

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



**FOTOVOLTAİK TERMAL (FV/T) KOLLEKTÖRLÜ GÜNEŞ
ENERJİLİ BİR ISI POMPASI SİSTEMİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Şeyma Nur DURGUN

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Enerji Sistemleri Mühendisliği Teknolojileri Programı Isı Tekniği Bilim Dalı
AĞUSTOS 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK TERMAL (Fv/T) KOLLEKTÖRLÜ GÜNEŞ
ENERJİLİ BİR ISI POMPASI SİSTEMİNİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI

Tez Yazarı
Şeyma Nur DURGUN

Danışman
Prof. Dr. Mehmet ESEN

AĞUSTOS 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Fotovoltaik Termal (Fv/T) Kollektörlü Güneş Enerjili Bir Isı Pompası Sisteminin Deneysel Olarak Araştırılması
Yazarı:	Şeyma Nur DURGUN
İlk Teslim Tarihi:	25.07.2021
Savunma Tarihi:	18.08.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Mehmet ESEN Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Mehmet ESEN Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Filiz ÖZGEN Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Fotovoltaik Termal (Fv/T) Kollektörlü Güneş Enerjili Bir Isı Pompası Sisteminin Deneysel Olarak Araştırılması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

18.08.2021

Şeyma Nur DURGUN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu tez çalışmasında Fotovoltaik Termal (FV/T) Kollektörlü Güneş Enerjili Bir Isı Pompası Sisteminin Deneysel Olarak Araştırılması konusu incelenmiştir.

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan ve bana destek sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ESEN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunuyorum.

Maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan özellikle akademik kariyerimde ilerlememi canı gönülden isteyen babam Ömer BAL'a, her koşulda yanımda olup beni yalnız bırakmayan annem Nihal BAL'a, ve kardeşim Ahmet Emirhan BAL'a ve tez yazım aşamasında teknik bilgisi ile bana yardımları ile her zorlukta yanımda olan beni destekleyen eşim Bayram DURGUN'a teşekkür ediyorum.

Teknik bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen Sevil AY'a teşekkür ederim.

Şeyma Nur DURGUN

ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
SİMGELER.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. ISI POMPASI.....	6
3.1. Isı Pompasının Tarihi Gelişimi	6
3.2. Carnot Çevrimi ve Isı Pompasının Çalışma Prensipleri.....	7
3.3. Isı Pompası Sisteminde Kullanılan Elemanlar	9
3.3.1. Kompresör	9
3.3.2. Kondenser (Yoğuşturucu).....	10
3.3.3. Genleşme Valfi.....	10
3.3.4. Evaporatör (Buharlaştırıcı).....	11
3.4. Isı Pompası Çeşitleri.....	11
3.4.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası	12
3.4.2. Hava Kaynaklı Isı Pompası.....	13
3.4.3. Su Kaynaklı Isı Pompası.....	13
3.4.4. Güneş Enerjisi Kaynaklı ısı Pompası.....	14
3.5. Isı Pompası Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar	15
3.5.1. Saf Soğutucu Akışkanlar.....	16
3.5.2. Karışım Soğutucu Akışkanlar	17
4. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ.....	18
4.1. Güneş Kolektörleri	18
4.1.1. Isıtma Amacıyla Kullanılan Güneş Kolektörleri	18
4.1.2. Elektrik Enerjisi Üretimi Amacıyla Kullanılan Güneş Kolektörleri	21
4.2. Fotovoltaik Paneller	23
4.2.1. İnce Film Güneş Panelleri.....	23
4.2.2. Kristal Silikon Güneş Panelleri	24
4.3. PV/T Güneş Kolektörleri.....	26
4.3.1. PV/T Hava Kolektörleri.....	26
4.3.2. PV/T Su Kolektörleri.....	27
5. MATERYAL VE METOT.....	29
5.1. Deney Seti ve Yöntem.....	29
5.2. Enerji Analizi.....	30
6. BULGULAR, SONUÇLAR VE TARTIŞMA	32
ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Fotovoltaik Termal (Fv/T) Kollektörlü Güneş Enerjili Bir Isı Pompası Sisteminin Deneysel Olarak Araştırılması

Şeyma Nur DURGUN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2021, Sayfa: x + 39

Küresel enerji krizi ve fosil yakıtların tüketiminden kaynaklanan çevre kirliliği alternatif enerji kaynaklarını araştırmayı ve enerji verimli sistemler geliştirmeyi zorunlu kılmaktadır. Güneş enerjisi çevre dostu, tükenmez, ekonomik ve erişilebilir olan yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarından biridir. Isı pompalarının bir ısı kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan sistemler daha verimlidir. Isı pompalarını güneş kollektörleri ile birleştirmek için üç yöntem vardır: güneş enerjisi destekli ısı pompaları, fotovoltaik destekli ısı pompaları ve fotovoltaik/termal (PV/T) destekli ısı pompaları. İlk iki yönteme kıyasla PV/T kollektörlerin ısı pompası ile birleşimi özellikle umut vericidir. Çünkü PV/T kollektörler fotovoltaik panelleri ve bir güneş enerjili kollektörü tek bir kollektör içinde birleştirerek hem elektriksel hem de ısı enerjisi eş zamanlı üretebilmektedir. Bu birleşik sistemi kullanarak, ısı pompası buharlaşma sıcaklığındaki artış ve PV/T panel çalışma sıcaklığındaki düşüşten dolayı ısı pompası performansı ve PV/T verimi artırılabilir. Ayrıca güneş kollektörü tarafından üretilen elektrik enerjisi kompresörleri ve pompaları tahrik için kullanılabilir. PV/T destekli güneş enerjili ısı pompası sistemleri PV/T kollektördeki çalışma akışkanına göre sınıflandırılabilir: sıvı soğutmalı kollektör, hava soğutmalı kollektör ve soğutucu akışkan soğutmalı kollektör.

Bu çalışmada, hacim ısıtması için sıvı soğutmalı PV/T destekli bir ısı pompası deneysel olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, PV/T sistem kontrol yöntemlerinin her biri için önemli parametrelerin PV/T sistem enerji kazancı, toplam enerji tüketimi, ortalama ısı pompası performans katsayısı ve toplam sistem performansı üzerindeki etkileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PV/T destekli güneş enerjili ısı pompası, PV/T güneş kollektörü, Performans, Kontrol yöntemi

ABSTRACT

Title of Thesis Start with Capital of each Word then Continue with Small Letters

Şeyma Nur DURGUN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering

August 2021, Pages: x + 39

The global energy crisis and environmental pollution caused by the consumption of fossil fuels make it necessary to seek alternative energy resources and develop energy-efficient systems. Solar energy is one of the renewable alternative energy resources which is environment-friendly, limitless, economical, and attainable. Systems using solar energy as a heat resource of heat pumps are more efficient. There are three methods for coupling heat pumps with solar collectors: solar thermal assisted heat pumps, photovoltaic powered heat pumps, and photovoltaic/thermal (PV/T) assisted heat pumps. Compared to the former two methods, the combination of PV/T collectors with heat pump is particularly promising since PV/T collectors combine photovoltaic panels and a solar thermal collector into a single integrated collector, and are capable of producing both electrical and thermal energy simultaneously. By using this combination, the heat pump performance and the PV/T efficiency can be improved due to the increase in the evaporating temperature of the heat pump and the decrease in the PV/T panel operating temperature. In addition, the electrical energy generated by the solar collector can be used to drive the compressors and pumps. PV/T assisted solar heat pump systems can be classified according to the typical working fluid in the PV/T collector as: liquid-cooled collector, air-cooled collector, and refrigerant-cooled collector.

In this study, a liquid-cooled PV/T assisted heat pump for space heating is experimentally investigated. Based on the results, the effects of the key parameters for each of the PV/T system control methods on the PV/T system energy gain, overall energy consumption, average heat pump coefficient of performance (COP), and the overall system performance were presented.

Keywords: PV/T assisted solar heat pump, PV/T solar collector, Performance, Control method.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Isı pompası ve soğutma makinası çalışma prensibi	6
Şekil 3.2. İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi Akış Şeması ve T-S Diyagramı	8
Şekil 3.3. Kompresörün Çalışma Prensibi	9
Şekil 3.4. Pistonlu Kompresör	10
Şekil 3.5. Kondenser	10
Şekil 3.6. Genleşme Valfi	11
Şekil 3.7. Evaporatör Çalışma Prensibi	11
Şekil 3.8. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Örneği	12
Şekil 3.9. Hava Kaynaklı Isı Pompası Örneği	13
Şekil 3.10. Su Kaynaklı Isı Pompası Örneği	14
Şekil 3.11. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası Örneği.....	15
Şekil 4.1. Düzlemsel Güneş Kolektörünün Yapısı	19
Şekil 4.2. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü	20
Şekil 4.3. Havalı Güneş Kolektörü	20
Şekil 4.4. Parabolik Oluk Tip YGE Sistemleri	21
Şekil 4.5. Frensel Tip YGE Sistemleri	22
Şekil 4.6. Parabolik Çanak Tip YGE Sistemleri.....	22
Şekil 4.7. Güneş Güç Kuleleri	23
Şekil 4.8. Monokristal Güneş Paneli.....	25
Şekil 4.9. Polikristal Güneş Paneli	25
Şekil 4.10. PV/T Su Kollektörlerinin Yapısı	27
Şekil 5.1. Deney Düzenekinin Şematik Görünümü	29
Şekil 6.1. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) PV/T Pompasının Nominal Kütlesel Debisi ile Değişimi ($T_h = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_l = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	32
Şekil 6.2. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) T_h ile Değişimi ($M_n = 600\text{ kg/h}$, $T_l = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	33
Şekil 6.3. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) T_l ile Değişimi ($M_n = 600\text{ kg/h}$, $T_h = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$)	34
Şekil 6.4. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) PV/T Pompasının Maksimum Kütlesel Debisi ile Değişimi ($\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	34
Şekil 6.5. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) Sıcaklık Farkı ile Değişimi ($M_{mak} = 600\text{ kg/h}$).....	35

Şekil 6.6. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) Kollektör Çıkış Sıcaklığı ile Değişimi ($M_{\text{mak}} = 800 \text{ kg/h}$)	35
---	----



SİMGELER

Simgeler

s_1-s_2	: Entropi
Q_H	: Kondenser'den atılan ısı
Q_L	: Evaporatör'den çekilen ısı
W_C	: Kompresördeki iş
m	: Kütle
$h_1- h_2- h_3- h_4$	: Yükseklik
ITK	: Isıtma Tesir Katsayısı
STK	: Soğutma Tesir Katsayısı
COP	:Ortalama Performans Katsayısı
SPF	:Mevsimlik Performans Katsayısı
M_n	:Nominal Pompa Debisi
T	: Sıcaklık
ΔT	:Sıcaklık Farkı
Q	: Birim Zamanda Transfer Edilen Isı
C_p	: Özgül Isı

1. GİRİŞ

Hayatımızın her alanında enerjiye ihtiyaç duymaktayız. Günümüzde teknolojik gelişmelerin etkisiyle enerji tüketimi sürekli artış göstermektedir. Tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü oluşturan elektrik enerjisini elde etmek için birkaç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunların başında fosil yakıt (petrol, doğalgaz, kömür vb.) tüketimi gelmektedir. Fakat fosil yakıtlar; tükenebilir olmasının yanı sıra hava kirliliğine, su kirliliğine, bitki örtüsünün ve toprak özelliklerinin bozulmasına ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Her geçen gün dünya nüfusunun artmasına paralel olarak fosil yakıt kaynakları da azalmaktadır. Bu durum insanoğlunu farklı kaynak arayışlarına yönlendirmiştir. Bu kaynaklar; rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi ve biyokütle enerjisidir. Sürekli olarak kullanılabilir olması özelliğinden dolayı bu kaynaklara yenilenebilir enerji kaynakları adı verilir.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynağı olmasının yanında ülkemizde önemli bir potansiyele sahiptir. Avrupa ülkelerinde 1600 saat olan güneşlenme süresi ülkemizde 2640 saat olarak verilere kaydedilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi Türkiye, güneş enerjisi bakımından önemli bir konumdadır. Bu enerjiyi; güneş kolektörleri ile ısı enerjisine, fotovoltaik paneller ile elektrik enerjisine ve PV/T kolektörleri ile ısı ve elektrik enerjisine dönüştürebiliriz.

Dünyada ısı enerjisinin büyük bölümü ev ve işyeri ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu alanlarda ısıtma yapılırken başlıca kullanılan kaynaklar; doğal gaz, kömür ve elektrik kaynaklı ısıtıcılardır. Bu ısıtıcı sistemlerden elde edilen verim oldukça yüksek olmasına rağmen verimler daha fazla artırılmak istenmektedir. Eski sistemlerin daha verimli sistemlerle yer değiştirmesi çevre kirliliği açısından da önemlidir. Fosil yakıtların daha az kullanılması ile bu yakıtlardan kaynaklı oluşan olumsuz durumların önüne geçilebilir. Verimi artırmak için kullanılacak en iyi yöntemlerden biri sistemde ısı pompası kullanmaktır. Isı pompalarının temel enerji kaynağı elektriktir fakat verimi ölçüldüğünde elektrik kaynaklı ısıtıcılardan yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca gerekli durumlarda soğutma amaçlı olarak da kullanılabilirler. Bütün bu sebepler ısı pompasının tercih edilme durumunu artırmaktadır [1].

Isı pompaları toprak, hava veya su kaynakları ile çalışan sistemlerdir ve uygulamalarda evlerin ve iş yerlerinin çevresindeki hava sıcaklığını, su sıcaklığını, toprak sıcaklığını ya da güneş enerjisini kullanırlar [1].

Bugüne kadar yapılan mekan ısıtma ve sıcak su eldesi çalışmalarında ısı pompaları sadece su, toprak ve hava kaynaklı olarak çalıştırılmamış bu süre zarfında güneş kolektörleri ile beraber hibrit olarak da çalıştırılmışlardır. Hibrit çalışma sistemi avantajı nedeniyle güneşlenme süresi boyunca PV/T kolektör ve ısıtım şiddetinden dolayı ısı pompasının elektrik tüketimi azalmakta bununla birlikte verimi de artmaktadır [1].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fotovoltaik termal kolektörlü güneş enerjili bir ısı pompası sistemi hakkında literatürde birçok deneysel ve teorik çalışma bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Usta [2] güneş enerjisi ile çalışan ısı pompası deney düzeneği kurmuştur. Bu deneydeki elemanların çalışmasını sağlayan sıvı; ısı borusunda etanol, ısı pompasında R12 kullanılmıştır. 1 m³ deney kamarası kullanıp, 1 m² kolektör alanına sahip ısı borulu ısı pompasının ısıtma tesir katsayısını hesaplamıştır.

Yamankaradeniz vd. [3] tarafından yapılan çalışmada İstanbul'da kış mevsiminde güneşli günler için, güneş enerjisi ile çalışan ısı pompasının deneysel ve teorik olarak incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada, İstanbul ilinin mevsim şartlarında havanın açık olduğu günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama değerler alınıp ısıtma tesir katsayıları ve sistemin başka özellikleri incelenmiştir. Isı pompası devresinde kullanılan elemanlar şu şekildedir; maksimum 4.5 kW soğutma değerine sahip hava soğutmalı yoğurturucu, 0,75 kW gücüne sahip tam hermetik kompresör, maksimum 3.5 kW ısı çekebiyen enerji deposuna daldırılmış buharlaştırıcı ve R-12 soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır.

