

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Betül GÜLERYÜZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ümran ERÇETİN

Ortak Danışman: Dr. Öğretim Üyesi İsmail Yalçın URALCAN

Ekim - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Betül GÜLERYÜZ tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sisteminin Termodinamik Analizi” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

16/10/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Anabilim Dalı Başkanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN
Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Yalçın URALCAN
Ortak Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN
Makine Mühendisliği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Yalçın URALCAN
Makine Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ
Makine Mühendisliği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih ŞEN
Biyokimya, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

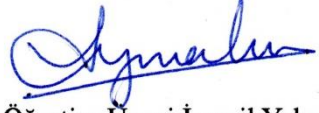
Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK
Makine Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 14 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.


Dr. Öğretim Üyesi Ümran ERÇETİN


Betül GÜLERYÜZ


Dr. Öğretim Üyesi İsmail Yalçın URALCAN

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Betül GÜLERYÜZ

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN

Ortak Danışman: Dr. Öğretim Üyesi İsmail Yalçın URALCAN

ÖZET

Bu çalışmada Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalı Su Isıtıcısı' nın ısıl modellemesi ve analizi için bir algoritma ve MATLAB yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan yazılım ile Adana ilinde sene boyunca güneş ışınımı ve atmosferik koşullar dikkate alınarak Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası (GDIP) sistemindeki 150 litrelik tankın içindeki suyun bir gün boyunca zamana bağlı sıcaklığı, ısı pompasının yoğuşturucusundan atılan ve buharlaştırıcısından çekilen çıkan ısılar, kompresörünün gücü ve verimi, kolektörünün verimi, sistemin performans katsayısı (COP) hesaplanarak Isı Pompalı Su Isıtma Sisteminin analizi yapılmıştır. Isı pompasının yoğuşturucusu su tankı içine daldırılmış ve sistemde soğutucu akışkan olarak R134a, buharlaştırıcı olarak da roll-bond buharlaştırıcı kullanılmıştır.

Tüm hesaplamalarda 150 L hacme sahip su deposu içerisindeki suyun başlangıç sıcaklığı 20 °C kabul edilmiş, simülasyon da her ay için o aya ait güneş vaktinden 30 dk önce ısı pompası çalıştırılmış ve tank içerisindeki su sıcaklığı 60 °C' ye ulaşınca kadar simülasyon çalıştırılmıştır.

Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda hava şartlarının soğuk olduğu kış aylarında (Ocak ve Aralık) suyun 20 °C' den 60 °C' ye ısınması için güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin 14.5 saat çalışması gerekirken, Haziran, Temmuz ve Ağustos gibi yaz aylarında bu sürenin 9 saatin altına düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca tüm aylarda, ısınma başlangıcından 8 saat sonra, suya geçen ısının en yüksek değerine ulaştığı ve hemen hemen bu zamanlarda güneş ışınımının da en yüksek değerine ulaştığı gözlemlenmiş, dolayısıyla suya geçen anlık ısı miktarını belirleyen esas parametrenin, güneş ışınımının anlık değeri olduğu saptanmıştır. Sistemin yaz aylarında COP değeri 4.3 ile 2.9 arasında seyrederken, kış aylarında COP değerinin 3.7 ile 2.0 arasında seyrettiği bulunmuştur. Sıcaklıkların daha yüksek seyrettiği yaz aylarında, soğuk aylara göre gerekli kompresör gücü yüksek olsa da, suya aktarılan ısının da daha fazla olması nedeniyle, COP değerlerinin de daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Isı Pompası, Güneş Enerjisi, MATLAB

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A SOLAR ASSISTED HEAT PUMP SYSTEM

Betül GÜLERYÜZ

Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ümran ERÇETİN

Thesis Co Advisor: Assist. Prof. Dr. İsmail Yalçın URALCAN

SUMMARY

In this study, an algorithm and MATLAB software were developed for thermal modeling and analysis of Solar Powered Assisted Heat Pump Water Heater. Using this software, time-dependent temperature of the water in the 150-liter tank of the Solar Powered Heat Pump system, the heat exited from the condenser of the heat pump and withdrawn from the evaporator, compressor power and efficiency, collector efficiency, system performance coefficient (COP) were analyzed for each day throughout a year. The analyzes were carried out for Adana during the year considering solar radiation and atmospheric conditions. The condenser of the heat pump was immersed in the water tank and R134a and roll-bond evaporator were used as refrigerant and evaporator, respectively.

In all calculations, the initial temperature of the water in the water tank was assumed as 20 °C, and for each day the heat pump was run for 30 minutes before the sunrise and the simulation was run until the water temperature in the tank reached 60°C.

As a result of the simulations performed, the solar powered heat pump system should run for 14.5 hours in order to heat the water from 20°C to 60°C during the winter months (December and January) whereas this period was determined to be below 9 hours in summer months (June, July and August). In addition, it has been observed that in all months, the heat passed into the water reached its highest value at 8 hours after the start of heating and the solar radiation was observed to be the highest around that time. Therefore, the main parameter that determines the instantaneous heat flow into the water is the instantaneous value of the solar radiation. While the COP value of the system was between 4.3 and 2.9 in the summer, it was found that the COP value in the winter was between 3.7 and 2.0. In summer, when the temperatures were higher, the compressor power was higher than in the winter, but COP was also higher in summer due to the higher heat transfer to the water.

Keywords: Heat Pump, Solar Energy, MATLAB

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile her aşamamda yardımcı olan değerli Danışman Hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Ümran ERÇETİN'e ve Dr. Öğretim Üyesi İsmail Yalçın Uralcan'a teşekkürlerimi sunarım. Tezimin her safhasında çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan yol arkadaşım sevgili eşim Hüseyin Gürsoy GÜLERYÜZ'e, her zaman maddi manevi beni destekleyen, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem Fatma Özcan ERDOĞAN'a, babam Mustafa ERDOĞAN'a ve kardeşim Esra ERDOĞAN'a çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen değerli meslektaşım Gülnaz TOPCU'ya ve tezim ile ilgili küçük büyük yardımlarını, desteklerini ve bana olan inançları ile iyi dilekte bulunan herkese sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. ISI POMPASI.....	11
3.1. Isı Pompasının Tarihi Gelişimi.....	11
3.2. İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi	12
3.3. Isı Pompası Elemanları	14
3.3.1. Kompresör.....	15
3.3.2. Yoğuşturucu (Kondenser).....	15
3.3.3. Genleşme valfi	16
3.3.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)	17
3.4. Isı Pompası Çeşitleri	17
3.4.1. Su kaynaklı ısı pompası	17
3.4.2. Hava kaynaklı ısı pompası	19
3.4.3. Toprak kaynaklı ısı pompası	20
3.4.4. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası.....	23
3.5. Isı Pompası Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar	24
3.5.1. Saf soğutucu akışkanlar	24
3.5.2. Karışım soğutucu akışkanlar.....	25
4. GÜNEŞ ENERJİSİ	27
4.1. Güneş Kolektörleri.....	27
4.1.1. Isıtma amacıyla kullanılan güneş kolektörleri	27
4.1.2. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılan güneş kolektörleri	30
4.2. Fotovoltaik Paneller	33
4.2.1. Kristal silikon güneş panelleri.....	34
4.2.2. İnce film güneş panelleri.....	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. PV/T Güneş Kolektörleri	37
4.3.1. PV/T Hava kolektörleri.....	38
4.3.2. PV/T Su kolektörleri	38
5. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMLERİ.....	40
5.1. Geleneksel Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri	40
5.2. Direkt Genleşmeli Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri.....	41
5.3. PV/T Destekli Isı Pompası Sistemleri.....	42
5.4. Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Hibrit Isı Pompası Sistemleri.....	43
5.5. Diğer Güneş Enerjisi Destekli Hibrit Isı Pompası Sistemleri	44
6. ANALİZ EDİLEN SİSTEM VE MATEMATİK MODELİ	45
6.1. Sistem.....	45
6.2. Matematik Model.....	46
6.2.1. Roll- Bond buharlaştırıcı modeli.....	46
6.2.2. Kompresör Modeli	47
6.2.3. Su Deposu (Kondenser) Modeli.....	48
6.2.4. Genleşme Valfi Modeli	50
6.3. Hesaplama Yöntemi	50
7. BULGULAR.....	55
8. SONUÇ	71
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	73
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Fotovoltaik güneş destekli döngü ısı borusu / ısı pompası (PV-SALHP / HP) sisteminin şematik diyagramı.....	3
2.2. Çıkış suyu sıcaklığı ile COP ve EERw değerleri.	6
3.1. Isı pompası ve soğutma makinesi çalışma prensibi.	11
3.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin akış şeması ve T-S diyagramı	13
3.3. Pistonlu kompresör.....	15
3.4. Yoğuşturucu.....	16
3.5. Genleşme valfi.	16
3.6. Buharlaştırıcı.....	17
3.7. Su kaynaklı ısı pompası örneği	18
3.8. Hava kaynaklı ısı pompası örneği	19
3.9. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası uygulama örnekleri.	21
3.10. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası uygulama örneği.....	22
3.11. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası uygulama örneği.	23
4.1. Düzlemsel güneş kolektörü ve elemanları (1. Kolektör iç paneli, 2. Kolektör tabanı, 3. Kolektör örtüsü, 4. Isı yalıtımı, 5. Kolektör kasası, 6. Cam Lastiği, 7. Conta, 8.Kolektör kasası ısı yalıtımı, 9. Cam Çıtası).	28
4.2. Vakumlu güneş kolektörü	29
4.3. Havalı güneş kolektörü.	30
4.4. Parabolik oluk tip YGE sistemi şematik gösterimi.	31
4.5. Frensel tip YGE sistemleri şematik görünümü.	32
4.6. Parabolik çanak tip YGE sistemi görünümü.	32
4.7. Güneş güç kulelerine ait örnek tesis.....	33
4.8. Kristal silikon güneş panellerin yapısı	34
4.9. Monokristal güneş panelinin dış görünüşü.	35
4.10. Polikristal güneş panelinin dış görünüşü.....	36
4.11. PV/T Su kolektörlerinin yapısı.....	39
5.1. Geleneksel güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi.....	41
5.2. Direkt genleşmeli güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi.	42
5.3. PV/T Destekli ısı pompası sistemi.	43
5.4. Güneş enerjisi desteli toprak kaynaklı hibrit ısı pompası sistemi.	44
5.5. Güneş ve rüzgâr enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasına ait örnek şematik gösterimi.	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin şematik diyagramı	45
6.2. Sisteme ait P-h diyagramı.	49
6.3. Matlab programının akış diyagramı,	51
6.4. Adana ilinde aylara göre günlük sıcaklık değişimleri	53
7.1. Adana ili Ocak ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	57
7.2. Adana ili Ocak ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	57
7.3. Adana ili Ocak ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	57
7.4. Adana ili Şubat ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	58
7.5. Adana ili Şubat ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	58
7.6. Adana ili Şubat ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	58
7.7. Adana ili Mart ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	59
7.8. Adana ili Mart ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	59
7.9. Adana ili Mart ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	59
7.10. Adana ili Nisan ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	60
7.11. Adana ili Nisan ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	60
7.12. Adana ili Nisan ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	60
7.13. Adana ili Mayıs ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	61
7.14. Adana ili Mayıs ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	61
7.15. Adana ili Mayıs ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	61
7.16. Adana ili Haziran ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	62
7.17. Adana ili Haziran ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	62
7.18. Adana ili Haziran ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	62
7.19. Adana ili Temmuz ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	63
7.20. Adana ili Temmuz ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	63
7.21. Adana ili Temmuz ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	63
7.22. Adana ili Ağustos ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	64
7.23. Adana ili Ağustos ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	64
7.24. Adana ili Ağustos ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	64
7.25. Adana ili Eylül ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	65
7.26. Adana ili Eylül ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	65
7.27. Adana ili Eylül ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	65
7.28. Adana ili Ekim ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.29. Adana ili Ekim ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.....	66
7.30. Adana ili Ekim ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	66
7.31. Adana ili Kasım ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.	67
7.32. Adana ili Kasım ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	67
7.33. Adana ili Kasım ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.....	67
7.34. Adana ili Aralık ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.....	68
7.35. Adana ili Aralık ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.	68
7.36. Adana ili Aralık ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.	68
7.37. Adana için tanktaki su sıcaklığının aylara göre zamanla değişimi.....	69
7.38. Adana için tanktaki suya geçen ısının aylara göre zamanla değişimi.	69
7.39. Adana için kompresör gücünün aylara göre zamanla değişimi.....	70
7.40. Adana için sistem etkenliğinin (COP) aylara göre zamanla değişimi.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Adana ili için aylara göre, saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m^2]	52
6.2. Adana ili aylık ortalama meteorolojik verileri	54
6.3. Matematiksel model hesabında kullanılan parametreler	54



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P_1	Kompresör çıkış basıncı
P_2	Kompresör giriş basıncı
A_c	Kolektör alanını, m ² .
T_p	Panel Sıcaklığı, °C.
h_c	Kolektör ile ortam havası arasındaki taşınım ısı transfer katsayısı
h_r	Kolektör ile ortam havası arasındaki taşınım
T_a	Ortam sıcaklığı, °C.
F'	Düz plaka kolektörü için kolektör verimliliği faktörü
U_{Lc}	Kolektör ile çevre arasında oluşan ısı kaybını
k_l	Sıvı termal iletkenliği
Δx	Kolektör borusunun girişinden çıkışına kadar kalite değişmesi
D_i	Boru iç çapı, mm.
h_{fg}	Gizli buharlaşma ısısı
η_V	Kompresörün hacimsel verimi
T_c	Konderin içerisindeki soğutucu akışkanın ortalama sıcaklığı, °C.
Re_{Di}	Sıvı soğutucu akışkanın Reynold sayısı
T_w	Tank içerisindeki suyun ortalama sıcaklığı, °C.
U_{co}	Toplam ısı geçiş katsayısı
A_{co}	Yoğuşturucu alanı
h_{co}	Soğutucu akışkanın ısı transfer katsayısı
C	Boşluk hacimsel oran sabiti
COP	Isı pompasının etkenlik katsayısı

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
hkol	Kolektör verimi
hvkomp	Kompresörün hacimsel verimi
L	Kolektör borusunun uzunluğu, m
PV	Hücre
Qbuh	Buharlaştırıcıda R134a ya geçen ısı, W.
Q _e	Buharlaştırıcıda toplanan ısı enerjisi, W
QG-gelen	Kolektör yüzeyine güneşten gelen ışınım şiddeti, W.
Qkoll	Kolektör yüzeyinin ışınım ve taşınım ile toplam ısı alışverişi, W.
Qsu	Suyun aldığı ısı, W.
Q _u	Buharlaştırıcıda toplanan ısı enerjisi, W.
Qyoğ	Yoğuşturucuda R-134a nın verdiği ısı, W.
t	Başlangıç anından itibaren zaman, dak.
Tatm	Dış ortamdaki hava sıcaklığı, °C.
Tbuh	R-134a nın buharlaşma sıcaklığı, °C.
T _e	Soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığı, °C.
T _{fin}	Akışkanın sıcaklığı, °C.
Tkol	Kolektörün yüzey sıcaklığı, °C.
Tsu1	Depodaki 150 litre suyun, zaman dilimi başındaki sıcaklığı, °C.
Tsu2	Depodaki 150 litre suyun, zaman dilimi sonundaki sıcaklığı, °C.
Tsuort	Depodaki 150 litre suyun zaman diliminde ortalama sıcaklığı, °C.
Tyoğ	R-134a nın yoğuşma sıcaklığı, °C.
W	Kolektör boruları arasındaki mesafe
Wkomp	Kompresör gücü, W.

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AKŞAM	Güneşin batma saati
GÜNEŞ	Güneşin doğma saati
MDB	Aylık Ortalama Kuru Termometre Sıcaklığı, °C
MDBmax	En Yüksek Kuru Termometre Sıcaklıklarının Ortalaması, °C
MDBmin	En Düşük Kuru Termometre Sıcaklıklarının Ortalaması, °C
MDBR	Ortalama Kuru Termometre Sıcaklığının Salınım Aralığı, °C

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
t(Tmax)	MDBmax sıcaklığının gerçekleştiği saat
t(Tmin)	MDBmin sıcaklığının gerçekleştiği saat
tR/2	Gün içinde Tmin ve Tmax sıcaklıklarının gerçekleştiği saatler arasındaki zaman farkı



1. GİRİŞ

Dünya’da teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve makineleşmenin hızla artmasından dolayı enerji kaynaklarına olan ihtiyaç da artmaktadır. Tüketilen enerji çeşitlerinin ilk sıralarında elektrik enerjisi yer almakta ve elektrik enerjisini üretmek için genellikle fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların kullanılması; zehirli gazların ortaya çıkması, hava kirliliği, küresel ısınma, toprak özelliklerinin bozulması, su kaynaklarının kirlenmesi ve bitki örtüsünün bozulması gibi sorunlara yol açmaktadır. Dünya nüfusunun ve makineleşmenin gün geçtikçe artması buna karşılık fosil yakıt kaynaklarının (kömür, petrol, doğalgaz vb.) azalması insanları farklı kaynak arayışlarına yöneltmiş ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanan jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi ve gelgit enerjisi günümüzde çok daha önemli bir hale gelmiştir

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi Türkiye için önemli bir potansiyeldir. Birçok Avrupa ülkesinde güneşlenme süresi yaklaşık 1600 saat iken Türkiye’nin güneşlenme süresi Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan verilere göre yaklaşık 2640 saattir (Şensoy, 2019). Aradaki farktan da görüldüğü üzere Türkiye’ nin konumundan kaynaklanan ciddi bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyelin güneş kolektörleri vasıtasıyla kullanımıyla; ısı, elektrik, hem ısı hem elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Dünyada ısı enerjisinin büyük bir kısmı konut ve tesis ısıtmasında kullanılırken, buralardaki ısıtma sistemlerinde de genellikle elektrik, doğal gaz ve kömür kaynaklı ısıtıcılar kullanılmaktadır. Bu ısıtıcıların verimleri her ne kadar iyi olsa da daha verimli sistemler ile bu ısıtma sistemlerini değiştirmek ve fosil yakıtların kullanımını azaltmak, fosil yakıt kaynaklı yukarıda da bahsedilen olumsuzlukların bir nebze de olsun azaltılmasına katkıda bulunabilir. Buradan yola çıkarak mevcut ısıtma sistemlerinin ısı pompaları ile değiştirilmesi, ısı pompalarının ana enerji kaynağının elektrik olmasına rağmen verimlerinin elektrikli ısıtıcılardan bile yüksek olması ve gerektiğinde soğutma amaçlı da kullanılabilmeleri ısı pompalarının tercih edilebilirliğini arttırmaya başlamıştır.

Isı pompaları hava, su veya toprak kaynaklı çalışan sistemlerdir ve uygulamalarda konutların ve tesislerin çevresindeki toprak sıcaklığını, su sıcaklığını, hava sıcaklığını veya güneş enerjisini kullanırlar.

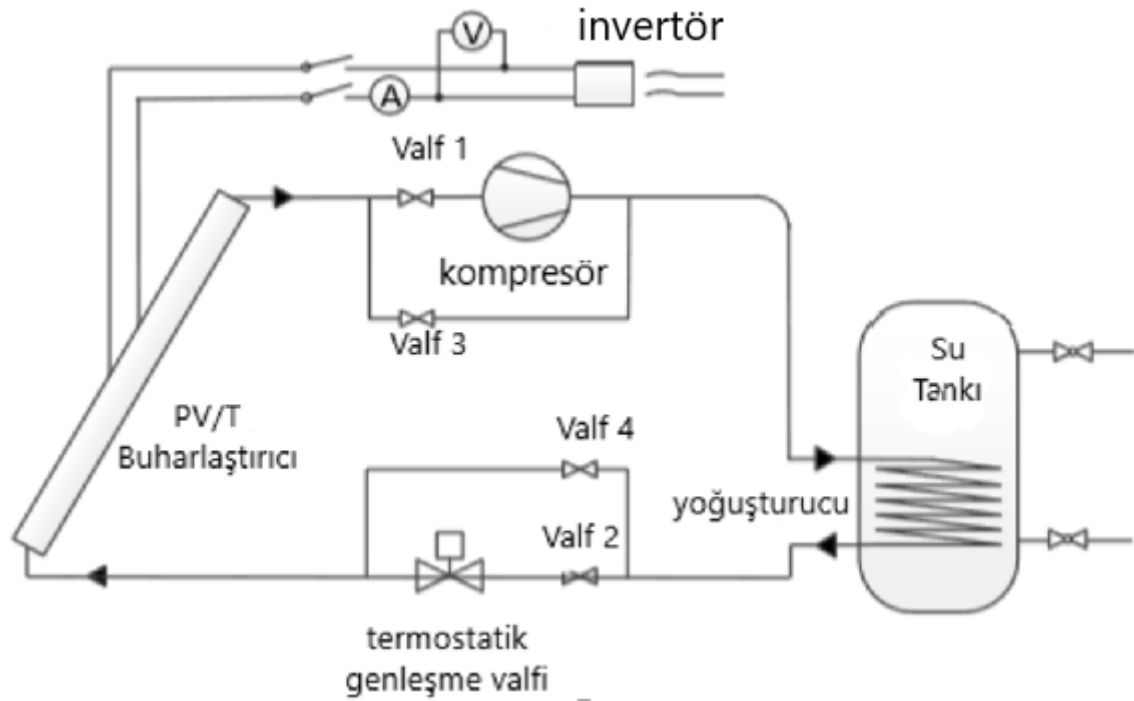
Bu güne kadar mahal ısıtma ve sıcak su eldesi çalışmalarında ısı pompaları sadece hava, su ve toprak kaynaklı olarak değil aynı zamanda güneş kolektörleri ile birlikte hibrit olarak

çalıştırılmışlardır. Hibrit çalışma sayesinde güneşlenme süresi boyunca ışıının şiddeti ve PV/T kolektör alanına bağlı olarak ısı pompasının elektrik tüketimi azalmakta ve verimi de artmaktadır.

Bu çalışma İTÜ Makine Fakültesi'nde yürütölmekte olan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Trijenerasyon Sistemlerinin Modellenmesi ve Analizi" konulu projenin bir parçası olarak, "Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalı Su Isıtıcısı"nın ısıl modellenmesi ve analizi için bir algoritma ve MATLAB yazılımı oluşturulmuştur. Bu yazılım ile Adana ilinde sene boyunca güneş ışıını ve atmosferik koşullar dikkate alınarak Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası (GDIP) sistemindeki 150 litrelik tankın içindeki suyun bir gün boyunca zamana bağlı çıkış sıcaklığı, ısı pompasının yoğuşturucusundan atılan ve buharlaştırıcısından çekilen ısılar, kompresörünün gücü ve verimi, kolektörün verimi, sistemin performans katsayısı (COP) hesaplanarak Isı Pompalı Su Isıtma Sisteminin analizi yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Xu vd. (2009), ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısını PV (fotovoltaik) hücreler ile birleştirip, sistem de ısı pompasının aldığı ısıyı fotovoltaik hücreler tarafından alınmasını ve elde edilen ısı ile kullanım sıcak suyu ısıtma ve/veya alan ısıtmayı incelemişlerdir. Isı Pompası sisteminde çalışma sıvısı olarak R22 kullanmışlardır. PV hücrelerini ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısı ile birleştirip, ısıyı daha iyi almasını sağlamak için taban plakası olarak alüminyum plaka kullanılmışlardır. Geleneksel PV/T (fotovoltaik/termal) sistemlerinde kullanılan yuvarlak bakır borular yerine temas yüzeyi daha geniş olan dolayısıyla alüminyum plakaya daha sıkı yapıştırılan yassı alüminyum borular kullanmışlardır. Yassı alüminyum boruları, iletken tutkal kullanarak alüminyum plakanın arkasına yapıştırmışlardır. Temas yüzeyi artırılmış, ısı transfer alanları genişletilmiş ve emici ile buharlaştırıcı tüpleri arasındaki ısı transfer direncini en aza indirmişlerdir. Prototipi, ortam hava sıcaklığından daha düşük bir buharlaşma sıcaklığında çalıştırılma prensibine uygun tasarlamışlardır.



Şekil 2.1. Fotovoltaik güneş destekli döngü ısı borusu/ısı pompası (PV-SALHP / HP) sisteminin şematik diyagramı (Dai vd., 2017).

Dai vd. (2007), PV-SALHP/HP (fotovoltaik güneş destekli ısı borusu döngülü/ısı pompası) sistemini hem deneysel hem de teorik olarak incelemişler ve bağımsız LHP (ısı borusu döngülü) modu ile hibrit LHP/HP (ısı borusu döngülü/ısı pompası) modunu karşılaştırmışlardır. Sistem bir ısı pompası olup, sistemin buharlaştırıcısı; 4 m² alana sahip plaka tipi PV/T (fotovoltaik/termal) güneş kolektöründen oluşturup, ısı pompasının yoğuşturucusunu 150 L kapasiteli su deposu içerisine yerleştirmişlerdir. Bağımsız ısı pompası modunda 3 ve 4 numaralı valfleri kapatıp 1 ve 2 numaralı valfleri açarak güneş kolektöründe buharlaştırılan soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılıp yoğuşturulmak üzere yoğuşturucunun bağlı olduğu su tankına gönderilerek hem yoğuşması hem de tank içindeki suyun ısıtılmasını sağlamışlardır. Sonrasında yoğuşan soğutucu akışkan genleşme valfine aktarılmış ve daha düşük bir sıcaklıkta güneş kolektörüne geri gönderilerek ısı pompası çevrimi tamamlanmıştır (Şekil 2.1). Bağımsız LHP (ısı borusu döngülü) modunda ise 1 ve 2 numaralı valfleri kapatıp 3 ve 4 numaralı valfleri açarak tank içerisindeki suyun sadece güneş enerjisi kullanılarak ısıtılmasını sağlamışlardır. Hibrit LHP/HP modun da ise LHP modu ilk önce güneş ışınımı güçlü olduğunda ve PV/T buharlaştırıcıdaki çalışma ortamının sıcaklığı yoğuşturucudaki sıcaklıktan yüksek olduğunda kullanmışlar ve güneş ışınımı zayıf olduğunda veya PV/T buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki çalışma ortamının sıcaklık farkı LHP modunun koşulunu sağlayamadığında sistemi HP modunda çalıştırmışlardır. Deneyleri ve simülasyonları güneş ışınımının, ortam sıcaklığının, giriş ve çıkış suyu sıcaklığının olduğu aynı altı tipik koşul için gerçekleştirip; elde edilen verilerle sistemin; ısıtma süresi, ısı enerjisi, güç tüketimi ve COP değerlerini karşılaştırmışlardır. Bağımsız LHP modu ile suyun sıcaklığını 32,3°C'den 51,3°C'ye ısıtmak için 404 dakika zaman gerektiğinin, bağımsız HP modunda ise suyun sıcaklığını 30,3°C'den 53,9°C'ye ısıtmak için sadece 197 dakika zaman gerektiği sonuçlarını elde etmişlerdir. Deneyleri yıl boyunca sıcak su kullanımı gerektiren tipik bir ılık yaz ve kışın soğuk iklimine sahip olan Nanjing'de gerçekleştirmişler ve sonuç olarak ilkbahar ve sonbahar da güneş ışınımının fazla olduğu günlerde hibrit LHP/HP modunun, güneş ışınımının az olduğu kış mevsiminde ise bağımsız ısı pompası modunun en iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

