



**SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK
TERMAL MODÜL DESTEKLİ DEFROST
UYGULAMASI**

Mehmet Onur KARAAĞAÇ

**2022
DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK TERMAL MODÜL
DESTEKLİ DEFROST UYGULAMASI**

Mehmet Onur KARAAĞAÇ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Mehmet Onur KARAAĞAÇ tarafından hazırlanan “SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK TERMAL MODÜL DESTEKLİ DEFROST UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Alper ERGÜN
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 28/06/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (DÜ)
Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BARÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet Onur KARAAĞAÇ

ÖZET

Doktora Tezi

SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK TERMAL MODÜL DESTEKLİ DEFROST UYGULAMASI

Mehmet Onur KARAAĞAÇ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Alper ERGÜN

Haziran 2022, 77 sayfa

Artan yaşam standartlarına bağlı olarak tüm ülkelerde hayat konforu için tüketilen enerji miktarları artmaktadır. Ayrıca, enerji konusunda yapılan çalışmalarda üretilen elektriğin büyük bir kısmı ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu sistemlerin geliştirilmesi, verimlerinin artırılması ve elektrik tüketimlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında soğutma sistemlerine odaklanılmış ve bu sistemlerin temel elemanlarından olan evaporatörlerin çalışma koşullarında sıklıkla karşılaşılan karlanma için yeni bir defrost yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Isı değiştirici yüzey sıcaklığı suyun donma noktasının altında veya şartlandırılmış mahaldeki havanın çiy noktası sıcaklığının altında olması sonucunda evaporatör yüzeyinde havanın içindeki nemin yoğunlaşmasıyla karlanma meydana gelmektedir. Endüstriyel ve konut uygulamaları için ısı ve elektrik enerji türlerinden her ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında mevcut geleneksel yöntemlerden farklı olarak soğutma sistemlerinde meydana gelen karlanmayı gidermek için fotovoltaiik termal (FV/T) sistem kullanılmıştır. Böylece hem FV modül soğutularak sıcaklık artışından meydana gelen verim kaybı önlenecek hem de soğutma sistemlerinde evaporatörde oluşan karlanmaya alternatif bir çözüm yöntemi geliştirilecektir. Yapılan çalışmada defrost için özel tasarım bir evaporatör kullanılmıştır. Geliştirilen sistem iki kısımdan oluşmaktadır bunlar; soğutucu akışkan devresi ve FV/T sistem devresidir. Yapılan deney sonucunda kış mevsiminde FV/T sistem ile soğutma sisteminin uyum içerisinde çalışabildiği gözlemlenmiştir. Sistem optimum çalışma süresi olarak yaklaşık 4 dk. olarak belirlenmiş ve harcanan enerji 605 W olarak bulunmuştur. Bu sırada FV modülün elektriksel verimi %13,6 olarak hesaplanırken, FV/T sistem verimi ise %38 olarak bulunmuştur. Ayrıca Ortalama PV modül yüzey sıcaklığı 36,4 °C, ortalama su deposu sıcaklığı 26,4 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma sisteminin performans katsayısı (COP) 4,18 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çevresel ekonomik maliyet 14,6 \$/h olarak bulunmuştur. Geliştirilen defrost yönteminin soğutma sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabilirliği hem deneylerle hem de hesaplarla gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Defrost, su ile buz çözme, fotovoltaiik termal, soğutma sistemi.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULE ASSISTED DEFROST APPLICATION IN REFRIGERATION SYSTEMS

Mehmet Onur KARAAĞAÇ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy System Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Alper ERGÜN

June 2022, 77 pages

Depending on the increasing standards of living, the amount of energy consumed for life comfort is increasing in all countries. In addition, it is known that most of the electricity produced in studies on energy is used in heating, ventilation, and cooling systems. Therefore, developing these systems is necessary, increasing their efficiency and reducing electricity consumption. In this thesis work, it is focused on refrigeration systems and, it is aimed to develop an alternative defrost method for frost, which is one of the basic elements of these systems, which is frequently encountered in operating conditions. The frost process occurs when air condenses on the evaporator surface as a result of the evaporator surface temperature being below the freezing point of water or the dew point temperature of the air in the conditioned space. Both heat and electrical energy types are needed for industrial and residential applications. Differently, in the presented thesis study, PV/T system is used to prevent the frosting process in the refrigeration system, unlike the conventional systems.

Accordingly, the efficiency loss caused by the temperature increment will be prevented by cooling the PV module, and it is aimed to be more efficient by reducing the daily power consumption as an alternative solution method to the frost that occurred on the evaporator in refrigeration systems. On this purpose, a novel evaporator design is developed and used for defrosting in this study. Accordingly, this novel design includes a refrigerant line inside the evaporator and a hot water line from the PV/T in this design. In the results, it is noticed that the system designed for winter conditions could be used for defrosting. While an average of 605 W for the rate of heat energy was used for each defrost process, the average defrost duration was recorded to be approximately 4 minutes. While the average electrical efficiency of the PV module was found to be 13.6%, the average total efficiency was found to be 38%. Besides, the average PV module surface temperature was determined as 36.4 °C while average water storage tank temperature was determined as 26.4 °C. In addition, the coefficient of performance (COP) of the refrigeration system is calculated to be 4.18. Furthermore, the environmental economic cost was calculated to be 14.6 \$/h. The successful usability of the developed defrost method in refrigeration systems has been demonstrated by both experiments and calculations.

Key Word : Defrosting, defrosting with water, photovoltaic thermal, refrigeration system.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Alper ERGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezi izleme komitemde yer alan ve bu çalışmamın başından sonuna kadar tavsiye ve rehberlikleriyle bana yardımcı olan sayın hocalarım Prof. Dr. İlhan CEYLAN ve Doç. Dr. Ali Etem GÜREL'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın deneysel düzeneğinin kurulmasında ve başarılı bir şekilde ilerlemesinde her türlü yardımı veren, sadece bilgisiyle değil, moral ve motivasyon olarak da destekleyen laboratuvar ve sosyal ortamlarda beraber çalışmaktan büyük zevk aldığım çalışma arkadaşım, Öğr. Gör. Fatih BULUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım boyunca desteklerini bir gün bile esirgemeyen ve zorlu çalışma zamanlarında bana her konuda bilgi ve tecrübelerini aktararak yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Hasan OĞUL'a teşekkür ederim. Deney aşamasında her zaman yanında bulunan ve önerileri ile bana farklı bakış açıları kazandıran Yük. Müh. M. Mustafa BENLİOĞLUN'a, soğutma malzeme tedarikinde bize kolaylık sağlayan GVN soğutmadan Hüseyin KEÇE beye ve bu çalışmada tüm emeği geçenlere teşekkür ederim.

Tez çalışma aşamasında ve hayatımın her anında yanımda olan, rahat çalışabilmem için her türlü fedakarlığı ve sabrı gösteren canım eşim Ayşegül KARAAĞAÇ'a, canım oğlum Yağız Selim'e ve sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Çalışmamızı FDK-2020-2387 proje numarası ile destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine de teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
GÜNEŞ ENERJİSİ	6
2.1. GÜNEŞ HÜCRELERİ	7
2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	11
2.3. FV-T SİSTEMLER	15
BÖLÜM 3	19
SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	19
3.1 GÜNEŞ ENERJİLİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	20
3.1.1. Güneş enerjili Isıl-Mekanik Soğutma Çevrimi.....	21
3.1.2. Güneş enerjili Absorpsiyon Soğutma Çevrimi.....	21
3.1.3. Güneş enerjili Adsorpsiyon Soğutma Çevrimi.....	23
3.1.4. Güneş enerjili Desikant Soğutma Çevrimi	23
3.2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KARLANMA OLUŞUMU	24
3.3. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST UYGULAMASI	25
3.3.1. Isıtılmış Hava ile Defrost Yöntemi.....	26

	<u>Sayfa</u>
3.3.2. Suyla Defrost Yöntemi	26
3.3.3. Elektrikli Isıtıcılarla Defrost Yöntemi	29
3.3.4. Sıcak Gazla Defrost Yöntemi	27
BÖLÜM 4	29
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	30
BÖLÜM 5	40
MATERYAL VE YÖNTEM	40
5.1. YENİ BİR DENEYSEL DEFROST UYGULAMA TASARIMI.....	43
5.1.1. Sistemin Çalışması	47
5.1.2. Defrost Algoritması	49
BÖLÜM 6	50
SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ	50
6.1. TEORİK ANALİZ	50
6.2. ENERJİ ANALİZİ	50
6.2. ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZİ	53
6.4. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	53
BÖLÜM 7	55
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	55
BÖLÜM 8	64
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	66
EK AÇIKLAMALAR A.....	74
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Enerji bant diyagramı.....	9
Şekil 2.2.	P-N eklemi.....	10
Şekil 2.3.	Fotovoltaik olay ve güneş pili.....	11
Şekil 2.4.	Güneş paneli, güneş modülü ve güneş hücresine ait görünüm.....	12
Şekil 2.5.	Fotovoltaik panellerin iç yapısı.....	12
Şekil 2.6.	Güneş hücresi yapımında kullanılan malzemeler ve sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.7.	Güneş ışınım değerlerindeki I/V eğrisi.....	14
Şekil 2.8.	FV modül sıcaklıkla akım-gerili-güç karakteristik eğrileri.....	15
Şekil 2.9.	FV/T sistem genel yapısı.....	16
Şekil 2.10.	Tasarım türüne göre FV/T sistemlerin sınıflandırılması.....	17
Şekil 2.11.	Tasarım parametrelerine göre FV/T sistemlerin sınıflandırılması.....	17
Şekil 3.1.	Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi.....	19
Şekil 3.2.	Güneş enerjisi kaynaklı soğutma teknikleri.....	20
Şekil 3.3.	Absorbsiyonlu soğutma çevrimi.....	22
Şekil 3.4.	Adsorbsiyonlu soğutma çevrimi.....	23
Şekil 3.5.	Güneş enerjili desikant iklimlendirme sistemi.....	24
Şekil 3.6.	Buz oluşum sürecinin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.7.	Sıcak suyla defrost şematik görüntüsü.....	27
Şekil 3.8.	Elektrikle defrost yöntemi.....	29
Şekil 3.9.	Ters çevrimli ve baypas hatlı sıcak gaz defrost yöntemi.....	28
Şekil 4.1.	Ji vd. tarafından tasarlanan deney düzeneğinin şematik resmi.....	31
Şekil 4.2.	Chen vd. tarafından tasarlanan ısı pompalı FV/T sistemi.....	32
Şekil 4.3.	Zhang vd. fotovoltaik/döngü-ısı borulu ısı pompası sistemi.....	32
Şekil 4.4.	Wang vd. tarafından tasarlanan kompozit evaporatör.....	33
Şekil 4.5.	FV/T- ASHP şematik gösterimi.....	37
Şekil 4.6.	Güneş kollektörlü destekli ısı pompası tasarımı.....	38
Şekil 5.1.	Soğutma sistemi ölçüm ve kontrol cihazı iç ve dış görüntüsü.....	41
Şekil 5.2.	FV/T sistem ölçüm cihazının iç ve dış görüntüsü.....	42

Sayfa

Şekil 5.3.	Kurulumu yapılan FV/T sistem.....	42
Şekil 5.4.	Tasarımı yapılan soğutma sistemi	43
Şekil 5.5.	FV/T kullanılarak yapılan defrost sistemi	44
Şekil 5.6.	Soğutma sistemi için buz çözme döngüsünün P-h diyagramı	45
Şekil 5.7.	FV/T sistem ve evaporatör su ile defrost tasarımı.....	45
Şekil 5.8.	Evaporatörde su ile defrost tasarımı	48
Şekil 5.9.	Defrost kontrol algoritması akış şeması... ..	49
Şekil 6.1.	İdeal buhar sıkıştırırmalı çevrime ait T-s diyagramı, P-h diyagramı.....	52
Şekil 7.1.	Deney boyunca FV modülden elde edilen enerji ve ışı nım değerleri ..	56
Şekil 7.2.	Deney boyunca FV/T ve çevre sıcaklıkları değ iş imi.	57
Şekil 7.3	FV/T modül toplam verimi ve ışı nım değ iş imleri.....	58
Şekil 7.4.	Deney boyunca FV yüzey sıcaklığı ve su tankı sıcaklıkları değ iş imi..	59
Şekil 7.5.	Evaporatördeki karlanma (a-b-c) ve evaporatör defrost iş lemi (d-e-f).	60
Şekil 7.6.	Deney boyunca yapılan defrost iş lemleri.	61
Şekil 7.7.	Deney boyunca COP ve evaporatör sıcaklık değ iş imleri.	62
Şekil 7.8.	Evaporatöre giren suyun giriş-çıkış sıcaklıkları ve evaporatör yüzey sıcaklığı	63
Şekil Ek A.1.	Soğutma ve FV/T sisteminin kuruldu ğ u kontrüksiyon çizimleri.....	75
Şekil Ek A.2.	Soğutma ve fotovoltaik termal sisteminin kuruldu ğ u kontrüksiyonlar.....	75
Şekil Ek A.3.	Yalıtımlı termal depo çizimi.....	76
Şekil Ek A.4.	Galvanizli saçtan yapılan termal depo.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Sistemi ölçüm noktaları ve yapılan ölçümler.....	44
Çizelge 5.2. Soğutma sisteminde ve FVT'de kullanılan ekipmanların özellikleri...	46
Çizelge 5.3. Deney sisteminde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri ve belirsizlikler	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO_2	: Karbondioksit
kWh	: Kilowattsaat
TWh	: Terawattsaat
DC	: Direct Current (Doğru akım)
nm	: Nanometre
T_e	: Erime Noktası Sıcaklığı (°C)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
L	: Gizli Isı (J/kg)
$I(t)$: Güneş Işınımı (W/m ²)
k	: Isı İletkenliği (W/mK)
c	: Özgül Isı (J/kgK)
h	: Entalpi (kJ/kg)
m	: kütle (kg)
A	: FV Modül Alanı (m ²)
V	: Volt
kg	: Kilogram
\dot{Q}_{FV}	: FV Modülden Elde Edilen Isı (W)
\dot{Q}_u	: Toplam Isı (W)
T_{FV}	: FV Modül Sıcaklığı (°C)
\dot{W}	: İş (W)
η_0	: Standart Test Koşullarındaki Verim
β	: Elektriksel Verimin Termal Katsayısı(1/K)
\dot{E}_l	: Elektrik Gücü (W)
η_{sc}	: Havalı Kolektörün Genel Termal Verimi (%)
η_m	: Modül Verimi (%)

KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
FV/T	: Fotovoltaik / Termal
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
HK	: Hava Kütlesi
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
ASHP	: Hava Kaynaklı Isı Pompası
FDM	: Faz Değiştiren Malzemeler
TRNSYS	: Transient System Simulation Tool
TES	: Termal Enerji Depolama
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerji kullanımı insan hayatıyla doğrudan ilişkilidir ve yaşamımızın önemli parçası haline gelmiştir. Canlı ve cansız varlıklar için hayati bir rol üstlenen enerji, insanın günlük fonksiyonlarından, ekolojiye, iklimlere ve coğrafyaya kadar doğanın temel gerekliliğidir. Enerji kendini nükleer enerji, mekanik enerji, manyetik enerji, ışık enerjisi, kimyasal enerji, ses enerjisi ve elektrik enerjisi gibi farklı formlarda gösterebilmektedir. Termodinamiğin birinci yasası “enerjinin var iken yok edilemez, yoktan var edilemez, ancak bir formdan başka bir forma dönüştürülebileceğini” ifade etmektedir. Enerji kullanırken ve enerji formlarını dönüştürürken çevreyi kirletmeden, doğadaki canlılara zarar vermeden kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda enerji üretiminde en çok kullanılan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması oldukça kritiktir.

Enerji üretirken doğaya ve canlılara zararı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve yaygın hale getirilmesi gerekmektedir. Güneş, rüzgâr, biokütle, hidroelektrik, dalga ve jeotermal enerji kullanıldıkça kendini hızlı bir şekilde yenileyebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş, dünya üzerine yayılır. Yeryüzüne yayılan güneş enerjisi dünyanın her bölgesinde var olmasıyla sürdürülebilir kalkınma sağlaması mümkündür. Ülkeler ihtiyaç duyduğu enerjiyi doğrudan güneşin gönderdiği güneş enerjiden elde edilebilir. Türkiye coğrafi konumuyla ilişkili olarak topraklarında ve çevresinde elde edebileceği birçok yenilenebilir enerji kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların elektrik üretimi bakımından 4307 TWh/yıl enerji potansiyeli bulunmaktadır [1].

Fosil yakıt kaynakları açısından yeterli üretim imkânı bulunmayan Türkiye için artan ihtiyaçları karşılayabilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için her geçen gün yenilenebilir enerji ve verimli enerji kullanımı önem arz etmektedir. Bu anlamda Türkiye olası bir enerji krizinde ihtiyacını bu kaynaklardan güvenli ve çevreye zararı olmadan sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilir. Ülkemiz sahip olduğu bu potansiyeli iyi bir şekilde etüt etmesiyle ve yatırımları bu alanda yaparak ithal ettiği enerji oranını düşürme imkanına sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi ülkemiz açısından yüksek potansiyelli ve kullanım kolaylığı açısından önemli bir kaynaktır. Güneş enerjisine olan ilgi son yıllarda artmış ve bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır.

Güneş enerjisi ısı uygulamalar ve fotovoltaik (FV) panellerle elektrik üretimi olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Bu başlıklar güneşten gelen ışınımdaki termal enerjinin doğrudan kullanıldığı veya fotovoltaik panellerde elektrik enerjinin üretildiği yöntemler olarak açıklanabilir. Yapılan bu tez çalışmasında, son zamanlarda araştırmacıların büyük ilgi gösterdiği FV panellerin hibrit kullanımı ele alınmıştır. FV panel üzerine gelen güneş ışınımını belli bir eşik enerji değerine ulaştığında yapısında bulunan yarı iletken teknolojisi sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilir. Fakat FV paneller gelen foton enerjisinin yalnızca az bir miktarını elektrik enerjisine dönüştürebilirken, kalan enerji panelin ısınmasına neden olur. Bu durum panel sıcaklığının artmasına ve verim kayıplarına yol açar. Artan bu sıcaklığı azaltmak ve güneşten gelen ışınımdan daha fazla yararlanabilmek için fotovoltaik panele termal sistemler ilave edilir. Böylece piyasada çoğunlukla kullanılan silikon panellerin her bir derece sıcaklık artışında %0,45-0,6 oranında hücre verimindeki düşüşün önüne geçilerek daha verimli sistemler elde edilmesi sağlanır [2]. Güneşten gelen enerjiden aynı anda FV paneller yardımıyla elektrik ve ısı enerjisi elde edildiği sistemlere fotovoltaik termal (FV/T) sistemler denir. Son yıllarda hem elektrik hem de ısı enerjisinden yararlanabilme özellikleriyle araştırmacıların ilgi odağı haline gelen fotovoltaik termal sistemler bu tezin motivasyonunu oluşturmaktadır. FV panellerin verimi düşüren bu ısı enerjisi, sistemden uzaklaştırılarak yararlı enerjiye dönüştürülebilir. Bu tip bir dönüşüm için FV panellere entegre termal sistemlerden yararlanmak akılcı bir yaklaşımdır [3–6].

Bu sayede hem FV hücrelerin soğutulması sağlanır hem de modüllerden uzaklaştırılan ısı enerjisi, faydalı enerjiye dönüştürülerek bir proseste kullanılır. FV/T sistemlerin her iki enerji türünü aynı anda elde etme avantajını kullanabilmek için literatürde çeşitli teorik ve deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalardan bazıları FV panelin ısınmasından kaynaklı elektriksel verim azalmasını engellemeye yönelik olup, panelde oluşan ısı enerjisi verimli bir şekilde kullanılmamıştır [7,8]. Yapılan bazı çalışmalarda ise FV panelin altına yerleştirilen bir ısı değiştirici yardımıyla aracı akışkana aktarılmış ve bu akışkan herhangi bir sistemde kullanılmamıştır. Bu tez çalışmasında FV/T sistemden elde edilen su, soğutma sistemine aktarılarak burada buz çözme işleminde kullanılmış ve her iki sisteminde veriminin artmasına olanak sağlamıştır.

Enerji konusunda yapılan çalışmalarda türetilen elektriğin büyük bir kısmı soğutma, ısı pompası ve klimalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sistemlerin verimini düşüren faktörlerden biriyse karlanma olayıdır. Bu sistemlerin temel elemanlarından olan evaporatörlerin çalışma koşullarında karşılaştığı karlanma en önemli ve en sık oluşan problemdir. Evaporatör yüzey sıcaklığı suyun donma noktasının altında veya şartlandırılmış mahaldeki havanın çiy noktası sıcaklığının altında olması sonucunda evaporatör yüzeyinde havanın yoğuşmasıyla buzlanma meydana gelmektedir. Evaporatörde oluşan bu buz kalınlığı zamanla artar ve iki önemli etkiye neden olur. Bu etkilerden birincisi buzun düşük termal iletkenliğinden dolayı ısı transferinin düşmesi, ikincisi ise evaporatörden geçen hava akışının azalmasıdır. Bu nedenle buz oluşumu soğutucu sistemin performansını olumsuz yönde etkilemektedir [9,10]. Oluşan bu buz çözülmediği takdirde enerji tüketim değerlerini de artıracaktır. Bu nedenle soğutma sistemine eklenen sistemlerle bu buz periyodik olarak defrost edilir. Defrost işlemi soğutma sisteminin nominal performansını geri getirirken defrost işlemi için soğutma sistemine eklenen ekipmanlarda ek enerji maliyetleri oluşturmaktadır [11]. Literatürdeki bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında, Baxter ve Moyers bir konutta kurulan yüksek verimliliğe sahip bir hava kaynaklı ısı pompası (ASHP) için defrost enerji tüketimini ölçmüştür. Ölçülen sonuçlar, bir ısıtma mevsimi boyunca ASHP'nin toplam güç tüketiminin % 10,2'sinin defrostan olduğunu göstermiştir [12].

Bu bağlamda, soğutma sistemlerinde elektrik tüketiminin azalmasına yönelik araştırmalar yapılmaya başlanmış ve bu sistemleri üreten firmalar arasında önemli bir rekabet ortamı oluşmuştur. Periyodik olarak yapılan defrost işlemi evaporatör ünitesinin nominal performansına geri dönmesine yardımcı olur. Ancak buz çözmenin kendisi enerji tüketir ve soğutulan alanda rahatsız edici sıcaklık dalgalanmalarına neden olabilir [13,14].

Bu tez çalışmasında FV panellerden elde edilen ısı enerjisi bir soğutucu evaporatöründeki buzlanmayı gidermesi için kullanılabilirliği araştırılacaktır. Bu şekilde hem FV panel soğutularak sıcaklık artışından meydana gelen verim kaybı hemde evaporatör üzerinde oluşan buzlanma önlenecektir. Ayrıca FV panele gelen güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanılarak üretilen elektrik ve panelde depolanan ısı, soğutma sisteminde faydalı hale getirilecektir. Bunun yanı sıra, soğutma sistemlerinde evaporatörde oluşan karlanmaya alternatif bir çözüm yöntemi ile günlük elektrik tüketimi azaltılarak daha verimli olması sağlanabilecektir. Bu sayede elektrik üretiminde ve soğutma sisteminde verim artışı sağlanabilecektir. Soğutma sistemlerinde veya ısı pompalarında oluşan karlanma için genellikle elektrikli rezistans kullanılarak defrost işlemi yapılmaktadır. Bu yöntem her ne kadar başarılı da olsa verimi düşük, harcadığı enerji yüksektir. Bu da sistemlerin elektrik tüketim değerlerini artırmaktadır. Bu nedenle, elektrikli rezistans yerine kullanılabilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmıştır. Bahsedilen çalışma yapılırken kurulacak olan sistemin teorik modellenmesinin yanı sıra deneysel çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Araştırmacıların yoğun ilgisini toplayan FV/T sistemler üzerine çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen, literatürde FV/T sistem ile defrost uygulamasının birleştirildiği bir araştırma bulunamamıştır. Yapılması planlanan sistem için özel tasarım bir evaporatör kullanılmıştır. Bu evaporatörün içinde soğutucu akışkan devresinin yanı sıra defrost için FV/T'den gelen sıcak su devresi bulunmaktadır. Tasarımı yapılan sistem, defrost uygulamaları için örnek olması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda bulunan sonuçlar doğrultusunda soğutma ve ısıtma sistemlerinin tasarlanmasında enerji verimliliğinin katma değer olarak sunulması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının birinci bölümü olan ‘Giriş’ kısmında çalışmanın motivasyonu, kısa özeti ve amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde bu çalışmanın ana başlıklarından olan güneş enerjisi hakkında bilgiler verilerek anlatılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın diğer ana başlığı olan soğutma sistemleri hakkında bilgiler verilmiş ve literatürde kullanılan defrost yöntemleri detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Tüm bölümlerin genel literatür taraması dördüncü bölümde sunulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümünde deneysel çalışma için kurulmuş olan FV/T sistem ile defrost tasarımı açıklanmıştır. Kurulan sistemde yer alan malzemeler, ölçüm aletleri, sistem akışı ve defrost çalışma algoritması tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde sistemin çalıştırılmasıyla elde edilen verilerin modellenmesinde kullanılan enerji analiz denklemleri, çevresel analiz denklemleri ve yapılan ölçümlerin belirsizlik analiz denklemleri ifade edilmiştir.

