeraltı suları kış sezonunda bile yer altı suyu sıcaklığı ortalama 15°C civarındadır. Yeraltı sularının kullanılması için iki farklı kuyunun açılması gerekir. Şarj kuyusundan çekilen belirli sıcaklıktaki su kullanıldıktan sonra deşarj kuyusu deniz kuyuya boşaltılır (Karslı ve ark, 2007).

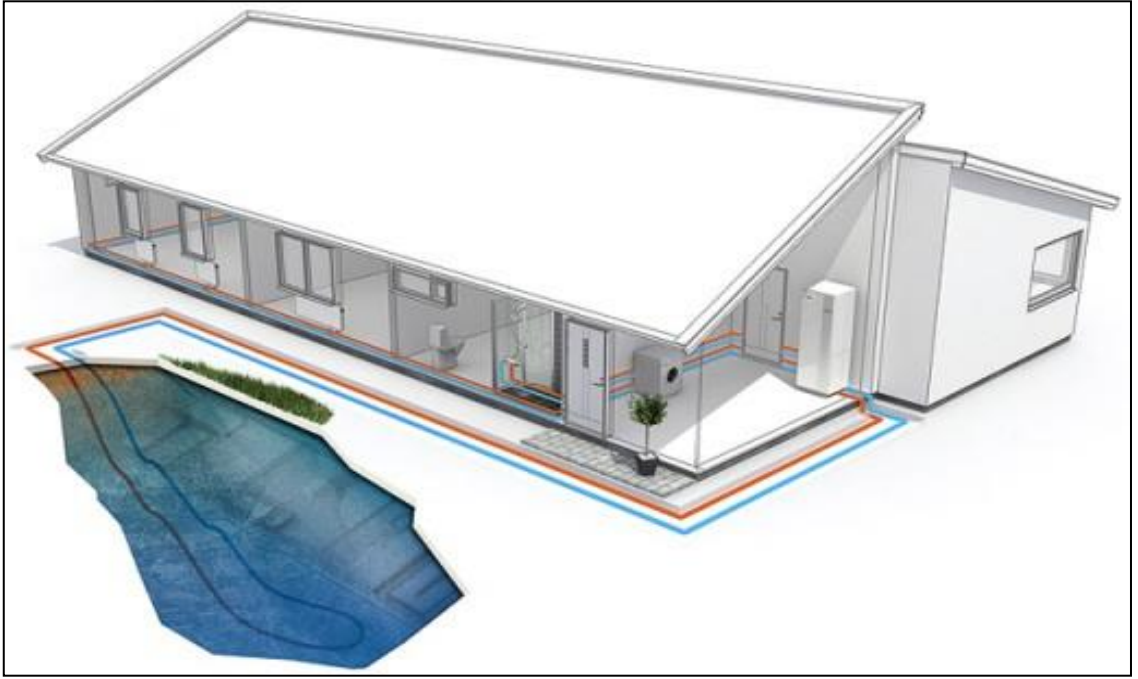
Su kaynaklı ısı pompası sistemleri açık ve kapalı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Şekil 1.21'de açık sistem su kaynaklı ısı pompası kurulumu Şekil 1.22'de ise kapalı sistem su kaynaklı ısı pompası kurulumu verilmiştir.



Şekil 1.21. Su Kaynaklı Isı Pompası Şematik Kurulumu



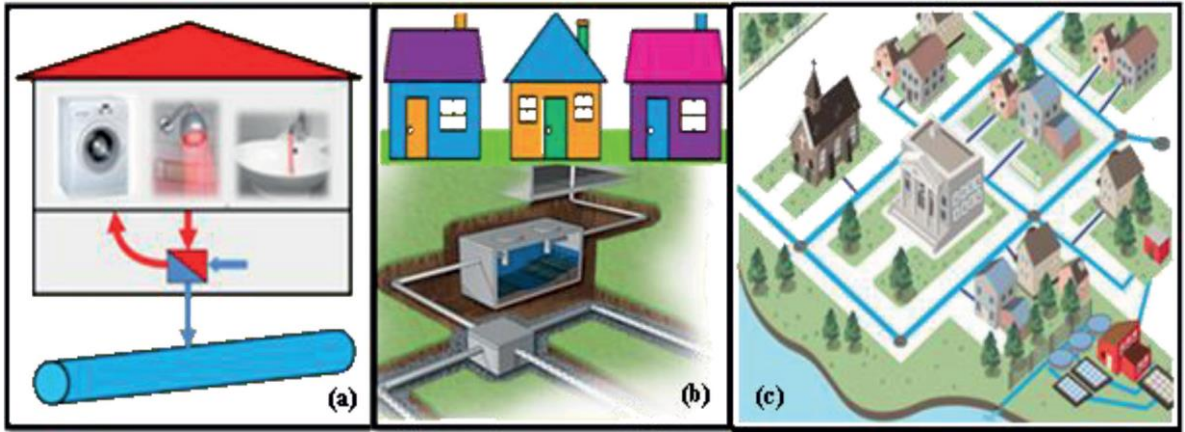
Şekil 1.22. Açık Sistem Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi(<http://www.nibeturkiye.com>)



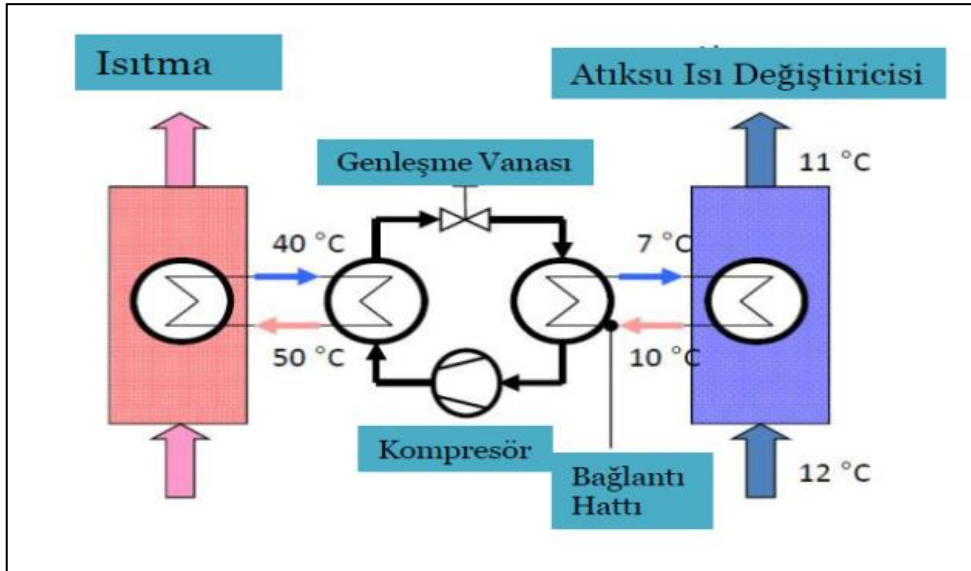
Şekil 1.23. Kapalı Sistem Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (<http://www.nibeturkiye.com>)

1.10.2.1. Atık Su Kaynaklı Isı Pompası

Atık su ısı pompası sistemlerinde enerji kaynağı olarak fabrika ve kanalizasyon atık suları kullanılır. Atık suyun sıcaklığı ortalama 12-15°C arasında olmaktadır ve bu hatlardan alınan suyun sıcaklığı, pompa sistemleri aracılığıyla eşanjörden geçirilerek ısı pompasına gönderilmektedir. Bu sistemlerin avantajı su kaynağı devamlı olduğu için yıl boyu kullanılabilirlerdir. Şekil 1.24 ve Şekil 1.25'te atık su ısı pompası sisteminin nasıl kurulacağı açıklanmıştır (Araz ve ark., 2015).

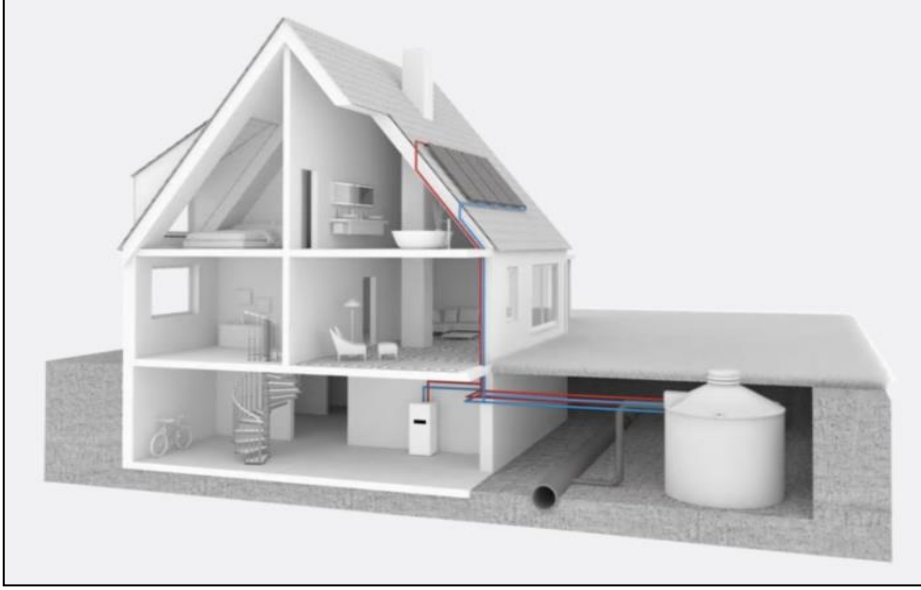


Şekil 1.24. Atık Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Araz ve ark., 2014)



Şekil 1.25. Atık Su Kaynaklı Isı Pompası Çevrimi (<http://www.huber.com.tr>)

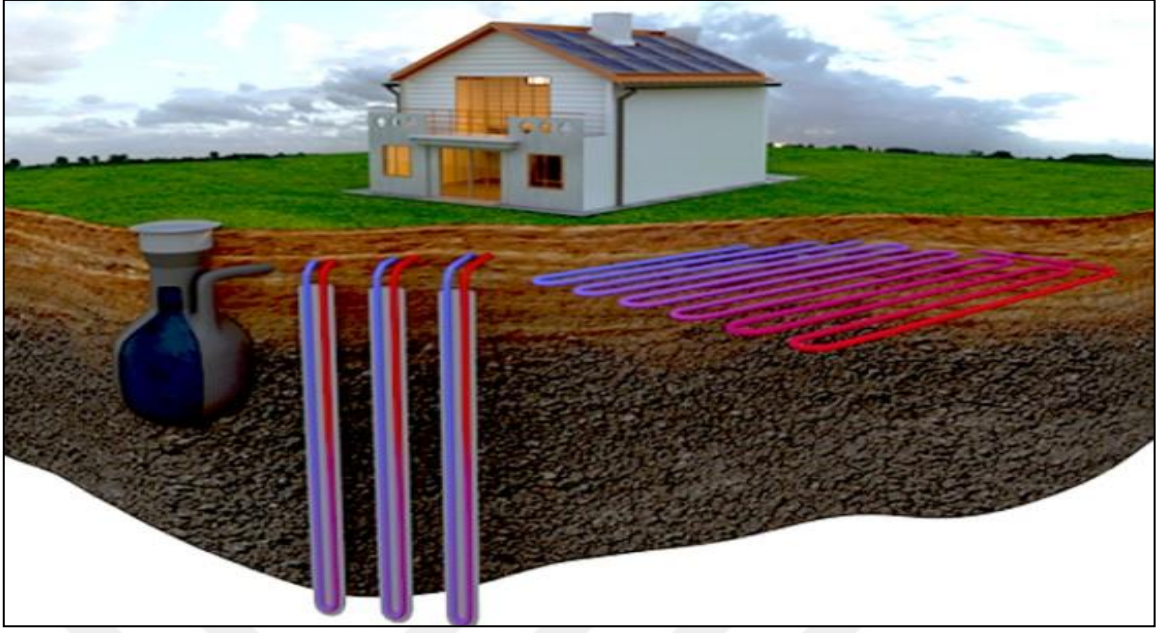
Kanalizasyon atık suyunu enerji kaynağı olarak kullanılan su kaynaklı ısı pompası kurulumu Şekil 1.25'te verilmiştir. Kanalizasyon atık suyu sıcaklığı ortalama 12°C'dir. Atık su, pompa vasıtasıyla ısı pompası primer devresine entegre atık su eşanjörüne gönderilir. Ayrıca sisteme düzlemsel güneş kollektörleri de eklenebilmektedir. Güneş enerjisi sistemi güneşli günlerde daha yüksek COP değerlerine ulaşılmasını sağlar. Şekil 1.26'da kanalizasyon atık suyu kaynaklı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Kanalizasyon Atık Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (<http://www.huber.com.tr>)

1.10.2.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

Güneşten gelen enerjinin büyük miktarı dünyanın kütesinde tutulmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin asıl amacı dünyanın kütesinde bulunan bu hazır enerji kaynağından faydalanılmasıdır. Toprak kararlı bir enerji kaynağıdır çünkü ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalır. Yıl boyunca toprak sıcaklığı da stabildir. Şekil 1.27'de toprak kaynaklı ısı pompası kurulum aşaması örnek olarak verilmiştir (Çomaklı ve ark, 2011).

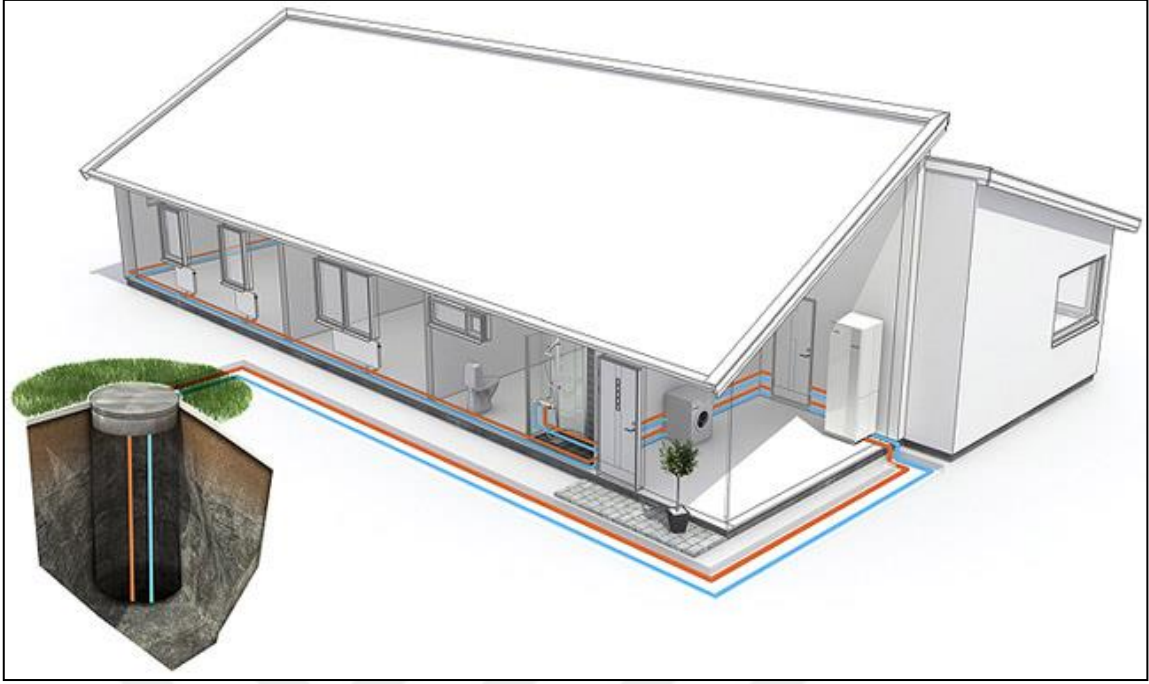


Şekil 1.27. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kurulumu (Çomaklı ve ark., 2011)

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri iki alt gruba ayrılır. Bunlar yatay ve dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemleridir.

1.10.2.2.1. Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası

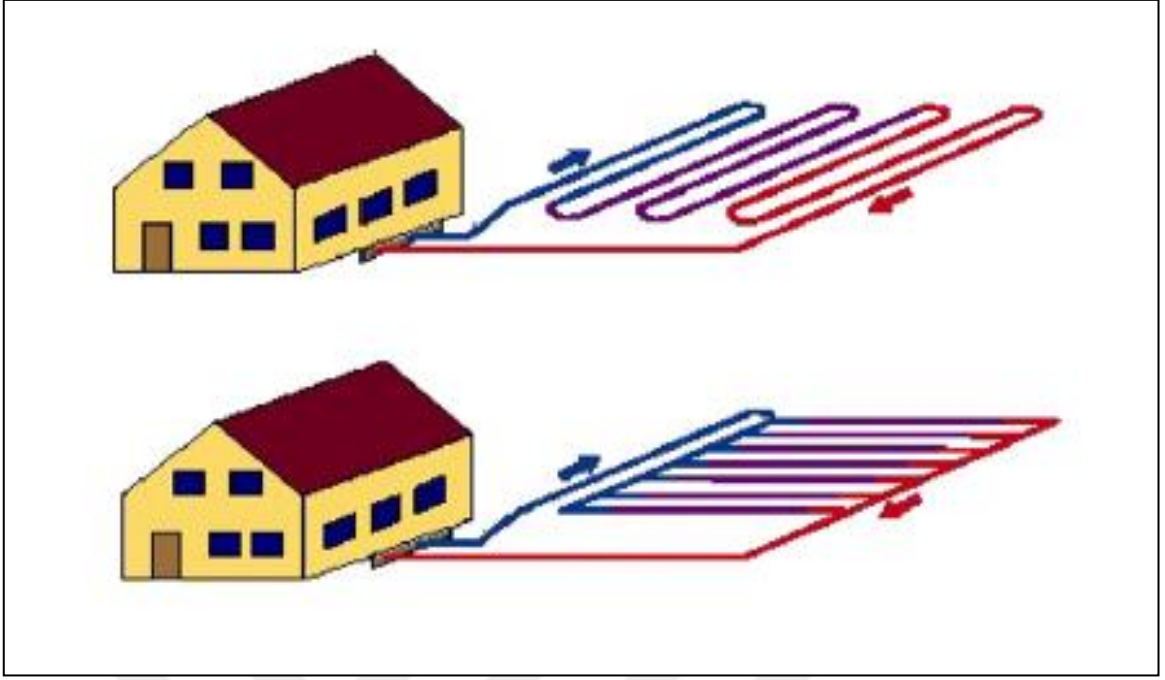
Bu sistemin kurulabilmesi için öncelikle dikine kuyular açılması gerekir. Açılan kuyuların içine borular döşenir böylece toprağın enerjisi ısı pompasına gönderilmiş olur. Isıl enerji ihtiyacına göre gerekli çapta ve adette kuyular gereklidir. Açılacak kuyuların derinliği sondaj koşullarına ve kullanılan ekipmanların teknolojisine bağlı olarak değişiklik gösterir (Yoldaş ve Durmaz, 2007). Şekil 1.28’de dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kurlumu gösterilmiştir.



Şekil 1.28. Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (<http://nibeisipompasi.com>)

1.10.2.2.2. Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Tek borulu, çok borulu ve serpantinli olarak kurulabilen bu sistemler uygun toprak alanı olan yerlerde tercih edilirler. Tek borulu sistemde borular ortalama 1,2m derinlikteki toprak alanına yerleştirilir. Ayrıca yerden tasarruf için çoklu borular ikili ve dörtlü olarak döşenebilir. En uygun boru döşeme şekli serpantin şeklinde döşemedir. Bu sistemler yatay ve düşey olarak da kurulabilmektedir. Ortalama 1,5 ile 2m derinliğe yerleştirilen yatay tip ısı değiştirgeçlerinin içinde bulunduğu toprak sıcaklığı tüm yıl boyunca dış hava sıcaklığına göre daha az değişim gösterir (Kıncay ve Temir, 2003). Şekil 1.29’da yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kurlumu gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Omer, 2006)

1.11. COP ve EER Değeri

Isı pompalarında COP ve EER değerleri performans ve enerji maliyetini belirleyen temel kriterlerdir ve bir ısı pompası seçiminde bakılacak ilk şey ısı pompasının COP ve EER değerleridir. COP kelimesi "Coefficient of Performance" yani "Performans Katsayısı" anlamına gelen İngilizce kelimelerin baş harflerinin kısaltması şeklinde oluşturulmuştur. Herhangi bir ısı pompasının ısıtma performansının analizinde COP değeri bize yardımcı olur. COP değeri ısı pompasının 1 birim enerjiyle kaç birim ısı değeri ürettiğini ifade eden bir kavramdır. Yani COP değeri 5 olan bir ısı pompası 1 kW'lık elektrik çekerek 5 kW'lık ısıtma elde eder. Bugün hâlihazırda kullanılan ısı pompalarında COP değeri 3,60 değerinin üzerinde olanlar A enerji sınıfındadır ayrıca enerji sınıfında da COP değeri 3,60'ın ne kadar üzerine çıkarsa ısı pompası da o kadar az elektrik harcayarak daha çok ısıtma sağlar. Bugün teknolojinin gelişimiyle paralelinde yapılan çalışmalarda COP değeri ortalama 6,80'e kadar çıkartılmıştır. EER kelimesi ise "Energy Efficiency Ratio" yani "Enerji Tasarruf Oranı" anlamına gelen İngilizce kelimelerin baş harflerinden oluşmaktadır ve bu değer ısı pompasının soğutma

verimliliğini gösteren değişkendir. EER de aynı COP değerine benzer şekilde ne kadar yüksek ise ısı pompası o kadar az enerji harcayarak o kadar çok soğutma yapar. EER değeri 3,20 ve üzerinde olan ısı pompaları A enerji sınıfıdır. Isı pompalarında EER değeri 3,20'nin ne kadar üzerine çıkarsa elektrik tüketimi düşer ve soğutma verimliliği o oranda yükselir (Chow ve ark, 2006).

1.12. Isı Pompası Avantajları

Toprak – su kaynaklı ısı pompası sistemleri yeryüzünün ortalama bir derinliğinde sıcaklığın yıl içinde sabit kalması sonucu enerji kaynağı olarak kullanılması gerçeğine dayanır. Ortalama 1,2m derinlikte toprak tabakası kışın havadan daha sıcak, yazın ise daha soğuktur. Toprak – su kaynaklı ısı pompası sistemlerinde kışın yer altı sularında veya toprakta depolanmış enerjiyi binaya, yazın bina içindeki enerjiyi yeraltına taşır(Sarbu ve Sebarchievici, 2013).

Günümüzde toprak – su kaynaklı ısı pompaları ısıtma-soğutma ve kullanım suyu elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. Bu ihtiyaçların tümüne monoblok olarak tasarlanan ısı pompaları tek makineyle cevap verebildikleri için de tercih sebebi olmuşlardır.

Isı pompası sistemlerinde 35°C besleme suyu sıcaklığı ve 55°C besleme suyu sıcaklığına göre dizayn edilmiş yerden ısıtma sistemleri arasında %30-%40 arasında elektrik tüketimi farkı oluşur.

Mevcut Isı pompası sistemleri herhangi bir atık ıkartmazlar, bu nedenle temiz bir ısıtma kaynağıdır.

Atmosfere atık gaz bırakmazlar.