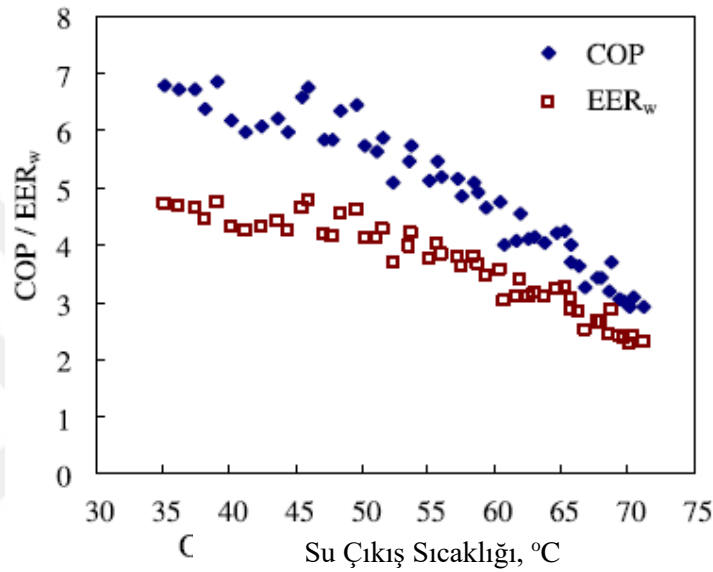
Kuru (2019), Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi'nde yer alan merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılan bir seranın ısıtılması ve soğutulması için su kaynaklı ısı pompası kullanımı ile merkezi ısı sistemi ısı dağıtım boru hatlarındaki atık ısının geri kazanımı sağlayıp veya ısı merkezinin aktif olmadığı bahar aylarında güneş enerjili sistem ile desteklenebilecek bir hibrit ısı pompası tasarlamıştır. Isı Pompası sisteminde soğutucu akışkan olarak R410a kullanmıştır. Bahar aylarında güneş kolektörlerinden ortalama 0,3 MW/yıl enerji kazanılacağını belirtmiştir. Mevcut sistem ile yılda 155,42 Ton CO₂ salınımı gerçekleşirken, yeni hibrit sistem ile yılda 14,55 Ton CO₂ salınımı gerçekleşeceğini ve böylece hibrit sistem ile çevresel zararların %90 oranında azaldığını

belirtmiştir. Fosil yakıt kullanımının azaltılması, sistem veriminin yükseltilmesi, bitkiler için iklimsel farklılıkların gözetilerek akıllı kontrol sistemlerinin oluşturulması, güneş enerjisinin kullanılması ve ısı hatlarındaki atık ısının geri kazanılması gibi birçok önemli parametreyi bir arada bulduran bu tasarım 4 yılda yatırım maliyetlerini karşıladığı ve sistemin ekonomik olarak da uygulanabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Jie vd. (2008), bir fotovoltaik-güneş destekli ısı pompası (PV-SAHP) sistemi için deney teçhizatı kurmuşlardır. Güneş destekli ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısını; bir plaka üzerine yapılandırılmış tedlar-polyester-tedlar (TPT) tabakası üzerinde iki adet etilen-vinil-asetat (EVA) film arasında güneş pilleri ve üzerinde çıkarılabilir cam kapak ile alüminyum çerçeveye sabitlenmiş PV/T kolektör plakasından oluşturmuşlardır. Güneş pillerinin doğru akım gücünü, invertör tarafından alternatif akıma dönüştürüp, sistem tarafından harcamışlar ya da akümülatörde depolamışlardır. Güneş ışınımına göre soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığı, basıncı ve kütle akış hızının değişmesinden dolayı deney düzeneğinde değişken frekanslı kompresör ve elektrikle çalışan genleşme valfi kullanmışlardır. Bu sayede PV/T buharlaştırıcıdan çıkan R22 soğutucu akışkanın çalışma hızını ve valf açıklığını otomatik olarak ayarlayıp, ıslak soğutucu akışkan buharının kompresöre girmesinin önlendiğini ve sistem performansının artmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Deneyler, 29 Kasım 2016 da 08:30-15:30 saatleri arasında Orta Çin'de bulunan Hefei'de yapılmış ve tüm PV/T buharlaştırıcıları 38° eğim ile güneşe bakacak şekilde yerleştirmişlerdir. Gün boyunca ortam sıcaklığının sürekli artması nedeniyle, aynı ışınım şiddetinde öğleden sonraki COP değerinin, sabahdan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. PV-SAHP sisteminde güneş ışınım gücünün 210 W ile 540 W arasında değiştiğini ve ortalama olarak 423 W olduğunu, bu değer kompresörün harcadığı güçten yüksek olduğunu ayrıca sistemin COP değerinin 3,8 ile 8,4 arasında olduğunu belirtmişlerdir. PV-SAHP sisteminin talep edilen gücü karşılaması sebebi ile şebekenin bulunmadığı yerlerde de kendisini besleyerek kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Fazlıç (2018), İstanbul ilinde bulunan bir restoranın soğutulması, ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanabileceği hava kaynaklı ısı pompası (HKIP) ve güneş enerjisi destekli hava kaynaklı bir ısı pompası sistemi (GDHKIP) tasarlamış ve sistemleri TRNSYS programı kullanarak İstanbul başta olmak üzere 8 farklı iklime sahip il için simüle etmiştir. Simülasyon da bir yıl boyunca her gün 4 kere belirli saatler de (6:00, 8:00, 20:00 ve 22:00) 15 dakika süreyle 300 L/h su kullanımı gerçekleştirmiş ve her iki sistemin performansı ve yıllık enerji tüketimlerini karşılaştırmıştır. İstanbul ili için doğal gazlı (DG) ve güneş enerjisi destekli doğal gazlı (GDDG) sistemlerin performanslarını da simüle etmiştir ve simülasyon sonuçlarına göre; GDHKIP sistemi tarafından tüketilen enerjinin %59'u güneşten karşılanırken, HKIP sistemine göre yıllık yaklaşık

%6,58 daha az enerji tükettiği sonucuna varmıştır. Doğalgazlı sistemlerin simülasyon sonuçların da ise; GDDG'li sistem DG'li sisteme göre yaklaşık %24,5 daha az enerji tükettiğini tespit etmiştir. Sistemlerin ekonomik analiz sonuçların da yıllık gideri en az olan sistemin DG'li sistem olduğu ancak yıllık işletme gideri en az olan sistemin GDDG'li sistem olduğunu ve yıllık gideri en çok olan sistem ise toplam yatırım maliyeti sebebiyle GDHKIP sistemi olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.2. Çıkış suyu sıcaklığı ile COP ve EER_w değerleri (Xu, vd., 2011).

Xu vd. (2011), elektrik ve sıcak su eldesi için fotovoltaik/termal entegreli ısı pompası sistemi (LCPV/T-HP) kurup, Çin'in Nanjing şehrinde deney gerçekleştirmişlerdir. Isı pompası sisteminin buharlaştırıcısı olarak güneş ışığını PV hücrelerinin yüzeyine yansıtan parabolik kesitli 1,584 m² yüzey alana sahip fotovoltaik/termal kolektör kullanmışlardır. PV hücrelerinin altına yerleştirilmiş alüminyum tüplerin içinden, güneş ısısını çeken ve buharlaşan R134a soğutucu akışkanı geçirmişlerdir. Soğutucu akışkanın yoğuşma ısısını fotovoltaik destekli ısı pompası yoğuşurucusunun içinde bulunduğu tanktaki suyu ısıtmak için kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar LCPV/T-HP sisteminin, güneşli bir yaz gününde COP değerinin ısıtma başlangıcında 30°C'de 6,9'dan çıkış suyu sıcaklığı 70°C'ye ulaştığında COP değerinin 3,1'e kadar düştüğü ve ortalama 4,8'e ulaştığını ifade etmişlerdir (Şekil 2.2). Ayrıca LCPV/T-HP sisteminin LCPV sistemine göre % 17,5 elektrik verimi sağladığını bulmuşlardır.

Kuang vd. (2002), 2 m² alana sahip güneş kolektörünü ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısı gibi işlev gördürerek, doğrudan genleşmeli bir güneş enerjili ısı pompası (DXSAHP) ile su ısıtma sistemi üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyde

buharlaştırıcıyı/güneş kolektörünü güney cephele bir duvara dik olarak sabitlemişlerdir. Kolektör/buharlaştırıcı yüzeyi ısı emiciliğini arttırmak için kolektör üzerine seçici kaplamışlardır. Sistemde; soğutucu akışkan olarak Freon-22 ve 248,6W giriş gücüne sahip R22 pistonlu hermetik tip kompresör kullanmışlardır. Isı Pompası sisteminin yoğuşturucusunu, 150 L kapasiteli, 50 mm kalınlıkta poliüretan ile yalıtılmış bir bakır su deposu içerisine daldırıp, sistemi su deposu içine yerleştirilen termostat ile kontrol etmişlerdir. Deney sırasında ortam sıcaklığı, kolektör yüzey sıcaklığı, sistemin çeşitli yerlerindeki soğutucu sıcaklığı ve depolama tankındaki su sıcaklıkları; bakır termokupl ile kompresör boyunca alçak ve yüksek basınçları ise; basınç manometreleri ile anlık güneş ışığını güneş piranometresi ile ve sistemin güç tüketimini bir wattmetre ile ölçmüşlerdir. Ölçümleri kişisel bir bilgisayar tabanlı D-A sistemi tarafından kontrol etmişler ve verileri daha sonra analiz için kullanılacak bir veri kaydediciye her 5 dakikada bir kaydetip, sistemin uzun vadeli termal performansını yaklaşık olarak tahmin etmek için Fortran programı kullanarak simülasyon geliştirme programı yazmışlardır. Isıl performans denklemlerinin entegrasyonu için 300 s'lik bir zaman adımı kullanmışlardır. Sonuç olarak yıllık COP değerlerinin 4,0 ila 6,0 arasında değiştiği ve kolektör veriminin % 40 ila % 60 arasında olduğunu bulmuşlardır. Böylece bu sistemin Şangay iklim koşullarında düşük maliyetli kolektörlerle uygulanabileceğini göstermişlerdir. Teorik olarak, sistemin ısıl performansının, güneş ışıını, kolektör alanı ve kompresör varyasyonundan önemli ölçüde etkilendiği belirtmişlerdir. DXSAHP sisteminde kolektördeki değişken hava koşullarından kaynaklanan yük ile kompresörün sabit kapasitesi arasındaki uyumsuzluğu en aza indirmek için, sistemin yıllık termal performansını olumlu yönde artıracak olan değişken hız kompresörü veya elektronik genişleme valfi sisteme dahil edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Kış döneminde yapılan deneylerde; sistem düşük ortam sıcaklığı ve zayıf güneş ışıını koşullarında bile sistemin COP değerinin 2,5 seviyesine ulaşabildiğini ve çevreden gelen gizli ısı kazancı nedeniyle deneysel sonuçların teorik sonuçlardan daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Guoying vd. (2005), 150 L suyu ısıtmak için güneş ve hava kaynaklı ısı pompalı su ısıtıcısı (SAS-HPWH) sistemi tasarlamışlar ve ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısını, hem güneş ışıınından hem de ortam havasından enerji sağlamak için spiral kanatlı tüplere sahip, düz plakalı bir ısı toplayıcı/buharlaştırıcı kullanıp, sistemin çalışmasını Çin'in Nanjing kentindeki meteorolojik verileri baz alarak simüle etmişlerdir. Simülasyonda; güneş ışığının, ortam sıcaklığının ve kompresör kapasitesinin SAS-HPWH sisteminin performansı üzerindeki etkilerini inceleyip, böyle bir SAS-HPWH sisteminin tüm yıl boyunca çeşitli hava koşullarında verimli bir şekilde 55°C'ye kadar suyu ısıtabildiği sonucuna varmışlardır. Yazın güneşli günlerde, 35°C'den 55°C'ye suyu ısıtmak için 75 dakika gerektiğini ve ortalama buharlaşma sıcaklığı, 23.4°C

olduğunu ayrıca toplam enerji tüketimi 0.75 kWh olduğu ve COP değerinin ısıtma başlangıcında 5.9'dan çıkış suyu sıcaklığı 55°C'ye ulaştığında COP değerinin 3.8'e kadar düştüğü ve ortalama 4.69'a ulaştığı sonucunu elde etmişlerdir. Kış aylarında ise, ortam sıcaklığı 5°C'den suyu 55°C'ye ısıtmak için 425 dakika gerektiğini ve COP değerinin ısıtma başlangıcında 7.9'dan çıkış suyu sıcaklığı 55°C'ye ulaştığında COP değerinin 2.9'a kadar düştüğü ve ortalama 3.83'e ulaştığı ve toplam enerji tüketimi, 2.22 kWh olduğunu bulmuşlardır. Öte yandan, ortam sıcaklığı kışın düşük olmasına rağmen, güneş enerjisinin girişi nedeniyle sistemin COP değerinin hala makul bir aralıkta olduğunu belirtmişlerdir.

Ji vd. (2009), hava kaynaklı bir ısı pompası (ASHP) sisteminin yoğunlaştırıcısı bir tank içerisine daldırılmış şekilde deney düzeneği hazırlamışlar ve sistemin dinamik performansını hem simülasyon hem de deney ile değerlendirmişlerdir. Deneyi Çin'de gerçekleştirmişler ve R22 soğutucu akışkan kullanmışlardır. Ortam sıcaklığının, buharlaştırıcıdaki ve yoğunlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın sıcaklık ve basıncını ve ASHP sisteminin COP değerini etkilediğini ifade etmişlerdir. Deneysel test sırasında, yoğunlaştırıcı sıcaklığı, yoğunlaştırıcı basıncı, buharlaştırıcı basıncı ve ASHP sisteminin elektrik enerjisi tüketimi, yoğunlaştırıcı su sıcaklığı arttıkça arttığını ancak yoğunlaştırıcı gücü ve COP, yoğunlaştırıcı su sıcaklığı arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle yoğunlaştırıcı sıcaklığı arttıkça sistem performans katsayısının COP değeri 4,41'den 2,32'ye düştüğünü ve ortalama COP değerinin 3,29'a eşit olduğunu göstermişlerdir. Simülasyon sonuçları ile deneysel ölçümler arasındaki sonuçlarla iyi bir şekilde uyduğunu belirtmişlerdir. Sistemde güneş ışınımı enerjisi yüksek olduğunda güneş enerjili hava kaynaklı ısı pompası su ısıtıcı için yeterli olduğu ancak bulutlu ve yağmurlu kış günlerinde sistemin yetersiz olduğunu belirtmişlerdir.

Badescu (2001), Romanya, Bükreş şehir şartlarında enerji kaynağı güneş ışınımı olan 7,6 m uzunluğunda, 6,4 m genişliğine sahip ekolojik bir binanın ısıtma sistemi için bir model tasarlamıştır. Güneş ışınımından gelen ısıyı çekmek için bina çatısı güney yönünü fotovoltaik (PV) hücrelerle kaplamıştır. Sistemi R114 ve R12 soğutucu akışkanları için ayrı ayrı simüle etmiştir. PV hücreler tarafından elde edilen elektrik gücünü, kısmen veya tamamen laboratuvarın iç gereksinimlerini sağlamak için kullanmıştır. Gerektiğinde PV hücrelerden ısı pompasının kompresörünü çalıştıran elektrik motoru için elektrik sağlamıştır. Isı pompası çalışmasını termodinamiğin hem birinci hem de ikinci kanunu kullanılarak analiz etmiş ve ikinci yasa analizinde, ekserji kayıplarının çoğunun sıkıştırma ve yoğunlaşma sırasında meydana geldiğini vurgulamıştır. Ön sonuçlar, fotovoltaik hücrelerin, uygun bir elektrik enerjisi depolama sistemi sağlandığı takdirde, ısı pompası kompresörünü çalıştırmak için gereken tüm enerjiyi karşılayabildiğini ifade etmiştir. COP değerinin ve ekserji verimliliğinin ortam sıcaklığına bağlı

olarak değiştiğini gözlemlenmiştir. Sistemin altı ay boyunca çalışması göz önünde bulundurulduğunda verim, elektrik gücü ve COP değeri için R12 soğutucu akışkanının R114 soğutucu akışkanından daha iyi performans sağladığı ayrıca Ocak ve şubat aylarının en yüksek verim alınan ay olduğunu tespit etmiştir.

Wu (2017), Hunan, Yiyang eyaletinde bir PV-IESAHP (fotovoltaik-dolaylı genleşme güneş destekli ısı pompası) sistemini 2014 yılı Ocak ayında 08:00-17:00 saatleri arasında deney gerçekleştirip, teorik olarak incelemiştir. Deney sırasında sonuçları yarım saatte bir kaydetmiştir ve teorik sonuçlar ile karşılaştırmıştır. PV-IESAHP sistemi, bir PV/T (fotovoltaik/termal) sistem ve bir ısı pompası sisteminden oluşup, hibrit sistemin PV modüllerini, ısı boruları ile ısı pompasının buharlaştırıcısına bağlamıştır. Böylece sistemden soğurulan güneş ışınması sayesinde hem elektrik elde etmiş hem de ısı elde etmiştir. Sistemin COP değeri ve güneş ışınımı arasında doğru orantı olduğu güneş ışınımı arttıkaça sistemin COP değerinin de arttığını gözlemlenmiştir. Bağımsız ısı pompasının COP değeri 2,8'den 3,8'e ve PV-IESAHP sisteminin COP değeri 3,5'ten 4,5'e değiştiğini bulmuştur. PV-IESAHP sisteminin enerji verimliliği yaklaşık %3 ile %6 arasında olduğunu bulmuştur.

Kandırmış (2017), güneş enerjisi ile elde edilen sıcak su sisteminin maliyetinin yüksek olduğunu düşünmüş ve bu sebep ile mevcutta elde edilen sıcak suyu sisteme ısı pompası ile adapte ederek yeni bir sistem tasarlamıştır. Tasarlanan ısı pompalı güneş enerjili su ısıtma sistemi ile mevcutta var olan güneş enerjili su ısıtma sisteminin TRNSYS programı yardımıyla zamana bağlı analizini gerçekleştirmiştir. Analizleri İzmir ili şartlarına göre yapmıştır ve aynı şartlar altında elde edilecek sıcak su için diğer yaygın kullanıma sahip olan elektrikli (EDHW) ve gaz yakıtlı (GDHW) su ısıtma sistemlerini de TRNSYS programı ile analiz etmiştir. 4 farklı sistem için yıl boyunca enerji tüketim değerlerini ve maliyetlerini incelemiştir ve sistemlerin performanslarını ölçmüştür. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda ısı pompalı güneş enerjili sisteminin, elektrikli EDHW sistemine göre %70 oranda ve geleneksel güneş enerjisi sistemine göre %38 oranda daha az elektrik tükettiği sonucunu göstermiştir.

Li ve Sun (2017), PV-LHP (fotovoltaik-ısı borusu döngülü) sistemini hava kaynaklı ısı pompası ile birleştirerek PV-LHP/SAHP (fotovoltaik-ısı borusu döngülü/hava kaynaklı ısı pompası) sistemini teorik ve deneysel olarak simüle etmişlerdir. PV-LHP sistemini, düz bir plaka PV/T toplayıcı/buharlaştırıcı, bir su deposu içine yerleştirilmiş yoğuşturucu, bağlantı boruları, bir elektrik kontrolü ve depolama birimi (denetleyici, invertör ve akü) ve vanalardan oluşturmuşlardır. Sistemde yoğuşturucu su deposu, çalışma ortamının dolaşımını sağlamak için PV/T kolektöründen yaklaşık 0,6 m daha yükseğe monte etmişlerdir. Gündüz boyunca, yani 8:00

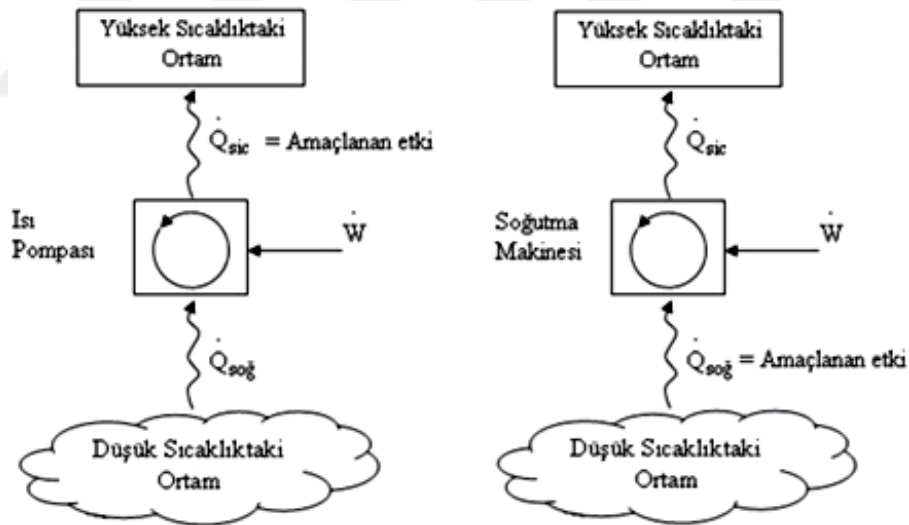
-15:00 saatleri arasında, güneş ışınımı 300 W/m^2 'den yüksek olduğunda sistem PV-LHP modunda çalıştırmışlardır. Sistem çalışmasını; 'güneş radyasyonu yeterli olduğunda, PV/T toplayıcı güneş enerjisi toplayıp emme borularını ısıtır ve çalışan sıvı güneş ısını buharlaştırmış, R22 soğutucu akışkanı yukarı doğru süzölmüş ve su tankındaki yoğuşturucuya girmiş, yoğuşturucu da, çalışma sıvısı yoğunlaşır gizli ısını suya bırakmış, ısını suya bırakan soğutucu akışkan yerçekimi tarafından emme borularına geri akmıştır ve PV-LHP sisteminin bir çalışma döngüsü tamamlanmış' şeklinde ifade etmişlerdir. En yüksek fotoelektrik verim değerine kışın sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hesaplamalar neticesinde gerekli su sıcaklığını karşılamak için, PV-LHP/SAHP sistemi kışın hem PV-LHP modunda hem de SASHP modunda çalışması gerektiğinin sonucuna varmışlardır. Sistemin işletme performansının, önemli miktarda enerji tasarrufu ve karbon emisyonu azaltma potansiyeline sahip olduğunu bulmuşlardır. Sistem iyileşmesi için buharlaştırıcı borusunun alanını azaltmanın, su ısıtma süresini kısaltacağını ve güneş enerjisinin uygulama verimliliğini arttıracığını gözlemlemişlerdir. Sistemin aylık COP değeri ortalama 3,10 civarında olduğunu ve güneş enerjisi ısıtma oranı %57.8'e ulaştığını bulmuşlardır. Oluşturulan matematiksel model sonuçları ile deney sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Erdoğan (2010), bir binanın soğutma ihtiyacını karşılamak amacıyla ısı kazancını güneş ışınımı yüksek olan Antalya, Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa gibi farklı iller için hesaplamıştır. Binanın soğutma ihtiyacını karşılamak için hava-hava kaynaklı ısı pompası sistemini seçmiş ve sistemin kompresör ile harcadığı elektrik ihtiyacını karşılamak için güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanarak farklı rüzgar türbini ve fotovoltaik verimleri kabul edip, Matlab programı ile gerekli termodinamik hesaplamaları yapmıştır. Ayrıca simülasyonda belirlenen beş il için sistemde kullanılan soğutucu akışkanlar R134a, R410a ve R407 olarak seçmiş ve her bir soğutucu akışkan için programdan elde ettiği veriler sonucunda, sistemin seçilen beş il için kullanılabilir verimli bir sistem olduğunu belirtmiştir.

3. ISI POMPASI

Doğada doğal olarak sıcaktan soğuğa doğru, bir diğer ifadeyle sıcaklığın çok olduğu ortamdaki az olduğu ortama doğru ısı transferi gerçekleşir. Ancak sıcaklığın az olduğu ortamdaki çok olduğu ortama ısı transferi kendiliğinden gerçekleşemez. Bunun için bir soğutma makinesi ya da ısı pompası gereklidir. Soğutma makineleri ile ısı pompalarının çalışma çevrimleri Şekil 3.1’de görüldüğü gibi aynıdır ancak amaçları farklıdır. Soğutma makinelerinin amacı soğutulan ortamdaki ısıyı çekerek ortamın ısısının çevre ısısından düşük olmasını sağlamak, ısı pompalarının amacı ise ortamın sıcak tutulmasını sağlamak için düşük sıcaklıktaki enerji deposundan alınan ısının ısıtılmak istenen ortama verilmesini sağlamaktır (Yunus ve Michael, 1996).

Isı pompaları ortam ısıtmak veya sıcak su üretmek amacıyla kullanılan makinelerdir. Isı Pompaları konut ve çalışma ortamlarının ısıtılmasında, yerden ısıtma sistemlerinde, iklimlendirme tesislerinde ve yüzme havuzlarının ısıtılmasında ve kurutma işlemlerinde de kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Isı pompası ve soğutma makinesi çalışma prensibi.

3.1. Isı Pompasının Tarihi Gelişimi

Isı pompasının temelleri Cezayir asıllı bir Fransız subayı Sadi Carnot’un 1824 yılında ortaya attığı teoriyle ortaya çıkmıştır, ancak 26 yıl sonra 1850’de Lord Kelvinin soğutma makinelerinin, ısıtma için de kullanılabileceğini keşfetmesi ile ısı pompası uygulamaya girmiştir. Lord Kelvin, havayı ısıyı taşıyan akışkan olarak planlamış, bu doğrultuda bir ısı pompası yapmıştır. Isı pompasında makineye alınan hava geniş bir silindire alınmış basınç ve sıcaklığı

düşürülmüştür. Bu düşük sıcaklık ve basınçtaki hava ısı değiştiricisinden geçerken çevreden ısı çekmiştir. Bu hava mekâna verilmeden önce tekrar atmosfer basıncına gelene kadar sıkıştırılmış, sıcaklığı mekân sıcaklığının üstüne getirilmiştir. İlk soğutucunun 1748 yılında Glasgow Üniversitesi öğretim üyelerinden Dr. William Cullen tarafından eter' in buharlaştırılmasıyla ortaya çıktığı kabul edilmiş ve ilk buz fabrikası 1850 yılında Avusturalya'da James Harrison tarafından kurulmuştur. Ticari olarak patenti alınıp üretilen ilk soğutucu ise 1851 yılında Dr. John Gorrie tarafından Amerika da imal edilmiştir. Alexandre Catlin Twining, dünyada ilk defa alıp-satmak amacıyla buhar sıkıştırılmalı sistemle buz üretmek için, kompresyon makinesinin patentini almıştır. Bu yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarla, bilim adamlarının dikkati ısının düşük olduğu yerden yüksek olduğu yere sıkıştırılarak transfer edilmesi konusuna çevrilmiştir. James Prescott Joule, gazların sıcaklıklarının basınç değişimi ile ayarlanmanın temel kararlarını bulmuştur (Yamankaradeniz vd., 2008).

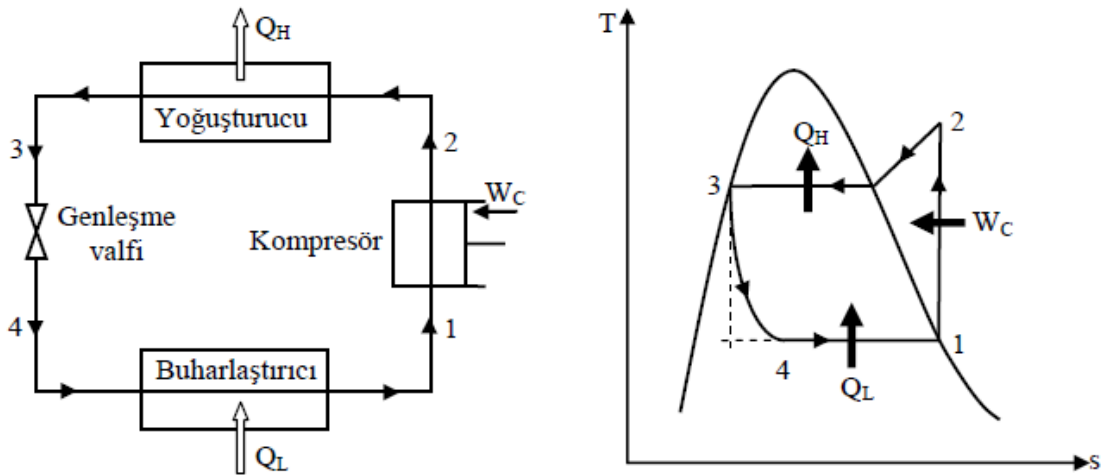
Isı pompası için gerekli ısı kaynağı olarak toprağın tercih edilmesi 1912 yılında İsviçre'de Zoelly'nin aldığı patent sayesinde ortaya çıkmıştır. Ardından 2. Dünya Savaşı sonrası yaşanan enerji kıtlığı sonucu bu konu dikkatleri üzerine çekmiş, ticari olarak konuşulmaya başlanmıştır. 1940'lı yılların sonu 1950'li yılların başında toprak kaynaklı ısı pompasıyla ilgili çalışmalar artmıştır. Bu konuda ilk kavramsal çalışmalar 2. Dünya Savaşı sonrasında başlamış olup 1980'li 1990'lı yıllar arasında iyice hız kazanmıştır (Al-Rabghi vd., 1992).

Yatay tip toprak ısı değiştiricilerinin farklı olarak zemine koyulması üzerine Bose Amerika'da çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda Avrupa Ekonomi Topluluğu komisyonu bu mekanizmanın Kopenhag, Paris ve Marsilya' da araştırarak uygunluğunu tespit etmiştir. Konuyla ilgili bir diğer çalışma olarak toprağa sabit ısı girişi ve toprağın bu doğrultudaki ısı değişimini 1980' den sonra Kalman Metz ve Parker farklı dönemlerde incelemiş, çalışmalar akabinde yakın neticeleri bulmuşlardır. Kurulan ilk ısı değiştiricilerinden biri de Avrupa' nın Zürih kentinde 1938'de yapılmıştır. Kurulan sistemde ısı kaynağı için Limmat nehri suyu, akışkan olarak Freon-12, ve bir motorlu kompresör bulunmaktadır. Bu ısı değiştirici Zürih belediye binası için kullanılmış olup, 175 kW güce ve 60°C soğutabilme kapasitesine sahiptir. Kurulmuş olan ısı değiştirici sistemi Escher Wyss şirketi tarafından üretilmiştir (Yamankaradeniz vd., 2008).

3.2. İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi

Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi soğutma makinalarında, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok kullanılan çevrimdir. İdeal buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin akış şeması ve T-S diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu çevrim dört hal değişiminden oluşur ve aşağıdaki gibidir:

- 1-2: Kompresörde izentropik(sabit entropi) sıkıştırma,
- 2-3: Yoğuşturucudan çevreye sabit basınçta ısı geçişi
- 3-4: Genleşme valfinde kısılma (genişleme ve basıncın düşmesi)
- 4-1: Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişi.



Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin akış şeması ve T-S diyagramı (Alkan, 2014).