Chyng vd. [4] Tayvan bölgesi iklim şartlarında güneş enerjisinden beslenen ısı pompası ile sıcak su elde edilmesi için gerekli çalışmalar yapmışlardır. Deney yapılmadan önce simülasyon çalışmaları yapılmış çıkan sonuçların simülasyon sonuçları ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Deneyler bir sene boyunca devam etmiş olup çıkan performans katsayıları 1,7 ve 2,5 arasında değişim göstermiştir. Bir yıl boyunca yapılan deneylerde düzeneğin gün içerisinde çalışma süresi; 4-8 saat arasındadır. Yılın büyük çoğunluğunda COP değeri 2,0 olarak ölçülmüştür. Yapılan araştırmanın sonucunda, sistemin performansını daha iyileştirmek adına sıcak suyun depolandığı tankın kapasitesinin artırılabilir olduğu önerisinde bulunulmuştur.

Esen [5] yaptığı çalışmada, mahal ısıtmasında kullanılan güneş enerjisi kaynaklı bir ısı deposu ile ısı pompasının ısı performans değerlerini incelemiştir. Yapılan bu çalışma, Silindirik faz değişimini depolama ile ilgili deneysel bir araştırma olarak yapılmıştır.

Badescu [6] bir ekolojik binanın ısıtma sistemi için enerji kaynağı güneş ışıınımı olan bir model üzerinde çalışma yapmıştır. Isıtma sisteminin en önemli ögesi, bir buhar sıkıştırırmalı ısı pompasıdır. Isı pompası çalışma sistemini analiz etmek için hem birinci yasa hem de ikinci yasa kullanılmıştır. Sonuç olarak, bir uygun elektrik enerjisi depolama sisteminin sağlanması durumunda, fotovoltaik düzeneğin ısı pompası kompresörünü tahrik etmek için gereken bütün enerjiyi sağlayabileceğini göstermektedir.

Sayın vd. [7] çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bu kaynakların kullanılmasının gerekliliğinin üzerine bir araştırmada bulunmuşlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde güneş enerjisinin önemi anlatılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma yöntemi olan fotovoltaik

sistemlerin incelemesi yapılmıştır. Yapılan bu araştırmada fotovoltaiik sistemlerin malzemeleri, bileşenleri, çeşitleri ve yapıları anlatılmıştır. Fotovoltaiik sistemleri, farklı alanlarda kullanım şekline göre gruplandırılmış ve kullanım şekilleri detaylı olarak resimlerle anlatılmıştır. Daha sonra bu sistemlerin kullanımının gerekliliğinden bahsedilmiş ve kullanıldığı takdirde avantajları ve dezavantajları anlatılarak fotovoltaiik sistemlerin önemi vurgulanmıştır.

Charalambousa vd. [8] PV-T sistemler üzerine çalışma yapmışlardır. Daha önce yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen verileri, özellikle PV-T sistemlerin performansını (termal ve elektriksel) etkileyen etmenler üzerinde daha kolay karşılaştırmayı elde etmek için tematik bir biçimde sunmuşlardır. Yazarların yaptıkları bu çalışmada; simülasyon ve deneysel çalışmalar, analitik ve sayısal modeller, ve termal / elektriksel verilerin nitel değerlendirmesi yapılmıştır.

Kandilli vd. [9] yaptıkları bu çalışmada PV-T kolektörlerinin verimlerini gözeterek matematiksel ve deneysel model tasarımlarını yaparak, elde edilen iki modelin de verim karşılaştırmalarını yapmışlardır. Bu çalışmada su, ısı transfer akışkanı olarak kullanılmıştır. Kullanılan PV-T sistem monokristal silisyum fotovoltaiik modülden oluşmuştur. Yapılan termodinamik modellemesi ve iki boyutlu ısı transfer analizi COMSOL Multiphysics yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, ölçümleri yapılan ve model sonucunda hesapları yapılan çıkış suyu sıcaklıkları sonucunda kolerasyon katsayısını 0,97, determinasyon katsayısını 0,94, RMSE değerini 1,92 ve MSE değerini 3,67 olarak bulmuşlardır. Ortalama değerler ele alınıp yapılan hesaplamalarda ise; 13°C dış ortam sıcaklığı, 620 W/m² güneş ışıını ve giriş suyunun sıcaklığı 20°C olduğu şartlardaki deney sonuçlarına göre hesaplanan ortalama ısı verimi 0,27 iken, simülasyon sonuçlarına göre hesap yapıldığında ortalama ısı verim 0,22 olarak bulunmuştur. PV-T sisteminin toplam enerji verimi deneyler sonucunda 0,38, simülasyon sonucunda ise 0,33 olarak ölçüldüğü görülmüştür. Bunun sonucunda araştırmacılar, simülasyondan ve yapılan deneylerden sonra bulunan sonuçların birbiri ile uyum içerisinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Ooshaksaraei vd. [10] termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını kullanarak PV-T hava kolektörünün çalışmasını incelemişlerdir. Sistem performansını gözlemek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. PV hücrenin kullanımına göre; tek yönlü akış, çift yönlü paralel akış, çift yönlü geri dönüşlü akış ve çift yönlü karşı yönlü akış olmak üzere dört farklı şekilde hava bazlı fotovoltaiik termal panel tasarımı yapmışlardır. Farklı şekillerde dizayn edilen kolektörler termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirme sonucu, en yüksek verimliliğe sahip olan PV-T kolektör çeşidi %57-61 ile çift yönlü paralel akışlı sistemler olmuştur. Diğer yandan ekserji verimi değeri %4,43-10,15 olan tek yönlü hava akışlı sistem de tercih edilebilir olarak saptanmıştır. Araştırmacılar; tek yönlü hava akışlı sistemleri elektrik enerjisi üretiminin ön planda olduğu düzeneklerde, çift yönlü hava akışlı sistemleri ise enerji verimliliğinin ön planda olduğu düzeneklerde kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Hazami vd. [11] Tunus şartlarında konutlar için PV-T kolektörler sistemlerinin kullanım potansiyeli üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yazarlar; 2014 yılında Temmuz ayında açık havada kurulan deney setini PV-T kolektör sistemlerinin aktif (su soğutmalı) ve pasif (su soğutmasız) olduğu durumlar için anlık olarak ekserji ve enerji hesaplamalarını yapmışlardır. Aktif durumda anlık ölçüm yapıldığında elektriksel verim %15 ve maksimum termal verim %50 olarak hesaplanmıştır. Tunus şartlarında periyodik yapılan bu ölçüm işlemi TRYNSYS programı ile yapılmıştır. Aktif durumda PV-T sistemin ölçümü yapıldığında elektriksel verimin %3, ekserjinin %2,5 arttığı gözlemlenmiştir. Araştırmanın sonucuna göre; Tunus'ta yer alan konutlarda yıllık sıcak su ihtiyacından %5,33 ve elektrik ihtiyacından %14,6 kazanç sağlandığı hesaplanmıştır.

Ömeroğlu [12] yaptığı çalışmada Havalı bir PV-T sistemin 900 W/m² ışıyım şiddeti altındaki elektriksel ve termal performansını incelemiştir. Bulunan deney sonuçlarına göre, hesaplamaların “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)” analizleri ile karşılaştırılarak doğruluğu onaylanmıştır. Farklı yüzey konfigürasyonunda ve farklı hava hızında deneyler yapmıştır. Bu çalışmada bakır kanatçıklar ısı transfer elemanı olarak kullanılmıştır. Araştırmanın sonucuna göre; aktif soğutmanın PV-T panel sisteminin termal ve elektriksel veriminin iyileşmesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

Ji Ji vd. [13] PV/T kolektörünün güneş enerjisi destekli bir ısı pompası ile birleştirilip çalıştırıldığı yeni bir ısı pompası sistemi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Soğutucu akışkanın soğutma etkisi evaporatör olarak kullanılmıştır. Bu soğutma etkisi PV modüllerinin daha düşük sıcaklıkta çalışmasına izin verir ve böylece fotovoltaiik verimliliği iyileştirilmiş olur. Enerji dönüşüm süreçlerinin analizini yapmak için matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları doğrultusunda fotovoltaiik güneş enerjisi destekli ısı pompasının ayrı ünitelerden dolayı daha iyi performans katsayısına (COP) ve fotovoltaiik verimliliğe sahip olduğu görülmüştür.

R. Daghigh vd. [14] PV/T kolektör sistemleri hakkında mevcut literatürün gözden geçirilmesi ve farklı uygulamalar için ısı giderici olarak soğutucu sıvı çalışması yapmıştır. PV/T sistemlerinde daha fazla ısı ve güç elde etmek için PV hücresini soğutmak gerekir. Bu işlem özellikle sıcak ve nemli bölgelerde pek kolay bir iş değildir. Sıvı tabanlı PV/T kolektörlerindeki sıcaklık dalgalanmaları, güneşin radyasyonundan dolayı oluşan değişikliklere maruz kalan hava tabanlı PV/T kolektörlerinden çok daha az seviyededir. Yapılan çalışmalar sonucunda; su soğutmalı ve soğutucu akışkan hibrit fotovoltaiik sistemlerin olumlu yönleri sunuldu. Sonuç olarak ise, doğrudan genişlemeli güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin daha iyi soğutma sağladığı gözlemlendi.

G. Pei vd. [15] Fotovoltaiik/Termal (PV/T) kolektörler ve güneş enerjisi destekli ısı pompasını (PV/SAHP) deneysel çalışmalar yaparak performans karşılaştırması yapmışlardır. PV/T kolektörleri cam kapaklı ve kapaksız olarak iki şekilde kullanılmıştır ayrıca karşılaştırmalar Çin'in

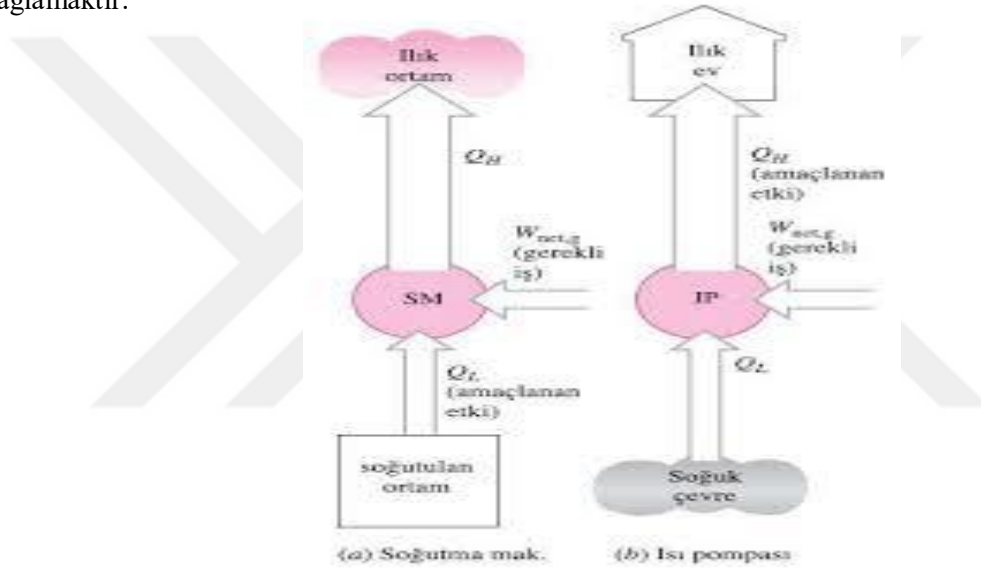
ılıman bir bölgesinde tipik kış günlerinde yapılmıştır. Tek bir cam kapak kullanılan deneyde PV/Fototermik dönüşümlerin ve toplam PV/T dönüşümleri ekserji verimleri sırasıyla; % 12.83, %5.26, %18.09 ve %4.85 olarak ölçülmüştür. Cam kapak olmadan ölçülen değerler sırasıyla şu şekildedir; %13.36, %3.04, %16.40 ve %3.41 Sonuç olarak deneylerde, cam kapağın varlığının PV ekserji verimliliğinde az da olsa bir azalmaya ve fototermik verimin önemli ölçüde iyileştirilebilir olduğu saptanmıştır.

A. James vd. [16] fotovoltaiik termal kollektör kullanan ısı pompası sistemlerinin termal analizleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Fotovoltaiik termal kollektörlerin modellemesinde kullanılan denklemlere yer verilmiştir. Kullanılan bu denklemler ile ısı pompası sistemlerinin termodinamik performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bu ısı pompası sistemlerinde fotovoltaiik termal kollektörlerin kullanılmasının su ısıtma, alan ısıtma ve kurutma uygulamaları için iyi bir potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sandeep S. Joshi [17] yaptığı çalışmada, PV/T fotovoltaiik termal sistemlerin geniş çaplı araştırmasını yapıp çeşitliliği üzerinde bilgiler vermiştir. Fotovoltaiik termal sistemler; güneş radyasyonlarını ısıtıp elektrik enerjisine dönüşümünü kolaylaştırır. 1970 yılından beri bu sistemler üzerinde birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Bunun sonucunda dünya çapında birçok araştırmacı tarafından çeşitli teorik, matematiksel, sayısal ve deneysel modeller tanıtılmıştır. Yapılan araştırmaların çoğunluğu son on yılda farklı tipteki PV/T sistemlerin üzerinde gerçekleştirilen deneyleri kapsamaktadır.

3. ISI POMPASI

Evrende sıcaktan soğuğa doğru, yani sıcaklığın fazla olduğu ortamdan az olduğu ortama doğru bir ısı transferi olur. Fakat ısıнын bunun tam tersi olan sıcaklığın az olduğu ortamdan fazla olduğu ortama ısı geçişi kendiliğinden gerçekleşmez. Bu durumun olabilir olması için bir ısı pompası veya bir soğutma makinası gereklidir. Isı pompalarının ve soğutma makinalarının çalışma prensipleri Şekil 3.1’de görüldüğü gibi aynıdır fakat çalışma amaçları farklıdır. Isı pompalarının amacı; ortamın sıcaklık değerinin düşmemesi için enerji deposundan alınan düşük sıcaklıktaki ısıнын ısıtılmak istenen ortama iletilmesini sağlamaktır. Soğutma makinelerinin amacı ise; soğutulmak istenen ortamdan ısıyı emerek ortamdaki ısıнын çevredeki ısıdan düşük olmasını sağlamaktır.