Yedinci bölümde modellemede elde edilen bulguların daha kolay değerlendirilebilmesi için grafikler çizilmiş ve çizelgeler oluşturulmuştur. Deneysel çalışma sonuçları yorumlanmıştır. Son bölümde ise yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler ifade edilmiştir.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının var oluşunda önemli bir yere sahiptir ve dünyadaki canlılar için hayatın temelini oluşturur. Güneş yaklaşık 1,4 milyon km çapı ve dünyadan $1,5 \times 10^8$ km uzaklıkta olan çekirdeğinde bir dizi füzyon reaksiyonunun gerçekleştiği bir yıldızdır. Güneşten çıkan mor ötesi, kızıl ötesi gibi çeşitli dalga boylarındaki ışınlar yaklaşık 8 dakikada dünyamıza ulaşır. Dünyaya gelen güneş ışınımının yaklaşık %18'i atmosferi ısıtmak için kullanılırken %35'i ise yansıtılarak uzaya döner. Kalan %48'lik ışınım miktarı yeryüzüne düşmekte ve ısı enerjisine dönüşmektedir. Yapılan ölçümlere göre dünya atmosferi dışında bir metre karelik alana bir saniyede dik gelen güneş ışınım miktarı 1367 W/m^2 'dir. Sürekli sabit olduğu varsayılan bu değere güneş sabiti denir. Güneş ışınım değeri dünya yüzeyine geliş iklimlere, atmosferdeki hava kirliliğine, coğrafi konuma bağlı olarak $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişiklik gösterir [15].

Dünyada tüketilen enerjinin çok daha fazlasına sahip olan güneş, geleneksel olarak nitelendirilen fosil enerji kaynaklarına göre daha çevreci, temiz ve insanoğlu için daha az zararlı olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Güneş enerjisi büyük bir enerji kaynağı oluşu, kolay uygulanabilmesi ve nispeten uygulamada karmaşık bir teknoloji ve mekanik sistem gerektirmemesi gibi üstün özellikleri sebebiyle günümüzde üzerinde araştırma yapılan konuların başında gelmektedir. Güneş enerjisi rekabet edebildiği her alanda yer alabileceği üstün özellikleri ile öne çıkmaktadır. Kullanım alanlarına bakıldığında, günlük yaşamın birçok yerinde ısı ve elektrik ihtiyacının karşılanmasında, kırsal alanlarda ve tarım sektöründe, iletişim, otomasyon gibi bir bölüm elektriğin karşılanmasında, askeri özel amaçlarda ve uzay çalışmalarında enerjinin karşılanması için kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak yapılan projeler çevreci bir bilinçle olduğundan tüketicide pozitif bir etki yaratmaktadır.

Güneşin yaydığı ışınımın dünyaya gelen enerji bir yılda toplam 1,5 katrilyon MW/h iken bu enerjinin 1,5 saatte dünya yüzeyine gelmesiyle tüm insanların harcadığı bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek miktarda olduğunu Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) belirtmiştir. Ayrıca IEA güneş enerjisine yatırımların giderek artacağını ve 2050 yılına gelindiğinde dünya elektrik tüketiminin %20'lik kısmının bu kaynaktan elde edileceğini öngörmektedir [16]. Günümüzde önemli büyüklükte bir sektör haline gelen güneş enerji sistemleri yatırımcısı, işvereni ve çalışanlarıyla birlikte ilerleyen yıllarda uluslararası firmaların önderliğinde en önemli sektör olma yolunda ilerlemektedir. Yatırımcılarına enerji tasarrufunun sağlanmasının yanında içinde bulunduğumuz çevreye zararı olmaması, gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir çevre bırakması yönüyle de düşünüldüğünde önemli saygınlık sağlaması kaçınılmazdır.

Türkiye coğrafi konumu sayesinde güneş kuşağı olarak bilinen bölgenin içinde yer alır. Bu nedenle ülkemiz güneş enerji potansiyeli bakımından özellikle Avrupa ülkelerine göre çok daha avantajlıdır. Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresiyle birlikte yapılan araştırmaya göre ülkemizin günlük toplam 3,6 kWh/m² güneş ışınımı gelirken yıllık ortalama 1311 kWh/m² yıl güneş ışınım şiddeti gelmektedir. Yıllık ortalama güneşli gün sayısı 110, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2640 saattir [15,17]. Ülkemiz gerekli yatırımları yaparak güneş enerji potansiyeli sayesinde enerjide dışa bağımlılığı önemli ölçüde azaltabilir. Güneş enerjisinden termal ve elektrik enerjisi olarak ayrı ayrı yararlanılabilirken, son yıllarda yapılan çalışmalar bu iki enerji türünün birleştirildiği fotovoltaik termal sistemler üzerinedir.

2.1. GÜNEŞ HÜCRELERİ

Güneş hücreleri ilk kez 1839 yılında Edmond Becquerel fotovoltaik olayı keşfetmesiyle araştırılmaya başlanmıştır. Fotovoltaik olay elektrotların üzerine düşen güneş ışığının bir gerilim oluşturmasına denir. Bu sözcük Yunanca ışık anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” birleştirilmesiyle “fotovoltaik” kelimesi oluşturulmuş ve FV olarak kısaltılmıştır. Işıktan elektrik üreten yapılar için “Fotovoltaik pil”, “Güneş pili” gibi adlandırmalar kullanılır. Yapılan araştırmalar sonucunda ilk gerçek anlamda güneş enerjisini elektrik enerjisine %6 verimle çeviren silikon kristal fotovoltaik diyotlar 1954 yılında keşfedilmiştir [18].

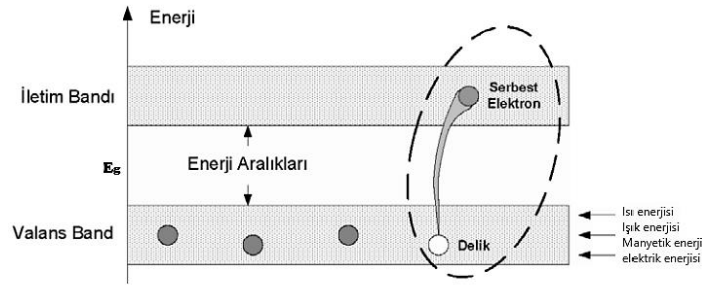
Bu buluş FV sistemler için çok önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilir. İlk olarak uzay araştırmalarında güç sistemleri için kullanılmaya başlayan FV sistemler petrol kriziyle birlikte birçok ÷lke tarafından araştırılmaya başlamıştır. Yarı iletken malzemelerle üretilen güneş hücrelerinin verimlerini artırılması için bu malzemeye yönelik yapılan çalışmalar hızla artmıştır.

Dünyadaki katı maddeler amorf veya kristaltik (düzenli) halde bulunabilirler. Kristallerin içlerindeki bölgeler hepsi aynı yapıya sahipse tek kristal farklı ise polikristal olarak adlandırılır. Tek kristallerin bütün bölgeleri aynı yapıya sahip olmayabilir, bölgeler birbirinden farklılık gösterebildiği de unutulmamalıdır. Optik ve elektrik özelliklere göre katı maddeleri; iletken, yalıtkan ve yarı iletken malzemeler olarak ayırabiliriz. Genel anlamda elektriği iyi iletenele iletken, iletmeyenlere yalıtkan, belli koşullara kadar iletmeyen, ancak koşul sağlandığıında iletenele ise yarı iletken maddeler denir. Yarı iletken maddeler periyodik cetvelin 3A-5A grubunda yer alırlar.

Atom pozitif yüklü çok ağır bir çekirdek ve onun etrafında farklı yörüngelerde hareket eden negatif yüklü elektronlardan oluşur. Atomların enerji bant modeliyle yalıtkan, iletken veya yarı iletken olduğu kıyaslanabilmektedir. Atomun etrafındaki yörüngelerde yer alan elektronlar belli enerji seviyelerine göre yerleşmişlerdir. Enerjisi en az olan elektron çekirdeğe en yakın olduğu hesaplanmıştır. Yörüngeler farklı sayıda atomlar içerirler ve elektronları farklı yörüngelere çıkartmak için enerji gerekir. Yapılan araştırmalar sonucunda elektronların üst yörüngelere çıkması için enerji absorbe etmesi gerektiği alt yörüngelere geçmesi içinse dışarı enerji vermesi gerektiği bulunmuştur. Elektronların üst yörüngeye çıkması için iki yörünge arasındaki enerji seviyesindeki fark kadar enerji alması gerekir. Şekil 2.1'de enerji bant diyagramı gösterilmiştir. Elektronlara verilen bu enerji elektrik, ısı, ışık, elektron kanalıyla bombardıman veya manyetik etkileşimle olabilir. Elektron bu etkilerden birine yeterli miktarda maruz kaldığıında uyarılarak üst yörüngeye geçer ancak bu yörüngede çok kısa bir süre kalırlar. Elektron tekrar eski yörüngesine geçebilmek için foton enerjisi yayarak eski konumuna döner. Eğer elektrona yeterli miktarda enerji verilirse elektron iyonlaşarak atomdan kopar [19].

Yarı iletken malzemeler normalde değeriilik bandı dışında hiç serbest elektronları yoktur ve yalıtkanlardır. Ancak yukardaki bahsedilen etkilerden birinden yeterince enerji absorbe ettiklerinde değeriilik elektronu serbest kalır ve iletkenlik bandına geçebilirler. Bu durum geçici olmasına karşın madde iletkenlik özelliği kazanır. Elektronun üst yörüngeye çıkması için gerekli olan enerjiye yasak enerji aralığı denir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$E_g = E_c - E_v \quad (2.1)$$



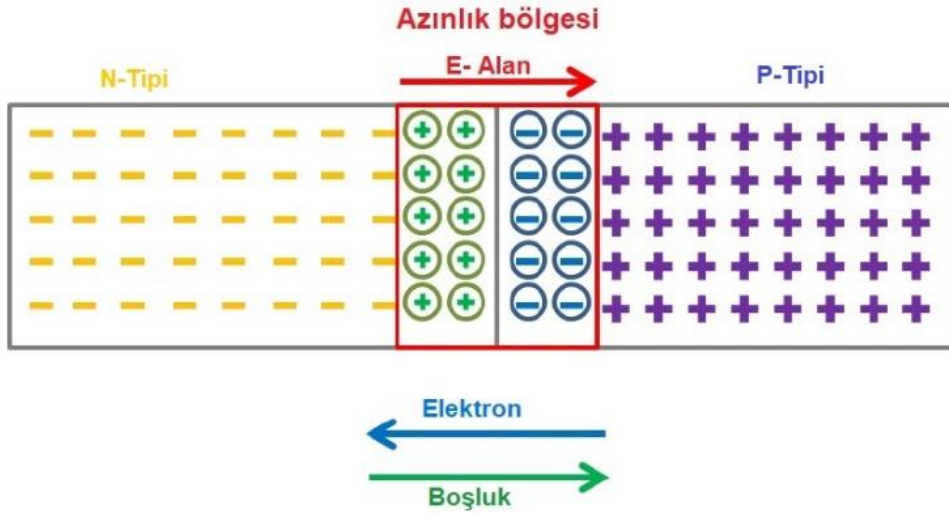
Şekil 2.1. Enerji bant diyagramı.

Burada E_c iletkenlik bandını, E_v valans (değeriilik) bandını ifade eder. Yarı iletkenlerin yasak bant aralığı yalıtkan ve iletken arasında yer alır. FV pil yapımında kullanılan yarı iletkenler sıcaklık artırıldığında direnci azalır ve elektriksel iletkenlikleri artar. Bu özelliği bakımından da güneş ışınımı altında yarı iletkenlerin kullanımı avantaj sağlar. Ancak bu yüksek verim elde etmemize yetmez ve bu yüzden iletkenliklerini artırmak için 3A ve 5A grubu elementlerden yarı iletkenin atomları arasına ilave yapılmalıdır. Bu şekilde elektrik özellikleri değeriştirilmiş saf olmayan katkılı n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler elde edilir [20].

N tipi yarı iletkende elektron, P tipi yarı iletkende ise boşluklar yük taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelerek eklemleri oluşturulur. Silisyum, germanyum gibi son enerji bandında 4 elektron bulunduran elementlerin içine, son enerji bandında 5 elektron bulunduran fosfor, arsenik gibi elementlerle karıştırıldığında son enerji bandındaki 4 elektron kovalent bağ kurarken bir elektron boşta kalır ve serbest halde dolaşır. Serbest elektron bulunduran bu maddeye N tipi yarı iletken denir.

Yine son enerji bandında 4 elektron bulunduran silisyum, germanyum gibi elementlerin içine, son enerji bandında 3 elektron bulunduran indiyum, bor, galyum gibi elementler karıştırıldığında son enerji bandında 3 elektron bulunan komşu elektronlarla kovalent bağ kurar. Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyumun 1 elektronu boşta kalır ve dışarıdan elektron kopartmak ister. Bağ yapmak isteyen elektronun olduğu yer oyuk (hole) olarak ifade edilir ve bu şekilde elektron çekmeye uygun olan karışımlara ise P tipi yarı iletken denir.

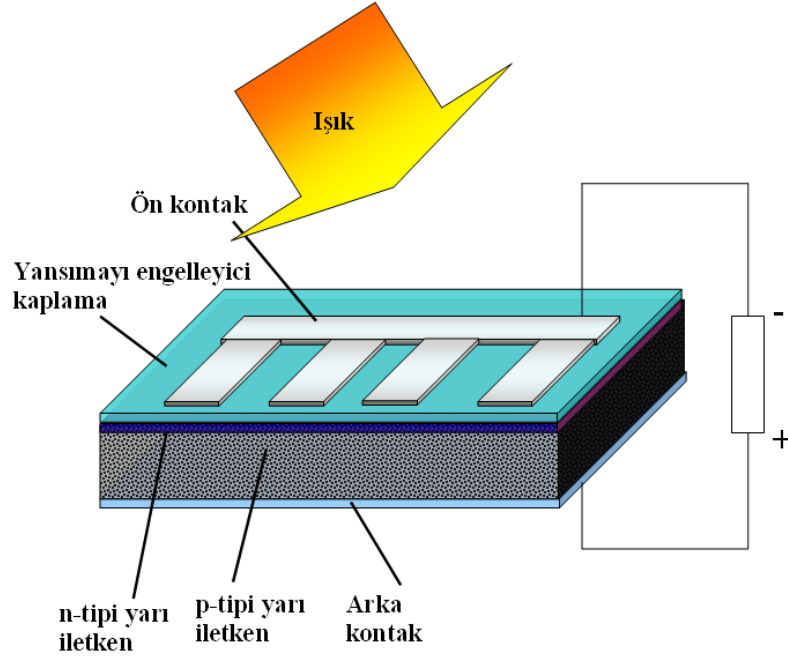
P ve N tipi yarı iletkenler birleştirilmeden önce elektriksel olarak nötr durumdadır. P-N birleştirilmesiyle oluşan ekleme, n tipi yarı iletkende yük taşıyıcı olan elektronlar p tipi yarı iletkenine doğru akım oluştururlar. Bu olay ortada bir yük dengelenmesi oluncaya kadar devam eder. Şekil 2.2’de P-N eklemesinin şematize hali gösterilmiştir. Bu bölgenin n-tipi tarafına pozitif yük, p-tipi tarafına ise negatif yük birikir. P-N yarı iletkenlerinin birleşmesinden oluşan aradaki bölüme azınlık (depletion) bölgesi denir. Bu bölgede n tipinden p tipine doğru elektriksel alan oluşur.



Şekil 2.2. P-N eklemi.

Oluşan bu elektriksel alan yeterince büyümesi katmanlar arasındaki difüzyonun durmasına neden olur. Oluşan bu alan diyot davranışı göstererek p tipi yarı iletken n tipi yarı iletkenine geçişi durdururken, ters yönde akışı engellemez.

Oluşan bu elektriksel alan potansiyeli germanyum için 0,3V iken silisyum için 0,7V düzeyindedir. Güneş hücresinin üzerine güneş ışınımı geldiğinde eklem tarafından foton enerjisi emilerek n tipi yarı iletkende hareketli elektronlar p tipinde ise boşlukları (hole) oluşturur. Bu olayın sonucunda eklem bölgesinin dışında bir potansiyel fark meydana gelir ve elektrik alanının dışından n tipi yarı iletkenine bağlı kontaktardan p tipi yarı iletkenine dış devre boyunca elektron akışı sağlar. Böylece bu devrede akım ve DC güç elde edilmiş olur. Bu fotovoltaik olay Şekil 2.3'te şematize edilmiştir. Buradaki asıl amaç fotovoltaik olayın gerçekleştirilmesidir. Bu olay iki kısımdan oluşur. Birincisi taşıyıcı yük çiftleri elektron ve boşlukların oluşturulması, ikincisi ise bu çiftlerinin birbirinden ayrılmasıdır.



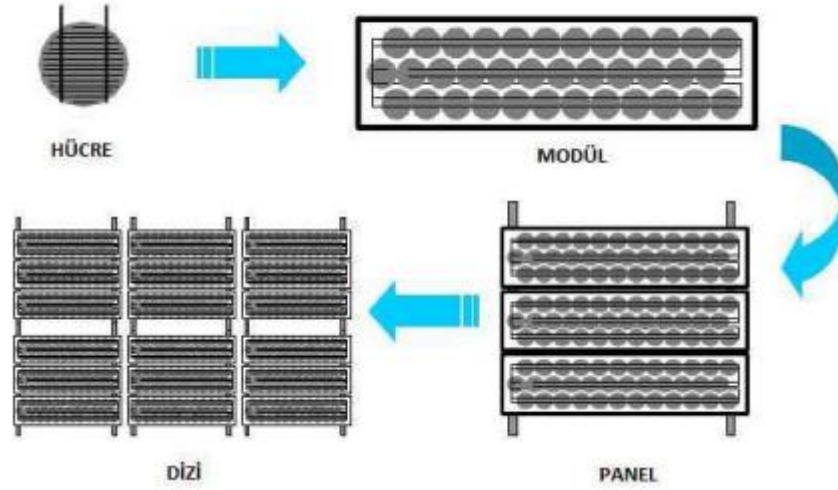
Şekil 2.3. Fotovoltaik olay ve güneş pili [21].

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretiminde kullanılan sistemlere fotovoltaik sistemler denir. Fotovoltaik sistemler modüler yapıdadırlar ve gerekli olan güç ihtiyacına göre sistem kurmak kolaydır.

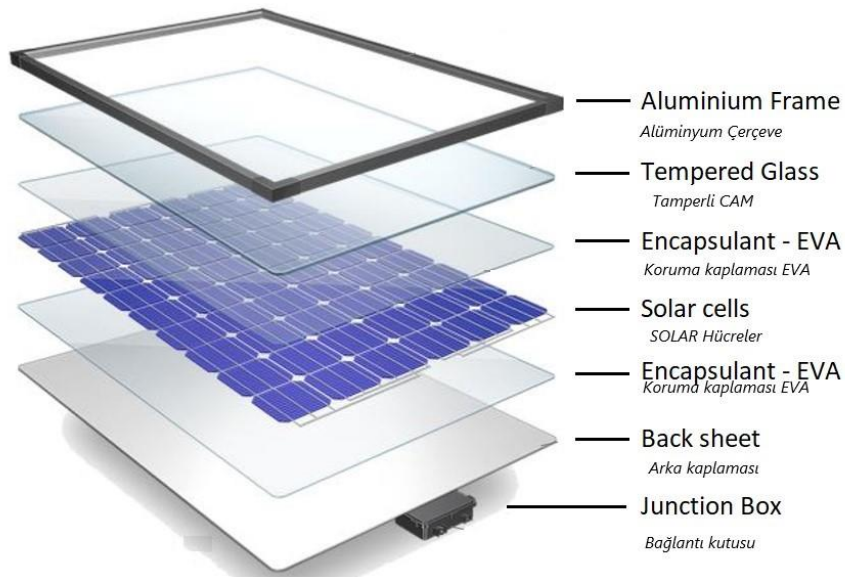
2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemlerin en küçük yapı birimi güneş hücreleridir. Piyasada yüzey şekilleri dikdörtgen, kare ve daire şeklinde bulunabilirler.

Üretim aşamalarında genellikle yüzey alanları 100 cm^2 ve kalınlık ise 0,1 ve 0,4 mm arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Piyasada bulunan fotovoltaik hücrelerin verimleri %5 ile %25 arasında değişmektedir. Güneş hücrelerinin birleştirilmesiyle modüller, modüllerin birleştirilmesiyle güneş panelleri, panellerin birleştirilmesiyle diziler meydana gelir [22]. Şekil 2.4'te güneş hücresinden dizi oluşumuna ait görsel ve Şekil 2.5'te FV panelin iç yapısı gösterilmiştir. FV modüllerden üretilen akım ve gerilim, üzerine gelen güneş ışınım miktarıyla doğru orantılıdır. Paneller birbiriyle seri ve paralel bağlantı yapılarak istenilen akım ve gerilim değerleri elde edilebilir. Bu şekilde birkaç watt gücünden kilowatt seviyelerine kadar sistemler kurulabilir.



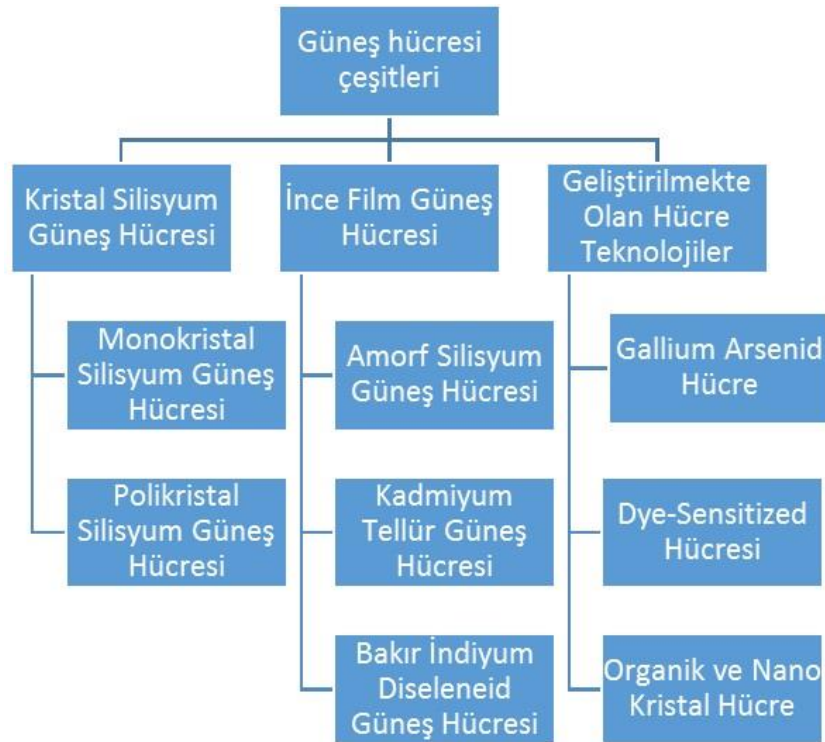
Şekil 2.4. Güneş paneli, güneş modülü ve güneş hücresine ait görünüm [22].



Şekil 2.5. Fotovoltaik panellerin iç yapısı [23].

Fotovoltaik modüllerin üretiminden sonra ön ve arka kısımlarına etilen vilanül asetat (EVA), ardından arka kısımlarına TPT veya TEDLAR film lamine işlemleri uygulanır. Modüllerin ön kısmına temperlenmiş cam levha ile kapatılmakta ve alüminyum çerçeveye fotovoltaik panel üretim işlemi tamamlanmaktadır. Ticari olarak piyasada bulunan ve uygulaması yapılan üç çeşit silisyum güneş hücreleri bulunabilmektedir. Bunlar monokristal (tek kristal), polikristal (çoklu kristal) ve amorphous silisyum güneş hücreleridir. Bunların arasında verimleri en yüksek olan monokristal güneş hücreleridir.