İdeal buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar veya kızgın buhar olarak girer ve sıkıştırılır. Daha sonra sıkıştırılan ve basıncı artan soğutucu akışkanın sıcaklığı da artar ve 2 halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer. Bu anda soğutucu akışkanın sıcaklığı, çevre ortamı sıcaklığının üzerindedir ve yoğuşturucudan çevreye ısı geçişi ile soğutucu akışkan 3 halinde doymuş buhar olarak yoğuşturucudan çıkar. Soğutucu akışkan, genleşme vanasından geçerek basıncı düşürülür ve soğutucu akışkan sıcaklığı soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Daha sonra soğutucu akışkan 4 halinde buharlaştırıcıya girer ve soğutulan ortamdaki ısı almaya başlar ve aynı zamanda da buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar veya kızgın buhar halinde çıkar ve kompresöre tekrar girerek çevrimi tamamlar.

Isı pompası ideal çevrimi için ilgili denklemler aşağıda verilmiştir.

İdeal ısı pompası çevriminde, kompresör girişindeki özgül entropi s_1 , kompresör çıkışındaki özgül entropi s_2 olmak üzere, termodinamiğin ikinci kanununa göre 3.1 ifadesi yazılabilir.

$$s_1 = s_2 \quad (3.1)$$

Yoğuşturucu' dan atılan ısı 3.2 bağıntısı ile ifade edilir.

$$Q_H = m(h_2 - h_3) \quad (3.2)$$

Buharlaştırıcı' dan çekilen ısı 3.3 bağıntısı ile ifade edilir.

$$Q_L = m(h_1 - h_4) \quad (3.3)$$

Kompresör işi bağıntısı da 3.4 ile ifade edilir.

$$W_c = m(h_2 - h_1) \quad (3.4)$$

Isı pompası sisteminin çevrimi sonucunda sistemin net enerji değişimi Termodinamiğin 1. Kanununa göre aynı kalacağı için;

$$Q_H = Q_L + W_c \quad (3.5)$$

Bir ısı pompası ve soğutma makinasının verimliliği için ilgili parametre ısıtılan ortama verilen ya da soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarının kompresörde harcanan enerjiye oranı şeklindedir. Uygulama amacı doğrultusunda aktarılan enerji miktarının harcanan enerji miktarı oranına performans katsayısı denir. Isı pompaları için bu katsayı *ITK* (ısıtma tesir katsayısı), soğutma makineleri için *STK* (soğutma tesir katsayısı) şeklinde ifade edilir ve aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

$$ITK = \frac{Q_H}{W_c} = \frac{m(h_2 - h_3)}{m(h_2 - h_1)} \quad (3.6)$$

$$STK = \frac{Q_L}{W_c} = \frac{m(h_1 - h_4)}{m(h_2 - h_1)} \quad (3.7)$$

Bu durumda *ITK* ve *STK* değerleri şu şekilde de ifade edilebilmektedir:

$$ITK = STK + 1 \quad (3.8)$$

Isı pompası için *ITK* değerinin 1'den büyük olduğu görülmektedir.

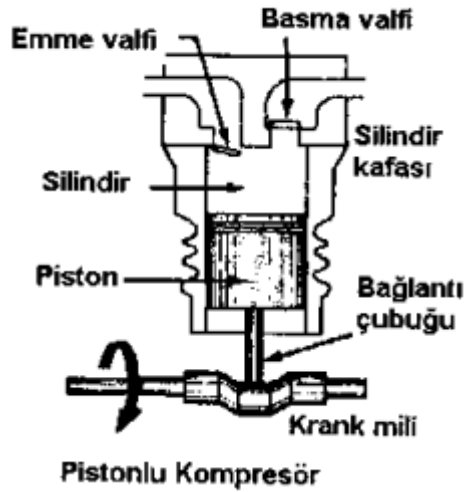
3.3. Isı Pompası Elemanları

Isı pompası sisteminin 4 ana elemanı vardır. Bunlar; buharlaştırıcı, kompresör, yoğuşturucu ve genişleme valfi şeklindedir.

3.3.1. Kompresör

Kompresör; sistem içinde bulunan akışkanın devir daimini sağlarken aynı zamanda içindeki akışkanın basıncını artırarak yoğuşturucuya aktarılmasını sağlar. Soğutma tesisinin cinsine ve büyüklüğüne göre çeşitli kompresörler bulunmaktadır. Kompresörler başlıca 5 ana grupta toplanabilir.

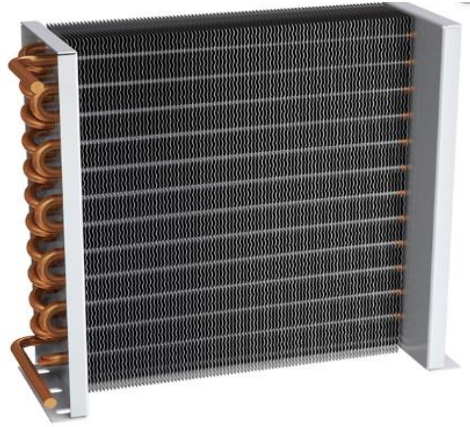
- Pistonlu Kompresörler
- Rotatif (dönel, rotorlu, rotary) Kompresörler
- Hermetik Kompresörler
- Vidalı (helisel) Kompresörler
- Türbo (santrifüj) Kompresörler.



Şekil 3.3. Pistonlu kompresör.

3.3.2. Yoğuşturucu (Kondenser)

Soğutma sisteminde kompresör tarafından sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı yükselmiş olan soğutucu akışkandan aldığı ısıyı dış ortama aktaran cihaz yoğuşturucudur. Yoğuşturucu içinde kızgın buhar halindeki soğutucu akışkandan bulunduğu ortama ısı aktarılırken soğutucu akışkan da yavaş yavaş sıvı hale gelir.



Şekil 3.4. Yoğuşturucu.

3.3.3. Genleşme valfi

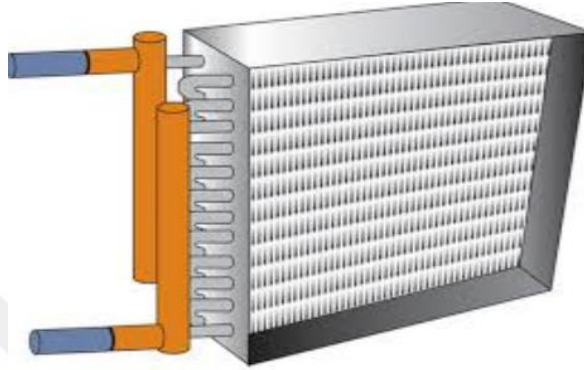
Genleşme valfi, yoğuşturucudan yüksek basınçta çıkan sıvı haldeki soğutucu akışkanı, istenilen buharlaştırıcı basıncına düşüren kısma elemanıdır. İdeal şartlarda bu elemanda gerçekleşen basınç düşürme işlemi boyunca entalpinin sabit olduğu kabul edilir. Genleşme valfi olarak küçük sistemlerde kılcal borular bu görevi yapmakla birlikte, daha büyük sistemlerde el ayar valfi, otomatik genleşme valfi ve termostatik genleşme valfi gibi elemanlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Genleşme valfi.

3.3.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Bulunduğu ortamdan ısı alarak içinde soğutucu akışkana ısı geçişi olan ve soğutucu akışkanın buhar fazına geçtiği cihaz buharlaştırıcıdır. Diğer bir ifadeyle, buharlaştırıcı soğutma yapılması gereken ortama yerleştirilmesi gereken cihazdır.



Şekil 3.6. Buharlaştırıcı.

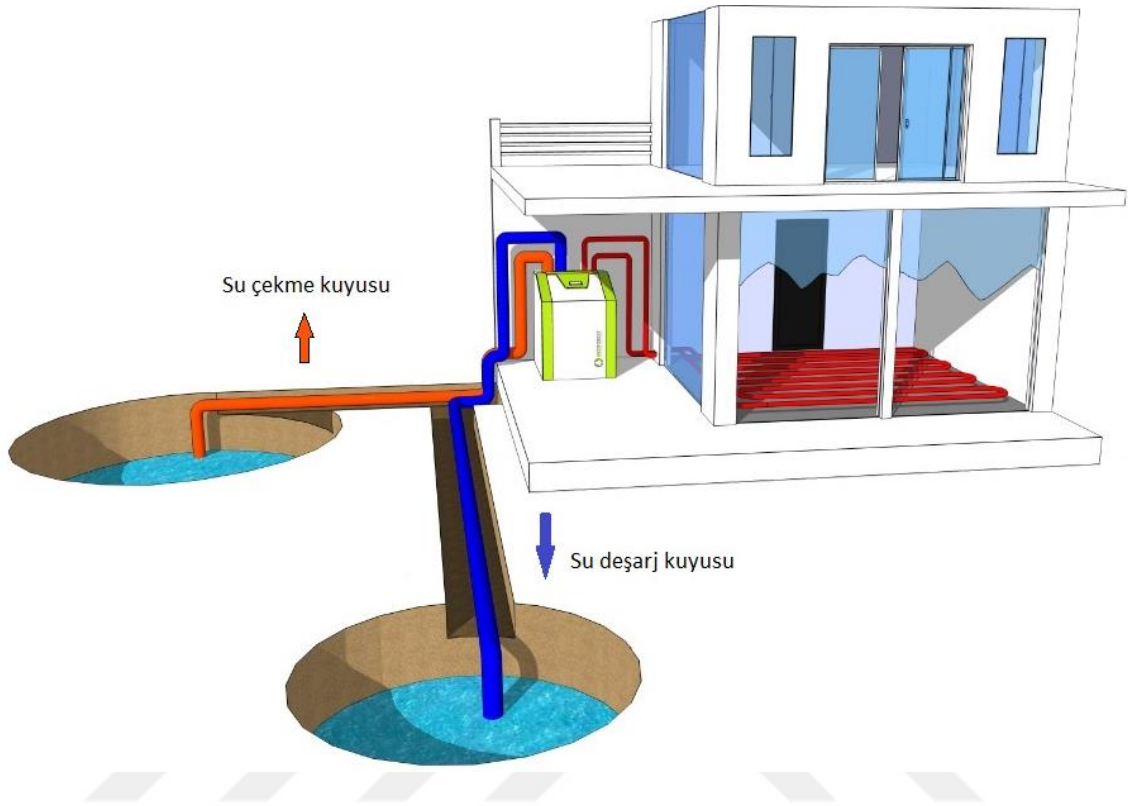
3.4. Isı Pompası Çeşitleri

Isı pompalarının ısı çektikleri ortamlara ısı kaynakları denmektedir. Isı kaynaklarının önemi ısı pompasının performansını ve yatırım maliyetlerini etkilemeleridir. Isı pompaları için ısı kaynakları genel olarak hava, su, toprak ve güneş enerjisi olarak sınıflandırılabilir.

3.4.1. Su kaynaklı ısı pompası

Su Kaynaklı Isı Pompalarında; ısı kaynağı olarak kuyular, nehirler, yer altı suları, şehir şebekeleri, denizler ve göller kullanılmaktadır. Bu sistemlerde açılan bir kuyu yardımıyla yeraltı suyu emilir, ısı pompasında kullanıldıktan sonra tekrar yer altına gönderilir.

Sistem maliyeti göz önünde bulundurulduğunda şehir şebekesi sistemlerinin ısı kaynağı olarak kullanıldığı uygulama sayısı oldukça azdır. Teknik olarak yer altı suyu diğer kaynaklara göre daha kararlı bir sıcaklığa sahip olması sebebiyle tercih edilebilir bir kaynaktır. Ancak yer altı suyuna ulaşmak için yapılan sondaj çalışmaları ve suyun yapısında yer alan minerallerin korozyon etkisi sebebiyle bu kaynakta problemler yaşanabilmektedir. Yer altı suyu kadar kararlı olmayan sıcaklığa sahip nehir, göl gibi yer üstü kaynak suları ise hava ile kıyaslandığında sıcaklık değişiminin daha az olduğu görülmektedir. Türkiye'nin batı ve güney bölgelerinde genellikle yer üstü su sıcaklığı 0°C'nin altına düşmemesinden dolayı bu bölgelerde ısı kaynağı olarak suyun kullanılması avantaj oluşturmaktadır (Şensoy, 2019).



Şekil 3.7. Su kaynaklı ısı pompası örneği (Argendustriyel, 2019).

Kuyu suyundan yararlanıldığında, buharlaştırıcıyı terk eden düşük sıcaklıktaki suyun kaynak sıcaklığını düşürmemesi için ve bir daha kullanılabilmesi için, bir başka yere atılması ve bu nedenle kaynağın bol miktarda su içermesi gerekmektedir. Bu sebeple kuyu suyunun dezavantajları; suyun bir defa kullanılması ve yüksek miktarlarda suya ihtiyaç olmasıdır. Ayrıca kuyu suyunun maliyeti (sondaj, bakım) küçük tesisler için uygun olmamaktadır. Kaynak olarak su kullanıldığında diğer önemli bir husus da suyun kalitesidir. Su kalite testi kesinlikle yapılmalı ve içerdiği mineraller, korozyon probleminden ötürü incelenmelidir. Su kaynaklı ısı pompalarının en büyük avantajı ise; ısı değiştiricilerinde, ısı geçişinin yüksek olmasıdır.

Su kaynaklı ısı pompalarında bir pompa yardımıyla boru içerisinde dolaştırılan antifriz su karışımı ısı kaynağından aldığı enerjiyi ısı pompasının buharlaştırıcısı içerisinde dolaştırılan ısı taşıyıcı soğutucu akışkana aktarır. Isı taşıyıcı akışkan da enerjisini ısı pompasının yoğurturucusu vasıtasıyla ısıtma ve kullanma sıcak suyu sistemlerine aktarır. Su kaynaklı ısı pompalarının ilk yatırım maliyeti hava kaynaklı ısı pompalarından daha yüksek olmasına karşın sistem performans katsayısı da su kaynaklı sistemlerde daha yüksektir.

3.4.2. Hava kaynaklı ısı pompası

Hava kaynaklı ısı pompasında enerji kaynağının sağlandığı hava; evrensel, ucuz ve kolay ulaşılabilen bir ısı kaynağıdır. Hava kaynaklı ısı pompasının avantajları; sürekli bulunması, geniş uygulama alanı bulunması, kullanılan ekipmanların boyutlarının makul olması ve diğer kaynaklara göre düşük işletme ve tesis maliyetleri gerektirmesi şeklindedir. Sistemin dezavantajları ise hava sıcaklığının çok değişken olması, ısı geçişinin düşük olması ve buzlanma problemi şeklindedir.

Hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinde, hava sıcaklığı 0°C ve altına düştüğünde ısı pompasının buharlaştırıcısında donma problemi oluşmaktadır ve oluşan buz, ısı geçişini engellemekte, sistemin COP değeri ve performansını düşürmektedir. Buzun buharlaştırıcı yüzeyinden çözülmesi için buz çözme (defrost) uygulaması yapılması gerekmektedir. Kaynak sıcaklığının düşük olduğu durumlarda ısı ihtiyacı fazladır. Bu durum ısı pompasının kapasitesinin düşmesine neden olur ve ek bir ısıtma kaynağına ihtiyaç duyulur. Isı kaynağının çok değişken olması projelendirmeyi ve teçhizat seçimini zorlaştırır. Hava kaynaklı ısı pompalarının bir diğer problemi ise buharlaştırıcıda ısı geçişinin düşük olmasıdır. Isı geçişini arttırmak amacıyla genellikle genişletilmiş yüzeylerden ve fanlardan faydalanılır.



Şekil 3.8. Hava kaynaklı ısı pompası örneği (Argendüstriyel, 2019).

3.4.3. Toprak kaynaklı ısı pompası

Toprak kaynaklı ısı pompasında enerji kaynağı topraktan sağlanır. Toprağın büyük ısı kapasiteye ve kararlı işletme koşullarına sahip olması, ısı kaynağı olarak kullanılmasını elverişli hale getirir. Kış mevsiminde ısı pompaları için ısı kaynağı olarak kullanılan toprak, yaz mevsiminde ise mahal içindeki ısının atıldığı bir ısı çukuru görevi görür.

Güneş ışınımının bulutlara, bulutların üzerinden yağmurla toprağa veya direk olarak ışınların toprağa gelmesiyle toprağın yaklaşık 2 m derinliğine kadar bir enerji birikimi olur. Toprak, güneşten ışığa ile gelen bu enerjiyi depo eder. Ayrıca topraktaki ikinci enerji ise dünyanın çekirdeğinden gelen ısı akışıdır. Isı akışı yer kabuğuna doğru azalır ve yüzeye 2 m kala sıfır olur.

Mevcut toprak alanı, toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı, boruların toprağa gömülme derinliği gibi faktörler toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı değiştiricisinin seçiminde ve boyutlandırılmasında önemli bir etkidir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı topraktan 2 şekilde çekilir.

- Yatay Toprak Isı Değiştiricili Sistem (Yatay kolektörlerle)
- Düşey Toprak Isı Değiştiricili Sistem (Dikey sondelerle)

İster yatay tip ister dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası olsun, ikisinin de çalışma prensibi aynıdır. Bu ısı pompalarında ilk devre toprak altı devresidir. Toprak ısı değiştiricisi doğrudan genişmeli veya ikincil akışkanlı olabilir. Genellikle doğrudan genişlemede kullanılacak soğutucu akışkan miktarı artacağından ve soğutucu akışkan nispeten pahalı olduğundan tercih edilmemektedirler.

Toprak altı devresinde dolaşan ikincil akışkanın sıcaklığı, topraktan aldığı enerjiyle artar ve ısı pompası devresinin buharlaştırıcı kısmına girer. Buharlaştırıcı ünitesinde ikincil akışkan enerjisini ısı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkana verir ve soğutucu akışkanın sıcaklığı artmış halde ve gaz fazında kompresöre giderken, ikincil akışkan sıcaklığını kaybetmiş halde tekrar yeni döngü yapmak üzere toprak altı borularına gider. Daha sonra da soğutucu akışkan enerjisini yoğunlaştırıcıda primer devre olarak da bilenen ısıtma tesisatı devresinde dolaşan akışkana aktarır. Soğutucu akışkan sıcaklığını kaybederek sıvı faza geçer. Böylece topraktan alınan enerji ısıtmak istediğimiz ortama taşınmış olur.

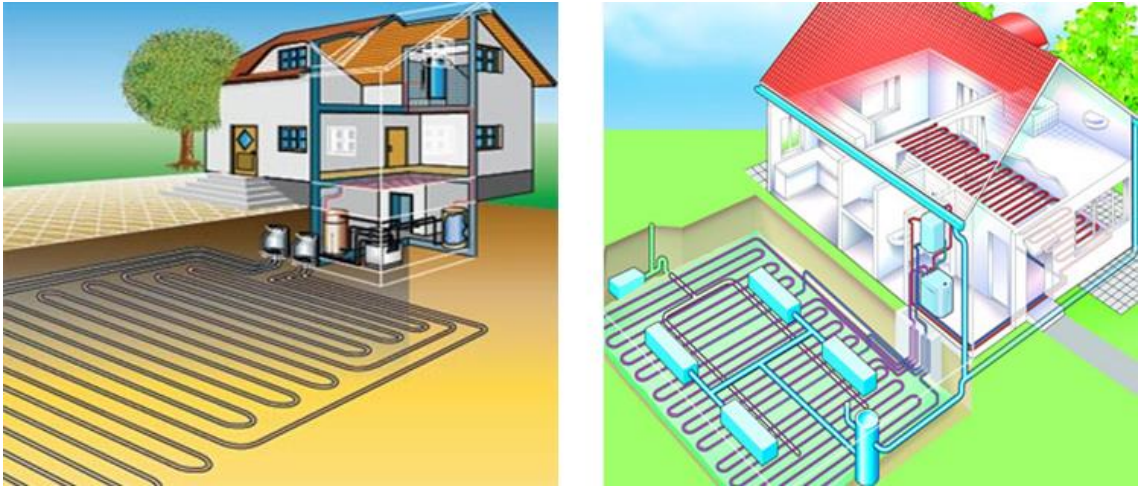
Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası (YTKIP)

Yatay toprak ısı değiştiricileri genellikle toprak alanının uygun olması durumunda kullanılır. Yatay sistemler tek bir hendek veya birbirlerine yakın hendekler içerisinde bir veya

birden fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşur. Bu ısı değiştiricilerin etkinlik derecesi borular arasındaki mesafeye bağlıdır. Yatay kolektörler hem güneşten gelecek enerjiyi alabilecek hem de mevsimsel hava olaylarından kolayca etkilenmeyecek en uygun derinliğe yerleştirilmelidirler bunun için en verimli oldukları derinlik 1,2 – 1,5 m'dir. İki metre ise ölü bölge olup ısı akışı sıfır olur. Yatay kolektörün döşendiği alanın üstüne beton atılmamalıdır ve yağmurun toprakla teması engellenmemelidir.

Borular, yatay olarak geniş bir araziye serildiği için ısı transfer alanları daha fazladır. Bu sebeple çekilecek olan enerji de sondaj tipli uygulamalardan çekilen enerjiden daha fazladır. Bir devrenin uzunluğu 100 m²'yi geçmemelidir, aksi takdirde ısı taşıyıcı akışkan sirkülasyonu için gerekli pompa gücü yüksek olmaktadır.

Borular döşendikten sonra, toprak ve boru arasındaki ısı geçişini iyileştirmek amacıyla hendekten çıkarılan toprağı yerine tekrar yerleştirirken yoğunluğunu artırmak için sıkıştırılması gerekmektedir. Şekil 3.9'da yatay tip ısı pompası uygulamasına örnek gösterilmiştir. Toprakta çekilebilecek ısı miktarı, öncelikle toprağın nemi olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Özellikle nemli ve killi topraklarda olumlu sonuçlar alınmaktadır. Kum oranı yüksek topraklar, yatay uygulamalar için çok uygun değildir (Canovateenerji, t.y.).



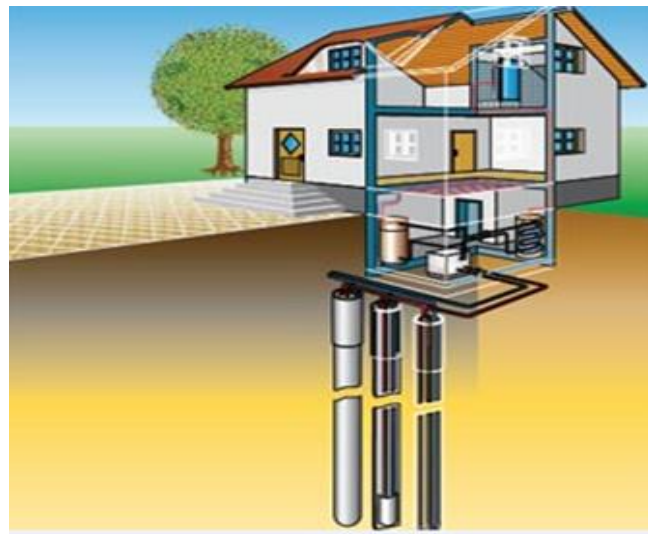
Şekil 3.9. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası uygulama örnekleri.

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (DTIP)

Dikey sondaj ısı pompası, genellikle arsa alanının kısıtlı olduğu durumlarda kullanılır. DTIP'lerinde magmadan gelen ısı kullanılarak ortamın ısıtılması sağlanır. Genellikle magmadan gelen ısıyı çekme derinliği 30 m-150 m arasındadır. Dikey sondaj uygulamalarında, sondaj

makineleri ile açılan kuyulara borular dikey olarak sarkıtılır. Kuyu çapları 10 cm-20 cm arasındadır. Düşey ısı değiştiricilerinin yatay ısı değiştiricilerine göre bazı avantajları vardır. Düşey ısı değiştiricilerinde genellikle boruların büyük bir bölümü toprak altındaki sulu bölgede yani toprağın düşük ısı direnç gösteren bölümündedir ve yer altı sularının hareketleri ısı değiştiricisinin iyilik derecesini yükseltmektedir. Ancak dönüş ve besleme borularının aynı deliğe yerleştirme zorunluluğu, ısı geçişi bakımından kısa devreye sebebiyet vereceğinden, düşey tiplerin yerleştirilmesinde bu husus dikkate alınmalıdır. Borular arasındaki ısı geçişi, ısı değiştiricisi iyilik derecesinin düşmesine neden olur. Açılan kuyular arasında sağlıklı bir ısı transferi için minimum 3,5 m tercihen 6 m bırakılmalıdır. Boru sarkıtma işlemi sonrasında söz konusu olan bölgedeki kuyuların üzerine bina yapılabilir, beton veya asfalt dökülebilir. Dikey boru sarkıtmada yatay boru döşemeye göre boru maliyetleri daha düşüktür. Ancak sondaj uygulamasında işçilik maliyeti daha yüksektir.

Kolay borulama ve az yer gereksinimi nedeniyle dikey toprak ısı değiştiricileri son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Genel olarak uç kısmında özel birleştirme parçaları (U formunda) ile birbirine kaynatılan iki veya dört paralel plastik boruya sahip boru demetinden oluşmaktadır. Plastik borular, dört borulu sistemde uç kısımlarından bağımsız akışlı iki devre oluşturacak şekilde birbirine bağlanmaktadır. Bunlara çift u borulu sistem denilir. Uygun hidrojeolojik şartlarda yüksek ısı çekişi sağlanabilmektedir. Delme makineleri ve teçhizatları gerektirmesi, delme işleminin hendek açma işleminde pahalı olması dikey sondaj ısı pompasının dezavantajlarındandır.

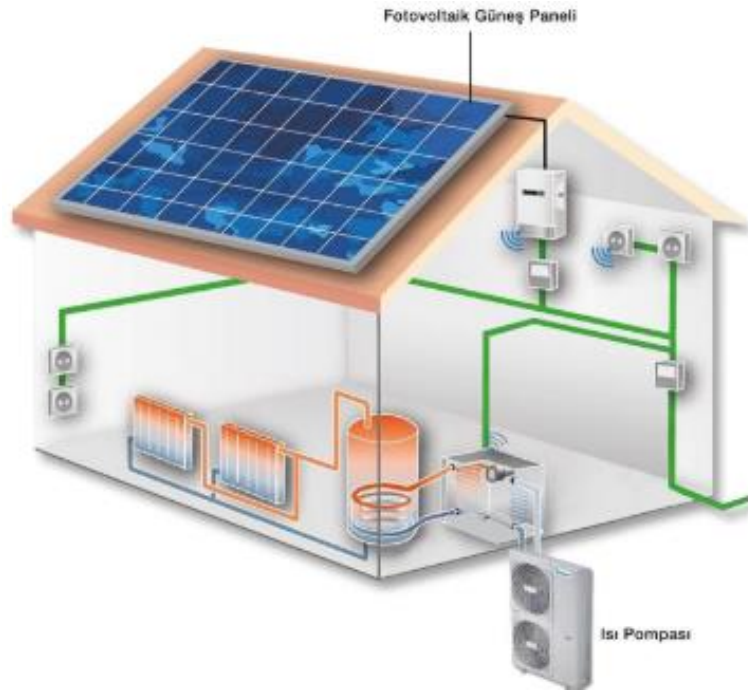


şekil 3.10. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası uygulama örneği.

3.4.4. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası

Güneş enerjisinin ısı pompası sistemlerinin buharlaştırıcıda ısı kaynağı olarak kullanılmasının en büyük avantajı, buharlaştırıcı sıcaklığının yüksek seçilmesine imkan tanınması ve dolayısıyla sistemin performans katsayısının yükselmesine sağlanmasıdır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde toprak ısı değiştiricisinin uzunluğunu azaltmak amacıyla da güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Güneş enerjisinden kaynak olarak yararlanmak için direkt ve indirekt sistem olmak üzere iki alternatif mevcuttur. Direkt sistemlerde kolektörler buharlaştırıcı olarak sistemde yer alırken, indirekt sistemlerde kolektörlerden geçirilen su veya su buharı sayesinde sisteme enerji verilir. Direkt sistemlerde güneş panellerinde yer alan soğutucu akışkan atmosfer ısısı yardımıyla buharlaştırılır. Buhar kompresör tarafından sıkıştırılarak yoğuşturucuya girer, burada gaz halden sıvı hale geçerken enerjisini tank içerisindeki suya verir, sıvı haldeki soğutucu akışkan güneş paneline geri döner ve çevrim tekrarlanır. Endirekt sistemlerde ise güneş enerjisiyle içi su dolu bir depo ısıtılır ve buharlaştırıcı depodaki su içerisine daldırılarak enerji transferi sağlanır. Böylece güneş kolektörleri sisteme ek ısı sağlayarak sistemin verimini artırır (Karaca, 2017).

Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompaları 5. Bölüm de detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.11. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası uygulama örneği.

3.5. Isı Pompası Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar

Soğutma, iklimlendirme ve ısıtma sistemlerinde ısının taşınımını sağlayan temel akışkanlara soğutucu akışkan ismi verilmektedir. Soğutucu akışkanlar faz değişimi esnasında bir ortamdan çektikleri ısıyı diğer bir ortama aktarmakta görevlidir.