1.13. Isı Pompası Dezavantajları

Isı pompası sistemleri iyi bir tasarım yapılırsa hiçbir dezavantajı bulunmaz. Fakat bu sistemlerin kurulması için iyi bir etüt yapılmalıdır. Amaç sadece çevreye katkı sağlamak, karbon salınımını azaltmak ise etüde gerek olmadan ısı pompası sistemi

kurulabilir. Isı pompası ile kapalı alanları ucuza ısıtmak ve serinletmek isteniyorsa bu durumda enerji verimliliği etüdü yapılması gereklidir. İyi yapılan bir etüt hem çevreye katkıda bulunacak hem de daha az enerji bedeli ödenmesini sağlayacaktır. Kış ayları boyunca dış hava sıcaklığı sürekli olarak eksi değerlere sahip bir bölgedeki kapalı alan için hava kaynaklı ısı pompasının uygun görülmesi durumunda sadece çevreye katkıda bulunulur ve bu durum ekonomik olarak büyük oranda zarar olarak geri döner. Isı pompası ile ısıtma testleri + 35°C çıkış suyu sıcaklığına göre yapılmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompası sistemleri ise +7°C dış hava ve + 35°C besleme suyu sıcaklığına göre test edilir. Yani kataloglarda yazılan kapasite, COP ve elektrik tüketimleri bu test değerlerinden elde edilen sonuçlardır. Isı pompası sistemleri bu şartlara göre seçilmezse istenen sonuç elde edilemez. Bu durumda beklenenden daha fazla elektrik tüketimi meydana gelir (Erdoğan ve ark., 2006).

1.14. Isı Pompası Seçimi

Isı pompası sistemlerinin seçimi yapılırken birçok kıstasın aynı anda değerlendirilmesi gerekir. Isı pompası sisteminin seçilmesi, ısı pompası kaynak tipinin seçimi, ısıtma-soğutma kapasitelerinin hesaplanması, bina içi sisteminin seçilmesi ve ısı pompası sisteminin model seçimi işlemlerinden oluşur ve her bir seçim kıstası da alt seçimleri gerektirebilir. Öncelikle enerji verimliliği yönünden ısı pompalarının kompresörleri kademeli olarak seçilmelidir. Kademeli kompresörler şalt sayılarını bina ihtiyacına göre ayarlayabildikleri için daha düşük enerji harcar (Erdoğan ve ark., 2006).

Isı pompası sistemlerinin tercih edilmesinin sebeplerinden bazıları şöyle sıralanabilir:

1. Isı pompası sistemi ile ekonomik bir iklimlendirme sağlamak.
2. Daha az kirlilik yani çevreye duyarlılık.
3. Tek yatırımla birkaç işlevin aynı anda yapılabilmesi (ısıtma, serinletme, kullanım sıcak suyu).

1.15.1. Isı Pompası Kaynak Tipinin Seçimi

Isı pompası sistemlerinde kullanılacak kaynak sıcaklığı ile bina içine gönderilecek sıcaklık arasındaki fark ne kadar fazla ise alınan verim o kadar düşer. Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı kullanılan ısı kaynağının özellikleriyle yakından ilişkilidir. Bu sebeple bir kapalı alan için ısı pompası sistem tipinin seçimi, büyük oranda kullanılacak ısı kaynağına bağlıdır. Ayrıca kullanılacak kaynak stabil olmalıdır. Kışın ısıtma konumunda dış hava sıcaklığı ortalama -10°C ve altında olan bir yerde hava kaynaklı ısı pompası seçiliyorsa büyük hata yapılıyor demektir. Bu durumda ısı pompası sistemi çok verimsiz çalışacaktır. Isı pompası sistemi tipinin seçimini yerleşim yerinin konumu, dış hava sıcaklığındaki değişiklik, toprak yapısı, yeraltı veya yerüstü sularının bulunabilirliği ve sistem kurulum maliyeti gibi faktörler etkilemektedir. Bu faktörler göz önünde bulundurulmalı ve sistem seçimi buna göre yapılmalıdır. Söz konusu faktörler büyük oranda binanın bulunduğu coğrafi konuma bağlı olmasından dolayı, en uygun sistem tipine karar verilmesinde binanın bulunduğu iklim bölgesinin karakteristik özellikleri dikkate alınmalıdır (Erdoğan ve ark., 2006).

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ısı pompaları konusunda yapılan araştırmalar kronolojik sırayla verilmiştir. Isı pompaları enerji verimliliği ve çevre kirliliği açısından önemli çalışmalardır. Bu sistemler değişik şekillerde kurulabilmektedir. Konuyla alakalı bazı araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Olgun ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada Yalova ilinde bir seranın ısı kaybı hesaplarını yapmış değişik malzemelerden yapılmış seraları incelemiştir. Sonuç olarak havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı sera örtü alanına göre kondüksiyon yolu ile meydana gelen ısı kaybı ve sera taban alanına göre oluşan ısı açığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır.

Ji ve ark. (2004) multi fonksiyonel domestik ısı pompaları üzerine çalışmışlardır. Çalışma üç aşamaya ayrılmıştır. Aşamalar:

- Sadece su ısıtma modu COP değeri ortalama 1,45 ile 3,65 arasında gerçekleşmiştir.
- Yerden soğutma ve su ısıtma modu COP değeri ortalama 3 ile 5 arasında değişmiştir.

Soldo ve ark. (2004) yaptıkları araştırmada R-134a soğutucu akışkanı içeren bir dolaysız ısı pompası tasarlamışlardır. Isı pompası sisteminde yarı hermetik kompresör kullanmışlardır. Sistem dolaysız olduğu için R-134a akışkanı direkt olarak güneş kollektörlerinden geçirilmiştir. Güneş kollektörleri 45° açıyla yerleştirilmiş ve yönü güneşe bakacak şekilde ayarlanmıştır. Evaporatör sıcaklığının daha düşük, ortam sıcaklığının daha yüksek olduğu zaman aralığında kollektör verimini %90'yakın tespit etmişlerdir. Evaporatör ve kondenserin verimleri ortam sıcaklığı değerlerine göre analiz yapılmış ve bu analizler sonucunda COP değeri 4 ile 9 arasında tespit edilmiştir. Ayrıca kondenser sıcaklığı arttıkça COP değerinde arttığını gözlemlemişlerdir.

Baek ve ark. (2005) atık su kaynaklı ısı pompası üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda ısı pompası COP değeri 4,5 ile 5 arasında değişmiştir. Isı pompası aynı zamanda anlık su ihtiyacının %90'ından fazlasını karşılayabileceği ortaya çıkmıştır.

Kuang ve Wang (2005) dolaysız ısı pompası üzerinde araştırma yapmışlar ve yerden ısıtma sistemine uygulanması durumunda COP değerinin değişimini araştırmışlardır. COP değeri ortalama 2,6 ile 3,3 arasında tespit edilmiştir. Sisteme düzlemsel 10,5m² güneş kollektörü entegre edilerek evaporatör olarak kullanmışlardır. Yerden ısıtma dışında ısı pompası sistemi 200 ile 1000lt arasındaki akışkanın sıcaklığını 50°C'ye kadar çıkarabileceği tespit edilmiştir.

Kürklü ve Çağlayan (2005) yaptıkları çalışmada sera otomasyon sistemi ile sera iç hava kontrolü, gübreleme ve sulama sistemlerinin nasıl entegre edileceğini araştırmışlardır. Çalışma sonucu tam otomasyonlu bir sera elde edilmiştir ve sera maketi üzerinde bu çalışmalar irdelenmiştir.

Trillat-Berdal ve ark. (2006) güneş kollektörü eklenmiş dikine toprak kaynaklı ısı pompasının 180m² alana sahip bir binada kullanılması durumunda analizlerini yapmışlar ve COP değerini 3,75'tir. Güneş kollektörlerinin etkisi ise güneşli zamanlara ortalama %60'tır.

Li ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada direkt genişmeli düzlemsel güneş kollektörlü ısı pompası su ısıtma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir ve şu sonuçlara varılmıştır:

- Sisteme entegre edilen 150lt sıcak su tankının sıcaklığını 13,5°C'den 50,5°C'ye çıkarmak için dış hava sıcaklığının 20,6°C olması ve güneş radyasyonu değerinin ortalama 955 W/m² olması gerekmektedir. Bu işlem sonucu COP değeri 6,61 olarak tespit edilmiştir.
- Dış hava sıcaklığı 17,1°C ölçüldüğü zaman aralığında ise COP değeri 3,11 olmuştur.

Hepbaşı ve Kalıncı (2008) yaptıkları araştırmada ısı pompası ile ısıtma sistemlerini irdelemiş ve şu sonuçlara ulaşmışlardır.

- COP değeri toprak kaynaklı ısı pompalarında 1,656 ile 3,307 arasında tespit edilmiştir.
- Dış hava sıcaklığına göre hava kaynaklı ısı pompası ile su ısıtma sistemi COP değeri 1,8 ile 5,66 arasındadır. Eksi hava sıcaklıklarında COP değeri çok fazla düşmektedir ve defrost edilmesi gerekebilir.
- Güneş kolektörleri destekli sistemlerde COP değeri 1,7 ile 6 arasında değişmiştir.
- Ekserjetik COP artışı ortalama %44,06 civarında olmuştur.
- Yerden ısıtma ve direkt su ısıtma sistemleri için toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri daha verimli olmaktadır.
- Isı pompasının harcadığı enerji klasik elektrikli su ısıtma sistemlerinden %65 daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

Kjellsson ve ark. (2009) toprak kaynaklı güneş kolektörü entegre edilmiş ısı pompası üzerinde çalışma yapmışlardır. Isı pompası 8kW, sondaj derinliği 60 ile 160m arasında düşünülmüş ve bu derinliğe göre çekilen ısı tespit edilmiştir. Bu derinliğe göre mevsimsel performans faktörü 0,50 ile 3,60 arasında COP değeri ise 3,70 ile 4,15 arasında değişmiştir.

Kozak ve ark. (2009) dikine tip toprak kaynaklı ısı pompasını incelemişlerdir. Sisteme fazladan bir adet sıcak su tankı eklenmiştir. Sondaj 100m olarak yapılmış U-tüp şeklindedir.

Matuska ve ark. (2009) düzlem kolektörler üzerine araştırma yapmışlar ve iki tip kolektör ile çalışmışlardır. Yapılan çalışmada selektif ve selektif olmayan düzlemsel güneş kolektörleri verimleri araştırılmıştır. Bu iki kolektör tipinin matematiksel

modellemesi yapılmış ve selektif olan düzlemsel kollektörün %15'e yakın daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır.

Rad ve ark. (2009) güneş kollektörü entegre edilmiş toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin nasıl kurulacağı hakkında çalışma yapmıştır. Sistem elemanları olarak bir adet ısıtıcı sıcak su tankı, toprak kaynaklı ısı pompası, güneş kollektörleri kullanılmıştır. Sistem dikine tip(U-tip) sondaj yapılarak kurulmuştur.

Sondaj derinliği 135 m'dir. Tank 0,22m³, kollektör sayısı 3'tür. Güneş kollektörü arttıkça sondaj derinliği azalmaktadır. Kollektör sayısı 12 olarak ayarlanırsa sondaj derinliği %40 oranında azalmıştır.

Riederer ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada toprak kaynaklı dikine tip ısı pompası MATLAB/Simulink programında irdelenmiş ve gerçek COP değerinin gerçek koşullarda %30 bulmuşlardır.

Isıtma ve soğutma için incelenen bina Fransız yapısı ve 100m² alan sahiptir. Bu bina için yerden ısıtma ve sıcak su deposu tankındaki suyun ısıtılması analizi yapılmıştır. Bu analizlere göre yapılan simülasyonların sonucunda Carnot ilkesine göre sistem verimi %30 olarak belirlenmiştir.

Nam ve ark. (2010) kuyu suyu ısı pompasının incelemesini ve analizini yapmışlardır. Kuyudan çıkan suyun sıcaklık ve debisine göre ısıtma modunda COP değeri 3,20 ile 4,28 arasında değişmiştir. Soğutma modunda ise 2,06 ile 3,48 arasında değişmiş ve sistemin toplam verimi yani COP_{sis} ortalama 2,06 ile 3,48 arasında tespit edilmiştir.

Tong ve ark. (2010) domestik havadan havaya ısı pompası sisteminin 151,2 m² alana sahip uygulama serasına nasıl uygulanacağını ve COP değerinin nasıl değişeceğini araştırmışlardır. Oluşturulan model sonucunda dış sıcaklık değeri 5-6°C arasında olduğu zaman aralığında COP değeri 4 en yüksek COP değeri ise 5,8 olmuştur. Dış hava sıcaklığı eksi derecede olduğu zaman aralığında ise COP değeri 3,3 olarak tespit edilmiştir.

Omojaro ve Breitkopf (2013) yaptıkları çalışmada güneş kolektörlü direkt genişmeli ısı pompası sisteminin analizini yapmışlardır. Isıtma ve soğutma uygulamalarında güneş enerjisinden yararlanılması ve depolanması için sistem uygun hale getirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda mevcut güneş sıcaklığının; hem toplayıcı-kondenserin hem de kompresörün performansı üzerindeki etkisinin son derece önemli olduğu görülmüştür. Bu sistemin diğer sistemlere göre avantajı yüksek COP değeridir. Sistem performansına göre ekserji verimi %34,27 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca sistemin tek tek bileşenlerinin verimlilikleri %10,74 ile %88,87 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Selimli ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada vakum tüplü güneş kolektörü entegre edilmiş hava kaynaklı ısı pompasının kurulumunu yaparak vakumlu tip güneş kolektörlerinin sisteme etkisini araştırmışlardır. Vakum tipli güneş kolektörlerinin veriminin sisteme etkisi sonucu sistem verimi %45 olmuştur. Bu sistemle alakalı üç değişik analiz yapılmış ve değişik şartlarda COP değerinin ortalama 2,50 ile 3,50 arasında olduğu sonucuna varılmıştır.

Atmaca ve Koçak (2014) güneş kolektörü destekli dolaylı ısı pompası üzerine araştırma yapmışlardır. Isı pompası soğutucu akışkanı R410A'dır. Güneş kolektörü alanı 20 m², kondenser kapasitesi ise 5 kW'tır. Sistemin COP değeri 2,60 ile 4 arasında değişmiştir. Sıcak su deposunun kütlesi arttıkça COP değeri düşmüştür.

Hepbaşlı ve ark. (2014) atık su kaynaklı ısı pompası üzerine çalışma yapmış ve yaptıkları çalışma sonucunda şehirlerde meydana gelen atık suyun ısısı kullanılarak verimlilik analizleri yapılmışlardır. Bu analizler sonucu ısı pompasının COP değeri 1,77 ile 10,63 arasında olmuş, soğutma için ise 2,23 ile 5,35 arasında gerçekleşmiştir. Soğutucu akışkan R134a'dır.

Meena ve ark. (2014) dolaysız ısı pompası üzerine çalışma yapmışlar ve sistemin COP değerini en düşük 2,91 elde etmişlerdir. Deney düzeneğinde düzlemsel güneş kolektörü, genişleme vanası, sıcak su deposu, kompresör kullanılmış farklı olarak sıcak

su deposu ısıtma sistemine entegre edilmiştir. Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanılmıştır.

Sun ve ark. (2014) yaptıkları araştırmada hava kaynaklı ısı pompası ile su ısıtma sistemi ile güneş kolektörlü dolaysız tip ısı pompası COP değerlerini karşılaştırmışlardır.

Dolaysız tip güneş kolektörlü ısı pompası ile su ısıtma sistemi COP değeri daha yüksek tespit edilmiştir. Çünkü hava kaynaklı ısı pompası eksi derecelerde verimsizdir. COP değeri stabil değildir.

Yılmaz ve Doğan (2014) toprak kaynaklı ısı pompası ile sera ısıtma ve PLC sistemi ile nem ve sıcaklık kontrolü üzerine 50m² alana sahip bir serada uygulama yapmışlardır. Sistem hem alternatif enerjili hem de nem ve sıcaklık kontrollü olduğu için ürünler daha kaliteli olmuştur. Ayrıca ürünler klasik sistem seralardan 10 gün daha erken olgunlaşmıştır.

Jassim ve Al-Chlahawi (2015) indirekt(dolaylı) güneş kolektörlü ısı pompası sistemi üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deney sonucunda kondenser su akış hızının sistemin termal performansı üzerinde önemli bir etkisi ortaya çıkmıştır. COP değeri akış hızı arttıkça azalma gözlenmiştir. Akış hızı 2 lt/dk'dan 5lt/dk'ya yükseldiğinde COP değeri ortalama 2,27'den 2'ye düşmüştür. Güneş radyasyonu değeri arttıkça COP değeri 2,2'den 2,39'a çıkmıştır.

Lerch ve ark. (2015) hava kaynaklı ve havalı güneş kolektörü entegre edilmiş hava kaynaklı ısı pompalarının analizini yapmışlardır. Havalı güneş kolektörü entegre edilmiş hava kaynaklı ısı pompası COP değeri 3,65, klasik sistem hava kaynaklı ısı pompası COP değeri ise 2,55 olmuştur.

Yousefi ve Moradali (2015) direkt sistem güneş kolektörlü ısı pompası su ısıtma sistemini incelemişlerdir. Isı pompası sistemine 0,150m³ bir adet sıcak su tankı eklenmiştir. Sisteme entegre edilen tankın iç sıcaklık değişimi ilk 20dakika süreyle stabil kalmış sonraki zaman dilimlerinde 140°C sıcaklığa kadar çıkmıştır. Güneş

radasyonu değeri 450 ile 950W/m² alındığında COP değeri 6,37 ile 8,39 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Panesi ve ark. (2016) bir deney düzeneği oluşturarak dolaysız ısı pompası sisteminin performansını araştırmışlardır. Deney için 1,6m² düzlemsel güneş kolektörü, genişleme vanası, hermetik kompresör, kondenser, depolama tankı, sirkülasyon pompası, akış kontrol vanası, dijital debimetre, bir adet radyatör ve kurutucu filtre kullanılarak hazırlanan bir düzenek oluşturulmuştur.

Deney sonucunda COP değeri 1,73 ile 2,26 arasında tespit edilmiştir. Radyatörün açığa çıkardığı enerji değeri 250-800 Wh arasında olmuş ve bu değere paralel olarak kompresör 150-400 Wh arasında enerji harcamıştır. COP değerini etkileyen bir başka faktör ise akışkan akış hızıdır. Akışkan hızı arttıkça COP değeri de artmıştır.

Postrioti ve ark. (2016) yaptıkları araştırmada bina atık ısı kaynaklı ısı geri kazanımının ısı pompasına uygulanması sonucu meydana gelen COP artışını araştırmış ve sonuçta COP değerinde %12 artış sağlamışlardır. COP değeri ise 3,32 ile 3,72 arasında değişmiştir.

Liu ve ark. (2017) güneş kolektörlü ve iki adet solar depolu sistemin analizini yapmışlardır. Deponun birisi defrost için kullanılmış ve solar depodan alınan sıcak suyun kullanılması sonucunda COP 3,68 ile 8,25 arasında meydana gelmiştir.

Verma ve Murugesan (2017) dikine U-tüp sondajlı sisteme güneş kolektörü entegre etmişler ve sondaja güneş enerjisini depolayarak kullanılması sonucu COP'de %23 artış meydana gelmiştir.

Jradi ve ark. (2017) havadan havaya ısı pompası sistemine PV paneller entegre edilmiş ve toprak altı termal depolama yapılarak enerji depolanmış ve bu şekilde COP değeri 4,76 oranında gerçekleşmiştir. PV panellerin sisteme toplam etkisi %19,1 olarak gerçekleşmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi yerleşke alanında bulunan sera buğday türlerinin araştırılması için kullanılmaktadır. Sera içi ortam sıcaklığının sürekli olarak 22°C olması ve nem miktarının %45-50 civarında tutulması istenmektedir. Uygulama serası iç hava kalitesi de göz önünde bulundurularak su kaynaklı ısı pompası kullanılarak seranın ısıtılması tasarlanmıştır. Güneş kolektörleri eklenerek sistemin sıcak su ihtiyacı desteklenmiştir. Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı kış aylarında üniversite yerleşkesinde yer alan ısı merkezinin ısı dağıtım galeri hatlarında oluşan atık ısının geri kazanımı yolu ile ısı pompası sıcak su ihtiyacının karşılanması tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan yeni su kaynaklı ısı pompası sistemi ve soğutma fanları kullanılarak her mevsimde dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak sera içi ısı ve nem kontrolünün akıllı kontrol sistemi ile istenilen optimum seviyede tutulması planlanmıştır. Sistem elemanları belirlenerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3.1’de uygulama serası gösterilmiştir.



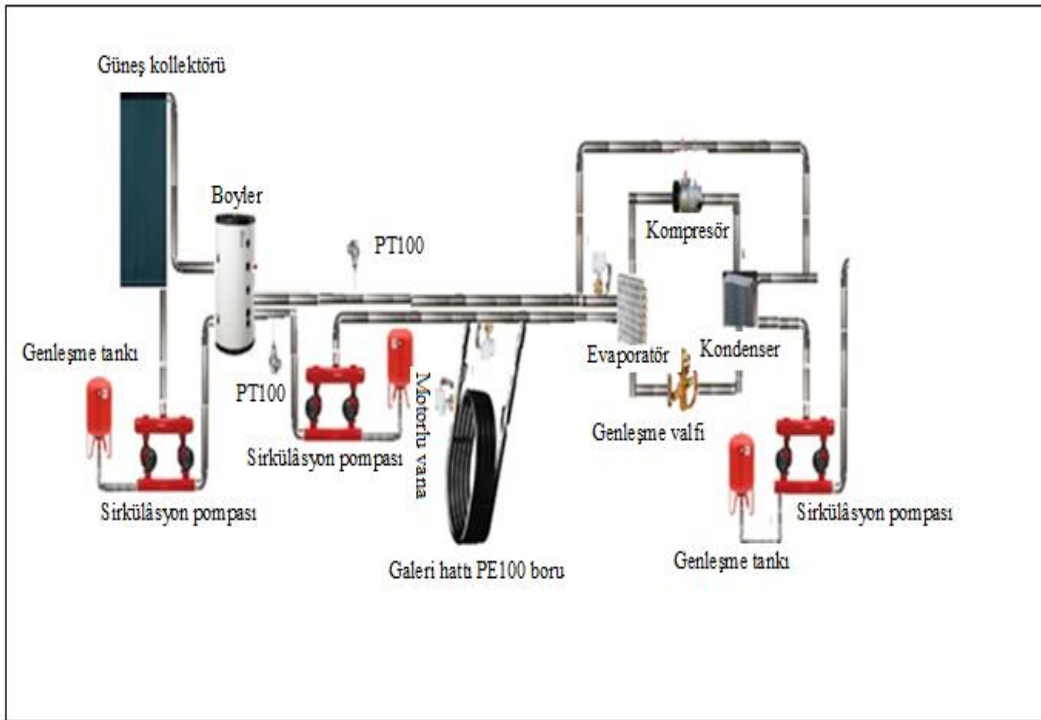
Şekil 3.1. Uygulama Serası Görünümü

Çizelge 3.1. Uygulama Serası Teknik Özellikleri

Sera yüksekliği	6 m
Sera alanı	510 m ²
Polikarbon malzeme için ısı kaybı değeri(U)	3,97 W/m ² .K
İstenilen sera iç sıcaklığı ortalama	22°C
Sera hacmi	3060 m ³
a (Hava değişim katsayısı)	0,5 W/m ³ .K

3.1. Tasarlanan Isı Pompası Sistemi

Tasarladığımız sistemin kurulum şekli aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Isı pompası ısıtıcı akışkanı güneş kolektörleri ile en düşük $22,8^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılacaktır. 39°C ve üzeri sıcaklık değerlerine ulaşan akışkan direkt olarak ısıtma sistemine gönderilecektir. Güneş enerjisi olmayan zamanlarda ise yerleşke binalarına giden ısıtma tesisatının geçtiği galeri hattına dönecek PE100 boru ile atık ısı absorbe edilerek sistemin COP değerinin en düşük 5,50 civarında tutulması sağlanacaktır. Şekil 3.2'de tasarlanan kapalı devre su kaynaklı ısı pompası sistemi şematik olarak verilmiştir.