Şekil 3.1. Isı pompası ve soğutma makinası çalışma prensibi [24]

3.1. Isı Pompasının Tarihi Gelişimi

Isı pompasının, 1824 yılında Cezayir asıllı Fransız subayı Sadi Carnot’un ortaya attığı teori ile ilk adımları atılmıştır. Fakat lord Kelvin 1850’de yani 26 yıl sonra soğutma makinalarının ısıtma için kullanılabileceğini de keşfetmesi üzerine ısı pompası kullanılmaya başlanmıştır. Lord Kelvinin planladığı ısı pompasında taşıyıcı akışkan olarak havayı düşünmüştür. Isı pompasında makineye giriş yapan hava geniş bir silindire alınmış sıcaklık ve basıncı düşürülmüştür. Sıcaklığı ve basıncı düşürülen hava ısı değiştiricisinden geçerken çevreden çekmektedir. İçeriye alınan hava dışarı atılmadan önce atmosfer basıncına sıkıştırılıp sıcaklığı mahal sıcaklığının üstüne getirilmiştir. İlk soğutucu Dr. William Cullen tarafından 1748 yılında eter’in buharlaştırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Ayrıca 1850 yılında James Harrison ilk buz fabrikasını kurmuştur. Patentli olarak üretilen ilk soğutucu ise 1851 yılında Dr. John Gorrie tarafından üretilmiştir. Kompresör makinasının patentini

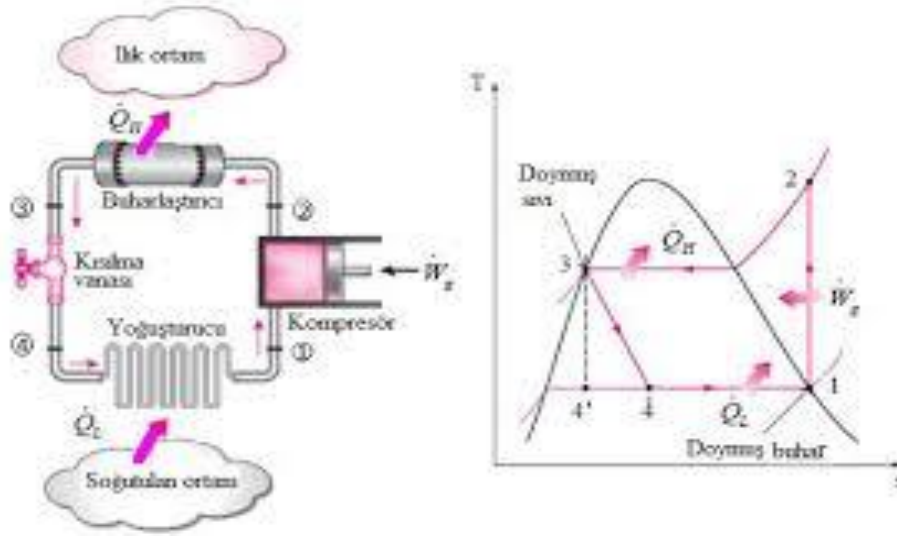
alan Alexandre Catlin Twining, buhar sıkıştırırmalı sistemle buz üretmiştir. Bu dönemlerde yapılan bilimsel çalışmalarda, bilim adamları ısıнын düşük olduğu yerden yüksek olduğu yere sıkıştırılarak transfer edilmesi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır.

1912 yılında İsviçre’de Zoelly ısı pompasını kullanırken gerekli olan enerjiyi topraktan almıştır ve bunun patentini de almıştır. Sonrasında 2. Dünya savaşı sonrasında yaşanan enerji kıtlığı nedeni ile bu konu üzerinde araştırmalara başlanmıştır. 1940-1950’li yıllarda toprak kaynaklı ısı pompası üzerinde çalışmalar artmış olup 1980-1990’lı yıllarda iyice hız kazanmıştır.

Bose; Amerika’da yatay tip toprak ısı değıştiricilerinin zemine farklı şekillerde koyulması üzerine çalışmalara başlamıştır. Bu çalışmalar sonrasında Kopenhag, Marsilya ve Paris’de Avrupa Ekonomi Topluluğu komisyonu bu mekanizmanın buralarda da kullanılmasını uygun görmüştür. 1980’den sonra Parker ve Kalman Metz toprağa giren sabit ısıyı ve bu durumdan sonra topraktaki ısı değışimini incelemiştir. Avrupa’nın Zürih şehrinde ilk ısı değıştiricilerden biri kurulmuştur. Kurulan sistemde Limmat nehri suyu ısı kaynağı olarak, akışkan olarak Freon12, ayrıca birde motorlu kompresör bulunmaktadır. Escher Wyss şirketi tarafından üretimi yapılan bu ısı değıştirici ilk olarak Zürih belediye binası için kullanılmış olup, 60°C soğutabilme kapasitesine ve 175 kW güce sahiptir.

3.2. Carnot Çevrimi ve Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı geçişi; yüksek sıcaklıkta olan bir ortamdan daha düşük sıcaklıkta olan bir ortama kendiliğinden oluşur. Ancak aynı kanuna göre ısıнын düşük sıcaklıktaki bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama geçişi kendiliğinden olamaz. Bundan dolayı sisteme dışarıdan ısı verilmesi gerekir. Bu da soğutma makinaları kullanılarak yapılır. En yaygın kullanılan soğutma çevrimi buhar sıkıştırırmalı olan soğutma çevrimidir. Buhar sıkıştırırmalı olan soğutma çevrimi; iklimlendirme sistemlerinde, soğutma makinalarında ve ısı pompalarında sıkça kullanılır. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin T-S Diyagramı ve akış şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu çevrimin dört ana elemanı olup dört hal değışiminden oluşur.



Şekil 3.2. İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi Akış Şeması ve T-S Diyagramı [25]

İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 numaralı halde kızgın buhar ya da doymuş buhar olarak girer. Sonrasında burada sıkıştırılan soğutucu akışkanın sıcaklık ve basınç değeri artar ve 2 numaralı halde kızgın buhar olarak kondensere (Yoğusturucu) girer. Bu halde soğutucu akışkanın belirlenen sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerindedir. Çevreye ısı geçişi yapılarak soğutucu akışkan 3 numaralı halde kondenserden doymuş buhar şeklinde çıkar. Genleşme vanasından geçerken basıncı düşürülen soğutucu akışkanın sıcaklığı da soğutulan ortamın sıcaklık değerinin altına düşer. Daha sonra soğutucu akışkan 4 numaralı halde evaporatöre girer, soğutulan alandan ısı alır ve buharlaşma meydana gelir.

Evaporatörden doymuş buhar veya kızgın buhar olarak çıkan soğutucu akışkan çevrimi tamamlamış olur.

İdeal ısı pompası çevrimi için ilgili denklemler şu şekildedir;

Kompresör girişinde ölçülen özgül entropi s_1

Kompresör çıkışında ölçülen özgül entropi s_2

Termodinamiğin ikinci yasasına göre; $s_1 = s_2$ (3.1)

Kondenser'den atılan ısı;

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

Evaporatör'den çekilen ısı;

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

Kompresördeki iş;

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

Termodinamiğin 1. Yasasına göre;

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

Aktarılan enerjinin harcanan enerjiye oranına performans katsayısı denir.

ITK (Isıtma Tesir Katsayısı): Isı pompası için

STK (Soğutma Tesir Katsayısı): Soğutma makinası için

$$ITK = Q_H / W_C = m(h_2 - h_3) / m(h_2 - h_1) \quad (3.6)$$

$$STK = Q_L / W_C = m(h_1 - h_4) / m(h_2 - h_1) \quad (3.7)$$

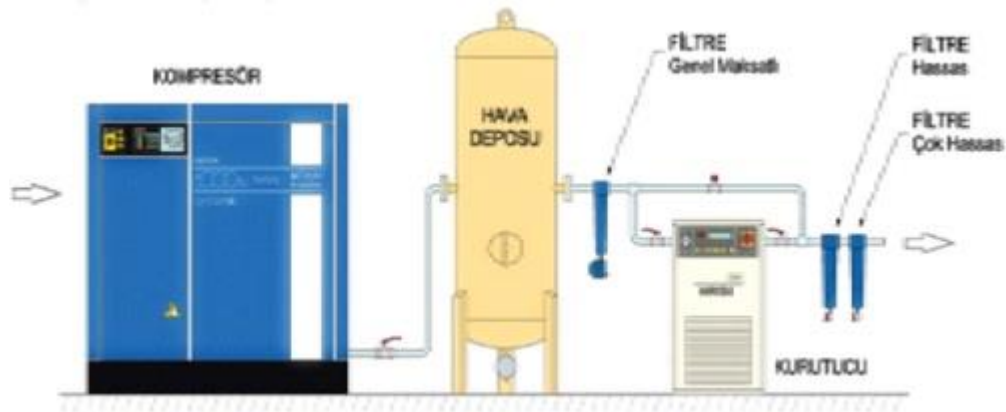
Bu durumda;

$$ITK = STK + 1 \text{ olur.} \quad (3.8)$$

3.3. Isı Pompası Sisteminde Kullanılan Elemanlar

Isı pompası sistemlerinde 4 temel eleman vardır. Bunlar; kompresör, kondenser (yoğusturucu), genleşme valfi, evaporatör (buharlaştırıcı) şeklinde sıralanabilir.

3.3.1. Kompresör



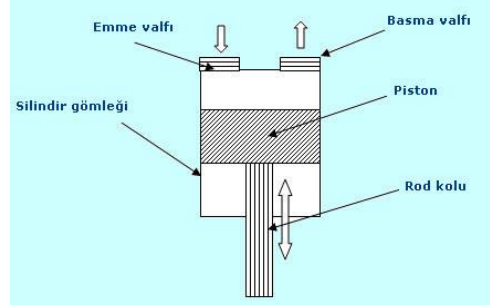
Şekil 3.3. Kompresörün Çalışma Prensibi [26]

Şekil 3.3'te kompresörün çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.

Hava ya da diğer gazları atmosfer basıncından daha yüksek basınç değerine sıkıştırmak üzere kullanılan motorlu makineye kompresör adı verilir. Başka bir tanımı ise; basıncını atmosferden aldığı havayı sıkıştırarak artıran makinalara hava kompresörü adı verilir. Hangi amaçla ve nerede kullanılacağı göz önünde bulundurularak farklı cinsten ve büyüklükte birçok kompresör bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanır.

- Pistonlu Kompresörler (Şekil 3.4'te pistonlu kompresör şematik olarak gösterilmiştir.)
- Eksenel Akımlı Kompresör
- Merkezkaç Kompresör
- Jet Kompresör

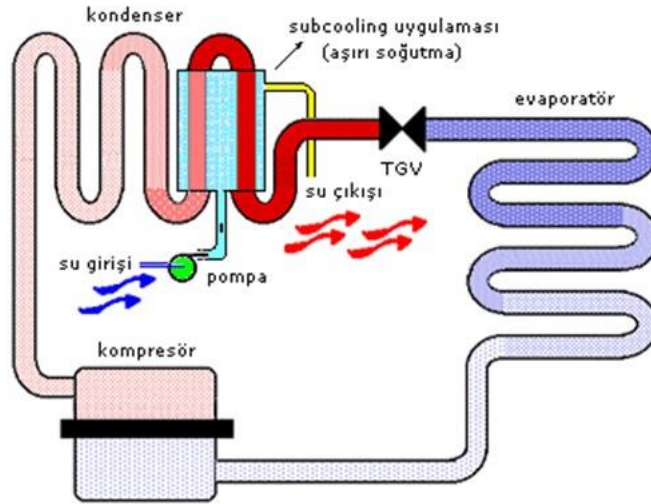
- Dönel Pozitif Yerdeğiřtirmeli Kompresör
- Hidrolik Kompresör
- Gaz ve Buhar Kompresörü



Şekil 3.4. Pistonlu Kompresör [27]

3.3.2. Kondenser (Yoğuşturucu)

Kondenser; soğutucu akışkanın soğutma sistemine sıkıştırılarak girdikten sonra ısınıı etrafına dağıtarak sıvı hale dönüştüren cihazdır. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi soğutma işlemlerinde genel prensip; kompresör aracılığıyla sıkıştırılan basıncı ve sıcaklığı artırılan gazın kondenserde sıvı hale geçmesi ve ısınıı dış ortama vermesidir.



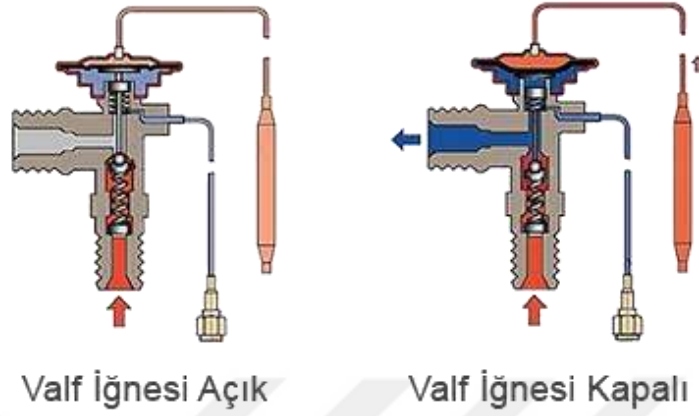
Şekil 3.5. Kondenser [28]

3.3.3. Genleşme Valfi

Kondenserden yüksek basınçta çıkan sıvı halde olan soğutucu akışkanı, istenilen buharlaştırıcı basınca düşüren kısma elemanına genleşme valfi denir. Normal şartlarda genleşme valfinde basınç düşürme işlemi gerçekleştiği sırada entalpi değeri sabit olarak kabul edilir. Küçük

sistemlerde kılcal borular genişleme valfi görevini görürken büyük sistemlerde otomatik genişleme valfi, termostatik genişleme valfi ve el ayar valfi gibi elemanlar işlev görmektedir.

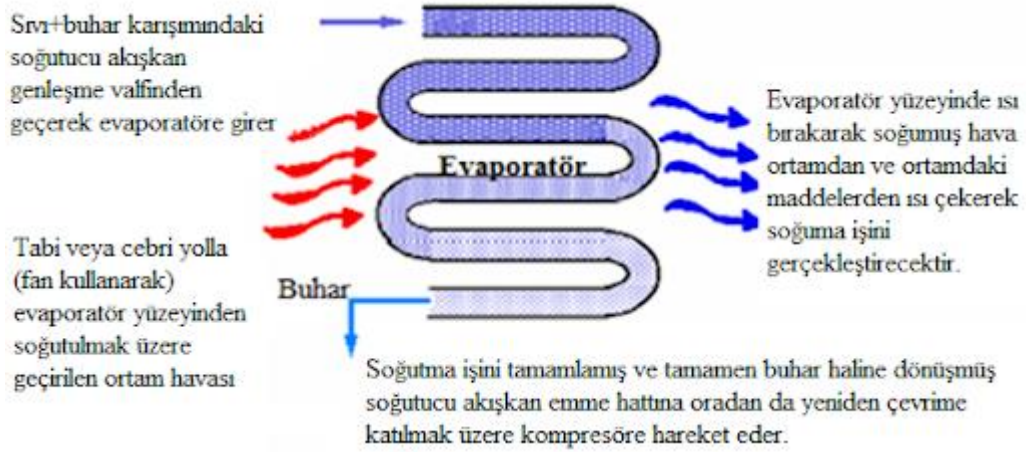
Şekil 3.6’da iğnesi açık ve kapalı olan genişleme valfleri örneklendirilmiştir.



Şekil 3.6. Genleşme Valfi [29]

3.3.4. Evaporatör (Buharlaştırıcı)

Soğutulmak istenen ortamdan ısıнын çekilmesini sağlamak için soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlayan elemana evaporatör denir. Şekil 3.7’de çalışma prensibi görülen evaporatörler, buharlaştırıcı veya soğutma serpantini diye de adlandırılabilirler.