Isı pompası sistemlerinin verimli ve güvenli şekilde çalışabilmesi için soğutucu akışkanların uygulama ve çalışma ortamına göre değişebilen belirli özelliklerde olması gerekmektedir. Bu özelliklerin hepsi aynı anda yerine getirilemeyecek olsa dahi soğutucu akışkan seçiminde önemli olan genel unsurlar aşağıda sıralanmıştır;

Soğutucu akışkanlarda aranması gereken genel özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Az bir enerji sarfiyatı ile çok soğutma elde edilebilmelidir.
- Buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır.
- Buharlaştırıcı oluşturacağı basınç mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır.
- Yoğuşma basıncı düşük olmalıdır.
- Viskozitesi düşük ve yüzey gerilimi az olmalıdır.
- Emniyetli ve güvenilir olmalıdır, nakli depolanması, sisteme şarjı kolay gerçekleştirilebilmelidir.

• Soğutma devresinde bulunmaması gereken su ile teması halinde bile çok zararlı reaksiyonlar meydana getirmemelidir.

- Sistemden kaçması halinde, civardaki insanlara ve diğer canlılara zarar vermemelidir.
- Havaya karıştığında yanıcı veya patlayıcı bir ortam meydana getirmemelidir.
- Elektriksel özellikleri uygun olmalıdır.
- Temini kolay ve fiyatı düşük olmalıdır.
- Ozon tabakasına zarar vermemeli ve küresel ısınmaya sebep olmamalıdır.

Soğutucu akışkanlar, saf soğutucu akışkanlar ve karışım soğutucu akışkanlar olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır.

3.5.1. Saf soğutucu akışkanlar

Saf soğutucu akışkanlar yapılarında bulunan malzemelere göre inorganik yapılı ve organik yapılı olarak ikiye ayrılmaktadır.

İnorganik yapılı saf soğutucu akışkanlar

Karbondioksit (CO₂), amonyak (NH₃), kükürtdioksit (SO₂) ve su (H₂O) inorganik yapılı saf soğutucu akışkanlara örnek olarak verilmektedir.

Organik yapılı saf soğutucu akışkanlar

Bromoflorokarbonlar (Halonlar): Karbon, flor, brom veya klor elementlerinin oluşturduğu bileşikler olup en önemli örneği Halon1301 (R13B1) dir. Ancak halonlar ozon tabakasında en fazla tahribata yol açan maddelerdir.

Kloroflorokarbonlar: Klor, flor ve karbon elementlerinden oluşan bileşiklerdir. Halonlardan sonra Ozon tabasına tahribatı en fazla olan soğutucu akışkan grubudur. Yanıcı olmamaları ve zehirsiz olmaları gibi avantajları bulunmaktadır. Bu soğutucu akışkan grubunun en önemli örnekleri ise R11 ve R12'dir.

Hidrokloroflorokarbonlar: Klor, flor, hidrojen ve karbon elementlerini içeren bileşiklerdir. Bu gazların ozon tabasına zararları az olmakla beraber çok yüksek sera etkinliğine sahiplerdir. Uygulamada en fazla kullanılan örneği R22 gazıdır.

Hidroflorokarbonlar: Hidrojen, flor ve karbon elementlerini içeren bileşiklerdir. Ozon tabakasına zararları oldukça azdır. Bu soğutucu akışkan grubuna R134a, R152a, R32 soğutucu akışkanları örnek olarak gösterilebilmektedir.

3.5.2. Karışım soğutucu akışkanlar

Karışım soğutucu akışkanlar saf haldeki soğutucu akışkanların birbirlerine karıştırılması sonucu kullanıldıkları sistemlerin performans oranını arttırmak için oluşturulan maddelerdir.

Karışım soğutucu akışkanlar azeotropik ve zeotropik olarak ikiye ayrılmaktadır. Azeotropik soğutucu akışkanlarda doymuş sıvı ve doymuş buhar bileşimleri termodinamik denge halinde birbirlerinin aynısıdır. Bu soğutucu akışkan türü saf soğutuculardakine benzer olarak tek kaynama sıcaklığına sahiptir. Bu sebepten dolayı değişken sıcaklıkta ısıtma ve soğutma yapılması mümkün değildir. Azeotropik soğutucu akışkana örnek olarak R500 gazı verilebilir, bu gaz %73,8 oranında R12 ve %26,2 oranında R152a gazlarından oluşmaktadır (Çomaklı vd., 2006).

Zeotropik soğutucu akışkanlar ise iki ya da üç bileşenlidir. Soğutucu akışkanların doymuş sıvı ve doymuş buhar fazlarının bileşiminde, termodinamik denge anında birbirlerinden farklıdır. Yani, sabit basınç altında gerçekleştirilecek yoğunlaşma ve buharlaşma proseslerinde sabit sıcaklık oluşmayacaktır. Prosesler esnasında sıcaklık sürekli değişecektir. Zeotropik soğutucu

akışkana R401A gazı örnek verilebilir olup bu karışım akışkan %53 oranında R22, %13 oranında R152a ve %34 oranında R124 gazlarından oluşmaktadır (Çomaklı vd., 2006).

Alternatif soğutucu akışkanlar

Sıkıştırılmalı buhar çevrimlerinde birçok alternatif soğutucu akışkan kullanılmaktadır. Ticari uygulamalarda amonyak gazı zehirli olmasına karşın ucuz oluşu, yüksek etkinlik katsayısı, işletim maliyetinin az olması, sızma durumunda kolay fark edilebilmesi, ucuz ısı değiştiricilerle kullanılabilmesi yönüyle çok fazla olarak tercih edilmektedir. Isı pompası çevrimlerinde yaygın olarak R22, R134a, R152a R407C ve R410A akışkanlarının kullanıldığı görülmektedir.



4. GÜNEŞ ENERJİSİ

Enerji üretimi ve kullanımını gelişmişliğin en önemli göstergelerinden biridir. Fosil yakıtlar en temel enerji üretim kaynaklarıdır. Fosil yakıtların (kömür, doğalgaz, petrol vb.) rezervlerinin tükenmekte olması ve fiyatlarında oluşan sürekli artıştan ve kullanıldıklarında ortaya çıkan çevre sorunları sebebiyle yeni ve temiz enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Bu enerji arayışından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından olan Güneş enerjisi de büyük önem kazanmıştır.

Güneşin kütesinin yaklaşık %73'ünü hidrojen %25'ini helyum (karbon, azot, oksijen ve diğer elementlerden de az miktarda) oluşturmaktadır. Güneş'te ortaya çıkan enerjinin yaklaşık %99'u, dört hidrojen çekirdeğinin (protonun) helyum çekirdeğine dönüşmesi sonucunda oluşmaktadır.

5 Milyar yaşında olan Güneş, en güvenilir nükleer enerji reaktörüdür, zira güneş enerjisi, güneşin yapısında bulunan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile gelişen bir füzyon reaksiyonu sonucunda oluşan bir ısı enerjisidir. Bu ısı enerjisinin yalnızca iki milyarda biri Dünya'ya ulaşmaktadır. Dünya'ya Güneş'ten ulaşan enerji, mevcut durumda tüm dünyanın kullandığı yıllık enerjinin yaklaşık olarak 15 000 katıdır. Dolayısıyla açığa çıkan bu enerjiden faydalanarak kullanmak bir gerekliliktir. Güneş enerjisinin kullanma alanları oldukça geniştir. Güneş enerjisi; ısıtma, soğutma, pişirme, kurutma, elektrik üretimi gibi birçok alanda verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye'de, güneş enerjisinden sıcak su ve mahal ısıtılması amacıyla ve elektrik üretmek amacıyla yararlanılır. Sıcak su ve mahal ısıtmak için güneş kolektörleri, elektrik üretmek için de fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Ayrıca hem ısı enerjisi hem de elektrik enerjisi üretmek için de PV/T kolektörleri kullanılmaktadır.

4.1. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörlerinin temelde iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi güneş ışınımını absorbe ederek ısı enerjisine dönüştürüp; bu ısıyı su, hava vb. bir akışkan ile doğrudan ya da bir depolama ünitesi yardımıyla bir başka ortama aktarmaktır. İkinci amaçları ise güneş ışınımını, ısı olarak toplayarak enerji santrallerinde ya da ısı motoru yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürmektir. Kısaca güneş kolektörleri kullanım amaçlarına göre ısıtma ve elektrik enerjisi üretimi şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

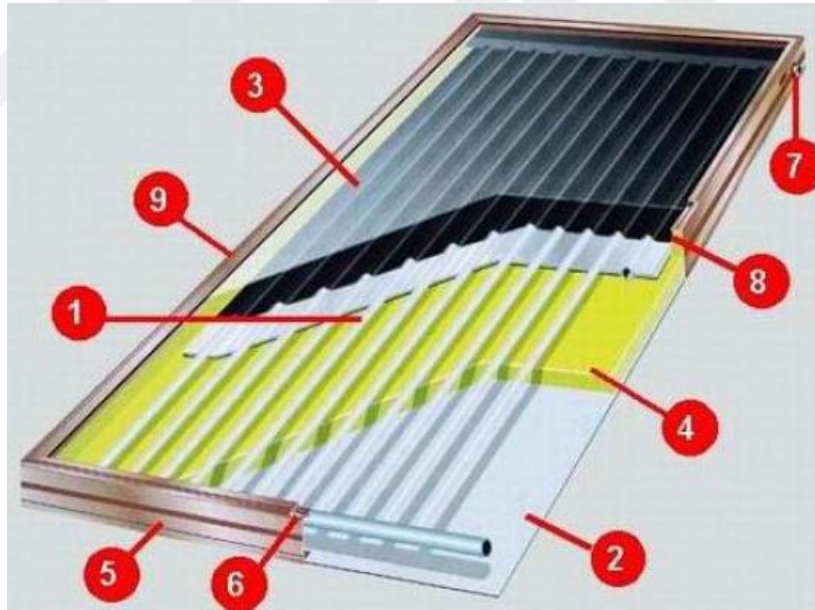
4.1.1. Isıtma amacıyla kullanılan güneş kolektörleri

Isıtma amacıyla kullanılan kolektörler de kendi aralarında sulu kolektör ve havalı kolektör şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

Sulu güneş kolektörleri

Atmosferden emilen güneş enerjisinin aktarıldığı akışkanın su olduğu kolektöre denir. Düzlemsel güneş kolektörü ve vakum tüplü güneş kolektörü olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Düzlemsel kolektörler genel olarak saydam yüzeyden oluşan cam tabakası, enerjinin toplandığı kısım olan yutucu yüzey, enerjiyi taşıyan yutucu yüzeye bağlanmış ısı taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır. Güneş ışınları saydam olan cam yüzeyden geçer, genellikle siyah renge olan yutucu yüzey tarafından emilir, yutucu yüzeyin arkasında yer alan borular yardımıyla su ısınır. Yutucu yüzey tarafından emilen enerjinin büyük çoğunluğu kolektördeki yalıtımın etkisiyle sistem içerisinde kalır. Emilen ısı enerjisi uygun alanda kullanılmak üzere taşıyıcı borulara aktarılmaktadır. Diğer kolektör tiplerine göre düzlemsel güneş kolektörleri kullanılarak sıcak su elde etmek daha basit yapıda ve ucuzdur. Bu sebeple yaygın olarak kullanılmaktadır. Düzlemsel kolektörün yapısı ve teçhizatları Şekil 4.1'de gösterilmiştir (Ağı ve Günerhan, 2003).



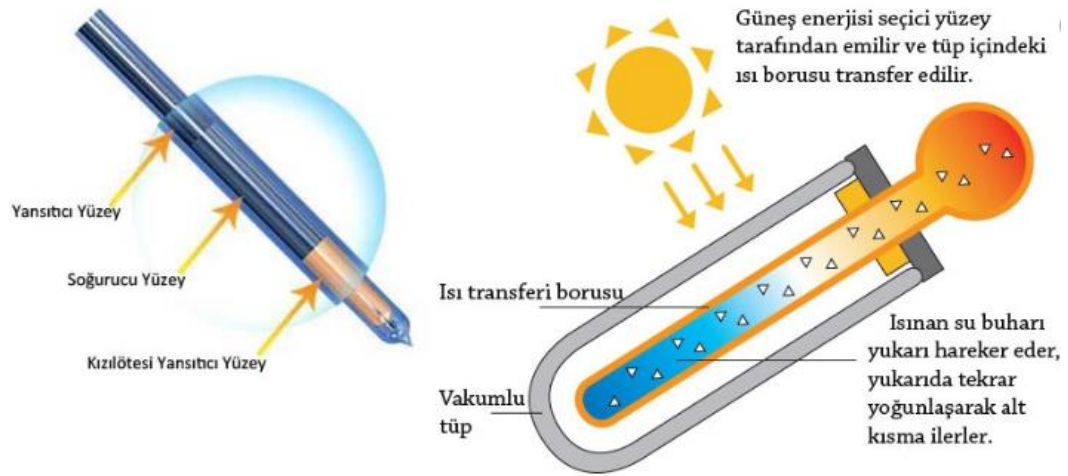
Şekil 4.1. Düzlemsel güneş kolektörü ve elemanları (1. Kolektör iç paneli, 2. Kolektör tabanı, 3. Kolektör örtüsü, 4. Isı yalıtımı, 5. Kolektör kasası, 6. Cam Lastiği, 7. Conta, 8. Kolektör kasası ısı yalıtımı, 9. Cam Çitası).

Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri: Güneş radyasyonunu ısı enerjisine çeviren ve bu ısı enerjisini maksimum miktarda koruyabilen iç içe iki borosilikat camdan oluşan sisteme vakum tüplü güneş kolektörleri denir. Vakum tüpünün içerisinde ısının korunabilmesinin en önemli sebebi, iki cam tüp arasında hava olmaması ve bu sebeple taşınım (konveksiyon) ile ısı

transferinin oluşmamasıdır. Sistem tüpte bulunan sıcak ve soğuk suyun doğal döngüsü ile herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç olmadan çalışmaktadır. Vakum tüplü güneş kolektörlerinin avantajları;

- Soğurucu yüzeyin performansının iyi olması,
- Güneş ışınlarını gün boyu kolektör yüzeyine dik almasından dolayı ısı veriminin yüksek olması,
- İç içe geçmiş cam tüpler arasında sistem yalıtımının yüksek seviyede olmasından dolayı hava olmaması ve buna bağlı olarak da taşınım ile ısı transferi kaybının oldukça düşük olması şeklinde sıralanabilir.

Ayrıca vakum tüplü güneş kolektörlerinde soğuk havalarda suyun donma riski bulunmadığından antifreeze ihtiyacı duyulmamaktadır (Şensoy, 2019). Vakum tüplü güneş kolektörünün görünüşü Şekil 4.2’de sunulmuştur.

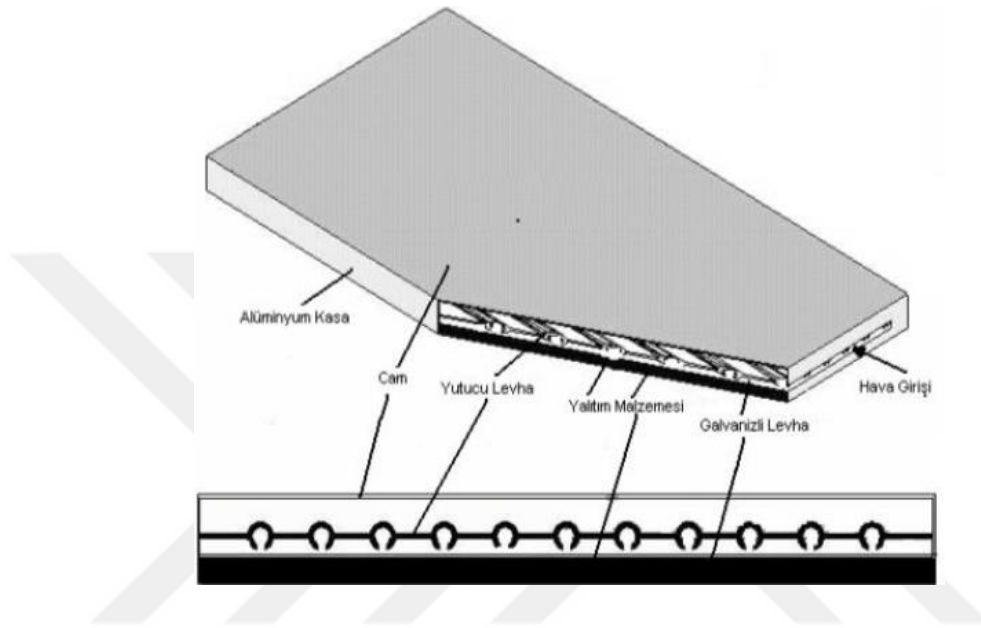


Şekil 4.2. Vakumlu güneş kolektörü (Yenilenebiliryasam, 2011).

Havalı güneş kolektörleri

Güneşten gelen ışınımı absorbe ederek ısı enerjisine dönüştürerek bu enerjiyi taşıyıcı akışkan olarak kullandığı havaya ileten kolektör çeşididir. Bu kolektörler, absorpsiyonlu soğutma, binaların ısıtılması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca gıda sektöründe çeşitli tahıl, meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe de kumaşların kurutulması için gerekli olan sıcak havanın elde edilmesi ile kullanılmaktadır. Havanın ısı iletim katsayısı suyun ısı iletim katsayısından düşük olduğundan havalı kolektörler sulu kolektörler kadar enerji tutamamaktadır ve sulu kolektörlere göre verimleri daha azdır. Havalı kolektörler yüksek

sıcaklıklara ulaşmamaktadır ve donma ve korozyon riskleri bulunmamaktadır. Kolay imal edilebilir olması, ekonomik oluşları, ürün ağırlıklarının hafif olması sulu kolektörlere karşı avantajlarıdır. Havalı güneş kolektörlerine ait örnek tasarım Şekil 4.3’de gösterilmiştir (Cicibıyık, 2012).



Şekil 4.3. Havalı güneş kolektörü.

4.1.2. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılan güneş kolektörleri

Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi (YGE) sistemleri, yansıtıcı yüzey ve soğurucu boru teçhizatları ile güneş enerjisini yüksek sıcaklıkta ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bu sistemlerde yüksek sıcaklıkta üretilen ısı enerjisi ısı türbini ve jeneratör ya da motor yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. YGE sistemleri; parabolik oluk tip, frensel tip, parabolik çanak tip ve güneş güç kuleleri olarak 4’e ayrılmaktadır.

Parabolik oluk tip YGE sistemleri

YGE sistemler arasında en fazla kullanılan sistem parabolik oluk tip sistemlerdir. Güneşten gelen ışınlar önce sistemin parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeyine ulaşmaktadır. Yansıtıcı yüzeye ulaşan bu ışınlar yüzeyden toplayıcı soğurucu boruya yoğunlaştırılmaktadır. Soğurucu borular parabolün odak noktasında bulunur ve eksen boyunca yer almaktadır. Yoğunlaştırılan ısı enerjisi soğurucu boru içerisinde bulunan ısı transfer akışkanına aktarılır ve akışkan sıcaklığı artırılır. Sıcaklığı artırılıp buhar fazına geçen akışkan, türbin-jeneratör ünitesine girer ve elektrik

enerjisi elde edilir. Şekil 4.4’de örnek bir parabolik oluk tip bir YGE santrali gösterilmiştir (Şentürk, 2013).



Şekil 4.4. Parabolik oluk tip YGE sistemi şematik gösterimi.

Frensel tip YGE sistemleri

Frensel tip YGE sistemleri yan yana çok sayıda dar ve düz aynaların direkt ışınımı orta üst kısımdaki alıcı boru üstünde doğrudan odaklaması şeklinde çalışırlar ve sistemin çalışma prensibi parabolik oluk tip YGE sistemlere benzemektedir. Parabolik oluk tipte yer alan yansıtıcı yüzey yerine kolektör üzerlerinde Frensel aynalarının yansıtıcı görev üstlenmesi sistemi farklı kılan özelliğidir. Parabolik oluk kolektörlere göre daha ekonomik imal edilebilirdir ve sistemde güneş ışınımını daha geniş bir alandan toplamak ve çalışma sıvısı kullanmadan suyu doğrudan ısıtmak mümkündür. Ancak Frensel yoğunlaştırıcı sistemleri güneşi tek eksenden takip ettiğinden parabolik oluk tip YGE sisteme göre düşük verimlidir ve parabolik oluk tip kadar yaygınlaşmamıştır. Şekil 4.5’de sisteme ait örnek bir tesis gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Frensel tip YGE sistemleri şematik görünümü.

Parabolik çanak tip YGE sistemler

Sistemin yansıtıcı yüzeyini aynaların oluşturduğu parabolik çanak tip kolektörlerde güneşten gelen ışınım kolektörün odak noktasında yoğunlaştırılarak aynalar vasıtasıyla odakta bulunan stirling motoruna yoğunlaştırılmaktadır. Stirling motoru ısı enerjisini elektrik jeneratörü için gerekli mekanik enerjiye dönüştürür. Sisteme ait örnek şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Parabolik çanak tip YGE sistemi görünümü.

Güneş güç kuleleri

Güneş enerjisini yoğunlaştırarak elektrik üreten merkezi alıcı tipi güç santrallerine güneş güç kuleleri denir. Merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi iki ekseninde birbirinden bağımsız olarak takip eden, heliostat adı verilen ve büyük bir alana yerleştirilmiş çok sayıda yansıtıcı ayna bulunmaktadır. Heliostatlar merkezi bir bilgisayar yardımıyla güneşten gelen ışınları merkezde bulunan kulenin üzerindeki alıcıda yoğunlaştırırlar. Elde edilen yoğunlaştırılmış yüksek ısı enerjisi, alıcıdaki akışkanı ısıtır. Isınan akışkan su ise buhar jeneratörüne değilse ısı değiştiricisine gönderilerek buhar üretilir. Üretilmiş olan buhar ile türbin-jeneratör ünitesinden elektrik enerjisi elde edilir (Şentürk, 2013). Sisteme ait örnek uygulama Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Güneş güç kulelerine ait örnek tesis.

4.2. Fotovoltaik Paneller

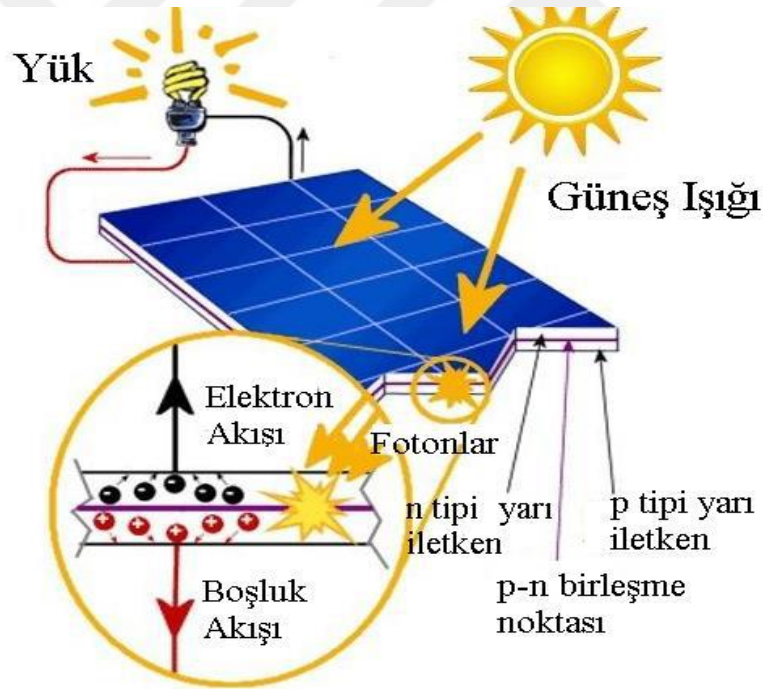
Fotovoltaik cihazlar, üzerine güneş ışığı düştüğünde yapılarında bulunan yarı iletken malzemeler sayesinde güneş enerjisini doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştürerek çalışmaktadır. Fotovoltaik güneş hücrelerinin yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklindedir. Fotovoltaik hücrelerinin üzerine fotonlar geldiğinde bir kısım foton yansıtılmakta bir kısım foton

hücre tarafından soğurulmakta bir kısım ise hücrenin içerisinde geçmektedir. Soğurulan fotonlar enerjilerini elektrik moleküllere (elektron) çevirir ve elektrik üretimi sağlanmaktadır. Fotovoltaik hücreler bir araya gelerek modülleri, modüller bir araya gelerek panelleri, paneller ise bir araya gelerek ise dizileri oluşturmaktadır.

Fotovoltaik sistemler ile elektrik üretiminde kristal silikon güneş paneli ve ince film güneş paneli olmak üzere iki farklı teknoloji bulunmaktadır.

4.2.1. Kristal silikon güneş panelleri

Günümüzde güneş santrallerinin çoğunda kullanılan teknolojidir. %14-21 arasında verimliliğe sahiptirler. Kristal silikon güneş panelleri, kristal yapısına göre monokristal ve polikristal şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Kristal silikon güneş panellerinin yapısı Şekil 4.8'de verilmiştir (Yılmaz vd., 2012).



Şekil 4.8. Kristal silikon güneş panellerin yapısı

Monokristal güneş panelleri

Monokristal güneş panelleri yüksek dereceye sahip silikon malzemeden yapılmıştır ve verimleri ortalama %24'dür. Tam homojen bir yapıya sahip olan monokristal güneş panelleri küçük alanlarda büyük enerji üretirler. Üretimi tekniği ve üretim zamanının uzun olması sebebiyle

polikristal panellere göre fiyatları pahalıdır. Monokristal güneş panelleri uzay istasyonlarında, uydularda ve ileri teknoloji ürünlerinde kullanılır. Monokristal güneş panellerine ait dış görünüş Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Monokristal güneş panelinin dış görünüşü.

Polikristal güneş panelleri

Polikristal güneş panelinde tek bir silikon kristali kullanmak yerine, üreticiler panelin gofretlerini oluşturmak için birçok silikon parçasını eritirler. Polikristal güneş panelleri aynı zamanda “çok kristalli” veya “çok kristalli silikon” olarak da adlandırılır. Her hücrede çok sayıda kristal olduğundan, elektronların hareket etmesi için daha az serbestlik vardır. Polikristal güneş panelleri, monokristal güneş panelleri gibi tek kristalin homojen bir yapıya sahip olmayıp daha basit ve dağınık bir yapıdadır. Bu sebeple polikristal güneş panelleri, monokristal panellerden daha düşük ince film panellere göre daha yüksek verimlilik oranlarına sahiptir ve verimlilikleri %14-17 arasındadır. Maliyetleri düşük olan polikristal paneller en fazla üretilen ve kullanılan panel çeşididir. Polikristal güneş panelleri, monokristal panellerin siyah tonu yerine mavi renk tonuna sahip olma eğilimindedir. Polikristal güneş panellerine ait dış görünüş şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Polikristal güneş panelinin dış görünüşü.

4.2.2. İnce film güneş panelleri

İnce film güneş panelleri, standart bir silikon panelin yaklaşık 350 katı küçük ışık emici tabakalara sahip güneş pilleriyle yapılır. İnce film güneş paneli, cam, plastik veya metal üzerine biriken ince yarı iletken filmlerden oluşur. Filmlerin ince olması güneş panellerini esnek ve hafif hale getirmektedir. İnce film hücreleri plastikle kaplanmışsa, ürün bir çatının şekline gelebilecek kadar esnek, cam kullanıldığında ise ince film paneller daha sert ve daha ağır olmaktadır. İnce film güneş panelleri Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid, CIS olmak üzere üç çeşittir.

Amorf silisyum güneş paneli

Amorf silisyum güneş pilleri, ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen ve ilk üretilen örneğidir. Diğer panellere göre düşük maliyet ve düşük verime sahiptir. Verimlerinin düşük olması sebebiyle büyük ölçekli ticari projelerde kullanılmamaktadır. Genel olarak saat, hesap makinesi, oyuncak ve küçük elektronik cihazların alternatif güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar.

Kadmiyum tellürid güneş paneli (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe), periyodik cetvelin 2.grup elementi olan kadmiyum elementi (Cd) ve 6.grup Tellür (Te) elementinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Kadmiyum tellür (CdTe) güneş panelleri, güneş ışını absorbe etme katsayısı yüksek ve verimleri ortalama %14-17 aralığındadır. Amorf Silisyum güneş paneline göre verimi daha yüksek ve üretim maliyeti daha

düşüktür. Genel olarak yüksek sıcaklığa sahip büyük arazi bölgelerinde kullanılmaktadır. Kadmiyum Tellürid güneş panelleri gölgelenmeye maruz kaldığında, panelin büyük kısmı enerji üretimi kabiliyetini yitirmez, yalnızca gölgelenmenin gerçekleştiği kısımda enerji üretim kabiliyetini yitirir bu özelliği ile silikon panellere göre avantajlı olduğunu göstermiştir. Halihazırda, en fazla kullanılan ince film panel teknolojisidir.

CIS Güneş paneli

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı guruptan elementlerin bir araya gelmesi ile oluşan bileşik yarı-iletkenlerdir. CIS güneş pilleri; bakır, indiyum ve selenyum dan oluşmaktadır ve yüksek soğurma katsayısına sahiptirler. CIS güneş panelleri, ortalama %16 verimliliğe sahiptir. Ayrıca ışığın çok az olduğu durumlarda en yüksek verimlilik elde edilen panellerdir. Maliyeti diğer ince film panel çeşitlerine nazaran çok fazladır. Bu sebeple büyük ölçekli ticari uygulamalarda tercih edilmemektedir.