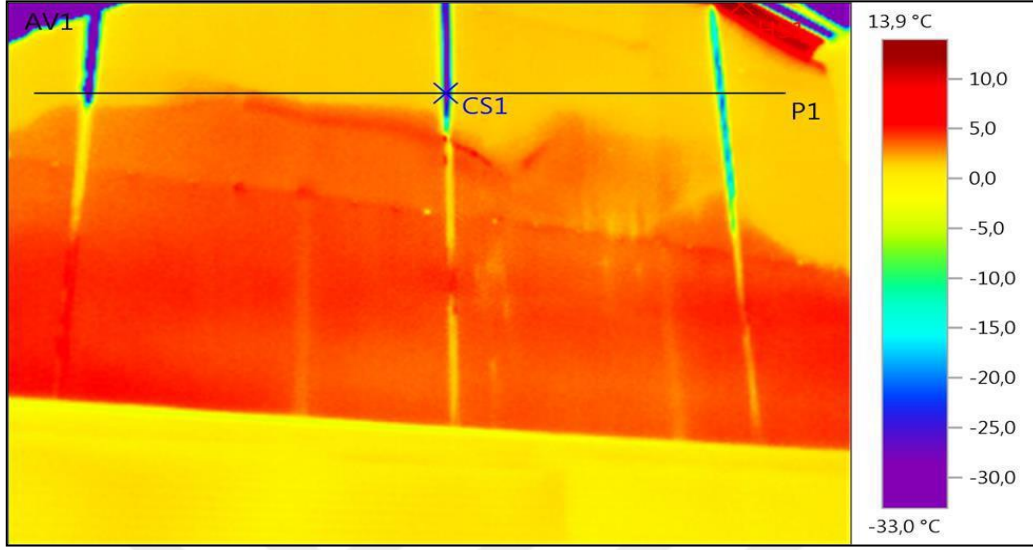


Şekil 3.2. Tasarlanan Kapalı Devre Su kaynaklı Isı Pompası

3.2. Uygulama Serası Bir Yıllık Isı Kaybı Hesabı

Sera polikarbon malzemeden üretilmiştir ve ısı kaybı oldukça fazladır. Şekil 6'da seranın gerçek ve termal kamera ile görüntüsü aynı alan için verilmektedir. Dış ortam sıcaklığının -2°C olduğu durumda seçilen alanda polikarbon yüzey sıcaklığının yaklaşık

olarak 5°C olduğu termal kamera görüntüsünden anlaşılmaktadır. Ayrıca birleşim noktalarında ısı kaybının daha yüksek olduğu Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Seranın Termal Kamera Görüntüsü

Sera kapalı alanının ortalama saatlik ısı kaybı hesaplanarak sera için gerekli ısı ihtiyacı bulunmuştur. Çizelge 3.1 'de belirtildiği üzere, seranın yapımında polikarbon malzeme kullanılmıştır. Bu tür malzemeler için ısı kaybında geçirgenlik ve sızıntı parametreleri oldukça etkindir. Bu sebeple, incelenen sera için ısı kaybı hesabı bu parametrelerin toplamından elde edilmiştir.

Geçirgenlik parametresi ($Q_{\text{geçirgenlik}}$); U polikarbon malzeme ısı geçiş katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$), A sera kapalı alanı (m^2) ve ΔT ise iç hava sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki fark (K) parametreleri çarpımından oluşmaktadır. Geçirgenlik parametresi denklem (3.1)'de verilmiştir(Çanakçı ve Acarer, 2015).

$$Q_{\text{geçirgenlik}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Polikarbon malzemenin infiltrasyon(sızıntı) değeri (Q_{inf}) denklem (3.2) ile tanımlanmıştır. Burada 0,373 değeri sabittir, a değeri sera havası değişim katsayısı

(W/m³.K), V kapalı alan hacmi (m³) ve ΔT ise iç hava sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı farkı (K) olarak alınmıştır.

$$Q_{inf} = (0,373). a. V. \Delta T \quad (3.2)$$

Toplam ısı kaybını bulmak için bulunan iki değerin toplanması gerekir;

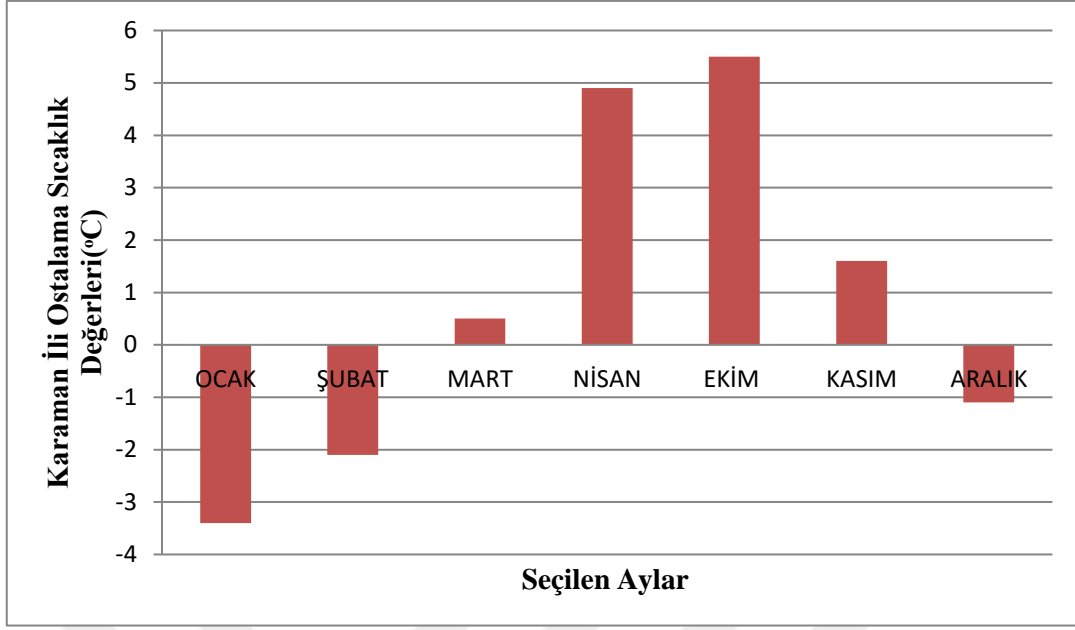
$$Q_{toplam} = Q_{geçirgenlik} + Q_{infiltrasyon} \quad (3.3)$$

$Q_{toplam} = 292,50$ MW/yıl değeri elde edilir.

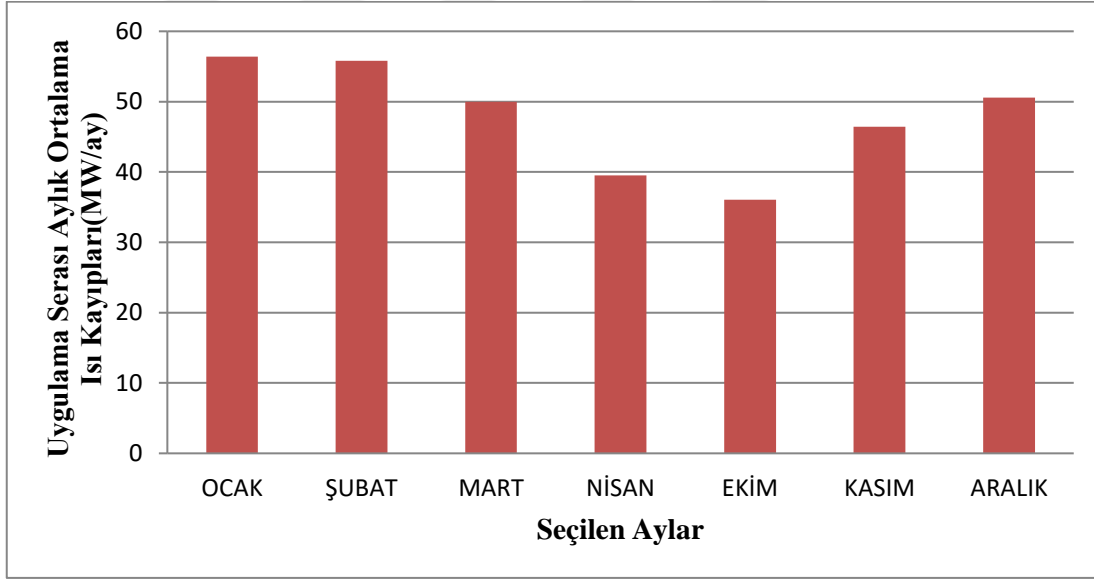
İlgili parametreler dikkate alınarak uygulama serasının aylık ortalama ısı kaybı (toplam 7 ay) hesaplanmış ve elde edilen veriler Şekil 3.4'teki değerlerde kullanılarak Şekil 3.5'te sunulmuştur. Buna göre seranın en fazla Ocak, Şubat ve Aralık aylarında ısınma ihtiyacının olduğunu bu aylarda dış ortam sıcaklığının düşük olmasından dolayı ısı kaybının da yüksek olduğu görülmektedir. Hesaplama parametreleri ve sera özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Hesaplama parametreleri Çizelgesi

Sera yüksekliği	6 m
Sera alanı	510 m ²
Polikarbon malzeme için ısı kaybı değeri(U)	3,97 W/m ² . K
İstenilen sera iç sıcaklığı ortalama	22°C
Sera hacmi	3060 m ³
a (Hava değişim katsayısı)	0,5 W/m ³ . K
Doğalgazlı ısıtma sistemi ısıl değeri	121000 kcal/h
Mevcut ısıtma sistemi radyatör uzunluğu	44 m



Şekil 3.4. Karaman İli Ortalama Sıcaklık Değerleri(<https://www.mgm.gov.tr>)



Şekil 3.5. Uygulama Serası Isı Kayıpları Grafiği

3.2.1. Uygulama Serası Toplam Isı Kazancı

Uygulama serası polikarbon malzeme olduğu için güneş geçirgenliğinden dolayı ısı kazancı mevcuttur. Ayrıca, seranın tavan pencerelerinden yapılabilecek havalandırmadan meydana gelen ısı kazanımları da oluşabilir. İlk olarak, seraya ait

güneş kaynaklı toplam ısı kazancı ($Q_{\text{güneş}}$) aşağıdaki denklem (3.4) kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklemde; τ polikarbon malzemenin ışık geçirgenlik oranı, Γ yeşil bitkilerin ışınımı yansıtma miktarı ve I güneş radyasyonu ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) parametrelerini göstermektedir(Olgun ve ark, 1997).

$$Q_{\text{güneş}} = \tau \cdot (1 - \Gamma) \cdot I \quad (3.4)$$

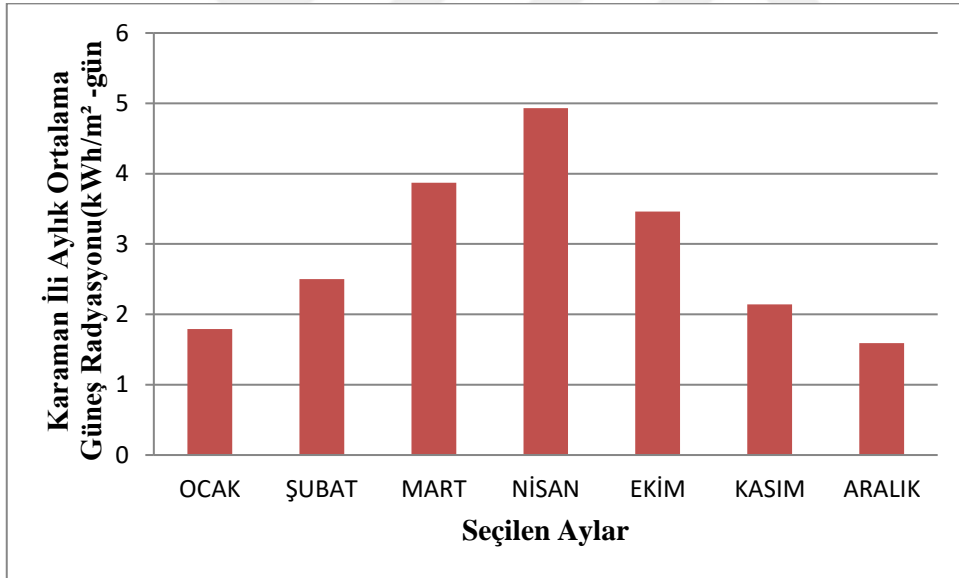
τ =Polikarbon malzemenin ışık geçirgenlik oranı.

Γ =Yeşil bitkilerin ışınımı yansıtma miktarı.

I =Güneş radyasyonu değeri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$).

$\tau=0,80$ alındı.

$\Gamma=0,09$ alındı.

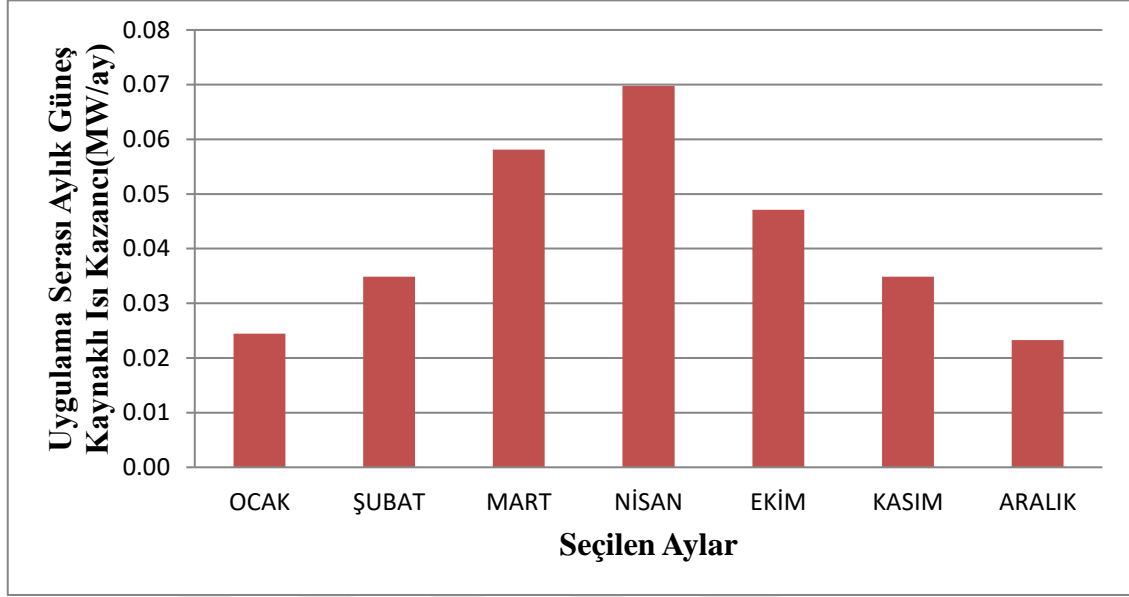


Şekil 3.6. Karaman İli Aylık Ortalama Güneş Radyasyonu ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$)

Güneş enerjisinin fazla olduğu aylarda seranın elde edeceği ısı kazancı hesaplanmıştır.

Şekil 3.6'da yer alan bahar ve kış aylarında (toplam 7 ay) Karaman ili aylık ortalama

güneş radyasyonu değerleri kullanılarak güneş kaynaklı aylık ısı kazancı değerleri denklem (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır ve Şekil 3.7’de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Uygulama Serası Aylık Güneş Kaynaklı Isı Kazancı Grafiği

Şekil 3.7’den elde edilen verilere göre güneş kaynaklı ısı kazancı değeri 0,3MW/yıl’dır. Uygulama serası havalandırma kaynaklı ısı kazancı değeri ise denklem (3.5) ile hesaplanmıştır. Havalandırma ile olan ısı kazancı duyulur ısı ve gizli ısıdan meydana gelir (Olgun ve ark, 1997).

$$\dot{Q}_{\text{hava,duyulur}} = VS \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_i - T_0) \quad (3.5)$$

VS=Uygulama serasının 1m² taban alanı için havalandırma oranı(m³/s/m²).

ρ =Havanın özkütlesi(kg/m³).

C_p =Havanın özgül ısısı (kj/kg.K).

T_i =Uygulama serası iç sıcaklığı (K).

T_0 =Dış hava sıcaklığı (K).

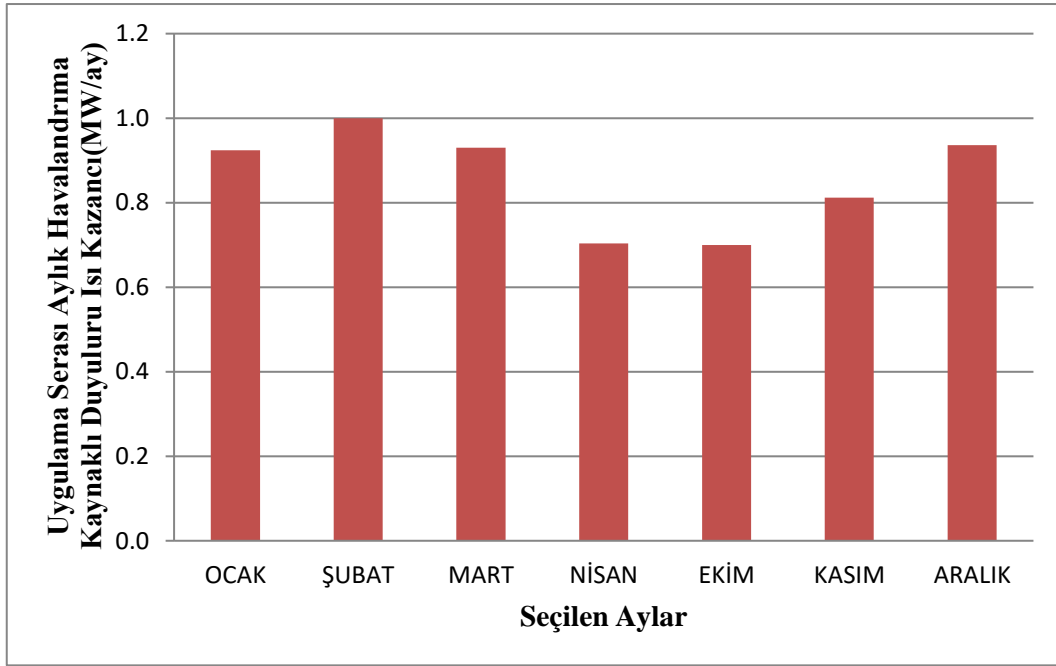
ρ =Sabit basınçtaki değer 1,2 kg/m³ olarak alınmıştır.

c_p = Sabit basınçtaki değer 1,0049 kJ/kg.K olarak alınmıştır.

T_i =Sera iç sıcaklığı 22°C alınmıştır.

$VS=0,05$ olarak alınmıştır.

Denklem 3.5' te veriler yerine konulursa Şekil 3.8'deki grafik elde edilir.



Şekil 3.8. Uygulama Serası Aylık Havalandırma Kaynaklı Duyulur Isı Kazancı Grafiği

Yukarıdaki veriler ile havalandırma kaynaklı duyulur ısı kazancı değeri 6,23 MW/yıl'dır.

Gizli ısı kazancı denklemi;

$$Q_i = \varepsilon \cdot \tau \cdot (1 - \Gamma) \cdot I \quad (3.6)$$

ε =Yüzeyin güneş ışınımını yayma özelliği(emissivite)

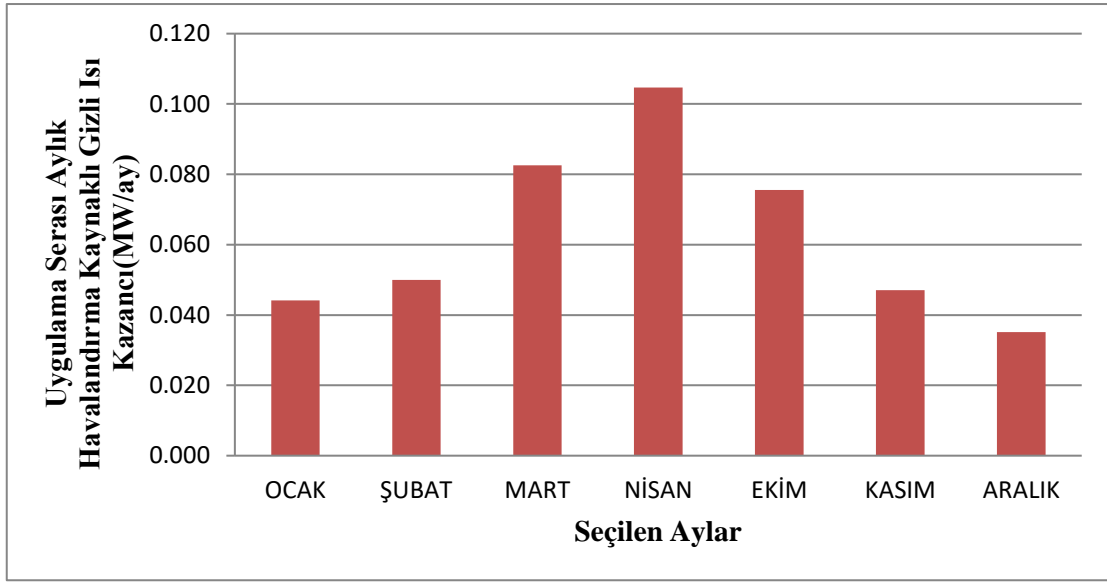
Cam ve plastik örtülü seralarda emissivite değeri 0,9 olarak alınmıştır.

τ =Seranın ışık geçirgenlik oranı.

Γ =Sera içerisindeki elemanların güneş ışınımını yansıtma miktarı.

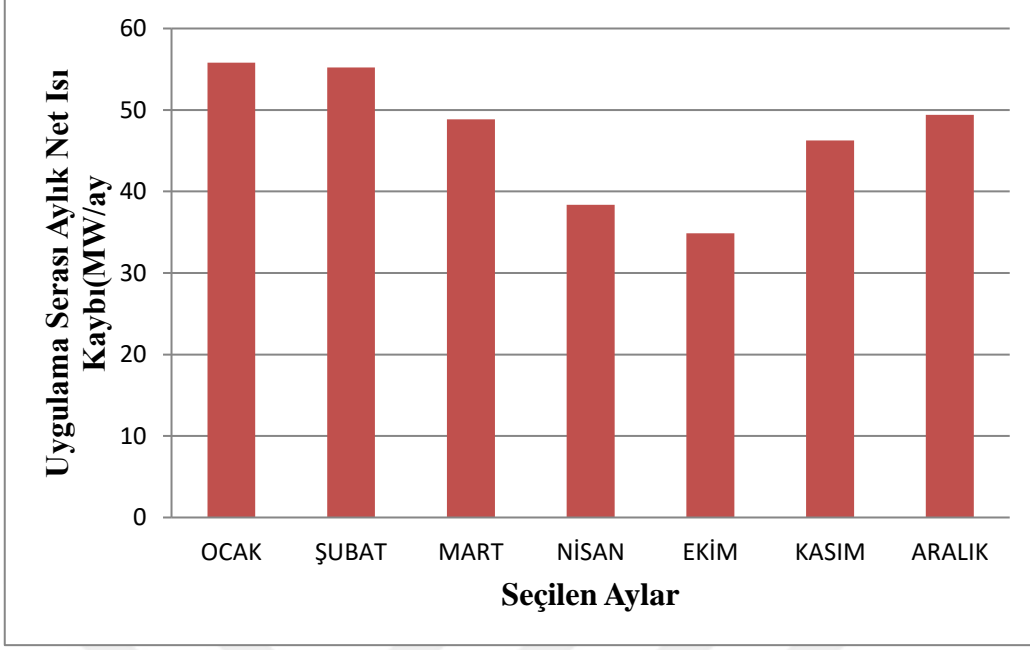
I =Güneş ışınımı, W/m^2 .

Denklem 3.6' da ki değerler yerine konulursa Şekil 3.9'daki grafiği elde edilir.