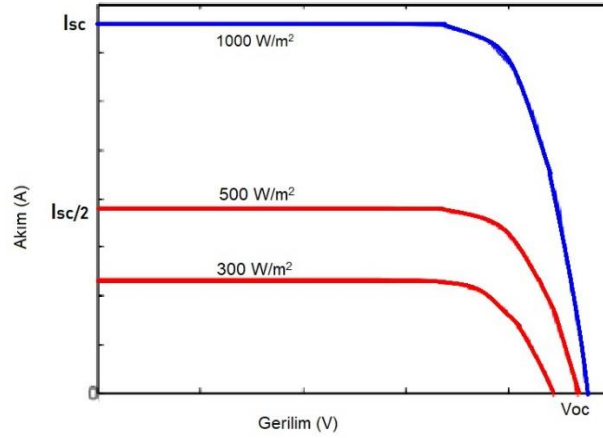
Fotovoltaik hücrelerde kullanılan malzemelere göre sınıflandırılması Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Piyasada yüksek verimliliğinden dolayı monokristal silisyum fotovoltaik paneller tercih edilmektedir. Farklı polimer ve organik malzemeler kullanılarak üretilen güneş hücrelerinin geliştirilmesine devam edilmektedir. Bunlardan bazıları şekilde gösterilmiştir. FV panellerin verimleri teknolojinin gelişimiyle birlikte daha da artmaktadır. Günümüzde %21 olan FV verimleri, yoğunlaştırıcı sistemlerin kullanılmasıyla %35 seviyelerine ulaşmıştır [24].



Şekil 2.6. Güneş hücresi yapımında kullanılan malzemeler ve sınıflandırılması [25].

Günümüz teknoloji ile üretilen fotovoltaik panellerin verimleri halen istenilen seviyelerde değildir. FV paneller çalıştıkları ortamdan etkilenerek verimleri düşmektedir. FV panelin bulunduğu ortamın; ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı, gölgelenme, tozlanma gibi çevresel faktörler güç verimlerini etkilemektedir. Bu faktörlerin etkilerine aşağıda değinilmiştir.

Güneş ışınımı: Güneşten gelen foton enerjisi FV panellerin ürettiği kısa devre akımıyla doğrudan etkilidir. Birimi W/m^2 olan bu ışınım panellerin ürettiği kısa devre akımı (I_{sc}) ve açık devre gerilimiyle olan ilişkisi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi güneş ışınımı kısa devre akımıyla doğru oranlı iken, açık devre gerilimiyle değişimi oldukça azdır.



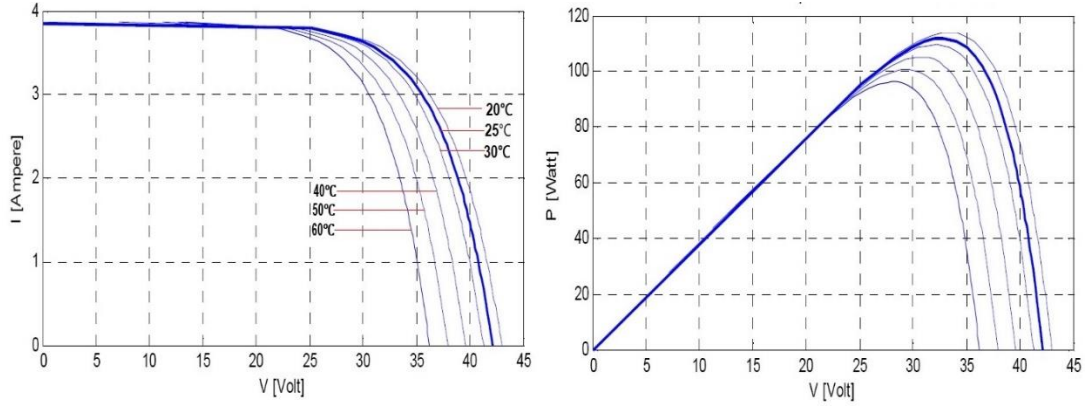
Şekil 2.7. Güneş ışınım değerlerindeki I/V eğrisi [26].

Tozlanma: FV panel cam yüzeyinde biriken kirlenici madde ve tozlar ince bir tabaka oluşturur. Cam plakada oluşan bu tabaka panel yüzeyine gelen güneş ışığının alt kısımda bulunan yarı iletken plakalara geçişini engelleyerek FV panelin güç üretimini ve verimini düşürürler.

Gölgelenme faktörü: FV paneldeki dizilerin üzerine farkı ışınım miktarlarının gelmesiyle üretilen güçte azalmalar meydana gelir. Gölgelenme çatı, ağaç veya bir cismin güneş ışınımının önüne geçmesiyle oluşur.

Sıcaklık Faktörü: FV paneller buldukları ortam ve hücre sıcaklıkları nedeniyle verim kayıpları oluşmaktadır.

Hücre sıcaklıkları standart test koşulları 25 °C olarak değerlendirilirken, bu sıcaklığın üstüne çıktığında gerilimde azalma meydana gelmektedir. Şekil 2.8’de FV Panel sıcaklıkla akım-gerilim-güç karakteristik eğrileri gösterilmiştir. FV hücrenin kısa devre akımı artarken açık devre gerilimi tersine sıcaklıkla azalış gösterir. FV sistemlerin elektriksel verimleri yüksek çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak azalmaktadır. Çalışma sıcaklıklarında 1 °C’lik sıcaklık artışının verime etkisi kristal silikonlu FV hücrelerde yaklaşık %0,5 oranındayken, amorf silikon hücrelerde bu oran %0,2’dir. Yani yüksek verimlerinden dolayı piyasada çok fazla kullanılan mono ve polikristal silikon hücrelerde sıcaklık artışıyla verim kaybı daha yüksektir [27].

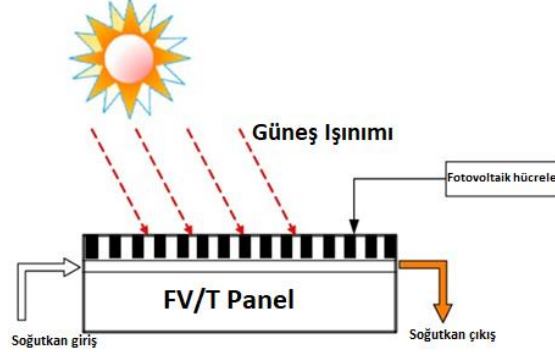


Şekil 2.8. FV modül sıcaklıkla akım-gerilim-güç karakteristik eğrileri [28].

2.3. FV-T SİSTEMLER

Güneş panelleri yarı iletken malzeme teknolojisine dayanır ve silisyum, germanyum gibi yarı iletken malzemeler ile çalışır. FV hücreler güneşten yayılan foton enerjisini belli bir miktara ulaştıktan sonra elektrik enerjisine dönüştürebilirler. FV panele gelen güneş radyasyonunun bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, kalan kısmı ise panel sıcaklığını artmasına neden olarak verim ve güç kaybına yol açar. Güneş enerjisi sistemlerinde verimi düşüren bu ısı enerjisi, sistemden uzaklaştırılarak yararlı enerjiye dönüştürülebilir. Bu tip bir dönüşüm için FV panellere entegre termal sistemlerden yararlanmak akılcı bir yaklaşımdır [3,5]. Bu sayede hem FV hücrelerin soğutulması sağlanır hem de modüllerden uzaklaştırılan ısı enerjisi, faydalı enerjiye dönüştürülerek bir proste kullanılır. Bu şekilde hem elektrik hem de ısı enerjisi üreten hibrit sistemlere Fotovoltaik/Termal (FV/T) sistemler denir. Çeşitli tasarım ve tipi bulunan hibrit FV/T sistemin genel yapısı Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

Şekilden de anlaşılacağı gibi FV panelde depolanan ısı herhangi bir soğutucu akışkana aktarılarak (FV panelin altından geçen) hücrenin soğutulması amaçlanmıştır. Bu da sistemin elektrik verimini artırır [29].



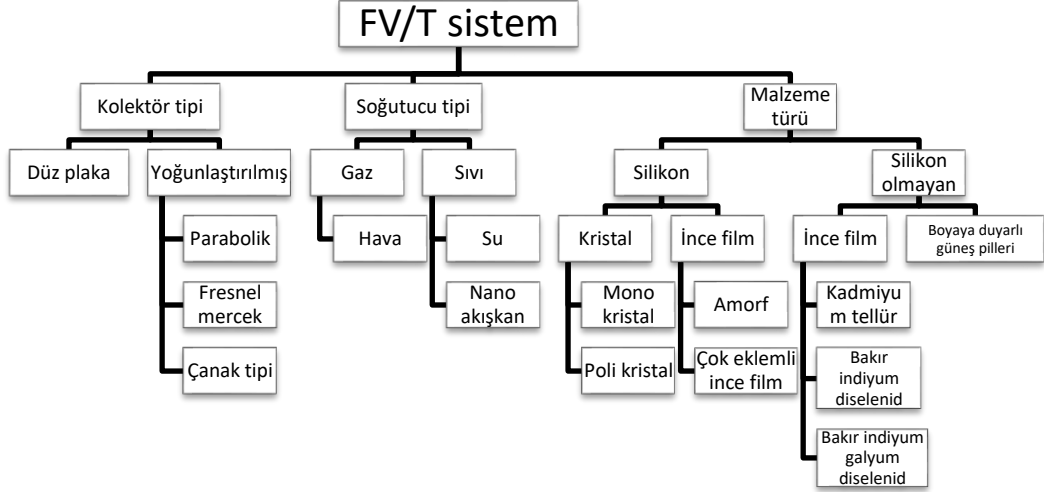
Şekil 2.9. FV/T sistem genel yapısı [30].

FV panellerin ısıl sistemlerle birleştirilmesiyle elde edilen yüksek verimli yenilenebilir enerji kaynağı olan FV/T sisteminin yirmi birinci yüzyılda kullanımı gittikçe artmaktadır. FV/T sistemlerin kullanılmasındaki asıl amaç FV hücre sıcaklıklarının artmasının önlenmesi ve bunu yaparken elde edilen termal enerjinin verimli şekilde kullanılmasıdır. Hücre sıcaklığındaki artışın temel nedeni yarı iletken silisyum malzemenin üzerine düşen foton enerjisinin fotovoltaiik olay ile elektron koparması ve geriye kalan enerjinin hücreyi ısıtmasındandır. Ayrıca gelen foton enerjisi elektron kopartmak için yeterli enerjiye (1,12eV) sahip değilse de bu enerji hücrede ısı olarak depo edilir [31]. FV panelde depolanan bu ısı enerjisi, hücre sıcaklığının artmasına sebep olarak elektron hareketlerini kısıtlar ve verimde azalmalara neden olur. FV sistemlerin standart test koşullarındaki ($I(t) = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $HK = 1.5$) verimlerinin sıcaklıkla olan değişimi aşağıdaki Eşitlik 2.2 ile hesaplanabilir. Sistemin η_{el} 'si temelde hücre sıcaklığına bağlıdır, çünkü FV hücrelerinin üretiminde kullanılan malzeme sıcaklıktaki değişime duyarlıdır.

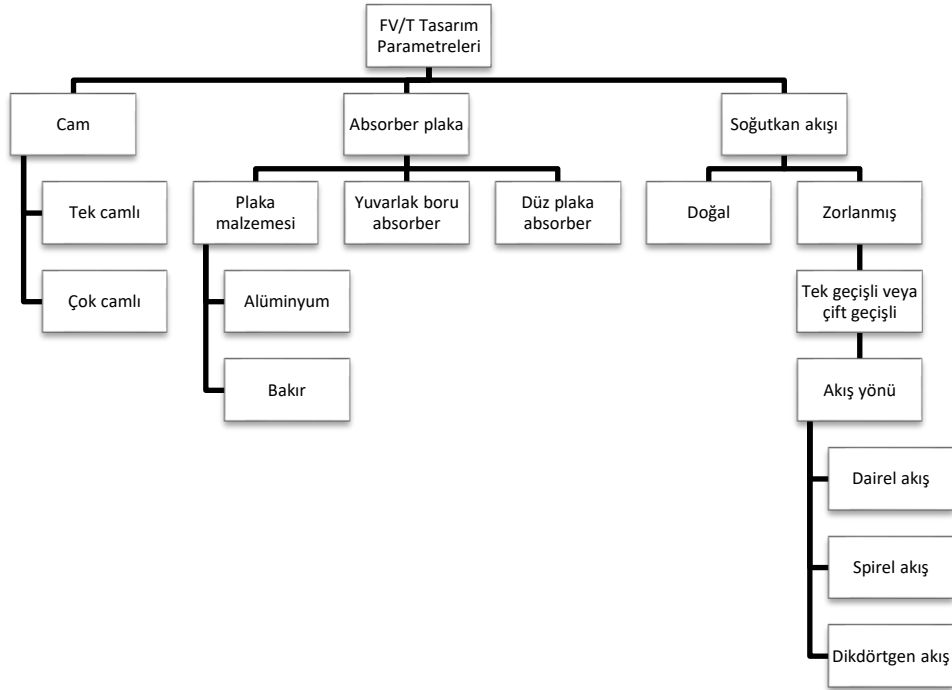
$$\eta_{el} = \eta_0 [1 - \beta(T_c - 25)] \quad (2.2)$$

Buradaki η_0 ve β sırasıyla standart test koşullarındaki verimi ve elektriksel verimliliğin termal katsayısı olarak ifade edilir. β değeri sistemdeki FV panelin kullandığı malzeme ile değişir ve bu değer kristal silikon için yaklaşık 0,0045/K, CIS için 0,0035/K, CdTe için 0,0025/K ve a-Si için 0,002/K'dir [2].

Son zamanlarda bu ısı enerjisinin değerlendirildiği kojenerasyon uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok farklı tasarımları yapılabilen FV/T sistemlerin tasarımlara göre sınıflandırılması Şekil 2.10'da farklı parametrelere göre sınıflandırılması Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Tasarım türüne göre FV/T sistemlerin sınıflandırılması [30].



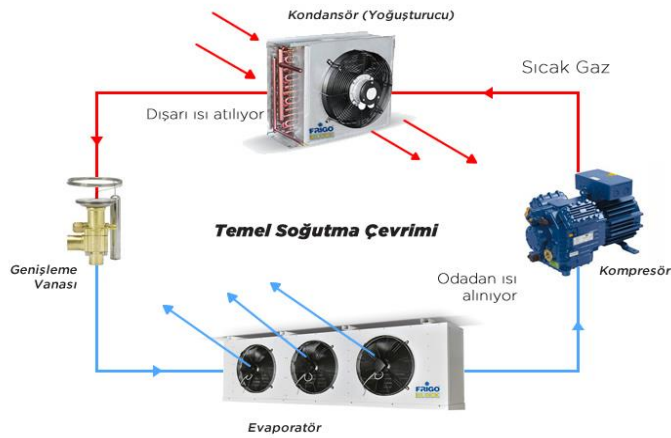
Şekil 2.11. Tasarım parametrelerine göre FV/T sistemlerin sınıflandırılması [30].

Son yıllarda ümit vaat eden hem elektrik hem de ısı enerjisinden yararlanabilme özellikleriyle araştırmacıların ilgi odağı haline gelen fotovoltaik termal sistemler bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Su soğutmalı FV/T sistemler diğerk tasarımlara göre nispeten daha ucuz olması ve suyun kolay bulunabilmesi nedeniyle avantajlıdır. Bu nedenle tasarımı yapılan FV/T sistemde malzeme olarak monokristal, bakır absorber plakalı, düz akışlı zorlanmış taşınım ve soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır.

BÖLÜM 3

SOĞUTMA SİSTEMLERİ

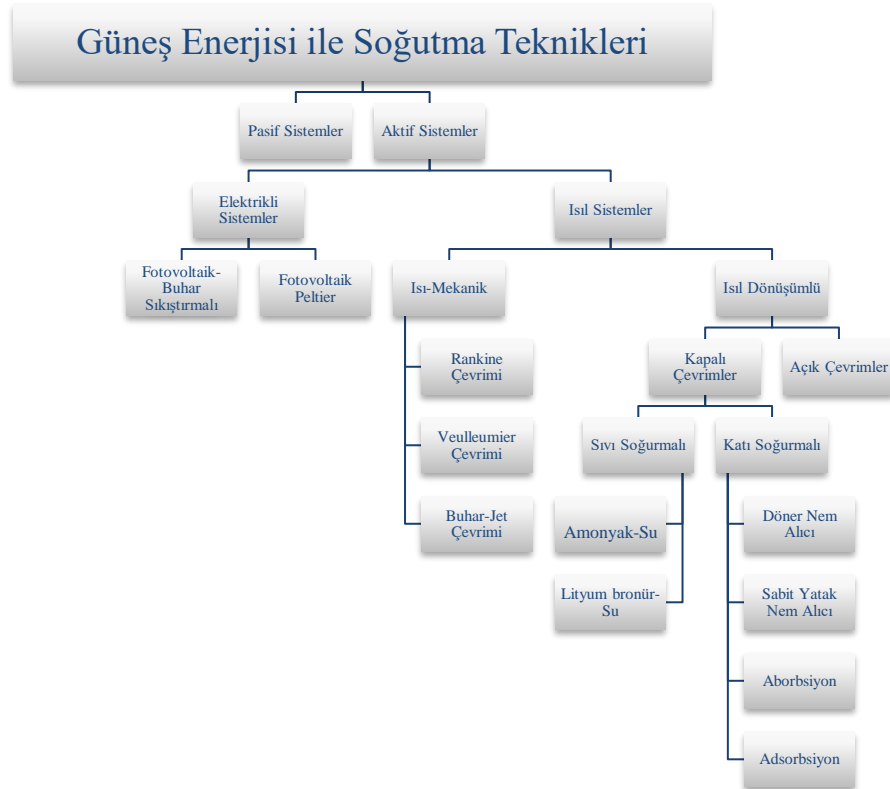
Soğutma düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısının aktarılmasıdır. Bu işlemi gerçekleştirmek için tasarlanmış cihazlara soğutma makineleri, çalıştıkları döngüye ise soğutma çevrimi denir. En yaygın kullanılan soğutma sistemi buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Soğutma çevrimlerinde ısıyı taşıyan, iş gören akışkanlara soğutucu akışkan (soğutkan) denir. Soğutucu akışkan çevrimde buharlaşır, yoğuşur ve buhar fazında tekrar sıkıştırılır. Kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan önce kızgın buhar fazına geçer ve kondensere gönderilir. Burada, soğutucu akışkan bulunduğu ortama ısısını vererek yoğuşur. Kondenserden çıkan soğutucu akışkan genişleme valfinde basıncı düşürülerek sıvı-buhar karışımı olarak evaporatöre girer. Soğutucu akışkan bulunduğu ortamdan daha düşük sıcaklığa sahip olduğu için çevresinden ısı çekerek buharlaşır ve ortamı soğutur. Doymuş buhar olarak evaporatörden çıkan soğutucu akışkan kompresör tarafından emilerek çevrim tamamlanmış olur. Soğutma çevrimi sırasıyla kompresör, kondenser, kısılma valfi ve evaporatör olarak dört ana elemandan oluşur. Şekil 3.1’de bu çevrim ve ana elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi [32].

3.1 GÜNEŞ ENERJİLİ SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Elektrik üretiminin büyük bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu da çevre kirliliğine ve küresel iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Dünya üzerinde bulunan fosil kaynakların giderek azalması elektrik üretim maliyetlerini her geçen gün arttırmıştır. Bu nedenle ülkeler fosil enerji kaynakları yerine alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Geleneksel soğutma sistemlerinde kullanılan geleneksel akışkanlar ozon tabakasına zarar vermesi sebebiyle çoğu ülkede kullanımı yasaklanmıştır. Bu sebeplerle soğutma sistemlerinde kullanılan geleneksel akışkanların yerine daha çevreci soğutucu akışkanların bulunması ve farklı soğutma sistemlerinin tasarlanması için çalışmalar artmıştır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde güneş enerjisi, kolay uygulanabilmesi ve nispeten düşük kurulum maliyetleri olmasıyla üzerinde farklı çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. Teorik olarak bakıldığında güneş enerjisi ile yapılan birçok soğutma tekniği bulunmaktadır. Bu soğutma tekniklerinin bir çoğu Şekil 3.2’de verilmiştir [33]. Günümüzde güneş enerjisinin ısısından yararlanılarak yapılan soğutma sistemleri ön plana çıkmıştır.



Şekil 3.2. Güneş enerjisi kaynaklı soğutma teknikleri [33].

Üzerinde çalışmaların yapıldığı ve kullanımını daha fazla olan güneş enerjisinin ısısından yararlanılarak yapılan soğutma sistemleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Güneş enerjili ısıl-mekanik soğutma çevrimi
2. Güneş enerjili absorpsiyon soğutma çevrimi
3. Güneş enerjili adsorpsiyon soğutma çevrimi
4. Güneş enerjili desikant soğutma çevrimi

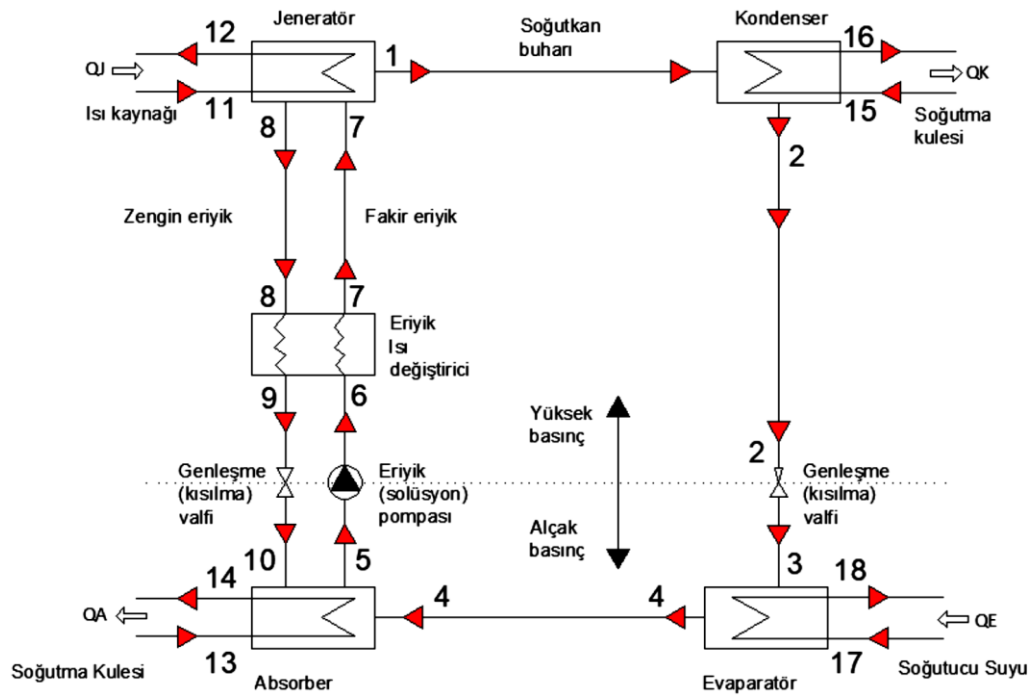
3.1.1. Güneş enerjili Isıl-Mekanik Soğutma Çevrimi

Organik Rankine çevrimi ilkesine göre çalışan soğutma sisteminde dışarıdan alacağı ısı enerjisi güneş kolektörlerinden elde edilir. Bu soğutma sisteminde yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olduğu için parabolik odaklamalı güneş kolektörleri veya güneş takip sistemli heliostat kule tipi güneş kolektörleri kullanılır. Kolektörde kızgın buhar fazına geçirilen akışkan türbini harekete geçirir ve mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde bulunan kompresör çalıştırılır. Böylece kompresörde sıkışan soğutucu akışkan normal çevrimine devam edebilir.

3.1.2. Güneş enerjili Absorpsiyon Soğutma Çevrimi

Absorpsiyonlu soğutma çevrimini 1862 yılında Franz carre icat etmiştir. 1950 yılına kadar üzerinde birçok çalışma yapılarak geliştirilmiş olsa da bu yıldan sonra elektrik fiyatlarının ucuzlaması ve farklı kapasitelerde tasarım imkânı sunan kompresörün icadıyla buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri yerini almıştır. Güneş enerjisinden elde edilen ısıyla soğutma sistemi yapmakta en yatkın sistemlerin başında absorpsiyonlu soğutma çevrimi gelmektedir. Absorpsiyon işlemi bir maddenin başka bir maddeyi soğurması veya içine çekmesi olayına denir. Bu soğutma sisteminde biri soğutucu akışkan diğeri absorbent olmak üzere iki farklı akışkan bulunur. Absorbent akışkanı diğeri soğutucu akışkanı içine emebilen bir akışkandır. Genellikle bu soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak amonyak (NH_3), absorbent olarak ise su (H_2O) kullanılır. Bu sistemler temelde mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemine benzerdir.