4.3. PV/T Güneş Kolektörleri

PV/T, güneş ışınımı ile elektrik enerjisi ve ısı enerjisi elde edilmesini sağlayan güneş kolektörü çeşididir. Fotovoltaik paneller güneşten gelen ışınım ile yaklaşık %15-21' lik kısmından elektrik enerjisi elde edilir, geri kalan kısmı ile de fotovoltaik hücrelerin ısınmasına buna bağlı olarak ısı enerjisi elde edilmesini sağlamaktadır. Güneş panellerinde 25°C ideal çalışma sıcaklığıdır. Bu sıcaklığın her 1°C yükselmesi fotovoltaik hücrelerin aşırı ısınmasına ve buna bağlı olarak ortalama %0,4-0,5 verim kaybı oluşumuna sebep olmaktadır. PV/T kolektörlerinde aşırı ısınma durumunu gidermek amacıyla fotovoltaik hücrelerin altında sistemle bütünleşmiş borular bulunmaktadır. Bu borular ile fotovoltaik hücreler hava veya su kaynaklı olarak soğutulmaktadır. Buna bağlı olarak panellerin ideal çalışma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda oluşan verim kaybı engellenmekte hem de atık ısı kullanılabilir hale getirilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, PV/T kolektörlerinde elektrik üretimi için monokristal, polikristal hücreler ve amorf silisyum fotovoltaik sistemleri kullanılmaktadır.

PV/T kolektörlerin avantajları aşağıda belirtilmiştir;

- Elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin aynı zamanda elde edildiği bütünleşik sistemdir. Bu yapıdan dolayı iki sistem yerine tek bir sistem ile sonuç alınması kurulum maliyetlerini azaltmakta ve sistemi ekonomik yapmaktadır.
- Bir mahalın çatısına yerleştirilen PV/T kolektörlerinin ürettiği elektrik ve ısı enerjisi, aynı alanın bir yarısına yerleştirilmiş termal kolektör ve diğer yarısına yerleştirilmiş fotovoltaik panellere nazaran daha fazladır.

- Geleneksel PV modüller ile kıyaslandığında, PV/T kolektörler daha yüksek verime sahiptir. PV/T kolektörlerin ortalama çalışma sıcaklıkları hücrelerin soğutulması ile azaldığından, üretilen elektrik enerjisi geleneksel PV modüllere göre daha fazladır.

PV/T kolektörleri yapısındaki hücrelerin sıcaklığını çekme yöntemine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; PV/T hava kolektörleri ve PV/T su kolektörleri şeklindedir.

4.3.1. PV/T Hava kolektörleri

PV/T hava kolektörleri hem hava ısıtılmasını hem de elektrik üretilmesini sağlayan sistemlerdir. PV/T kolektörlerinde panelin üst yüzeyinde bulunan fotovoltaik hücreler tarafından elektrik üretilmektedir. Zamanla hücrelerin arkasında sıcaklık artışından kaynaklı verim düşümü gerçekleşmektedir. Verim düşüşünü engellemek amacıyla oluşan ısının çekilmesi için bir soğutma gereksinimi oluşur. PV/T hava kolektörlerinin üst kısmında soğutmak amacıyla delikler bulunmaktadır. Panelin arka yüzeyinde biriken ısı, deliklerin içerisinden giren dış havaya aktarılmaktadır. Bu nedenle panelin arka yüzeyi soğutulmakta ve hava ısıtılmaktadır. Isınan bu hava gerekli yerlerde kullanılmaktadır. Soğutma işlemi hava ile gerçekleştirildiğinden sisteme PV/T hava kolektörleri denilmektedir.

PV/T hava kolektörleri camlı ve camsız olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Camsız PV/T hava kolektörleri, PV/T modülden ortama olan ısı kaybını azaltmaktadır. Camlı PV/T kolektörleri ise sıcaklık artışı sağladığından hücrelerin verimi azalmakta ve sistemin termal verimini arttırmaktadır. PV/T hava kolektörlerinin imalatları PV/T su kolektörlerine göre daha kolaydır. Buna bağlı olarak bakım maliyetleri de PV/T su kolektörlerine göre düşüktür.

4.3.2. PV/T Su kolektörleri

PV/T su kolektörleri hem elektrik üretilmesini hem de su ısıtmasını sağlayan sistemlerdir. PV/T kolektörlerinde panelin üst yüzeyinde bulunan fotovoltaik hücreler tarafından elektrik üretilmektedir. Zamanla hücrelerin arkasında sıcaklık artışından kaynaklı verim düşümü gerçekleşmektedir. Bu sıcaklığın atılması ve soğutma işlemi gerçekleşmesi için panellere temas eden boru ısıyı çeker ve içerisinde bulunan akışkana aktarır. Böylece fotovoltaik hücrelerin sıcaklığı düşürülmekte ve boru içerisindeki akışkanın elde ettiği atık ısı ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. PV/T su kolektörlerinin yapısı Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. PV/T Su kolektörlerinin yapısı.

PV/T su kolektörleri de PV/T hava kolektörleri gibi camlı ya da camsız olabilmektedir. Camlı PV/T su kolektörlerinin camsız PV/T su kolektörlerine göre termal performansı daha yüksektir ancak elektriksel performansı düşmektedir. Elektriksel performansının düşmesi sistem içerisindeki sıcaklık artışından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle elektriksel performansın önemli olması istenildiğinde camsız kolektörlerin kullanılması gerekmektedir. PV/T su kolektörleri ile elde edilen ısı ile sıcak su ihtiyacı karşılanabilmekte ya da mahal ısıtma için kullanılabilmesi sistemi avantajlı yapmaktadır. Kolektörün dezavantajı ise soğuk iklim bölgelerinde kış mevsiminde donma riskinin olmasıdır. Ancak bu durum boru içerisinde kullanılacak akışkana gerekli miktarda etilen ve glikol eklenerek çözülebilmektedir.

PV/T su kolektörlerinde kullanılan soğutucu akışkanın termofiziksel özelliklerinin yüksek olmasından dolayı PV/T hava kolektörlerine göre verimleri yüksektir. Sonuç olarak yüksek kapasiteli uygulamalarda PV/T su kolektörlerini kullanmak avantaj sağlamaktadır.

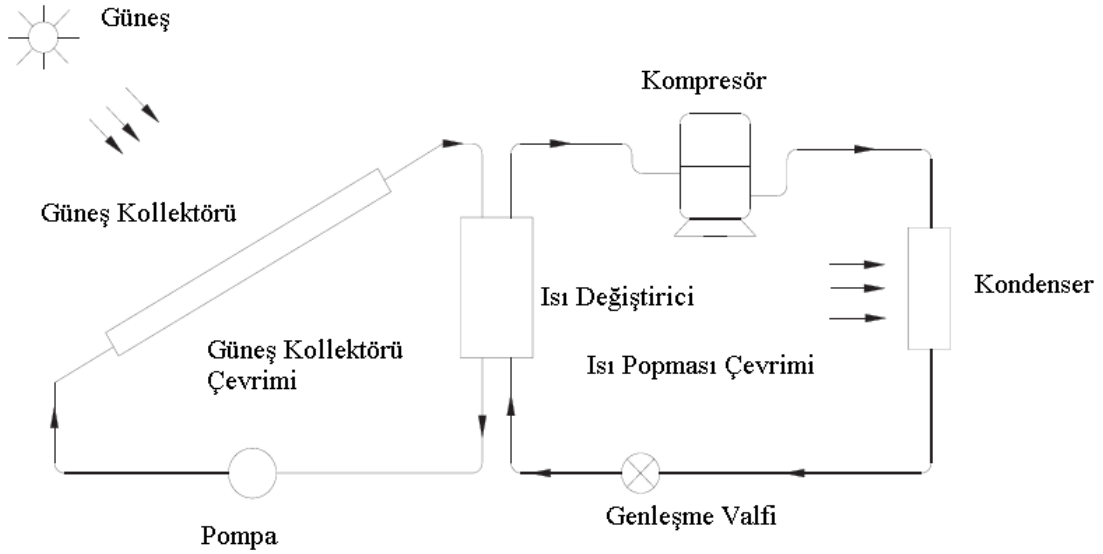
5. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi destekli ısı pompaları (GDIP) temel olarak beş farklı sistem olarak ele alınmıştır. Bu sistemler aşağıda listelenmiştir.

- Geleneksel Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri (GGDIP)
- Direkt Genleşmeli Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri (DG-GDIP)
- PV/T Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri (PV/T-GDIP)
- Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Hibrit Isı Pompası Sistemleri
- Diğer Güneş Enerjisi Destekli Hibrit Isı Pompası Sistemleri

5.1. Geleneksel Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri

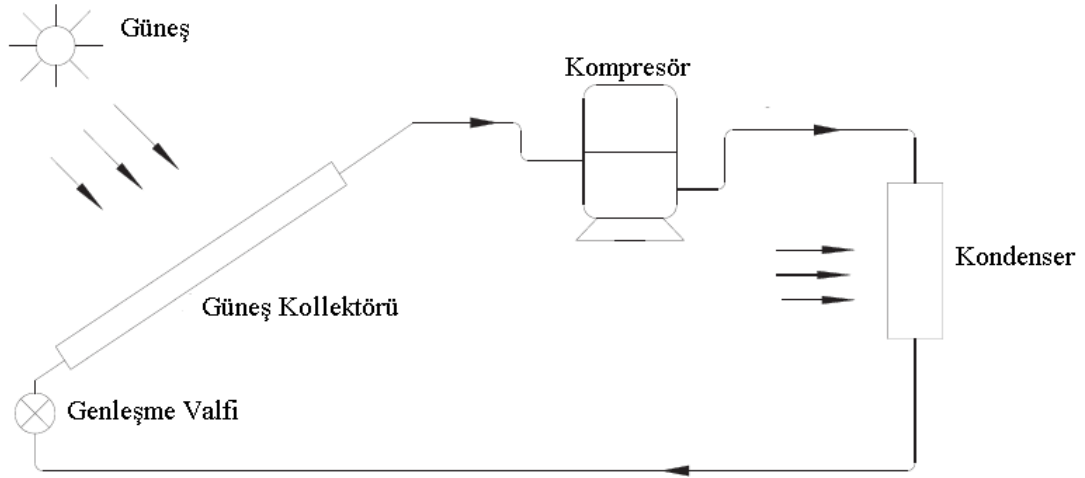
GGDIP sistemleri ısı pompası çevrimi ve güneş kolektörü çevrimi olarak iki farklı çevrimin birleşmesi ile oluşur. İki çevrim arasındaki ısı transferi ısı değiştirici ile sağlanmaktadır. Isı pompası çevriminde; kompresör, yoğuşturucu, genleşme valfi ve buharlaştırıcı güneş kolektörü çevriminde ise; güneş kolektörü, sirkülasyon pompası ve ara ısı değiştirici kullanılmaktadır. Isı Pompası ve güneş kolektörü arasındaki ısı değiştirici görevini buharlaştırıcı yapmaktadır. Güneşten emilerek alınan ısı sistemde kullanılan ikincil akışkan ile buharlaştırıcıya aktarılmaktadır. Buharlaştırıcıya aktarılan ısı, ısı pompası çevriminde yer alan soğutucu akışkana geçer ve soğutucu akışkan buharlaşır kompresörden geçerek sıkıştır ve basıncı artırılır yoğuşturucuda yoğuşarak ısıyı aktarır ve yoğuşan akışkan genleşme valfinden geçerek basıncı düşürülür tekrardan ara ısı değiştiriciye geçmesi sağlanır çevrim bu şekilde tamamlanmış olur. Sisteme ait çevrim şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir (Şensoy, 2019).



Şekil 5.1. Geleneksel güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi

5.2. Direkt Genleşmeli Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri

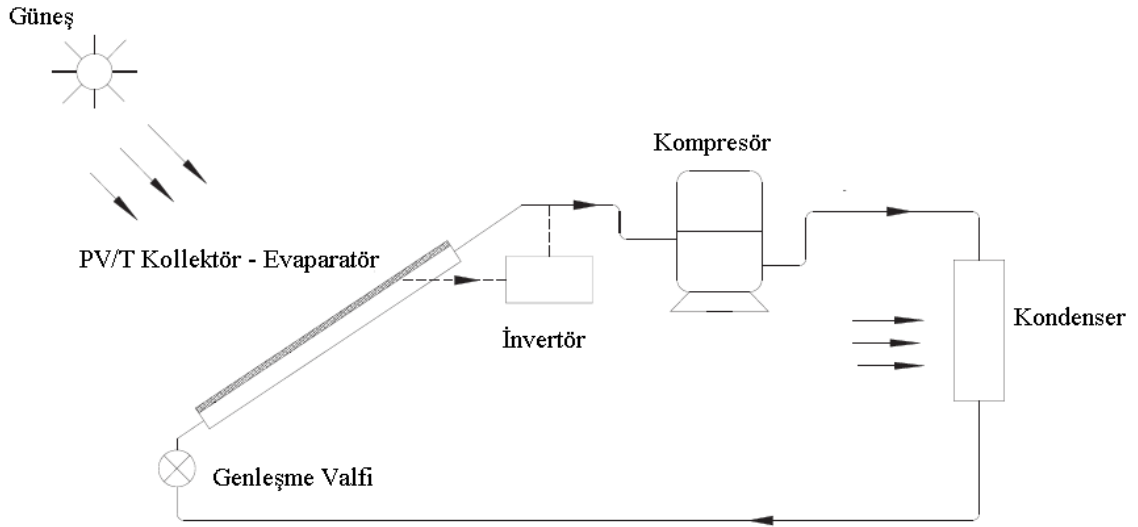
DG-GDIP sistemi tek çevrimden oluşmaktadır. Güneş enerjisi kolektörü ısı pompası çevriminde buharlaştırıcı görevi görmektedir. Güneşten kolektöre gelen ısı direk soğutucu akışkana aktarılıp, ısı pompası çevrimi gerçekleşmeye başlamaktadır. DG-GDIP sistemlerinde soğutucu akışkan doğrudan kullanıldığından dolayı sistemin korozyon direnci yüksektir. Bu durum su bazlı kolektöre nazaran sistemin ömrünü arttıran önemli bir parametredir ve çalışma sıvısının donma problemi bulunmamaktadır. DG-GDIP sistemlerinde güneş kolektörleri ısı pompası sistemine direk bağlı olması sebebiyle sistemin performansı güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, nem ve rüzgâr gibi doğasal şartlardan etkilenmektedir. Sisteme ait çevrim şeması Şekil 5.2'de yer almaktadır.



Şekil 5.2. Direkt genişlemeli güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi.

5.3. PV/T Destekli Isı Pompası Sistemleri

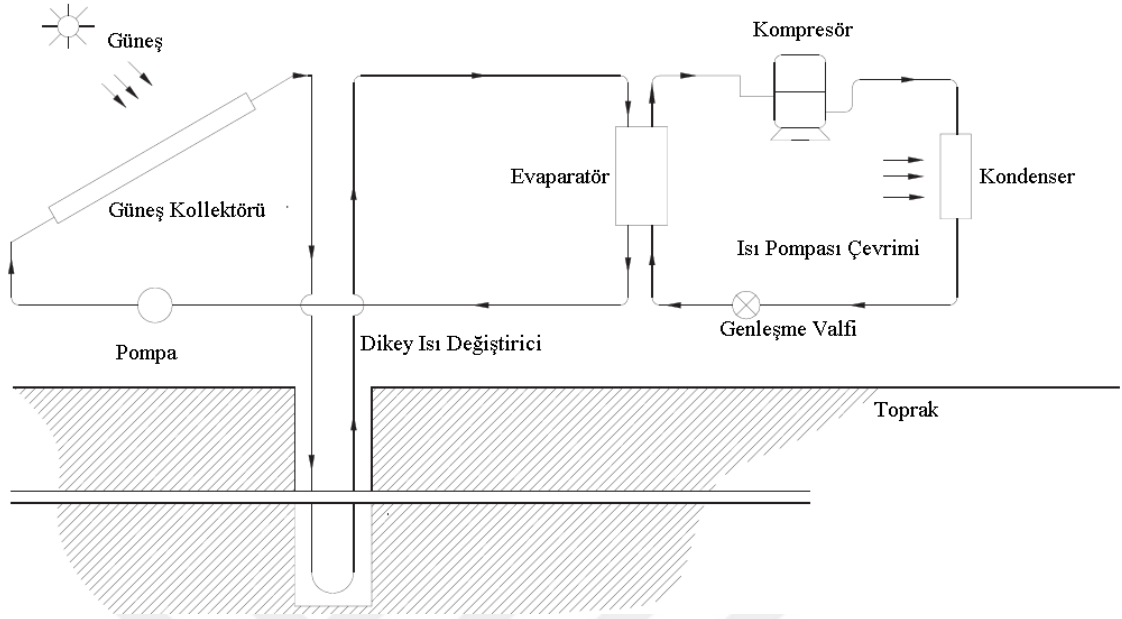
PV/T-GDIP sistemleri, 1978 yılında Kern ve Russel' in fotovoltaik-termal hibrit kolektörlerin DG-GDIP sistemlerine entegrasyonu çalışmaları ile geliştirilmiştir. Güneş ışınımı PV/T kolektörlerinin üzerine gelmesiyle birlikte kolektördeki fotovoltaik hücreler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülürken, ısı alıcılar tarafından da ısı elde edilmektedir. PV/T-GDIP sistemi genel anlamda DG-GDIP ve GGDIP sistemlerine benzerlik göstermektedir. Sistemleri birbirinden ayıran en önemli unsur güneş kolektörleri yerine PV/T kolektörünün kullanılmasıdır. PV/T kolektörlerinde, hücrelerin arkasında bulunan ısı alıcılar fotovoltaik hücrelerin sıcaklığını düşürerek hücre sıcaklığının uygun çalışma sıcaklığı olan 25°C'de kalmasını sağlamaktadır. Çünkü geleneksel fotovoltaik hücrelerde sıcaklığın artması elektriksel verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. PV/T kolektörleri hem ısı hem de elektrik kaynağı oluşturmaktadır. PV/T kolektörler tarafından elde edilen elektrik enerjisi invertör yardımı ile kompresör tarafından kullanılabilir. PV/T kolektörler tarafından elde edilen ısı enerjisi de ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısı tarafından kullanılmaktadır. PV/T-GDIP sistem çevrimi Şekil 5.3'de gösterilmiştir (Şensoy, 2019).



Şekil 5.3. PV/T Destekli ısı pompası sistemi.

5.4. Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Hibrit Isı Pompası Sistemleri

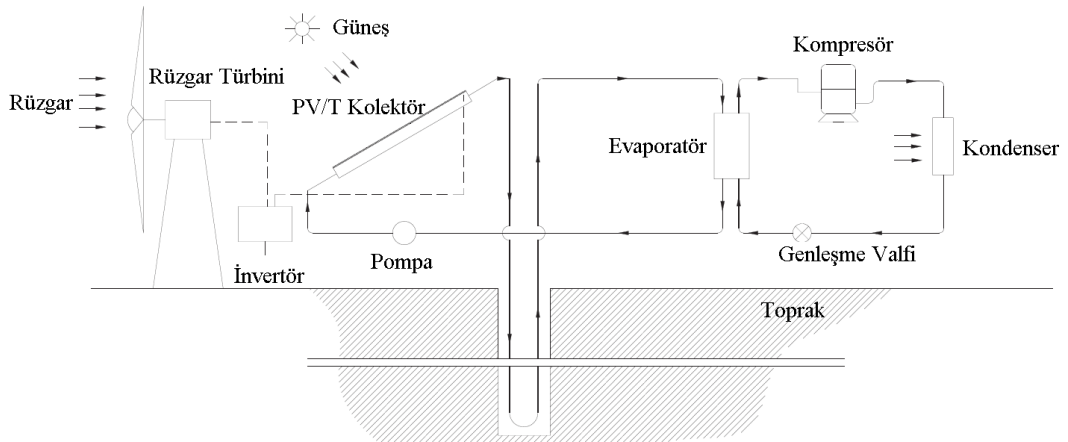
Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Hibrit Isı Pompası sisteminde güneş kolektörü ve toprak kaynaklı ısı pompası birbiriyle entegre biçimde çalışmaktadır. Sistem; güneş enerjisi kolektörleri, toprak kaynaklı ısı değiştiriciler ve ısı pompasından (buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kompresör, genleşme valfi) oluşmaktadır. Güneş kolektörleri ve toprak kaynaklı ısı değiştiricileri ısı pompası sistemine paralel ya da seri şekilde bağlanabilmektedir. Genel olarak seri bağlantı enerji verimliliği yönünden tercih edilmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemine güneş enerjisi kolektörlerinin entegre edilmesi ısı değiştiricilerin uzunluğunu azaltır bu da ilk yatırım maliyetinin düşmesini sağlamaktadır. Isı değiştiricilerin dikey kullanıldığı sisteme ait örnek tasarım Şekil 5.4'de gösterilmiştir (Mohanraj vd., 2017).



Şekil 5.4. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı hibrit ısı pompası sistemi.

5.5. Diğer Güneş Enerjisi Destekli Hibrit ısı Pompası Sistemleri

Güneş enerjisi -rüzgâr enerjisi destekli hibrit ısı pompası sistemleri, güneş enerjisi- rüzgâr enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri vb. gibi hem güneş enerjisinden hem rüzgâr enerjisinden fayda sağlayan ısı pompası sistemleri yer almaktadır. Bu sistemler ile ilgili yeterli teknik, ekonomik ve çevresel araştırma ve fizibilite çalışmaları bulunmamaktadır. Güneş enerjisi destekli hibrit ısı pompası sistemine ait örnek tasarım Şekil 5.5’de gösterilmiştir (Mohanraj vd., 2017).



Şekil 5.5. Güneş ve rüzgâr enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasına ait örnek şematik gösterimi.

6.2. Matematik Model

Sistemin buharlaştırıcı, kompresör, su deposu (yoğuşturucu), genişleme valfine ait matematiksel modeli alt başlıklar halinde ilgili bölümler de belirtilmiştir.

6.2.1. Roll- Bond buharlaştırıcı modeli

Güneş tarafından Roll-Bond buharlaştırıcıya gelen enerjinin bir kısmı buharlaştırıcı tarafından yutulur, bir kısmı da taşınım ve ışınım ile çevreye aktarılır. Kalan ısı enerjisi soğutucu akışkan tarafından emilerek ısı enerjisine dönüştürülür. Sonuçta Roll-bond buharlaştırıcı tarafından toplanan ısı enerjisi termodinamiğin birinci yasasına göre aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$Q_u = A_c[\alpha I_T - U_{Lc}(T_p - T_a)] \quad (6.1)$$

Burada yer alan Q_u buharlaştırıcıda toplanan ısı enerjisini, U_{Lc} kolektör ile çevre arasında oluşan ısı kaybını, A_c kolektör alanını, T_p ve T_a sırasıyla plaka ve ortam sıcaklıklarını ifade etmektedir.

PV hücreler ile çevre arasındaki ısı kaybı katsayısı U_{Lc} şöyle tanımlanır.

$$U_{Lc} = h_c + h_r \quad (6.2)$$

Kolektör ile ortam havası arasındaki taşınım ve ışınım ısı transferi katsayısı sırasıyla h_c ve h_r ile gösterilmiştir ve denklem (6.3) ve (6.4) kullanılarak hesaplanır (Kuang vd., 2002).

$$h_c = 2.8 + 3.0u_w \quad (6.3)$$

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a) \quad (6.4)$$

Denklem 6.1'de gelen güneş ışınımı ile buharlaştırıcı tarafından toplanan ısı enerjisi denklemi elde edilmiştir. Kuang ve arkadaşları kolektör içerisindeki basınç düşümünü ihmal edilebileceğini ve yeni bir Q_u bağıntısı elde edildiğini belirtmiştir. Kolektörde toplanan ısı enerjisini ifade eden bir diğer denklem 6.5'de verilmiştir (Kuang vd., 2002).

$$Q_u = F' A_c[\alpha I_T - U_{Lc}(T_{fm} - T_a)] \quad (6.5)$$

Düz plaka kolektörü için kolektör verimliliği faktörü, F' Hottel-Whilliar-Bliss modelinde olduğu gibi 6.6 numaralı denklemde verilmiştir (Kuang vd., 2002). Burada yer alan T_{fm} ise akışkanın sıcaklığını ifade etmektedir.

$$F' = \frac{1/U_{Lc}}{W \left[\frac{1}{U_{Lc}[D+(W-D)F]} + \frac{1}{c_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (6.6)$$

Burada F , 6.7'deki bağıntı ile ifade edilmektedir. W ise kolektör boruları arasındaki mesafedir.

$$F = \frac{\tanh[m(W-D)/2]}{m(W-D)/2} \quad m = \sqrt{U_{Lc}/k_m \delta_m} \quad (6.7)$$

Yatay kolektör tüplerinde 2 fazlı akışkan olduğu durumlarda, buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın ısı transfer katsayısı h_{fi} ;

$$h_{fi} = \frac{0.0082k_l}{D_i} (\text{Re}_{D_i}^2 J \Delta x h_{fg} / L)^{0.40} \quad (6.8)$$

Burada k_l sıvı termal iletkenliği, J ; 778 değerinde bir boyut sabiti, Δx kolektör borusunun girişinden çıkışına kadar kalite değişmesi, h_{fg} gizli buharlaşma ısısı, Re_{D_i} sıvı soğutucu akışkanın Reynold sayısı, D_i boru iç çapı ve L kolektör borusunun uzunluğunu gösterir. Reynolds sayısı, akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranıdır.

(6.1) ve (6.5) denklemleri kullanılarak, kolektör borusundaki (T_{fm}) ortalama akışkan sıcaklığı, buharlaştırıcıdaki boruların içinde yer alan soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığına (T_e) eşit olduğu varsayılır ve aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T_e = \frac{1}{F'} \left[T_p - (1 - F') \left(\frac{\alpha I_T}{U_{Lc}} + T_a \right) \right] \quad (6.9)$$

Roll-bond buharlaştırıcı'nın verimlilik bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$\eta_{coll} = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (6.10)$$

Güneş enerjisi toplayıcısındaki/buharlaştırıcısındaki ısı enerjisi (Q_u), 1 ve 4 noktaları arasındaki entalpi değişimi açısından da ifade edilir ve Q_e olarak gösterilir.

$$Q_e = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (6.11)$$

6.2.2. Kompresör Modeli

Sabit bir kompresör çalışması için, kompresör tarafından pompalanan ve sirküle edilen soğutucu kütlesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{m}_r = \frac{V_d \eta_V}{v_1} \quad (6.12)$$

Pistonlu bir kompresör için yer değiştirme hacmi (süpürülen toplam hacmi) denklem 6.13'de belirtilmiştir. Sistemde 2 silindirli piston kullanıldığı varsayılmıştır.

$$V_d = i \frac{\pi D_b^2 S N}{4 \times 60} \quad (6.13)$$

Kompresörün hacimsel verimi η_V Kuang ve arkadaşları tarafından verilen ifade ile bulunmuştur (Kuang vd., 2002).

$$\eta_V = 1 + C - C \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/n} \quad (6.14)$$

Burada P_1 ve P_2 sırasıyla kompresör giriş ve çıkış basıncını, C boşluk hacimsel oran sabitini ifade etmektedir.

Kompresörün gücü iki farklı şekilde ifade edilebilir. Kuang ve arkadaşları tarafından 6.15'deki ifade alınmıştır.

$$W_c = m_r \frac{P_1 v_1}{\eta_V} \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \quad (6.15)$$

Bir diğer ifade ise kompresör giriş ve çıkışındaki entalpi değişiminden kaynaklanan enerji şeklinde ifade edilir.

$$W_c = m_r (h_2 - h_1) \quad (6.16)$$

6.2.3. Su Deposu (Kondenser) Modeli

150 litre kapasiteye sahip su depolama tankına daldırılmış bir yoğuşturucu kullanılmıştır. Su sıcaklığının tankın içerisinde homojen olduğu varsayılmıştır. A_{co} yoğuşturucu alanını, U_{co} soğutucu akışkan ile tankın içindeki su arasındaki toplam ısı geçiş katsayısını, T_w iyi karıştırılmış tank içerisindeki suyun ortalama sıcaklığını ve T_c yoğuşturucu içerisindeki soğutucu akışkanın ortalama sıcaklığını ifade eder.

$$Q_c = A_{co} U_{co} (T_c - T_w) \quad (6.17)$$

Burada U_{co} , soğutucu akışkan ile su arasındaki toplam ısı kaybı katsayısıdır ve 6.18 eşitliği ile ifade edilir.

$$U_{co} = \frac{1}{\frac{A_{co}}{h_{co} A_{ci}} + \frac{\delta_m A_{co}}{k_m A_{cm}} + \frac{1}{h_w}} \quad (6.18)$$

Burada boruların kalınlığı çok küçük olduğundan borudan kaynaklanan ısı direnç ihmal edilir. $B = A_{co}/A_{ci}$ ifadesi denklem 6.18' de yerine yazılırsa sonuç olarak U_{co} aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$U_{co} = \frac{1}{(B/h_{co})/(1/h_w)} \quad (6.19)$$

Burada h_{co} soğutucu akışkanın ısı transfer katsayısıdır ve Kuang ve arkadaşlarının ifadesiyle denklem 6.20' de verilmiştir (Kuang vd., 2002).