Şekil 3.7. Evaporatör Çalışma Prensibi [30]

3.4. Isı Pompası Çeşitleri

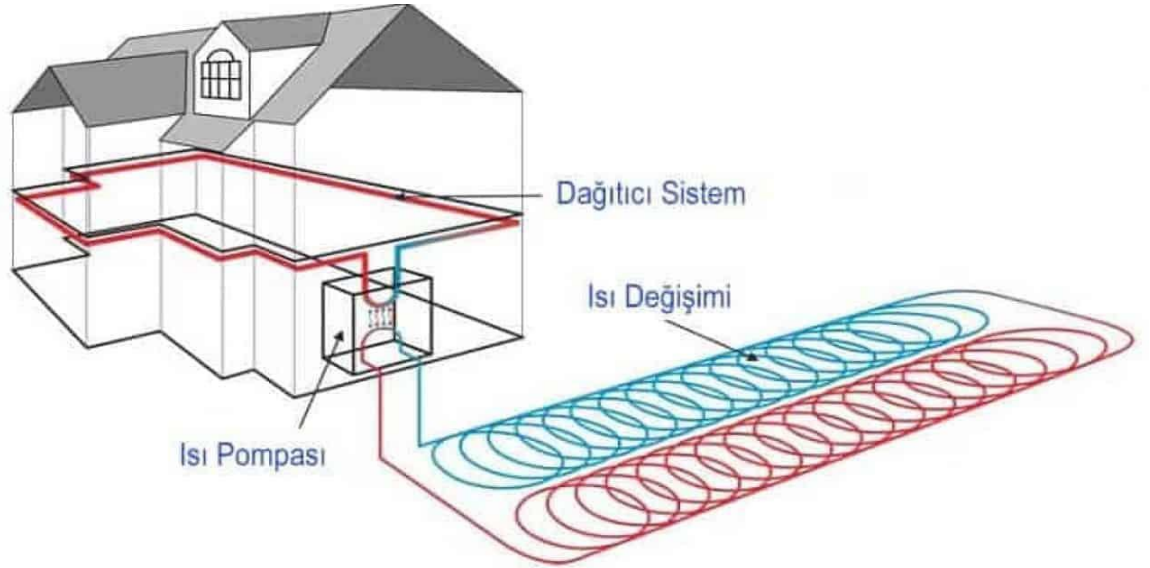
Isı pompası sistemleri kaynaklarına göre 4’e ayrılır. Bunlar; toprak kaynaklı ısı pompası, hava kaynaklı ısı pompası, su kaynaklı ısı pompası ve güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasıdır.

3.4.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprak kaynaklı ısı pompasının enerjisini sağladığı en önemli alan topraktır. Güneş ışınlarının direk temasının olması toprağı vazgeçilmez bir enerji kaynağı haline getirmektedir. Toprağın büyük bir ısıl kapasiteye sahip olması ve kararlı işletme koşullarının olması ısı kaynağı olmasını elverişli hale getirir. Ayrıca güneş ışınlarının yağmur aracılığı ile de toprağa bıraktığı bir enerji vardır. Toprak bütün bu enerjileri depo eder. Toprağın bu özelliği; özellikle karasal iklimin görüldüğü bölgelerde ısı pompası için oldukça avantajlıdır. Toprağı kaynak olarak kullanan ısı pompaları ısıyı topraktan 2 şekilde çeker.

1. Yatay Toprak Isı Değiştiricili Sistem
2. Düşey Toprak Isı Değiştiricili Sistem

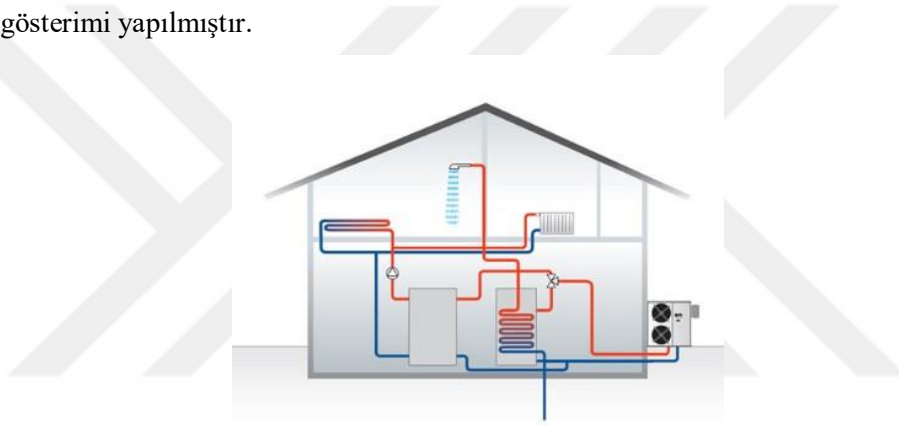
Bu iki tip ısı pompasının da çalışma prensibi aynıdır. Toprak altı devresindeki akışkanın sıcaklığı toprağın enerjisi ile artar ve ısı pompasının buharlaştırıcı bölümüne girer. Bu ünite de akışkan enerjisini soğutucu akışkana verir. Sıcaklığı artmış olan soğutucu akışkan gaz haline dönüşerek kompresöre gider. Soğutucu akışkan bünyesinde oluşan bu enerji yoğunlaştırıcı aracılığı ile ısıtma tesisatında dolaşan akışkana aktarılır. Sıcaklığını kaybeden soğutucu akışkan sıvı faza dönüşür. Bu şekilde topraktan alınan enerji ısıtmada kullanılmış olur. Şekil 3.8’de toprak kaynaklı ısı pompası şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 3.8. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Örneği [31]

3.4.2. Hava Kaynaklı Isı Pompası

Hava kaynaklı ısı pompalarında enerjinin elde edildiği ilk ve en önemli faktör havadır. Havanın; sürekli elde edilir olması, ucuz ve maliyetsiz olması onu cazip kılan etmenlerdir. Bunun yanı sıra ilk kurulum maliyeti en uygun olan ısı pompası da hava kaynaklı ısı pompası sistemleridir. Fakat bu sistemlerde, havanın sürekli olarak değişkenlik göstermesi olumsuz bir durum olarak kabul edilir. Özellikle kar mevsiminin ağır geçtiği bölgelerde buzlanmadan kaynaklı sorunlar oluşabilir. Hava sıcaklığının 0°C veya altında olması durumunda buzlanma görülür. Oluşan buzlanma ısı pompasının buharlaştırıcısında donma olayı gerçekleştirir ve bu olay; ısı geçişinin engellenmesi, performans düşüklüğü ve COP değerinde düşüşe neden olmaktadır. Buzlanmanın görüldüğü durumlarda ayrıca buz çözme sistemlerine duyulan ihtiyaçtan dolayı bu sistemlerin teçhizat ve projelendirme seçiminde zorlanma olmaktadır. Şekil 3.9'da hava kaynaklı ısı pompası şematik gösterimi yapılmıştır.

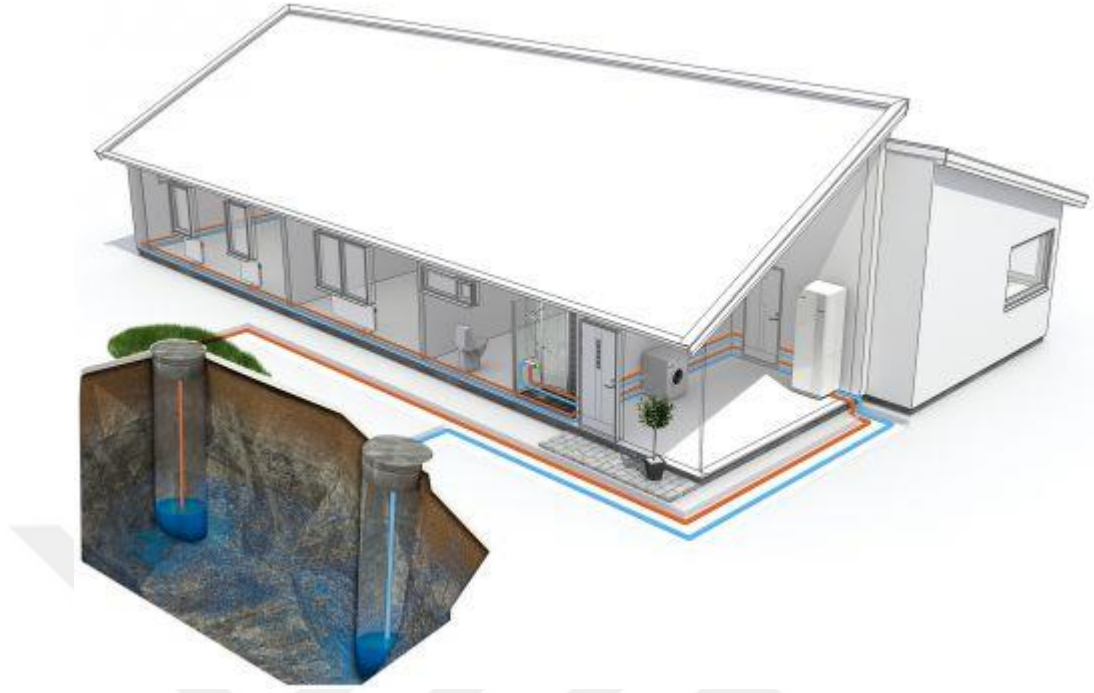


Şekil 3.9. Hava Kaynaklı Isı Pompası Örneği [32]

3.4.3. Su Kaynaklı Isı Pompası

Su kaynaklı ısı pompalarında; ısının elde edildiği enerji kaynağı sudur. Kullanılan su; şehir şebekelerinden, nehirlerden, göllerden, denizlerden, yer altı su kaynaklarından elde edilmektedir. Sistem maliyeti ele alındığında şehir şebeke sistemlerinin kullanıldığı uygulamalar oldukça azdır. Yer altı sularının sıcaklığının kararlı bir yapıda olması tercih edilebilme oranını artırır. Fakat burada da sondaj çalışmalarının maliyeti, suyun içerisindeki mineraller ve korozyona uğrama gibi olumsuz durumlar karşımıza çıkabilir. Nehirler ve göller; yer altı kaynaklarına göre sıcaklık olarak daha düşük olsa da havaya oranla daha kararlı yapıya sahiptirler. Ilıman iklime sahip bölgelerde su sıcaklığı 0°C nin altına düşmediği için ısı kaynağı olarak suyun kullanılması oldukça avantajlıdır.

Ayrıca ısı kaynağı olarak suyun kullanıldığı alanlarda dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta suyun kalitesidir. Suyun; ısı pompa sistemine zarar verecek durumda olmaması için gerekli testler yapılmalı ve önlemler alınmalıdır. Şekil 3.10'da su kaynaklı ısı pompası örneklendirilmiştir.



Şekil 3.10. Su Kaynaklı Isı Pompası Örneği [33]

3.4.4. Güneş Enerjisi Kaynaklı ısı Pompası

Isı pompası sistemlerinin evaporatöründe ısı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılmasının en önemli ve en büyük avantajı, evaporatör sıcaklığının yüksek seçilmesine olanak tanınması ve bundan dolayı sistemin performans katsayısının yükselmesinin sağlanmasıdır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde güneş enerjisinden faydalanmanın bir başka yolu da ısı değiştiricisinin uzunluğunu azaltmaktır. Güneş enerjisinden kaynak olarak yararlanmak için direkt ve indirekt sistem olmak üzere iki yöntem vardır. Direkt sistemlerde kolektörler buharlaştırıcı konumunda sistemde bulunurken, indirekt sistemlerde kolektörlerden geçirilen su ya da su buharı sayesinde sisteme enerji verilir. Direkt sistemlerde güneş panellerinde bulunan soğutucu akışkanın buharlaştırılması atmosfer ısısı yardımıyla meydana gelir. Buhar kompresör tarafından sıkıştırıldıktan sonra yoğuşturucuya girer, burada gaz halden sıvı hale geçerken enerjisini tank içerisindeki suya aktarır, sıvı halde bulunan soğutucu akışkan güneş paneline geri döner ve çevrim tekrarlanır. Endirekt sistemlerde ise; güneş enerjisi yardımıyla içi su dolu olan bir depo ısıtılır ve buharlaştırıcı eleman depoda bulunan su içerisine daldırılarak enerji transferi sağlanır. Bunun sonucunda güneş kolektörleri sisteme ek ısı sağlayarak sistemin verimini artırır [18]. Şekil 3.11’de güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası örneği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası Örneği [34]

3.5. Isı Pompası Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar

Isıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde ısının taşınmasına yardımcı olan akışkanlara soğutucu akışkan denir. Soğutucu akışkanların görevi; faz değişimi sırasında bir ortamdan çekilen ısıyı diğer bir ortama aktarmaktır.

Isı pompası sistemlerinin daha verimli ve güvenilir bir şekilde çalışması için soğutucu akışkanın çalışma ve uygulama alanına göre farklılık gösteren belirli özellikleri bünyesinde bulundurması gerekir. Bu özelliklerin hepsi aynı zamanda yerine getirilemeyecekse bile soğutucu akışkan seçiminde önemlidir.

Soğutucu akışkanlarda olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Az enerji tüketerek çok soğutma elde edebilmelidir.
- Buharlaşma ısı katsayısı yüksek olmalıdır.
- Buharlaştırıcının oluşturacağı basınç olabildiği kadar yüksek olmalıdır.
- Yoğuşma basınç katsayısı düşük olmalıdır.
- Yüzey gerilimi az ve viskozitesi düşük olmalıdır.
- Güvenilir ve emniyetli olmalıdır, nakil işlemlerinde depolanması ve sisteme şarjı kolay gerçekleştirilebilmelidir.

- Soğutma devresinde su bulunmaması gerekir aksi takdirde temas edilmesi halinde zararlı reaksiyonlar oluşabilir.
- Sistemde kaçak olması halinde, çevredeki insanlara ve çevredeki diğer canlılara zarar vermemelidir.
- Hava ile karıştığında patlayıcı ve yanıcı bir reaksiyon meydana getirmemelidir.
- Elektriksel özellikleri uygun olmalıdır.
- Fiyatı düşük ve temini kolay olmalıdır.
- Küresel ısınmaya sebep olmamalı ve ozon tabakasına zarar vermemelidir.

Soğutucu akışkanlar kendi içerisinde saf soğutucu akışkanlar ve karışım soğutucu akışkanlar olmak üzere ikiye ayrılır.

3.5.1. Saf Soğutucu Akışkanlar

Saf soğutucu akışkanlar yapılarındaki malzemeye göre inorganik yapılı ve organik yapılı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

İnorganik yapılı saf soğutucu akışkanlar

Amonyak (NH_3), Karbondioksit (CO_2), su (H_2O) ve kükürtdioksit (SO_2) gibi akışkanlar inorganik yapısında olan saf soğutucu akışkanlara misal olarak verilebilirler.

Organik yapılı saf soğutucu akışkanlar

Bromoflorokarbonlar (Halonlar): Karbon, flor brom veya klor elementlerinin bir araya gelerek oluşturduğu bileşiklerdir. En önemli örneği Halon1301 (R13b1) olup ozon tabakasında en fazla tahribata yol açan maddeler halonlardır.