Şekil 3.9. Uygulama Serası Gizli Isı Kazancı Grafiği

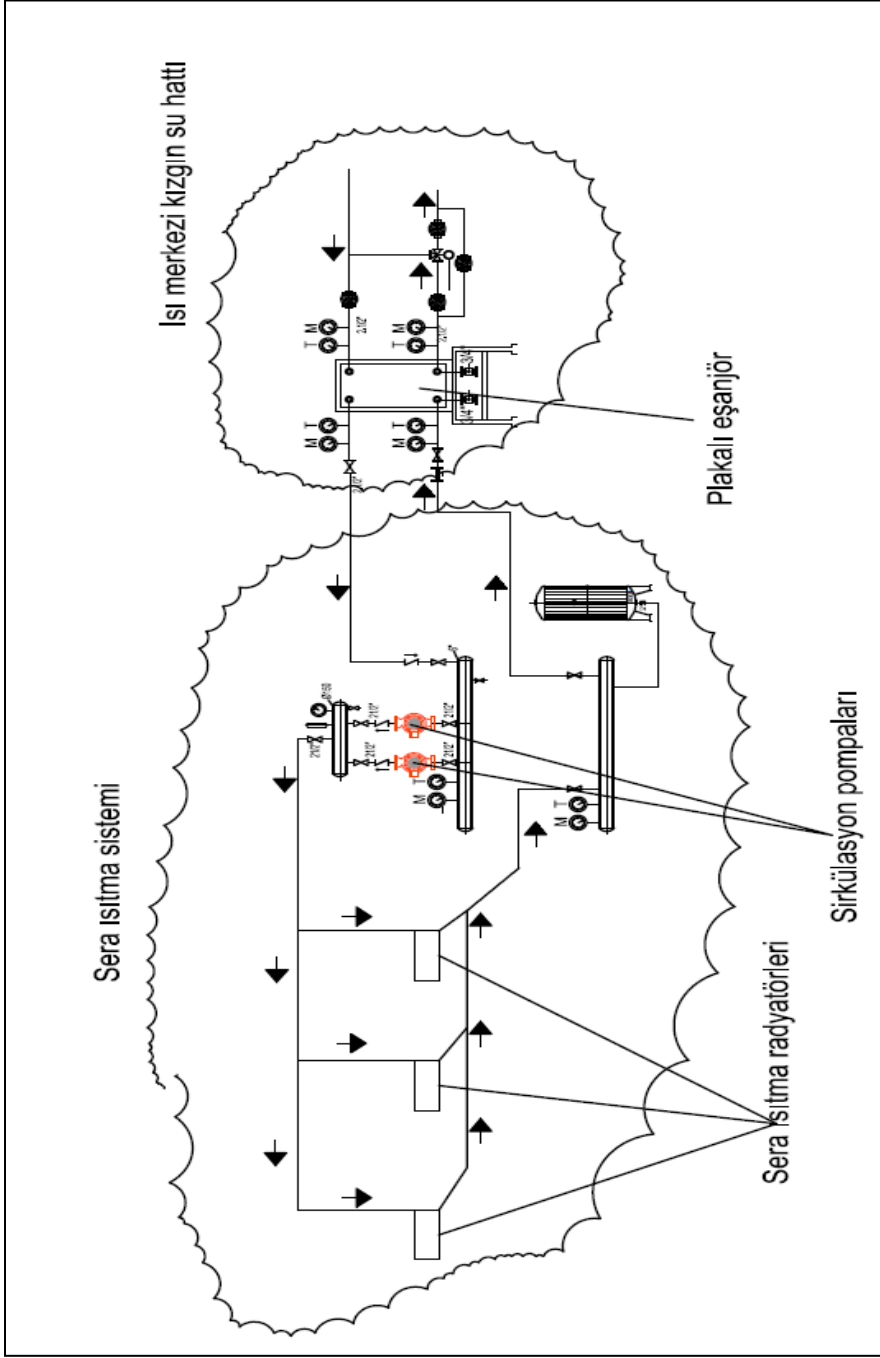
Yukarıdaki veriler ile havalandırma kaynaklı duyulur ısı kazancı değeri 386598,14 kcal/yıl 'dır.Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'dan elde edilen ortalama değerler toplandığında havalandırma kaynaklı toplam ısı kazancı 6,98MW/yıl'dır.Toplam ısı kaybı değerinden toplam ısı kazancı değeri çıkarıldığında 327,6MW/yıl sonucuna ulaşılmıştır.Şekil 3.10'te uygulama serası net ısı kaybı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.10. Uygulama Serası Net Isı Kaybı Grafiği

3.2. Uygulama Serası Mevcut Isıtma Sistemi

Uygulama serasının ısıtılması için merkezi sistem galeri hattından gelen kızgın su plakalı eşanjörden geçirilerek ısıtma yapılmaktadır. Şekil 3.11’de mevcut ısıtma sistemi Şekil 3.12’de ise uygulama serası ısıtma radyatörleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Mevcut Isıtma Sistemi



Şekil 3.12. Uygulama Serası Isıtma Radyatörleri

3.3. Uygulama Serası Isıtılması İçin Seçilen Su Kaynaklı Isı Pompası Özellikleri

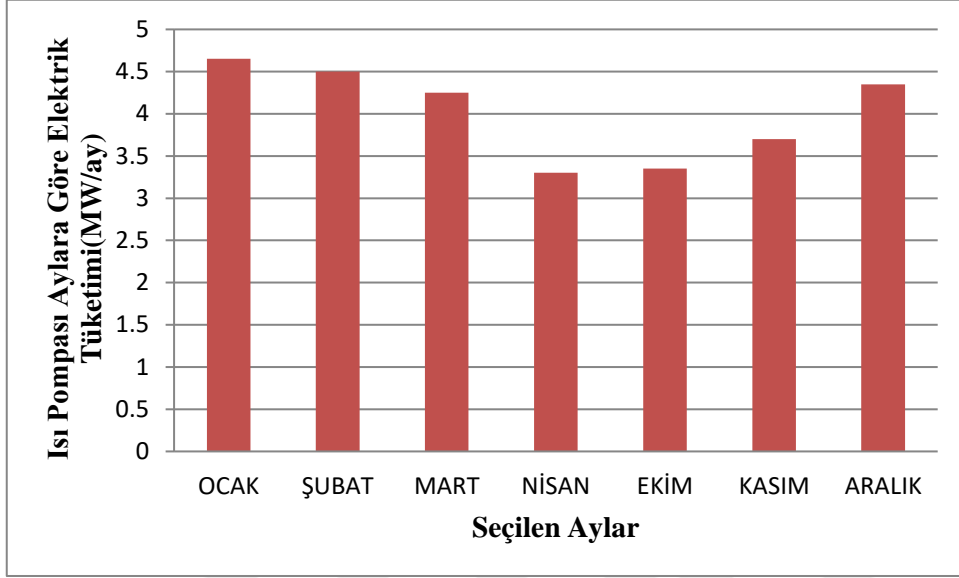
Tasarladığımız sistem için kullanılacak su kaynaklı ısı pompası özellikleri Çizelge 3.3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tasarlanan Isı Pompası Özellikleri Çizelgesi

Enerji Kaynağına Göre Isı Pompası	Su Kaynaklı
Isı Pompası Maksimum Isıl Değeri	65 kW
Minimum Akışkan Giriş Sıcaklığı	7-8°C
Minimum COP	5,50
Isı Pompası Kompresörü	İnvertörlü-Copeland
Maksimum Su Çıkış Sıcaklığı	55°C
Isı Pompası Soğutucu Akışkanı	R410A

Seçilen ısı pompası soğutucu akışkanı ekonomik ve yeni bir akışkan olan R410A’dır. Cihaz ısıtma kapasitesi 65 kW (1adet) olarak seçilmiştir. Çünkü sera alanı ısıtılması için 22 adet 2 m alüminyum panel radyatörler kullanılmıştır. Toplam enerji gereksinimi

327,62 MW/yıl'dır. Tasarladığımız ısı pompası sisteminin ortalama saatlik enerji harcaması maksimum 11,82 kW'tır. Primer devre akışkan giriş sıcaklığı minimum 22,8°C, maksimum akışkan giriş sıcaklığı ise 39°C'tir. Şekil 3.13'te ısı pompası elektrik tüketimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Grafiği

3.4. Boyler Suyu Isıtma Hesabı

Tasarlanan sistem galeri hattından ısı absorbe etmenin yanı sıra sisteme entegre edilecek 6000 lt'lik boyler ve güneş kollektörleri ile yedekli olacak şekilde çalışacaktır. 6000 lt'lik boyler içerisinde bulunan su ve glikol karışımının en düşük sıcaklık değeri 22,8°C olacaktır. Bu sıcaklık değerini optimum COP değerini elde etmek için seçilmiştir. Gerekli güneş kollektörü alanı hesabı aşağıda verilmiştir.

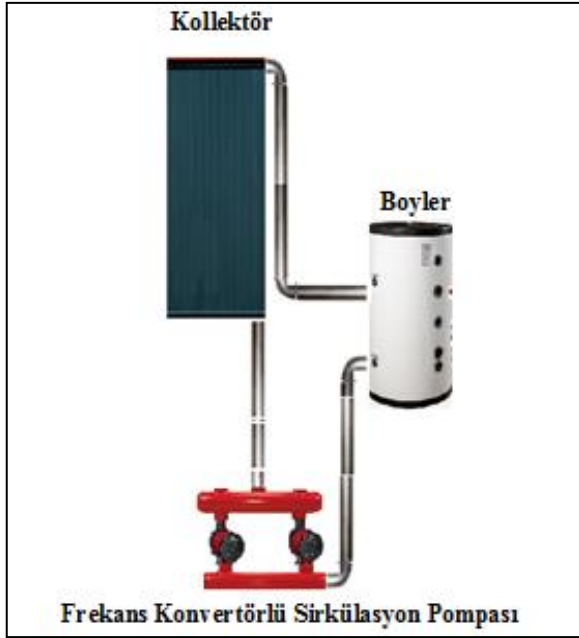
Boyer suyu ısıtılması için ortalama ısı enerjisi;

$$Q_{\text{boyler}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{boyler}} = 6000 \text{kg} \cdot 1 \text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 7,8^\circ\text{C}$$

$Q_{\text{boyler}}=46800\text{kcal/h}$ (Suyun c değeri 1 ve ΔT değeri optimum COP değerini sağlamak için $7,8^\circ\text{C}$ olarak alındı).

Boyer suyunu optimum tutabilmek için 46800 kcal ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Aylık ortalama global güneş radyasyonu değerlerine göre kollektör alan hesabı aşağıdaki gösterilmiştir. Sistem suyu ısıtmak için güneş kollektörleri ile destekleneceğinden dolayı gereken güneş enerjisi sistemi tasarımı aşağıdaki çizelgedeki değerlere göre verilmiştir. Hesaplamalar ocak ayı verilerine (en düşük güneş enerjisi potansiyeli ve seranın ısı kaybının en yüksek olduğu ay) göre yapılmıştır. Tasarlanan boyler sistemi Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Boyler Sistemi

3.5. Güneş Kollektörü Hesabı

Sistem suyu ısıtmak için güneş kollektörleri ile destekleneceğinden dolayı gereken güneş enerjisi sistemi tasarımı aşağıdaki çizelgedeki değerlere göre verilmiştir. Hesaplamalar aralık ayı verilerine göre yapılmıştır. Çizelge 3.4'te hesaplama parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Güneş Kollektörü Hesaplama Parametreleri Çizelgesi

Uygulanan yer	Karaman
Enlem derecesi	37° kuzey
Yatay düzleme gelen güneş ışınımı ortalaması ocak ayı için(EİE'den alınmıştır).	1,91 kWh/m ² -gün
Tesisat sistemi	Cebri sirkülasyonlu kapalı devre sistem
Kullanılacak akışkan	Su
İşletme durumu	Kış
Hesap zamanı	Aralık
Yatay düzleme gelen güneş ışınımı ortalaması	1642,6kcal/m ² -gün (Q _{ty})
Eğik toplayıcı yüzeyi için dönüşüm faktörü R	Toplayıcı eğim açısı ve enlem derecelerine göre dönüşüm tablosundan; S:37° için R:1,229 değeri bulunur.
Toplayıcı azimut düzeltme faktörü	A:0,99 (38° toplayıcı azimut açısı ve 37° enlem için)

Toplayıcıya gelen toplam ışınım ortalaması hesabı;

$$Q_k = Q_{ty} \cdot R \cdot A \quad (3.8)$$

$$Q_k = 1642,6.1,229.0,9$$

$$Q_k = 1998,57 \text{ kcal/m}^2\text{-gün}$$

Toplayıcı verimi: $N_k=0,64$ (çift tabaka cam örtülü ve selektif absorber yüzeyli toplayıcı için)

Toplayıcı dışında sistem verimi: $N_m=0,75$

Sistemin çalışma şartlarında hesaplanan değerlere ulaşamaz. Çünkü yapılan hesaplamalar normal şartlar altında kayıplar ihmal edilerek yapılır. İşletme zamanı uygulamada elde edilecek ısıya yararlı ısı denir. Güneş kolektörlerinden elde edilecek yararlı ısı verilmiştir.

Yararlı ısı Q_n ile gösterilir;

$$Q_n = Q_k \cdot N_k \cdot N_m \quad (3.9)$$

$$Q_n = 1642,6.0,64.0,75$$

$Q_n = 788,448 \text{ kcal/gün}$ elde edilmiş olur.

Normal şartlar altında işletme gereksinimi Q_g ile tanımlanır ve bu değer boyler suyu ısıtma değeridir.

$Q_g = 46800 \text{ kcal'dir.}$

Güneş kolektörlerinde geçen suyun sirkülasyonu kış aylarındaki düşük hava sıcaklığında sistemin (serpantin) içindeki suyun soğumasını önlemek amacıyla akşam saatlerinde durdurulacaktır. Sisteme eklenen zaman rölesi ile akışkan sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulacaktır.

3.5.2. Gerekli Güneş Kolektörü Alanı

Sistem suyunun ısıtılması için belirli metrekarede güneş enerjisi kolektörüne ihtiyaç vardır. Uygun metrekare elde edilemezse boyler suyu ısı pompasına çalışma sıcaklığına getirilemez. Gerekli güneş kolektörü alanı hesabı aşağıda verilmiştir (Duffie ve Beckman, 1991).

Gerekli güneş kolektörü alanı (F_k) metrekare cinsinden;

$$F_k = \frac{Q_g}{Q_n} \quad (3.10)$$

$$F_k = \frac{46800}{788,448} = 59,36 \text{ m}^2 \text{ kolektör alanı elde edilir. (Alan } 60 \text{ m}^2 \text{ olarak alınmıştır.)}$$

1.5.3. Güneş Kolektörleri Sirkülasyon Pompası Hesabı

Güneş enerjisi sirkülasyon hattı boru çapı DN40 seçilmiştir. Bu değere göre hesaplama yapıldığında meydana gelecek basınç kaybı ve debi aşağıda belirtilmiştir.

$$\dot{V} = \frac{Q_g}{(80-60) \cdot 1000 \cdot 4180} \quad (3.11)$$

$$\dot{V} = \frac{46800}{(80-60) \cdot 1000 \cdot 4180}$$

$\dot{V} = 2,01 \text{ m}^3/\text{h}$ elde edilir.

Pompa H_m değeri (basma yüksekliği) ise:

Serpantin kaybı(boyler)=1,20 mSS

Kolektör kaybı=4 mSS

$$\dot{V} = V \cdot A \text{ denkleminde} \quad (3.12)$$

$$5,58 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = V \cdot \frac{\pi(0,040)^2}{4}$$

V=0,44 m/s elde edilir.

3.5.3.1. Güneş Kollektörü Borulama Sistemi Akış Analizi

Güneş kollektörü sistemi borulaması DN40 siyah dikişli borular ile yapılacaktır. Çizelge 3.5'te boru pürüzlülük katsayıları verilmiştir.

$$B. \text{Pürüzlülük} = \frac{k_s}{D} \quad (3.13)$$

k_s = Pürüzlülük katsayısı

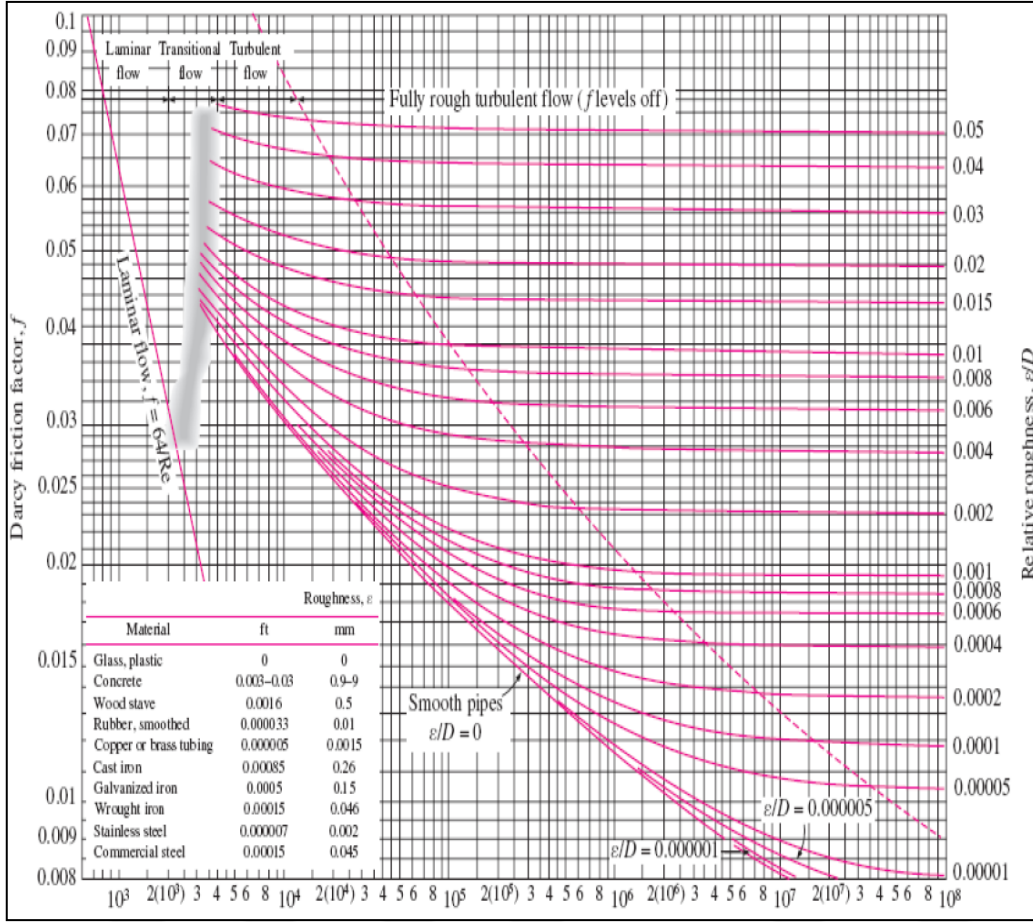
D = Boru iç çapı (m)

Çizelge 3.5. Boru Pürüzlülük Katsayısı Çizelgesi

Borunun Cinsi	Pürüzlülük Katsayısı $k_s \times 10^{-3}$
Bakır	0,001-0,002
PVC ve Plastik Borular	0,0015-0,007
Paslanmaz Çelik	0,015
Siyah Çelik	0,045-0,09
Galvanizli Çelik	0,15

$$B. \text{Pürüzlülük} = \frac{0,045 \cdot 0,0010}{0,040} = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ değeri elde edilir.}$$

Hesaplama için kullanılan Moody Diyagramı Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Moody Diyagramı (Cengel ve ark., 2010)

B. Pürüzlülük = $1,125 \cdot 10^{-3}$ değeri Moody diyagramından okunursa $\lambda=0,0185$

$$h_f = \lambda \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\rho x \frac{V^2}{2}\right) \text{ (Pa)} \quad (3.14)$$

$$h_f = 0,0185 \cdot \left(\frac{1}{0,040}\right) \cdot \left(1000 \cdot \frac{(0,44^2)}{2}\right) \text{ (Pa)} = 44,77 \text{ Pa/m elde edilir.}$$

50m boru için meydana gelen basınç kaybı=44,77 Pa/mx50 m=2238,5 Pa

Toplam basınç düşüşü=0,22385 mSS

Toplam kayıp= 4 mSS + 1,20 mSS + 0,222385 mSS=5,42 mSS sonucu elde edilir.

Bu sonuca göre pompa H_m değeri diğer dirençlerde hesaba katıldığında 6 mSS olacaktır.

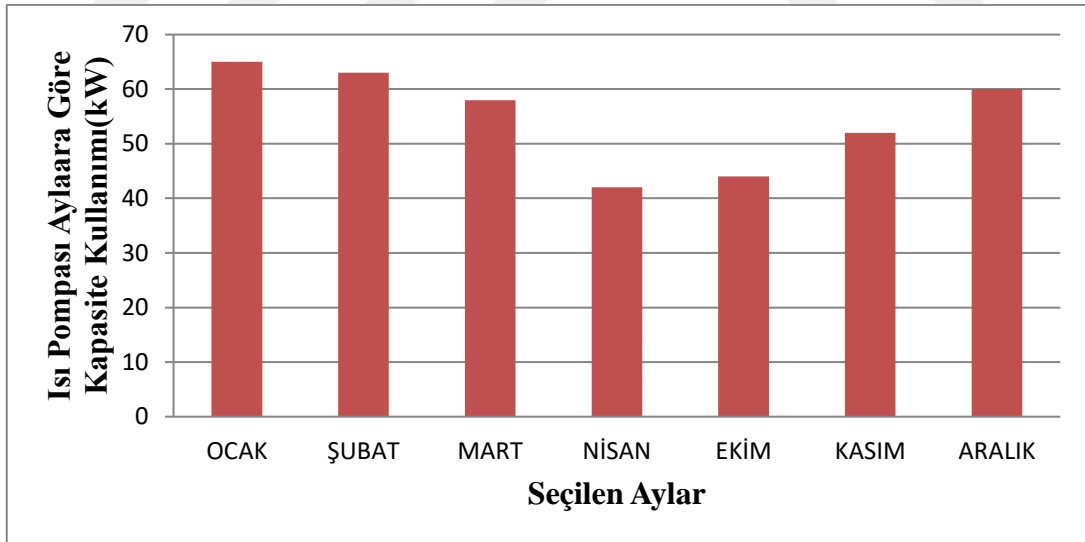
3.6. Termodinamik Eşitsizlikleri ile Sistem Analizi

3.6.1. Clausius Eşitsizliğine Göre Analiz

Bir ısı pompasının çalışması için Clausius eşitsizliğini sağlaması gerekir. Tasarlanan sistemde kullanılması planlanan ısı pompası COP değeri minimum 5,50'dır. Q_h değeri maksimum 65 kW ve Q_L değeri ise maksimum 53,18 kW'tır. Wçıkan (kompresörde harcanan enerji) ise maksimum 11,82 kW'tır. T_h değeri 55 K ve T_L ise 22,8 K olarak belirlenmiştir (Çengel ve Boles, 2002).

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (3.15)$$

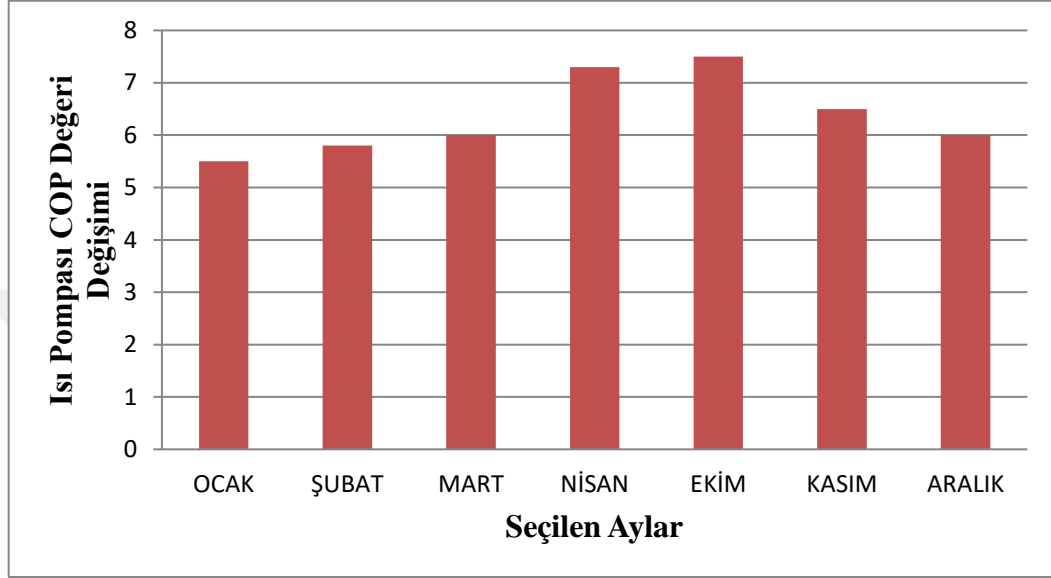
Denklem (3.6.1.1)'e göre hesaplama yapılırsa maksimum ısı değerine göre $\frac{53,18}{295,8} - \frac{65}{328} = -0,0183$ değeri elde edilir. Yani tasarlanan sistemimiz termodinamiğin 2.kanununa uygundur. Minimum ısı ihtiyacı değerine göre hesaplama yapılırsa $\frac{37,39}{295,8} - \frac{45}{328} = 0,011$ değeri elde edilir. Yani bu değere göre termodinamiğin 2.kanununa uygundur. Şekil 3.16'da ısı pompası aylara göre kapasite kullanımı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.16. Isı Pompası Aylara Göre Kapasite Kullanımı(kW)

3.6.2. Carnot Çevrimine Göre Analiz

Carnot çevrimine göre ise aşağıdaki değer sağlanmalıdır. Bu değeri bulmak için öncelikle $COP_{th,tr}$ değerini bulmak gerekir. Şekil 3.17’de aylara göre COP değişimi belirtilmiştir.



Şekil 3.17. Isı Pompası Aylara Göre COP Değişimi Grafiği

$$COP_{th,tr} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_h}} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16’deki değerler yerine konulursa $COP_{th,tr} = \frac{1}{1 - \frac{295,8}{328}} = 10,18$ elde edilir.

COP_{th} değeri minimum 5,50 maksimum 7,61 olarak verilmiştir.

$COP_{th} < COP_{th,tr}$ olduğu için sistem termodinamiğin 2.yasasına uygundur.

3.6.3. İkinci Yasa Analizi

Carnot çevrimi hesabından alınan değerler ile 2.yasa verimi hesaplanabilir. İkinci yasa verimi ise aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Çengel ve Boles, 2002).

$$\eta = \frac{COP_{th}}{COP_{th,tr}} \quad (3.17)$$

Denklem 3.17'deki değerler yerine konulursa sistem verimi maksimum $\eta_{maks} = \frac{COP_{th}}{COP_{th,tr}} = \frac{7,61}{10,18} = \%74$ elde edilir(En yüksek değere göre).

Minimum verim ise $\eta_{min} = \frac{5,50}{10,18} = \%54$ elde edilir.

3.7. Galeri Hattı Atık Isı Absorber Boru Hesabı

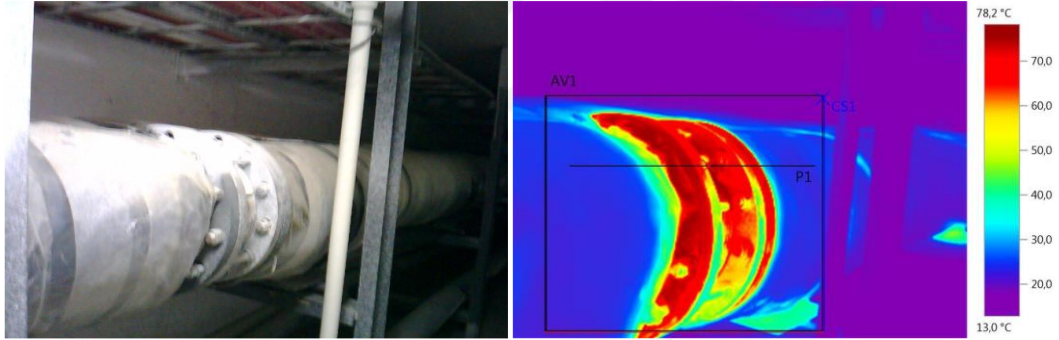
Kış aylarında güneş enerjisinin yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu durumda ısı pompası sisteminde niversite yerleşkesinde var olan ısı merkezi ısı dağıtımı galeri hattında oluşan atık ısının kullanılması planlanmıştır. Isı merkezinden galeri hatlarına gelen kışgın su borularında oluşan ısının geri kazanımını sağlamak amacıyla tasarlanan sistemde DN100 PE borular kullanılmıştır. Galeri iç sıcaklığı yaklaşık olarak 26°C'dir. Tasarlanan sistem içerisinde güneş kolektörleri ile ısıtılan su son olarak ısı dağıtım galeri hattından geçirilerek kış aylarında oluşan atık ısı absorbe edilecek ve sistem devamlılığı sağlanacaktır(Aktaş ve Aktekeli.,2014).

Isı galeri hattı uzunluğu toplam gidiş ve geliş olmak üzere 5 km'dir. şekil 13'te Merkezi ısı sistemi ısı dağıtım galeri hattının termal görüntüsü verilmiştir. şekilde de görüldüğü üzere borular yalıtım ile kaplanmıştır. Yalıtımsız kısımlarda oluşan ısı yaklaşık olarak 78,2°C olarak ölçülmüştür. Galeri hattı toplam gidiş ve geliş olarak 5 km'dir. şekil 3.18'de merkezi galeri hattı gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Merkezi Sistem Galeri Hattı

Merkezi galeri hattı boruları sıcaklık kaybı Şekil 3.19'da termal kamera görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.19. Isı Merkezi Galeri Hattı ve Termal Kamera Görüntüsü

DN100 PE boru galeri hattı içerisine döşenerek atık ısı absorbe edilecek ve ısı pompası sistemine gönderilecektir ve galeri içerisine gidiş hattı olarak döşenecektir. Şekil 3.20'de DN100 boru gösterilmiştir.



Şekil 3.20. DN100 PE Boru(<http://www.adasulama.com.tr>)

3.8. Primer Devre Seçilen Pompa Debisi

6000 lt'lik tek serpantinli boyler devresinden çıkan suyu basınçlandırmak için frekans konvertörlü sirkülasyon pompaları (Alarko Optima 6/9 katalogu ekte verilmiştir) kullanılacaktır. Pompa debisi, 1 saatte çevrimin tamamlanabilmesi için $6\text{m}^3/\text{h}$ seçilmiştir. Pompa H_m değeri ise toplamda 1,20 mSS boyler kaybı+1,5 mSS diğer kayıplar olarak belirlenmiştir. H_m toplamda 3,70 elde edilmiştir ama ortalama değer 3-6 mSS olarak seçilmiştir.

3.9. Sistemde Kullanılacak Boruların Çap Hesabı ve Akış Analizleri

3.9.1. Reynolds Sayısı

Reynolds sayısı, bir akışkanın atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranıdır. Bu değer iki tip kuvvetin belirli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemi vurgular. Yani bir akışkanın akış şeklini bilmemizi sağlar. Boru içi akış üç şekilde olmaktadır (Atmaca, 2006).

1-Laminer Akış

2-Geçiş Bölgesi Akışı

3-Türbülanslı Akış

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.18)$$

Denklem 3.18'deki değerler;

ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3)

V akışkanın hızını (m/s)

D hidrolik çap (m)

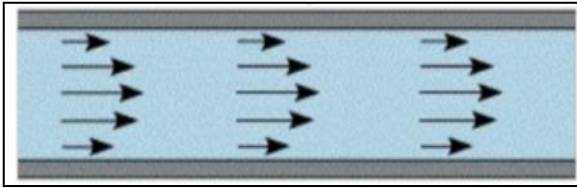
μ kinematik viskozite ($\text{Ns/m}^2 \cdot 10^{-3}$)

Akış şekilleri belirlenmesinde kullanılan Re denklemine göre eğer çıkan sonuç 2300 değerinden küçükse laminer, 2300 ile 4000 arasında ise geçiş bölgesi, 4000'in üzerindeyse akış türbülanslıdır.

3.10. Boru İçi Akış eşitleri ve Akış Hesaplamaları

3.10.1. Laminer Akış

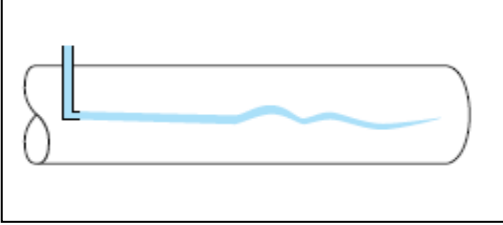
Laminer akış, düzgün akım çizgileriyle belirtilen çok düzeni akış hareketidir. Düşük hızlarda yağ gibi yüksek viskoziteli akışkanların hareketi genellikle laminerdir (Atmaca, 2006). Şekil 3.21'de boru içi laminer akış gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Boru İçi Laminer Akış(<http://toplubilgi.com>)

3.10.2. Geçiş Bölgesi Akışı

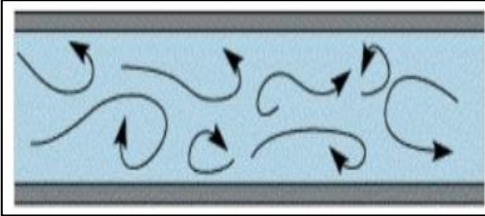
Geçiş bölgesi akışı, laminar ve türbülanslı akışın karışımıdır. Borunun merkezinde türbülanslı akış, kenarlarda laminar akış vardır. Şekil 3.22’de geçiş bölgesi akışı gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Geçiş Bölgesi(<http://toplubilgi.com>)

3.10.3. Türbülanslı Akış

Türbülanslı akış, bir akışkanın hareket halindeki düzensizliğidir. Yüksek akış hızlarında ve büyük çaplarda meydana gelir (Atmaca, 2006). Şekil 3.23’te türbülanslı akış gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Türbülanslı Akış (<http://toplubilgi.com>)

Isı pompası sisteminde kullanılacak suyun iletilmesi için siyah dikişli borular kullanılacaktır. Kullanılacak boru çapları aşağıda hesaplanmıştır. Kapalı devre boiler sirkülasyon hattı ve ısı pompaları boru çapları DN100 olarak seçilmiştir.

Bu referans değere göre boru içi hız;

$$\dot{V} = V.A \quad (V \text{ boru içi akışkan hızı m/s, } A \text{ boru alanı m}^2) \quad (3.19)$$

Boylar hacmi toplamda 6000 lt olmasından dolayı pompa debisi 6 m³/h olarak seçilmiştir. Bu değer 3600 ile bölüldüğünde hız değeri m/sn olarak elde edilir. Denklem 3.19'daki değerler yerine konulursa $\frac{6\text{m}^3/\text{h}}{3600\text{s}}=1,66.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ elde edilir.

Bu değere göre V hız değeri hesaplanırsa V=0,17 m/s elde edilir. (Elde edilen değer 2 m/s altındadır ve referans hızına uygundur). Çizelge 3.6'da suyun termal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Suyun Termal Özellikleri Çizelgesi

Suyun Termal Özellikleri				
Sıcaklık T (°C)	Dinamik Viskozite μ (Ns/m ²)x10 ⁻³	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Hacim v (m ³ /kg)	Özgül Isı c _p (kj/kg.°C)
0	1,787	1000	0,001	4,21
5	1,519	1000	0,001	4,204
10	1,307	1000	0,001	4,193
20	1,002	998	0,001002	4,183
30	0,798	996,02	0,001004	4,179
40	0,653	992,06	0,001008	4,179
50	0,547	988,14	0,001012	4,182
60	0,467	983,28	0,001017	4,185
70	0,404	977,52	0,001023	4,191
80	0,355	971,82	0,001029	4,198
90	0,315	965,25	0,001036	4,208
100	0,282	957,85	0,001044	4,219

3.10.4. Boru İçi Akış Hesabı

Boru içi akışın hesaplanması için öncelikle akışın türünün belirlenmesi gerekir. Bunun için Reynolds(Re) sayısı akışkan özelliğine göre hesaplanır. Denklem 3.20'de değerler yerine konulursa Re sayısı;

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.20)$$

($\rho = 999 \text{ m}^3/\text{kg}$ alınmıştır).

$$Re = \frac{999,0,17,0,1104}{1,01 \cdot 10^{-3}}$$

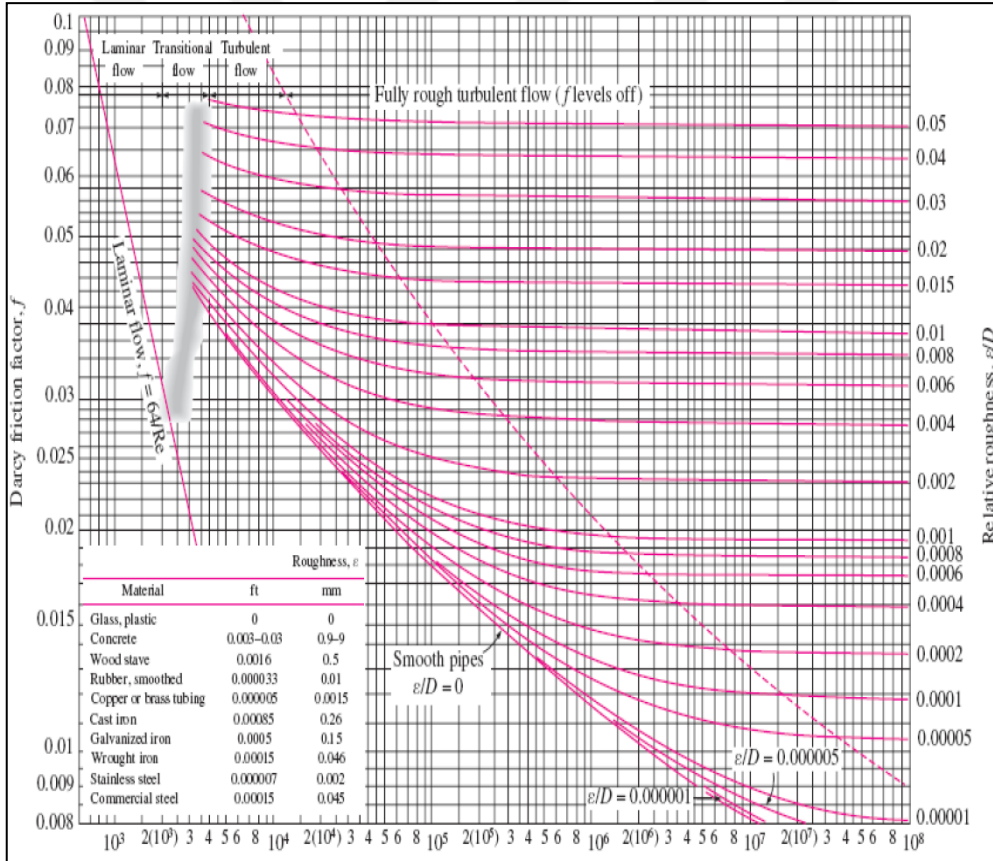
Re=18563,6 değeri bulunur. Bu değer 2300'den büyük olduğu için akış türbülanslıdır.

3.10.5. DN100 Çapındaki PE100 Borulama Sistemi Akış Analizi

Uygulamada laminer veya türbülanslı, dairesel ve dairesel olmayan kesitli, pürüzlü veya pürüzsüz yüzeyler için boru içi akışta basınç kaybını aşağıdaki h_f formülü ile tanımlayabiliriz.

f =Darcy pürüzlülük katsayısını bulmak için Moody Diyagramı kullanılır.

Şekil 3.24'te hesaplama için kullanılan Moody Diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Moody Diyagramı (Cengel ve ark., 2010)

$$f = \frac{k_s}{D} \quad (3.21)$$

k_s =Pürüzlülük katsayısı

D =Boru iç çapı(m)

Şekil 3.24'te hesaplama için boru pürüzlülük katsayısı çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 3.7. Boru Pürüzlülük Katsayısı Çizelgesi

Borunun Cinsi	Pürüzlülük Katsayısı $k_s \times 10^{-3}$
Bakır	0,001-0,002
PVC ve Plastik Borular	0,0015-0,007
Paslanmaz Çelik	0,015
Siyah Çelik	0,045-0,09
Galvanizli Çelik	0,15

f değeri yaklaşık olarak 0,0095 elde edilir. Elde edilen değerler yerine konulursa basınç düşüşü h_f aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_f = \lambda \left(\frac{L}{D} \right) \left(\rho \frac{V^2}{2} \right) (Pa) \quad (3.22)$$

$$h_f = 0,0095 \left(\frac{1}{0,110} \right) \left(999 \frac{(0,17^2)}{2} \right) (Pa) = 1,24 Pa/m \text{ elde edilir.}$$

Ortalama 805 m boru metrajı için basınç kaybı değeri=1,24x805=998,20Pa elde edilir. Bu sonuca göre pompa H_m değeri diğer dirençlerde hesaba katıldığında ortalama 2-3 mSS olacaktır. Boru içi akışkan ile ortam sıcaklığı etkisiyle meydana gelen ısı transferi hesabı yapıldığında akışkanda meydana gelen sıcaklık değişimi ve boru boyu tespit edilebilir.

3.10.5.1. Boru İçi Akışına Göre Suyun h Değeri Hesabı

Boru içi akışlarda taşınım ile akışkana geçen ısı miktarını bulmak için sisteme uygun Nusselt (Nu) eşitliği seçilmiştir. Akışkan sıcaklığı ortalama 22,8°C olarak alınmıştır. Öncelikle birim boru boyu için hesaplama yapılmış ve bu değer doğrultusunda toplam boru boyu bulunmuştur.

Boru içinde akan akışkanın özellikleri:

$$\rho=999 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu=1,01 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$h=0,5 \text{ W/m. K}$$

$$C_p=4180 \text{ J/kg. K}$$

Verilen değerler ile öncelikle Prandtl(Pr) sayısı hesaplanır. Pr sayısı boru içi akışlarda akışkana geçen ısı miktarını bulmak için kullanılır.

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (3.23)$$

$$Pr = \frac{1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 4180}{0,5} = 8,44$$

$$\text{Boru içi hız} = \frac{\frac{6 \text{ m}^3/\text{h}}{3600}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = 0,17 \text{ m/s elde edilir.}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.24)$$

$$Re = \frac{999 \cdot 0,17 \cdot 0,110}{1,01 \cdot 10^{-3}} = 18563,6$$

DN100 PE boru $Re=18563,6$

Hesaplanan Pr ve Re sayıları boru içi akışkana geçen ısı miktarını bulmak için kullanılır. Taşınım akışkana geçen ısı miktarı seçilen Nusselt(Nu) eşitliği ile ısı taşınım katsayısı (h) bulunur(Cengel ve ark.,2003).

Bu değerlere göre Nusselt sayısı hesaplanırsa;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (3.25)$$

$$Nu = 0,023 \cdot 18563,6 \cdot 8,44$$

Nu=140,34 elde edilir.

$$\text{Suyun ısı taşınım katsayısı}(h)=\frac{k}{D} \cdot Nu \quad (3.26)$$

$$h=\frac{0,5}{0,110} \cdot 140,34 = 575,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ elde edilir.}$$

$$h_{su}=637,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_{boru}=0,43 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{tdi\check{c}}=\frac{1}{h_{su} \cdot \pi \cdot D_{i\check{c}}} \quad (3.27)$$

$$R_{tdi\check{c}}=\frac{1}{637,90 \cdot \pi \cdot 0,1104}=0,00452 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \text{ (Taşıyıcı boru içi taşınım).}$$

$$R_{tbi}=\frac{\ln\frac{D_{ds}}{D_{i\check{c}}}}{2 \cdot \pi \cdot h_{boru}} \quad (3.28)$$

$$R_{tbi}=\frac{\ln\frac{0,114}{0,1104}}{2 \cdot \pi \cdot 0,43}=0,01187 \text{ (Taşıyıcı boru ısı iletkenlik direnci)}$$

$h_{dış}=20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır.

$$R_{tdış}=\frac{1}{h_{dış} \cdot \pi \cdot D_{dış}} \quad (3.29)$$

$$R_{tdış}=\frac{1}{20 \cdot \pi \cdot 0,110}=0,14468 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

R değerine göre ısı iletkenlik katsayısı U (W/m.².°C) ise;

$$U=\frac{1}{R_{tdi\check{c}}+R_{tbi}} \quad (3.30)$$

$$U=\frac{1}{0,00452+0,01322+0,14468}=6,16 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U=6,16 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Borunun 1 metresindeki ısı transferi;

$$\dot{Q} = Ux\Delta T \quad (3.31)$$

Galeri hattı sıcaklığı ortalama 26°C

Boru içi akışkan sıcaklığı en düşük ortalaması 15°C

$$\dot{Q} = 6,16 \text{ W/m} \cdot \text{°C} \times (15 - 26) \text{ °C}$$

$$\dot{Q} = -67,76 \text{ W/m (ısı akışı boru içine)}$$

Boru boyu 805m olarak belirlenmiştir.

Hattın sonundaki akışkan sıcaklığı;

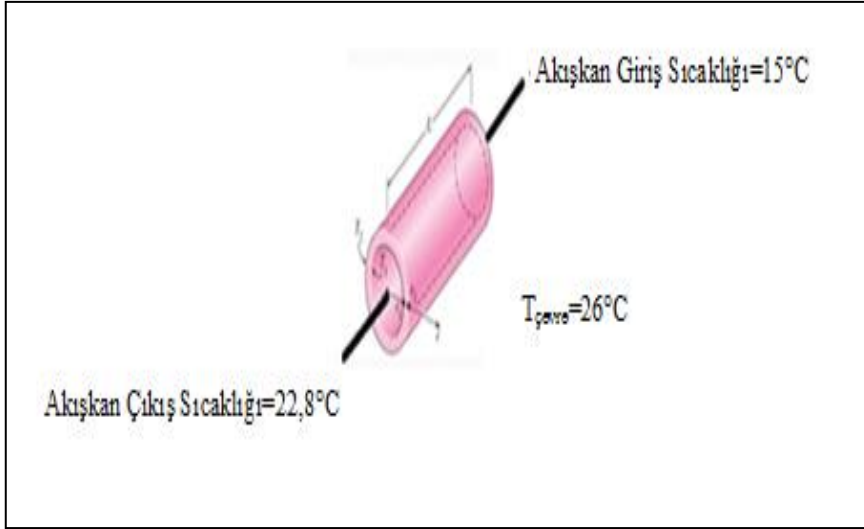
$$T_2 = T_1 - \Delta T = T_1 - \frac{\dot{Q}xL}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot x1000} \text{ °C} \quad (3.32)$$

$$T_2 = 15 - \left(\frac{67,76 \cdot 805}{6/3600 \cdot 999,4 \cdot 183 \cdot 1000} \right) \text{ (Isı akışı boru içi akışkana doğru olduğu için eksi alındı)}$$

Akışkan galeri hattına pompalar ile basılacak ve pompa debisi 6m³/h olacaktır.

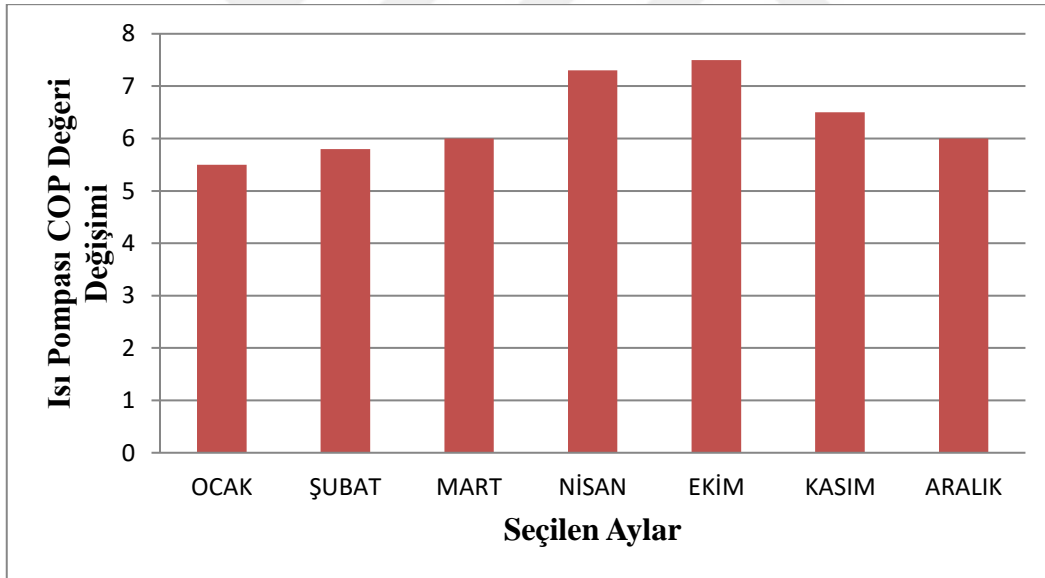
$$T_2 = 15 - (-7,8) = 22,8 \text{ °C elde edilir. (En yüksek çıkış sıcaklığı)}$$

Galeri hattı atık ısıyı absorbe edildikten sonraki akışkan sıcaklığı değişimi Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. DN100 PE Boru İçi Akışkan Giriş Çıkış Sıcaklığı

Galeri hattı atık ısıyı absorbe edildikten sonra akışkan sıcaklığı değişimine göre tasarladığımız ısı pompası sisteminin COP değeri aşağıdaki Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Isı Pompası COP Değeri Değişimi

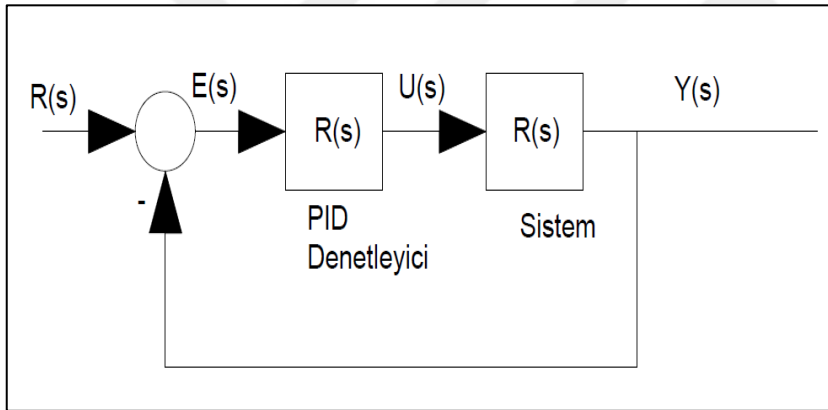
Isı pompası kapasite kullanımını değişken olduğu için COP değeri bu doğrultuda değişken olmaktadır. Elde edilen minimum COP minimum 5,50 olmaktadır.

Kollektör ile ısıtılan akışkanın sıcaklığı $15,5^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğünde galeri hattı sirkülasyonu açılarak sistemin devamı sağlanmış olacaktır. Bu sistem bir adet motorlu vana ve bir adet PT100(sıcaklık transmitteri) ile kontrol edilecektir. Su sıcaklığı $39-45^{\circ}\text{C}$ bulunduğu zaman motorlu vana ve PT100 ile ısı pompası sistemi baypas edilerek su direkt olarak ısıtma sistemine gönderilecektir.

3.11. Genel Otomasyon Sistemi

3.11.1. PID (Proportional Integral Derivative) Kontrol Sistemi

PID kontrol elemanı PT100 sıcaklık duyarlarından alınan analog değeri sayısal değere çeviren otomasyon elemanıdır. PID elemanı üstünden programlama yapılarak istenilen değerde sistem kontrolü yapılır. Şekil 3.27'de genel bir PID kontrol sistemi akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Genel PID Akış Şeması

3.11.2. PT100 Sıcaklık Transmitteri

PT100 sıcaklık transmitteri bir nevi direnç görevi görür. Akışkandan alınan sıcaklık değerine göre bu direnç değeri değişir. Okunan bu değer öncelikle kablolar vasıtasıyla PID sistem elemanına gönderilir. Şekil 3.28'de basit bir PT100 sensörlü sıcaklık kontrol sistemi gösterilmiştir. Kullandığımız PT100 iki kablolu ve ölçüm aralığı $100-110^{\circ}\text{C}$ özelliindedir.



Şekil 3.28. PT100 Sensörlü Sıcaklık Kontrol Sistemi

3.11.3. Motorlu Vanalar

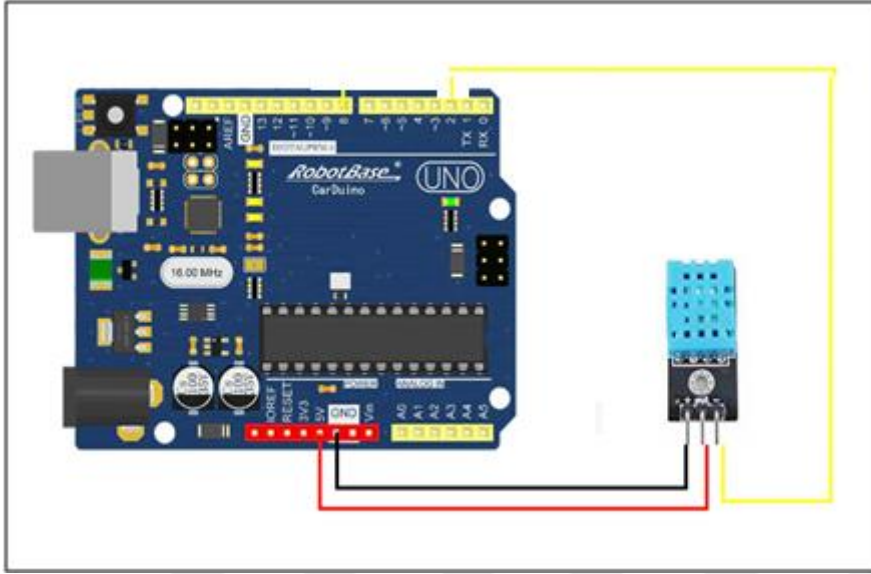
DN 50 çapındaki borulardan geçen akışkanın debisini ve sıcaklık değerini kontrol altında tutmak için motorlu vanalar kullanılacaktır. Motorlu vanalar vana gövdesi ve aktüatörden oluşur. Aktüatör 4-20mA çıkış verir ve oransal çalışır. Yani PID elamanı PT100 sıcaklık sensöründen aldığı analog değeri sayısal değere çevirerek aktüatöre aç kapa komutu verir. Şekil 3.29'da motorlu vananın sıcaklık kontrol sistemine takılması gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Sıcaklık Kontrol Sistemine Motorlu Vananın Takılması

3.11.4.DHT11 Nem ve Sıcaklık Modülü

DHT11 nem ve sıcaklık sensörü 8 bitlik işlemcisi bulunan dijital bir sensördür. Bu sensörün diğer bir özelliği ise ortam nemini de tespit edilmesidir (Duran ve ark.,2012). Şekil 3.30’da DHT11 sıcaklık ve nem sensörü bağlantısı gösterilmiştir.



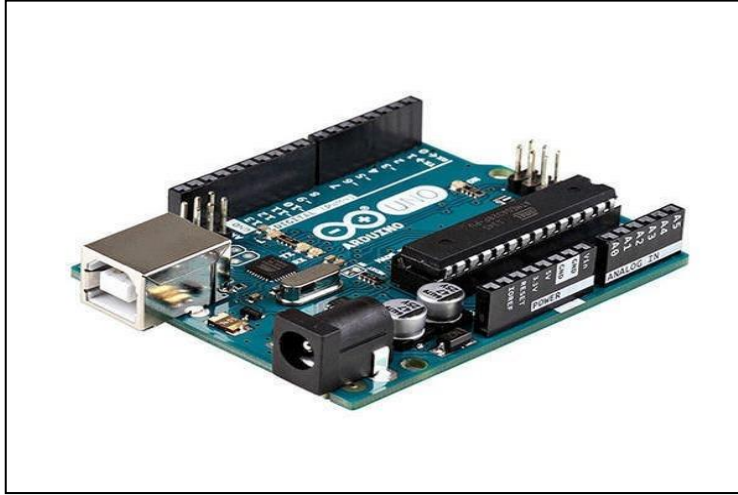
Şekil 3.30. DHT11 Nem ve Sıcaklık Modülü Bağlantısı

3.11.5. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kartı

Akıllı kontrol kartlarının ana donanımında bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici (ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4) bulunmaktadır. Programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlar kart üzerinde bulunur. Akıllı kontrol kartında en az bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilatör (bazılarında seramik rezonatör) bulunur. Harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz çünkü karttaki mikrodenetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılmıştır (Hocagil ve Öztürk, 2005). Tasarladığımız ısı pompası otomasyon sisteminde kullanılacak olan gömülü sistem kartı teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge. 3.8. Gömülü Sistem Kartı Özellikleri

Gömülü Sistem Kartı Teknik Özellikleri	
Mikrodenetleyici	ATmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (önerilen)	7-12V
Giriş Gerilimi (limit)	6-20V
Dijital G/Ç Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	6
Her G/Ç için Akım	40 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Flash Hafıza	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25 g

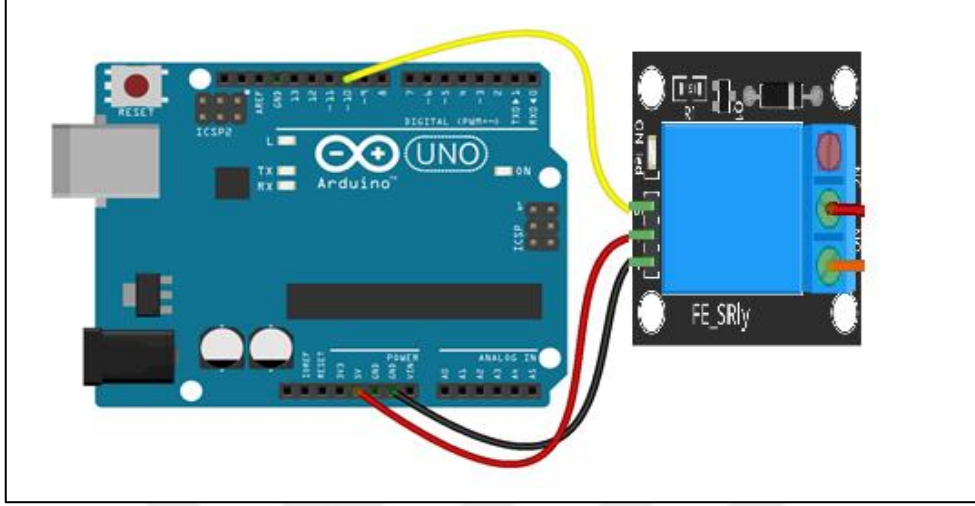


Şekil 3.31. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kartı (www.robotistan.com)

3.11.6. Röle Modülü

Röle üzerinden akım geçtiğinde çalışan elektromanyetik bir devre elemanıdır. Röleler düşük değerli bir akım ile yüksek güçlü bir alıcıyı anahtarlamak amacıyla kullanılır.

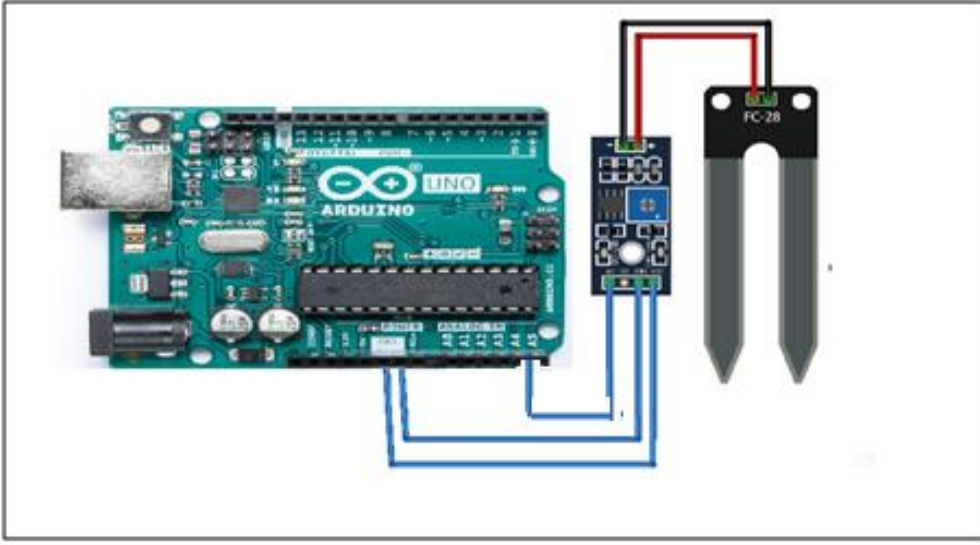
Röleler, tek bir elemanda birden fazla anahtar kontağına sahip olabilir ve birden fazla yükü aynı anda açıp kapatırlar. Röleler, tristör ve triyaklardan daha avantajlı bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 3.32’de röle bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Röle Modülü Bağlantı Şeması

3.11.7. Toprak Nem Modülü

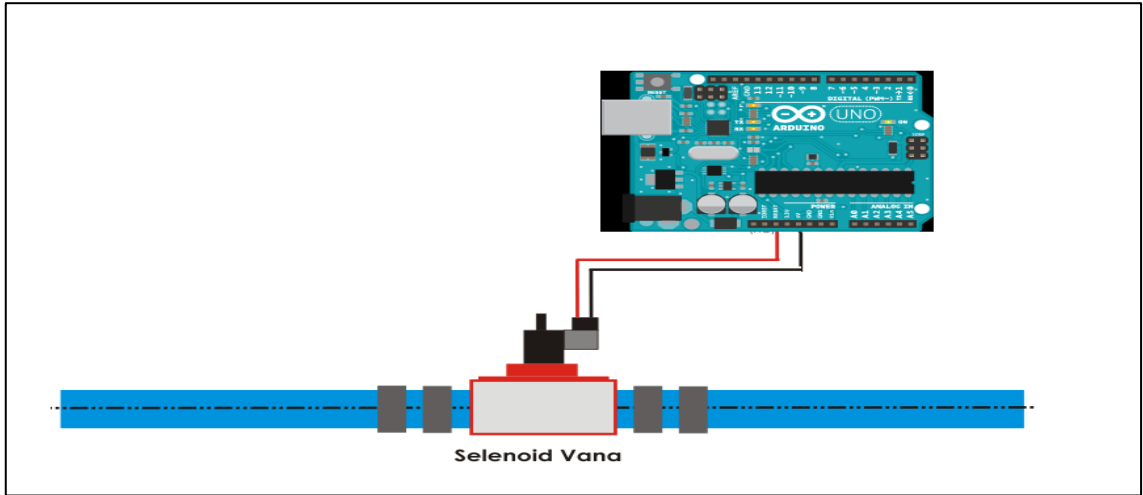
Toprağın içerisindeki nem miktarını ölçmek için kullanılan bir sensör türüdür. Nem ölçer prob lar ölçüm yapılacak ortama batırılır. Toprağın veya sıvının meydana getirdiği dirençten dolayı, prob uçları arasında bir gerilim farkı meydana gelir. Bu gerilim kontrol sayısal değere çevrilir ve kontrol kartı pinine gönderilir. Şekil 3.33’te toprak nem sensörünün bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Toprak Nem Modülü Bağlantı Şeması

3.11.8. Selenoid Valf

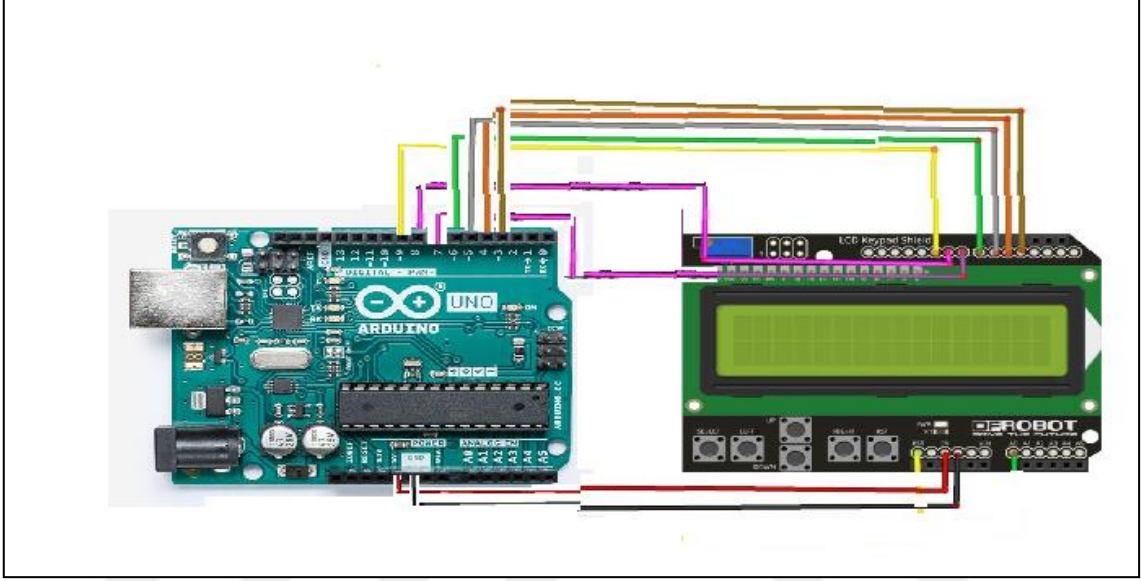
Selenoid valfler elektrik enerjisiyle çalışır ve gaz, hava, su, buhar ve yağ gibi akışkanların geçişini kontrol altında tutan elektromekanik devre elemanıdır. Yapısı itibariyle elektromıknatis denetimlidir ve sıcaklıkları 150°C den düşük olan akışkanlar için kullanılır. Şekil 3.34’de selenoid valf bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Selenoid Valf Bağlantısı

3.11.9. LCD Ekran

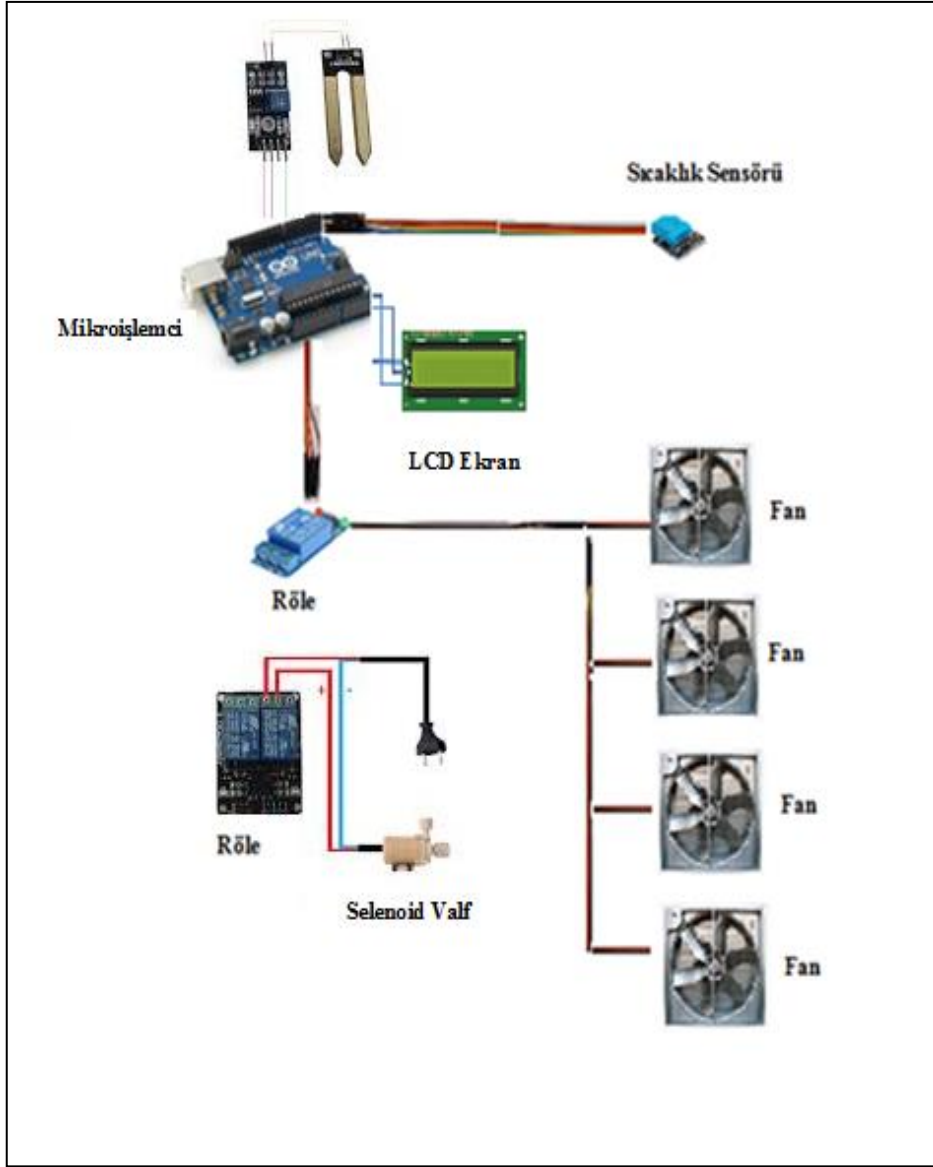
Sıvı kristal ekran (LCD), elektrikle kutuplanan sıvının ışığı tek fazlı geçirmesi ve önüne eklenen bir kutuplanma filtresi ile gözle görülebilmesini sağlayan bir görüntü elemanıdır. Genellikle 16x2 ekran LCD ekranlar kullanılır. Şekil 3.35’de LCD ekran bağlantısı gösterilmiştir.



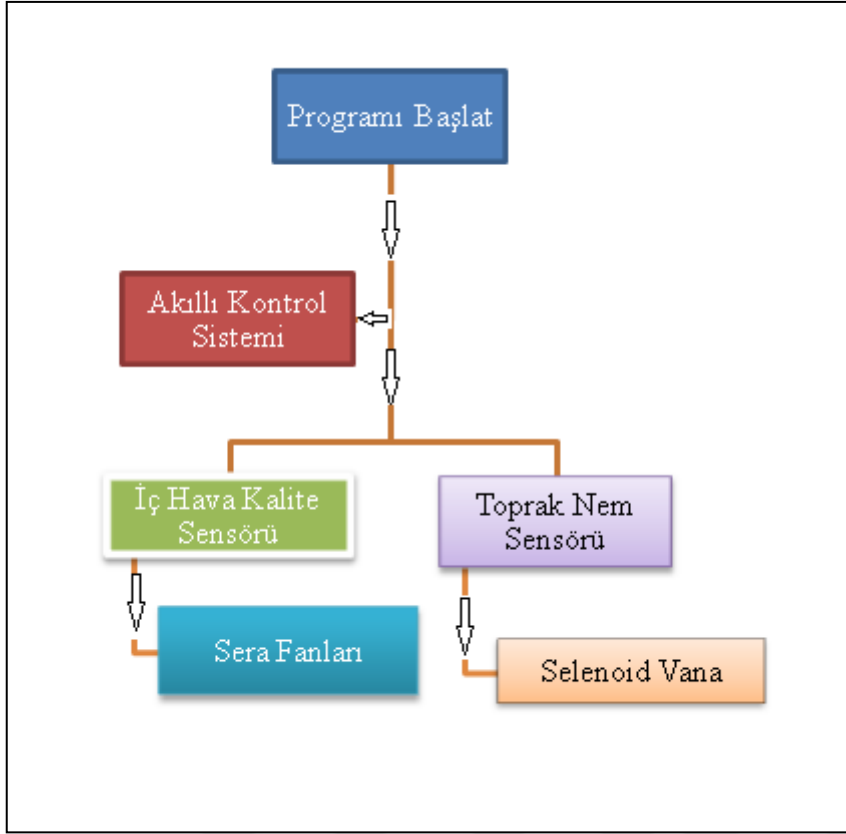
Şekil 3.35. LCD Ekran Bağlantısı

Gömülü sistem kontrol sistemi ile sera iç sıcaklığı, nemi, sulama sistemi ve havalandırması kontrol edilecektir. Böylece enerji tasarrufu sağlanacaktır. İç yüzeye iki adet sıcaklık sensörü ve 1 adet 4 çıkışlı fan ve selenoid valf kontrol rölesi ve sulama sistemine selenoid valf konulacaktır (Kürklü ve Çağlayan, 2005).

Uygulama serası iç hava kontrolü sistemi Şekil 3.36’da ve Şekil 3.37’de ise gömülü sistem blog diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.36. Gömülü (Arduino) Kontrol Sistemi Şematik Gösterimi



Şekil 3.37. Gömülü Sistem(Arduino) Blog Diyagramı

3.11.10. Gömülü Sistem (Arduino) Kontrol Kodları

Gömülü sistem kartı belirli komutlar ile çalışır. Bu kodlar kısaca aşağıdaki belirtilen alanlara yazılırlar. Döngü oluşturulmak suretiyle sistem kontrolü yapılır. Döngü sonunda sıcaklık değerine göre ısı pompası sistemi otomatik açılıp kapanacaktır. Şekil 3.11.10.1’de sera içi hava kalite dengesini sağlayan fanlar verilmiştir.

```
#include <DHT. h>
```

```
#define DHTPIN 2
```

```
#define DHTTYPE DHT11
```

```
#define role 13
```

```
#define fan 12

int toprak_nem_sensoru=A5;

int OkunanDeger;

int Nem;

int selenoid_valf=3;

int maxHum = 40;

int maxTemp = 25;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#include <LiquidCrystal. h>

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

int lcd_key = 0;

int adc_key_in = 0;

void setup()

{

pinMode(role, OUTPUT);

pinMode(fan, OUTPUT);

pinMode(toprak_nem_sensoru, INPUT);

pinMode(selenoid_valf, OUTPUT);

Serial.begin(9600);
```

```
dht.begin();

lcd.begin(16, 2);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("SERA");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("OTOMASYONU");

delay(5000);

lcd.clear();

}

void loop()

{

float h = dht.readHumidity();

float t = dht.readTemperature();

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("SICAKLIK:");

lcd.print(t);

lcd.print(" DERECE");

lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("NEM:");

lcd.print("% ");

lcd.print(h);

delay(5000);

lcd.clear();

OkunanDeger = analogRead(toprak_nem_sensoru);

Nem = map (OkunanDeger, 1023, 0, 0, 160);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("TOPRAK NEMI");

lcd.print("% ");

lcd.print(Nem);

delay(5000);

if( t > maxTemp)

{

digitalWrite(role, LOW);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("SICAKLIK NORMAL");

lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("ROLE KAPALI");
```

```
delay(5000);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
digitalWrite(role, HIGH);
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("YETERSIZ SICAKLIK");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("ROLE AÇIK");
```

```
delay(10000);
```

```
digitalWrite(role, LOW);
```

```
}
```

```
if(h > maxHum)
```

```
{
```

```
digitalWrite(fan, HIGH);
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("NEM YUKSEK");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("FAN CALISIYOR");

delay(60000);

digitalWrite(fan, LOW);

}

else

{

digitalWrite(fan, LOW);

lcd.clear(); //

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("NEM NORMAL");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("FAN KAPALI");

delay(5000);

}

toprak_nem_sensoru = analogRead(A5);

if (toprak_nem_sensoru > 543)

{
```

```
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("TOPRAK NEMI");

lcd.print("% ");

lcd.print(Nem);

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("SELENOID ACIK");

digitalWrite(solenoid_valf, HIGH);

delay(4000);

digitalWrite(solenoid_valf, LOW);

}

else

{

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("TOPRAK NEMI");

lcd.print("% ");

lcd.print(Nem);

lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("SELENOID KAPALI");  
  
digitalWrite(solenoid_valf, LOW);  
  
delay(4000); //  
  
}  
  
lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(0,0);  
  
lcd.print("VERILER");  
  
lcd.setCursor(0,1);  
  
lcd.print("GUNCELLENİYOR ");  
  
delay(4000);}
```



Şekil 3.38. Uygulama Serası ve Soğutma Fanları

3.12. Tasarlanan Isı Pompası Sistemi Ekipmanları

3.12.1. Tek Serpantinli Boyler

Isı pompası primer devresinde 6000 lt'lik tek serpantinli boyler kullanılacaktır. Boyler elektrikli rezistanslı olacaktır. Serpantin içerisinde güneş kolektörlerinde ısınan akışkan (su+glikol) dolaşacaktır. Şekil 3.39'da tek serpantinli boyler gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Tek Serpantinli Boyler (<http://www.isitesisatmarket.com>)

3.12.2. Su kaynaklı Isı Pompası Genel Açıklamalar

Su kaynaklı ısı pompaları Kuzey Avrupa ülkeleri başta olmak üzere, soğuk iklime sahip ülkelerde çok yüksek verimle çalışmakta ve kamu binaları başta olmak üzere, konut ve iş yerlerini en ekonomik ve güvenli biçimde ısıtmak için kullanılmaktadır.

- 1.Su kaynaklı ısı pompasının çalışması için (bilinenin tersine) yeraltı suyunun sıcak olmasına gerek yoktur.
2. Min. 7-8°C su sıcaklığı ısı pompasının çalışması için yeterlidir.
3. Isı Pompaları; fosil yakıt yakmaz. Bu sebeple; bacaya ve yakıt deposuna gerek yoktur. Hiçbir egzoz, duman, gaz çıkışı olmadığı için, herhangi bir uygun yere konulabilir. Genellikle giriş veya bodrum kata konulmaktadır.
4. Isı pompasının Ses/gürültü seviyesi mevcut doğalgaz brülörlerinden çok daha azdır. (anlık kompresör devrine göre 47-65 dB arasındadır.)

5. Isı pompaları bilinen tüm yakıt kazanlarından (elektrik, fuel-oil, doğalgaz, propan, vs) daha az enerji tüketirler.

Örneğin, standart bir elektrikli kombinin 4,5' te biri kadar elektrik tüketir, yani; Isı pompası 1 kW elektrik harcayarak 4,5 kW ısı üretir. (Aradaki fark olan 3,5 kW ısı enerjisini yeraltından gelen sudan alır.)

6. Isı pompaları eşanjör sistemine bağlanır.

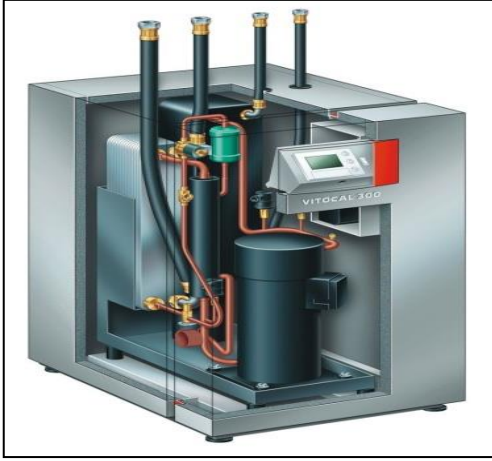
7. Isı pompaları 60°C sıcaklıkta su sağlamaktadır. Mevcut eşanjör sistemlerine uygundur.

8. Isı pompasının rutin bakım ihtiyacı yoktur. Uzun ömürlü ve masrafsız bir teknoloji ürünüdür.

9. Isı pompası mekân ısıtmasından başka, 12 Ay boyunca kullanım sıcak suyu da sağlar.

10. 65 kW ısı enerjisini sağlamak için gerekli olan su debisi maksimum 3lt/sn'dir. Bu miktar en soğuk zamanlar için tepe tüketim olup, dış hava sıcaklığına göre otomatik olarak azalmaktadır. Isı pompaları frekans konvertörlü pompaları kontrol edebilmektedir.

15. Isı pompası 3 Fazlı 380 V AC ile çalışan bir cihazdır. Bina girişindeki panoda sigorta kutusu, aşırı akım rölesi, kaçak akım rölesi, faz sırası koruma rölesi, topraklama devresi olması yeterlidir. Şekil 3.40'ta su kaynaklı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi (Durmaz, 2012)

3.12.3. Kullanılacak Güneş Kollektörleri

Güneş kolektörlerinde kullanılan yüzeyler uygulama açısından iki grupta incelenirler.

1. Siyah boyalı yüzeyler.
2. Selektif yüzeyler.

İdeal siyah yüzeyler ideal ışınım absorbe edicilerdir. Bütün dalga boylarındaki her açı altında üzerine gelen ışınımın tamamını absorbe eder. Ancak gerçek cisimler ideal siyah yüzeyler gibi değildirler, üzerlerine gelen ışınımın tümünü absorbe etmeyip bir kısmını geliş açısına bağlı olarak yansıtırlar, tamamını absorbe edemezler. İdeal siyah cisim aynı zamanda ısı ışınım için ideal yayıcıdır. Kollektörlerde kullanılan yutucu yüzeylerde, güneş ışınımı absorbe oranının yüksek olması ve yayıcılığının olmaması istenen özelliktir. Kısa dalga boylu ışınımın, yani güneş ışınımının tamamına yakını absorbe eden ve absorbe ettiği ışınım ile kendi yüzey sıcaklığı da arttığı için yüzeyinden çevresine minimum oranda ışınım yayan yüzeylere seçici (selektif) yüzey denir. Absorbe ettiği ışınımın maksimum %30'unu yayan yüzeylere selektif yüzeyler denir. Seçilen güneş kolektörleri bakır parçalı kanatlı bakır selektif ve absorber plakalara sahiptir. Sistemde kullanılan camlar ise temperlidir. Şekil 3.41'de güneş kolektörleri gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Güneş Kollektörleri(<http://www.enginmuh.com>)

3.12.4. Frekans Konvertörlü Sirkülasyon Pompası

Islak rotorlu sirkülasyon pompası kategorisinde pompa seçimi yapılmıştır. Aynı zamanda değişken devirli ve oled çift satır ekran da mevcuttur. Şekil 3.42’de frekans konvertörlü sirkülasyon pompası gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Frekans Konvertörlü Sirkülasyon Pompası (<https://www.alarko-carrier.com.tr>)

3.12.5. Küresel Vanalar

Küresel vanalar ortasında delik bulunan bir küredir ve kürenin 90° dönüşünde tam açık pozisyondan kapalı pozisyona geçirilir. Bu tip vanalar özellikle çok açılıp kapanan veya

abuk açılıp kapanması istenen yerlerde öncelikli olarak tercih edilirler. Şekil 3.43'te küresel vana gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Küresel Vana (<http://www.fafvana.com.tr>)

3.12.6. Kollektörler

Küçük kesitli birkaç borudan gelen bir akışkanın toplandığı boru ya da birkaç boruya dağıtılacak bir akışkanın toplandığı aynı zamanda basınçlandırıldığı ana boruya kollektör denir. Sistem için DN200 kollektör seçimi yapılmıştır. Şekil 3.44'te kollektör sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Kollektör (<http://www.tankdunyasi.com.tr>)

3.12.7. Borular

Siyah dikişli borular genelde ısıtma tesisatında kullanılan boru tipidir. Tasarlanan sistemde 3/4'' ile 4'' arası borular kullanılacaktır. Şekil 3.45'te siyah dikişli borular gösterilmiştir.



Şekil 3.45. Siyah Dikişli Boru (<https://www.fobuma.com>)

3.12.8. PT100 Sıcaklık Transmitteri

Elektronik ısı duyarlarından çok fazla tercih edilen devre elemanlarından birisi olan PT100, sıcaklığa bağlı olarak direnç değerinin değişmesi ile diğer başka bir cihazla sıcaklık değeri anlaşılan bir ayardır. Şekil 3.46'da PT100 sıcaklık duyarı gösterilmiştir.



Şekil 3.46. PT100 (<http://www.inverter-plc.net>)

3.12.9. Vana Aktüatörü (Oransal)

Küresel vana, kelebek vana ve damperlerin oransal olarak açılıp kapanmasını sağlar. Moment çıkış değerleri 40 Nm-3000 Nm arasındadır. Çalışma voltajı 220 VAC,24 VAC/DC,380 V gerilimle çalışabilir. Sistem için 2800 N aktüatör seçimi yapılmıştır. Şekil 3.47’de motorlu vana aktüatörü gösterilmiştir.



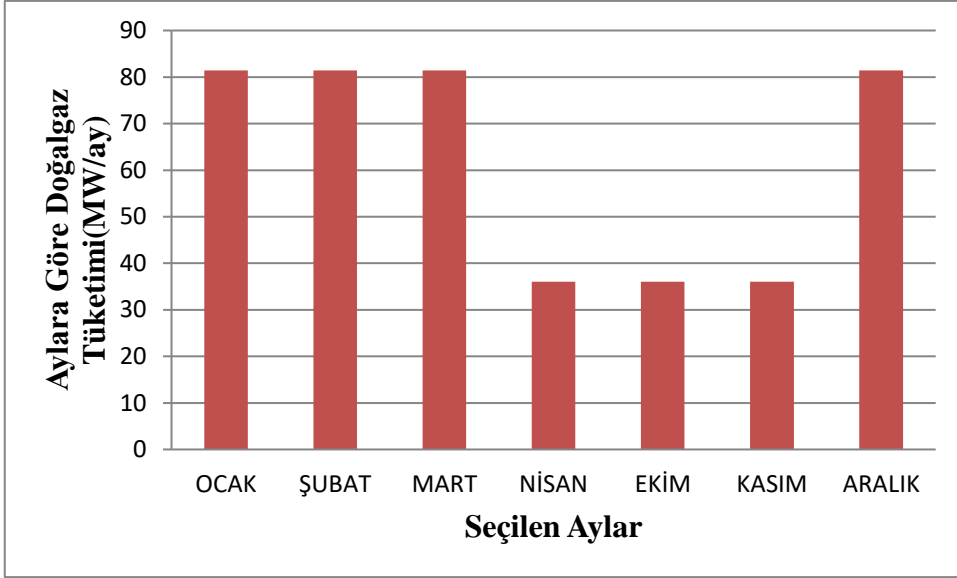
Şekil 3.47. Vana Aktüatörü (<http://www.siemens-bj.cn>)

3.13. Mevcut Isıtma Sistemi Doğalgaz Tüketimi Hesabı

Uygulama serası merkezi sistem ile ısıtılmaktadır. Yani galeri hattından gelen borular eşanjör sistemine bağlanarak ısı transferi gerçekleşmektedir. Plakalı eşanjör ısı değeri toplam 200000 kcal/h değerindedir ve 44 m alüminyum panel radyatörleri ısıtmaktadır. Isıtma sistemi PLC kontrollüdür ve Scada ekranından izlenmektedir. Çizelge 3.9’da mevcut ısıtma sistemi çizelgesi, Şekil 3.48’de ise merkezi sistem aylara göre doğalgaz tüketimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Mevcut Isıtma Sistemi Çizelgesi

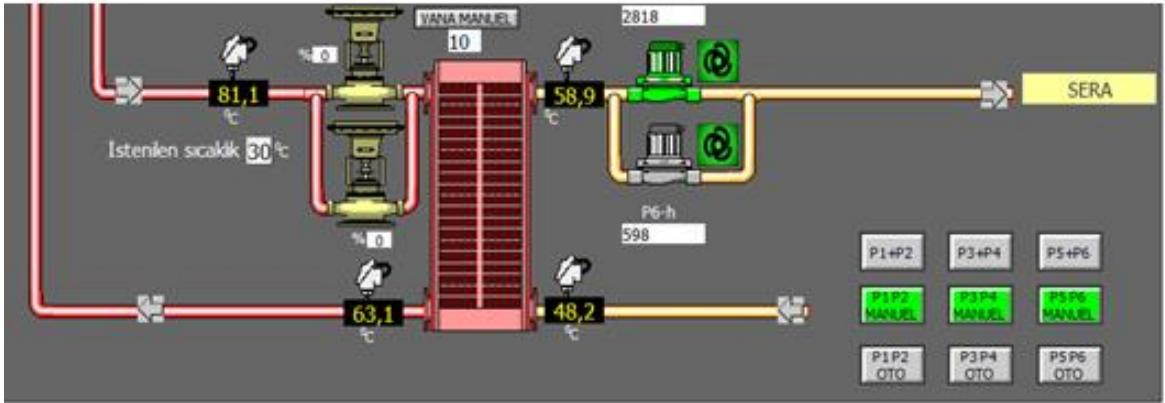
Uygulama Serası Isıtma Tesisatı	Toplam Radyatör Metrajı(m)	Isıl Değeri(kcal/h)	Toplam Isıl Kapasite(kcal/h)
22 adet AL panel radyatör	44	2750	121000



Şekil 3.48. Merkezi Sistem Aylara Göre Doğalgaz Tüketimi Grafiği

Çizelge 3.13.1’de verilen değerlere göre tüketim hesaplanırsa uygulama serası doğalgaz tüketimi değeri $56515,63 \text{ m}^3$ değeri elde edilmiş olur. Bu değer TL cinsine çevrilirse; $56515,63 \text{ m}^3 \cdot 1,735 \text{ TL/m}^3 = 98.054,62 \text{ TL}$ elde edilmiş olur.

Şekil 3.49’da ise Scada ekran görüntüsü verilmiştir. Bu ekrandan merkezi sistem kontrol edilmektedir.

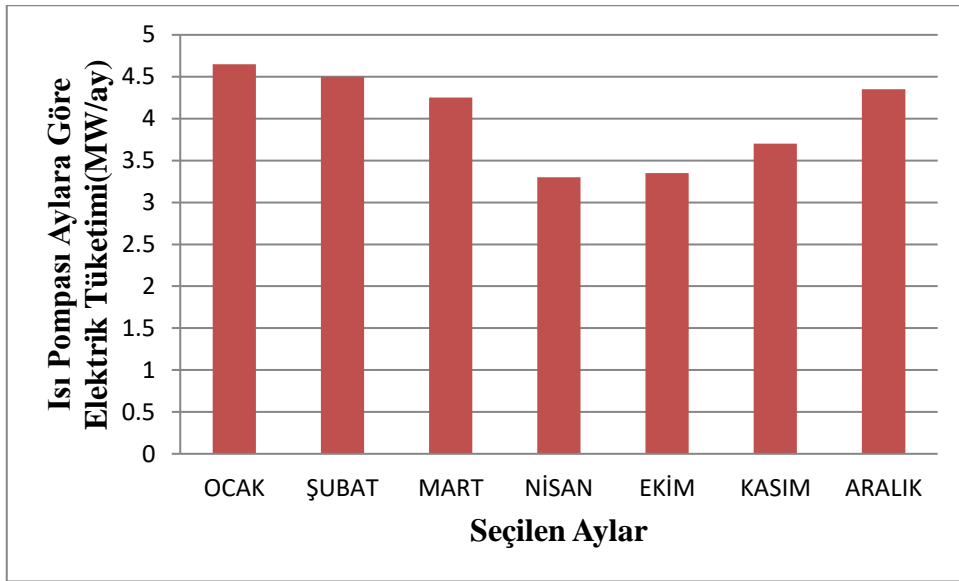


Şekil 3.49. Merkezi Scada Kontrol Sistemi

4. BULGULAR

4.1. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Analizi

Tasarladığımız ısı pompası sistemi en soğuk günde ve en düşük akışkan sıcaklığında(7-8°C) maksimum 11,82kW elektrik sarf edecektir. Akışkan sıcaklığı arttıkça bu değer düşer. Kullanılan kompresör invertörlüdür ve akışkan debisini ısı pompası kendisi kontrol eder. Şekil 4.1’de ısı pompası elektrik tüketimi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.1. Isı Pompası Elektrik Tüketimi Grafiği

Şekil 4.1’den alınan değerler toplandığında toplam elektrik tüketimi değeri 26454,49 kWh olarak elde edilir. Elektrik enerjisi birim fiyatı 30.04.2019 tarihi itibariyle 0,6847 TL/kW’tır.

TL cinsinden maliyet =26454,49kW.0,6847 TL/kW=18.113,39 TL’dir.

4.2. Ekonomik Analiz

Günümüzde ısı pompaları genel olarak maliyeti yüksek sistemlerdir. Kurulumu da diğer ısıtma sistemlerine göre fazla maliyetlidir. Ancak faturaların düşmesi, uzun vadede

bakım giderlerinin az olması ve kullanım ömrünün uzun olması bu sistemlere ekonomik olarak avantajlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, yüksek yatırım maliyetine rağmen ısı pompası kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Yerleşke alanında bulunan uygulama serası için tasarlanan sistemin kurulum maliyeti Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isı Pompası Kurulum Maliyeti Çizelgesi

Su Kaynaklı Isı Pompası (65kW)	141.883,20 TL
Frekans Konvertörlü Sirkülasyon Pompaları	30.000,00 TL
Vana+Pislik Tutucu	7.000,00 TL
Siyah Dikişli Boru+Yalıtım	3.500,00 TL
Genleşme Deposu	2.000,00 TL
Kollektör	2.000,00 TL
DN100 PE boru+Kaynak+Manşon	40.000,00 TL
Manometre	100,00 TL
Termometre	100,00 TL

Purjör	50,00 TL
Motorlu vana (Aktüatör)	25.000,00 TL
PT100	2.000,00 TL
Otomasyon panosu+Astronomik Zaman Rölesi	3.000,00 TL
Boyerler (6000 lt)	9.500,00 TL
Toplam Maliyet	266.133,20 TL
Toplam Maliyet (30.04.2019 Dolar Kuru 5,96 TL)	44.653,22 \$

Çeşitli elektrik işleri ve işçilik eklendiğinde toplam kurulum maliyeti 266.133,20TL olmaktadır.

Yıllık enerji kaybı 56515,63 m³ doğalgazdır (Doğalgaz m³ fiyatı 30.04.2019 tarihi itibarıyla KDV dâhil 1,735 TL olarak alınmıştır).

Isı pompası yıllık elektrik tüketimi ise 18.113,39 TL'dir(maksimum).

Tasarlanan ısı pompası sirkülasyon pompaları elektrik sarfiyatı çok düşük olduğu için elektrik tüketimi ihmal edilmiştir.

Doğalgaz tüketimi TL cinsinden=56515,63 m³.1,735 TL/m³=98.054,62 TL

Toplam doğalgaz yakış değerinden ısı pompası elektrik tüketim değeri çıkartılırsa Fark=98.054,62 TL-18.113,39 TL=79.941,23 TL'dir.Bu değer ısı pompası kullanılması durumunda elde edilen net kar değeridir.

$$\text{Basit Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Kurulum Maliyeti (TL)}}{\text{Enerji Tüketimi Farkı (TL)}} \quad (4.1)$$

$$\text{Basit Geri Ödeme Süresi} = \frac{266.133,20(\text{TL})}{79.941,23(\text{TL})} = 4 \text{ yıl elde edilir (Ortalama değer).}$$

Elektrik enerjisinin sadece şebekeden karşılanması sonucu basit geri ödeme süresi ortalama 4 yıl olarak elde edilmiştir.

Ayrıca yerleşke alanında 500kW_p gücünde PV sistemi mevcuttur. Bu sisteme ek olarak 499kW_p ilave panel projesi de devam etmektedir. Yıllık enerji ihtiyacının buradan karşılanması durumunda sıfır enerjili bir sistem elde edilmiş olacaktır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ülkemizde ve dünyada enerjinin etkin kullanılması amacıyla toprak kaynaklı ısı pompaları kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Birçok alanın iklimlendirmesinde kullanılabilen farklı ısı pompaları mevcuttur. Bu çalışmada, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi yerleşkesinde bulunan 510 m² alana sahip bir seranın enerji verimli olarak iklim şartlarına göre optimum düzeyde ısıtılması veya soğutulması amacıyla akıllı kontrol sistemi bulunan hibrit ısı pompası sistemi tasarlanmıştır. Güneş enerjisi desteği ve merkezi ısı hattı galerileri içerisinde bulunan atık ısının geri kazanılması yoluyla tasarlanan hibrit sistem optimum verim ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Tasarlanan yeni hibrit ısı pompası sisteminde, su ve glikol karışımı akışkan sıcaklığı minimum 22,8°C'ye kadar kapalı sistem güneş kolektörleriyle ön ısıtma yapılarak seçilen kapalı çevrim ısı pompasına verilmiştir. Mevsimsel olarak güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda merkezi ısı sistemi yer altı galeri hattında bulunan atık ısı geri kazanılarak ısı pompasına verilmektedir. Tasarıma akıllı kontrol sistemi eklenerek iklimsel sıcaklık farklarında bile sera ortamında sıcaklığın ve nem miktarının optimum seviyede sabit tutulması sağlanmıştır. Hâlihazırda sera alanı üniversitenin merkezi sistem ısı sistemi ile ısıtılmakta olup mevcut ısıtma sisteminin analizleri yapılarak tasarlanan sistem ile karşılaştırılmıştır. Seranın merkezi sistem ile ısıtılması durumunda oluşturduğu toplam yıllık ısınma yükü 219,09 MW/yıl olarak belirlenmiştir. Seranın merkezi sistem üzerine oluşturduğu bu ısıyı karşılayabilmek için tasarlanan hibrit ısı pompası sistemi ile kış aylarında galeri hattından ortalama 274,27MW/yıl atık ısıyı ve bahar aylarında güneş kolektörlerinden ise ortalama 0,3 MW/yıl güneş enerjini kazanacağı hesaplanmıştır. Tasarlanan sistem için ekonomik analiz yapılarak basit geri ödeme süresi 4 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca mevcut sistem ile tasarlanan yeni sistem karşılaştırılarak avantajları belirlenmiştir. Fosil yakıt kullanımının azaltılması, sistem veriminin yükseltilmesi, bitkiler için iklimsel farklılıkların gözetilerek akıllı kontrol sistemlerinin oluşturulması, güneş enerjisinin kullanılması ve galeri ısı hatlarındaki atık ısının geri kazanılması gibi birçok önemli parametreyi bir arada bulunduran bu tasarımın ekonomik olarak da uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak, mevcut

sistem kullanıldığında yılda 155,42 Ton CO₂ salınımı oluşmakta iken tasarlanan bu yeni hibrit sistem ile yılda yaklaşık 14,55 Ton CO₂ salınımı olacaktır. Böylece tasarlanan hibrit sistem ile çevresel zararlar yaklaşık %90 oranında azaltılmıştır bulunmaktadır. Bu bağlamda, tasarladığımız sistemin gelecekte sıklıkla uygulanabilecek çevreci bir tasarım olduğu düşünülmektedir. Ayrıca mevcut sera ısıtma sistemi ve yeni akıllı kontrol sistemli hibrit ısı pompası tasarımı için Çizelge 5.1’de bir karşılaştırma analizi yapılmış ve çalışmanın avantajları vurgulanmıştır.

Çizelge 5.1. Uygulama Serası İçin Mevcut Merkezi Isıtma Sistemi ve Akıllı Kontrol Sistemli Hibrit Isı Pompası Tasarımının Karşılaştırılması

	Mevcut Merkezi Isı Sistem	Akıllı Kontrol Sistemli Hibrit Isı Pompası Tasarımı
Yıllık Enerji Tüketimi	<ul style="list-style-type: none"> 56.515,63Sm³ doğalgaz 	<ul style="list-style-type: none"> 26.454,49kWh elektrik
COP Değeri	<ul style="list-style-type: none"> Belirlenememiştir. 	<ul style="list-style-type: none"> Su kaynağı varsa COP değeri genelde stabildir. COP değeri yüksektir. Kullanılan su kirletilmez.
Enerji Kaynağı	<ul style="list-style-type: none"> Fosil yakıt (Doğal gaz) 	<ul style="list-style-type: none"> Güneş Enerjisi Galeri Hattı Atık Isısı
Kurulum Maliyeti Ve Uygulanabilirliği	<ul style="list-style-type: none"> Kurulumu kolay ve maliyeti nispeten düşüktür. Her ortama kurulabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Kurulumu nispeten zor ve maliyeti yüksektir. Uygun ortam ve ısı kaynağı bulunmak zorundadır.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir kaynak kullanmaz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. • Kış aylarında enerji tüketimi güneş enerjisi ile azaltılmaktadır. • Atık ısı soğurma özelliği sayesinde sistem devamlı olarak sabit bir sıcaklıkta çalışacaktır.
Atık Isı Geri Kazanımı	<ul style="list-style-type: none"> • Atık Isı Geri Kazanımı yoktur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atık Isı Geri Kazanımı vardır.
Akıllı Kontrol Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Akıllı kontrol sistemi yoktur. • Sistem manuel olarak sulanmakta ve havalandırılmaktadır. • Fazla miktarda enerji kayıpları oluşmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Akıllı kontrol sistemi vardır. • Sera içi nem ve sıcaklık değerleri sürekli kontrol edilmektedir. • Akıllı kontrol sistemi ile sera iç sıcaklığı da stabil tutulacaktır. • İstenilen iklim koşullarına uygun sulama ve havalandırma yapılmaktadır. • Enerji verimliliği sağlanmaktadır.
Kullanım Ömrü	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanılan ısıtma sistemimin fiziki ömrü ile sınırlıdır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanım ömrü uzundur. • Bakım masrafları azdır.

	<ul style="list-style-type: none">• Sürekli Bakım ve Onarım gerektirir.	<ul style="list-style-type: none">• Sürekli bakım gerektirmez.
Basit Geri Ödeme Süresi	<ul style="list-style-type: none">• Belirlenmemiştir.	<ul style="list-style-type: none">• 4yıl
CO ₂ Salınım Oranı (Ton/yıl)	<ul style="list-style-type: none">• 155,42	<ul style="list-style-type: none">• 14,55• Çevreye zarar vermez.



KAYNAKLAR

- Abdul Aziz, M., Mat, S., Sopian, K., 2013. Technology Review of Solar Assisted Heat Pump System for Hot Water Production. *Latest Trends in Renewable Energy and Environmental Informatics*. 65-75.
- Aktaş, M., Aktekeli, B., 2014. Isı Pompalı Kurutucuda Atık Isı Kullanımının Performansa Etkisi ve Deneysel Analizi. *Tarım Bilimleri Dergisi 21 (2015) 220-235*.
- Araz, M., Çulha, O., Hepbaşlı, A., Ekren, O., Günerhan, H., Bıyık, E., 2015. Atık Su Isı Pompalarının Tasarımı ve Enerjetik Performansının Değerlendirilmesi. *Tesisat Mühendisliği –Sayı 155-2016*.
- Atmaca, I., Kocak, S., 2014. Theoretical Energy and Exergy Analysis of Solar Assisted Heat Pump Space Heating System. *Thermal Science (2014) Vol. 18, Suppl. 2, pp. S417-S427*.
- Atmaca, M., 2006. Klasik Tip Eş Eksenli (Merkezli) İç İç Borulu Isı Değiştiricisinde Isı Transferi ve Basınç Kaybının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik dergisi 2006 (4) 1-14*.
- Baek, N.C., Shin, U.C., Yoon, J.H., 2005. A Study on The Design and Analysis of A Heat Pump Heating System Using Wastewater as A Heat Source. *Solar Energy 78 (2005) 427-440*.
- Bakırcı, K., (2016). Su Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği-Sayı 153*.
- Bulut, H., 2010. Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Sisteminin Elemanları. *Soğutma Klima Tekniği*.
- Cengel, Y.A., Cimbala, J.M., McGraw, Hill., 2010. *Fundamentals and Applications, 2nd Edition*.
- Chow, T.T. He, W., J. Ji, 2006. An experimental study of facade-integrated Photovoltaic/Water-Heating System.
- Çomaklı K., Çakır B ve Efe Ş., 2011. Farklı Bina Tipleri ve Yakıtlar İçin Merkezi Isıtma Sistemlerinin Maliyet Analizi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Çanakçı, C ve Acarer., 2015. Jeotermal Enerji ile Sera Isıtma Sistemleri Tasarım Esasları. *Jeotermal Enerji Semineri*.

- Çengel, Y.A. ve Boles, A.M.,1989. Thermodynamics an Engineering Approach,McGraw-Hill.
- Çengel, Y. and M.A. Boles, 2002. Thermodynamics An Engineering Approach. Mc Graw Hill, 4th Edition, Boston.930 s.
- Doğan, V., 2003. Su-Toprak Kaynaklı Isı pompaları.VI.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- Dannemand, M., Perers, B., & Furbo, S. (2019). Performance of a demonstration solar PVT assisted heat pump system with cold buffer storage and domestic hot water storage tanks. Energy and Buildings, 188, 46-57.
- Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F., 2003. Güneş ve Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi. Mühendis ve Makine-Cilt: 46 Sayı: 544.
- Duffie, JA., Beckman, WA., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes.John Wiley&Sons.Inc,Third Edition.
- Durmaz, Ş., 2012.Isı Pompası Sistemleri.TTMD ISSN 1302-2415.
- Duran, U., Demir,Ö., Yavuz,C., 2012. “ DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü İle bilgisayar Destekli Ölçüm ve Kontrol Devresinin İmalatı ve Deneysel Olarak İncelenmesi”,Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, Çankırı-İlgaz.
- Emmi, G., Zarrella, A., De Carli, M., 2017. A Heat Pump Coupled With Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collectors: A Case Study of A Multi-Source Energy System. Energy Conversion and Management 151 (2017) 386-399.
- Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, 2012. “2011 Yılı Enerji Dengesi,” http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2013 yılı Bütçe Sunumu, s. 70.
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B., Özyurt, Ö., 2006. Isı Pompası Sistemlerinin Seçimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı: 92, s. 40-49.*
- Esen, H., Inalli, M., Esen, M., 2006.A Techno-Economic Comparison of Ground-Coupled and Air-Coupled Heat Pump System for Space Cooling. Buildingand Environment 42 (2007) 1955-1965.
- Hepbaşlı, A., Hancıoğlu, E., 2011.Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.

Hepbasli, A., Balta, M.T., 2007. “A study on modeling and Performance assessment of a heat pump System for utilizing low temperature Geothermal resources in buildings”, *Building and Environment*, 42-10 3747-3756.

Hepbasli, A., Kalinci, Y., 2008. A Review of Heat Pump Water Heating Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H., Araza, M., 2014. A Key Review of Wastewater Source Heat Pump (WWSHP) Systems. *Energy Conversion and Management* 88 (2014) 700-722.

Hocagil, M.M., Öztürk, H.H., 2005. Seralarda Sıcaklık ve Bağlı Nem Kontrolü Üzerine Bir Araştırma. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2005,1 (3),255-261.

Huang, L., Zheng., R.,Piontek, U., (2019). Installation and Operation of a Solar Cooling and Heating System Incorporated with Air-Source Heat Pumps. *Energies*, 12(6), 996.

<http://www.enerji.gov.tr>(Erişim Tarihi:13.02.2018).

<http://www.psmenerji.com>(Erişim Tarihi:15.02.2018).

<http://www.maxen.com.tr>(Erişim Tarihi:18.02.2018).

<http://www.metantech.com>. (Erişim Tarihi:18.02.2018).

<http://isle-eco.com>(Erişim Tarihi:18.02.2018).

<http://www.nibeturkiye.com>(Erişim Tarihi:19.02.2018).

<http://www.huber.com.tr>(Erişim Tarihi:19.02.2018).

<http://nibeisipompasi.com>(Erişim Tarihi:19.02.2018).

<http://www.mgm.gov.tr>(Erişim Tarihi:20.02.2018).

<http://www.m.adasulama.com.tr>(Erişim Tarihi:21.02.2018).

<http://toplubilgi.com>(Erişim Tarihi:21.02.2018).

<http://www.robotistan.com>(Erişim Tarihi:22.02.2018).

<http://www.isitesisatmarket.com>(Erişim Tarihi:22.02.2018).

<http://www.emginmuh.com>(Erişim Tarihi:24.02.2018).

<http://www.alarko-carrier.com.tr>(Erişim Tarihi:24.02.2018).

<http://www.fafvana.com.tr>(Erişim Tarihi:25.02.2018).

<http://www.enrjiatlası.com>(Erişim Tarihi:25.02.2018).

<http://www.tankdunyasi.com.tr>(Erişim Tarihi:26.02.2018).

<http://www.fobuma.com>(Erişim Tarihi:27.02.2018).

<http://www.inverter-plc.net>(Erişim Tarihi:13.03.2018).

<http://www.siemens-bj.cn>(Erişim Tarihi:13.03.2018).

<http://www.dogalgazistasyonu.com>(Erişim Tarihi:13.03.2018).

<http://www.plcforum.it>(Erişim Tarihi:13.03.2018).

Ji, J., Pei, G., Chow, T., He, W., Zhang, A., Dong, J., Yi, H., 2005. Performance of Multi-Functional Domestic Heat-Pump System. *Applied Energy* 80 (2005) 307-326.

Jassim, N.A., Al-Chlahawi, K.K., 2015. Experimental Evaluation of Thermal Performance of Solar Assisted Vapour Compression Heat Pump. *Journal of Engineering*.

Jradi, M., Veje, C., Jorgensen, B.N., 2017. Performance Analysis of A Soil-Based Thermal Energy Storage System Using Solar-Driven Air-Source Heat Pump for Danish Buildings Sector. *Applied Thermal Engineering* 114 360-373.

Karlı, S., Kaya, M., Erdoğan, S. ve Çomaklı, Ö., 2007. Erzurum İlinde Jeotermal Kaynaklı Isı Pompalarının Kullanımı, ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongre, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri: S. 745-752.

Kıncay, O., Temir, G., 2003. Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası-Bir Uygulama, *Termodinamik Dergisi*, Sayı:125,87-92.

Kuang, Y.H., Wang, R.Z., 2005. Performance of A Multi-Functional Direct-Expansion Solar Assisted Heat Pump System. *Solar Energy* 80 (2006) 795-803.

Kürklü, A., Çağlayan, N., 2005. Sera Otomasyon Sistemlerinin Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 25-34.

Kjellsson, E., Hellström, G., Perers, B., 2009. Optimization of Systems With The Combination of Ground-Source Heat Pump and Solar Collectors in Dwellings. *Energy* 353 (2010) 2667-2673.

- Koç, E., Kaplan, E. 2008. “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi,” *Termodinamik Dergisi*, sayı: 187, s.70-80.
- Koç, E., Kaplan, E. 2008. “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-II Türkiye Değerlendirmesi,” *Termodinamik Dergisi*, sayı:188, s.106-118.
- Kozak, W., Seifert, J., Richter, W., 2009. Influence of Ground Heat Exchanger Modelling on The Predicted Efficiency of The Heat Pump System. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland.
- Kuş, A.Ç., Çomaklı, K., 2015.Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi. *Tesisat Mühendisliği-Sayı 148*.
- Lerch, W., Heinz, A., Heimrath, R., 2015. Direct Use of Solar Energy as Heat Source for a Heat Pump in Comparison to a Conventional Parallel Solar Air Heat Pump System. *Energy and Buildings* 100 (2015) 34-42.
- Li, Y.W., Wang, R.Z., Wu, J.Y., Xu, Y.X., 2007. Experimental Performance Analysis on A Direct-Expansion Solar-Assisted Heat Pump Water Heater.*Applied Thermal Engineering* 27 (2007) 2858-2868.
- Liu, T., Li, Z., He, G., 2017. Experiments of A Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost. *Energy Procedia* 105 1130-1135.
- Matuska, T., Zmrhal, V., Metzger, J., 2009. Detailed Modeling of Solar Flat-Plate Collectors With Design Tool Kolektor. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland.
- Meena, C.S., Meena, S., Bajpai, V.K., 2014. Experimental Study on Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump System. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN:2248-9622 National Conference on Advanced in Engineering and Technology*.
- Nam, Y., Ooka, R., 2010. Numerical Simulation of Ground Heat and Water Transfer for Ground-Water Heat Pump System Based on Real-Scale Experiment. *Energy and Buildings* 42 (2010) 69-75.
- Olgun, M., Kendirli, B., Çelik, M.Y., 1997. Yalova İlinde Farklı Özelliklerdeki Seralar İçin Isıtma Gereksinimlerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*,3 (3) 1-7.
- Omer, A.M., 2006.Ground Source Heat Pumps Systems and Applications.*Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 344-374.

- Omojaro, P., Breitkopf, C., 2013. Direct Expansion Solar Assisted Heat Pumps: A Review of Applications and Recent Research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Oskay, M., 2006. Sıcak Su İhtiyacının Tespiti. *Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı: 93 s. 37-52*.
- Ozgener, O., Hepbasli A., 2005. Exergo economic analysis of a solar assisted ground-source heat pump Greenhouse Heating system, *Applied Thermal Engineering* 25:10, 1459-1471.
- Panesi, R., M.M, O., J.F.F, O., 2016. An Experimental Analysis of Heat-Pump Integrated With Solar Energy. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*.
- Postrioti, L., Baldinelli, G., Bianchi, F., Buitoni, G., Di Maria, F., Asdrubali, F., 2016. An Experimental Setup for The Analysis of An Energy Recovery System from Wastewater for Heat Pumps in Civil Buildings. *Applied Thermal Engineering*, 961-971.
- Rad, F.M., Fung, A.S., Leong, W.H., 2009. Combined Solar Thermal and Ground Source Heat Pump System. *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland*.
- Rajapaksha, L., Suen, K. O., 2003. Influence Of Reversing Methods On The Performance Of A Reversible Water-To-Water Heat Pump, *Applied Thermal Engineering*, 23(1), 49-64.
- Riederer, P., Partenay, V., Raguideau, O., 2009. Dynamic Test Method for The Determination of The Global Seasonal Performance Factor of Heat Pumps Used for Heating, Cooling and Domestic Hot Water Preparation. *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland*.
- Sarbu, I., Sebarchievici, C., 2013. General Review of Ground-Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling of Buildings. *Energy and Buildings* 70(2014) 441-454.
- Selimli, S., Recebli, Z., Aydın, A., 2013. Isı Pompasının Vakum Tüplü Güneş Kollektör Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Politeknik Dergisi Cilt 16 Sayı: 3 s.91-95*.
- Soldo, V., Curko, T., Balen, I., 2004. Thermal Performance of Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Pardue*.

- Sun, X., Dai, Y., Novakovic, V., Wu, J., Wang, R., 2014. Performance Comparison of Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pump and Conventional Air Source Heat Pump for Domestic Hot Water. International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, SHC 2014.
- Tabatabaei, S.A., Treur, J., 2016. Comparative Analysis of the Efficiency of Air Source Heat Pumps in Different Climatic Areas of Iran. *Procedia Environmental Sciences* 34 547-558.
- Trillat-Berdal, V., Souyri, B., Fraisse, G., 2006. Experimental Study of A Ground-Coupled Heat Pump Combined With Thermal Solar Collectors. *Energy and Buildings* 38(2006) 1477-1484.
- Tong, Y., Kozai, T., Nishioka, N., Ohyama, K., 2010. Greenhouse Heating Using Heat Pumps with A High Coefficient of Performance (COP). *Biosystems Engineering* 106 405-411.
- Verma, V., Murugesan, K., 2017. Experimental Study of Solar Energy Storage and Space Heating Using Solar Assisted Ground Source Heat Pump System for Indian Climatic Conditions. *Energy and Buildings* 139 (2017) 569-577.
- Wu, R., 2009. Energy Efficiency Technologies-Air Source Heat Pump vs. Ground Source Heat Pump. *J Sust Dev* 2009; 2:14-23.
- Yoldaş, T. Durmaz, Ş. 2007. Isı Pompası Sistemleri ve Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompasının Bir Villaya Uygulanması, *Tesisat dergisi Eylül 2007: 141 nolu yayın*.
- Yılmaz, A., Doğan, H., 2014. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Nem Kontrollü Bir Seranın Deneysel Analizi. 2.Ulusal İklimlendirme Soğutma eğitimi Sempozyumu ve Sergisi Balıkesir.
- Yousefi, M., Moradali, M., 2015. Thermodynamic Analysis of a Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump Water Heater. *Journal of Energy in Southern Africa*.

EKLER

Ek.1. Su Kaynaklı Isı Pompası Proforma Faturası

İş sırası	Açıklama	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat (Dolar)
1	EcoGEO HP Endüstriyel tip su kaynaklı ısı pompası (Isıtma ve sıcak su) 15-70 kW ısı kapasiteli, tam otomatik invertörlü, Copeland Kompresör. (Teknik detaylar ektedir)	1	19930,-	19930,-
2	Isı Pompası kurulum ve devreye alma	1	2.450,-	2.450,-
3	Kurulum sonrası izolasyon işleri	1	700,-	700,-
4	Nakliye, sigorta, konaklama, yol.	1	720,-	720,-
	Toplam (kdv dahil)			23800-

Ticari hususlar:

1. Su sondajı açılması ve ısı pompalarına kadar hattın getirilmesi ile ilgil tüm işlemler alıcıya aittir.
2. Fiyatlar Dolar cinsinden olup, kdv Dahildir.
3. Ödeme günündeki TCMB efektif kuru üzerinden hesaplanır.

Teklifimizin uygun bulunacağını ümit eder, değerli siparişlerinizi bekleriz.



PSM Enerji ve İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.
Uğur Mumcu Mahallesi 1656. Sokak No:101
Batıkent Ankara
0312 499 30 40
satis@psmenerji.com
www.psmenerji.com



Ek.2. Sirkülasyon Pompası Kataloğu



ZALANEO

ErP
READY

optima
LOW ENERGY CONSUMPTION
SAVE the NATURE

OPTIMA
5/9

Maksimum Basma Yük. [m]	Pompa tipine göre
Maksimum Debi [m ³ /h]	Pompa tipine göre
Motor Devri [rpm]	1.400 – 4.100
Giriş Gerilimi ve Frekansı	1~ 230 V AC ± %10, 50 Hz, PE (toprak korumalı)
Nominal Akım [A]	2.3
Çektüğü güç [W]	40 – 505
Enerji Verimliliği Endeksi (EEI)	< 0.23
Yalıtım Sınıfı	F
Koruma Sınıfı	IP 44
Sıcaklık Sınıfı	TF 110
Maksimum Sistem Basıncı	PN 6/10 ⁽¹⁾
Ses Basıncı	< 56 dB (tipine göre)
Bağıl Nem	< %90
Ağırlık	15 kg

¹ Pompa her iki basınç değerinde de kullanıma uygundur.



Technical drawings of the OPTIMA 5/9 pump unit, showing dimensions in millimeters:

- Front view: 103 (width), 50 (inner width), 110 (inner diameter), 125 (outer diameter), 166 (total width), 4x14 (2m) (mounting holes).
- Side view: 139 (width), 200 (height), 80.6 (width), 65.2 (width), 107 (width).
- Detail view: 89.3 (width), 280 (height), 89 (width), 247.6 (width), 253.2 (height).

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri:

Adı Soyadı: Mikail KURU

E-posta: mikailkuru.84@gmail.com

Adresi: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı.

Eğitim:

Lise: Karaman Lisesi

Lisans: Harran Üniversitesi

Yüksek Lisans:

Yabancı Dil ve Düzeyi: YÖKDİL-2018/68,75

İş Deneyimi: Toprakçılar Makine Üretim Müdürü-2011

Deneyim Alanları:

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi:

Tezden Üretilmiş Yayınlar:

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar: S. Ener Rusen, M. Kuru “Comparison of Energy Efficiency of Natural Gas Heating System and Solar Assisted Heat Pump System” 3rd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2017), Budapest, Hungary, 3-7 May 2017, (Özet Metin, Sözlü Sunu).