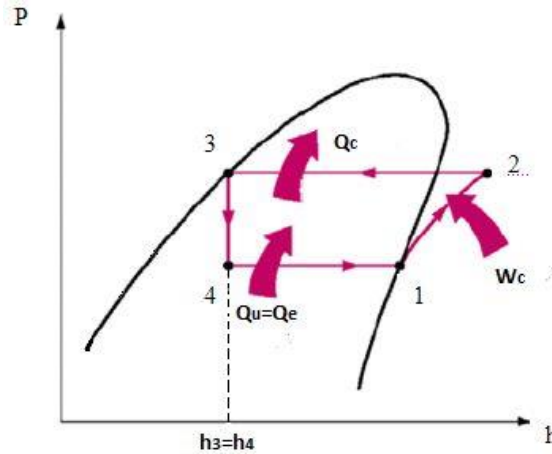
$$h_{co} = 0.0265 \frac{k_1}{d_i} \left(\frac{G_r d_i}{\mu_1} \right)^{0.8} \left(\frac{c_{pr} \mu_1}{k_1} \right)^{0.3} \quad (6.20)$$

h_w su tankında yer alan suyun ısı transfer katsayısını Kuang ve arkadaşlarının ifadesiyle denklem 6.21' de verilmiştir (Kuang vd., 2002).

$$h_w = 0.5 \frac{k_w}{d_o} \left(\frac{g \beta_w \Delta t d_o^3 \rho_w^2 c_{pw}}{\mu_w k_w} \right)^{0.25} \quad (6.21)$$

Sonuç olarak güneş enerjili ısı pompası modelinin genel enerji denklemi termodinamiğin birinci kanunu ($E_{sistem} = E_{giren} - E_{çıkan}$) ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$Q_c = Q_e + W_c \quad (6.22)$$



Şekil 6.2. Sisteme ait P-h diyagramı.

$$M_w c_{pw} \frac{dT_w}{d\tau} = Q_c - U_{Lt} A_t (T_w - T_r) \quad (6.23)$$

Sistemin performansı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$COP = \frac{Q_c}{W_c} \quad (6.24)$$

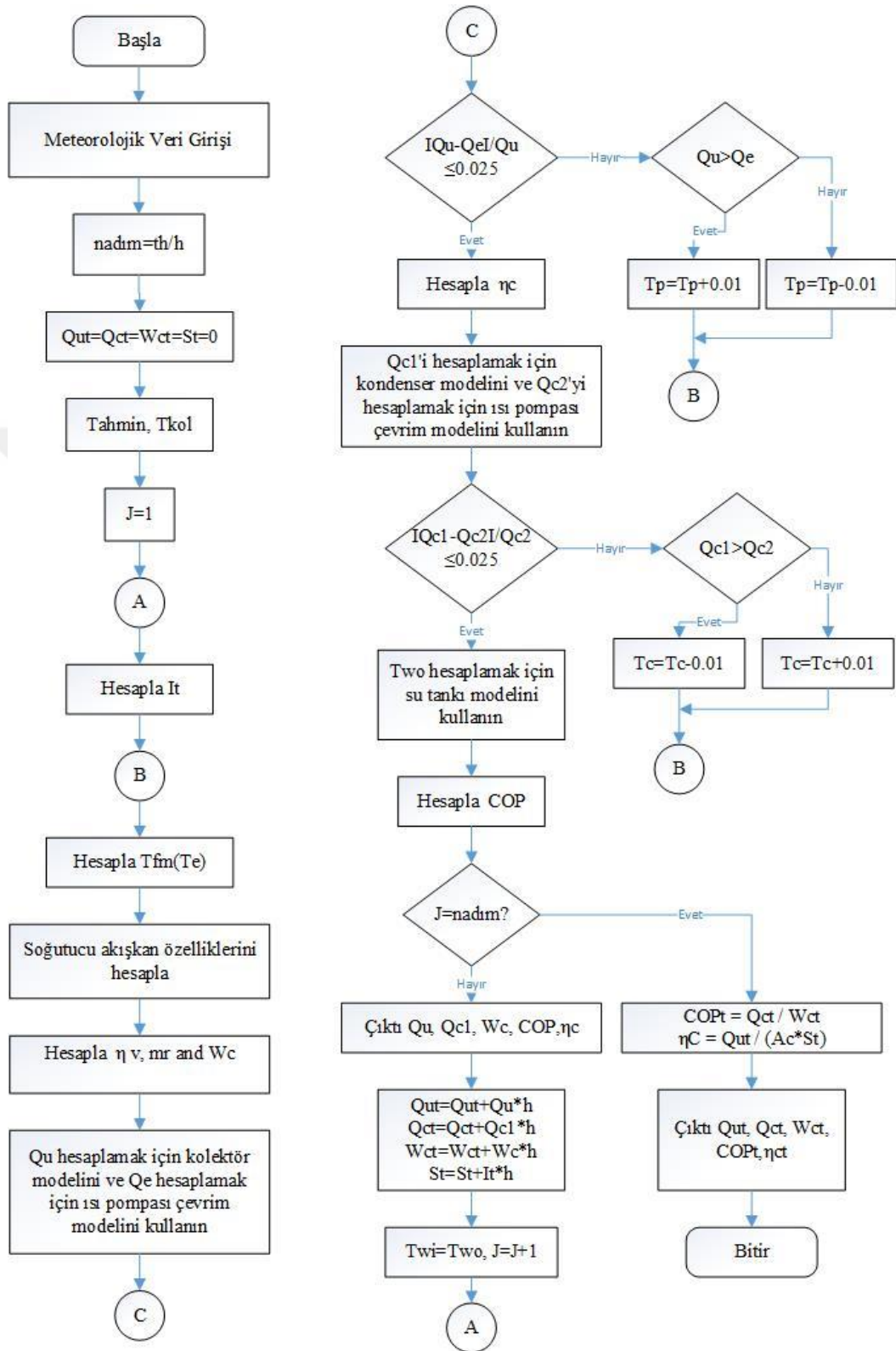
6.2.4. Genleşme Valfi Modeli

Soğutucunun yoğuşturucu çıkışında ve buharlaştırıcı girişindeki entalpi değerlerinin eşit olduğu varsayıldı ve aşağıdaki bağıntı elde edildi.

$$h_{r3} = h_{r4} \quad (6.25)$$

6.3. Hesaplama Yöntemi

Yukarıda açıklanan matematik modeli kullanarak, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemini çözümlmek üzere Şekil 6.3'de görülen akış diyagramı oluşturulmuştur. Oluşturulan matematik modeli çözmek için, akış diyagramındaki algoritmayı esas alan bir MATLAB programı yazılmıştır.



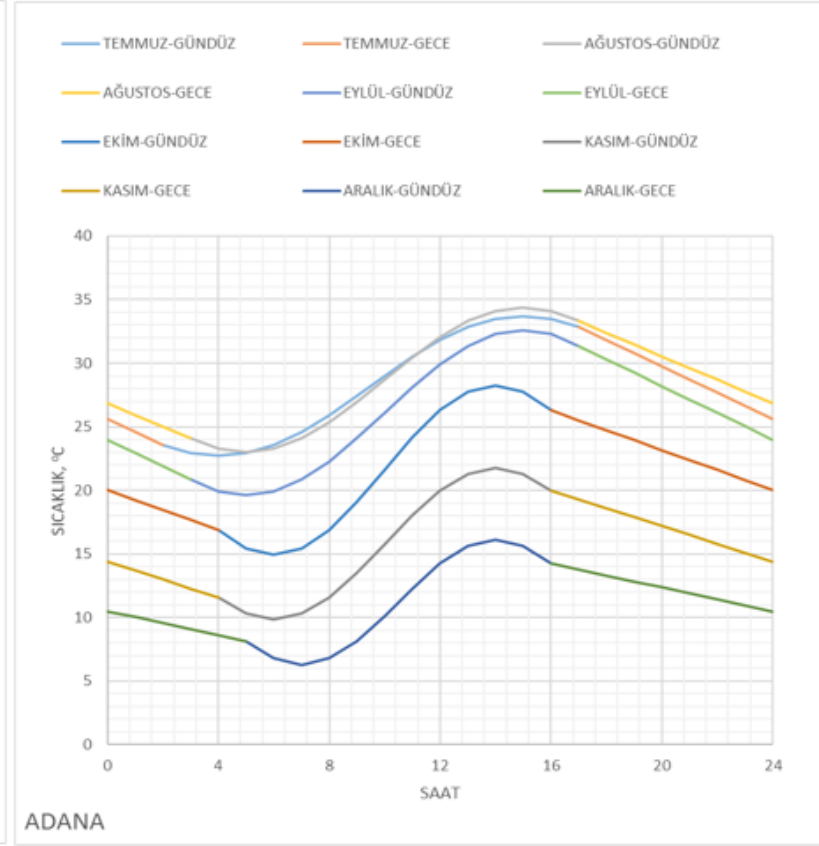
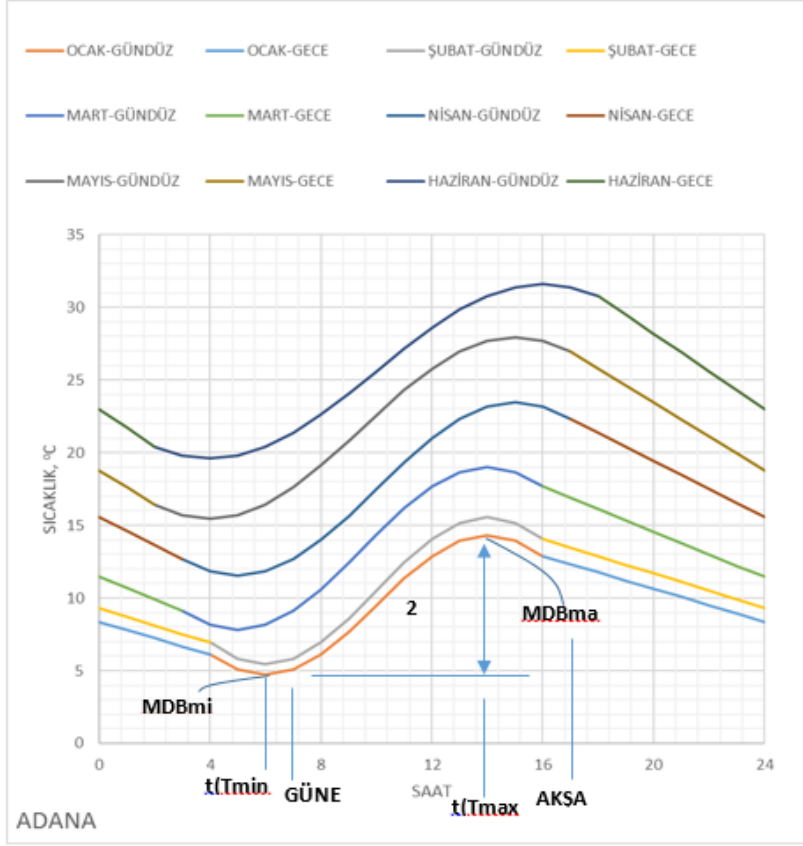
Şekil 6.3. Matlab programının akış diyagramı.

Bu program, Adana ili için güneş ışınım şiddeti ve meteorolojik veriler kullanılarak test edilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Adana ili Türkiye'nin Güneyinde 35,18° enlem ile 37,01° boylamları arasında, Akdeniz Bölgesinin doğusunda yer alır. Türkiye de en yüksek sıcaklık ortalamasına sahip illerden birisidir. Kuzeyinde Kayseri, doğusunda Osmaniye, batısında Niğde ve Mersin, güneydoğusunda Hatay İlleri yer almaktadır.

Hesaplamalarda kullanılan Adana iline ait güneş ışınımı değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir (Bulut vd., 1999). Dış ortam sıcaklığının aylara ve saatlere göre değişimi ise, Şekil 6.4'de görülmektedir. Bu değişimler, Çizelge 6.2'de verilen aylık ortalama meteorolojik veriler (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 1929-2018) ve Uralcan tarafından geliştirilen bir yöntemle eğri uydurmak suretiyle elde edilmiştir. Sistemin çözümü için kabul edilen bazı parametrelerin değerleri Çizelge 6.3'de verilmiştir. Bu çalışmada, gündüz saatleri boyunca sıcaklık değişiminin sinüs fonksiyonu, akşam ve gece boyunca sabaha kadar ise doğrusal olarak değiştiği kabul edilmiştir.

Çizelge 6.1. Adana ili için aylara göre, saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m^2] (Bulut vd., 1999).

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4	0	0	0	0	0,9	1,7	0,8	0	0	0	0	0
5	0	0	0,9	8,5	33,7	46,4	31,3	10,9	2,2	0,1	0,1	0
6	0,1	1,2	22	85,1	146,5	170,1	135,8	97,8	52,8	20,5	3,4	0
7	17	40,7	109,2	224,9	302,8	330,1	279	247,7	175,9	120,8	57,1	17
8	105,8	155	255	376,4	449,6	480,2	433,8	399,8	344,9	265,1	167,4	95,7
9	221,4	284,4	408,4	502,4	572	603,4	572,1	549,5	491,4	396	270,7	193,5
10	307,8	382,1	497,6	595,9	651,4	701,4	672,6	657	585,7	483,1	344,1	270,3
11	362,7	436,4	545	637,7	694,4	749,5	727,4	717,6	636,3	521,9	378,9	311
12	369,5	444,2	568,4	643,9	690,2	740,7	737,9	730,1	642,9	515,5	373	308,6
13	338,6	417	533,6	606	643,6	688,6	703,4	683	583,9	449,3	336	272,7
14	273,7	349,9	455,8	514,5	563,1	603,8	634,2	605,1	497	355,3	249,6	203,1
15	175,1	256	351,7	399,6	449,8	500,1	530,7	490,5	376,2	235,2	137	106,7
16	65,9	133,8	216	275	330,1	375,9	388	347,7	226,7	97,2	35	24,8
17	7,1	31,7	80,8	135,5	184	221,7	232,2	178,1	82,3	12,7	0,6	0,2
18	0,1	0,5	7	30	54,1	75,9	80,8	44,7	6,4	0	0	0
19	0	0	0	1,5	3,3	6,5	7,8	0,9	0	0	0	0



Şekil 6.4. Adana ilinde aylara göre günlük sıcaklık değişimleri (Uralcan).

Çizelge 6.2. Adana ili aylık ortalama meteorolojik verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 1929-2018).

ADANA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
MDB	9,5	10,5	13,4	17,5	21,7	25,6	28,2	28,7	26,1	21,6	15,8	11,2	19,1
MDBmax	14,8	16,1	19,4	23,7	28,2	31,7	33,9	34,7	33,1	29	22,6	16,7	25,3
MDBmin	5,2	6	8,2	11,8	15,7	19,7	22,9	23,3	20,1	15,7	10,7	6,9	13,8
MDBR	4,8	5,05	5,6	5,95	6,25	6	5,5	5,7	6,5	6,65	5,95	4,9	5,75
GÜNEŞ	7	6,5	6	5	4,5	4	4,5	5	5,5	5,5	6	6,5	
AKŞAM	17	17,5	18	18,5	19	19	19	18,5	18	17	16,5	16,5	
t (Tmin)	6	6	5	5	4	4	4	5	5	6	6	7	
t (Tmax)	14	14	14	15	15	16	15	15	15	14	14	14	
tR/2	8	8	9	10	11	12	11	10	10	8	8	7	

Çizelge 6.3. Matematiksel model hesabında kullanılan parametreler.

Parametreler	Anlamı	Değeri
uw	Rüzgar Hızı	3
Ac	Kolektör yüzey alanı	2
alfa	emcilik	0,96
epsilon	yüzeyin Salınım sabiti	0,1
sigma	Stefan-Boltzmann sabiti	5,67E-08
W	Kolektör borusu arasındaki mesafe	0,12
Do	Kolektör borusunun dış çapı	0,011
Di	Kolektör borusunun iç çapı	0,009
km	Alüminyum iletim katsayısı	200
dm	Kolektör plakası kalınlığı	0,001
Vt	Su deposu hacmi	0,15
Lct	Kolektörde doğrusal bir boru parçasının uzunluğu	0,5
C	Volumetrik verimde katsayı	0,05
n	Politropik üs R134a soğutucu akışkan için	1,1
Ncomp	Kompresör devir sayısı	1200
Vst	Kompresör strok hacmi	1,29E-05
Ncyl	Kompresör silindir sayısı	2
At	Tankın dış yüzey alanı	1,69
Ult	Su deposu ısı kaybı için toplam ısı geçiş katsayısı	1,25
To	oda sıcaklığı	20
Deo	Kondenser borusu dış çapı	0,012
Dci	Kondenser borusu iç çapı	0,01
Lco	Kondenser borusu toplam uzunluğu	26,6

7. BULGULAR

Yukarıda açıklanmış olan matematik model ve çözüm yöntemi kullanılarak, Şekil 6.1 ve açıklamasına uygun olarak Adana ilinde tesis edilecek olan bir güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar, Şekil 7.1 ile 7.36 arasında grafiklerle sunulmuştur.

Buna göre, her sayfa senenin bir ayı için hesaplanan değerleri içermekte olup, en üstte yer alan grafikte, sistem performansı ile ilgili sıcaklık değerleri yer almaktadır. Ortada yer alan grafikte, toplayıcıya gelen güneş ışınımı ve toplayıcı yüzeyine geçen ısı miktarları, R-134a akışkanının ısı pompası çevriminin buharlaştırıcı/kolektör ve yoğuşturucu/su deposu birimlerindeki net ısı alışverişleri, yoğuşturucu/su deposunda suya geçen ısı ve ısı pompasının kompresörü için gerekli olan güç değerleri verilmiştir. En alttaki grafikte ise, ısınma süresince kolektör veriminin, kompresör hacimsel veriminin ve güneş destekli ısı pompası sisteminin toplam etkenlik değerinin değişimleri görülmektedir.

Tüm hesaplarda, başlangıçta içinde 20°C sıcaklıkta su olan 150 litre hacmindeki su tankı dikkate alınmıştır. Her ay için, o aya ait GÜNEŞ vaktinden yarım saat önce ısı pompasının çalıştırıldığı kabul edilerek, $\Delta t = 2$ dak zaman aralıkları için sıcaklık, ısı geçişi, güç ve verim değerleri, depodaki suyun 60°C sıcaklığa gelmesine kadar adım adım hesaplanmıştır. Böylece, suyun istenilen bir sıcaklığa kadar ısınma süresi, sistemin toplam enerji etkenliği gibi performans göstergeleri, Adana ilinde senenin 12 ayı için elde edilmiştir. Bu göstergeler, 12 ay için karşılaştırmalı olarak Şekil 7.37 ile 7.40'da verilmiştir.

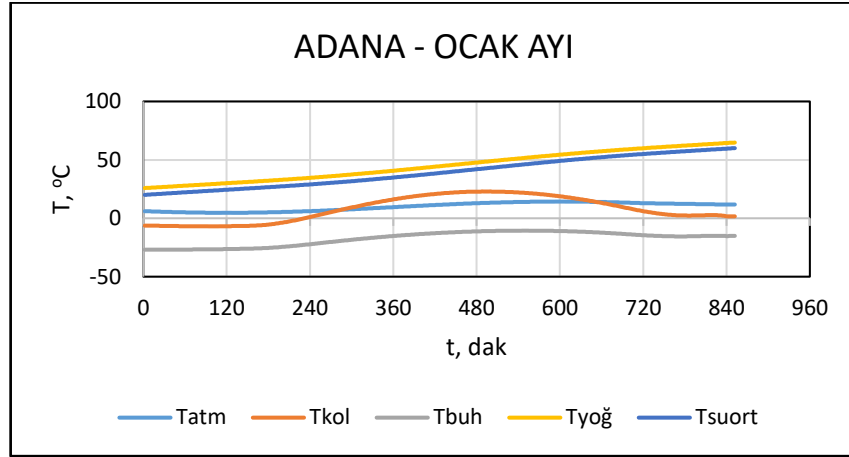
Şekil 7.37'de suyun zamana göre ısınma eğrilerini içermektedir. Suyun 20°C'den 60°C'ye ısınması için, anılan koşullarda, ısı pompasının Ocak ve Aralık aylarında 14,5 saat süreyle çalışması gerekirken, bu süre, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 9 saatin altına düşmektedir.

Şekil 7.38'de suya geçen anlık ısı miktarının zamanla değişimi, aylara göre kıyaslamalı olarak verilmiştir. Tüm aylarda, ısınma başlangıcından yaklaşık 8 saat sonra, suya geçen ısının en yüksek değerine ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 7.1 ile Şekil 7.36'da aylar için ayrı ayrı verilen, gelen güneş ışınımı şiddetinin de hemen hemen aynı anda en yüksek değerine çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla, suya geçen anlık ısı miktarını belirleyen esas parametrenin, gelen güneş ışınımının anlık değeri olduğu anlaşılmaktadır.

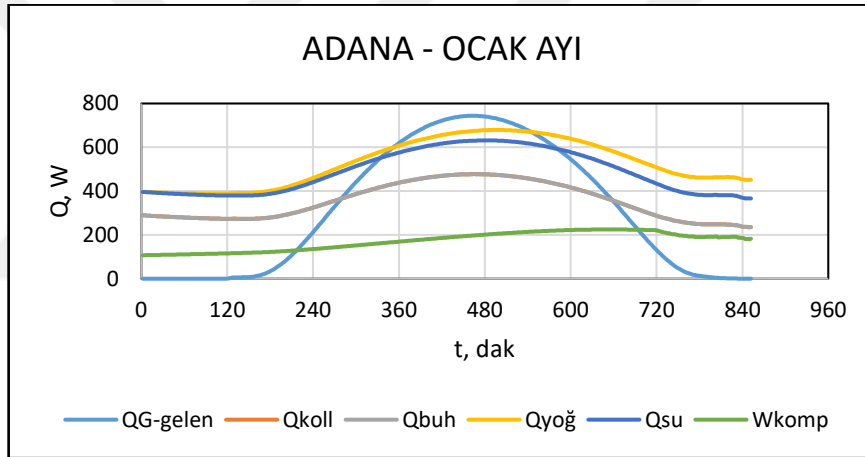
R-134a akışkanının buharlaştırıcı/kolektörde aldığı ısıyı, yoğuşturucu/su deposunda suya atabilmesi için çalışan kompresöre gerekli olan gücün aylara göre değişimi ise, Şekil 7.39'da

verilmiştir. Isınma başlangıcından sonra 8 saat boyunca artan ısı miktarından dolayı, R134a'nın yoğuşturucuda yoğuşma ve buharlaştırıcıda buharlaşma sıcaklıkları arasındaki fark da artmakta, dolayısıyla kompresör gücü de artmaktadır. 8. Saatten sonra yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları arasındaki fark, azalmaya başlayan ısı geçişiyle azalmaya geçerken, kompresör gücü, sıcaklıklar yükselmiş olduğu için, yaklaşık 12. Saate kadar yükselişini yavaş da olsa sürdürmekte ancak bu saatten sonra, ısınımın zayıflaması ve sıcaklıkların genel olarak düşmesi ile kompresör gücü de düşüşe geçmektedir.

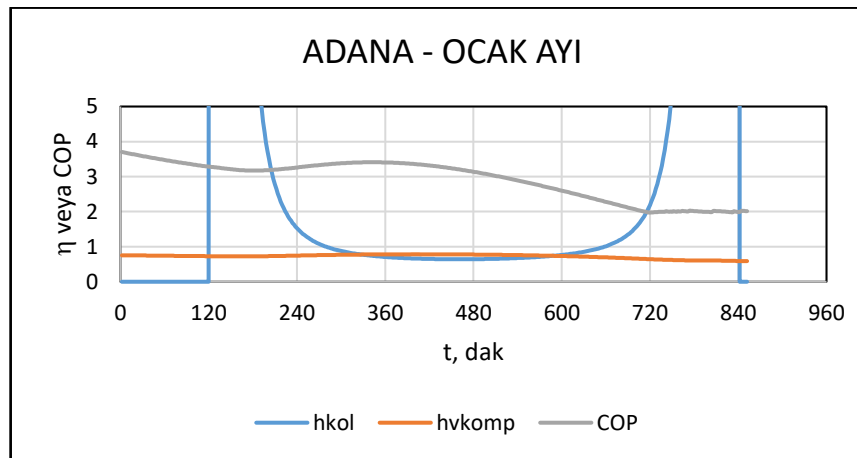
Güneş ısınımının olmadığı veya yok denecek kadar az olduğu ve ısı pompasının sadece havadan çektiği ısı ile suyu ısıttığı, aylara göre ilk 1-2 saatlik süre boyunca sistemin toplam ısı etkenliğinin (COP), düşmekte olduğu; bundan sonra yine aylara göre 4 ila 6. Saatlere kadar bir miktar yükseldiği veya sabit kaldığı; bundan sonra, sıcaklıkların artması ile düşüşe geçtiği ve suyun sıcaklığı 60°C'ye gelene kadar bu düşüşün devam ettiği, Şekil 7.40'da görülmektedir. Sıcaklıkların daha yüksek seyrettiği yaz aylarında, soğuk aylara göre gerekli kompresör gücü yüksek olsa da, suya aktarılan ısının da daha büyük oranda fazla olması nedeniyle, COP değerleri de daha yüksektir.