Kloroflorokarbonlar: Klor, flor ve karbon elementlerinin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Ozon tabakasına tahribatı halonlardan sonra en çok olan soğutucu akışkan grubudur ayrıca yanıcı madde olmamaları ve zehirsiz olmaları avantajları arasındadır. R11 ve R12 bu soğutucu akışkan grubunun en önemli örnekleridir.

Hidrokloroflorokarbonlar: Klor, hidrojen, flor ve karbon elementlerini içerisinde barındıran bileşiklerdir. Ozon tabakasına zararları oldukça azdır. R134a, R32 ve R152a bu soğutucu akışkan grubuna soğutucu akışkanlar olarak örnek gösterilebilmektedir.

Hidroflorokarbonlar: Hidrojen, flor ve karbon elementlerinden oluşan bileşiklerdir. Ozon tabakasına zararları düşünülünce oldukça azdır. R152a, R32 ve R134a bu soğutucu akışkan grubuna soğutucu akışkanlar olarak örnek gösterilebilir.

3.5.2. Karışım Soğutucu Akışkanlar

Saf halde olan soğutucu akışkanların birbirine karışması sonucu oluşan akışkanlara karışım soğutucu akışkanlar denir. Oluşturulma amaçları kullanıldıkları sistemin performans oranını artırmaktır.

Karışım soğutucu akışkanlar 2 şekilde incelenmektedir. Bunlar; azeotropik ve zeotropik olarak adlandırılır. Azeotropik soğutucu akışkanlarda doymuş buhar ve doymuş sıvı bileşimleri termodinamik denge durumu olması halinde birbirlerinin aynısıdır. Bu soğutucu akışkan çeşidi saf soğutucularda olduğu gibi tek kaynama sıcaklığına sahiptir. Bundan ötürü değişken sıcaklıkta ısıtma ve soğutma yapılması pek mümkün olmamaktadır. Azeotropik soğutucu akışkana örnek olarak verilen R500 gazı, %73,8 oranında R12 ve %26,2 oranında R152a gazlarından oluşmaktadır [19].

Zeotropik soğutucu akışkanlar ise iki veya üç bileşenden oluşur. Soğutucu akışkanların doymuş buhar ve doymuş sıvı fazlarının bileşiminde, termodinamik denge anında birbirlerinden farklılık gösterir. Yani, sabit basınç altında oluşacak yoğunlaşma ve buharlaşma proseslerinde sabit sıcaklık oluşmayacaktır. Prosesler sırasında sıcaklık sürekli olarak değişecektir. Zeotropik soğutucu akışkana R401A gazı örnek verilebilir olup bu karışım akışkan %53 oranında R22, %13 oranında R152a ve %34 oranında R124 gazlarından oluşmaktadır [19].

Alternatif soğutucu akışkanlar

Sıkıştırılmalı olan buhar çevrimlerinde alternatif birden fazla soğutucu akışkan kullanılmaktadır. Amonyak gazının zehirli olmasına rağmen ticari uygulamalarda ucuz olması, yüksek etkinlik katsayısının olması, işleme maliyetlerinin az olması, sızıntı olması anında kolay fark edilmesi, ucuz maliyetli ısı değiştiricilerle kullanılabilmesi yönüyle yoğun olarak tercih edilebilmektedir.

Isı pompası çevrimlerinde sıklıkla kullanılan akışkanları şöyle sıralayabiliriz; R22, R134a, R152a, R407C ve R410A.

4. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Günümüzde enerji insanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından biridir. Enerji üretimi ve kullanımı da gelişmişlik göstergesi olarak sayılabilir. Enerji üretim kaynakları arasında ilk sıralarda fosil yakıtlar gelir. Bunlar; kömür, doğalgaz, petrol vb.dir. Fosil yakıtların rezervlerinin tükenmesi, fiyatlarındaki artış ve kullandıktan sonraki çevreye verdikleri zarardan dolayı yeni enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu enerji arayışı sonucunda yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olarak güneş enerjisi artan bir öneme sahip olmuştur.

5 Milyar yıllık bir geçmişi olan Güneş sistemi; nükleer enerji reaktörü olarak en güvenilir olanıdır. Güneş enerjisi, güneşin yapısındaki hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi ile açığa çıkan ısı enerjisine denir. Dünya'ya Güneş'ten ulaşan enerji, mevcut kullanılan enerjinin 15 000 katıdır. Bu enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak gereklidir. Güneş enerjisi kullanım açısından oldukça geniş bir alana sahiptir. Güneş Enerjisi; soğutma, ısıtma, pişirme, kurutma ve elektrik üretimi gibi birçok alanda kullanılır. Türkiye'de en çok sıcak su ve mahal ısıtması amacıyla faydalanılır. Mahal ısıtmak ve sıcak su için güneş kolektörleri, elektrik enerjisi üretmek için de fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. PV-T kolektörlerinin kullanıldığı alanlar ise; hem ısı enerjisi hem de elektrik enerjisi elde edilen uygulamalardır.

4.1. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektör sistemlerinin esasen iki farklı amacı vardır. Bunlardan ilki güneş ışınlarını emerek ısı enerjisine dönüştürür. Bu ısı enerjisini; su, hava vb. bir akışkan ile direkt veya bir depolama ünitesi yardımı ile başka bir alana aktarır. İkincisi ise; güneş ışınlarını ısı şeklinde toplayarak enerji santrallerinde veya ısı motorları yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Sonuç olarak, güneş kolektörleri ısıtma amacıyla ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılır.

4.1.1. Isıtma Amacıyla Kullanılan Güneş Kolektörleri

Isıtmak için kullanılan güneş kolektörleri sulu kolektör ve havalı kolektör olmak üzere ikiye ayrılır.

Sulu Güneş Kolektörleri

Bu kolektör çeşidinde atmosferden absorbe edilen güneş enerjisinin aktarıldığı akışkan sudur. Düzlemsel güneş kolektörleri ve vakum tüplü güneş kolektörleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Düzlemsel kolektörler temel olarak saydam yüzeyi oluşturan cam tabakası, enerjinin toplandığı yutucu yüzey, yutucu yüzey ile birbirine bağlanmış ısı taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır. Yutucu yüzeyin arka tarafında bulunan ısı taşıyıcı borularda suyun ısıtılabilmesi için güneş ışınları saydam cam yüzeyden geçip çoğunlukla

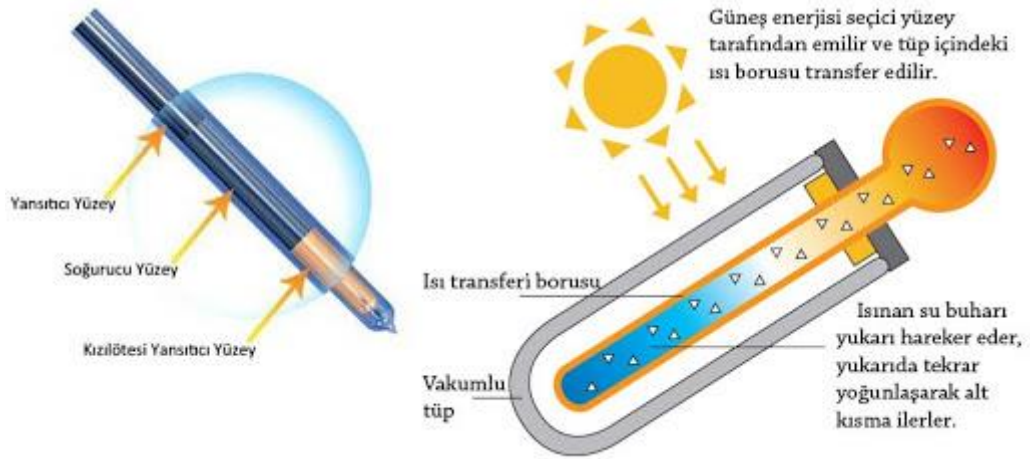
siyah olan yutucu yüzey tarafından absorbe edilmektedir. Emilen enerjinin büyük çoğunluğu kolektördeki yalıtımın yardımıyla sistem içerisinde kalır. Emilen ısı enerjisi uygun alanda kullanılmak üzere taşıyıcı borulara aktarılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri sıcak su eldesi diğer kolektör tiplerine göre basit yapıda ve ucuz olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

Düzlemsel güneş kolektörünün örneklendirilmesi Şekil 4.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Düzlemsel Güneş Kolektörünün Yapısı [35]

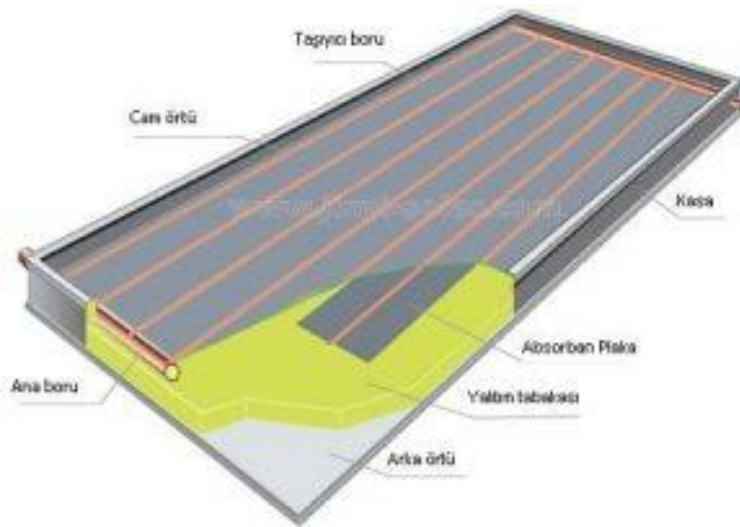
Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri: Vakum tüplü kolektörler, güneşten gelen radyasyonu ısı enerjisine çeviren ve oluşan bu ısı enerjisini en fazla miktarda koruyabilen iç içe iki borosilikat camdan oluşan sistemlerdir. İki cam tüp arasında hava olmamasından kaynaklı olarak taşınım ile ısı transferi oluşmaz bu da ısıнын vakumlu tüp içerisinde korunmasını sağlamaktadır. Tüpte bulunan soğuk ve sıcak suyun kendiliğinden olan döngüsü sistemin herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç olmadan çalışmasını sağlamaktadır. Soğurucu olan yüzey performansının daha güçlü olması, güneşten gelen ışınların gün boyunca kolektör yüzeyine dik alması sebebiyle ısı veriminin yüksek değerlerde olması, konveksiyon ile ısı transferi kaybının oldukça düşük olması sebebiyle sistem yalıtımının hayli yüksek olması vakum tüplü güneş kolektörünün avantajlarıdır. Son olarak, soğuk hava şartlarında vakum tüplü güneş kolektörlerinde donma riski hiç görülmediğinden antifriz ihtiyacı duyulmamaktadır [21]. Vakum tüplü güneş kolektörünün örneklendirilmesi Şekil 4.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü [36]

Havalı Güneş Kolektörleri

Absorbe edilen güneş enerjisinin transfer edildiği akışkanın hava olduğu kolektör çeşididir. Bu kolektörler, absorpsiyonlu soğutma, binaların iklimlendirilmesi, kurutma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Havanın ısı iletim katsayısı suyun ki kadar yüksek olmadığından havalı kolektörler sulu kolektörler kadar enerji tutulamamaktadır. Bu kolektörler yüksek sıcaklıklara ulaşamamakta ve verimleri sulu kolektörlerden düşüktür. Havalı kolektörlerinin donma ve korozyon riskleri bulunmamaktadır. İmalat süreçlerinin kolaylığı, ekonomik açıdan avantajlı oluşları, ağırlıklarının hafif gelmesi sulu kolektörlere karşı olan avantajlarıdır [22]. Şekil 4.3'te havalı güneş kolektörü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Havalı Güneş Kolektörü [37]

4.1.2. Elektrik Enerjisi Üretimi Amacıyla Kullanılan Güneş Kolektörleri

Yoğunlaştırıcı kullanılan ısı güneş enerjisi sistemleri, soğurucu boru ve yansıtıcı yüzey ekipmanları güneş enerjisini ısı enerjisine yüksek sıcaklık vasıtası ile dönüştürmektedir. Bu tür sistemlerde üretilen ısı enerjisi yüksek sıcaklık altında jeneratör, ısı türbini veya 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 sistemlerin arasında en çok kullanılan sistem çeşidi parabolik oluk tip olan sistemlerdir. Öncelikle güneş sisteminden gelen ışınlar bu sistemin parabol olarak yansıtıcı yüzeyine yetişmektedir. Yüzeye gelen bu ışınlar yüzeyden eksen boyunca uzanan toplayıcı soğurucu boruya doğru yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırılan ısı parabolün odak olan noktasında bulunan soğurucu boru içerisinden geçen ısı transfer akışkanına aktarılır ve akışkan sıcaklığı artırılır. Sıcaklığı arttırdıktan sonra buhar evresine geçen akışkan, türbin-jeneratör ünitesine girerek elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Parabolik oluk tip YGE sistemleri Şekil 4.4. ile örneklendirilmiştir.

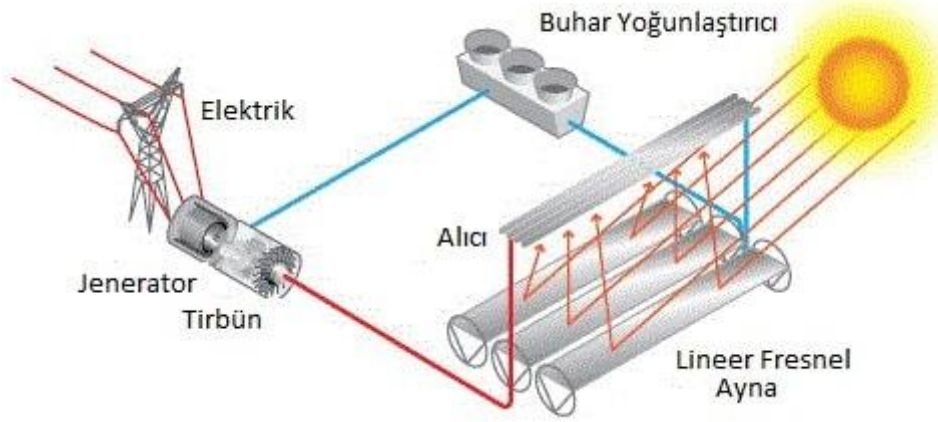


Şekil 4.4. Parabolik Oluk Tip YGE Sistemleri [38]

Frensel Tip YGE Sistemler

Frensel tip YGE sistemi çalışma prensibi olarak parabolik oluk tip YGE sistemlerine benzemektedir. Bu sistemleri birbirinden ayıran özellik ise; parabolik oluk tipte yansıtıcı yüzey yer alırken frensel tipte kollektör üzerinde frensel aynaların bulunması ve yansıtıcı görevi üstlenmesidir. Parabolik oluk tip kollektörlere göre imal edilmesi daha ekonomik olmasına rağmen

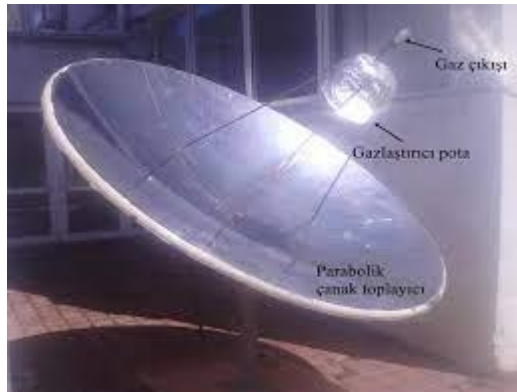
güneşi tek eksenden takip ettiğinden dolayı düşük verimlidir. Bu durum da frensel tip sistemlerin kullanımını azaltmıştır. Frensel tip YGE sistemleri Şekil 4.5 ile örneklendirilmiştir.