Şekil 3.3'te absorpsiyonlu soğutma çevriminin akış şeması ve ana elemanları gösterilmiştir [34]. Bu çevrimin COP değeri 0,3 ile 1,2 arasında değişkenlik göstermektedir. Soğutma etkisi yine akışkanın faz değişiminden yararlanılarak elde edilirken, bu çevrimin mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminden en temel farkı kompresör yerine absorber-jeneratör çiftinin kullanılmasıdır. Amonyak suda çok çabuk eriyen bir maddedir ve su-amonyak karışımı 140 °C'e ısıtıldığında amonyak sudan tamamen ayrılır. Amonyak-su gibi farklı akışkanların buna benzer özelliklerinden yararlanılarak absorpsiyonlu soğutma sistemleri tasarlanmıştır. Kompresör görevini kaynatıcı ve absorberden oluşan ısı eşanjör grubu gerçekleştirmektedir. Her iki sistemde bir yoğuşturucu, bir kısılma vanası ve bir buharlaştırıcı bulunur. Burada kaynatıcıda ihtiyaç olan ısı enerjisi güneş enerjisi sistemlerinden sağlanarak güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma çevrimi yapılmaktadır.

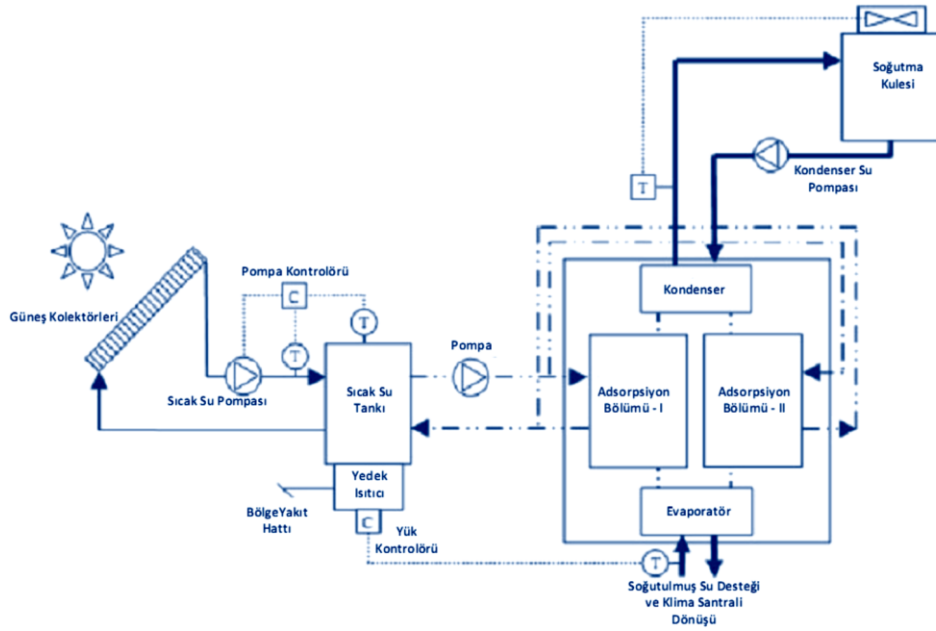


Şekil 3.3. Absorpsiyonlu soğutma çevrimi [34].

3.1.3. Güneş enerjili Adsorbsiyon Soğutma Çevrimi

Aktif karbon, silika-gel gibi maddelerin gözenekleri büyük miktarda gaz emebilmektedir. Bu gibi katı maddelerin özelliklerinden yararlanılarak tasarlanan sistemlere adsorbsiyonlu soğutma sistemleri denir. Adsorbsiyonlu soğutma çevrimi absorbent ve soğutucu akışkan çiftinden oluşur. Soğutucu akışkan olarak su, amonyak, metanol veya etanol gibi akışkanlar kullanılabilir.

Adsorbsiyonlu soğutma çevrimin çalışması Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Kaynatıcı da ihtiyaç olan ısı enerjisi güneşten elde edilerek güneş enerjili soğutma sistemi elde edilir. Kaynatıcının içinde bulunan silika-gel ısıtılmasıyla emmiş olduğu amonyak buharlaşır. Burada amonyak belli bir basınca ulaştınca çıkış vanasını açarak yoğunlaştırıcıya geçer. Bu sistemlerin daha verimli ve sürekli çalışabilmesi için şekilden de görüldüğü gibi birden fazla adsorbent yatağı kullanılır.



Şekil 3.4. Adsorbsiyonlu soğutma çevrimi [35].

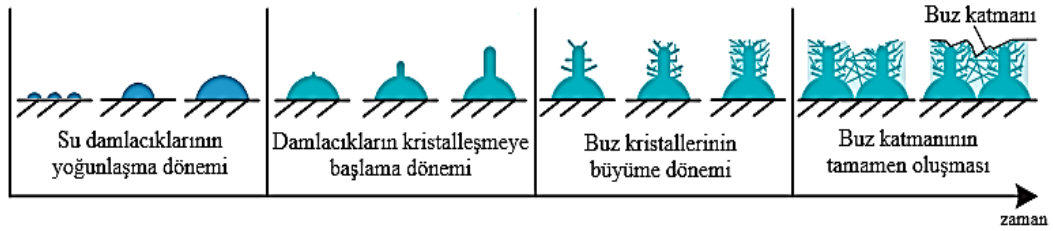
3.1.4. Güneş enerjili Desikant Soğutma Çevrimi

Desikant soğutma sisteminde havadaki su buharının gizli ısıısının herhangi bir mekanik enerji harcamadan veya çok az miktarda enerji harcanarak duyulur ısıya dönüştürülmesidir.

Defrost işlemiyle soğutma sisteminin nominal performansını geri getirirken defrost işlemi için kullanılan sistemler de ek enerji maliyetleri oluşmaktadır [11]. Baxter ve Moyers bir konutta kurulan yüksek verimliliğe sahip bir hava kaynaklı ısı pompası (ASHP) için defrost enerji tüketimini ölçmüştür. Ölçülen sonuçlar, bir ısıtma mevsimi boyunca ASHP'nin toplam güç tüketiminin %10,2'sinin defrost güç tüketiminden olduğunu göstermiştir [12].

3.3. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST UYGULAMASI

Soğutma çevriminde soğutucu akışkanın en düşük sıcaklıkta olduğu eleman evaporatördür ve dolayısıyla evaporatör yüzeyleri de soğutma sisteminde en soğuk bölümdür. Bu yüzden evaporatörün bulunduğu ortamdaki havada bulunan nem evaporatör yüzeyinde buzlanma veya karlanmalara neden olur. Oluşan bu buzu veya karlanmayı eritme işlemine defrost denir. Evaporatör çalışma sıcaklığının sıfırın altında olduğu sistemlerde mutlaka defrost sistemi bulunmalıdır. Aksi halde sistemin performansında düşmeler meydana gelmekte ve defrost edilmezse soğutma işleminin durmasına da neden olmaktadır. Buz oluşumunun aşamaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Başlangıçta oluşan buz serpantin yüzey alanını artırarak ısı transferini artırırken, buzlanmanın devam etmesiyle kalınlığı da artmaktadır. Artan buz kalınlığı borular arasındaki boşluğu doldurarak hava akışını engellemekte ve ayrıca buzun ısı transferini azaltmaktadır.



Şekil 3.6. Buz oluşum sürecinin şematik gösterimi [36,37].

Evaporatördeki bu karlanma olayını engellemek için kullanılan bazı defrost yöntemleri şunlardır:

1. Isıtılmış hava ile defrost
2. Oda havasıyla defrost
3. Sıcak soğutucu gaz ile defrost
4. Elektrikle defrost
5. Sıcak su ile defrost

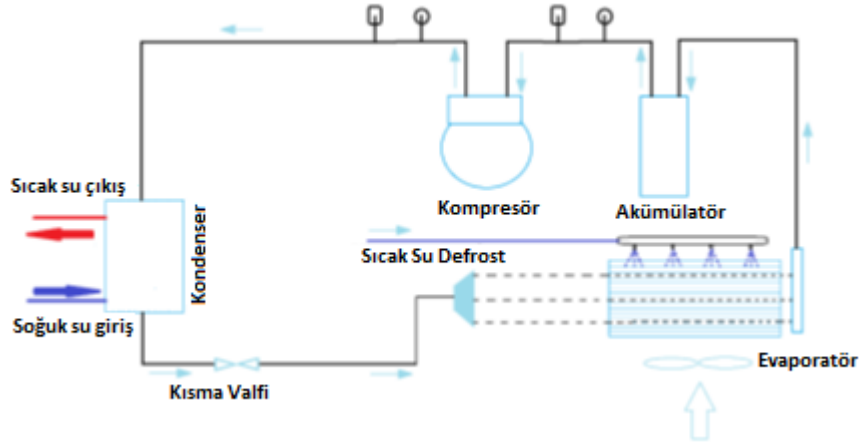
3.3.1. Isıtılmış Hava ile Defrost Yöntemi

Evaporatörün bulunduğu kabinin sıcaklığı 4 °C'den daha büyük olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Kabin havasının evaporatör yüzeyine gönderilmesiyle yapılan defrost yöntemidir [11].

Evaporatör yüzeyinde oluşan buz kabin havasıyla defrost edilir. Bunun için evaporatör fanları bir termostat kontrolcüsüyle kontrolü edilir ve yüzey sıcaklığının 0 °C'nin üzerine çıkartılmasıyla defrost işlemi biter. Evaporatör kabin sıcaklığının 4 °C'den küçük olduğu durumlarda defrost işlemi uzun sürer ve kabin sıcaklığının yükselmesine neden olur.

3.3.2. Suyla Defrost Yöntemi

Defrost süresinin en kısa olduğu yöntemdir. Suyla yapılan defrost için farklı tasarımlar bulunsa da temelde sıcak su evaporatör yüzeyine dökülerek buz erimesi sağlanır. Bu yöntemde kullanılan suyun sıcaklığı defrost süresini önemli ölçüde etkiler. Sıcak suyla defrost şematik görüntüsü Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Yüzeyde oluşan buzun hızlı ve eş zamanlı erimesi istediği için duş tertibatı sistemi kullanılır. Daha sonra bu su ve eriyen buz hızlı bir şekilde kabin dışına taşınır. Duş tertibatları içerisinde su kalmayacak şekilde tasarlanır ve -40 °C kadar evaporatör sıcaklıklarında bu yöntem kullanılabilir.

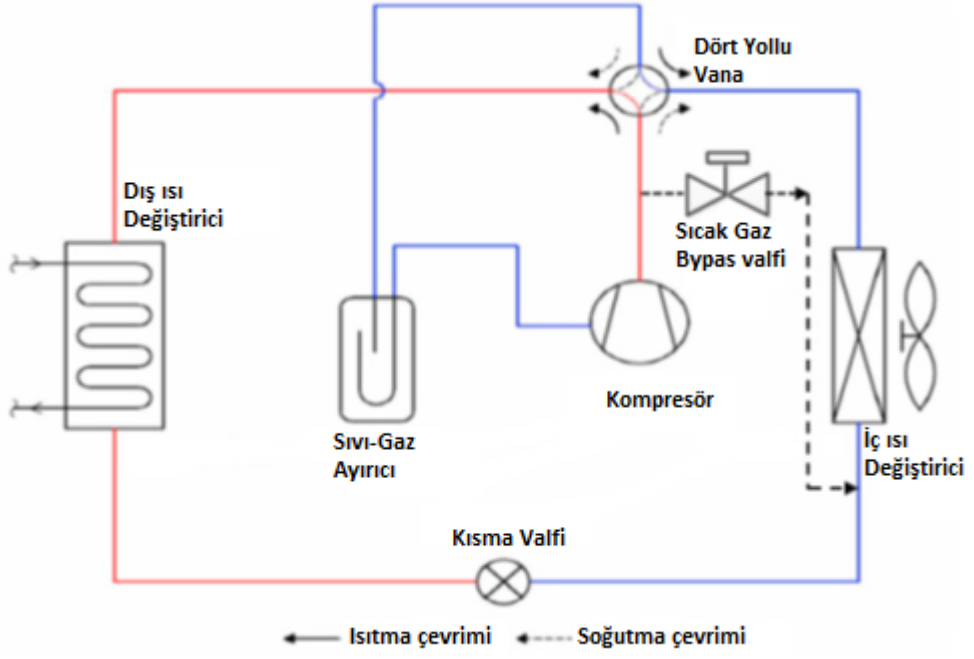


Şekil 3.7. Sıcak suyla defrost şematik görüntüsü [38].

3.3.4. Sıcak Gazla Defrost Yöntemi

Sıcak gazla defrost işlemi genellikle $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki büyük donmuş depolarda ve hava kaynaklı ısı pompalarında sık kullanılan bir defrost yöntemidir [40,41]. Bu yöntemde kompresörden çıkan kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkan kondensere girmeden evaporatöre yönlendirilir.

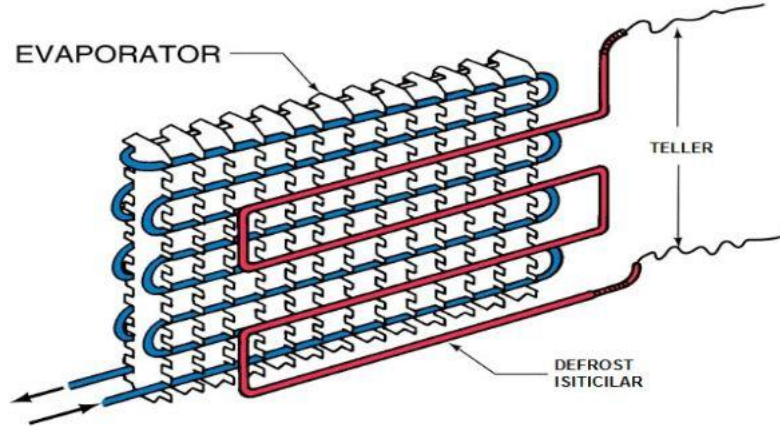
Bu yönlendirme işlemini yapmak için ek valfler kullanılır. Bu şekilde yönlendirilen akışkan yeterli seviyede gelişi sağlanırsa defrost süresi suyla defrost kadar kısalmabilir. Sıcak gazla defrost yöntemi, sıcak gaz baypaslı veya ters çevrimli olarak yapılabilmektedir. Her iki sisteminde çalışması Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Ters çevrimli buz çözme işleminde dört yollu vana kullanılarak sistemin çalışma modu ısıtmadan soğutmaya değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Diğer yöntem olan sıcak gaz baypasında ise kompresör çıkışından dış ısı eşanjörün girişine bir baypas hattı eklenir. Kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkan doğrudan dış üniteye girer ve defrost gerçekleştirir. Dış üniteden çıkan akışkan sıvı-gaz ayırıcısına ve sonra kompresöre girer. Bu iki yöntemin kendi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu yöntemle sıcak gazın yoğunlaştırılması kompresöre ciddi hasarlara neden olabilir ve bu yüzden ikinci bir buharlaştırıcının kullanılmasına ihtiyaç vardır [42].



Şekil 3.8. Ters çevrimli ve baypas hatlı sıcak gaz defrost yöntemi [42]

3.3.3. Elektrikli Isıtıcılarla Defrost Yöntemi

Soğutma sistemlerinde en fazla kullanılan defrost yöntemlerinden biri ise elektrikli defrosttur. Bu yöntem küçük ve orta kapasitede soğutma sistemlerinde özellikle halokarbon tipi soğutucu akışkanların kullanıldığı sistemlerde basit olmasından dolayı tercih edilir. Bu yöntemde kullanılan elektrikli ısıtıcılar yalıtımlı boru tipi elektrikli rezistans olup, serpantin yüzeyindeki lamellerin üzerine yerleştirilirler. Defrost işlemi manuel olarak yapılabileceği gibi otomatik zaman ayarlı olarak yapılabilmektedir. Şekil 3.8’de elektrikli ısıtıcılı bir evaporatör ünitesi gösterilmiştir. Defrost için geçen sürenin uzatılmaması için evaporatör lamellerine yerleştirilirken ısıtıcı çubukların yüzeye uygun dağılımlı olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca büyük güçte ısıtıcı boruların az sayıda olması ve defrost süresinin uzaması yüzey sıcaklıklarının da aşırı yükselmelere neden olabilmektedir. Bu da kabin sıcaklığında dalgalanmalara ve yüzeyden buharlaşan suyun kabin tavanında ve duvarda buz birikmesine de neden olur.



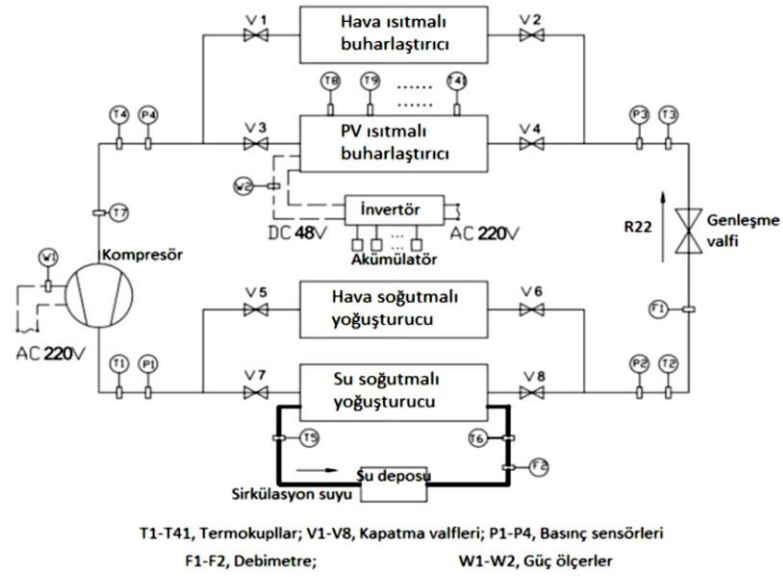
Şekil 3.9. Elektrikle defrost yöntemi [39].

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

FV/T sistemler aynı anda elektrik ve ısı enerjisini bir tekil kaynaktan elde eden hibrit sistem olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle, FV/T sistem, üzerine düşen güneş ışınlarını elektrik ve ısı enerjisine çeviren sistemlerdir. Her iki enerji türünü aynı anda elde etme avantajını kullanabilmek için literatürde çeşitli teorik ve deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalardan bazıları FV panelin ısınmasından kaynaklı elektriksel verim azalmasını engellemeye yönelik olup, panelde oluşan ısı enerjisi verimli bir şekilde kullanılmamıştır [7,8]. Yapılan bazı çalışmalarda ise FV panelin altına yerleştirilen bir ısı değiştirici yardımıyla akışkana aktarılmış ve bu akışkan herhangi bir sistemde kullanılmamıştır. Günümüzde kullanımı artan FV/T ve ısı pompası sistemleri birleştirilerek farklı ısı pompası sistemleri üzerine çalışmalar da yapılmıştır [43–46]. Yapılan bu çalışmalarda FV sistem ısı pompasının evaporatörü olarak kullanılmış ve bu şekilde tasarlanan FV/T sistemlerde ortalama %13 FV verimi, %40 ısı verim elde etmişlerdir. Bu çalışmalar ısı pompaları üzerine yapılırken soğutma sistemleriyle entegre bir sistem üzerine çalışma yazar tarafından bulunmamıştır.

Ji vd. (2009) FV/T destekli bir ısı pompası sistemi tasarımı yapmışlardır. FV ünitesi ısı pompasının evaporatörü olarak kullanılmasıyla beraber, bu sistemden hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilmiştir. Tanımlanan sistemin deneysel ve nümerik çalışmasını yapmışlardır. Şekil 4.1’de sistemin deney düzeneği gösterilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar FV verimliliği ve termal verimlilik, test süresi boyunca %12-50 arasındadır. Tasarladıkları sistemin FV verim performansının diğer FV/T sistemlerine göre daha büyük ve %12’den fazla olduğu saptanmıştır [43].



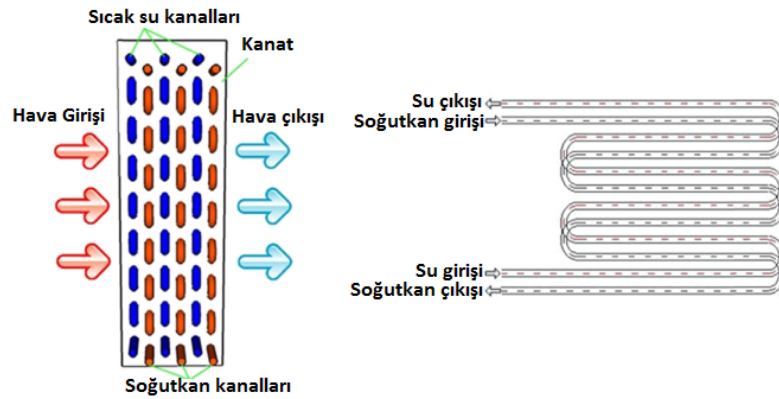
Şekil 4.1. Ji vd. tarafından tasarlanan deney düzeneğinin şematik resmi [47].

Chen vd. (2011) ısı pompası-fotovoltaik temel (IP-FV/T) sistemin deneysel incelemesini yapmışlardır. Tasarladıkları bu sistem Şekil 4.2’de gösterilmiştir. FV paneli sistemde ısı pompasının evaporatörü olarak kullanmışlardır. Güneş ışınımı, kondenser su debisi ve kondenser su sıcaklığının sistem performansı üzerindeki etkisini araştırmak için üç test modu önermişlerdir. Soğutucu akışkan olarak R134a kullanmışlardır. Test sonuçlarında ortalama COP 4,1 olarak bulurlarken, daha büyük sistemlerde daha iyi performans elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca FV panelinin elektrik verimliliği, soğutmasız olana kıyasla %3,9 oranında iyileştirmişlerdir [44].

Tasarladıkları bu sistemde güneş kolektörünün verimini azaltırken, genel verimi artırmıştır. Ayrıca soğutmalı FV panelin verimi soğutmasız olana göre %3 daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [48].

Fudholi vd. (2014) FV panelin altından geçirdikleri su ile FV panelin performans analizini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda, 800 W/m^2 ışınım ve $0,041 \text{ kg/s}$ su debisinde sistemin termal verimi %52 ve elektriksel verimi %13 bulmuşlardır. Farklı debiler kullanarak yaptıkları bu çalışmada akış hızının artırılması FV panelinin soğumasını artırırken sıcak su üretimini de etkilediğini tespit etmişlerdir [7].

Wang vd. (2015) yaptıkları çalışmada çift ısı kaynaklı buharlaştırıcıya sahip IP-FV/T sisteminin deneysel ve teorik analizini gerçekleştirmişlerdir. Kurulan sistemle ısı pompası evaporatöründe FV/T'den gelen sudan ve ortam havasından ısı çekmişlerdir. Şekil 4.4'te ısı pompasında kullanılan kompozit evaporatör görülmektedir. Kompozit evaporatörde su ve soğutkan karşıt akışlı, hava ise çapraz akışlı olarak ısı değiştiriciden geçmektedir.



Şekil 4.4. Wang vd. tarafından tasarlanan kompozit evaporatör [47].

Sistemin çalışmasını çift ısı kaynaklı ve tek ısı kaynaklı olarak iki modlu çalışması için ayarlamışlardır. Çift ısı kaynaklı çalışma modu için ortalama COP değerini 2,49 bulunurken, tek ısı kaynaklı çalışma modu için ortalama COP değerini 1,40 olarak bulmuşlardır. Deneyler süresince kompozit evaporatöre giren su ve havanın sıcaklıkları arasındaki farkın 5°C olacak şekilde kontrol altında tutulması sağlanmıştır.

Yaptıkları deneysel çalışmada FV/T sistemin ortalama elektrik kazancının ve elektriksel veriminin sırasıyla 278 W ve %14,5 olduğu bulmuşlardır. Bunun yanı sıra FV/T'nin ortalama termal enerji ve termal verimini sırasıyla 664 W ve %36 olduğunu bulmuşlardır [45].

Peng vd. (2017) FV panel yüzey sıcaklığının çıkış voltaj, akım ve verime etkisini belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda, FV panelin soğutulmasıyla verimin %47 arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca FV panel performans ve yaşam döngüsünün değerlendirdiklerinde yıllık elektrik çıktısının %35 arttığını bulmuşlardır. Bu artışla birlikte amortisman süresinin 12,1 yıla ineceğini belirtmişlerdir [49].

Kazım (2019) tarafından yapılan FV/T sistem sıcak su ve elektrik üretimi için Umman şartlarında kullanımı incelenmiştir. Yapılan testlerin ardından ortam koşullarının ve güneş ışınımının sistem performansına etkisini göstererek suyla soğutulan sistemin soğutulmayan sisteme kıyasla %6 daha fazla güç ürettiğini bulmuştur [50].