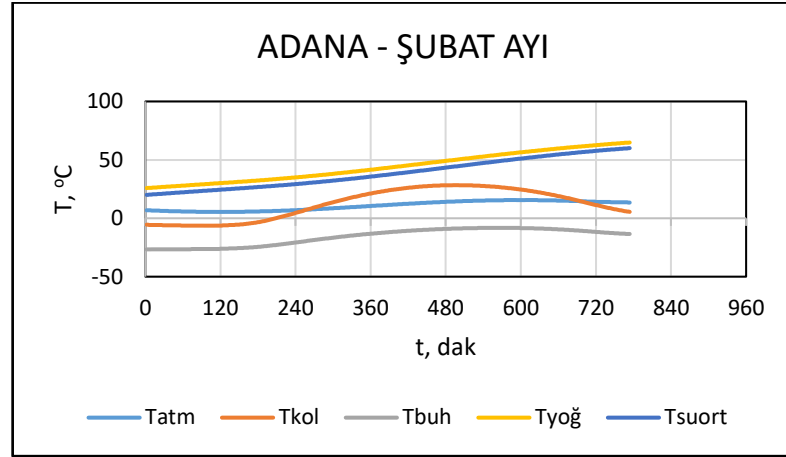
Şekil 7.1. Adana ili Ocak ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



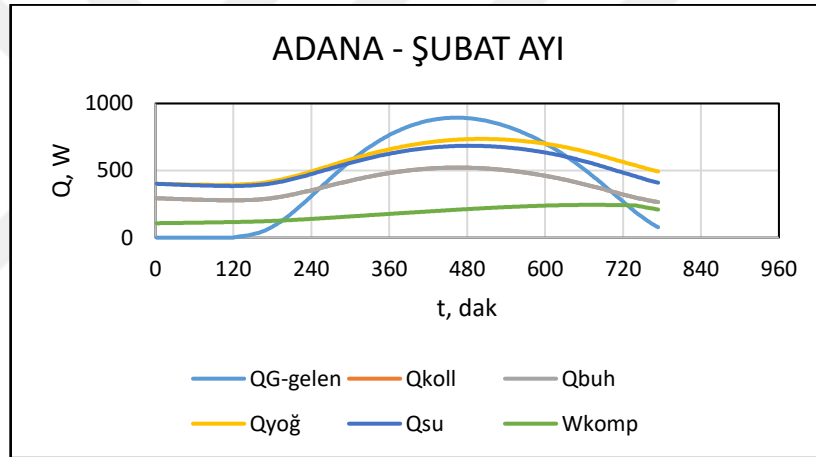
Şekil 7.2. Adana ili Ocak ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



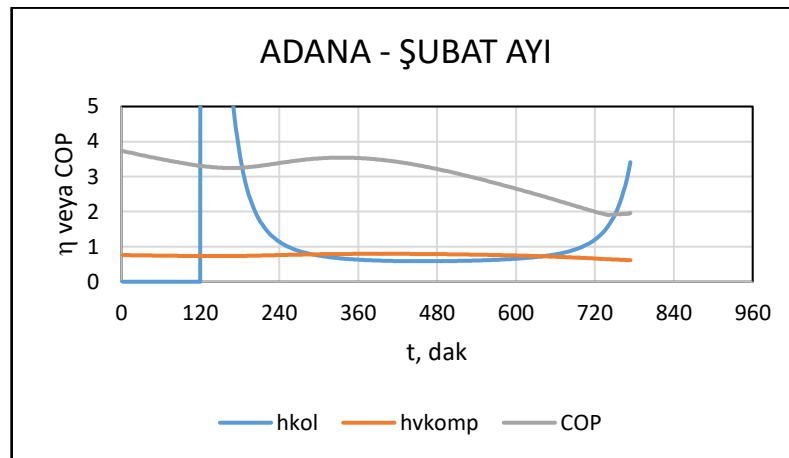
Şekil 7.3. Adana ili Ocak ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



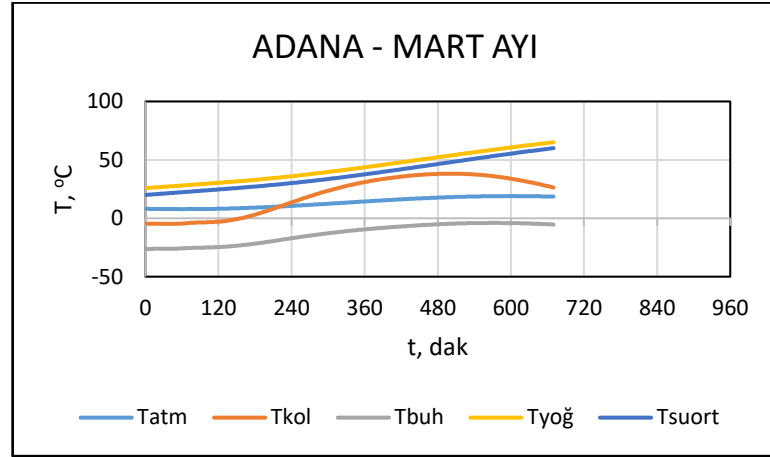
Şekil 7.4. Adana ili Şubat ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



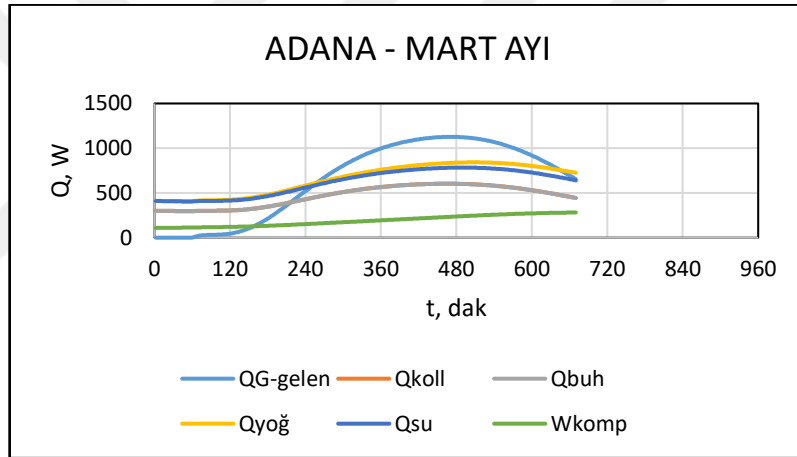
Şekil 7.5. Adana ili Şubat ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



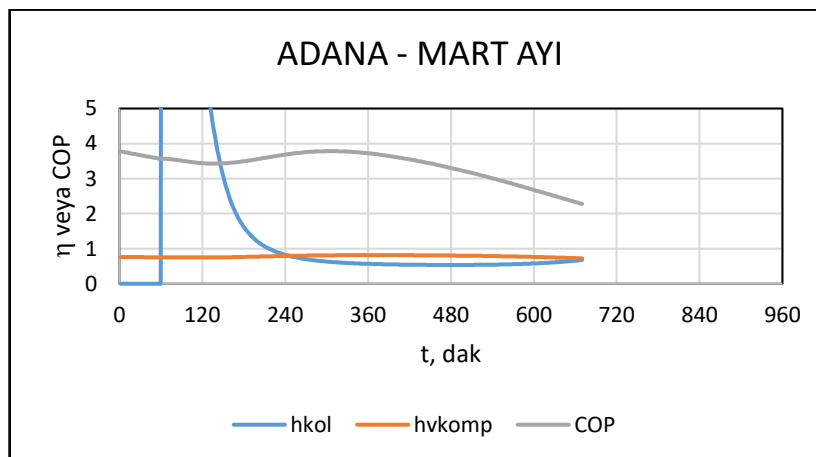
Şekil 7.6. Adana ili Şubat ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



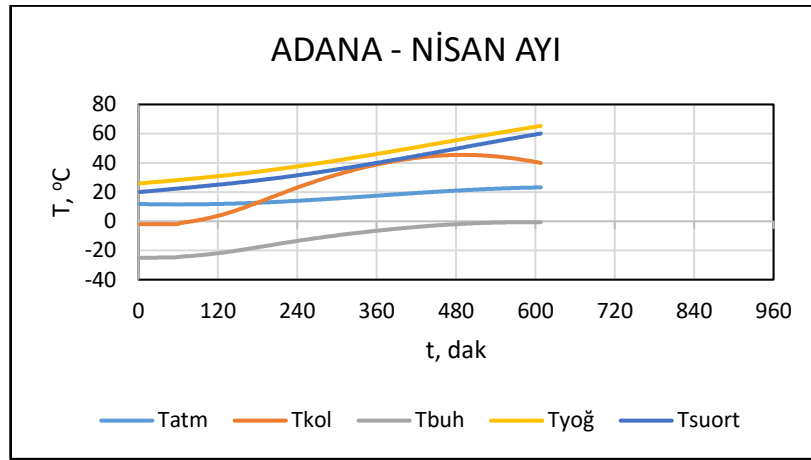
Şekil 7.7. Adana ili Mart ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



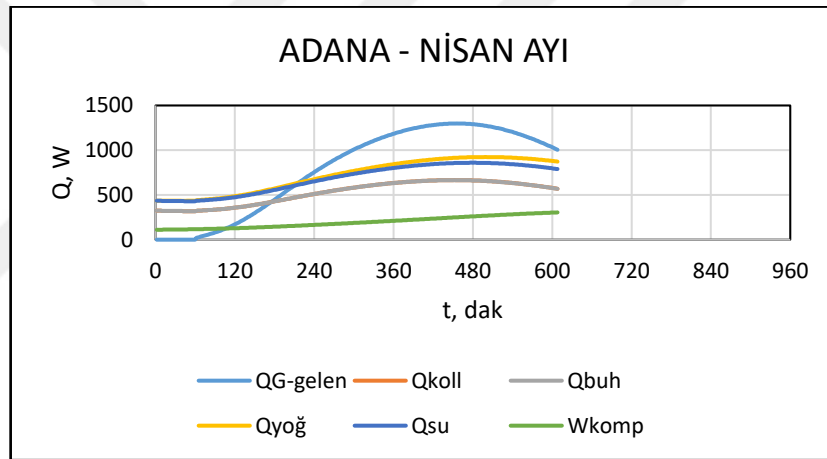
Şekil 7.8. Adana ili Mart ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



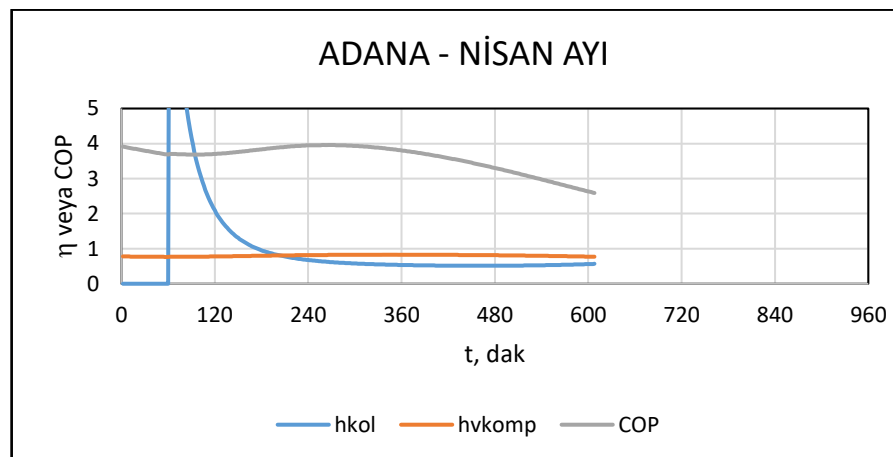
Şekil 7.9. Adana ili Mart ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



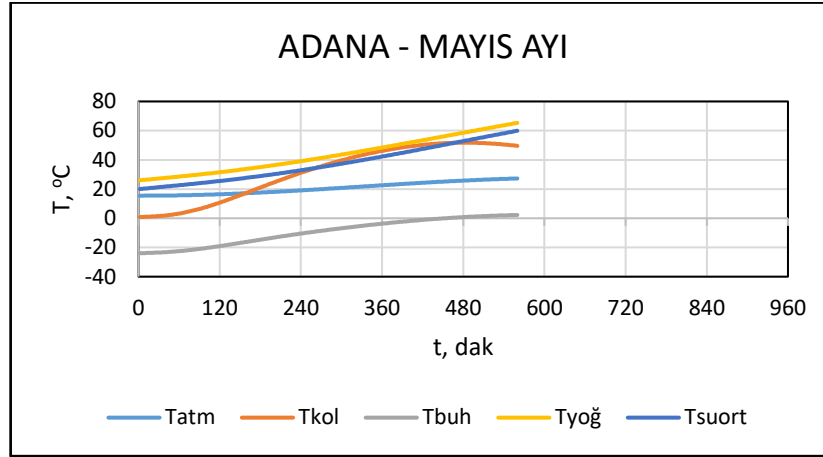
Şekil 7.10. Adana ili Nisan ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



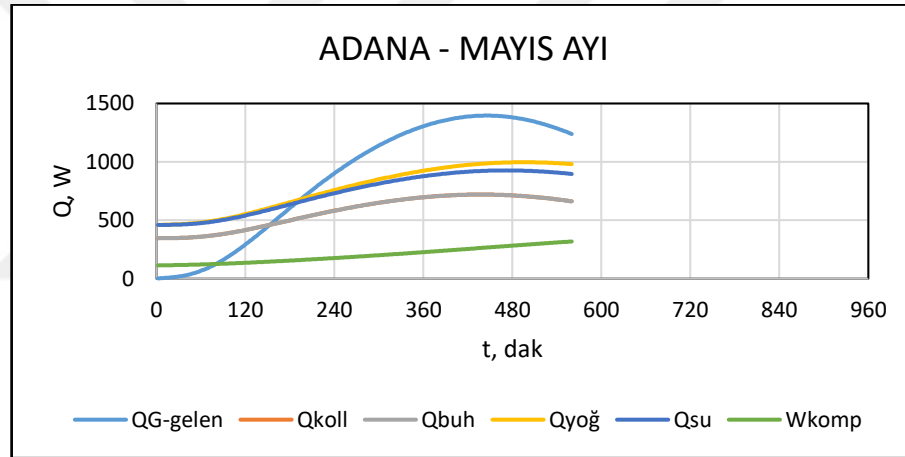
Şekil 7.11. Adana ili Nisan ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



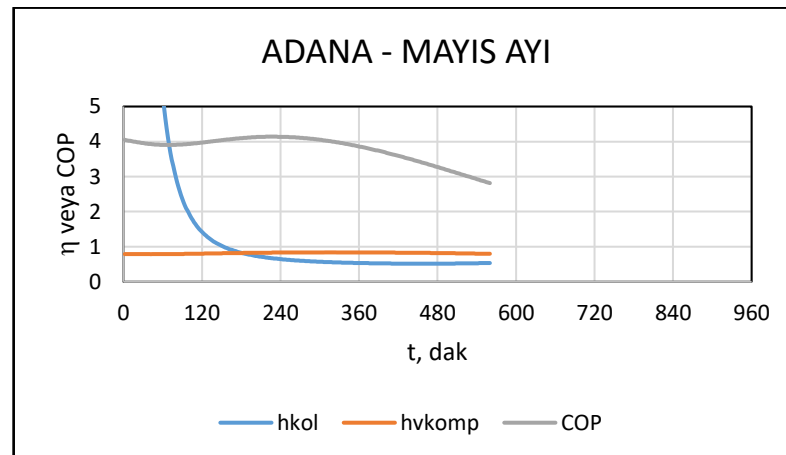
Şekil 7.12. Adana ili Nisan ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



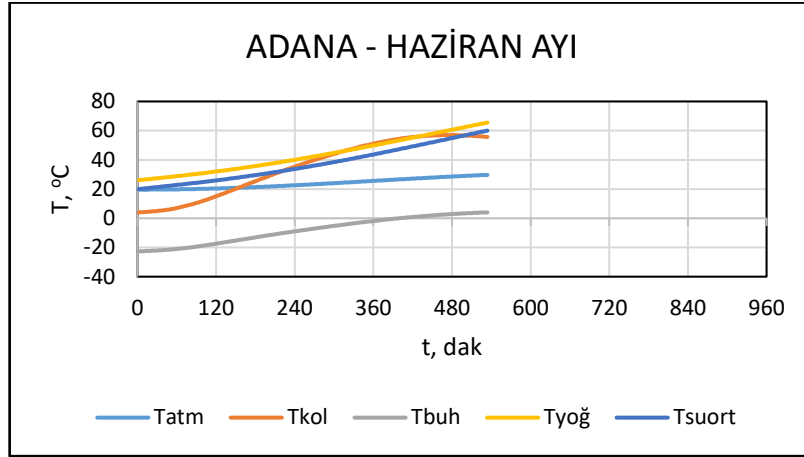
Şekil 7.13. Adana ili Mayıs ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



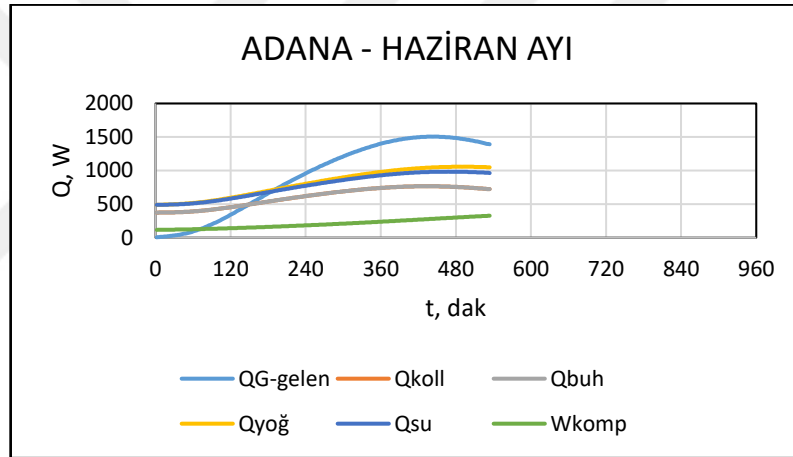
Şekil 7.14. Adana ili Mayıs ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



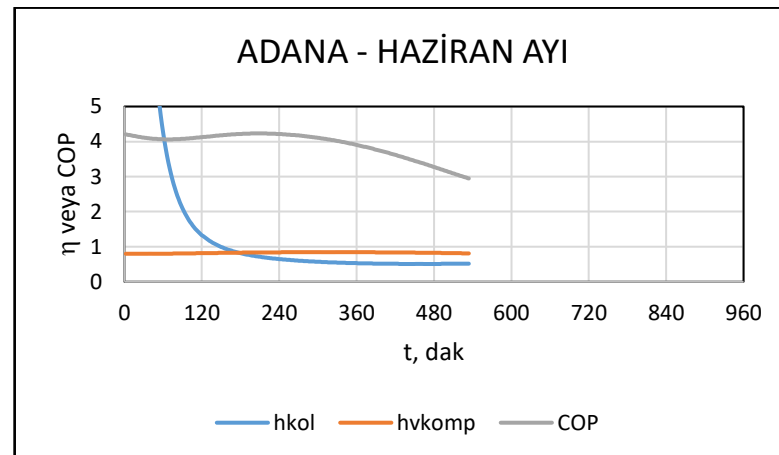
Şekil 7.15. Adana ili Mayıs ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



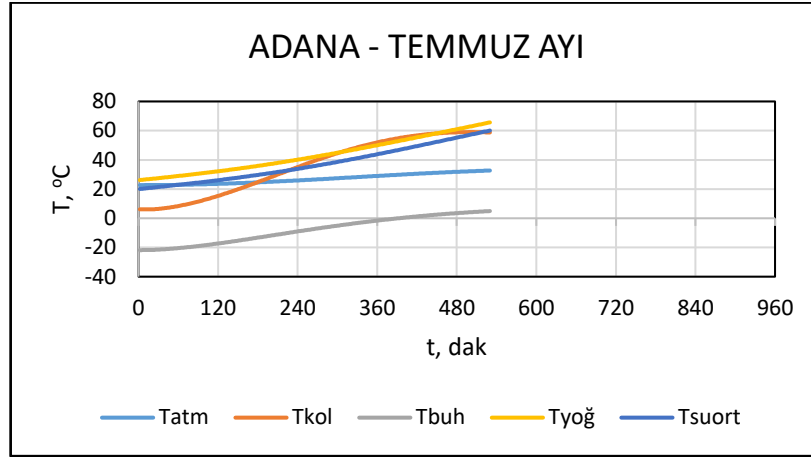
Şekil 7.16. Adana ili Haziran ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



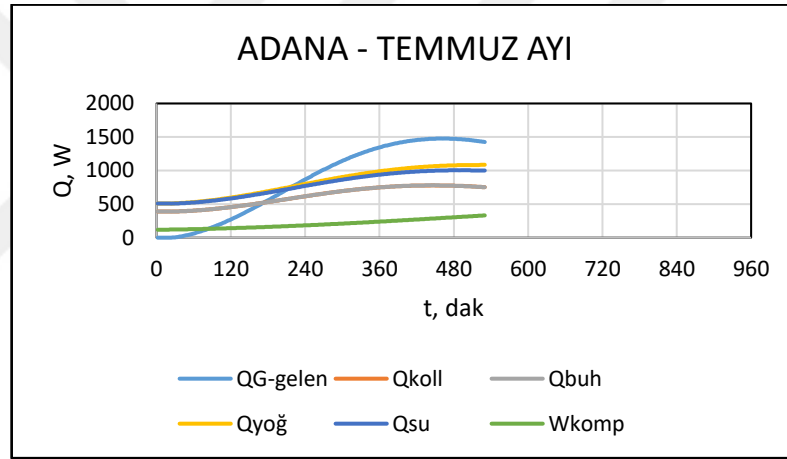
Şekil 7.17. Adana ili Haziran ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



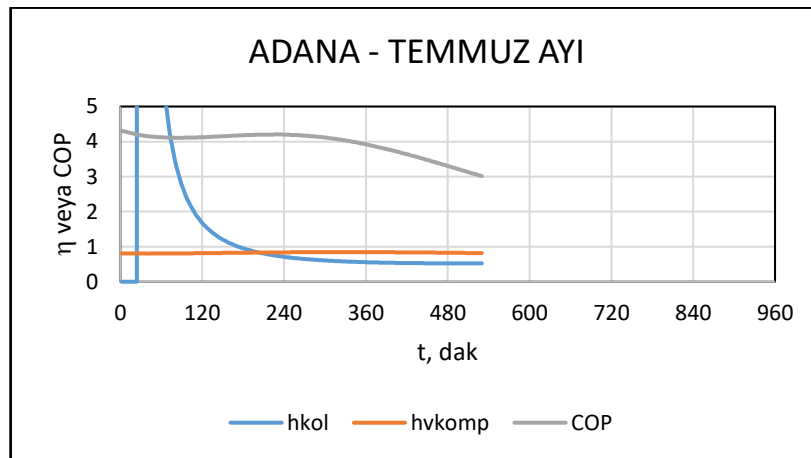
Şekil 7.18. Adana ili Haziran ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



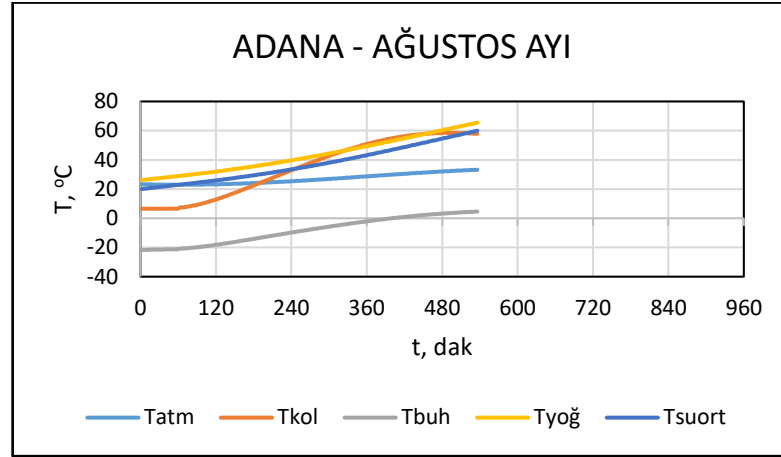
Şekil 7.19. Adana ili Temmuz ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



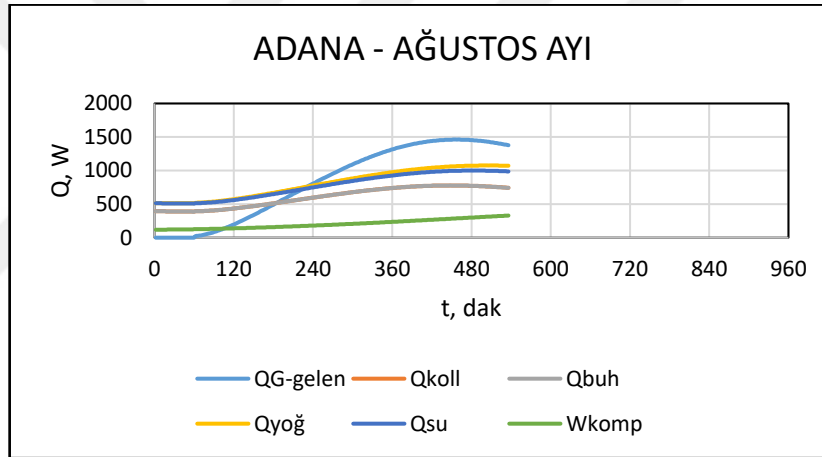
Şekil 7.20. Adana ili Temmuz ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



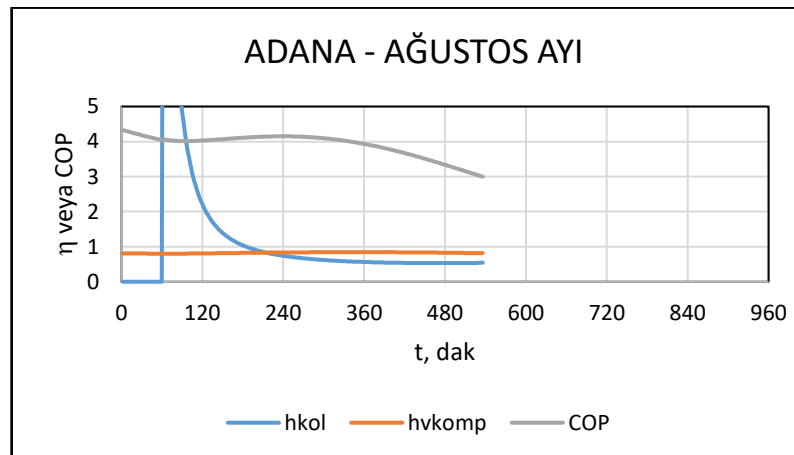
Şekil 7.21. Adana ili Temmuz ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



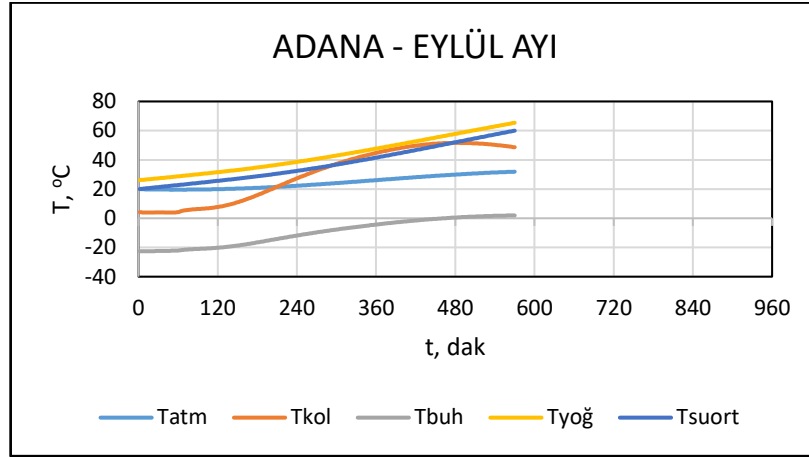
Şekil 7.22. Adana ili Ağustos ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



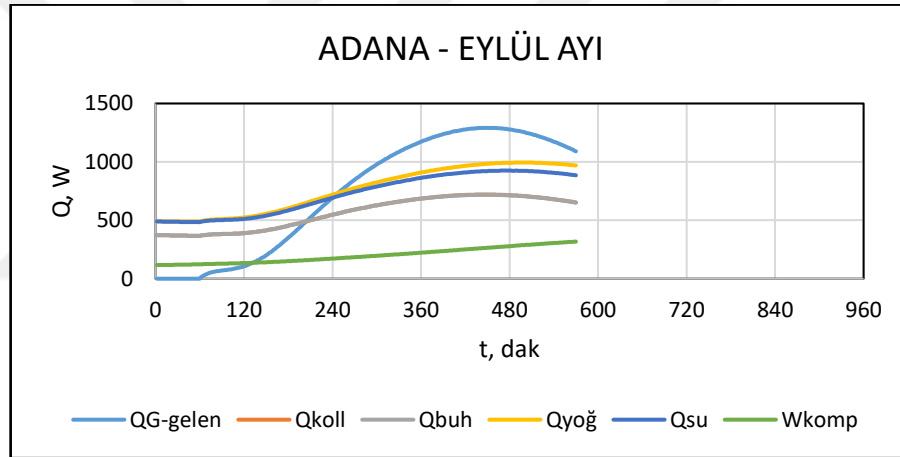
Şekil 7.23. Adana ili Ağustos ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



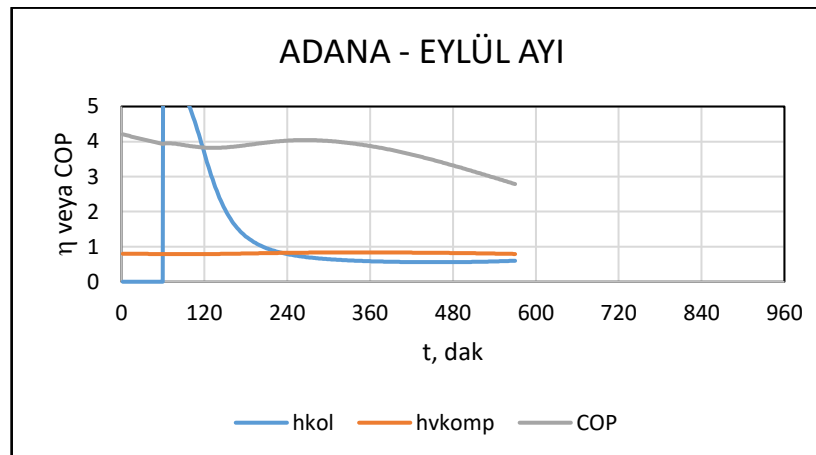
Şekil 7.24. Adana ili Ağustos ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



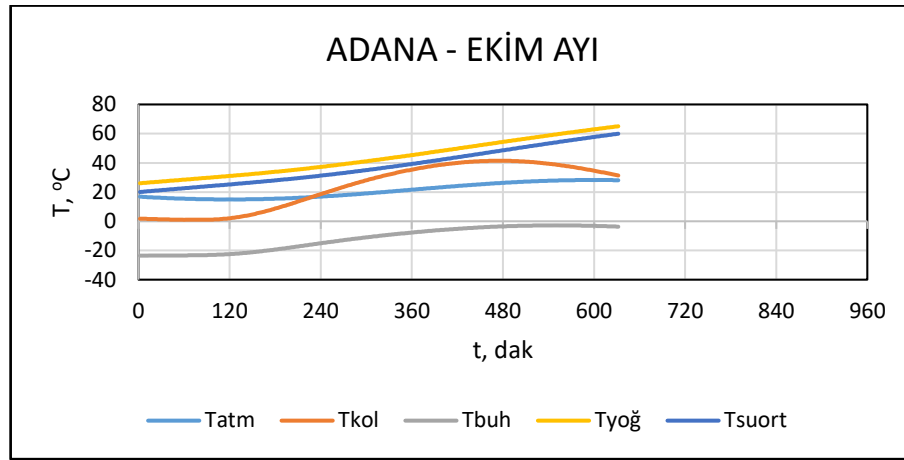
Şekil 7.25. Adana ili Eylül ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



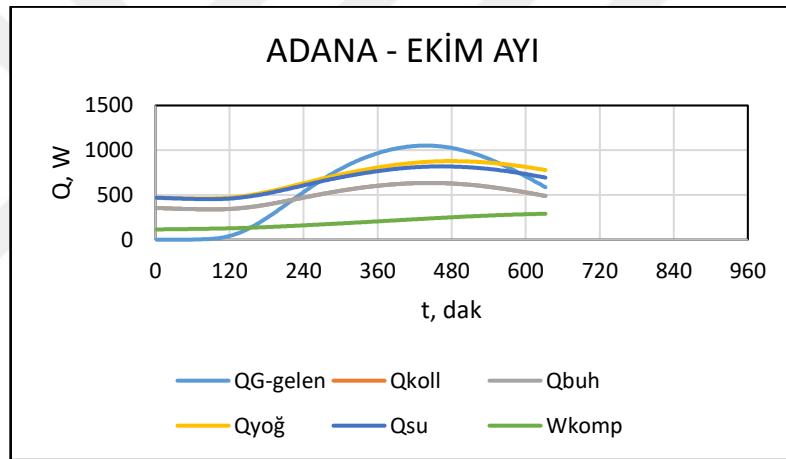
Şekil 7.26. Adana ili Eylül ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