Şekil 4.5. Frensel Tip YGE Sistemleri [39]

Parabolik Çanak Tip YGE Sistemleri

Parabolik çanak tip kollektörlerde sistemin yansıtıcı yüzeyini aynalar oluşturur. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere çalışma prensibi ise, güneş sisteminden gelen ışınlam kollektörün odak noktasında yoğunlaşır aynalar aracılığıyla odak noktasında olan stirling motoruna yoğunlaştırılır. Oluşan ısı enerjisini stirling motoru mekanik enerjiye dönüştürür.



Şekil 4.6. Parabolik Çanak Tip YGE Sistemleri [40]

Güneş Güç Kuleleri

Güneş güç kuleleri, güneş enerjisini yoğunlaştırdıktan sonra elektrik enerjisi üreten merkezi tip alıcı güç santralleridir. Güneş ışınlarını iki farklı eksen üzerinden birbirinden ayrı olarak takip

eden, heliostat diye adlandırılan büyük bir alanda bulunan çok sayıda yansıtıcı ayna kullanılmaktadır. Heliostatlar güneşten gelen ışınları merkezi bir bilgisayar yardımıyla merkezde bulunan kulenin üzerindeki alıcıda yoğunlaştırırlar. Elde edilen yoğunlaştırılmış yüksek değerde olan ısı enerjisi, alıcıdaki akışkanı ısıtır. Isınan akışkan su halinde ise buhar jeneratörüne, su halinde değilse ısı değiştiricisine gönderilir bu şekilde buhar üretilir. Üretilen buhar ile türbin-jeneratör ünitesinden yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilmiş olur [23]. Güneş güç kuleleri Şekil 4.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Güneş Güç Kuleleri [41]

4.2. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik cihazlar, üzerlerine düşen güneş ışığını yapılarındaki yarı iletken özelliklere sahip malzemeler sayesinde güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürür. Fotovoltaik hücrelerin üzerine gelen fotonların bir kısmı yansıtılmakta bir kısmı hücre tarafından soğurulmakta ve diğer bir kısmı ise hücre içinden geçmektedir. Fotovoltaik hücreler tarafından soğurulan fotonlar elektrik enerjisini oluşturur. Fotovoltaik hücreler birleşerek modülleri oluşturur, modüller birleşim yaparak panelleri, paneller ise birleşerek dizileri oluşturur.

Fotovoltaik sistemlerin kullanımında iki farklı teknolojiden faydalanılır. Bunlar; ince film güneş panelleri ve kristal silikon güneş panelleridir.

4.2.1. İnce Film Güneş Panelleri

Standart şartlara uygun olarak üretilmiş bir silikon panelin yaklaşık 350 kat küçültülerek üzerinde ışık emici tabakalar bulunan güneş pillerine ince film güneş panelleri denir. Bu panellerin yapısında; cam, plastik ya da metal üzerinde birikmiş ince yarı iletken filmler bulunur. Filmlerin ince olması panellerin hafif ve esnek olmasını sağlamaktadır. Plastik ile kaplanmış ince film hücrelerinde ürün kolay şekil alacak kadar esnektir. Fakat cam ile kaplanmış ince film hücrelerinde

ürün daha ağır ve daha sert olmaktadır. İnce film paneller; Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid ve CIS olarak sınıflandırılmaktadır.

Amorf Silisyum Güneş Paneli

Amorf silisyum güneş paneli ilk üretilen ince film güneş panelidir. Düşük maliyete sahiptir bunun yanı sıra düşük verime de sahiptir. Bu durum bu panelin büyük projelerde kullanımını kısıtlamaktadır. Genelde; hesap makineleri, saat, oyuncak gibi küçük cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Kadmiyum Tellürid Güneş Paneli (CdTe)

Kadmiyum Tellürid güneş paneli adından da anlaşılacağı gibi Kadmiyum ve tellür elementlerinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Kadmiyum Tellürid (CdTe) güneş panellerinin verimi %14-17 arasındadır. Amorf Silisyum panelinden daha yüksek verime ve daha düşük maliyete sahiptir. Genelde; büyük arazi projelerinde kullanılmaktadır. Kadmiyum Tellürid panelleri silikon panellerden ayıran en avantajlı özellik ise; gölgelenmeye maruz kaldığında enerji üretimi kabiliyetini yitirmez diğer kısımlar enerji üretimine devam eder. En fazla kullanılan ince film güneş panelidir.

CIS Güneş Paneli

CIS güneş pilleri, bakır, indiyum ve selenyumdan oluşmaktadır. CIS güneş panelleri %16 verimliliğe sahiptir. Yüksek soğurma katsayısına sahip olduğundan dolayı ışığın az olduğu durumlarda bile en yüksek verimliliğe ulaşan paneldir. Fakat diğer ince film güneş panelleri çeşitlerine göre maliyeti oldukça fazla olduğu için büyük projelerde kullanımı tercih edilmez.

4.2.2. Kristal Slikon Güneş Panelleri

Kristal slikon güneş panelleri, günümüzde güneş santrallerinde en fazla kullanılan paneldir. Verimliliği %14-21 arasındadır. Geleneksel güneş paneli olarak bilinen bu panellerin maliyeti gün geçtikçe azalmaktadır. Yapılarında kullanılan kristale göre monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılmaktadır.

Monokristal Güneş Panelleri

Monokristal güneş panelleri, silikon malzemeden yapılmış olup homojen bir yapıya sahiptir. Verimleri ortalama %16-22 arasında değişiklik göstermektedir. Üretim tekniği ve üretim zamanının uzun olması sebebiyle maliyeti yüksektir. Fiyat dezavantajı yüzünden büyük ölçekli projelerde ilk tercih olmaktan çıkmıştır. Şekil 4.8. ile gösterildiği gibi estetik görüntüleri nedeniyle mimari projelere daha uygundur. Genel olarak monokristal güneş panellerinin kullanım alanları; uydular, uzay istasyonları ve ileri teknoloji ürünleridir.



Şekil 4.8. Monokristal Güneş Paneli [42]

Polikristal Güneş Panelleri

Polikristal güneş panelleri, monokristal paneller gibi homojen özelliklere sahip olmayıp daha dağınık ve basit bir yapıdadır. Bu pillerin verimliliği %14-17 arasında değişmektedir. Monokristal panellere göre verimleri düşük fakat ince film panellere göre verimleri yüksektir. Polikristal panellerin verimi monokristal panellere göre daha düşüktür fakat daha çok tercih edilir. Bunun sebebi, verim maliyet oranının daha yüksek olmasıdır. İki kristal yapıli panelin bir diğerk farkı ise; monokristal panellerin rengi siyaha yakın olmasına rağmen polikristal panellerin rengi maviye yakın olmaktadır. Şekil 4.9'da polikristal güneş paneli örneklendirilmiştir.



Şekil 4.9. Polikristal Güneş Paneli [43]

4.3. PV/T Güneş Kolektörleri

PV/T güneş kolektörleri, güneş ışınlarını elektrik enerjisi ve ısı enerjisine dönüştüren güneş kolektörleridir. Fotovoltaik paneller, güneş sisteminden gelen ışının yaklaşık olarak %15-21'lik bir bölümünden elektrik enerjisi üretimi yaparken geriye kalan kısmını ise fotovoltaik hücrelerin ısınma yapmasına bağlı olarak bağlı olarak ısı enerjisi olarak açığa çıkarır. Güneş panellerinde ideal çalışma sıcaklığı 25° C dir. Bu sıcaklığın 1°C bile yükselmesi panellerde aşırı ısınmaya ve %0,4-0,5 verim kaybına neden olmaktadır. Verim kaybını önlemek için aşırı ısınma durumunu önlemek gerekmektedir. Aşırı ısınmayı önlemek için fotovoltaik hücrelerin alt kısmında borular bulunmaktadır. Bu borular su veya hava aracılığıyla soğutulmaktadır. Bu yöntemle hem oluşabilecek verim kayıpları engellenmekte ve hem de oluşan atık ısı kullanılacak hale getirilmektedir. PV/T kolektörlerinde elektrik üretimi için monokristal hücreler, polikristal yapıli hücreler ve amorf silisyum fotovoltaik sistemleri kullanılmaktadır.

PV/T kolektörlerin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir.

- Elektrik enerjisi ve ısı enerjisini aynı anda elde edebilen bütünleşmiş bir yapıdadır. İki ayrı yapının kurulumu ve bunun maliyeti ele alındığı zaman tek bir sistemin kurulumu ve maliyeti daha ekonomik ve kullanılabilirlik açısından avantajlıdır.
- Bir mahalin 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.
- PV modüller ile kıyaslandığı zaman PV/T kolektörlerinin çalışma sıcaklığı hücrelerin soğutulması ile azaltıldığı için, üretilen elektrik enerjisi geleneksel PV modüllere göre daha fazladır. Bu durum da PV/T kolektörlerin daha yüksek verime sahip olduğunu göstermektedir.
- Isıl kolektörler ile kıyaslandığı zaman mimari açıdan daha estetik bir görüntüye sahiptir.

PV/T kolektörleri yapısından ısıyı azaltma yöntemlerine göre ikiye ayrılır. Bunlar; PV/T hava kolektörleri ve PV/T su kolektörleridir.

4.3.1. PV/T Hava Kolektörleri

PV/T hava kolektörleri, elektrik üretimi ve hava ısıtılmasını sağlayan sistemlerdir. PV/T kolektörlerinde panelin üst yüzeyinde fotovoltaik hücreler bulunur bu hücreler elektrik üretimini gerçekleştirmektedir. Zamanla bu hücreler ısınmaya bağlı olarak verimde düşüklüğe neden olabilir. Verim düşüşünü engellemek için oluşan sıcaklığı azaltmaya yönelik bir soğutma gereksinimi oluşur. Soğutma amacıyla PV/T hava kolektörlerinin üst kısmında delikler bulunmaktadır. Panelin arka bölümünde toplanan ısı, deliklerin içerisinden giren dış havaya aktarılmaktadır. Bu şekilde panelin arka kısmı soğutulmakta ve hava ısıtılmaktadır. Oluşan bu hava gerekli ortamlarda

kullanılmaktadır. Soğutma işlemi hava ile yapıldığından dolayı bu sisteme PV/T hava kolektörü adı verilmektedir.

PV/T hava kolektörleri camlı ve camsız olmak üzere iki farklı şekilde üretim yapılmaktadır. Camsız olarak üretilenler, PV/T modülünden ortama olan ısıyı azaltmaktadır. Camlı olarak üretilenler ise, sıcaklık artışı sağlandığından dolayı sistemin termal verimini arttırmaktadır. PV/T hava kolektörlerinin imalatı PV/T su kolektörlerine göre daha kolaydır. Buna bağlı olarak bakım maliyetleri de PV/T su kolektörlerine göre daha düşüktür.

4.3.2. PV/T Su Kolektörleri

PV/T su kolektörleri, hem su ısıtılmasını hem de elektrik üretilmesini sağlayan sistemlerdir. PV/T kolektörlerinde panelin üst yüzeyinde fotovoltaik hücreler bulunur bu hücreler elektrik üretimini gerçekleştirmektedir. Zamanla bu hücreler ısınmaya bağlı olarak verimde düşüklüğe neden olabilir. Verim düşüşünü engellemek için oluşan sıcaklığı azaltmaya yönelik bir soğutma gereksinimi oluşur. Soğutma amacıyla panellere temas eden borulardan akışkanlar geçmektedir. Soğutma işlemi gerçekleşmesi için panellere temas eden boru ısıyı çeker ve içerisinde bulunan akışkana aktarır. Bu şekilde fotovoltaik hücrelerin sıcaklığı düşürülmektedir. Şekil 4.10'da PV/T su kolektörlerinin yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.10. PV/T Su Kolektörlerinin Yapısı [44]

PV/T su kolektörlerinin de camlı veya camsız olarak üretimi yapılmaktadır. Camlı PV/T su kolektörlerini camsız PV/T su kolektörleri ile kıyasladığımız zaman, camlı kolektörün termal performansı daha yüksek fakat elektriksel performansı daha düşük olarak ölçülmüştür. Elektriksel performansın düşmesi ile sıcaklık artışı doğru orantılı olarak değiştiğinden camsız kolektörün kullanılması gerekmektedir. PV/T su kolektörleri kullanımı sonrası açığa çıkan ısı ve sıcak su mahal ısıtmada kullanılabildiği için oldukça avantajlıdır. Soğuk iklim bölgelerinde kış mevsiminde donma riskinin olması bu kolektörün dezavantajıdır. Fakat boru içerisinde kullanılacak akışkana bir miktar etilen ve glikol eklenerek bu sorunun da çözülebileceği öngörülmüştür. PV/T su kolektörlerinde, PV/T hava kolektörlerine göre verim daha yüksektir. Bu durum da yüksek kapasiteli uygulamalarda PV/T su kolektörlü sistemlerin kullanılmasına katkıda bulunmuştur.

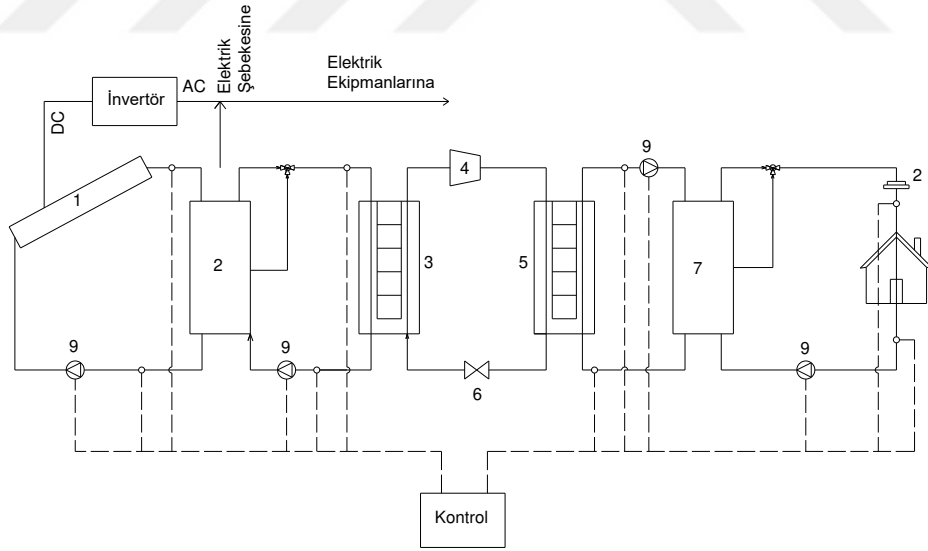


5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deney Seti ve Yöntem

PV/T güneş kollektörü destekli ısı pompasında, ısı pompası buharlaşma sıcaklığının artması ile ısı pompası performans katsayısı artarken, PV/T panel sıcaklığındaki düşüşle de PV/T sistemin elektriksel verimi artar. PV/T güneş kollektörü destekli ısı pompası sistemi içerisindeki PV/T kollektör, güneş enerjisini hem toplar hem de dönüştürür. Bu sebeple PV/T sistemin kontrol yöntemi sadece PV/T sistemin enerji kazancı üzerinde değil komple PV/T destekli ısı pompası sisteminin enerji tüketimi üzerinde de önemli rol oynar. Yani PV/T kontrol yöntemi, PV/T panel sıcaklığı, PV/T verimi, ısı pompası performansı ve dolayısıyla bütün sistem performansını etkileyebilmektedir. PV/T pompasının nominal debisi, maksimum debisi ve çeşitli kontrol parametreleri kontrol yöntemleri arasında sayılabilir.

Bu çalışmada PV/T güneş kollektörü destekli ısı pompası sistemi Şekil 5.1’de görüldüğü gibi ısıtma sezonunda 12 m² döşeme alanlı bir odayı ısıtmak için kullanılmıştır. 22 °C’lik konfor sıcaklığı için oda ısıtma yükü (ısı kaybı) yaklaşık 4 kW olarak belirlenmiştir. PV/T kollektör soğutma sıvısı olarak %25/%50 propilen glikol/su karışımı antifriz kullanılmıştır.



1. PV/T Güneş Kollektörü 2. Depolama Tankı 3. Evaporatör 4. Kompresör 5. Kondenser
6. Genleşme Valfi 7. Çalışma Tankı 8. Yardımcı (ek) Isıtıcı 9. Sirkülasyon Pompası

Şekil 5.1. Deney Düzeninin Şematik Görünümü

PV/T kollektör giriş ve çıkışındaki soğutma sıvısı sıcaklıkları ile PV modül yüzey sıcaklığı T tipi Cu-Co (bakır-konstant) ısıl çiftler (termoelemanlar) yardımıyla tespit edilmiştir. Isıl çiftlerle ölçülen bütün sıcaklık değerleri CR10X veri kaydedicisi ile 30 dakika süre aralıklarıyla kaydedilmiştir. Ayrıca termometre ve ısıl çift ile her 30 dakikada bir dış hava sıcaklığı belirlenmiştir. Kısa devre akımları ve açık devre voltajlarını ölçmek için iki adet dijital multimetreden yararlanılmıştır. PV modül yüzeyine gelen güneş ışımasını PV modül yüzeyine paralel yerleştirilen Kipp&Zonen CM3 solarimetresi ile ölçülmüş ve bu ışıma değerleri CR510 veri kaydedicisi ile 30 dakika süre aralıklarıyla kaydedilmiştir. Deneyler, ısıtma sezonunda (Kasım-Nisan ayları arasında) Elazığ'da yapılmıştır.

5.2. Enerji Analizi

Evaporatör çıkışındaki soğutma akışkan sıcaklığı aşağıdaki Denklem 5.1 ile belirlenmektedir.

$$T_{\text{evaporatör,çıkış}} = T_{\text{evaporatör,giriş}} + \frac{\dot{Q}_{\text{evaporatör}}}{\dot{m}_{\text{evaporatör}} C_{p,\text{su-glikol karışımı}}} \quad (5.1)$$

Kondenser çıkışındaki soğutma akışkan sıcaklığı ise Denklem 5.2 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{\text{kondanser,çıkış}} = T_{\text{kondanser,giriş}} + \frac{\dot{Q}_{\text{kondanser}}}{\dot{m}_{\text{kondanser}} C_{p,\text{su}}} \quad (5.2)$$

Burada $\dot{Q}_{\text{evaporatör}}$ evaporatörde birim zamanda transfer edilen ısıyı (J/sn), $T_{\text{evaporatör,giriş}}$ evaporatör girişinde propilen glikol/su karışımı antifriz soğutma akışkanının sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{evaporatör,çıkış}}$ evaporatör çıkışında propilen glikol/su karışımı antifriz soğutma akışkanının sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $\dot{m}_{\text{evaporatör}}$ evaporatördeki propilen glikol/su karışımı antifriz soğutma akışkanının kütleli debisini (kg/sn), $C_{p,\text{su-glikol karışımı}}$ propilen glikol/su karışımı antifriz soğutma akışkanının özgül ısısını (J/kg $^{\circ}\text{C}$), $C_{p,\text{su}}$ suyun özgül ısısını (J/kg $^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{kondanser,çıkış}}$ kondenserin su çıkış sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{kondanser,giriş}}$ kondenserin su giriş sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $\dot{Q}_{\text{kondanser}}$ kondenserde birim zamanda transfer edilen ısıyı (J/sn) ve $\dot{m}_{\text{kondanser}}$ kondenserdeki propilen glikol/su karışımı antifriz soğutma akışkanının kütleli debisini (kg/sn) göstermektedir.

Denklem 5.3 sistem performansını belirlemede kullanılmaktadır.

$$\text{Sistem performansı} = \frac{\text{Evsel kullanım sıcak su için gereken enerji}}{\text{Isı pompası ve PV/T pompası tarafından kullanılan enerji}} \quad (5.3)$$

Bu çalışmadaki ana performans değerlendirme parametreleri toplam elektrik tüketimi, ısı pompası ortalama COP değeri ve toplam sistem performansıdır. Toplam elektrik tüketimi, ısı pompası, yardımcı ısıtıcı ve pompalar tarafından tüketilen elektrik enerjisinin toplamını gösterir. Isı pompasının COP değeri ve ortalama COP değeri sırasıyla Denklem (5.4) ve (5.5) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{ısı pompası}}}{\dot{W}_{\text{ısı pompası}}} \quad (5.4)$$

$$\text{Ortalama COP} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{COP}_i}{n} \quad (5.5)$$

Burada $\dot{Q}_{\text{ısı pompası}}$ ısı pompası tarafından sağlanan ısıyı (kJ/h), $\dot{W}_{\text{ısı pompası}}$ ise ısı pompası tarafından tüketilen elektriği (kJ/h) gösterir.

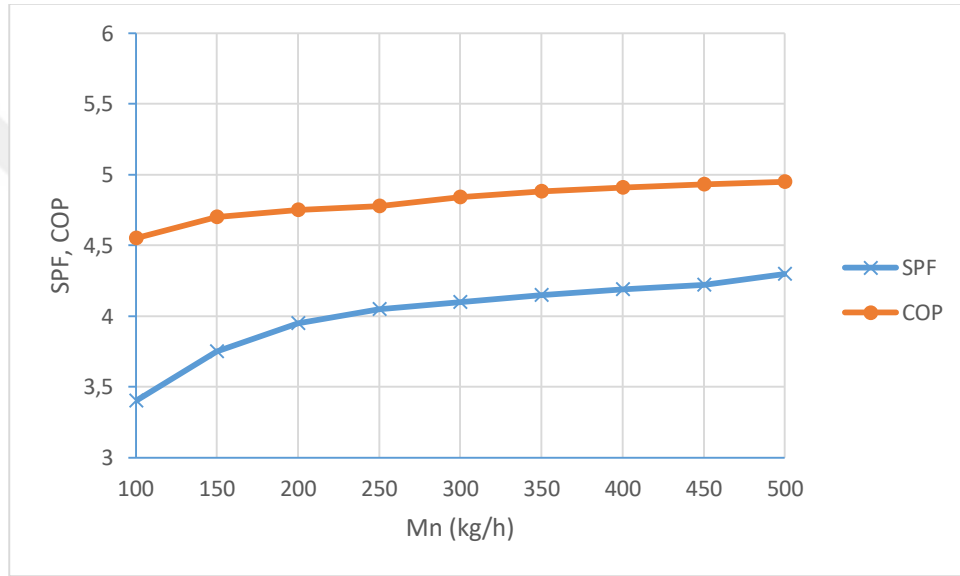
Bu çalışmada toplam sistem performansını değerlendirmek için bir gösterge olarak seçilen mevsimlik performans faktörü aşağıda verilen Denklem 5.6 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Sezonsal Performans Faktörü} = \frac{\int Q_{\text{yıllık mahal ısı ihtiyacı}}}{\int E_{\text{şebeke elektriği}}} = \frac{\int Q_{\text{yıllık mahal ısı ihtiyacı}}}{\int E_{\text{toplam}} - \int E_{\text{PV/T}}} \quad (5.6)$$

Burada $\int Q_{\text{yıllık mahal ısı ihtiyacı}}$ ısıtılan hacmin yıllık ısıtma yükünü (kJ), $E_{\text{şebeke elektriği}}$ elektrik şebekesinden sağlanan ısıyı (kJ), E_{toplam} sistemin toplam elektrik tüketimini (kJ) ve $\int E_{\text{PV/T}}$ PV/T kollektör tarafından üretilen elektrik enerjisini (kJ) gösterir.

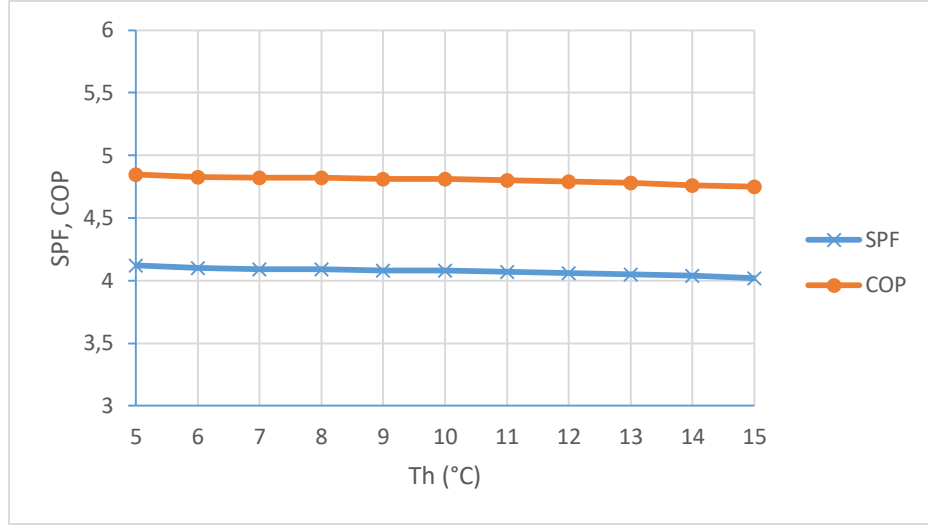
6. BULGULAR, SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 6.1’den görüldüğü gibi PV/T kollektör pompasının nominal kütleli debisi özellikle daha küçük nominal debilerde ortalama COP ve SPF değerleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bununla birlikte, özellikle yaklaşık 550 kg/h değerinden büyük nominal debilerin COP ve SPF değerleri üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, nominal debinin sistem performansı üzerindeki etkisini olabildiğince düşürmek için yeterli miktarda büyük nominal debiye sahip bir PV/T kollektör pompasının seçilmesi gerekir.



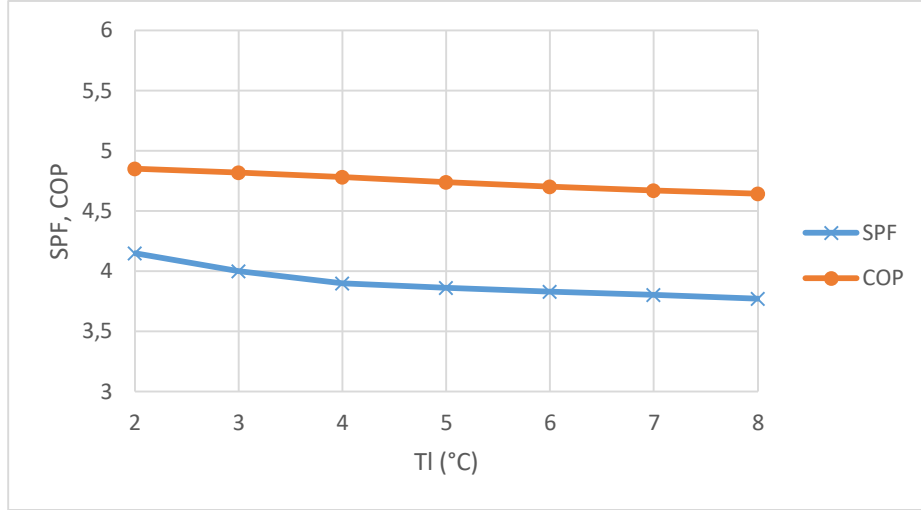
Şekil 6.1. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) PV/T Pompasının Nominal Kütleli Debisi ile Değişimi ($T_h = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_l = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Şekil 6.2 ısı pompasının ortalama performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısının (SPF) nominal pompa debisinin 600 kg/h değeri ve PV/T kollektör soğutucu akışkanının (antifrizli suyun) en düşük sıcaklığı ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) için T_h sıcaklığı (antifrizli suyun en yüksek sıcaklığı) ile değişimini göstermektedir. T_h değeri $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkarken ortalama performans katsayısı (COP) değeri 4.8’den 4.7’ye sadece % 2’lik bir düşüş göstermektedir. Yani T_h değerindeki $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’lik artış ortalama COP değerini sadece % 1 kadar düşürmektedir. Ortalama COP değerindeki değişime benzer biçimde T_h artarken mevsimlik performans katsayısı da (SPF) azalmaktadır. Çünkü T_h değeri artarken toplam elektrik tüketimi de artmaktadır. T_h değeri $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkarken mevsimlik performans katsayısı (SPF) değeri 4.16’dan 4’e sadece % 3.84’lik bir düşüş göstermektedir. Yani T_h değerindeki $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’lik artış mevsimlik performans katsayısını (SPF) sadece % 1.92 kadar düşürmektedir.



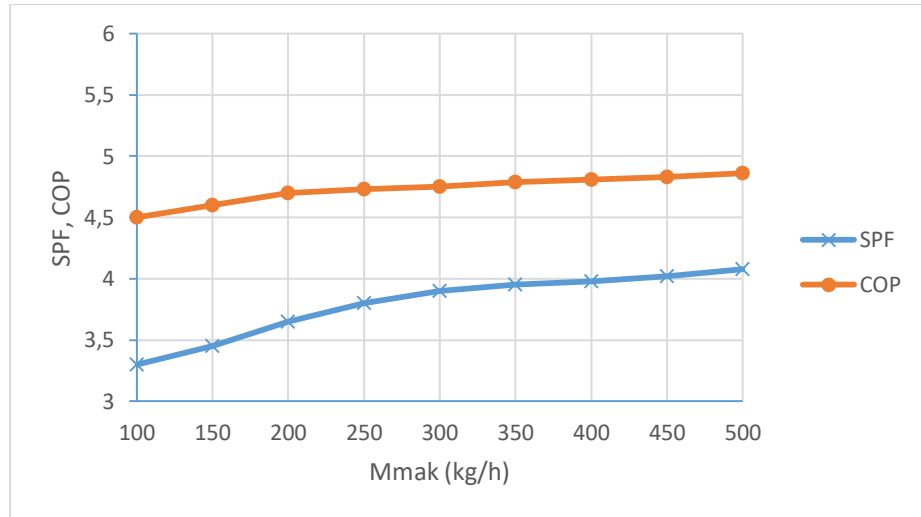
Şekil 6.2. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) T_h ile Değişimi ($M_n = 600$ kg/h, $T_1 = 4$ °C)

Şekil 6.3 ortalama performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısının (SPF) T_1 ile değişimini $M_n = 600$ kg/h ve $T_h = 12$ °C değerleri için göstermektedir. T_1 artarken termal enerji kazancı azaldığından dolayı ortalama COP değeri artan T_1 ile düşmektedir. T_1 değeri 2 °C'den 8 °C'ye çıkarken ortalama COP değeri 4.88'den 4.68'e % 4.1'lik düşüş göstermiştir. Başka bir deyişle T_1 değerindeki 1 °C'lik artış ortalama COP değerinde yaklaşık % 0.68'lik bir düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca bu şekilden görülmektedir ki, artan T_1 ile mevsimlik performans katsayısı da (SPF) düşmektedir. Çünkü daha yüksek T_1 değeri daha az termal enerji kazancı anlamına gelmekte ve bu da daha fazla elektrik tüketimine neden olduğundan performansı kötüleştirmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi T_1 değeri arttığında mevsimlik performans katsayısı (SPF) değeri 4.2'den 3.75'e yaklaşık % 10.7 oranında düşmektedir.



Şekil 6.3. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) T_1 ile Değişimi ($M_n = 600 \text{ kg/h}$, $T_h = 12 \text{ °C}$)

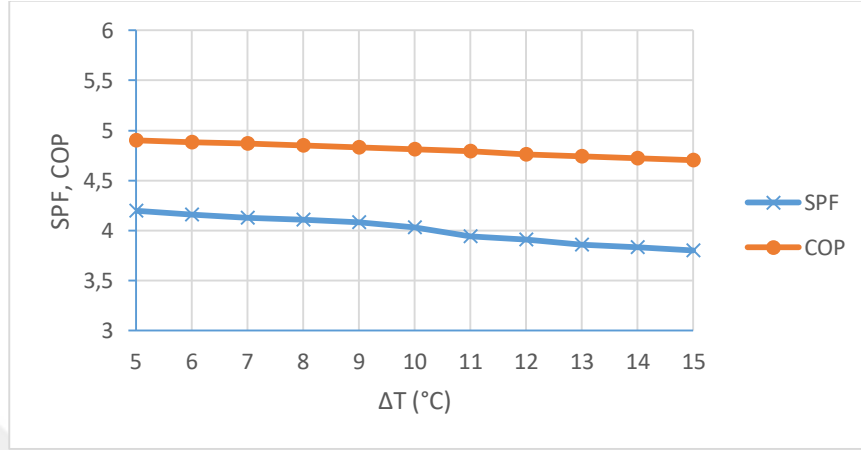
Şekil 6.4 ortalama performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısının (SPF) pompanın maksimum kütleli debisi ile değişimini $\Delta T = 10 \text{ °C}$ için göstermektedir. M_{mak} değeri büyüdükçe termal enerji kazancı artacağından dolayı ortalama COP değeri 4.5'dan 4.8'e çıkmıştır. Ayrıca, artan M_{mak} değeri ile elektrik tüketiminde düşüş ve elektrik üretiminde artış olduğundan dolayı mevsimlik performans katsayısı (SPF) artmıştır.



Şekil 6.4. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) PV/T Pompasının Maksimum Kütleli Debisi ile Değişimi ($\Delta T = 10 \text{ °C}$)

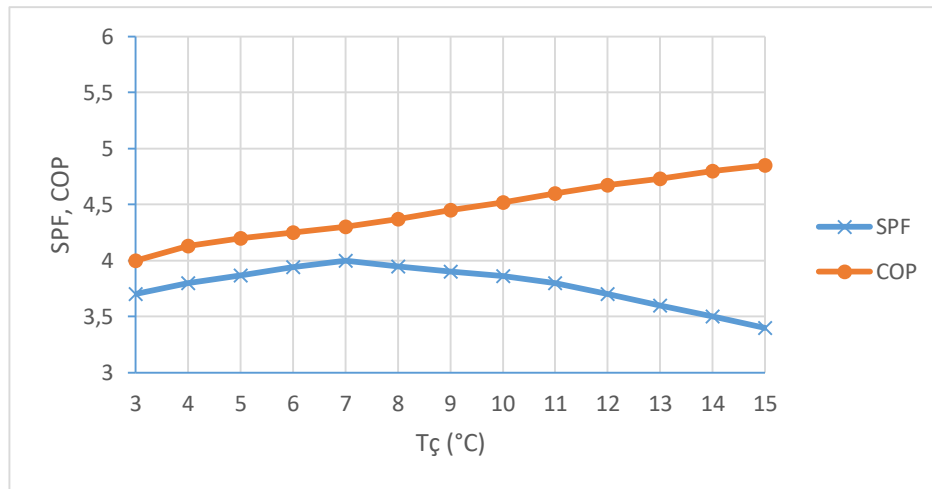
Şekil 6.5 ortalama performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısının (SPF) sıcaklık farkı ile değişimini $M_{\text{mak}} = 600 \text{ kg/h}$ değeri için göstermektedir. Sıcaklık farkı (ΔT) değeri arttıkça toplanan enerji azaldığından dolayı ortalama performans katsayısı (COP) değeri

düşmektedir. Artan sıcaklık farkı (ΔT) değeri ile ortalama COP değeri 4.86'dan 4.7'ye % 3.3'lük düşüş göstermiştir. Ayrıca, artan sıcaklık farkı (ΔT) değeri ile mevsimlik performans katsayısının (SPF) değeri 4.23'den 3.8'e % 10.16'lık düşüş göstermiştir.



Şekil 6.5. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) Sıcaklık Farkı ile Değişimi ($M_{\text{mak}} = 600 \text{ kg/h}$)

Şekil 6.6 ortalama performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısının (SPF) kollektör çıkış sıcaklığı ile değişimini $M_{\text{mak}} = 800 \text{ kg/h}$ değeri için göstermektedir. Ortalama COP değeri kollektör çıkış sıcaklığı (T_c) ile artmaktadır. Çünkü daha yüksek kollektör çıkış sıcaklığı ısı pompasında daha yüksek buharlaşma sıcaklığı sağlamaktadır. SPF değeri 7°C kollektör çıkış sıcaklığında maksimum olmakta ve bu noktadan sonra sıcaklık arttıkça elektrik tüketimi arttığından dolayı düşmektedir.



Şekil 6.6. Ortalama Performans Katsayısı (COP) ve Mevsimlik Performans Katsayısının (SPF) Kollektör Çıkış Sıcaklığı ile Değişimi ($M_{\text{mak}} = 800 \text{ kg/h}$)

ÖNERİLER

Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanımından dolayı artan çevre kirliliği, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi daha da arttırmıştır. Özellikle güneş ışınımını yoğun şekilde alan ülkeler bu kaynaktan daha fazla yararlanarak ekonomilerini ve dolayısı ile refah düzeylerini arttırabilirler. Hacım ısıtma ve su ısıtmada güneş enerjili ısı pompalarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde PV paneller sıkça kullanılmaktadır. Fakat artan PV hücre yüzey sıcaklığına bağlı olarak bu panellerin elektriksel verimleri düşmektedir. PV modüllerinin bu dezavantajı soğutulmaları ile mümkündür.

PV/T güneş kollektörleri ısı pompaları ile birlikte kullanılacaksa, PV/T kollektörün soğutulması için farklı ısı değiştirici tasarımları ve soğutucu sıvılar denenmelidir. Elektriksel verimi daha yüksek PV panellerden yararlanılmalıdır. Ayrıca, daha yüksek verimli pompalar kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Güteryüz B, ‘Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sisteminin Termodinamik Analizi’, Yüksek Lisans Tezi Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Ekim (2019)
- [2] Usta H, ‘Isı Borulu Güneş Kolektörü Destekli Isı Pompası’, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara (1988).
- [3] Yamankaradeniz, R. and Horuz, I., “The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days”, International Communications in Heat and Mass Transfer, 25 (6): 885-898 (1998)
- [4] Chyng, J.P., Lee, C.P., ve Huang, B.J. Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater. Solar Energy, 74, 33-44. (2003)
- [5] Esen, M. ‘Thermal performance of a solar aided- latent heat store used for space heating by heat pump’, Solar Energy, 69 (1): 15-25 (2000)
- [6] Badescu, V, First and second law analysis of a solar assisted heat pump based heating system, Energy Conversion and Management, 43, 2539–2552, (2002)
- [7] Sayın, S. Koç. İ. Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (pv) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, s.ü. müh.-mim. fak. derg, 26(3), Konya, (2011)
- [8] Charalambous, P.G., Kalogirou, S.A., Maidment, G., Karayiannis, T.G., Photovoltaic thermal (PV-T) collectors, 3rd international conference on heat powered cycles, Cyprus, October (2004)
- [9] Kandilli, C., Külahlı, G., Savcı, G., Fotovoltaik termal (PV-T) sistem 2d termodinamik modellemesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, 11. ulusal tesisat mühendisliği kongresi, İzmir, 17/20 Nisan (2013)
- [10] Ooshaksaraei, P., Aghili, K., Sopian, K., Zulkifli, R., Zaidi, S.H., Steady state characterization of bifacial solar cells at different configurations of air-based photovoltaic thermal solar panels, Journal of Renewable and Sustainable Energy 6, 033140, (2014)
- [11] Hazami, M., Riahi, A., Mehdaoui, F., Nouicer, O., Farhat, A., Energetic and exergetic performances analysis of a PV/T (photovoltaic thermal) solar system tested and simulated under to Tunisian (North Africa) climatic conditions, Energy, 107 (2016) 78-94, Tunisia, July (2015)
- [12] Ömeroğlu, G., Fotovoltaik-Termal (PV / T) sistemin sayısal (CFD) ve deneysel analizi, Fırat üniv. müh. bil. dergisi, 30(1), 161-167, (2018)
- [13] Ji Jie , Liu Keliang , Chow Tin-tai , Pei Gang , He Wei , He Hanfeng, Performance analysis of a photovoltaic heat pump, Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Jinzhai Road 96#, Hefei City, People’s Republic of China, Applied Energy 85 680–693 (2008)
- [14] R. Daghigha , M.H. Ruslana, K. Sopiana, Advances in liquid based photovoltaic/thermal (PV/T) collectors, Solar Energy Research Institute, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), 43600 Bangi, Selangor, Malaysia, Department of Mechanical & Materials Engineering,

Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)), 43600 Bangi, Selangor, Malaysia (2011)

- [15] G Pei, J Ji, T-T Chow, H He, K Liu, and H Yi, Performance of the photovoltaic solar-assisted heat pump system with and without glass cover in winter: a comparative analysis, Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, People's Republic of China (2007)
- [16] A. James, M. Mohanraj, M. Srinivas & S. Jayaraj, Thermal analysis of heat pump systems using photovoltaic-thermal collectors: a review, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry An International Forum for Thermal Studies, DOI 10.1007/s10973-020-09431-2,(2019)
- [17] Sandeep S. Joshi , Ashwinkumar S. Dhoble, Photovoltaic -Thermal systems (PVT): Technology review and future trends, Department of Mechanical Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India (2018)
- [18] Karaca, G. Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemlerinin Performansının İncelenmesi: Muğla Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 38-40 (2017)
- [19] Çomaklı, K., Şimşek, F., Özyurt, Ö., ve Bakırcı, K., Soğutma/Isıtma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Alternatifleri. Mühendis ve Makine Dergisi, 47, 33-45 (2006)
- [20] Ağı, S., ve Günerhan, H., Sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinde verim artırma olanakları. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi'nde sunuldu, İzmir , Ekim (2003)
- [21] Şensoy B, Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemlerinin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat (2019)
- [22] Ciciyryk, C. Parabolik Oluk Tip Güneş Kolektörü ile Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2012)
- [23] Şentürk, A. Bir Entegre Güneş Kombine Çevrim Santrali Fizibilite Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul (2013)
- [24] Isı Pompası ve Soğutma Makinası Çalışma Prensibi, http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/hulyacakmak_18.05.2018
- [25] İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi Akış Şeması ve T-S Diyagramı,
- [26] Kompresörün Çalışma Prensibi, <https://www.tesisat.org/vidali-kompresor-nedir-nasil-calisir.html>
- [27] Pistonlu Kompresör,<https://www.atlas-kompresor.com/pistonlu-kompresor-nedir-pistonlu-kompresor-fiyatlar-74331>
- [28] Kondenser,http://elektrik_elektronikegitimi.blogspot.com/2019/11/kondenser-tanm-calsma-prensibi-ve.html
- [29] Genleşme Valfi,<http://m.tr.vrcoolerru.com/news/what-is-the-working-principle-of-expansion-val-12577592.html>
- [30] Evaporatör Çalışma Prensibi,https://www.elektrik_rehberiniz.com/kompresor/evaporator-nedir-10280/
- [31] Toprak Kaynaklı Isı Pompası Örneği,https://www.muhendis_beyinler.net/toprak-kaynakli-isi-pompasi/

- [32] Hava Kaynaklı Isı Pompası Örneği, <https://solimpeks.com.tr/isi-pompasi-nasil-calisir>
- [33] Su Kaynaklı Isı Pompası Örneği, <https://www.nibe-turkiye.com/?pnum=8&pt=Su+Kaynaklı%C4%B1+Is%C4%B1+Pompas%C4%B1>
- [34] Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası Örneği, <https://www.powerenerji.com/isi-pompasi.html>
- [35] Düzlemsel Güneş Kolektörünün Yapısı, <https://www.tesisat.org/duz-yuzeyli-gunes-enerjisi-kollektorleri.html>
- [36] Vakum Tüplü Güneş Kolektörü, <http://yenilenebiliryasam.com/2011/05/gunes-enerjisi-ile-su-istma-sistemleri.html>
- [37] Havalı Güneş Kolektörü, <https://www.tesisat.org/etiket/havali-gunes-kollektoru>
- [38] Parabolik Oluk Tip YGE Sistemleri, <https://www.biyobilim-yukimtek.org/category/madde-enerji/>
- [39] Frensel Tip YGE Sistemleri, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/18476/mod_resource/content/0/YEN%C4%B0LENEB%C4%B0L%C4%B0R%20ENERJ%C4%B0%20KAYNAKLARI%20VE%20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0%205.pdf
- [40] Parabolik Çanak Tip YGE Sistemleri, <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/15%20-%20YO%C4%9EUNLA%C5%9ETIRILMI%C5%9E%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0L%C4%B0%20S%C4%B0STEMLE%20RDE%20%C3%87E%C5%9E%C4%B0TL%C4%B0%20ISIL%20%C4%B0C5%9ELEM%20Y%C3%96NTEMLER%C4%B0%20-%20Ali%20Kemal%20%C3%96zcan.pdf>
- [41] Güneş Güç Kuleleri, <https://www.ensonhaber.com/ekonomi/turkiyenin-ilk-gunes-enerjisi-kulesi-kuruldu-2013-04-24>
- [42] Monokristal Güneş Paneli, <https://www.guvenlikmarket.com/monokristal-gunes-paneli-370w>
- [43] Polikristal Güneş Paneli, <https://www.enerjimgunesten.com/polikristal-gunes-paneli-nedir.html>
- [44] PV/T Su Kolektörlerinin Yapısı, <http://www.gunessistemleri.com/teknik.php>

ÖZGEÇMİŞ

Şeyma Nur DURGUN

[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]