Reda vd. (2021) fotovoltaiik panellerin verimini azaltan sıcaklık artışı ve tozlanmayı azaltmak için sistem tasarımı yapmışlardır. Toprağa gömdükleri ısı değiştirici ile entegre bir FV/T sistem performans analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu analizlerin sonucunda yıllık %9 FV verim artışı olacağını ve FV hücre sıcaklığı ile gece çiy oluşumunun azalacağını bildirmişlerdir [51].

FV panellerin verimlerinin azalmasını etkileyen en önemli parametrelerden birinin sıcaklık olduğu birçok çalışmada bildirilmiş ve buna yönelik farklı tasarım ve analizler literatürde gösterilmiştir. FV panele gelen ışınım arttıkça ısınan panelden ısıyı uzaklaştırılmasında veya elde edilen ısı enerjisinin depolanmasında faz değiştiren malzemelerde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin büyük bir dezavantajı, talep edilen zamanda bu talebi karşılayacak arzın olmamasıdır. Gece ısı talebi mevcut iken, güneş radyasyonu yoğunluğu neredeyse yoktur, bu nedenle termal enerji depolaması bir ihtiyaç haline gelir. Faz değiştiren malzemeler (FDM) bu amaç için en iyi seçeneklerden biri olarak önerilmektedir [52].

Faz değiştiren malzeme fiziksel olarak buhar-sıvı-katı faz geçişinde termal enerjiyi absorbe eder veya serbest bırakarak prosesteki enerjiyi depolar ve sıcaklık değişimini azaltır. Birim kütle başına yüksek ısı enerjisi depolama kapasiteleri nedeniyle FDM'ler birçok farklı araştırmada kullanılmışlardır [53]. Bu uygulamalara örnek olarak ısı pompası [54], FV soğutma [55], kullanım suyu ısıtma [56], binalarda enerji depolama [57], su arıtma [58] verilebilir.

Browne vd. (2016) yaptıkları tasarım FV/T sistem ile termosifon akışlı FDM'li ısı değiştiricinin birleşiminden oluşmaktadır. Dış ortam şartlarında sistem performansı FDM'siz ve FDM'li olarak karşılaştırdıklarında, FDM'li ısı değiştiricinin kullanıldığı sistemde 5,5 °C sıcaklığın daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir [59].

Fayaz vd. (2019) FV/T-FDM'li yeni bir termal kolektör tasarımı yapmışlardır. Kontrollü iç ortam şartlarında gerçekleştirilen deneylerde FV/T sistem için %12,28 elektrik verimi elde etmişlerdir. Aynı şartlarda gerçekleştirilen FV/T-FDM sistemi için %12,75 elektrik verimi bulmuşlardır [60].

Carmona vd. (2021) tarafından FDM entegreli hibrit FV/T sistem ile normal FV panel performanslarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları sistemin normal FV panele göre %7,43 daha verimli olduğunu bulmuşlar ve FV/T-FDM genel verimini %31,35 olarak tespit etmişlerdir [61].

Fu vd. (2021) çok katmanlı FDM'li ısı değiştirici kullanan FV/T sistemin tasarımını ve analizini yapmışlardır. Analizler sonucunda FV/T sistemin ortalama elektrik veriminin FDM'li ısı değiştirici kullanarak %1 arttığını bulmuşlardır [62].

Yukarıda bahsedilen teorik ve deneysel FV/T çalışmaların yanı sıra çalışmanın diğer bir konusu olan soğutma sistemlerinin önemli problemlerinden karlanmanın çözümü için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Geleneksel buz çözme yöntemlerinden olan elektrikli rezistans[63], sıcak gazla[64–66] veya genleşme vanasında baypas akışını kullanmak yerine daha verimli yöntemler için araştırmalar yapılmıştır.

Geleneksel defrost yöntemlerinden olan elektrikli ısıtıcı defrost (EHD), basitliği ve pratikliği nedeniyle endüstride sıklıkla kullanılır. Ancak yapılan çalışmalarda elektrikli ısıtıcı defrost veriminin düşük olduğunu belirtmişlerdir [67].

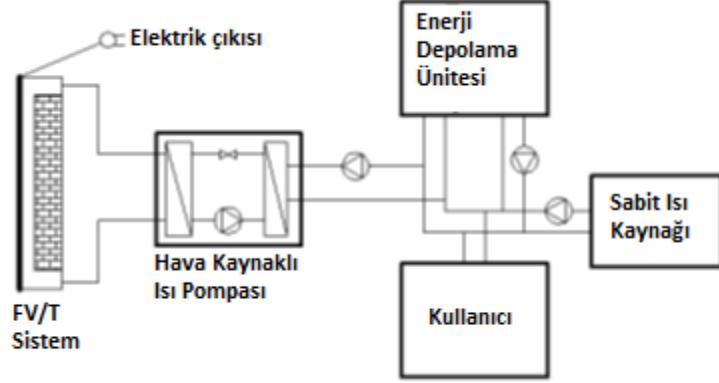
Niederer'in yaptığı çalışmada elektrikli rezistanstan elde edilen ısının %15-20'i defrost işlemi için kullanıldığını geriye kalan ısının çevre ortamına yayıldığını bildirmiştir [68]. Bu yöntemin ayrıca, ortam sıcaklığını artırdığı için kabin sıcaklığında dalgalanmalara neden belirtmişlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda, EHD yönteminin depolanan ürünlerin bozulmasını artırdığı ve ürün üzerinde nem yoğunlaşmasına neden olarak bakteriler için üreme ortamı oluşturduğunu göstermişlerdir [69,70]. EHD için yapılan başka çalışmalarda ise defrost verimi %15-30 arasında olduğu hesaplarla bulunmuştur [71–73]. Bu bağlamda, soğutma sistemlerinde elektrik tüketiminin azalmasına yönelik araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan soğutma sistemlerinin önemli problemlerinden karlanmanın çözümü için alternatif defrost yöntemleri üzerine bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Stark vd. (2014) tarafından Almanya'da evlerde kullanılan kombine güneş enerji destekli hava kaynaklı ısı pompalarının performans optimizasyonu yapmışlardır. Isı pompasının evaporatöründe meydana gelen karlanma olayını etkileyen sıcaklık ve bağıl nem ile defrost için gerekli olan enerji miktarı ve süresi için incelemeler yapmışlardır [74].

Tan vd. (2015) tarafından alternatif defrost yöntemi olarak aralıklı ultrasonik titreşim kullanan yeni bir defrost yöntemi geliştirmişlerdir. Aralıklı ultrasonik titreşim uygulaması olan ve olmayan ortalama buz kalınlığını MATLAB yazılımı kullanılarak hesaplamışlar ve buz çözme enerji tüketimindeki azalmayı, ısıtma kapasitesindeki artışı ve performans katsayısındaki artışı analiz etmişlerdir. Kanat yüzeylerinde biriken karı ultrasonik titreşim kullanarak giderilebileceğini, enerji tüketiminin azaldığını, ısıtma kapasitesinin arttığını bulmuşlardır [75].

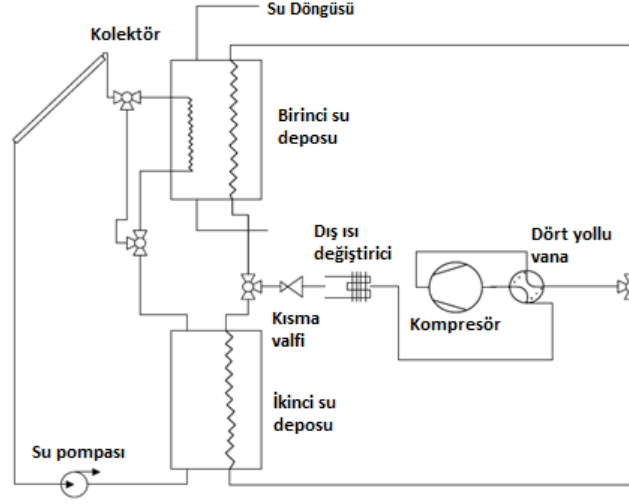
Cao vd. (2016) soğuk bölgelerde ısı pompası ile FV/T entegre ısıtma sistemini geliştirmişlerdir. FV/T perde duvarı ile hava kaynaklı ısı pompasının birleştirildiği sistem Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Düşük çevre sıcaklığından ısı çekmek yerine FV/T sistemin panel arka yüzeyinden yararlanılarak çalışan sistem, evaporatörün donması nedeniyle ısı iletimi etkisinin bozulmasını ve ünitenin performans düşüşünü önlediğini bulmuşlardır [3].



Şekil 4.5. FV/T- ASHP şematik gösterimi [3].

Liu vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, evaporatörde oluşan buzu çözmek için güneş kolektöründen elde edilen sıcak su tankta depolanmıştır. Sistem esas olarak iki depodan oluşmaktadır. Biri gündüz güneş ısını depolamak, diğeri defrost işlemlerini gerçekleştirmede olmak üzere iki su deposu kullanmışlardır. Defrost sisteminde elektrikli ısıtıcı yerine güneş enerjisinin kullanıldığı bu yeni tasarımın performansını test etmek için laboratuvar koşullarında deneyler yapmışlardır. Bu sistemin COP değerinin ters çevrimli buz çözme yöntemi olan geleneksel sistemden neredeyse %82 daha yüksek bir verime sahip olduğunu göstermişlerdir. Liu ve arkadaşları tarafından yapılan sistemin tasarımı Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Tasarladıkları sistem su ısıtmalı güneş kolektörü ile entegre bir ısı pompası sistemidir. Su ısıtmalı güneş kolektöründen elde edilen sıcak su birinci su deposunun öncelikli olarak ısıtılmasında kullanılmakta, evaporatör yüzeyinde karlanma olduğundaysa evaporatörde bulunan ikinci su deposuna yönlendirilerek defrost işlemi gerçekleştirmektedir. Fakat bu tasarımda defrost için tüketilen elektrik maliyetlerini azaltmalarına karşın tamamen ortadan kaldıramamışlardır [4].



Şekil 4.6. Güneş kolektörlü destekli ısı pompası tasarımı [4].

Minglu vd. (2017) kademeli hava kaynaklı ısı pompalarında kullanılmak için termal enerji depolamalı (TES) ters çevrim defrost sistemi yapmışlardır. Kaskad ısı pompasında hem standart sıcak gaz baypaslı buz çözme yöntemi hem de TES bazlı ters çevrimli buz çözme yöntemi kullanarak karşılaştırmalı testler yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmayla TES tabanlı ters çevrimli buz çözme yöntemini kullanırken buz çözme süresinin %71,4- 80,5 oranında kısaltıldığını ve defrost enerji tüketimi, standart sıcak gaz baypaslı buz çözme metotunun kullanılmasıyla karşılaştırıldığında ise %65,1-85,2 oranında azaldığını bulmuşlardır. Bu defrost işlemini yaparken soğutma yükünde kayıplar meydana gelmiş ve bu da soğutma sistemlerinde istenmeyen bir durumdur [5].

Qiao vd. (2018) Sıcak gazla buzlanma/defrost döngüleri üzerindeki sistem dinamiklerine bir çözüm sağlamak için beş aşamalı model önermişlerdir. Yaptıkları modelleme için ısıtma ve defrost karakterizasyonu yapmışlardır. Ancak, defrost işleminden sonra soğutucu akışkan uzun bir süre sıvı alıcısında beklemesi gerektiği için ve aşırı soğutma kullanımında kompresör ıslak sıkıştırmaya meyilli olduğundan optimum kullanım gerçekleştirilememiştir [76].

Shen vd. (2019) hava kaynaklı ısı pompaları için faz değıştiren maddeli ısı değıştirici kullanan defrost sistemleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu defrost yönteminde kompresör ile yoğuşturucu arasına bir faz değıştiren maddeli ısı değıştirici yerleştirilmiştir.

Isı pompası çalışması sırasında bir miktar ısıyı FDM’de depolanıp, karlanma oluştuğunda depolanan ısı enerjisini evaporatörde oluşan buzlanmayı çözmek için kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının hava kaynaklı ısı pompalarının defrost işlem performansının iyileştirilmesinde iyi bir yol olduğunu bildirmişlerdir [42].

Buz çözmenin hassas bir şekilde yapılması gerekliliğinden, evaporatörde karlanma oluşumunun algılanması için farklı yöntemler kullanan çalışmalar da yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda evaporatördeki hava basınç farkıyla[77], evaporatör ve oda havası sıcaklık farkıyla[78–80], optik sensör, ısıl iletkenlik, akustik osilatör [81,82], fotoelektrik sensör [65,83] gibi sensörlerle karlanma oluşumunu doğru bir şekilde belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

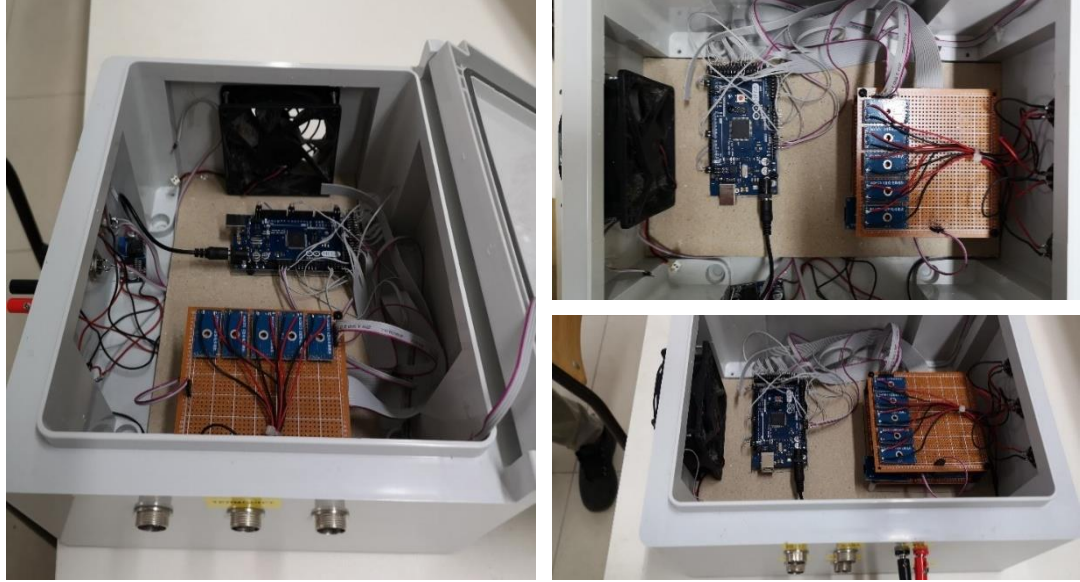
Günümüzde defrost için yaygın olarak kullanılan elektrikli ısıtıcılar çalışmaya başlamasından itibaren ısınması için belli bir sürenin geçmesi gerekmekte, bu da defrost süresinin uzamasına ve maliyetleri artırmasına neden olmaktadır. Elektrikli ısıtıcılar yüksek yüzey sıcaklıklarına çıktıkları için soğutma kabinlerinde sıcaklık artışlarına neden olmaktadır. Yapılan bu çalışmada tasarlanan fotovoltaik termal modül destekli defrost yöntemiyle kış şartlarında depodaki 20-30 °C su kullanıldığı için defrost daha kısa sürelerde yapılmış, aynı zamanda soğutma kabini aşırı sıcaklık yükselmelerinin önüne geçilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, fotovoltaik termal sistemde üretilen sıcak suyla soğutma sisteminin evaporatöründe oluşan karlanmayı defrost eden sistem modellenerek analizleri yapılmıştır.

Yapılan tez çalışması iki ana sistemden oluşmaktadır. Bunlar soğutma ve fotovoltaik termal sistemlerdir. Soğutma ve fotovoltaik termal sisteminin yerleştirileceği konstrüksiyon çizimleri Şekil Ek A.1’de gösterilmiştir. Bu çizimlere uygun olarak konstrüksiyonlar yapılmış ve üzerine sistemler montajlanmıştır. İmalatı yapılan konstrüksiyonların görselleri Şekil Ek A.2’de gösterilmiştir.

FV/T sistemde gündüz elde edilen ısı enerjisi yalıtımlı su tankında depolanmıştır. Daha sonra depolanan ısı soğutma sisteminin evaporatörün de oluşan karlanmayı çözmek için kullanılmıştır. Gece oluşan karlanma ise yine bu depoda bulunan ısı ile yapılması planlanmıştır. Bu depo için yapılan teknik çizimler Şekil Ek A.3’te gösterilmiştir. Bu çizimlere uygun olarak galvanizli saçtan depo yapılmış ve yapılan deponun görselleri Şekil Ek A.4’te gösterilmiştir.

Defrost işlemi yapılırken evaporatör ve kondenser fanlarının hızlarını kontrol etmek, vanaları açıp-kapatmak ve bu işlemin ne zaman yapılacağını tespit etmek için sıcaklıkların bilinmesi gerekmektedir.

Tüm bu işlemleri gerçekleştirmek için de mikro işlemci ve yazılım kullanılmıştır. Soğutma sisteminde ölçüm ve kontrolleri yapılabilmek için hazırlanan cihazın iç görseli Şekil 5.1(a), dış görseli ise şekil 5.1(b)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.1. Soğutma sistemi ölçüm ve kontrol cihazı iç ve dış görüntüsü.

FV/T sistemde gündüz elde edilen elektrik enerjisi ve sıcaklıkları ölçen cihazın görseli Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

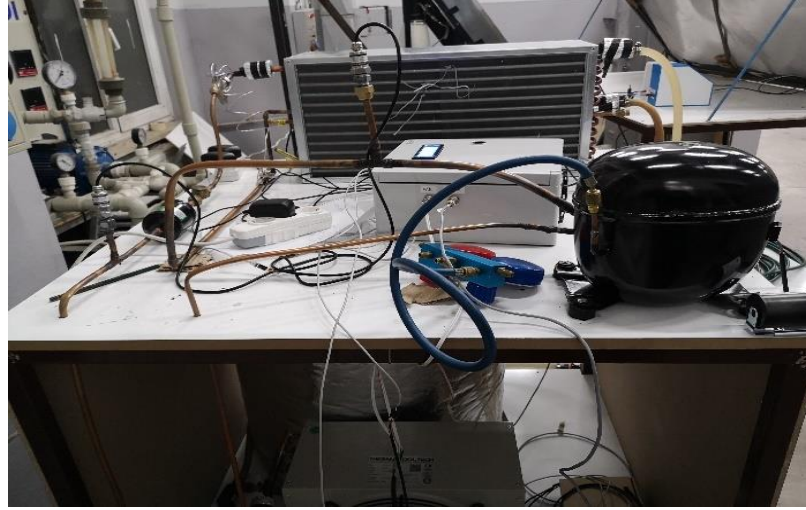


Şekil 5.2. FV/T sistem ölçüm cihazının iç ve dış görüntüsü.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te kurulumu gerçekleştirilen sistemin görselleri gösterilmiştir.



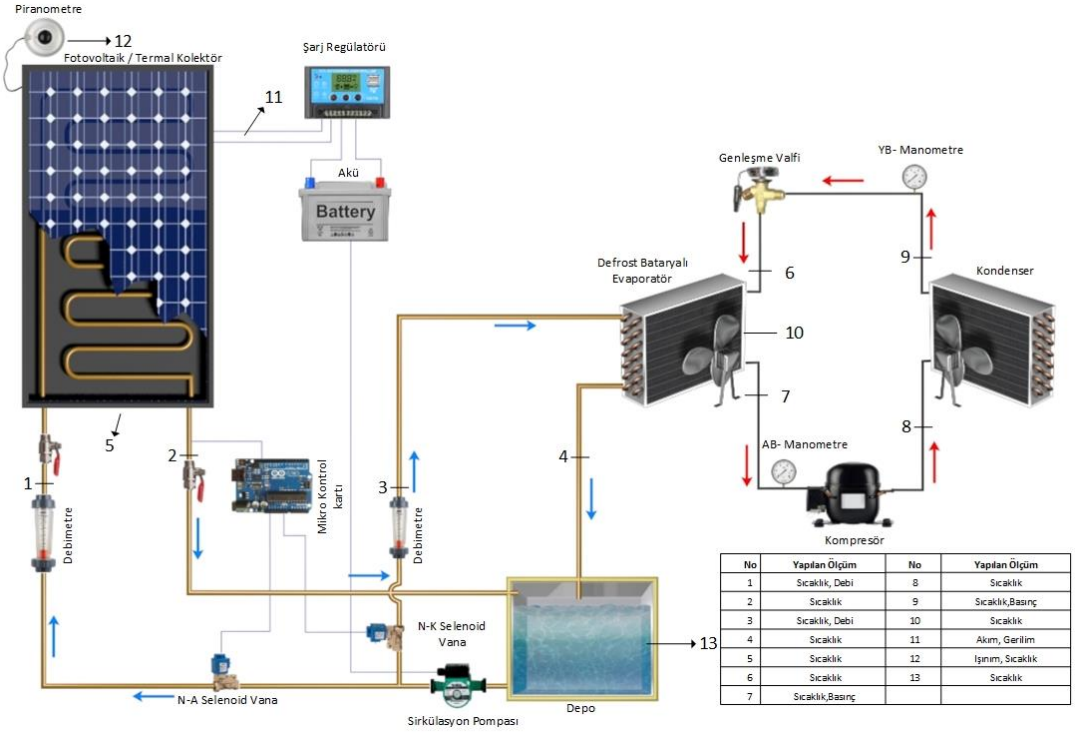
Şekil 5.3. Kurulumu yapılan FV/T sistem.



Şekil 5.4. Tasarımı yapılan soğutma sistemi.

5.1. YENİ BİR DENEYSEL DEFROST UYGULAMA TASARIMI

Bu tez çalışmasında yapılan sistem FV/T, termal su deposu ve soğutma sisteminin birleşimidir ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Ayrıca deney sisteminin ölçüm yerleri ve o noktadan hangi ölçümlerin yapıldığı da şekilde gösterilmiştir. FV modülden elde edilen elektrik enerjisi akım ve gerilim sensörleriyle ölçümü yapılmıştır. FV/T sistemde üretilen elektrik enerjisinin şarj regülatöründe ayarlanarak solar bataryada depolanmıştır. Soğutma sisteminde oluşan karlanmanın belirli sürelerde defrost edilmesi gerekliliği bilinmesiyle birlikte bu işlemin otomatik olarak yapılması ve bunu yaparken de ek maliyetlerin oluşturulmaması soğutma sisteminin enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir.



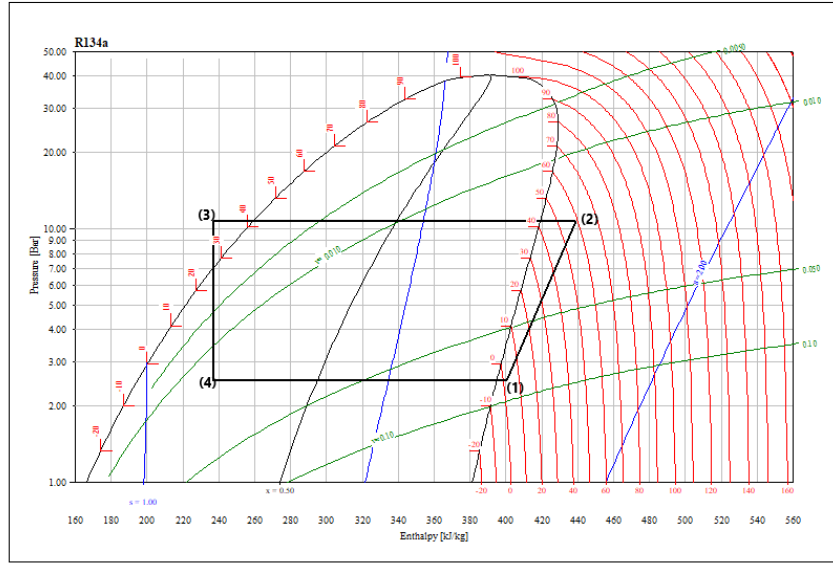
Şekil 5.5. FV/T kullanılarak yapılan defrost sistemi.

Soğutma sistemlerinde fotovoltaik termal modül destekli defrost uygulaması için gerekli olan ölçüm noktaları ve yapılan ölçümler Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Bu noktalardan yapılan tüm ölçümler anlık olarak mikro hafıza kartına kaydedilmiştir. Daha sonra sistem analizi sırasında elde edilen veriler hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Sistemi ölçüm noktaları ve yapılan ölçümler.

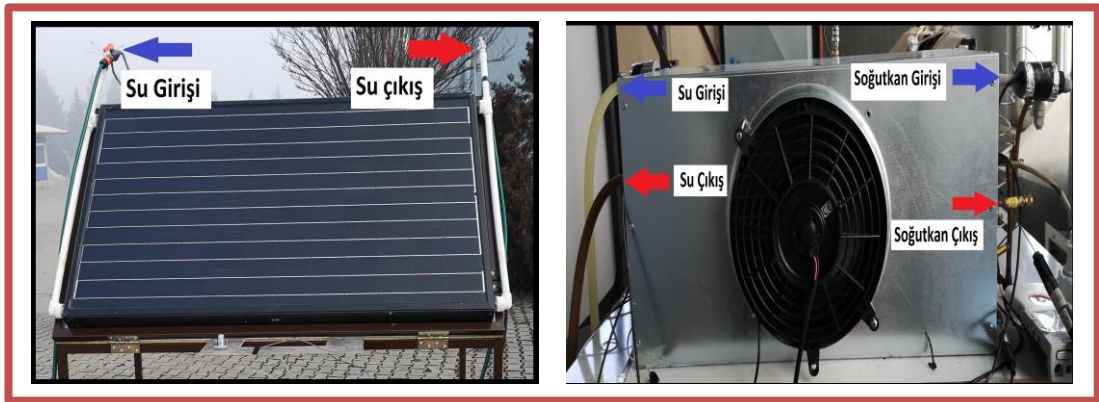
Ölçüm Noktası	Yapılan Ölçüm	Ölçüm Noktası	Yapılan Ölçüm
1	Sıcaklık, Debi	8	Sıcaklık
2	Sıcaklık	9	Sıcaklık, Basınç
3	Sıcaklık, Debi	10	İç Sıcaklık
4	Sıcaklık	11	Akım, Gerilim
5	Panel Sıcaklığı	12	Işınım, Sıcaklık
6	Sıcaklık	13	Su Sıcaklığı
7	Sıcaklık, Basınç		

Şekil 5.6’da tasarımı yapılarak kurulan soğutma sisteminin basınç-entalpi diyagramı gösterilmiştir. Soğutma sisteminde R134a soğutucu akışkan kullanılmış ve alçak basınç 2,4 bar, yüksek basınç 10,7 bar olarak ayarlanmıştır. Soğutma sisteminin evaporatöründe oluşan karlanmayı hızlandırmak amacıyla, sistemde kullanılan fanlar yardımıyla 12 °C aşırı soğutma ve 6 °C aşırı ısıtma yapılmış ve ayrıca ortam nemlendirilerek deney şartları oluşturulmuştur.



Şekil 5.6. Soğutma sistemi için buz çözme döngüsünün P-h diyagramı.

FV/T sistem ve tasarımı yapılan sulu defrost sisteminin evaporatör görselleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. FV/T sistem ve evaporatörde su ile defrost tasarımı.

Sistemde kullanılan ekipmanların özellikleri Çizelge 5.2’de, kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri ve belirsizlikleri ise Çizelge 5.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Soğutma sisteminde ve FVT’de kullanılan ekipmanların özellikleri.

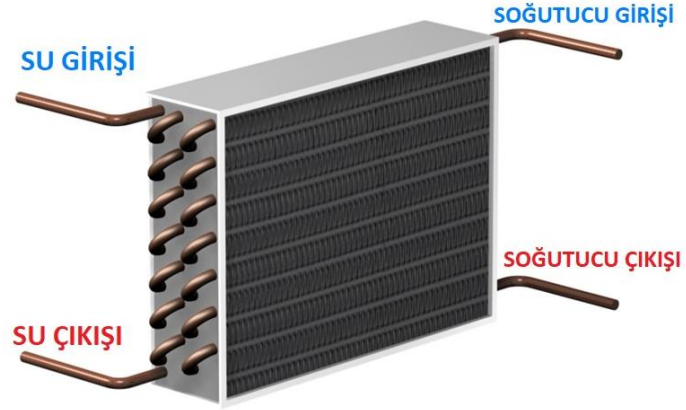
Ekipman Adı	Özellikler
Şarj Kontrol Cihazı	MPPT Şarj Kontrol Cihazı, Şarj akımı: 20 A
Güneş Jel Pil	12 V, 65 Ah Nominal Güç: 200 W Nominal Voltaj: 36,8 V Açık Devre Gerilimi: 46,43 V Nominal Akım: 5,43 A Kısa Devre Akımı: 5,67 A
FV/T Modül	Boyutlar: 1601X828X90 mm Absorber Yüzeyi (FV): Mono- kristal Absorber Yüzeyi (T): Bakır
Fan	S&P TD-250/100, 230–240 V, 50–60 Hz, 24 W
Pompa	24 VDC Su Pompası Debi: 2-6 Lt/dk.
Evaporatör	Yüzey alanı 9,5 m ² , Kapasite 3725 W/h, Hava debisi 1163 m ³ Boru metali: Bakır, Kanat metali: Alüminyum
Kondenser	Yüzey alanı 7,74 m ² , Kapasite 3057 W/h, Hava debisi 1163 m ³ Boru metali: Bakır, Kanat metali: Alüminyum
Tank	100 Lt Çap: 55 cm Yükseklik: 60 cm

Çizelge 5.3. Deneysel sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri ve belirsizlikleri.

Ekipman	Teknik Özellikler	Belirsizlik (U)
D18b20 dijital sıcaklık sensörü	Su geçirmez D18b20 sıcaklık prob Ölçüm aralığı: -20°C,105°C Hassasiyet: 0,5 °C	±0,386 °C
Nem ölçer	Nem: 0-100%RH +/- %3 (Max %5) RH	±0,22 RH (%)
Işınım ölçer	ML-01 Si-Pyranometer Analog çıkış (mV) Çalışma sıcaklığı -40 – 80 °C Hassasiyet 50 µV/W/m ² Işınım aralığı 0 – 2000 W/m ²	±8,02 W/m ²
Akış ölçer	Çalışma voltajı: DC 5V-24V Çalışma akımı: 15 mA (DC 5V) Çıkış sinyali: Digital Akış debisi: 1-30Lt/dk Su basıncı: ≤1.75MPa	±,003 Lt/dk
Voltaj sensörü	Voltaj bölücü 0-50 V panel çıkış voltajını ölçebilir. 51 KΩ ve 5,6 KΩ dirençler kullanılarak yapılmıştır.	±0,03 V
Akım sensörü	ACS714 Akım sensörü Hassasiyet 0.185V/A (V _{cc} =5V) Boyutlar: 1,77x2,03 cm Sıcaklık (Min-Max): -40°C / 150°C	±70,8 mA

5.1.1. Sistemin Çalışması

Normal şartlar altında çalışması beklenen buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, evaporatör özel tasarım olarak sulu defrost bataryalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımda hem soğutucu akışkanın hem de defrost yapacak sıcak suyun geçeceği 4 bağlantı noktası bulunmaktadır ve tasarımı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Suyun donmasını engellemek için etilen glikol ilave edilmiştir.

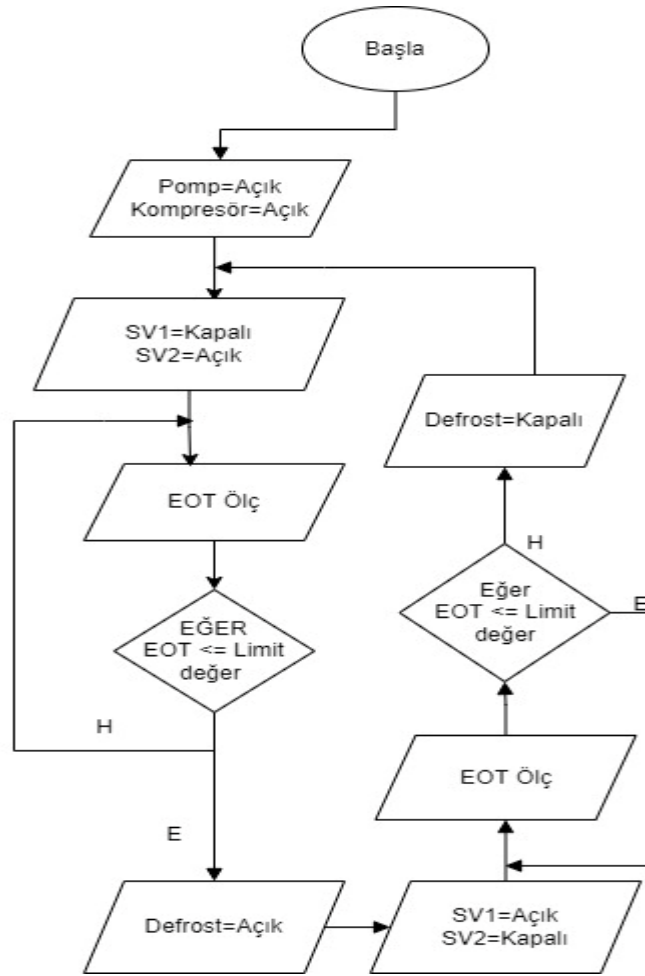


Şekil 5.8. Evaporatörde su ile defrost tasarımı.

Sistemde FV/T kolektörden elde edilen sıcak su, selenoid vana aracılığı ile depoda toplanmıştır. Defrost ihtiyacı olduğu zaman bir mikro kontrol kartı aracılığı ile selenoid vanaların yönü değişmiştir. Kapalı olan selenoid vana açık, açık olan selenoid vana ise kapalı konuma getirilerek pompa yardımı ile evaporatörde defrost işlemi yapılmıştır. Depodaki su sıcaklığı aşırı artış gösterip FV/T kolektörün sıcaklığını arttırmaması için depodaki suyun sıcaklığına göre pompa çalışmaya devam etmiştir. Ayrıca güneş ışınımının düşük olması durumunda FV/T kolektörün su sıcaklığını düşürmemesi içinde sistem benzer bir şekilde çalışarak depodaki suyun en ideal şekilde kullanılması sağlanmıştır. Sistemin elektriksel çalışma prensibinde ise FV/T kolektörden elde edilen elektrik enerjisi şarj regülatörü aracılığıyla hem aküde depolanmış hem de aktif bir şekilde sistem üzerinde kullanılmıştır. Özellikle otomasyon sisteminin ön plana çıktığı bu çalışmada, FV/T sistem etkin şekilde kullanılarak soğutma sistemlerindeki en büyük problemlerden biri olan karlanma olayına çözüm getirilmiştir. Soğutma sistemlerinde kullanılan defrost yöntemleri sisteme elektrik maliyetleri oluştururken tasarlanan sistem ile defrost işlemi tamamen maliyetsiz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hem fotovoltaik sistem hem de soğutma sistemi stabil olarak çalışmıştır.

5.1.2. Defrost Algoritması

Evaporatör yüzeyinde oluşan karlanmanın etkin bir şekilde defrost edilebilmesi için evaporatör çıkış sıcaklığına bağlı olarak bir defrost kontrol algoritması geliştirilmiştir. Defrost kontrol algoritmasının akış şeması Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Soğutma sistemi çalıştırıldığında sirkülasyon pompası ve ardından kompresör çalışmaya başlar. Daha sonra evaporatör çıkış sıcaklığı (EOT) sürekli olarak ölçülür. Evaporatör çıkış sıcaklığı ortam çiy noktasının altında belirlenen kritik seviyeye ulaştığında defrost döngüsü başlatılır. Defrost döngüsünde selenoid vana 1 açılır, selenoid vana 2 kapanır. Daha sonra tekrar EOT sıcaklığı ölçülmeye başlar ve belirlenen seviyenin üstüne ulaştığında defrost döngüsü son bulur. Defrost döngüsünün bitmesiyle selenoid vana 1 kapanır, selenoid vana 2 açılır ve döngü ilk başladığı yerden devam eder.



Şekil 5.9. Defrost kontrol algoritması akış şeması.

BÖLÜM 6

SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ

6.1. TEORİK ANALİZ

Deneysel verilerin termodinamik modellenmesinde, kütüphanesinde malzemelerin özelliklerini bulabildiğimiz Engineering Equation Solver (EES) programdan yararlanılmıştır. EES programı ile sistem üzerinde termodinamik denklemler yardımıyla gerekli analizlerin yapılması mümkündür. Termal sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için termodinamik verimsizliklerin kaynağı ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması gereklidir. Kapalı bir sistemin toplam enerjisi çevresiyle sadece ısı veya iş etkileşimi sonucunda değişebilir. Buna bağlı olarak kapalı bir sistemin hal değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, sistem sınırlarında gerçekleşen net ısı ve iş geçişine eşittir.

6.2. ENERJİ ANALİZİ

Deneysel sistemin termodinamik analizi, sistem bileşenlerinin performanslarının ayrı ayrı değerlendirilmesini içerir. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin birinci yasasına göre kütle korunumu prensibi (6.1) numaralı denklemdeki gibi ifade edilir.

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (6.1)$$

Burada \dot{m} Akışkanın kütleli debisi ifade etmektedir. Enerji dengesi için, sistemin her bir elemanına termodinamiğin birinci kanunu uygulanır ve enerji dengesi (6.2) numaralı denklem ile ifade edilmektedir.

$$\dot{Q} + \sum(\dot{m}h)_{giriş} = \dot{W} + \sum(\dot{m}h)_{çıkış} \quad (6.2)$$

Burada \dot{Q} Isıl enerjiyi, \dot{W} işi ve h ise entalpiyi ifade etmektedir. FV/T modülden elde edilen ısı, panelin arka bölümünde bulunan bakır boruya giren ve çıkan su sıcaklıklarının ölçümü ile hesaplanabilir. Bu hesaplama Eşitlik 6.3'te verilmiştir.

$$\dot{Q}_{FV} = \dot{m}_{su} \times c_p \times (T_{FV,çıkış} - T_{FV,giriş}) \quad (6.3)$$

Sistemdeki FV modülden elde edilen elektrik enerjisi kazancı aşağıdaki Eşitlik 6.4 ile hesaplanabilir:

$$\dot{E}_l = V \cdot I \quad (6.4)$$

FV modül verimi aşağıda verilen eşitlik 6.5 ile bulunulabilir:

$$\eta_m = \frac{\dot{E}_l}{I(t) \times A_{FV}} \quad (6.5)$$

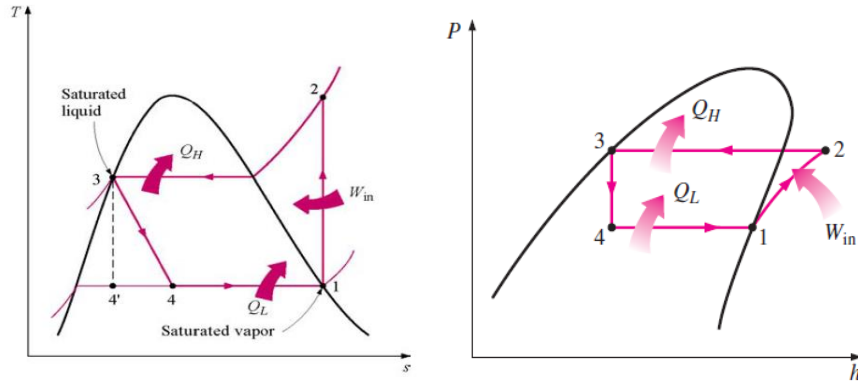
Tüm sistemin termal enerji kazanımı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{u,toplam} = \dot{Q}_{FV} + \dot{E}_l / C_{güç} \quad (6.6)$$

Denklemden, $C_{güç}$ kömürün kalitesine bağlı olarak termik santralin dönüşüm gücüdür. Düşük küllü kaliteli kömür için $C_{güç}$ 0,38 olarak alınabilir. Bu değer 0,20 ve 0,40 arasındadır [2,84,85]. Sistemin genel verimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$\eta_{sistem} = \frac{\dot{Q}_{u,toplam}}{A_m \cdot I(t)} \quad (6.7)$$

İdeal buhar sıkıştırırmalı çevrimin T-s ve P-h diyagramları şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. İdeal buhar sıkıştırımlı çövrime ait T-s diyagramı, P-h diyagramı.

Bir soğutma çövriminde buharlaştırıcı yardımıyla çövreten alınan ısı miktarı, yani buharlaştırıcı kapasitesi eşitlik 6.8 ile hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (6.8)$$

Soğutma çövriminde yoğuşturucudan dış ortama atılan ısı (yoğuşturucu kapasitesi) eşitlik 6.9 kullanılarak hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (6.9)$$

Çövrime esnasında kullanılan kompresörün kapasitesi hesaplanabilir:

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6.10)$$

Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6.11)$$

Soğutma sisteminde her defrost döngüsünde buz katmanının eritilmesi için kullanılan ısı enerjisi, buz çözmeye sırasında evaporatöre su ile giren enerji olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{df} = \dot{m}_w C_w (T_{su,giren} - T_{su,çıkan}) \quad (6.12)$$

6.2. ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZİ

Fosil yakıt kullanımıyla atmosfere salınan CO₂ miktarı artmaktadır. Atmosfere salınan CO₂ birçok çevresel sorunları da meydana getirmektedir. Bu sorunları çözmek için birçok ülke Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzalamıştır. Bu amaç doğrultusunda çevresel-ekonomik analiz, azaltılan CO₂ emisyon miktarının fiyatı üzerinden yapılmaktadır. Denklem 6.13 ve 6.14 kullanılarak çevresel ekonomik analiz yapılabilir:

$$\varphi_{CO_2} = \psi_{CO_2} \times \dot{Q}_{toplama} \quad (6.13)$$

$$Z_{CO_2} = z_{CO_2} \times \varphi_{CO_2} \quad (6.14)$$

Denklem 6.13'te φ_{CO_2} ve ψ_{CO_2} sırasıyla sistemin azalttığı CO₂ emisyon miktarı ve kömür santrallerinin çalışmasıyla üretilen CO₂ değeridir ve ψ_{CO_2} literatürdeki çalışmalara bakıldığında 2,08 kgCO₂ /kWh olarak alınmıştır [86,87]. Denklem 6.14'te Z_{CO_2} ve z_{CO_2} sırasıyla çevresel maliyet değerini ve ton başına CO₂ fiyatını ifade eder. Ton başına karbon fiyatı 13 \$/tCO₂ - 16 \$/tCO₂ arasında değişmektedir [88,89]. Bu çalışmadaki hesaplamalarda 15 \$/tCO₂ olarak alınmıştır.

6.4. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Verilen değerlerin güvenilirliğini test etmek adına belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizliği hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır [90].

$$X_m = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (6.15)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (6.16)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (6.17)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (6.18)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot s_i^2} \quad (6.19)$$

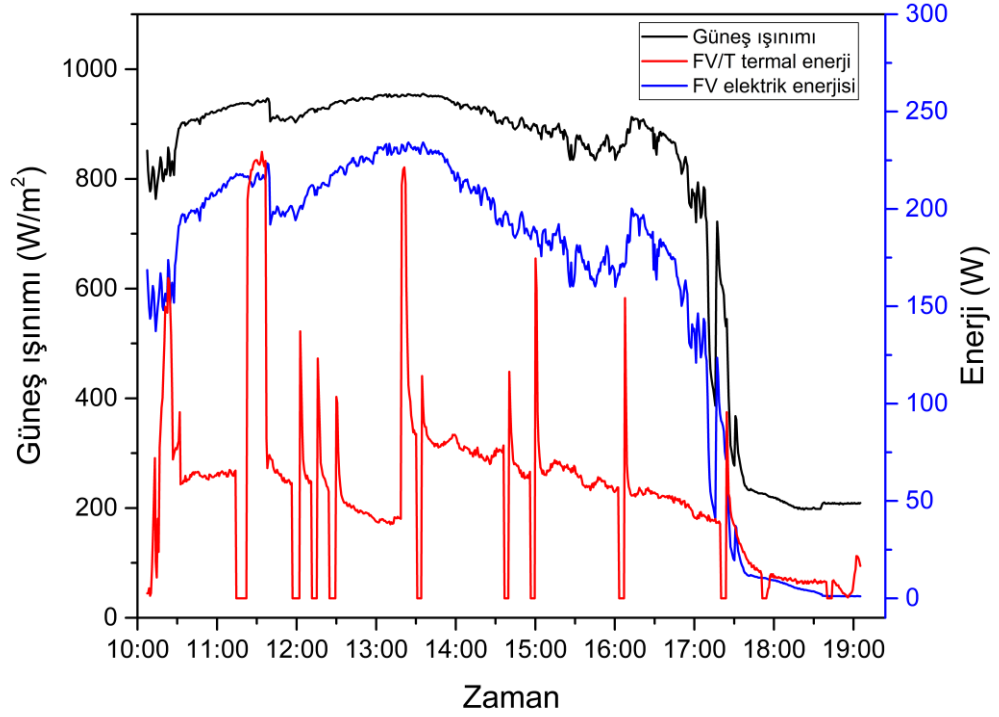
Eşitlik 6.15'te verilen X_m deneysel ölçümlerin aritmetik ortalamasını vermektedir. X_i verilen parametrenin ' i ' ölçümüne denk gelir. ' N ' belirsizliği belirlemek için gereken ölçüm sayısıdır. Eşitlik 6.16'da verilen ' V ' varyansı ifade eder. Eşitlik 6.17'de gösterilen ' S ' ise standart sapmadır. Eşitlik 6.18'de verilen ' a ' duyarlılığı gösterirken eşitlik 6.19'da verilen ' U ' belirsizliktir. Sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının belirsizlik değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

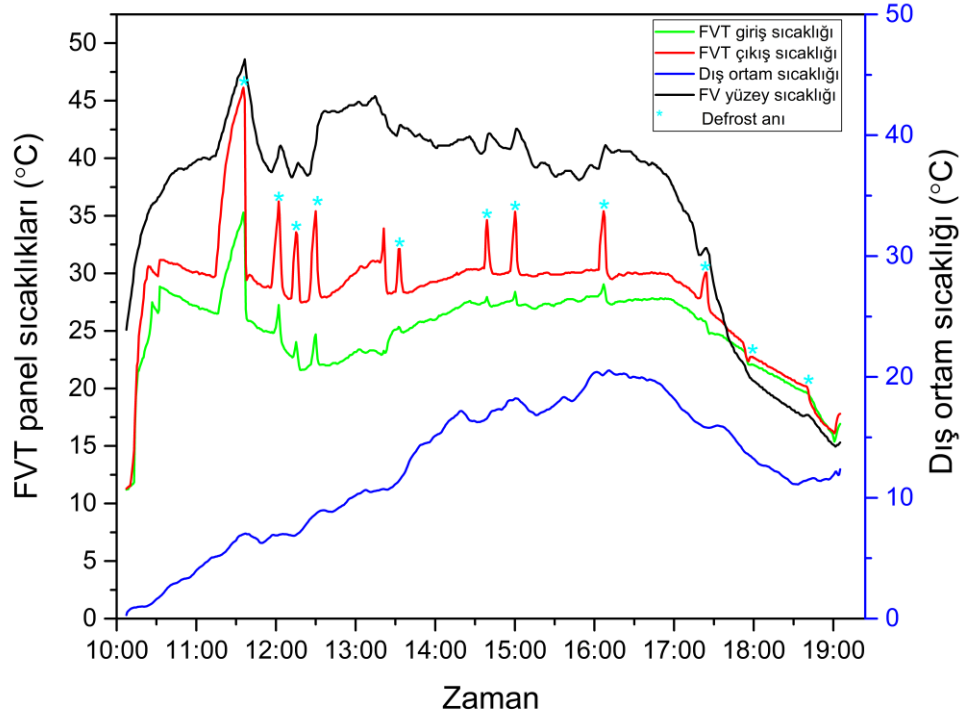
Deneysel çalışma ortalama çevre sıcaklığının 12,4 °C kış şartlarında ve ortalama güneşlenme süresinin 9 saat olduğu şubat ayında gerçekleştirilmiştir. Deney sabah saat 10:07'de başlatılmış ve güneşin batışından sonra 19:05'e kadar devam ettirilmiştir. Karabük ili için şubat ayı yeryüzüne gelen ortalama güneş ışınımı miktarı 2,2 kWh/m²-gün'dür. Soğutma sistemlerinde karlanma her mevsim olurken, güneş enerji miktarı kış mevsiminde yaz mevsimine göre azalır. Yapılan bu çalışma dezavantajlı olan kış ayı tercih edilerek sistemin sürekli kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca kış aylarında nemin yüksek olduğu bölgelerde dış ortam sıcaklığı çiy noktasının altına düştüğü için evaporatör yüzeyinde karlanma oluşumu artmaktadır [91,92]. Bu nedenle deneysel çalışma şubat ayında gerçekleştirilmiştir.

Deney sistemi FV/T ve soğutma sisteminden oluşmaktadır. Deney boyunca FV/T sistemden elde edilen elektriksel güç ve termal enerji transfer hızı Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi FV/T sistemden elde edilen enerji miktarlarıyla deney sisteminin olduğu düzleme gelen ışınım miktarı birbiriyle paralellik göstermektedir. FV/T sistemden elde edilen ortalama elektriksel güç ve termal enerji transfer hızı miktarları sırasıyla 157 W ve 54 W'tır. Sistemden en fazla enerji öğle saatlerinde elde edilirken gün batımına doğru alınan enerjilerde düşüş meydana gelmiştir. Defrost zamanlarında su sirkülasyonu durduğu için FV modülden alınan termal enerjide ani piklerin meydana geldiği görülmektedir. Su döngüsünün durmasıyla sistemden ısı çekilemeyerek ani düşüş meydana gelirken, döngü tekrar başladığında modüldeki daha çok duran suyun daha fazla ısınmasıyla ani yükselişler de gözlenmiştir. Sistemin bulunduğu alana gelen ortalama ve toplam ışınım miktarı sırasıyla 764 W/m² ve 554,8 kW/m² iken, toplam elde edilen elektriksel güç ve termal enerji miktarlarıysa sırasıyla 114,7 kW ve 39,1 kW olarak hesaplanmıştır.



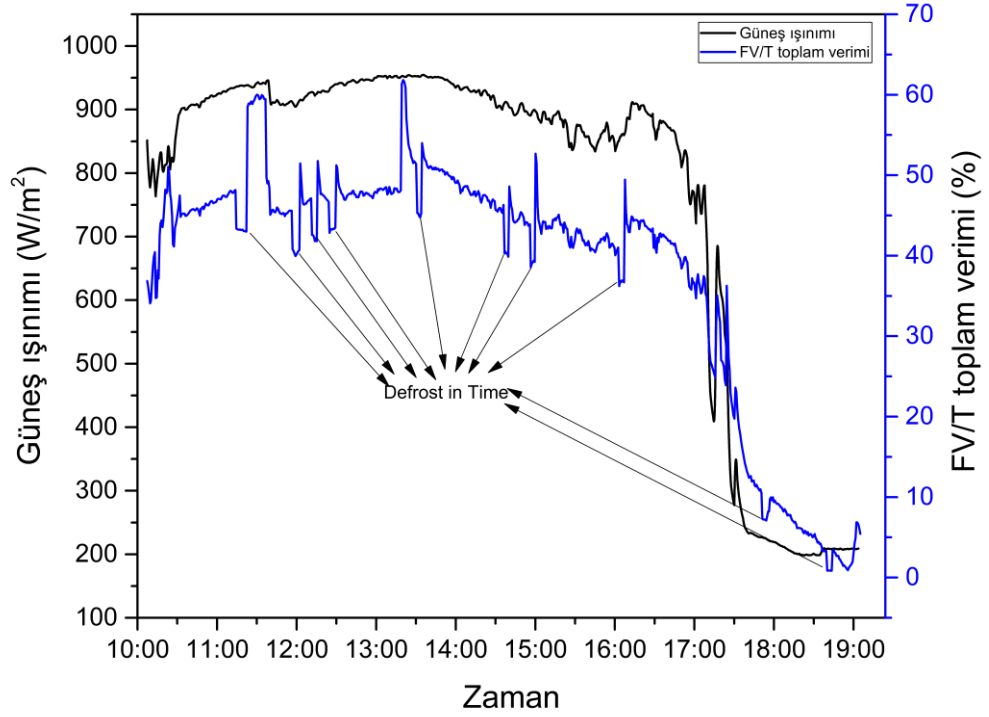
Şekil 7.1. Deney boyunca FV modülden elde edilen enerji ve ışınım değerleri.

Deney boyunca FV/T sistemdeki su giriş, su çıkış, modül yüzeyi ve dış çevre sıcaklığı değişimi Şekil 7.2’de gösterilmiştir. FV modül yüzey sıcaklığı deney boyunca en yüksek, en düşük ve ortalama değerleri sırasıyla 48,6 °C, 15 °C ve 36,5 °C iken, çevre sıcaklığı en yüksek, en düşük ve ortalama değerleri sırasıyla 21,6 °C, 0,3 °C ve 12,5 °C olarak bulunmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi FV modül yüzey sıcaklığı çevre sıcaklığın ortalama 20-25 °C üstünde bulunmaktadır. Bu da FV modül sıcaklığının çevre sıcaklığıyla değil, üzerine gelen foton enerjisi ile ısınmasından kaynaklanmaktadır. FV/T sisteme ortalama su giriş ve çıkış sıcaklıkları ise sırasıyla 25,1 °C ve 28,4 °C’dir. Defrost zamanında su sirkülasyonu durduğu için su giriş ve çıkış sıcaklıklarında anlık yükselmeler meydana gelmiştir. Aynı zamanda su sirkülasyonunun olmadığı süre boyunca modül yüzey sıcaklığının arttığı, su sirkülasyonunun tekrar başlamasıyla yüzey sıcaklığının azaldığı grafikten görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere su ile modülde bir soğutma işleminin gerçekleştiği bulunmuştur.



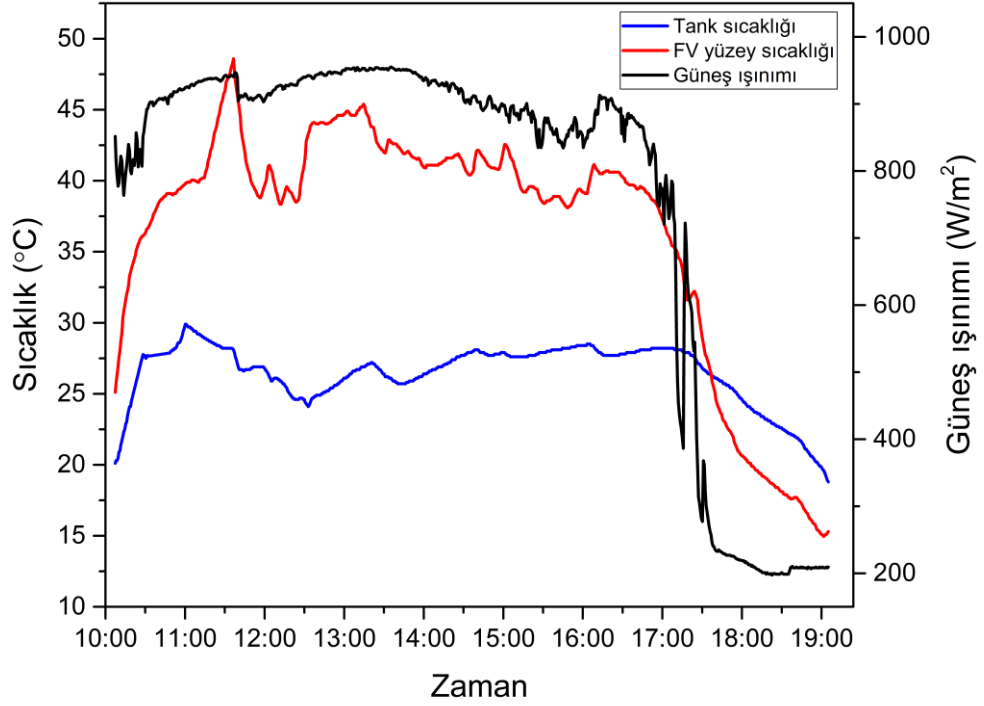
Şekil 7.2. Deney boyunca FV/T ve çevre sıcaklıkları değişimi.

FV/T modül toplam verimi ve ışınlım değişimi Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Deney boyunca FV/T toplam veriminin ışınlım ile paralel giderken defrost zamanlarında modülden termal enerji alınmadığı için düşüş meydana gelmiştir. FV/T modül ortalama elektriksel ve toplam verimi sırasıyla %13 ve %38 hesaplanmıştır. Literatürde FV/T sistemler üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, Ji vd. elektriksel ve termal verimlerini sırasıyla %12 ve %50 olarak, Wang vd. elektriksel ve termal verimlerini sırasıyla %14,5 ve %36 olarak, Zhang vd. elektriksel ve termal verimlerini sırasıyla %10 ve %40 olarak hesaplamışlardır [43,45,46]. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen FV/T sistem verimleri kış mevsiminde olmasına rağmen uyum içerisindedir. Deneyin güneş batımından sonra devam etmesinden dolayı ortalama düşük çıkmış olsa da kış şartları açısından yeterli seviyededir. Deney saat 10:00 ile 17:30 arası incelendiğinde, FV/T sistem ortalama toplam verimine %44,7 olarak hesaplarla bulunmuştur. Saat 17:30'dan sonra güneş radyasyonunun azalmasından ve daha fazla bulutlanma olduğundan FV/T sistemin genel verimliliğinde bazı dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu koşullara rağmen sistemde depolanan su ile iki kere defrost işlemi yapılabilmektedir.



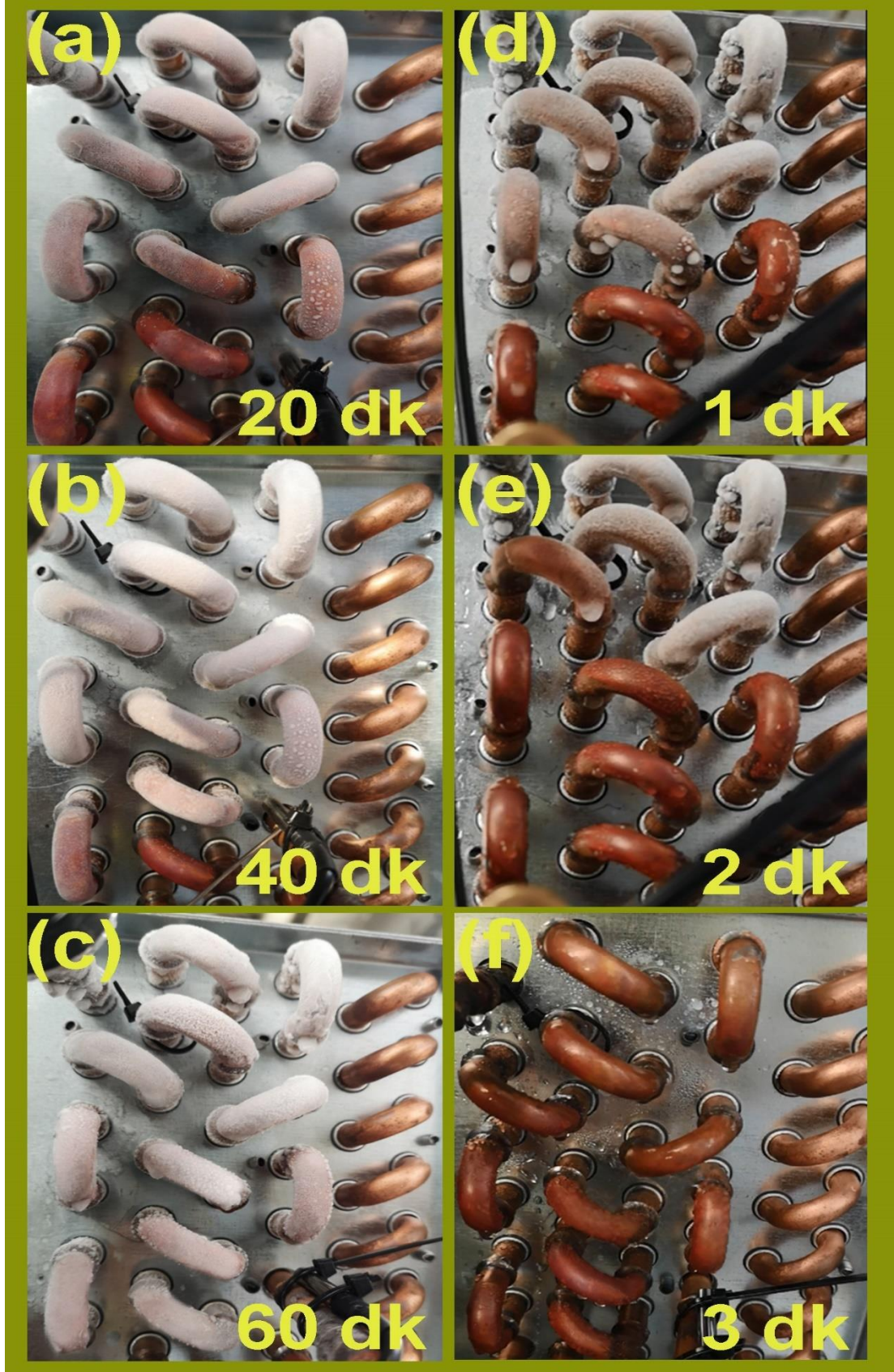
Şekil 7.3 FV/T modül toplam verimi ve ışınım değişimleri.

Şekil 7.4'te FV yüzey sıcaklığı ve su tankının sıcaklığının deney boyunca değişimi gösterilmiştir. Depolama tankının sıcaklığı deney boyunca ortalama 26,4 °C olarak gözlemlenmiştir. Deney başlangıcında FV yüzey sıcaklığı 25 °C ile başlamış ve en yüksek 48,6 °C'ye kadar yükselmiştir. Tank sıcaklığı ise 20 °C ile başlayıp 30 °C'ye kadar yükselmiştir. FV/T sisteminin soğutulması için kullanılan su çevrimi sayesinde modüldeki sıcaklık artışı önlenmiş ve defrost işlemi için yeterli su sıcaklığı elde edilebilmiştir. Ayrıca, deney sonuna doğru modül sıcaklığında hızlı bir düşüş gözlemlenirken su tankı yalıtılmış olduğu için daha yavaş düşme gerçekleşmiştir.



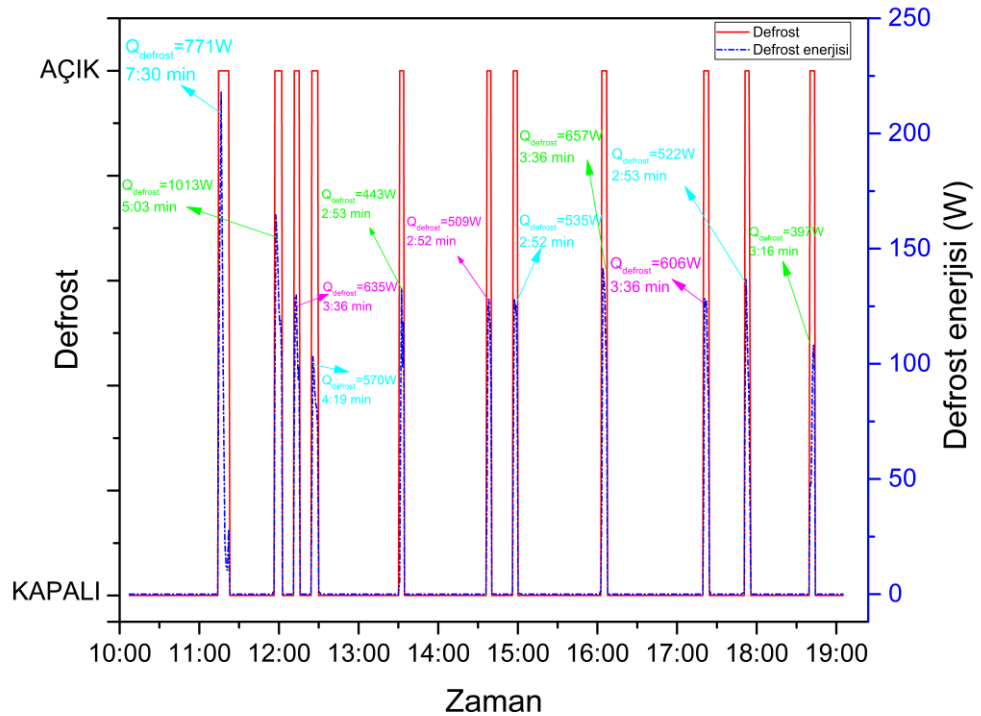
Şekil 7.4. Deney boyunca FV yüzey sıcaklığı ve su tankı sıcaklıkları değişimi.

FV/T sistemden elde edilen termal enerji su tankında depolanır ve daha sonra defrost ihtiyacının olduğunda tanktaki su kullanılarak defrost işlemi gerçekleştirilir. Şekil 7.5'te evaporatör borularındaki karlanma ve defrost işlemi görselleri gösterilmiştir. Evaporatör borularındaki 20. dk., 40. dk. ve 60. dk. gerçekleşen karlanmalar sırasıyla Şekil 7.5(a), (b) ve (c) gösterilmiştir. Karlanma gerçekleştirildikten sonra defrost işlemindeki 1. dk., 2. dk ve 3. dk. görsellerde sırasıyla Şekil 7.5(d), (e) ve (f)'de gösterilmiştir.



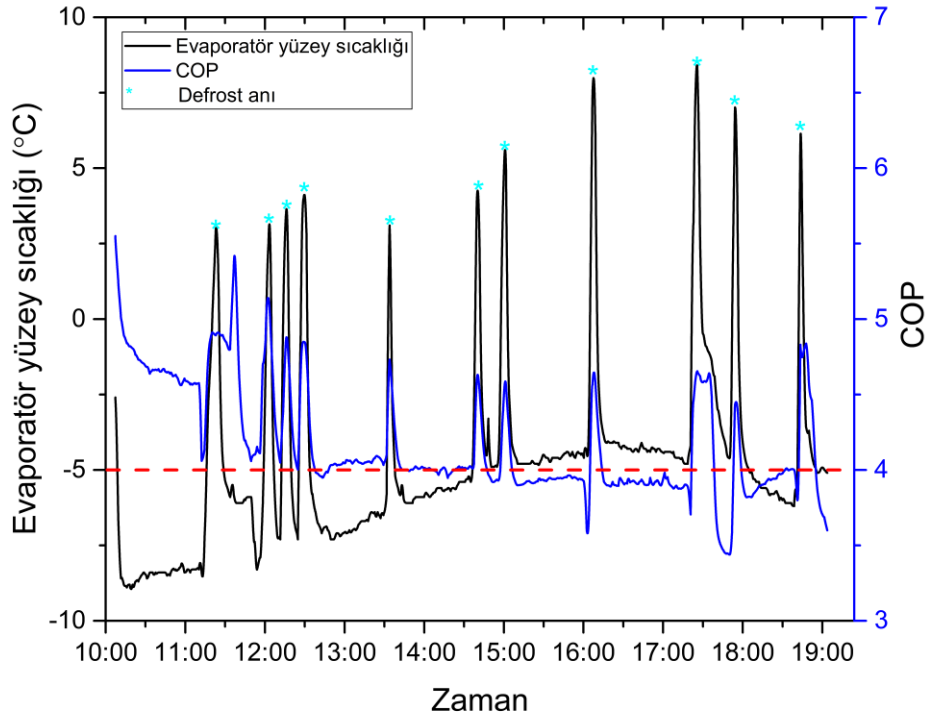
Şekil 7.5. Evaporatördeki karlanma (a-b-c) ve evaporatör defrost işlemi (d-e-f).

Şekil 7.6’da deney boyunca defrost işlemleri gösterilmiştir. Defrost yapılırken “1” olarak tanımlanırken yapılmadığı zamanlar “0” olarak tanımlanmıştır. Deney başlangıcında defrost süreleri ve harcanan enerji miktarları daha fazla iken daha sonra azalmış ve dengelenmeye başlamıştır. Deney boyunca toplam 11 kez defrost işlemi yapılmıştır. Deney boyunca ortalama defrost süresi 3 dk 51 sn iken, son 7 defrost bakıldığında bu süre 3 dk 8 sn düşmüştür. Literatürdeki çalışmalarda defrost süreleri Wang vd. 12-15 dk. [93], Yin vd. 7-19 dk. [94], Huang vd. 1,5-4,5 dk. [95] gerçekleştiği bulunurken, bu çalışmada defrost süresi 3-7,5 dk olarak bulunmuştur. Deney boyunca defrost işleminde harcanan toplam termal enerji ve ortalama termal enerji transfer hızı sırasıyla 6,6 kW ve 605 W olarak hesaplanmıştır. Deneyin başlangıcındaki yüksek defrost süresi ve enerji tüketimi soğutma sisteminin tam olarak dengeye gelmemesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca deney başlangıcında dış ortam sıcaklığının düşük olması daha hızlı karlanmaya ve defrost işlemine neden olmuştur. Soğutma sistemi dengelenmesinden sonra daha düzenli bir karlanma ve defrost işlemi yapılabilmektedir.



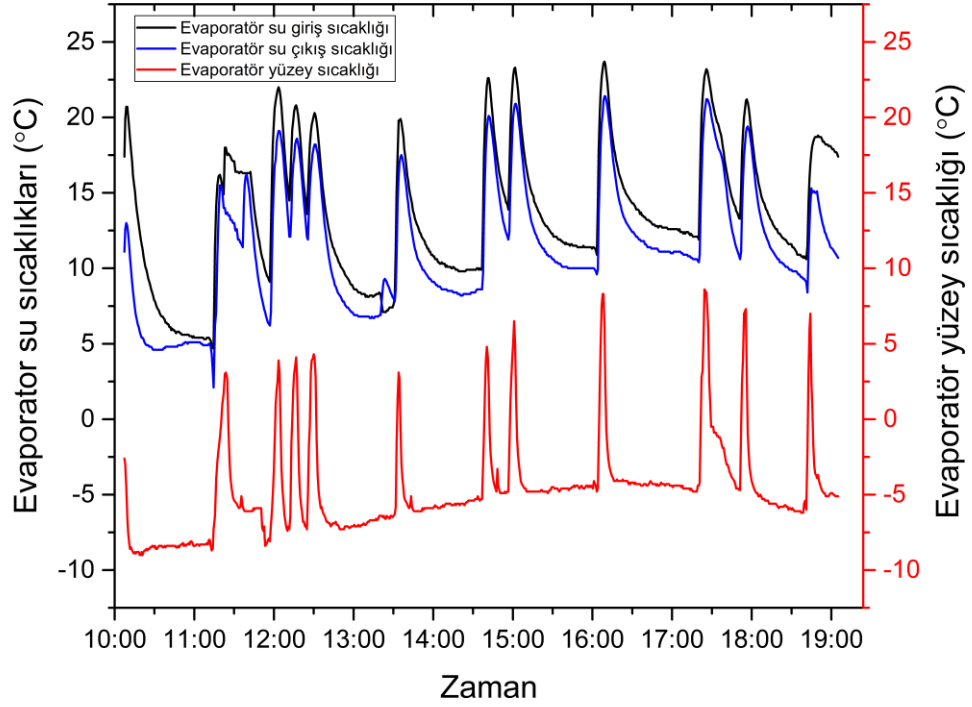
Şekil 7.6. Deney boyunca yapılan defrost işlemleri.

Evaporatör yüzey sıcaklığı ve COP değişimi Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Soğutma sisteminin hesaplamaları EES programda modellenmiş ve kütüphanesinden yararlanılarak yapılmıştır. Soğutma sisteminin deney boyunca ortalama COP değeri 4,18 olarak hesaplanmıştır. Defrost işlemi sırasında evaporatör yüzey sıcaklığının ortalama 11 °C yükseldiği, COP değerinin ise %9 arttığı bulunmuştur. Evaporatör yüzeyindeki karlanma defrost yapılırken, COP'deki artış açıkça görülmektedir. Defrost işlemi evaporatörün dış ortamdan daha iyi ısı almasını sağlamıştır.



Şekil 7.7. Deney boyunca COP ve evaporatör sıcaklık değişimleri.

Evaporatöre defrost için gönderilen suyun giriş-çıkış sıcaklıkları ve evaporatör yüzey sıcaklığı Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Su evaporatöre defrost gerekli olduğunda gönderilmiştir. Defrost su sıcaklığı hızlı bir şekilde depo sıcaklığına ulaşmış ve defrost işlemi için gerekli enerjiyi evaporatör yüzeyine aktarabilmiştir. Evaporatör yüzey sıcaklığı defrost anında ortalama 12 °C artırılarak daha sonra tekrar önceki sıcaklığına 1-2 dk. içinde ulaştırılabilmektedir. Bunun nedeni defrost sırasında kompresörün durmaması ve soğutma işleminin devam etmesidir.



Şekil 7.8. Evaporatöre giren suyun giriş-çıkış sıcaklıkları ve evaporatör yüzey sıcaklığı.

Kış şartlarında yapılan deneyde, sistemin kullanılması durumunda atmosfere salınan $0,97 \text{ kgCO}_2/\text{h}$ miktarı azaltıldığı bulunmuştur. Ayrıca çevresel ekonomik maliyet $14,6 \text{ \$/h}$ olarak bulunmuştur. Bu hesaplamanın kış şartlarında yapıldığı göz önüne alındığında çevre şartlarının daha iyi olduğu aylarda bu değerinin artan ısıtım miktarıyla artması beklenmekte ve yapılan sistemin oldukça çevre dostu olduğu anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında termal enerji depolayan yeni bir alternatif defrost yöntemi önerilmiş ve deneysel olarak test edilmiştir. Deneyde soğutma sistemlerinde meydana gelen karlanma olayı test edilmeye çalışılmış ve bunun için evaporatördeki karlanma hızlandırılarak daha sık defrost işlemi yapılmıştır. Yapılan deneyler ile tasarlanan sistemin kış mevsiminde defrost işlemi yapılabildiği gösterilmiştir. Deney boyunca elde edilen bilgiler ve yapılan analizlerin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Deneyde kullanılan FV modülün elektriksel verimi ortalama %13,6 olarak bulunurken, ortalama toplam verimi ise %38 olarak hesaplanmıştır. Deney boyunca FV/T sistem için en yüksek toplam verim değeri %61'dir. Deneyin kış şartlarında yapılmasına rağmen elde edilen ortalama verim değerleri yeterli seviyededir.
- Kış şartlarında gerçekleştirilen deneyde ortalama çevre sıcaklığı ile FV modül ortalama yüzey sıcaklığı arasında 24 °C fark elde edilmiştir. Bu farktan elde edilen ısı enerjisiyle defrost gerçekleştirilebilmiştir.
- FV modül ortalama yüzey sıcaklığı 36,4 °C iken, su depolama tankının ortalama sıcaklığı 26,4 °C olarak bulunmuştur. Elde edilen 10 °C'lik sıcaklık farkı modül sıcaklığını düşürmekte önemli katkısı olmuştur. FV modül su giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında ortalama 3,3 °C fark elde edilmiştir.
- Deney boyunca toplam 11 defrost işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işlemler için toplam 6,6 kW güç harcanmıştır. Her defrost işlemi için ortalama ısı transfer hızı 605 W hesaplanmıştır. Bu ısı enerjisi tamamen FV/T sistemden sağlanmış ve defrost işlemindeki enerji maliyetini ortadan kaldırmıştır.
- Genellikle kullanılan ters çevrimli defrost yönteminde 4 yollu vananın değiştirilmesi sırasında kompresör emiş ve basma hatlarında ani basınç

düşmeleri ve mekanik şoklar oluşur [95], önerilen sistemde kompresör kapatılmadığı için bu tür arızalar ortadan kaldırılmıştır.

- Geleneksel defrost yöntemlerinden elektrikli rezistans ile karşılaştırıldığında, tasarlanan suyla defrost sistemiyle evaporatör yüzeyinde homojen bir defrost yapılmıştır. Ayrıca bu sistemin dar kanat açıklığı bulunan evaporatörlerde kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Deneysel boyunda ortalama COP değeri 4,18 olarak hesaplanırken, defrost anında bu değer ortalama %9 artışı hesaplanmıştır. Bu tür hibrit sistemler, dünyada daha sürdürülebilir enerji için gelecekteki teknolojileri ve ticari uygulamaları teşvik etmektedir.
- Geleneksel defrost yöntemleri ile karşılaştırıldığında, evaporatör içine çapraz akış tasarımı (Soğutucu akışkan hattı ve sıcak su hattı) ve FV/T sistemden elde edilen su ile defrost işlemi enerji tüketimini ve defrost süresini azaltır. Bu nedenle tasarımı yapılan bu sistemin alternatif defrost yöntemi olarak kullanılması beklenmektedir.

Elektrik tüketimi yaşam standartlarına bağlı olarak artmakta ve bu tüketimlerin bir kısmı soğutma-ısıtma sistemlerinden oluşmaktadır. Bu sistemlerin elektrik tüketimleri azaltılırken sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önem arz etmektedir. Güneş enerjisi bu noktada önemli fayda sağlayabilir. Tasarımı yapılan sistem geleneksel defrost yöntemlerinden farklı olarak kullandığı ısı ve elektrik enerjisini güneşten karşıladığı için örnek olabilecek bir tasarımdır. Prototipi ve denemesi yapılan sistemden elde edilen veriler göz önüne alındığında soğutma sistemlerinin önemli problemlerinden olan karlanmanın giderilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca yapılan tasarım ve kullanılan yöntemden faydalanarak yeni sistemlere olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir. FV modülünden elde edilen ve depolanan elektrik enerjisi sistemde farklı yerlerde kullanılarak verim artışı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Kurucu, A. A., "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Hesaplanması", *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (1): (2017).
2. Mishra, R. K. and Tiwari, G. N., "Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode", *Solar Energy*, 90: 58–67 (2013).
3. Cao, C., Li, H., Feng, G., Zhang, R., and Huang, K., "Research on PV/T – Air Source Heat Pump Integrated Heating System in Severe Cold Region", *Procedia Engineering*, 146: 410–414 (2016).
4. Liu, T., Li, Z., and He, G., "Experiments of a Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost", *Energy Procedia*, 105: 1130–1135 (2017).
5. Minglu, Q., Tianrui, L., Shiming, deng, Yanan, F., and Zhao, L., "Improving defrosting performance of cascade air source heat pump using thermal energy storage based reverse cycle defrosting method | Elsevier Enhanced Reader", *Applied Thermal Engineering*, 121: 728–736 (2017).
6. Karaağaç, M. O., Ergün, A., Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., and Ceylan, İ., "Experimental analysis of CPV/T solar dryer with nano-enhanced PCM and prediction of drying parameters using ANN and SVM algorithms", *Solar Energy*, 218: 57–67 (2021).
7. Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Ibrahim, A., and Kazem, H. A., "Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors", *Energy Conversion And Management*, 78: 641–651 (2014).
8. Öztürk, M., Özek, N., Batur, H., and KOç, M., "Fotovoltaik (pv) Sistemlerin Ve Fotovoltaik-Termal (pv-T) Kolektörlerin Termodinamik Değerlendirmesi", *Thermodynamic Assessment Of Photovoltaic (PV) Systems And Photovoltaic-Thermal (PV-T) Collectors.*, (619): 50–62 (2011).
9. Machielsen, C. H. M. and Kerschbaumer, H. G., "Influence of frost formation and defrosting on the performance of air coolers: standards and dimensionless coefficients for the system designer", *International Journal Of Refrigeration*, 12 (5): 283–290 (1989).
10. Stoecker, W. F., "How frost formation on coils affects refrigeration systems", *Refrigerating Engineering*, 65 (2): 42–46 (1957).
11. Ertaş, E., "Soğutma Sistemlerinde Defrost Kayıplarının Kontrolü Yolu İle Enerji Tasarrufu", *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (2011).

12. Baxter, V. D. and Moyers, J. C., "Field-measured cycling, frost and defrosting losses for a high efficiency air source heat pump", *ASHRAE Trans*, 91 (2): 537–554 (1985).
13. Liu, Z., Tang, G., and Zhao, F., "Dynamic simulation of air-source heat pump during hot-gas defrost", *Applied Thermal Engineering*, 23 (6): 675–685 (2003).
14. Qu, M. L., Xia, L., Deng, S. M., and Jiang, Y. Q., "Improved indoor thermal comfort during defrost with a novel thermal energy storage based reverse-cycle defrosting method for air source heat pumps", *Build Environ*, 45: 2354–2361 (2010).
15. Kılıç, F. Ç., "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Muhendis Ve Makina*, 56 (671): 28–40 (2015).
16. "İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı", <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (2022).
17. Karaağaç, M. O., Oğul, H., and Bardak, S., "Kanatlı Hayvan Çiftliği İçin Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı ve Maliyet Hesabı", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1): 711–722 (2020).
18. Chapin, D. M., Fuller, C. S., and Pearson, G. L., "A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power", *Journal Of Applied Physics*, 25 (5): 676–677 (1954).
19. Oral, M., "Güneş Pilleri", 1. Ed., *İzmir İlker Matbaası*, İzmir, 59 (1979).
20. Toprak, A., "Güneş enerjisi (Solar Energy)", *Akademi.Toprak*, 174 .
21. "Karrieremagazin: Job, Bewerbung & Beruf", <https://www.spirofrog.de/> (2022).
22. Ekinci, M., "Taşınabilir Güneş Takip Sistemli Pv Panel Dizaynı ve Uygulaması", Tez, *Erciyes Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
23. "Kristal Yapılı Fotovoltaik Panellerin Yapısı Nasıldır?", <https://www.orbitenerji.com/orbit-akademi/fotovoltaik-panel-yapisi-nasildir> (2022).
24. Koşar, M., "Isıl enerji depolamalı yeni bir güneş enerjisi destekli ısı pompasının sayısal ve deneysel analizi", *Gazi Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2021).
25. Mojiri, A., Taylor, R., Thomsen, E., and Rosengarten, G., "Spectral beam splitting for efficient conversion of solar energy—A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 28: 654–663 (2013).
26. Firatoglu, Z. A. and Yesilata, B., "New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems", *Solar Energy*, 77 (1): 81–93 (2004).

27. Kaldellis, J. K., Kapsali, M., and Kavadias, K. A., "Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece", *Renewable Energy*, 66: 612–624 (2014).
28. Leban, K. and Ritchie, E., "Selecting the accurate solar panel simulation model", (2008).
29. Chow, T. T., "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology", *Applied Energy*, 87 (2): 365–379 (2010).
30. Babu, C. and Ponnambalam, P., "The role of thermoelectric generators in the hybrid PV/T systems: A review", *Energy Conversion And Management*, 151: 368–385 (2017).
31. Masters, G. M., "Renewable and Efficient Electric Power Systems", *John Wiley & Sons*, 710 (2013).
32. "Soğutma Çevrimi Nedir? / FRİGO BLOCK / Soğutma Sistemleri / Soğutma Cihazları", <http://www.frigoblock.com.tr/sogutma-cevrimi-nedir.php> (2022).
33. Büyükalaca, O. and Yılmaz, T., "Güneş Enerjisi ile Soğutma Teknolojilerine Genel Bir Bakış", *Tesisat Mühendisliği*, Adana, (2003).
34. Yılmaz, N., "Jeotermal destekli absorpsiyonlu soğutma sistemi ile buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin karşılaştırılması ve örnek uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Balikesir Üniversitesi*, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2019).
35. Sevinç, K. and Güngör, A., "Güneş enerjisi kaynaklı soğutma sistemleri ve bu alandaki yeni uygulamalar", *Mühendis Ve Makina*, 53 (635): 59–70 (2013).
36. Li, D. and Chen, Z., "Experimental study on instantaneously shedding frozen water droplets from cold vertical surface by ultrasonic vibration", *Experimental Thermal And Fluid Science*, 53: 17–25 (2014).
37. Karakaş, E. Ç., "İklimlendirme sistemi buharlaştırıcılarında ultrasonik titreşim ile buz çözme yönteminin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, (2021).
38. Awate, G. D., Acharya, A. R., and Kulkarni, A., "Review on defrosting methods for heat pump when outdoor coil surface temperature falls below zero-degree temperature", *The International Journal Of Engineering And Science*, 7: 56–59
39. İsa, K. and Onat, A., "İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği", 2. Ed., *Doğa Yayıncılık*, İstanbul, (2017).
40. Mago, P. J. and Sherif, Dr. S. A., "Modeling the Cooling Process Path of a Dehumidifying Coil Under Frosting Conditions", *Journal Of Heat Transfer*, 124 (6): 1182–1191 (2002).

41. Strong, A. P., "Hot gas defrost for industrial refrigeration", *Heating, Piping And Air Conditioning*, 60 (7): 71–83 (1988).
42. Shen, J., Qian, Z., Xing, Z., Yu, Y., and Ge, M., "A review of the defrosting methods of air source heat pumps using heat exchanger with phase change material", *Energy Procedia*, 160: 491–498 (2019).
43. Ji, J., He, H., Chow, T., Pei, G., He, W., and Liu, K., "Distributed dynamic modeling and experimental study of PV evaporator in a PV/T solar-assisted heat pump", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 52 (5): 1365–1373 (2009).
44. Chen, H., Riffat, S. B., and Fu, Y., "Experimental study on a hybrid photovoltaic/heat pump system", *Applied Thermal Engineering*, 31 (17): 4132–4138 (2011).
45. Wang, G., Quan, Z., Zhao, Y., Sun, C., Deng, Y., and Tong, J., "Experimental study on a novel PV/T air dual-heat-source composite heat pump hot water system", *Energy And Buildings*, 108: 175–184 (2015).
46. Zhang, X., Xu, J., and Yu, X., "Characterization of a solar photovoltaic/loop-heat-pipe heat pump water heating system", *Applied Energy*, 102: 1229–1245 (2012).
47. Kırtape, E. and Güngör, A., "Binalarda bütünleşik güneş enerjisi uygulama örnekleri", *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (2017).
48. Ceylan, I., Gürel, A. E., Demircan, H., and Aksu, B., "Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector", *Energy And Buildings*, 72: 96–101 (2014).
49. Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., and Liu, Y., "Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation", *Energy Conversion And Management*, 150: 949–955 (2017).
50. Kazem, H. A., "Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system", *Case Studies In Thermal Engineering*, 13 (January): 100401 (2019).
51. Reda, M. N., Spinnler, M., AL-Kayiem, H. H., and Sattelmayer, T., "Assessment of condensation and thermal control in a photovoltaic panel by PV/T and ground heat exchanger", *Solar Energy*, 221: 502–511 (2021).
52. Mancin, S., Diani, A., Doretti, L., Hooman, K., and Rossetto, L., "Experimental analysis of phase change phenomenon of paraffin waxes embedded in copper foams", *International Journal Of Thermal Sciences*, 90: 79–89 (2015).
53. Pandey, A. K., Hossain, M. S., Tyagi, V. V., Abd Rahim, N., Selvaraj, J. A. /L., and Sari, A., "Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 82: 281–323 (2018).

54. Obalanlege, M. A., Mahmoudi, Y., Douglas, R., Ebrahimnia-Bajestan, E., Davidson, J., and Bailie, D., "Performance assessment of a hybrid photovoltaic-thermal and heat pump system for solar heating and electricity", *Renewable Energy*, 148: 558–572 (2020).
55. Daghigh, R. and Khaledian, Y., "A novel photovoltaic/thermoelectric collector combined with a dual – Evaporator vapor compression system", *Energy Conversion And Management*, 158: 156–167 (2018).
56. Palacio, M., Rincón, A., and Carmona, M., "Experimental comparative analysis of a flat plate solar collector with and without PCM", *Solar Energy*, 206: 708–721 (2020).
57. Huang, M. J., Eames, P. C., and Norton, B., "Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics", *Solar Energy*, 80 (9): 1121–1130 (2006).
58. Mittelman, G., Kribus, A., Mouchtar, O., and Dayan, A., "Water desalination with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems", *Solar Energy*, 83 (8): 1322–1334 (2009).
59. Browne, M. C., Norton, B., and McCormack, S. J., "Phase change materials for photovoltaic thermal management", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 47: 762–782 (2015).
60. Fayaz, H., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., Nasrin, R., and Rivai, A., "Numerical and experimental investigation of the effect of operating conditions on performance of PVT and PVT-PCM", *Renewable Energy*, 143: 827–841 (2019).
61. Carmona, M., Palacio Bastos, A., and García, J. D., "Experimental evaluation of a hybrid photovoltaic and thermal solar energy collector with integrated phase change material (PVT-PCM) in comparison with a traditional photovoltaic (PV) module", *Renewable Energy*, 172: 680–696 (2021).
62. Fu, Z., Liang, X., Li, Y., Li, L., and Zhu, Q., "Performance improvement of a PVT system using a multilayer structural heat exchanger with PCMs", *Renewable Energy*, 169: 308–317 (2021).
63. Kwak, K. and Bai, C., "A study on the performance enhancement of heat pump using electric heater under the frosting condition: Heat pump under frosting condition", *Applied Thermal Engineering*, 30 (6–7): 539–543 (2010).
64. Hoffenbecker, N., Klein, S. A., and Reindl, D. T., "Hot gas defrost model development and validation", *International Journal Of Refrigeration*, 28 (4): 605–615 (2005).
65. Byun, J.-S., Lee, J., and Jeon, C.-D., "Frost retardation of an air-source heat pump by the hot gas bypass method", *International Journal Of Refrigeration*, 31 (2): 328–334 (2008).

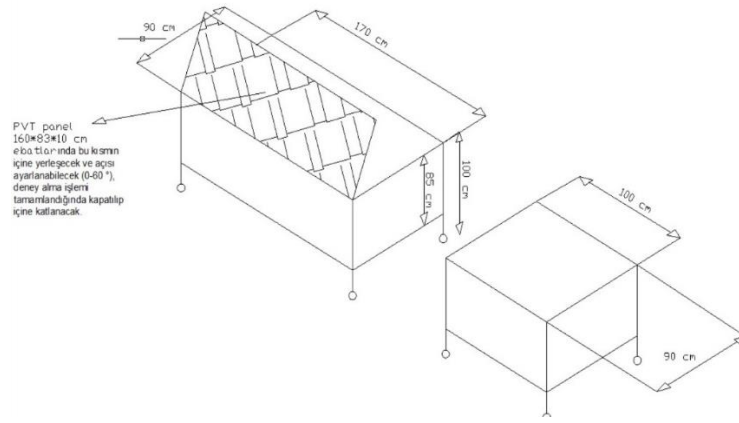
66. Wang, Z., Yang, H., and Chen, S., "Study on the operating performance of cross hot-gas bypass defrosting system for air-to-water screw heat pumps", *Applied Thermal Engineering*, 59 (1): 398–404 (2013).
67. Hao, Y., Wu, Z., and Wang, W., "The optimization of the electric heating for melting the frost in the air conditioning process", *Cryogenics And Superconductivity*, 37 (7): 40–43 (2009).
68. Niederer, D. H., "Frosting and defrosting effects on coil heat transfer", *ASHRAE Trans.*, 82 (1): 467–473 (1976).
69. Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., and Taoukis, P., "Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions", *LWT - Food Science And Technology*, 42 (2): 664–671 (2009).
70. Socarras, S. and Magari, R. T., "Modeling the effects of storage temperature excursions on shelf life", *Journal Of Pharmaceutical And Biomedical Analysis*, 49 (2): 221–226 (2009).
71. Wan, J. K., Zhang, Q., and Cao, G. R., "A simple model to calculate the defrosting electrical energy input and the ways to optimize the air cooler's electro-thermal defrosting system", *Journal Of Shanghai Fisheries University*, 17 (2): 227–231 (2008).
72. Bansal, P., Fothergill, D., and Fernandes, R., "Thermal analysis of the defrost cycle in a domestic freezer", *International Journal Of Refrigeration*, 33 (3): 589–599 (2010).
73. Kazachki, G., "Project progress meeting in discussion of display case warm liquid defrosting tests at EPA", *March, Raleigh, NC*, (2001).
74. Stark, S., Loose, A., and Drück, H., "Field Test Results from Combined Solar Thermal and Air-source Heat Pump Systems with a Special Focus on Defrosting", *Energy Procedia*, 48: 654–663 (2014).
75. Tan, H., Xu, G., Tao, T., Sun, X., and Yao, W., "Experimental investigation on the defrosting performance of a finned-tube evaporator using intermittent ultrasonic vibration", *Applied Energy*, 158: 220–232 (2015).
76. Qiao, H., Aute, V., and Radermacher, R., "Modeling of transient characteristics of an air source heat pump with vapor injection during reverse-cycle defrosting", *International Journal Of Refrigeration*, 88: 24–34 (2018).
77. Votsis, P. P., Tassou, S. A., Wilson, D. R., and Marquand, C. J., "Investigation of the performance of a heat pump under frosting and defrosting conditions", *Heat Recovery Systems And CHP*, 9 (5): 399–406 (1989).
78. Buick, T. R., McMullan, J. T., Morgan, R., and Murray, R. B., "Ice detection in heat pumps and coolers", *International Journal Of Energy Research*, 2 (1): 85–98 (1978).

79. Ciricillo, S. F., "Heat pump de-icing/controlling for energy conservation and costs", (1985).
80. Kim, D., Song, K. S., Lim, J., and Kim, Y., "Analysis of two-phase injection heat pump using artificial neural network considering APF and LCCP under various weather conditions", *Energy*, 155: 117–127 (2018).
81. Paone, N. and Rossi, G., "Fiber-optic ice sensors for refrigerators", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, (1991).
82. Woodley, C. B. C., "Saving on the defrost", *Air Conditioning Refrigeration News*, 62: (1989).
83. Xiao, J., Wang, W., Zhao, Y. H., and Zhang, F. R., "An analysis of the feasibility and characteristics of photoelectric technique applied in defrost-control", *International Journal Of Refrigeration*, 32 (6): 1350–1357 (2009).
84. Dubey, S., Solanki, S. C., and Tiwari, A., "Energy and exergy analysis of PV/T air collectors connected in series", *Energy And Buildings*, 41 (8): 863–870 (2009).
85. Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C., and Sun, F. S., "Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems", *Solar Energy*, 70 (5): 443–448 (2001).
86. Ceylan, İ., Gürel, A. E., Ergün, A., Guma Ali, İ. H., Ağbulut, Ü., and Yıldız, G., "A detailed analysis of CPV/T solar air heater system with thermal energy storage: A novel winter season application", *Journal Of Building Engineering*, 42: 103097 (2021).
87. Tripathi, R., Tiwari, G. N., and Dwivedi, V. K., "Overall energy, exergy and carbon credit analysis of N partially covered Photovoltaic Thermal (PVT) concentrating collector connected in series", *Solar Energy*, 136: 260–267 (2016).
88. Tuncer, A. D., Khanlari, A., Sözen, A., Gürbüz, E. Y., Şirin, C., and Gungor, A., "Energy-exergy and enviro-economic survey of solar air heaters with various air channel modifications", *Renewable Energy*, 160: 67–85 (2020).
89. Yao, J., Xu, H., Dai, Y., and Huang, M., "Performance analysis of solar assisted heat pump coupled with build-in PCM heat storage based on PV/T panel", *Solar Energy*, 197: 279–291 (2020).
90. Ceylan, I. and Gürel, A. E., "Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves", *Applied Thermal Engineering*, 106: 899–905 (2016).
91. Gong, G., Tang, J., Lv, D., and Wang, H., "Research on frost formation in air source heat pump at cold-moist conditions in central-south China", *Applied Energy*, 102: 571–581 (2013).
92. Tang, J., Herman, C., and Gong, G., "A novel self-adaptive control strategy of frost prevention and retardation for air source heat pumps in winter conditions", *Applied Mathematical Modelling*, 83: 284–300 (2020).

93. Wang, M., Zang, R., Hu, E., and Ezzat, A. W., "Investigation of air cooler fan start-up delay in liquid refrigerant defrosting system", *Applied Thermal Engineering*, 143: 302–307 (2018).
94. Yin, H.-J., Yang, Z., Chen, A.-Q., and Zhang, N., "Experimental research on a novel cold storage defrost method based on air bypass circulation and electric heater", *Energy*, 37 (1): 623–631 (2012).
95. Huang, D., Li, Q., and Yuan, X., "Comparison between hot-gas bypass defrosting and reverse-cycle defrosting methods on an air-to-water heat pump", *Applied Energy*, 86 (9): 1697–1703 (2009).

EK AÇIKLAMALAR A.

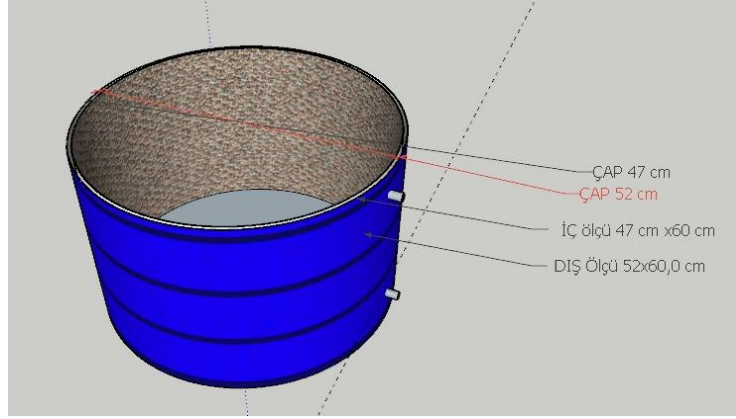
SİSTEM ÇİZİMLERİ VE GÖRSELLERİ



Şekil Ek A.1. Soğutma ve FV/T kurulduğu kontrüksiyon çizimleri.



Şekil Ek A.2. Soğutma ve fotovoltaik termal sisteminin kurulduğu kontrüksiyonlar.



Şekil Ek A.3. Yalıtımlı termal depo çizimi



Şekil Ek A.4. Galvanizli saçtan yapılan termal depo.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Onur KARAAĞAÇ ilk ve orta öğrenimini Aydın ilinde tamamladı. Aydın Çine Mehmet Tuncer Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimine başladı. 2013 yılında yatay geçişle Isparta Süleyman Demirel Üniversitesine geçiş yaptıktan sonra 2015 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2015 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesine Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisan eğitimine başlayıp 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesine Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 2017 yılında Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.