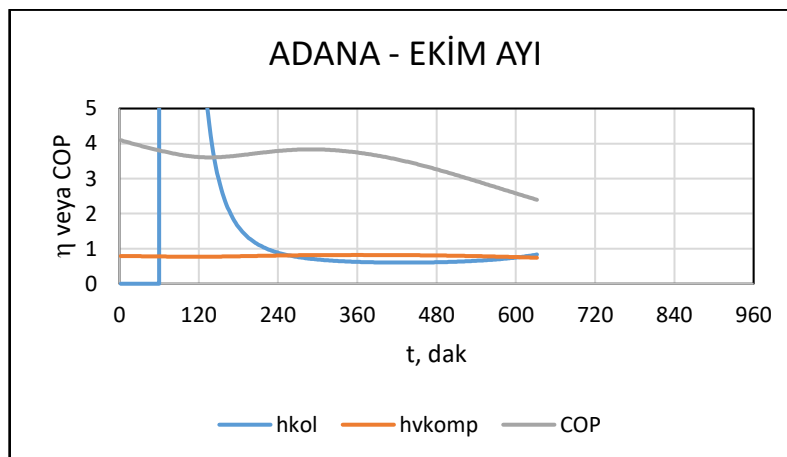
Şekil 7.27. Adana ili Eylül ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



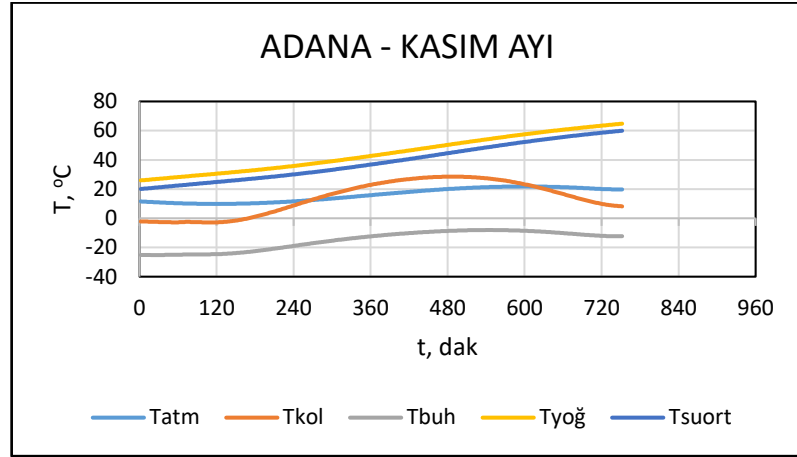
Şekil 7.28. Adana ili Ekim ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



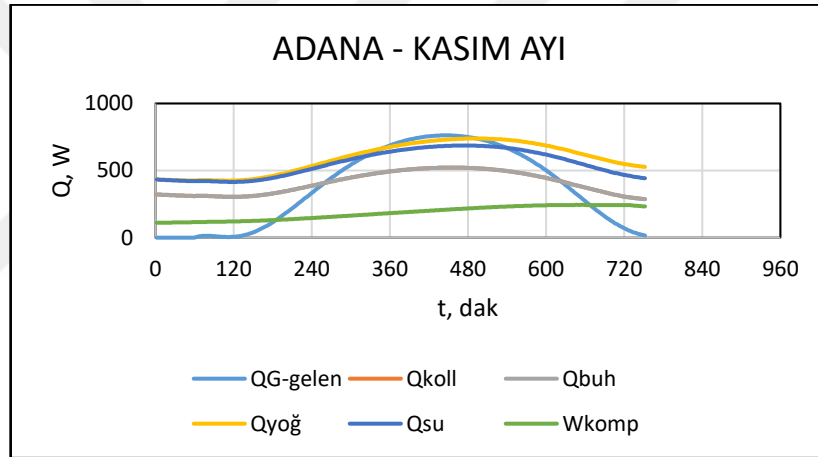
Şekil 7.29. Adana ili Ekim ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



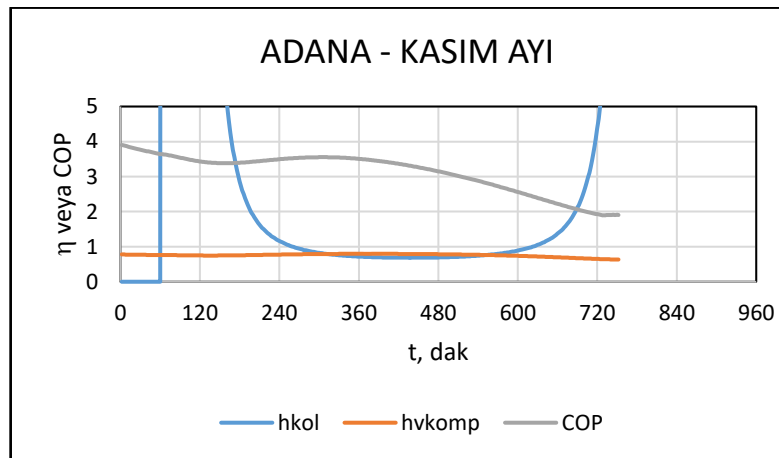
Şekil 7.30. Adana ili Ekim ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



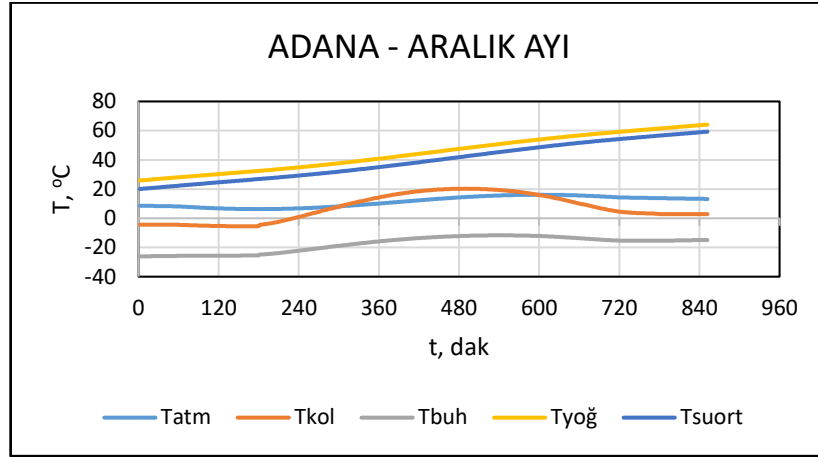
Şekil 7.31. Adana ili Kasım ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



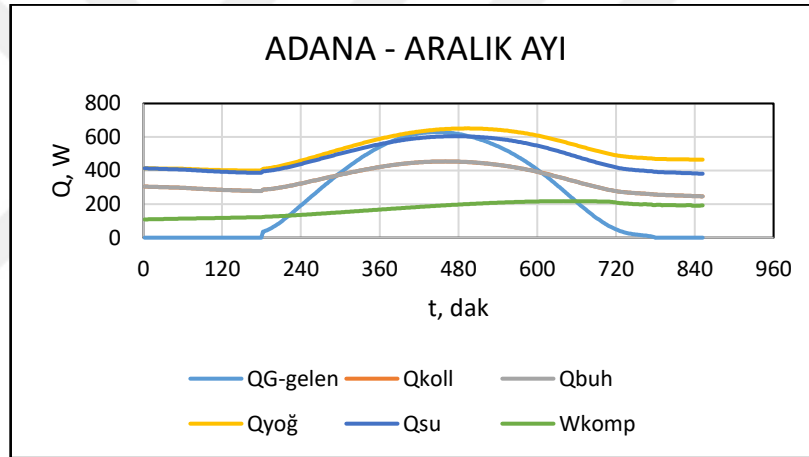
Şekil 7.32. Adana ili Kasım ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



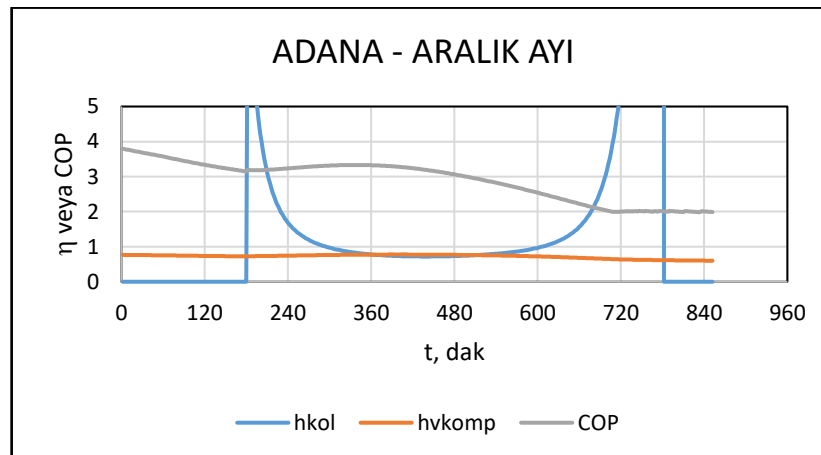
Şekil 7.33. Adana ili Kasım ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



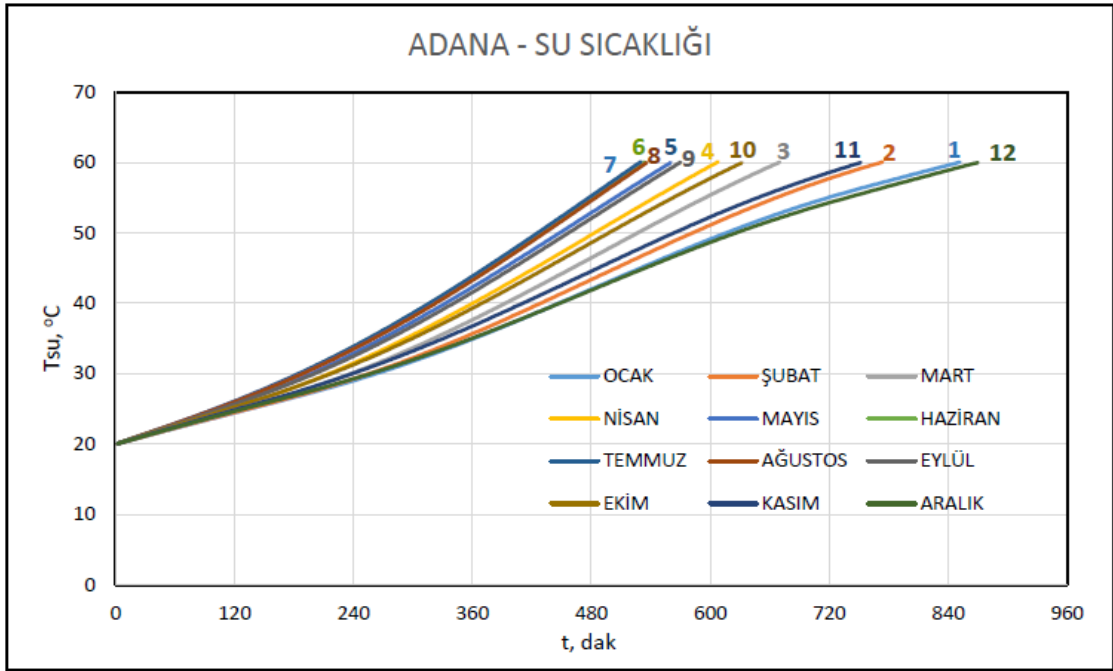
Şekil 7.34. Adana ili Aralık ayı için sıcaklıkların zamanla değişimi.



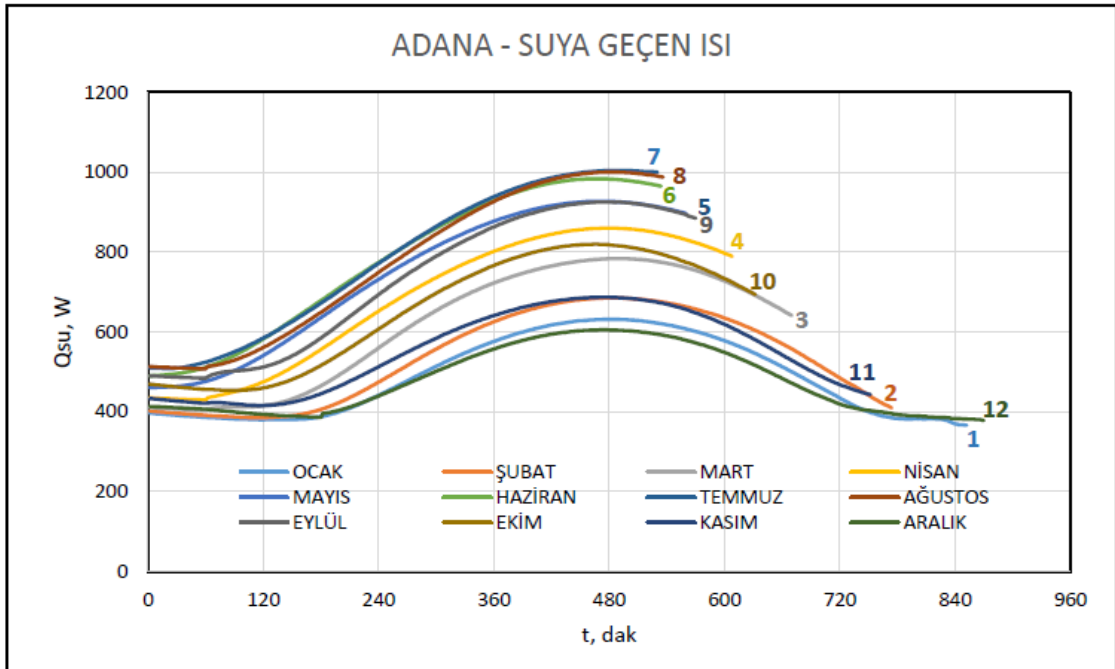
Şekil 7.35. Adana ili Aralık ayı için ısı alışverişi miktarlarının zamanla değişimi.



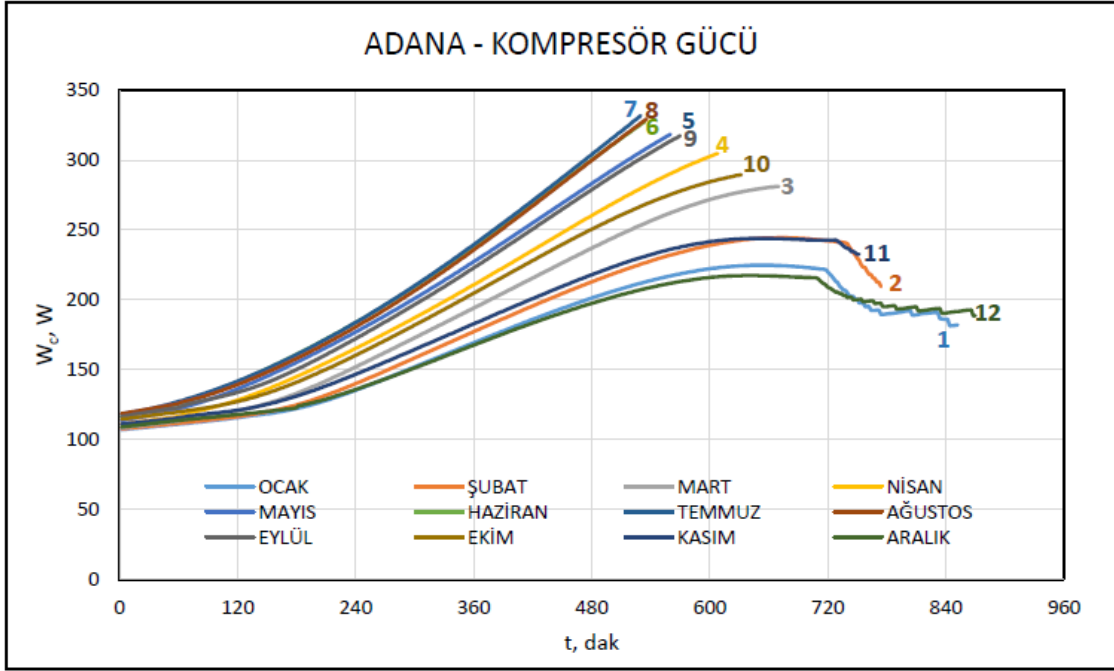
Şekil 7.36. Adana ili Aralık ayı için verim ve etkenlik değerlerinin zamanla değişimi.



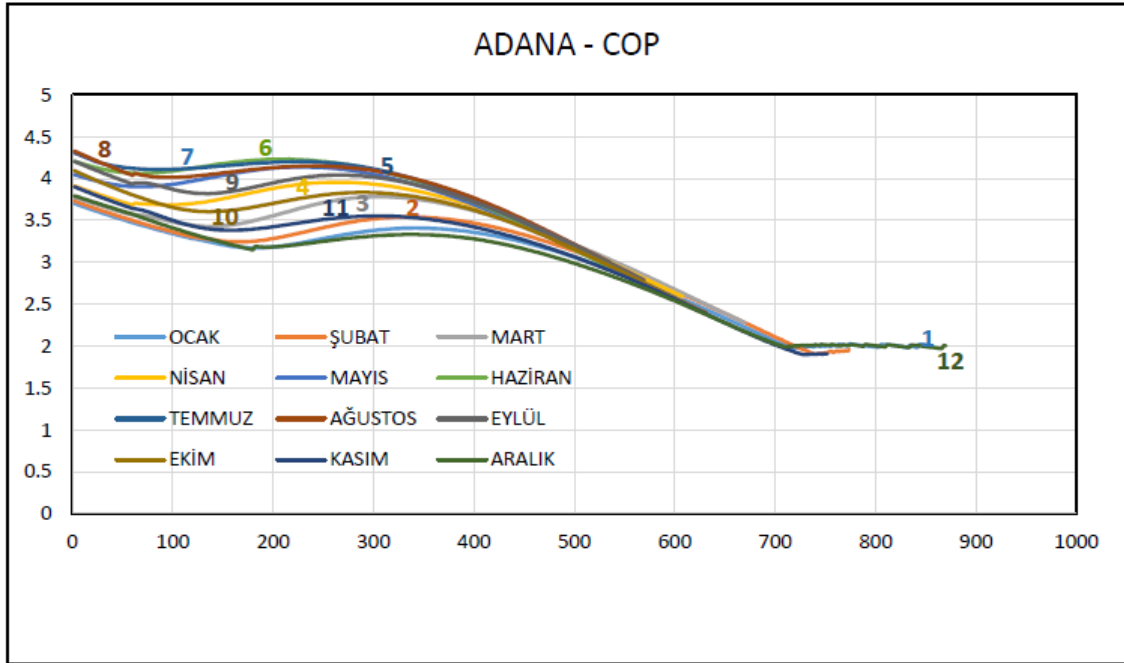
Şekil 7.37. Adana için tanktaki su sıcaklığının aylara göre zamanla değişimi.



Şekil 7.38. Adana için tanktaki suya geçen ısının aylara göre zamanla değişimi.



Şekil 7.39. Adana için kompresör gücünün aylara göre zamanla değişimi.



Şekil 7.40. Adana için sistem etkenliğinin (COP) aylara göre zamanla değişimi.

8. SONUÇ

Bu çalışmada Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalı Su Isıtıcısı'nın ısıl modellemesi ve analizi için bir algoritma ve MATLAB yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan yazılım ile Adana ilinde sene boyunca güneş ışınımı ve atmosferik koşullar dikkate alınarak Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası (GDIP) sistemindeki 150 litrelik tankın içindeki suyun bir gün boyunca zamana bağlı çıkış sıcaklığı, ısı pompasının yoğunlaştırıcısından atılan ve buharlaştırıcısından çekilen çıkan ısılar, kompresörünün gücü ve verimi, kolektörünün verimi, performans katsayısı (COP) hesaplanarak Isı Pompalı Su Isıtma Sisteminin analizi yapılmıştır.

Bu analizlere göre;

Suyun 20°C' den 60°C' ye ısınması için, ısı pompasının kış mevsiminde, Ocak ve Aralık aylarında 14,5 saat süreyle çalışması gerekirken, bu süre, yaz mevsiminde, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 9 saatin altına düştüğü tespit edilmiştir.

Suya geçen anlık ısı miktarını belirleyen esas parametrenin, gelen güneş ışınımının anlık değeri olduğu tespit edilmiştir.

Isınma başlangıcından sonra 8 saat boyunca artan ısı miktarından dolayı, R134a' nın yoğunlaştırıcuda yoğunlaşma ve buharlaştırıcıda buharlaşma sıcaklıkları arasındaki fark da artmakta, dolayısıyla kompresör gücü de artmaktadır. 8. Saatten sonra yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıkları arasındaki fark, azalmaya başlayan ısı geçişiyle azalmaya geçerken, kompresör gücü, sıcaklıklar yükselmiş olduğu için, yaklaşık 12. Saate kadar yükselişini yavaş da olsa sürdürmekte ancak bu saatten sonra, ışınımın zayıflaması ve sıcaklıkların genel olarak düşmesi ile kompresör gücü de düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir.

Güneş ışınımının olmadığı veya yok denecek kadar az olduğu ve ısı pompasının sadece havadan çektiği ısı ile suyu ısıtabildiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklıkların daha yüksek seyrettiği yaz aylarında, soğuk aylara göre gerekli kompresör gücü yüksek olsa da, suya aktarılan ısının da daha büyük oranda fazla olması nedeniyle, COP değerleri de daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, aşağıdaki hususların incelenmesi ön görülmektedir:

- Bir deneysel sistem kurulup, bu çalışmada üretilen matematik model ve yazılımın doğrulanması.

- Sistemi oluşturan bileşenlerin her birinin modelini, yazılımda alt modüller olarak tanımlamak suretiyle, farklı buharlaştırıcı-kolektör, yoğuşturucu-su deposu veya ısı değıştirici tasarımları için de yazılımın rahatça kullanılabilirliğinin sağlanması.
- Bu sistemi, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Trijenerasyon Sistemi” nin alt ünitesi olarak ele alıp, Trijenerasyon sisteminin modeline ve analiz yazılımına eklenmesi.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Ağı, S. ve Günerhan, H. (2003). Sıvılı Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Verim Arttırma Olanakları. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, (s. 1-18). İzmir.

Alkan, R. (2014). *Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Toprak Kaynaklı Isı*.

Allan, J., Pinder, H., Dehouche, Z. (2016, March 15). Enhancing the thermal conductivity of ethylene-vinyl acetate (EVA) in a photovoltaic thermal collector. *AIP Advances*, s. 2-9.

Al-Rabghi, O., Beirrutu, M., Akyurt, M., Najjar, Y. ve Alp, T. (1992). Recovery And Utilization Of Waste Heat . *Heat Recovery Systems & Chp Journal* s. 463-470.

Badescu, V. (2001). First and second law analysis of a solar assisted heat pump based heating system. *Energy Conversion and Management*, s. 2539-2552.

Bulut, H. (2008). Adana İlinde Eğik Yüzeyle Gelen Güneş Işınım. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, s. 1-6.

Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T. (1999). Bazı İller İçin Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme süresi ve berraklık indeksinin yeni ölçümler ışığında analizi. Güneş Günü Sempozyumu. Kayseri.

Cicibıyık, C. (2012). Parabolik Oluk Tip Güneş Kolektörü ile Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 18s.

Çengel, Y. ve Boles, M. (2008). *Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla*. İstanbul.

Çomaklı, K., Şimşek, F., Özyurt, Ö., ve Bakırcı, K. (2006). Soğutma/Isıtma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Alternatifleri. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 33-45.

Dai, N., Xu, X., Li, S., ve Zhang, Z. (2017). Simulation of Hybrid Photovoltaic Solar Assisted Loop Heat Pipe/Heat Pump System. *Applied Sciences mdpi*, s.2-15.

Erdoğan, K. (2010). Güneş(fotovoltaik) ve/veya Rüzgar Enerjisi Destekli Hibrit Isı Pompası Sisteminin Dinamik Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 130s.

Fazlıç, M. A. (2018). Güneş Enerjisi Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin yardımıyla bir evin ısıtılması, soğutulması ve evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması üzerine fizibilite çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 118s.

Guoying , X., Xiaosong, Z., ve Shimming , D. (2005). A simulation study on the operating performance of a solar–air source heat pump water heater. *Applied Thermal engineering*, s. 1257-1265.

<http://argendustriyel.com//urun-detay-Su-Kaynakli-Isi-Pompasi> adresinden alındı, Argendustriyel. (2019).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://portal.canovateenerji.com/tr-TR/toprak-kaynali-isi-pompasi/> adresinden alındı, Canovateenerji. (2019, Haziran 15).

<http://www.emagrup.com/tr/su-kaynakli-isi-pompalari> adresinden alındı, (2019, Haziran 16). EmaGrup:

<http://yenilenebiliryasam.com/2011/05/gunes-enerjisi-ile-su-istma-sistemleri.html> adresinden alındı, (2011, Mayıs 17). Yenilenebiliryasam

https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=istanbul, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISTANBUL> adresinden alındı, (2019, Haziran 15). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü:

<https://slideplayer.biz.tr/slide/11893081/> adresinden alındı, Çınlar, A., ve Bayır, Y. (2019, Mayıs 22). SlidePlayer.

<https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?WMO=17060&CONT=trtr&LAND=TU&AR T=WST&LEVEL=162&MOD=tab> adresinden alındı, (2018). Weather Online:

<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ADANA> adresinden alındı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (1929-2018).

<https://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsolimpeksgunespaneli.com%2Fgunes-paneli-fotovoltaik-cesitleri-nelerdir%2F&date=2018-10-08>, adresinden alındı, (2019, Mayıs 25). Solimpeks Yenilenebilir Enerji Sistemleri.

Ji, J., Fu, H., He, H., Pei, G. (2009). Performance analysis of an air-source heat pump using an immersed water condenser. *Research Article*, s. 234-245.

Jie, J., Keliang, L., Tin-tai, C., Gang, P., Wei, H., Hanfeng, H. (2008). Performance analysis of a photovoltaic heat pump. *Applied Energy*, s. 680-693.

Kandirmiş, G. (2017). Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili bir Su Isıtma Sisteminin Trnsys Programı ile Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 71s.

Karaca, G. (2017). Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemlerinin Performansının İncelenmesi: Muğla Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 119s.

Kuang, Y., Sumathy, K., Wang, R. (2002). Study on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heating system. *International Journal Of Energy Research*, s. 531-548.

Kuru, M. (2019). Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası ve Doğalgazlı Isıtma, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman, 99s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Küpeli, A. Ö. (2005). Güneş Pilleri ve Verimleri. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 175s
- Li, H., ve Sun, Y. (2017). Operational performance study on a photovoltaic loop heat pipe/solarassisted heat pump water heating system. *Energy and Buildings*, s. 861-872.
- Mohanraj, M., Balyayev, Y., Jayaraj, S., Kaltayev, A. (2017). Research and developments on solar assisted compression heat pump systems – a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 124-155.
- Şener, M. (2013). Etkin Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, 110s.
- Şenol, R., Üçgül, İ., Koyun, A., Acar, M. (2011). 10 MW'lık SDÜ Güneş Güç Kulesi Tesis Tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislikve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 813-821.
- Şensoy, B. (2019). Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemlerinin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 128s.
- Şentürk, A. (2013). Bir Entegre Güneş Kombine Çevrim Santrali Fizibilite Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 15s.
- Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H. (2011). Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma Kurutma Sisteminin Modellenmesi. *Politeknik Dergisi*, 85-91.
- Tabak, C., Dinçer, H., Karayazı, K., Arlan, E., Yıldız, M. H., Karayazı, S. (2009). Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri ile Elektrik Enerjisi Üretimi. III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu. Kocaeli.
- Tong, L. ve Tang, Y. (1997). Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow. Amerika: Second Edition.
- Wu, X. (2017). Theoretical Analysis and Experimental Study on the PVIESAHP System. *Aip Publishing*, s. 2-11.
- Xu, G., Deng, S., Zhang, X., Yang, L., Zhang, Y. (2009). Simulation of a photovoltaic/thermal heat pump system having a modified collector/evaporator. *Solar Energy*, s. 1969-1976.
- Xu, G., Zhang, X., Deng, S. (2011). Experimental study on the operating characteristics of a novel low-concentrating solar photovoltaic/thermal integrated heat pump water heating system. *Applied Thermal Engineering*, s. 3689-3695.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S., Kaynaklı, Ö., Yamankaradeniz, N. (2008). *Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları*. Bursa: Vipaş Yayıncılık.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yılmaz, Ş., Aksu, M., Özer, Z., Özçalık, H. (2012). Matlab ile Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli ile Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu. Bursa.

Yunus, A. ve Michael, A. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. (T. Derbentli, Çev.) İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Zondag, H., Vries, D. d., Helden, W. v. (2003). The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Solar Energy*, s. 253-269.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜLERYÜZ, Betül
Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1993 - Beykoz/İSTANBUL
e-mail : betullerdogan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lise	: Ahmet Ferit İnal Lisesi	2011
Lisans	: Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği	2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2016	Adinamik Mak. Müh.	Tasarım Mühendisi
2016-2016	Asm Tıbbi Cihazlar ve Müh.	Ar Ge Mühendisi
2018-2018	Şafak Lazer	Üretim Müdürü
2018-devam ediyor	İsbak A.Ş.	Üretim Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce