



**PARABOLİK OLUKLU FOTOVOLTAİK TERMAL
KOLEKTÖRÜN (PV/T) İKLİMLENDİRME
SİSTEMİNE UYGULANMASI**

Hakan DUMRUL

**2022
DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**PARABOLİK OLUKLU FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖRÜN (PV/T)
İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE UYGULANMASI**

Hakan DUMRUL

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Hakan DUMRUL tarafından hazırlanan “PARABOLİK OLUKLU FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖRÜN (PV/T) İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE UYGULANMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 17/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (DÜ)

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN (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.”

Hakan DUMRUL

ÖZET

Doktora Tezi

PARABOLİK OLUKLU FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖRÜN (PV/T) İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE UYGULANMASI

Hakan DUMRUL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Haziran 2022, 134 sayfa

Bu tez çalışmasında, Karabük Üniversitesi yerleşkesi içerisinde 54 m³ hacme sahip, deneyler için yapılmış bir mahalın iklimlendirilmesinde yaz ve kış şartları için sistem tasarlanmış ve kurulmuştur. Sistemlerde kullanılan yoğunlaştırıcıli fotovoltaik/termal kolektörlerden (CPV/T) elde edilen elektrik enerjisi sistem ekipmanlarının çalıştırılmasında, ısı enerjisi (termal enerji) de kış uygulamasında mahal ısıtılmasında kullanılmıştır. Yaz uygulamasında ise mahalın soğutulması için doğal kaynak (kuyu suyu) kullanılmıştır. Kullanılan kuyu suyunun temininde enerji olarak CPV/T'lerden yararlanılmıştır. Aynı zaman da mahalde soğutma işlemi gören su CPV/T'lerin soğutulması amacıyla kullanılmıştır.

Kış uygulaması nisan ve mayıs aylarında 0.4, 0.5 ve 0.6 m³/sa debileri için %10 mono Propilen Glikol (PG)/%90 su ve hacimce %0.5'lik Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Odanın ısıtılmasında kullanılan fan-coil hava çıkış sıcaklığı invertör ve proses kontrol cihazı ile 35 °C'ye ayarlanmıştır. Ortalama yoğunlaştırılmış güneş ışınımının 1056 W/m² olduğu ve dış hava sıcaklığının en düşük 8 °C en yüksek 26 °C arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığı 33 °C ve oda sıcaklığı ortalama 24.6 °C olarak ölçülmüştür. Elektriksel enerji kazanımı en yüksek PG/su karışımı için 0.6 m³/sa debide 268 W, nanoakışkan için 0.5 m³/sa debide 194 W olarak hesaplanmıştır. Farklı akışkanların kullanıldığı sistem için toplam termal enerji verimi yaklaşık %22 olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam termal enerji kazanımı PG/su karışımı için 0.6 m³/sa debide 2312 W nanoakışkan için ise 0.5 m³/sa debide 2041 W olarak hesaplanmıştır. Sistemden elde edilen toplam ekserji çıkışı PG/su karışımı için ortalama 380.6 W, Al₂O₃/su nanoakışkanı için 315.4 W olmuştur. Sistemin bu ekserji çıkış değerlerinde her iki akışkan içinde ekserji verimi ortalama %7 olarak hesaplanmıştır.

Yaz uygulamasında deneyler temmuz ayında farklı günlerde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince odanın soğutulmasında kullanılan fan-coil hava çıkış sıcaklığı invertör ve proses kontrol cihazı ile 20 °C'ye ayarlanmıştır. Ortalama ışınımın 766 W/m², ortalama yoğunlaştırılmış ışınımın 1101 W/m², ortalama kuyu suyu sıcaklığının 16 °C olduğu ve dış ortam sıcaklığının en düşük 23 °C en yüksek 33 °C arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığı 18 °C, ortalama oda sıcaklığı 23 °C ve ortalama CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklığı 24 °C olarak ölçülmüştür. Sistemden elde edilen ortalama toplam termal enerji kazanımı 636.7 W olarak bulunmuş ve bu güç değerinde ortalama termal enerji verimi %12.4 olarak hesaplanmıştır. CPV/T kolektörlerden elde edilen en yüksek elektriksel güç 0.4 m³/sa debide 206.2 W olarak ölçülmüştür. Farklı gün ve debilerde gerçekleştirilen deneylerde sistemden elde edilen ortalama toplam ekserji çıkışı 353.2 W olarak bulunmuş ve ortalama ekserji verimi %7.3 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, Yoğunlaştırıcıli fotovoltaiik/termal (CPV/T),
Klima, Enerji analizi, Ekserji analizi.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

APPLICATION OF PARABOLIC TROUGH PHOTOVOLTAIC THERMAL COLLECTOR (PV/T) TO AIR CONDITIONING SYSTEM

Hakan DUMRUL

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

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

June 2022, 134 pages

In this thesis, a machinery system with a volume of 54 m³ were designed and installed for testing the climatization of a local area in the region of the Karabük University campus. The electrical energy obtained from the concentrated photovoltaic/thermal collectors (CPV/T) was used to operate the system equipment, and the heat energy (thermal energy) was used for local heating purposes as the winter application. In the summer application, natural spring (well water) was used to cool the room. Well water was brought to the surface by gain energy of CPV/T collectors, therewithal to cool the CPV/T.

Winter application in April and May was carried out by using 10% mono Propylene Glycol (PG)/90% water and 0.5% Al₂O₃/water nanofluid for 0.4, 0.5 and 0.6 m³/h flow rates. The fan-coil air outlet temperature used in the heating of the room is adjusted to 35 °C by means of inverter and process control device.

When the average concentrated solar radiation is 1056 W/m^2 and the outdoor temperature changes in the range between the lowest $8 \text{ }^\circ\text{C}$ and the highest $26 \text{ }^\circ\text{C}$, the average fan-coil air outlet temperature is measured as $33 \text{ }^\circ\text{C}$ and the room temperature is measured as $24.6 \text{ }^\circ\text{C}$. The highest electrical energy gain was calculated as 268 W at $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ flow rate for the PG/water mixture and 194 W at $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ flow rate for the nanofluid. The total thermal energy efficiency has been determined as approximately 22% for the system in which different fluids are used. It was calculated as 2312 W at a flow rate of $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ for the PG/water mixture and 2041 W at a flow rate of $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ for the nanofluid. The total exergy output on average obtained from the system was 380.6 W for the PG/water mixture and 315.4 W for the $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ nanofluid. The average exergy efficiency at these exergy output values for both fluids were calculated as 7%.

The experiments, in the summer application, were carried out at constant fan-coil well water flow rates of 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ on different days in July. During the experiments, the fan-coil air outlet temperature used in the cooling of the room was adjusted to $20 \text{ }^\circ\text{C}$ with an inverter and process control device. In cases where the average irradiance is 766 W/m^2 , the average concentrated radiation is 1101 W/m^2 , the average well water temperature is $16 \text{ }^\circ\text{C}$ and the outdoor temperature varies in the range between the lowest $23 \text{ }^\circ\text{C}$ and the highest $33 \text{ }^\circ\text{C}$. The average fan-coil air outlet temperature was $18 \text{ }^\circ\text{C}$, the average room temperature was $23 \text{ }^\circ\text{C}$ and average CPV/T collector outlet water temperature was measured as $24 \text{ }^\circ\text{C}$. The average total thermal energy gain from the system was determined as 636.7 W , and the average thermal energy efficiency at this power value was calculated as 12.4%. The highest electrical power obtained from CPV/T collectors was measured as 206.2 W at a flow rate of $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$. The average total exergy output obtained from the system was obtained as 353.2 W and the average exergy efficiency was calculated as 7.3% in the experiments at different days and at different flow rates.

Key Word : Solar energy, Concentrated photovoltaic thermal (CPV/T),
Air conditioning, Energy analysis, Exergy analysis.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren ve ayrıca çalıŐmam boyunca desteğini her zaman yanımda hissettiğim çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalıŐmam boyunca tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim tez izleme komitemde bulunan çok değerli ve kıymetli hocam Prof. Dr. İlhan CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalıŐmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve her zaman yol gösterici olan tez izleme komitesindeki Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN hocama çok teşekkür ederim. Tezimin yazım aşamasında ve yayın hazırlamada desteğini ve emeğini esirgemeyen Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ hocama çok teşekkür ederim. Tez çalıŐmam boyunca bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen ve manevi destekleri ile hep yanımda olan başta Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK olmak üzere Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez sürecimde bana her türlü sabrı gösteren, sevgi ve anlayışıyla her zaman yanımda olan eşim Esra DUMRUL'a ve sevgilerinden güç aldığım kızlarım Ayza Beril ve Alya Beren DUMRUL'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca, hayatımın her noktasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olduklarını hissettiren annem Rebiha DUMRUL, babam Mustafa DUMRUL ve kardeşlerim Ahmet DUMRUL ile Özlem DUMRUL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DÜNYADA ENERJİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİYE GENEL BAKIŞ ...	1
1.2. TÜRKİYEDE ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNE GENEL BAKIŞ.....	4
1.3. YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK /TERMAL KOLEKTÖR (CPV/T)6	
1.4. TEZİN AMAÇ VE HEDEFLERİ	8
1.5. TEZİN YAPISI.....	10
BÖLÜM 2	12
İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ	12
2.1. TAM HAVALI SİSTEMLER.....	13
2.2. HAVALI SULU SİSTEMLER	14
2.3. TAM SULU SİSTEMLER.....	14
2.3.1. İki Borulu Fan-coil Sistemi	16
2.3.2. Dört Borulu Fan-coil Sistemi	17
2.4. FAN COİL ÜNİTELERİ OTOMATİK KONTROL METOTLARI.....	18
2.4.1. İki Konumlu Olarak Fan Kontrolü	18
2.4.2. İki Konumlu Olarak Kontrol Valfi İle İki Borulu Isıtma Veya Soğutma	19
2.4.3. İki Konumlu Olarak Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma	19

2.4.4. Oransal Olarak Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma.....	20
BÖLÜM 3	21
LİTERATÜR ÖZETİ	21
3.1. GÜNEŞ VE GÜNEŞ IŞINIMI	21
3.1.1. Direkt Güneş Işınımı	24
3.1.2. Difüz Işınım	26
3.1.3. Yansıyan Işınım	27
3.2. FOTOVOLTAİK (PV) HÜCRE	28
3.2.1 . p-n Bağlantısı.....	28
3.2.2 . Fotovoltaik Etki	30
3.2.3 . PV Hücre Karakteristikleri	32
3.3. FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) SİSTEMLER	37
3.4. CPV/T SİSTEMLER.....	44
3.4.1 . Bileşik Parabolik Yoğunlaştırıcı (CPC)	46
3.4.2 . Maksimum Yansıtıcı Asimetrik Bileşik Parabolik Yoğunlaştırıcı.....	48
3.4.3 . Düşük Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal (LCPV/T) Sistemlerde Soğutucu Akışkan Olarak Su Ve Nanoakışkanların Kullanımı	49
3.4.4 . CPV/T Kolektörlerin Uygulamaları İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	55
3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMLERİ.....	56
BÖLÜM 4	59
TEZ ÇALIŞMASININ ENERJİ, EKSERJİ, BELİRSİZLİK VE ÇEVRESEL MALİYET ANALİZİ	59
4.1. ENERJİ ANALİZİ	59
4.2. EKSERJİ ANALİZİ	61
4.3. ÇEVRESEL MALİYET (ENVİROEKONOMİK) ANALİZİ.....	63
4.4. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	64
BÖLÜM 5	66
MATERYAL VE METOD	66

5.1. DÜŞÜK YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEM İLE MAHAL ISITMA UYGULAMASI (KIŞ UYGULAMASI)	66
5.1.1. Tasarım Ve Çalışma Prensibi	66
5.1.2. Sistem Kurulumu Ve Deneyin Yapılışı	69
5.2. DÜŞÜK YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEM İLE MAHAL SOĞUTMA UYGULAMASI (YAZ UYGULAMASI)	76
5.2.1. Tasarım Ve Çalışma Prensibi	76
5.2.2. Sistem Kurulumu Ve Deneyin Yapılışı	79
BÖLÜM 6	84
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	84
6.1. KIŞ UYGULAMASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ ..	85
6.2. YAZ UYGULAMASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.	99
BÖLÜM 7	114
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	114
7.1. SONUÇLAR	114
7.2. ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	119
EK AÇIKLAMALAR A	131
DENEYLERDE KULLANILAN EKİPMANLARIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ ..	131
ÖZGEÇMİŞ	134

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Enerji kaynakları [2].	1
Şekil 1.2. 2011 ve 2021 yıllarında Dünya’da güç üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı [4].	2
Şekil 1.3. Teknoloji ve toplama göre yenilenebilir güç kapasitesinin yıllık ilaveleri, 2016-2021, ve 2030-2050 Net Sıfır senaryoları [4].	3
Şekil 1.4. Net yıllık ilavelerin güç üretim kapasitesindeki payları, 2011-2021 [4]. ..	4
Şekil 1.5. 2022 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla Türkiye’nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [7].	5
Şekil 1.6. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası [8].	6
Şekil 1.7. Konut sektöründe enerji tüketiminin kullanıma göre dağılımı [10].	8
Şekil 1.8. Konut enerji tüketim analizi [26].	9
Şekil 2.1. Fan-coil ünitesi: (a) dış hava-iç hava karışımlı, (b) iç hava çevrimli [28].	15
Şekil 2.2. İki borulu fan-coil ünitesi [30].	17
Şekil 2.3. Dört borulu fan-coil ünitesi [30].	18
Şekil 3.1. Güneş-dünya ilişkisi [33].	21
Şekil 3.2. Dünya dışı güneş ışınımının yoğunluğundaki yıllık değişim [32].	22
Şekil 3.3. a) Dünya dışı güneş ışınım spektrumu [32], b) 1366.1 W/m^2 güneş sabitini veren standart eğri ve elektromanyetik ışınım spektrumundaki konumu [33].	23
Şekil 3.4. Güneş ışınım yoğunluğunun spektral dağılımı: a $5727 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de siyah cisim ışınımı, b dünya dışı ışınım, c $5357 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de siyah cisim ışınımı ve d karasal ışınım [32].	24
Şekil 3.5. Gelen güneş ışınımı üzerine atmosferin etkisi [32].	25
Şekil 3.6. Güneş ışınımının geliş açısına ve optik hava kütesine bağlı olarak güneş ışınım enerjisinin spektral dağılımının gösterimi [32].	26
Şekil 3.7. Dünya üzerindeki güneş ışınımın yansımaları ve absorpsiyonu [32].	27
Şekil 3.8. n ve p tipi yarı iletkenlerin şematik diyagramları. a) n-tipi, fazla elektronlu. b) fazla pozitif boşluklara sahip p-tipi [33].	29
Şekil 3.9. p-n bağlantısının şematik diyagramı [33].	29
Şekil 3.10. n- ve p-tipi yarıiletkenlerin enerji bant diyagramları. a) n-tipi yarı iletken. b) p-tipi yarı iletken.	30
Şekil 3.11. Fotovoltaik etki [33,37].	31

Şekil 3.12. Güneş hücrelerinin eşdeğer devresi [38].	33
Şekil 3.13. PV hücreler için temsili akım-voltaj eğrisi [33].	34
Şekil 3.14. PV hücreler için temsili güç-voltaj eğrisi [33].	34
Şekil 3.15. PV hücre karakteristikleri üzerine ışınım ve sıcaklığın etkisi a) Artan ışınımın etkisi b) Artan hücre sıcaklığının etkisi [33].	36
Şekil 3.16. İki özdeş güneş hücresinin paralel ve seri bağlantısı. a) paralel bağlama b) seri bağlama [33].	36
Şekil 3.17. Fotovoltaik modül verimini etkileyen faktörler [39].	37
Şekil 3.18. Güneş enerjisi ile üretim sistemlerinin sınıflandırılması [41].	38
Şekil 3.19. PV/T kolektörün farklı parçaları [46].	38
Şekil 3.20. Karasal güneş spektrumu ve PV/T sistemde enerji dönüşümü [49,50].	39
Şekil 3.21. PV soğutma tekniklerinin şematik sınıflandırılması 1) Isı borulu, 2) Doğal hava akışı (serbest hava) ve soğutucu, 3) Faz değiştiren malzemeli (FDM), 4) Sıvı/su daldırma, 5) Pasif sıvı soğutma, 6) Buharlaşmalı, 7) Spektral ayırma filtresi veya su filmi ile kaplama, 8) Cebri hava akışı, 9) Sıvı/su filmi veya sıvı/su akışı (aktif), 10) Jet çarpması, 11) Su püskürtme, 12) Mikrokanal, 13) Termoelektrik, 14) Jeotermal ve su spreyi veya cebri hava akışı, 15) Spektral ayırma filtresi ve su kanalı, 16) Nanoakışkan ve Nano-FDM [51].	40
Şekil 3.22. PV/T sistemlerin sınıflandırılması [50].	41
Şekil 3.23. PV/T performansını etkileyen faktörler [17].	42
Şekil 3.24. CPV/T sistem örneği [47].	45
Şekil 3.25. Simetrik, kesilmemiş tek taraflı absorblayıcı CPC'nin enine kesit görünümü [35].	46
Şekil 3.26. CPC yoğunlaştırıcı oranı (1.5, 2, 2.5 ve 3) ile CPC-PV/T sisteminin şematik diyagramı [78].	47
Şekil 3.27. Maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcı temel tasarımı [83].	48
Şekil 3.28. Asimetrik bileşik parabolik maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcının yandan kesit görüntüsü [83–85].	49
Şekil 5.1. Tasarlanan düşük yoğunlaştırıcılı fotovoltaik/termal sistem ile mahal ısıtma uygulamasının şematik gösterimi.	67
Şekil 5.2. Sistemin çalışma prensibi şeması.	68
Şekil 5.3. Kolektörlerin paralel bağlantısı ve kolektörlerin akıllı tam sinüs solar invertöre bağlantı şeması.	70
Şekil 5.4. Akülerin seri bağlantıları ve akülerin akıllı tam sinüs solar invertöre bağlantı şeması.	71
Şekil 5.5. Sistemin kurulum görseli (a) Sistemin dış ortamdaki kısmı, (b) sistemin oda içindeki kısmı.	72

Şekil 5.6. Tasarlanan düşük yoğunlaştırıcılı fotovoltaik/termal sistem ile mahal soğutma uygulamasının şematik gösterimi.	77
Şekil 5.7. Yaz uygulaması çalışma prensibi şeması.	78
Şekil 5.8. Sistemin kurulum görseli (a) Sistemin dış ortamdaki kısmı, (b) ve (c) sistemin oda içindeki kısmı.	81
Şekil 6. 1. a) Karabük güneşlenme süreleri (saat), b) Karabük global ışıınım değerleri (kWh/m ² -gün) [135].	84
Şekil 6.2. Işıınım ve yoğunlaştırılmış ışıınımın zamana bağılı değişimi.	86
Şekil 6.3. Fan-coil hava çıkış ve set sıcaklığının zamana bağılı değişimi.	87
Şekil 6.4. PG/su karışımı ile yapılan deney günlerinde değişken debilere bağılı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.	88
Şekil 6.5. Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanı ile yapılan deney günlerinde değişken debilere bağılı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.	88
Şekil 6.6. Termal enerji kazanımlarının zamana bağılı değişimleri.	90
Şekil 6.7. Elektriksel enerji kazanımlarının zamana bağılı değişimleri.	90
Şekil 6.8. Toplam elektriksel enerji veriminin zamana bağılı değişimi.	91
Şekil 6.9. Toplam termal enerji kazanımlarının zamana bağılı değişimleri.	92
Şekil 6.10. Toplam termal enerji veriminin zamana bağılı değişimi.	93
Şekil 6.11. Yoğunlaştırılmış ışıınıma bağılı olarak sistemden elde edilen elektriksel-termal kazanım ve verim grafikleri.	93
Şekil 6.12. Güneş ışıınım ekserjisinin zamana bağılı değişimi.	94
Şekil 6.13. Elektriksel ekserji çıkışının zamana bağılı değişimi.	95
Şekil 6.14. Termal ekserji çıkışının zamana bağılı değişimi.	96
Şekil 6.15. Toplam ekserji çıkışının zamana bağılı değişimi.	97
Şekil 6.16. Ekserji veriminin zamana bağılı değişimi.	97
Şekil 6.17. Sistemin CO ₂ azaltımının zamana bağılı değişimi.	98
Şekil 6.18. Sistemin çevresel maliyet değerinin zamana bağılı değişimi.	99
Şekil 6.19. Işıınım ve yoğunlaştırılmış ışıınımın zamana bağılı değişimi.	100
Şekil 6.20. Fan-coil hava çıkış ve set sıcaklığının zamana bağılı değişimi.	101
Şekil 6.21. Değişken fan-coil kuyu suyu debilerine bağılı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.	102
Şekil 6.22. Farklı debilerde kuyu sıcaklıklarının ve CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklıklarının zamana bağılı değişimleri.	103
Şekil 6.23. Termal enerji kazanımlarının zamana bağılı değişimleri.	104
Şekil 6.24. Elektriksel enerji kazanımlarının zamana bağılı değişimleri.	105
Şekil 6.25. Toplam elektriksel enerji veriminin zamana bağılı değişimi.	105

Sayfa

Şekil 6.26. Toplam termal enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.....	106
Şekil 6.27. Toplam termal enerji veriminin zamana bağlı değişimi.	107
Şekil 6.28. Yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak sistemden elde edilen elektriksel- termal kazanım ve verim grafikleri.	108
Şekil 6.29. Güneş ışınım ekserjisinin zamana bağlı değişimi.	109
Şekil 6.30. Elektriksel ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.	110
Şekil 6.31. Termal ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.	110
Şekil 6.32. Toplam ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.	111
Şekil 6.33. Ekserji veriminin zamana bağlı değişimi.	111
Şekil 6.34. Sistemin CO ₂ azaltımının zamana bağlı değişimi.	112
Şekil 6.35. Sistemin çevresel maliyet değerinin zamana bağlı değişimi.....	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Literatürdeki farklı PV/T sistemleriyle ilgili çalışmalar.....	42
Çizelge 4.1. Sistemin kış uygulamasında kullanılan cihazların belirsizlik değerleri.	65
Çizelge 4.2. Sistemin yaz uygulamasında kullanılan cihazların belirsizlik değerleri.	65
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan ısı transfer akışkanlarının termofiziksel özellikleri.....	73
Çizelge 5.2. Sistemin yaz-kış uygulamasında kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri.....	75
Çizelge Ek. A.1. Deneylerde kullanılan sistem ekipmanlarının teknik özellikleri. .	132

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: fan-coil çıkış kanalının kesit alanı (m ²)
a	: hassasiyet
$A_{kolektör}$: kolektörlerin toplam alanı (m ²)
Al_2O_3	: alüminyum oksit
CdS	: kadmiyum sülfür
CH_4	: metan
CO_2	: karbon dioksit
Cu_2S	: bakır sülfür
$C_{güç}$: ısı güç santrali dönüşüm faktörü
c_{ph}	: havanın özgül ısısı (J/kg °C)
\dot{E}_{net}	: yararlı elektriksel enerji (W)
$\dot{E}_{çıkan}$: çıkan ekserji (W)
$\dot{E}_{elektriksel}$: elektriksel ekserji (W)
\dot{E}_{giren}	: giren ekserji (W)
\dot{E}_{termal}	: termal ekserji (W)
$GaAs$: galyum arsenit
$H_2O_{(g)}$: su buharı
I_{sc}	: kısa devre akımı (A)
\dot{m}_h	: havanın kütleli debisi (kg/s)
NO_x	: azot oksit türevleri
N	: gözlemlerin sayısı
O_3	: ozon
\dot{Q}_u	: yararlı termal enerji (W)
$\dot{Q}_{harcanan}$: toplam tüketilen enerji (W)
$\dot{Q}_{u,toplam}$: toplam yararlı termal enerji (W)

Si	: silisyum
t	: zaman (sa)
T_{ζ}	: fan-coil hava çıkış sıcaklığı (°C)
T_g	: fan-coil hava giriş sıcaklığı (°C)
$T_{\zeta\text{evre}}$: çevre sıcaklığı (°C)
$T_{g\text{üneş}}$: güneş yüzey sıcaklığı (K)
U	: belirsizlik
v_h	: fan-coil hava çıkış hızı (m/s)
V_{oc}	: açık devre voltajı (V)
$W_{fan\ coil}$: fan-coil tarafından tüketilen enerji (W)
W_{pompa}	: pompa tarafından tüketilen enerji (W)
W_{lamba}	: lamba tarafından tüketilen enerji (W)
X_i	: yapılan gözlemler
X_m	: deneysel ölçümün aritmetik ortalaması
YI	: yoğunlaştırılmış ışınım (W/m ²)
YO	: yoğunlaştırıcı oranı
Z_{CO_2}	: uluslararası karbon fiyatı (\$/tCO ₂)
Z_{CO_2}	: çevresel maliyet değeri (\$/sa)

YUNANCA SİMGELER

$\eta_{toplam(termal)}$: toplam termal enerji verimi (%)
$\eta_{toplam(elektriksel)}$: toplam elektriksel enerji verimi (%)
$\eta_{ekserji}$: ekserji verimi (%)
θ_a	: kolektörün kabul açısı (°)
ρ_h	: havanın yoğunluğu (kg/m ³)
φ_{CO_2}	: CO ₂ emisyon azaltımı (kg CO ₂ /sa)
Ψ_{CO_2}	: elektrik üretilirken kömürden açığa çıkan ortalama CO ₂ miktarı (kg CO ₂ /kWh)

KISALTMALAR

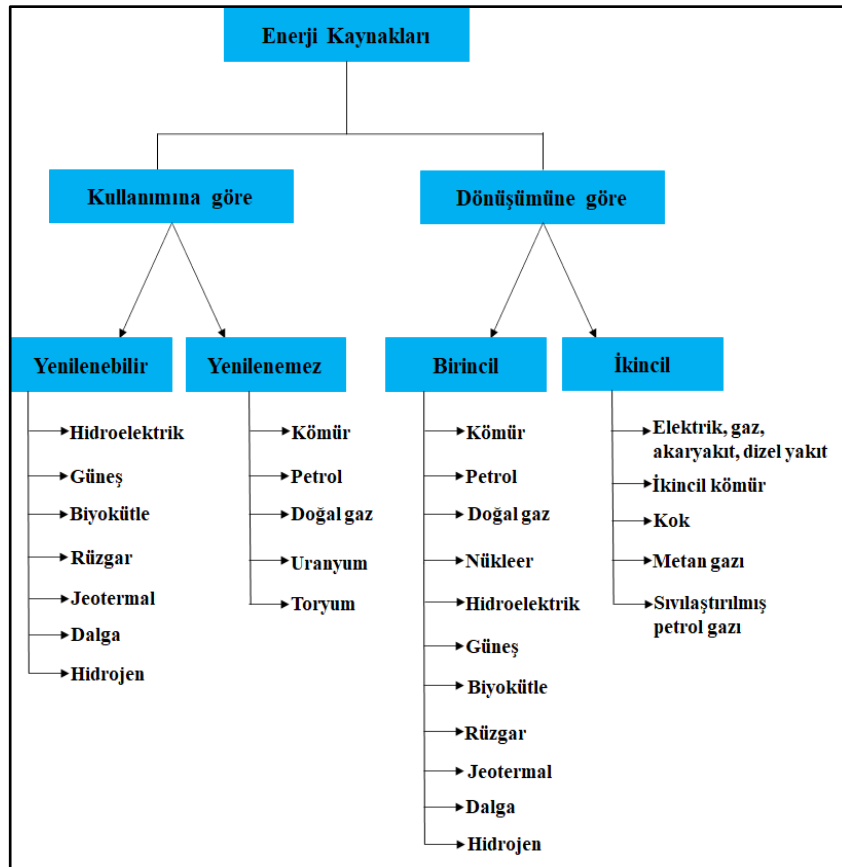
A	: Amper
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
BIPV	: Building Integrated Photovoltaic (Bina Entegreli Fotovoltaik)
CPC	: Compound parabolic collector (Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı)
CPV	: Concentrated Photovoltaic (Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik)
CPV/T	: Concentrated Photovoltaic/Thermal (Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EES	: Engineering Equation Solver (Mühendislik Denklem Çözücü)
EJ	: Exajoule
eV	: Elektronvolt
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt saat
HK	: Hava Kütleli
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
LCPV	: Low Concentrated Photovoltaic (Düşük Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik)
LCPV/T	: Low Concentrated Photovoltaic/Thermal (Düşük Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal)
MW	: Megawatt
mA	: Miliamper
mV	: Milivolt
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
PG	: Propilen glikol
PPRC	: Polypropylene Random Copolymer (Polipropilen Düzensiz Kopolimer)
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
PV/T	: Photovoltaic/Thermal (Fotovoltaik/Termal)
TWh	: Terawatt saat
V	: Volt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. DÜNYADA ENERJİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİYE GENEL BAKIŞ

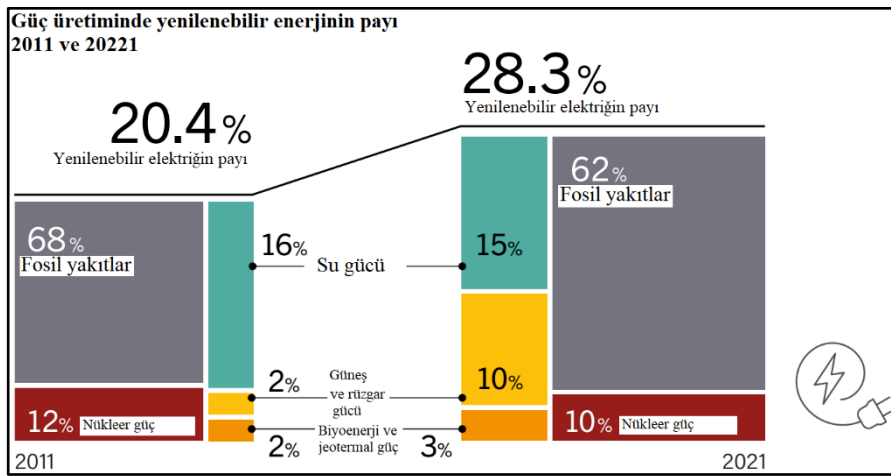
Enerji kısaca iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Çeşitli işlemlerle dönüştürülebilir ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Petrol, doğalgaz, kömür, odun, güneş vb. birincil enerji kaynakları, başka bir enerji türüne dönüştürülmeden doğrudan kullanılabilir. Birincil enerji kaynaklarından dönüşüm yoluyla elde edilen elektrik, yakıt vb. ikincil enerji kaynakları, bu işlemlerdeki kayıplara bağlı olarak daha pahalı enerji türleri olmaktadır [1]. Enerji kaynakları Şekil 1.1'deki gibi sınıflandırılabilir [2].



Şekil 1.1. Enerji kaynakları [2].

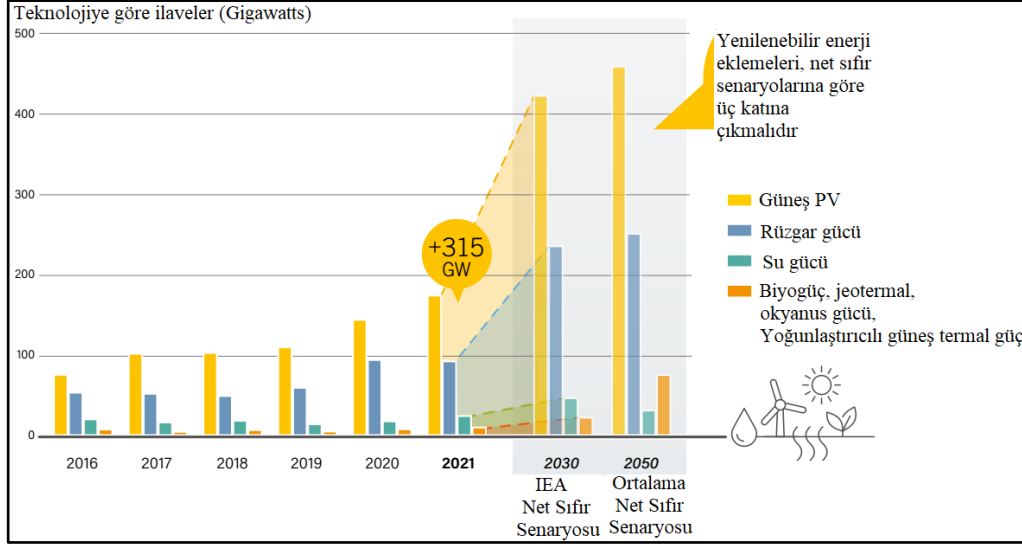
Nüfus artışı, teknolojik gelişme ve sanayileşme ile insanların yaşam standartlarının yükselmesi gibi birçok nedenden dolayı ülkelerin enerji talebi ve kurulu gücü her geçen gün artmaktadır. Günümüzde enerji sorunu artık ülkelerin bireysel problemi olmaktan çıkmış küresel bir problem haline gelmiştir. Bugün dünyada kullanılan enerjinin %80'den fazlası fosil bazlı yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanmakta olup, bunların başlıcaları petrol (%32), kömür (%27) ve doğalgazdır (%22) [1]. Artan enerji talebi ve gelişen teknolojiler gibi çeşitli nedenlerle, petrol ve doğal gaz son on yılda giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Fosil yakıt tüketimindeki bu nispeten hızlı artış, küresel ısınma olarak da bilinen iklim değişikliği olgusunu ortaya çıkarmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline (IPCC) göre, insan aktiviteleri, yaklaşık 1.0 °C küresel ısınmaya neden oluyor ve mevcut oranda artmaya devam ederse, küresel ısınmanın 2030-2052 yılları arasında 1.5 °C'ye ulaşmasının muhtemel olduğu belirtilmektedir [1]. Küresel ısınmanın 1,5°C artması ile, iklim değişikliği, geçim kaynakları, gıda sorunu, su temini, insan sağlığı ve ekonomik risklerin ortaya çıkacağı öngörülmektedir [3]. Sonuç olarak, insanoğlunun düşük CO₂ yayan, tercihen yenilenebilir, uzun vadede sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir.

Şekil 1.2, Dünya'da güç üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının paylarını göstermektedir. 2021 yılı itibariyle yenilenebilir enerjinin Dünya'nın toplam güç üretimindeki payı yaklaşık %8 artmıştır [4].



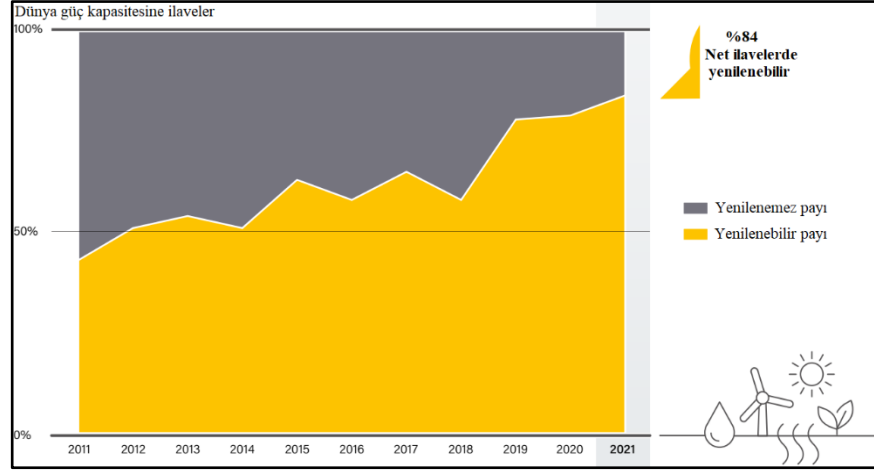
Şekil 1.2. 2011 ve 2021 yıllarında Dünya'da güç üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı [4].

Dünya’da yenilenebilir enerji kapasite ilaveleri, güneş fotovoltaik (PV) ve rüzgâr enerjisindeki önemli genişleme sayesinde 2021’de %17 artarak 315 GW’a ve toplam kurulu yenilenebilir enerji kapasitesi %11 artarak yaklaşık 3.146 GW’a ulaşmıştır (Şekil 1.3) [4].



Şekil 1.3. Teknoloji ve toplama göre yenilenebilir güç kapasitesinin yıllık ilaveleri, 2016-2021, ve 2030-2050 Net Sıfır senaryoları [4].

Bununla birlikte, bu eğilimler, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonla ulaşma yolunda gereken miktardan oldukça uzaktır. 2050 yılına kadar Dünya’nın, Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) “Net Sıfır” senaryosu tarafından belirlenen ortalama hedefe ulaşması için, her yıl 825 GW yenilenebilir enerji ilavesinin yapılması gerekmektedir. 2021’de Dünya’da yeni kurulan enerji kapasitenin çoğunluğu yenilenebilirdir ve bu trend 2012’den beri devam etmektedir. Dünya enerji piyasalarında net güç ilavelerinde yenilenebilirlerin payı artmaya devam ederek %84’e ulaşmıştır (Şekil 1.4).

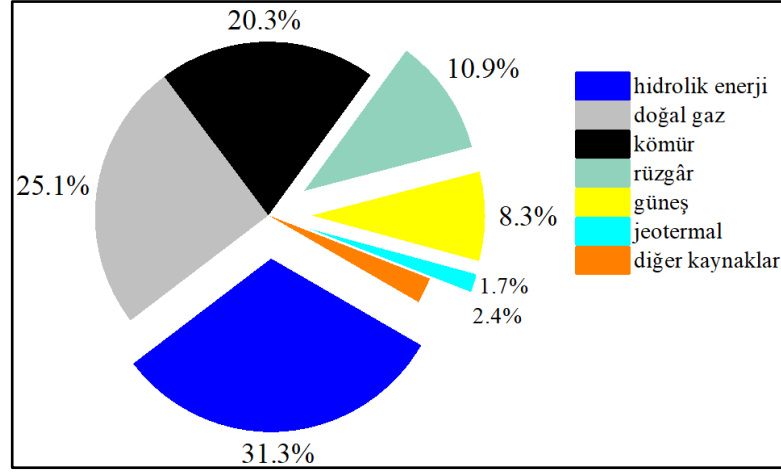


Şekil 1.4. Net yıllık ilavelerin güç üretim kapasitesindeki payları, 2011-2021 [4].

2021'de güneş enerjisinde %26 ve rüzgâr enerjisinde %7 oranında önemli bir büyüme gerçekleşmiştir. Yenilenebilir ilavelerin yarısından fazlasını 175 GW ilave ile güneş fotovoltaikler oluşturmaktadır. Bu büyüme, COVID-19 pandemisinin devam eden etkileri ve ürün fiyatlarındaki artışlarla ilgili PV tedarik zincirindeki belirsizlik ve aksaklıklara rağmen gerçekleşmiştir. 2050 yılına kadar, yenilenebilir enerjinin kümülatif büyümesinin toplam birincil enerji tüketimine %45'lik katkı sağlaması beklenmektedir.[4,5].

1.2. TÜRKİYEDE ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNE GENEL BAKIŞ

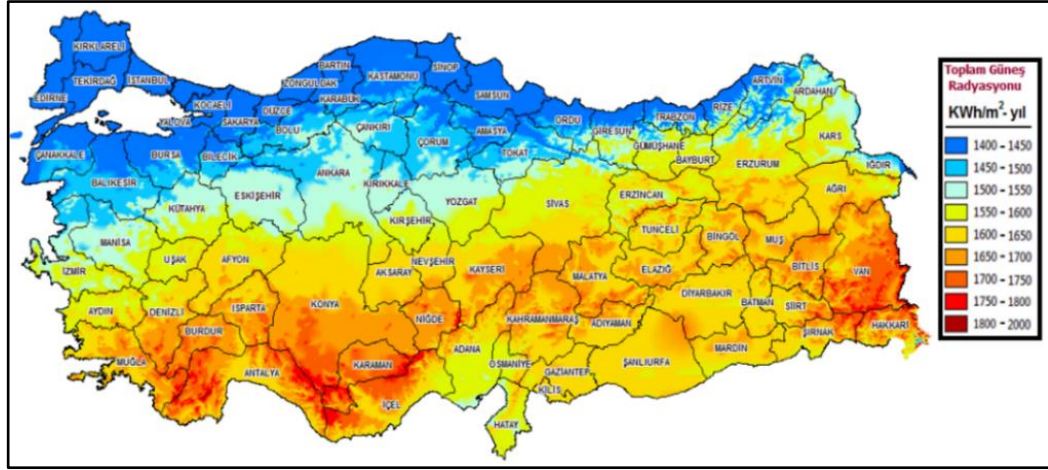
783 562 km² yüzölçümüne sahip Türkiye, Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer alması nedeniyle bölge üzerinde stratejik bir öneme ve büyük bir etkiye sahiptir. Türkiye'nin enerji talebi, özellikle 1980'lerden itibaren artan yaşam standartları, nüfus (yaklaşık 83 milyon) ve büyüyen ekonomi ile artmaktadır. Türkiye'nin enerji profilinde öne çıkan iki ana faktör vardır bunlardan ilki yüksek fosil yakıt bağımlılığı ikincisi ise yüksek enerji ithalatı bağımlılığıdır. Petrol ve doğal gazın çoğu, yetersiz iç rezervler nedeniyle ithal edilmektedir. Enerji ithalatına bağımlı bir ülke olan Türkiye, dünya fosil rezervlerinin %75'ine sahip ülkelere komşudur. Dünya enerji talebinde %1'lik paya sahip olan Türkiye, OECD (Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü) ülkeleri arasında en yüksek ortalama enerji talebi büyümesi göstermiştir. Türkiye'nin enerji ihtiyacı büyük oranda fosil yakıt kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır [6].



Şekil 1.5. 2022 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [7].

2022 yılında Türkiye'nin kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 1.5'te gösterilmektedir ve yenilenebilir enerjinin kurulu güç içinde en büyük paya (%54.6) sahip olduğu ve bunu doğal gazın (%25.1) takip ettiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kurulu gücü içinde hidroelektrik ana enerji kaynağıdır. 2022'mayıs ayında doğal gaz (%25.1), kömür (%20.3), hidrolik enerji (%31.3), rüzgâr (%10.9), jeotermal (%1.7), güneş enerjisi (%8.3) ve diğer kaynaklar (%1.7) kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir [7].

Türkiye'nin enerji politikası; fosil yakıt bağımlılığı, iklim değişikliği ile ilgili olarak Paris antlaşmasına dayalı sera gazı emisyonunu %21 oranında azaltma taahhüdü, petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki oynaklığın ülke ekonomisine etkisi, fosil yakıtların tükenme problemleri nedenlerinden dolayı ithal edilen fosil yakıt miktarını azaltmak ve yenilenebilir enerjiye geçişi desteklemek üzerine kurulmuştur. Yenilenebilir enerji alanında fosil yakıtların miktarını azaltmada önemli rol oynayacak adaylardan birisi güneş enerjisidir. Türkiye güneş enerjisi açısından oldukça verimli bir bölgede yer almaktadır. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlas'ına göre (Şekil 1.6) Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2741 saat (günlük ortalama 7.5 saat) ve yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m² yıldır (günlük ortalama 4.18 kWh/m² gündür).



Şekil 1.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası [8].

2022 Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) verilerine göre Türkiye'nin elektrik üretim potansiyelinde güneş enerjisi kurulu gücü 8.084,9 MW'dır ve güneş enerjisi kurulu santrallerinin sayısı 8.566'dır. Güneş enerjisi kurulu güç kapasitesinin 2027 yılına kadar 16.000 MW'a ve 2030 yılına kadar 38.000 MW'a çıkması beklenmektedir [6,9]. Türkiye, 2023 yılında 61.000 MW kurulu güce sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam elektrik tüketiminin %30'unu karşılamayı hedeflemektedir. Dünyanın en büyük güneş enerjisi santrallerinden biri Türkiye'de Konya-Karapınar'da 1.000 MW kapasiteli ve en az %60 yerli güneş panelleri kullanılarak kurulmuştur [6,10]. Bu veriler ışığında Türkiye'nin enerji politikasının fosil yakıtlardan enerji elde etme politikası yerine enerji geçiş politikası üzerine olduğu ve bu yönde yatırımların gerçekleştirildiği gözlenmektedir. [6].

1.3. YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK /TERMAL KOLEKTÖR (CPV/T)

Güneş enerjisi, ulaşılabilirliği, çevre dostu olması ve kirlilik oluşturmaması nedeniyle gelecekteki enerji problemlerinin giderilmesi için, yaygın olarak kullanılabilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [11]. Bu temiz enerji, hem fotovoltaik (PV) hem de termal güneş teknolojileri kullanılarak faydalı enerjiye dönüştürülebilir [12]. PV modüller, güneş fotovoltaik hücreleri adı verilen yarı iletkenleri kullanarak emilen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür [13]. PV modüller genellikle güneş ışınımını %10-20 verimle elektriğe dönüştürürken, kalan ışınım modüllerin elektriksel enerji verimini düşüren istenmeyen ısıya dönüşür [14,15]. Güneş

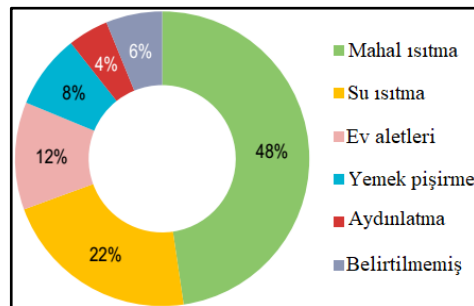
enerjisinin yaklaşık %50'si veya daha fazlası elektrik yerine ısıya dönüşür. Bu ısı, iki olumsuz sonuç ortaya çıkarır; birincisi, hücre verimini 25 °C'nin üzerindeki her °C için yaklaşık %0.4 oranında azaltır (kristal-Si hücreler için) ve ikincisi, ısıl gerilim uzun süreli olduğunda modülde kalıcı yapısal kayıplar meydana getirebilir [16]. Rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, bağıl nem, çiy, toz ve güneş ışınımı gibi çevresel faktörler PV modül sıcaklığını etkileyen en genel doğal parametrelerdir [17–19]. PV modüllerden elde edilen verimlerin ve ticari kullanımlarının artırılması amacıyla birçok araştırmacı çalışmalar yapmaktadır. PV modüllerin verim ve ticari kullanımlarını artırma çalışmalarının başında PV modül alanının her bir bölgesinden daha fazla faydalanmak ve kullanılan PV modül sayısını azaltmak için düşük maliyetli, çeşitli yoğunlaştırıcı oranlarına sahip güneş ışınım yoğunlaştırıcı optik malzemelerin kullanımı gelmektedir. Optik malzemeler kullanarak güneş ışınımını daha küçük bir alana odaklandırılabilen ve ışınımdan daha fazla yararlanmaya olanak tanıyan teknoloji yoğunlaştırıcı fotovoltaiik (CPV) teknoloji olarak bilinmektedir. CPV'lerde sıcaklık, modül ömrünü ve elektrik performansını PV modüllerde olduğu gibi olumsuz yönde etkiler [20,21]. Bu olumsuz etki PV ve CPV modüllerinin kayıp ısını emen ve uygulanabilir bir ekstra enerji olarak kullanan veya depolayan ikili üretim (elektrik ve ısı) tekniği ile ortadan kaldırılabilir. Bu teknik, modüllerin arkasına yerleştirilen ısı eşanjörleri ile donatılmış fotovoltaiik/termal (PV/T) ve yoğunlaştırıcı fotovoltaiik/termal (CPV/T) kolektörleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan teknik ile modüllerin elektriksel enerji verimi artırılmakta ve modül ömrü uzatılmaktadır [16]. CPV/T kolektörlerin PV modüllerinde oluşan ısı ve güneş spektrumunda kullanılmayan ışınımdan oluşan ısı hava, su, nanoakışkan vb. akışkanlar ile uzaklaştırılarak kullanım amacına göre değerlendirilmektedir [22]. CPV/T kolektörlerde yoğunlaştırıcı, fotovoltaiik/termal (PV/T) modül üzerindeki güneş ışınımını ve dolayısıyla kolektörün elektriksel ve termal çıktısını belirleyen kritik bir bileşendir. Yoğunlaştırıcı oranı (YO) aralığına göre, CPV/T kolektörler yüksek ($YO \geq 100$), orta ($10 < YO < 100$) ve düşük ($1 < YO \leq 10$) CPV/T kolektörler olarak sınıflandırılabilir [23]. CPV/T sistemler enerji akışının dönüşüm sırası ve dağıtım metoduna dayalı olarak üç tipte sınıflandırılabilir: atık ısı geri kazanımlı CPV/T, spektral ışın dağılımlı CPV/T ve enerji dağıtım bağlantısına göre CPV/T sistemlerdir. Atık ısı geri kazanım CPV/T sistemlerde yoğunlaştırıcının oranına göre üçe ayrılır, düşük orta ve yüksek olmak üzere. Atık ısı geri kazanım sistemlerinden

elde edilen ısı mahal ısıtma, evsel su kullanımı, güneş soğutma, damıtma, kurutma vb. birçok uygulamada kullanılmaktadır [24].

CPV/T kolektörlerin tez çalışmasında kullanılmasının amaçları arasında PV modül ve PV/T kolektörlere göre maliyet, kapladığı yer ve uygulama alanlarındaki verimlerinin üstünlükleri verilebilir. Çalışmada kullanılan kolektörün yoğunlaştırıcı oranı 1.4 olduğu için düşük yoğunlaştırıcı CPV/T sistemler üzerinde durulmuştur. Ayrıca kolektörlerden ısının uzaklaştırılmasında kullanılan akışkanlardan sıvı akışkanlar ile ilgili çalışmalar örneklendirilmiştir. CPV/T kolektörlerden uzaklaştırılan ısının kullanım amacıyla ilgili olarak tez çalışmasının içeriğine bağlı olarak literatürdeki uygulama çalışmaları incelenmiştir.

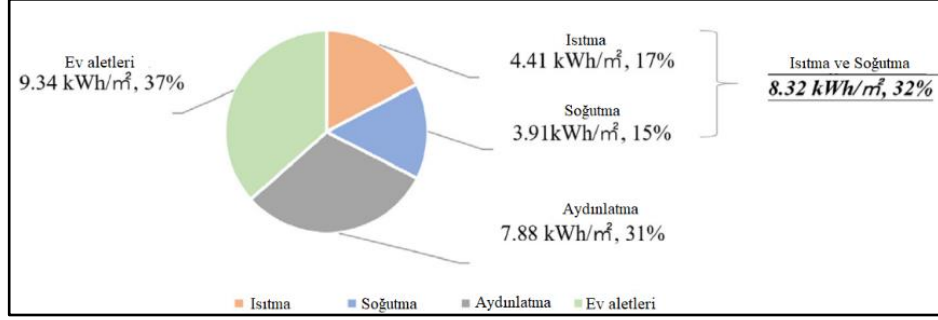
1.4. TEZİN AMAÇ VE HEDEFLERİ

Enerji, yaşamın sürdürülebilirliği için vazgeçilmez bir kaynaktır. Sanayi devrimi ile hızla gelişen teknoloji, artan dünya nüfusu ve küreselleşme ile enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Günümüzde konutlarda, sanayide, ulaşımda ve diğer alanlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların tükenme ve çevreye olan olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynakları önem arz etmektedir. Özellikle güneş ışınımını oldukça üst seviyede alan ülkemiz için güneş enerjisi enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır [25]. Uluslararası enerji ajansının 2021 raporuna göre Türkiye’de 2018 yılında konutlarda tüketilen toplam enerji tüketiminin %70’ini su ısıtma ve mahal ısıtma uygulamaları oluşturmaktadır (Şekil 1.7). Geri kalan %30’luk tüketim kısmını ise ev aletleri, yemek pişirme ve aydınlatma oluşturmaktadır [10].



Şekil 1.7. Konut sektöründe enerji tüketiminin kullanıma göre dağılımı [10].

Cao vd., tarafından Çin'in farklı şehirleri için yapılan bir simülasyon çalışmasında konutların yıllık toplam enerji tüketiminin %32'sini konut ısıtma ve soğutma uygulamalarının oluşturduğu belirtilmiştir (Şekil 1.8) [26].



Şekil 1.8. Konut enerji tüketim analizi [26].

Görüldüğü gibi ülkelerde soğutma-ısıtma, su ısıtma, aydınlatma uygulamalarında tüketilen enerji oldukça önemli bir miktarı kapsamaktadır. Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmak ve fosil yakıtların çevreye olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla ısıtma-soğutma, aydınlatma, su ısıtma vb. uygulamalarda yenilenebilir enerji teknolojilerini tercih etmek gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında da bu alanlardaki enerji tüketimlerinde yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımının ne kadar önemli olduğu dikkate alınarak yaz-kış uygulaması olarak bir odanın iklimlendirilmesi ve aydınlatılması için yoğunlaştırıcı fotovoltaik/termal sistem kurulmuş, test edilmiş ve uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Sistemin kış uygulamasında, CPV/T kolektörlerden farklı ısı transfer akışkanları kullanılarak çekilen ısı, motor sürücü invertör ve proses kontrol cihazı ile kontrol edilen fan coil vasıtasıyla oda havasına aktarılarak odanın kış ayları için uygun konfor sıcaklığında tutulması amaçlanmıştır. Ayrıca kullanılan CPV/T kolektörlerden elde edilen elektrik enerjisi akıllı tam sinüs solar invertör (DC/AC) vasıtasıyla sistem ekipmanlarının çalıştırılmasında kullanılmış ve artan elektriksel enerji akülerde toplanmıştır.

Sistemin yaz uygulamasında, güneş enerjili sulama sisteminden elde edilen düşük sıcaklıktaki kuyu suyu, yine aynı proses kontrol cihazı kullanılarak odanın yaz ayları için uygun konfor sıcaklığında tutulması; ayrıca fan-coil de çok az da olsa ısınan suyun

CPV/T kolektörlerden geçirilerek kolektörlerin elektriksel verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. Yaz uygulamasında kış uygulamasında olduğu gibi sistem ekipmanlarının enerji ihtiyacı kolektörler tarafından karşılanmıştır.

Bu amaçlara yönelik olarak tezin hedefleri aşağıdaki gibi belirtilmiştir;

- Kapsamlı bir literatür araştırması yaparak çalışmanın fizibilitesini oluşturmak ve uygulandığı bölge itibariyle yapılabilirliğini araştırmak.
- Farklı akışkanların kullanıldığı, elektriksel ve termal ölçümlerin yapılabileceği ve kaydedildiği bir deney sistemini tasarlamak ve kurmak.
- Sistem performansını, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre analiz etmek. Sistemin mahal ısıtma-soğutma amacıyla kullanılabilirliğini belirlemek.

1.5. TEZİN YAPISI

Tez çalışması 7 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerji hakkında genel bilgiler verilmiştir. Tezin amacı, hedefleri ve genel yapısından bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de iklimlendirme sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan tam sulu sistemlerden fan-coil sistemine değinilmiş ve bu sistemlerin otomatik kontrolü hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te tezin amaç ve hedefleri ile ilgili literatür özeti verilmiştir. Tez çalışmasının temelini oluşturan güneş ve güneş ışınımı, fotovoltaik hücreler, PV/T kolektörler ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Tez çalışmasının içeriğine bağlı kalınarak CPV/T kolektörler ile ilgili benzer literatür çalışmaları örneklendirilmiştir.

Bölüm 4’te deneylerden elde edilen verileri kullanarak sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılan enerji, ekserji analizlerini içeren eşitlikler verilmiştir. Ayrıca sistemden elde edilen ölçümlerin doğrulanmasında kullanılan belirsizlik analizi ve çevresel maliyet analizinde kullanılan eşitlikler verilmiştir.

Bölüm 5'te materyal ve metod açıklanmıştır. Bu bölümde tez çalışmasında kış ve yaz uygulaması olarak denenen sistemlerin tasarımı ve çalışma prensibi, kurulum ve deneylerin yapılışı hakkında bilgiler yer almaktadır.

Bölüm 6'da sistemin yaz ve kış uygulaması deney verileri kullanılarak elde edilen enerji ve ekserji analiz sonuçlarına göre sistemin yaz ve kış uygulamasındaki performansları açıklanmıştır. Çevresel maliyet analizi değerlendirilerek sistemin sağladığı CO₂ emisyon azaltım miktarı ve bu azalığa bağlı olarak yapılan tasarruf verilmiştir.

Son olarak Bölüm 7'de ise sistemden elde edilen genel sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlara bağlı olarak sistemin çalışıldığı bölge itibariyle uygulanabilirliğinden bahsedilmiştir. Deneysel sonuçlarla elde edilen bilgiler ışığında gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

İklimlendirme bilimi, dış koşullardan bağımsız olarak arzu edilen bir iç atmosferik ortamın sağlanması ve sürdürülmesi olarak tanımlanabilir. Soğutucu akışkanların atmosfere salınmasından kaynaklanan küresel çevresel etkiler ve mekanik soğutma sistemlerinde kullanılan enerjiye yönelik ulusal ve uluslararası sorunlar binalarda klima kullanımına yönelik tutumlarda köklü bir değişim olmasını sağlamıştır. Çevresel konulardaki hassasiyet ve enerjinin önemi dikkate alındığında iklimlendirme araçlarının kontrolünün, işlem ve bakım stratejilerinin belirli standartlarda olması gereklidir. İklimlendirmenin konfor uygulamaları için arzu edilen atmosferik koşul genellikle yaklaşık %40-60 bağıl nem ve yüksek derecede hava saflığında kışın 18-22° ve yazın 21-24° arasında bir sıcaklıktır. Bu durum iklim, enlem ve mevsime göre farklı işlemler gerektirir. Tüm iklimlendirme sistemleri, soğutma veya ısıtma, nem alma veya nemlendirme için bir araç olarak havanın kullanımını içeren sistemlerdir [27].

İklimlendirme sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Kullanılan soğutma/ısıtma akışkanına göre aşağıdaki gibi üç grupta sınıflandırılır
Tam havalı sistemler: Bu sistemlerde ısıtma ve/veya soğutma amacıyla çalışma akışkanı olarak hava kullanılır.
Tam Sulu (hidronik) sistemler: Bu sistemlerde ısıtma ve/veya soğutma amacıyla çalışma akışkanı olarak su kullanılmaktadır.
Havalı-sulu sistemler: Bu sistemlerde hem hava hem de su ısıtma ve soğutma amacıyla çalışma akışkanları olarak kullanılmaktadır.
- Üniter veya merkezi sistemler olarak sınıflandırılır.
Üniter bir sistem, paketlenmiş ekipman kullanır. Yani sistem bileşenlerinin

(Fanlar, serpantinler, soğutma ekipmanı) tümü olmasa da çoğu, üreticiden monte edilmiş bir şekilde sunulur. Merkezi veya yerleşik bir sistem, bileşenlerin ayrı olarak döşendiği ve yüklenici tarafından kurulup monte edildiği sistemdir.

- Tek zonlu veya çok zonlu sistemler olarak sınıflandırılır.

Tek zonlu bir sistem, bir binadaki yalnızca bir bölgeyi çok zonlu bir sistem ise bir dizi farklı bölgeyi iklimlendirebilir [28].

Her bir iklimlendirme sistemi tipinin, farklı konfigürasyonlarda birkaç sisteme sahip olduğunu ve kullanılan herhangi bir sistemin avantaj ve dezavantajlarının olduğunu belirtmek gerekir [29].

Tez çalışmasında odanın ısıtma ve soğutma uygulamasında kullanılan iki borulu iç hava çevrimli fan-coil ünitesi ve bu üniteye akışkan olarak su, nanoakışkan ve mono propilen glikol (PG)/su karışımı gibi sıvılar kullanıldığı için soğutma/ısıtma türüne göre sınıflandırılan sistemlerden sulu sistemlere değinilecektir ve tam havalı ve havalı-sulu sistemler kısaca açıklanacaktır. Ayrıca çalışmada fan-coil ünitesi motor sürücü invertöre bağlı proses kontrol cihazı ile kontrol edildiği için iklimlendirme sistemlerinde kullanılan kontrol metotlarından kısaca bahsedilecektir.

2.1. TAM HAVALI SİSTEMLER

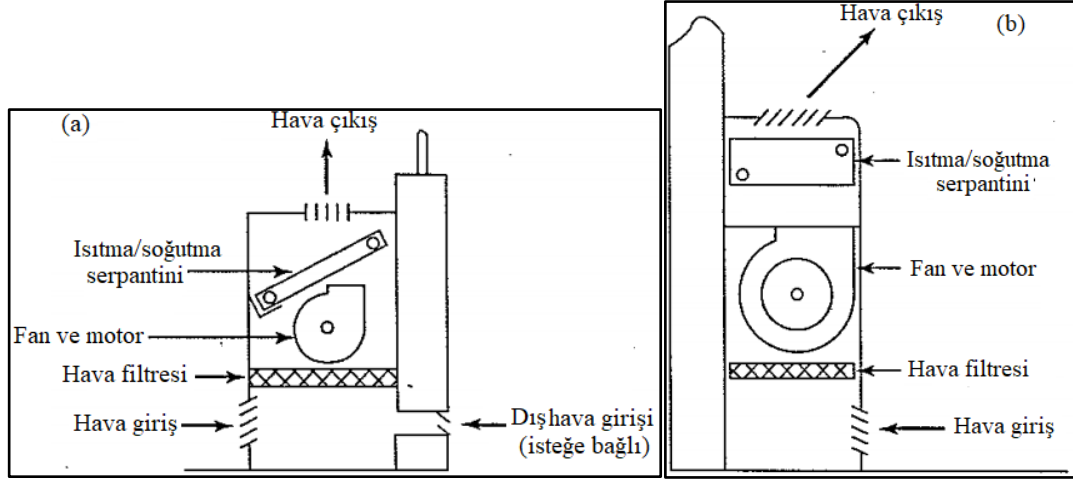
Bu sistemlerde, iklimlendirilmiş bölgelerde soğutma veya ısıtma üretmek için çalışma sıvısı olarak tek başına hava kullanılır. Sistemde kullanılan hava bölgelerin nem seviyesini kontrol etmekten ve iklimlendirilen bölgelere gerekli havalandırmaları sağlamaktan sorumludur. Ayrıca havalı sistemlerde kokulandırmak amacıyla da hava kullanılmaktadır. Bu nedenle, konforun sağlanmasından, yani soğutma, ısıtma, nem ve havalandırma kokusunun kontrolünden yalnızca çalışma sıvısı olarak hava sorumludur ve bu nedenle bu sistemlere havalı sistemleri denir [28,29]. Tam havalı sistemler; sabit-değişken debili, seri-paralel bataryalı, tek kanallı-çok kanallı, tek zonlu-çok zonlu olarak çeşitlendirilebilirler. Tam havalı sistemler, soğutulmuş ve nemi alınmış havayı koşullandırılacak mahale ileterek duyulur ve gizli soğutma ve ısıtılmış havayı koşullandırılacak mahale ileterek ısıtma yaparlar. Havalı sistemlerin nem alma, hava filtreleme ve taze hava temin etme özellikleri vardır [30].

2.2. HAVALI SULU SİSTEMLER

Kombine hava-su sistemleri, hem soğutulmuş ve/veya sıcak su hem de şartlandırılmış havayı merkezi bir sistemden ayrı odalara dağıtır. Her odadaki terminal üniteleri odayı soğutur veya ısıtır. Hava-su sistemleri, tam havalı sistemlerin ve tam sulu sistemlerin en iyi özelliklerini kullanır. Enerjinin çoğu suda taşınır. Genellikle dağıtılan hava miktarları sadece havalandırma için yeterlidir. Ayrıca hava genellikle yüksek hızlarda taşınır. Havalı-sulu sisteminin bir türü, oda terminal üniteleri olarak fan-coil ünitelerini kullanır, diğer bir türü de indüksiyon üniteleri olarak adlandırılan oda terminal ünitelerini kullanır. Fan-coil ünitelerine soğutulmuş veya sıcak su merkezden dağıtılır. Fan-coil üniteli havalı-sulu sistemlerde havalandırma havası bir klima santralinden her odaya ayrı ayrı dağıtılır. İndüksiyon üniteleri, merkezi bir klima santralinden gelen havalandırma havası gibi, merkezi santralden soğutulmuş veya sıcak su alır. Her birime verilen merkezi havaya birincil hava denir. Hava üniteden yüksek hızda akarken, ünite boyunca ve su serpantini boyunca oda havasını (ikincil hava) indükler. Bu nedenle, bu tip bir üniteye fan veya motor gerekli değildir, bu da bakımı büyük ölçüde azaltır. İndüksiyon üniteli hava-su sistemi, yüksek katlı ofis binaları ve benzeri uygulamalarda oldukça popülerdir. İlk maliyetleri nispeten yüksektir [28].

2.3. TAM SULU SİSTEMLER

Tam sulu veya hidronik sistemler, sıcak veya soğutulmuş suyu merkezi tesisten her bir alana dağıtır. Merkezi santralden hava dağıtılmaz. Fan-coil üniteleri hidronik terminal üniteleridir ve oda havasını ısıtır veya soğuturlar. Terminal üniteleri, oda havası ile sirkülasyon suyu arasındaki ısıyı transfer eden ısı eşanjörleridir. Fan-coil ünitesi, bir veya iki serpantin şekilli kanatçıklı boru, motorlu küçük santrifüj fanları ve hava filtresini içeren bir kabinden oluşur (Şekil 2.1) [28].



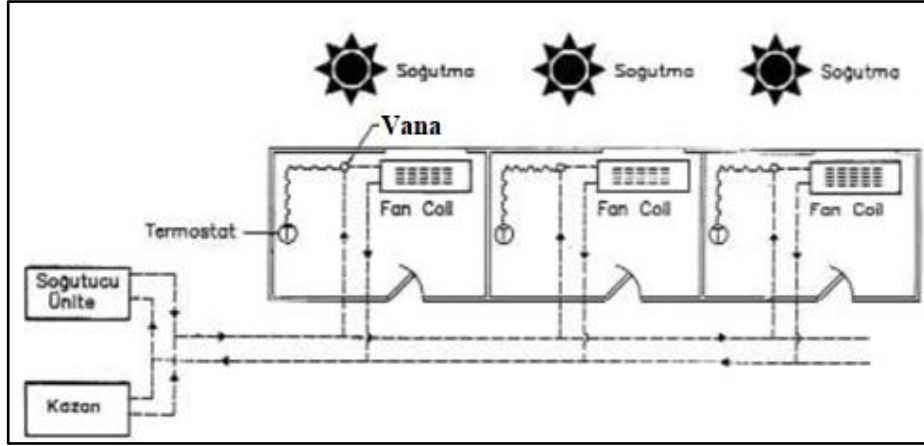
Şekil 2.1. Fan-coil ünitesi: (a) dış hava-iç hava karışıklı, (b) iç hava çevrimli [28].

Fan-coil üniteleri sistem tasarımına bağlı olarak, ısıtma veya soğutma için bir serpantine veya ayırık ısıtma ve soğutma serpantinlerine sahip olabilir. Alternatif olarak, bazı ünitelerde sıcak su ısıtma serpantini yerine elektrikli şerit ısıtıcı bulunur. Kabin tipi ısıtıcılarda olduğu gibi fan-coil üniteleri isteğe göre çeşitli yatay ve dikey düzenlerde monte edilebilir. Fan-coil üniteleri, soğutma modunda çalışırken havanın neminin alınmasından oluşan yoğuşmayı toplamak için serpantin altında bir tahliye bölümü vardır. Bazı fan-coil üniteleri, dış havalandırma havası için doğrudan duvara bağlanmak için kabinin arkasında bir açıklık ve damper içerir. Dışarıya bağlanan fan-coil ünitelerinde değişen rüzgâr etkileri, içeri alınan dış hava miktarını büyük ölçüde etkileyebilir. Rüzgârın çok fazla olması hava enerji israfına; çok az olması kötü hava kalitesine neden olmaktadır. Ek olarak, filtre minimum verime sahiptir. Daha yüksek filtreleme verimi, yalnızca filtrenin maliyetini değil, aynı zamanda daha yüksek verimle, hava akışına karşı direnç arttığından fanların sayısında artışa neden olur. Filtre temel olarak, genellikle oldukça kirli olan dış havayı değil, yalnızca devridaim edilen oda havasını temizlemek için uygundur. Bu nedenlerle, havalandırmanın doğrudan fan-coil ünitesine getirilmesi çoğu zaman gereksiz çalıştırma ve bakım sorunlarına yol açacaktır. Bunun yerine havalandırma havası daha iyi filtreli merkezi klima santrallerinden sağlanabilir. Bir fan-coil ünitesinin kapasite değişimi, fan hızının veya serpantin su akışının oda termostatı kontrolü ile elde edilebilir. Fan-coil ünitelerini kullanan merkezi ısıtma havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, esneklikleri ve genellikle rekabetçi toplam sistem maliyetleri nedeniyle çok popülerdir. Fan-coil ünitesinin ekipman fazlalığı bakım sorununu oluşturur ve

filtrelerinin de sıklıkla tozdan arındırılması gerekliliği bu ünitelerin temel problemleridir. Ticari kullanım için tam sulu sistemler, tam havalı sistemlerden önemli ölçüde daha ucuz olabilir ve çok daha az yer kaplayabilir. Su, havadan çok daha yüksek bir özgül ısıya ve yoğunluğa sahiptir. Bu, aynı miktarda ısı transferi için önemli ölçüde daha az su hacminin sirküle edilmesi gerektiği anlamına gelir. Sonuç olarak, boru tesisatının kesit alanı, aynı iş için kanal tesisatından çok daha küçüktür. Bu nedenle bir hidronik soğutma sistemi, alan son derece sınırlı olduğunda, faydalıdır. Özellikle yüksek katlı binalarda, kanal ve merkezi klima santrallerine ihtiyaç olmaması ve bina alanlarının kullanılmasından tasarruf edilmesinde, hidronik sistemlerin başlangıçtaki maliyetleri tam havalı sistemlerin maliyetinden daha azdır. Öte yandan, tam sulu sistemlerin bazı dezavantajları vardır. Fan-coil ünitelerinin çokluğu, çok sayıda bakım işi ve maliyet anlamına gelir. Ünitelerdeki küçük fanlar ile havalandırmada hava miktarlarının kontrolü tam olarak yapılamaz. Nem kontrolü sınırlıdır. Tam sulu sistemler, çok odalı yüksek katlı uygulamalarda düşük maliyetli merkezi sistemler olarak kullanım için popülerdir [28].

2.3.1. İki Borulu Fan-coil Sistemi

İklimlendirme sisteminde kullanılan fan-coillerde tek serpantin bulunuyorsa kurulu sistem iki borulu sistem olarak adlandırılır. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi bu sistemlerde bir dağıtım (gidiş) ve bir toplama (dönüş) olacak şekilde iki boru mevcuttur. Sistemde bulunan her fan-coile bir adet dağıtım ve bir adet toplama borusu bağlanır. Bu şekilde sistemin tamamında ya sıcak ya da soğuk su dolaştırılarak hem ısıtma hem de soğutma yapılabilir. Böyle bir sistemde soğutma işleminin ısıtma işlemine çevrilebilmesi için özel bir prosedür gereklidir. Ara mevsimlerde iklimlendirme yapılacak alanların bazı bölgelerinde ısıtma istenirken başka bir bölümde soğutma uygulaması istenebilir bu bakımdan konfor şartlarının sağlanmasında ısıtmadan soğutmaya geçiş için özel bir yöntem gerektirmesinden dolayı iki borulu sistemler yetersiz kalmaktadır. Bu tür ara mevsim geçişlerindeki istekleri karşılamak için; ek bir sistem kurulabilir veya dört borulu bir sistem kurulabilir [30].



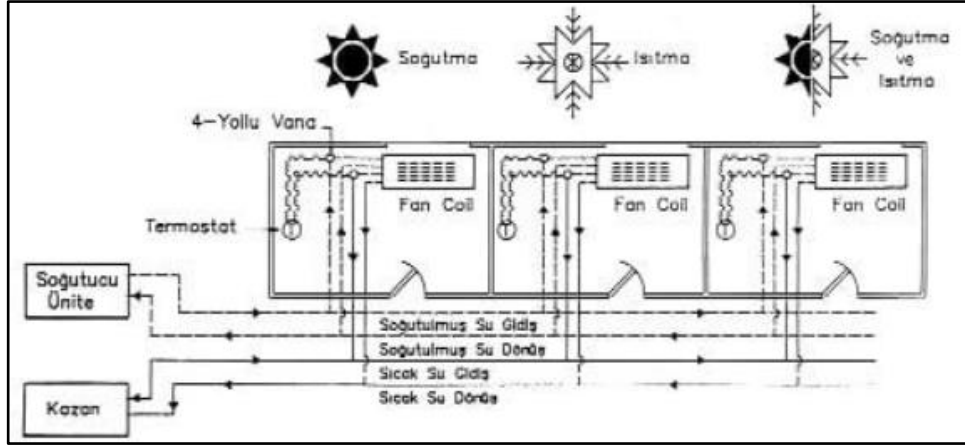
Şekil 2.2. İki borulu fan-coil ünitesi [30].

İki borulu sistemlerin avantajlarını aşağıdaki gibi verebiliriz:

- İki borulu fan-coil sistemi ilk yatırım maliyeti açısından en ucuz sistemlerden biridir.
- Fan-coil, borulama ve izolasyon maliyeti dört borulu sisteme göre daha azdır.
- Bu sistemlerde daha az boru olduğu için özellikle kaset tipi fan-coil cihazlarında borulama daha kolay yapılabilir.

2.3.2. Dört Borulu Fan-coil Sistemi

Bu tip sistemlerde fan-coillerde soğutma ve ısıtma uygulaması için iki serpantin mevcuttur ve sistemde iki dağıtım ve iki toplama yapan dört boru dolaşmaktadır. Sistemi oluşturan her fan-coil ünitesine iki dağıtım ve iki toplama borusu bağlanarak sistem tamamlanır. Sistem şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Kurulu sistemdeki ikili boru çiftlerinin içerisinde sıcak ve soğuk su birbirinden ayrı şekilde dolaştırılır ve bu yöntemle sistemin tamamında aynı anda ısıtma ve soğutma gerçekleştirilebilir. Bu sistem ile iki borulu sistemdeki eksiklik olarak görülen ara mevsim geçişlerindeki uygulama ortadan kaldırılmış olur. Dört borulu fan-coil sistemlerinde ısıtmadan soğutmaya geçişlerde ekstra bir işlem gerektirmemektedir ve bundan dolayı çok zonlu sistemlerde tercih edilirler ve ara mevsimlerde kusursuz bir ısıl konfor sağlarlar [30].



Şekil 2.3. Dört borulu fan-coil ünitesi [30].

Dört borulu sistemlerin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Sistemde kullanılan vanalar vasıtasıyla fan-coil ünitelerinden ya soğuk ya da sıcak geçirilerek ısıtma ve soğutma yapılabilir.
- Farklı odalarda aynı anda hem ısıtma hem de soğutma yapılabilir.
- Özellikle geçiş dönemlerinde mükemmel konfor sağlanır ve yaz-kış geçişi oldukça kolaydır. Sistemdeki değişikliklere oldukça hızlı cevap verir.
- Sistemde kullanılan kontrol vanaları maliyeti yükseltir fakat işletme verimi yüksek olmasından dolayı çalıştırma giderleri düşüktür [30].

2.4. FAN COİL ÜNİTELERİ OTOMATİK KONTROL METOTLARI

Fan-coil üniteleri otomatik kontrol açısından iki borulu ısıtma, iki borulu soğutma, iki borulu ısıtma/soğutma ve dört borulu ısıtma/soğutma olarak genellenebilir ve iki konumlu (on-off) veya oransal olarak kontrol edilebilirler [30].

2.4.1. İki Konumlu Olarak Fan Kontrolü

Düşük yatırım maliyeti ve kolay işletme gibi avantajlarından dolayı ülkemizde oldukça tercih edilen bir yöntemdir ancak enerji kullanımının oldukça önemli olduğu günümüzde bu yöntemdeki enerji savurganlığı ve konfor özelliği açısından kullanılabilirliği düşüktür. Böyle bir sistemde ısıtma ve soğutma akışkanı iki borulu

ısıtma ve/veya soğutma serpantininden, mevsimlerine göre sabit debide dolaştırılır. Sistemde fanın çalışıp durdurulması oda veya dönüş havası sıcaklığına bağlı olarak oda termostatu veya bir motor sürücülü invertöre bağlı proses kontrol cihazı ile iki konumlu olarak sağlanır. İstenilen konfor şartlarına ve çalıştırılma zamanına göre kullanıcılar fanın mevsimine göre (yaz veya kış) hangi devirde (düşük-orta-hızlı) çalıştırılacağına ayarlanan termostat veya invertör üzerindeki proses kontrol cihazı ile manuel olarak karar verirler. Termostat veya invertör proses ekipmanı odanın veya fan-coil ünitesine dönüş hava sıcaklığının ölçümü ile istenilen set sıcaklığına bağlı olarak fanı açar veya kapatır [30,31]. Bu kontrol yönteminin dezavantajlarından birisi fan oda sıcaklığına göre durdurulduğunda ısıtma veya soğutma uygulamasındaki fan-coil ünitesinin radyatör gibi çalışıp odaya ısı vermeye devam etmesinden dolayı ortam sıcaklığının artmasıdır. Diğer bir dezavantajı ise fanın durma ve kalkma seslerinden oluşan gürültünün rahatsız edici olmasıdır [30].

2.4.2. İki Konumlu Olarak Kontrol Valfi İle İki Borulu Isıtma Veya Soğutma

Bu metotta mahalın sıcaklığına göre fan-coil ünitesine bağlı termostat, akışkan devresi üzerinde bulunan iki ya da üç yollu termal, solenoid, elektrik senkron motorlu veya pnömatik tahrikli olarak seçilmiş vananın ayarlanmasını kontrol eder. Bu işlem ile odadaki yük değişimlerine göre ısıtma veya soğutma enerjisinin kullanımı sağlanmış olur. Arzu edilen konfor sıcaklığına bağlı olarak kullanıcı termostat üzerinden manuel kontrol sağlayabilir [30].

2.4.3. İki Konumlu Olarak Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma

Termostat üzerinden manuel ya da kelepçeli yaz-kış termostatu ile otomatik olarak seçilmiş kontrol moduna göre iki yollu veya üç yollu elektrikli senkron motorlu, termal, selenoid veya pnömatik tahrik üniteli vananın kontrolü ile oda sıcaklığı istenilen ayar değerinde tutulabilir. Bu yöntemde de kullanıcılar termostatın manuel kontrolü ile bu işlemi gerçekleştirebilirler [30].

2.4.4. Oransal Olarak Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma

Genel olarak mikroişlemci teknolojisi ile üretilen termostat mahalın ısıtma veya soğutma ihtiyacının kontrolünü oda sıcaklığını ve/veya fan-coil dönüş havasının sıcaklığını ölçerek gerçekleştirir. Mahal sıcaklığını ve/veya fan-coil dönüş havası sıcaklığını ölçen sıcaklık hissedicisinden gelen bilgilere göre mahal sıcaklık ayar değeri kıyaslanır ve ısıtma ihtiyacı var ise oransal iki veya üç yollu ısıtma vanası, soğutma ihtiyacı varsa soğutma vanasına kumanda edilerek kontrol işlemi sağlanmış olur. Konfor ve kullanılma zamanına göre fan devirleri manuel bir kumanda ile gerçekleştirilmeyecekse, ısıtma veya soğutma vanaları eşlenik olarak sistemin kontrolünde kullanılır [30].

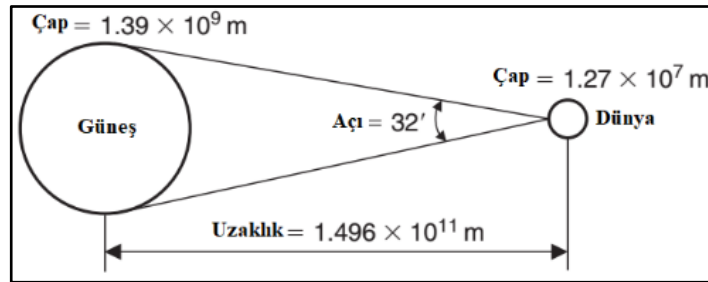
BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümün birinci kısmında PV teknolojisinin enerji kaynağı güneş ve güneş ışınımı hakkında ve fotovoltaik hücre ile fotovoltaik/termal sistemler hakkında temel bilgiler verilip farklı PV/T tipleri örneklendirilmiştir. İkinci kısımda tez çalışmasının içeriğine bağlı kalınarak yoğunlaştırıcı fotovoltaik/termal sistemler detaylıca incelenmiştir. Son olarak güneş enerjili sulama sistemleri ile ilgili çalışmalara değinilmiştir.

3.1. GÜNEŞ VE GÜNEŞ IŞINIMI

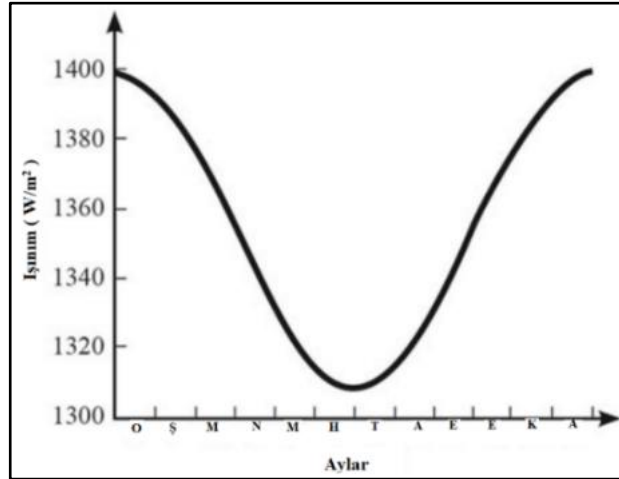
Samanyolu olarak bilinen galaksimizde Güneş'in de dahil olduğu yaklaşık 400 milyar yıldız vardır [32]. Güneş, 1.39×10^9 m çapında ve dünyadan ortalama 1.496×10^{11} m uzaklıkta, yoğun sıcak gaz halindeki bir madde küresidir. Dünya ile Güneş arasındaki ilişki Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Güneş-dünya ilişkisi [33].

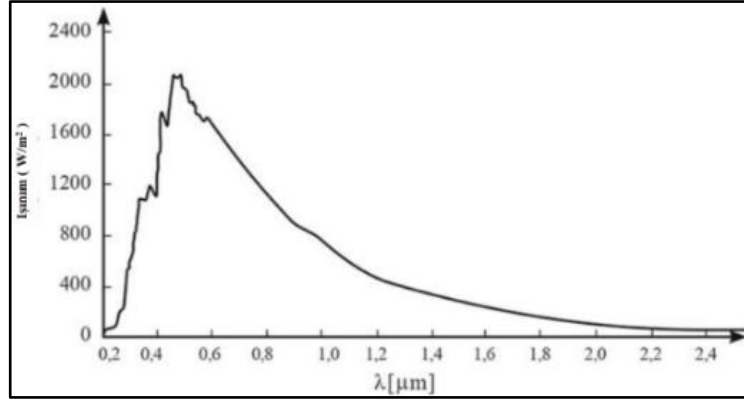
Güneş Dünyadan yaklaşık 1.5×10^8 km uzaklıktadır, bu nedenle termal ışınım boşlukta ışık hızıyla (yaklaşık 300.000 km/s) hareket ettiğinden güneş enerjisi güneşten ayrıldıktan sonra 8 dakika ve 20 saniye içinde gezegenimize ulaşır. Dünya ve Güneş arasındaki 32 derecelik açı birçok uygulamada özellikle yoğunlaştırıcı optiklerde önemlidir. Bu küçük açı kolektörün optik davranışının analizinde önemlidir. Güneş

5777 K etkili bir siyah cisim sıcaklığına sahiptir. Merkez bölgedeki sıcaklık çok daha yüksektir. Aslında Güneş, hidrojenin helyuma dönüştürüldüğü sürekli bir füzyon reaktörüdür. Güneşin toplam enerji çıkışı 3.8×10^{20} MW'tır ki bu enerji güneş yüzeyinin 63 MW/m^2 'sine eşittir. Bu enerji her yönde dışa doğru yayılır. Dünya, yayılan toplam ışınımın yalnızca çok küçük bir kısmını alır, bu 1.7×10^{14} kW'a eşittir; ancak bu küçük fraksiyonla bile, yeryüzüne düşen 84 dakikalık güneş ışınımının 1 yıllık dünya enerji talebine (yaklaşık 900 EJ) eşit olduğu tahmin edilmektedir [33]. Güneş'in çekirdeğinde üretilen enerji, elektromanyetik dalgalar şeklinde Dünya'ya ulaşır. Dünya atmosferine girişte güneş ışınımı, dünya dışı ışınım olarak bilinir. Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığındaki değişiklikler ve güneş aktivitesi nedeniyle, dünya dışı ışınım yoğunluğu $1307\text{-}1393 \text{ W/m}^2$ aralığında değişir (Şekil 3.2) [32].

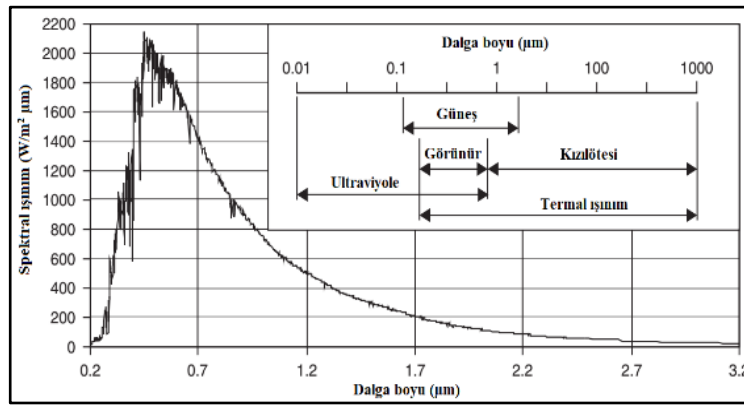


Şekil 3.2. Dünya dışı güneş ışınımının yoğunluğundaki yıllık değişim [32].

Dünya atmosferine girmeden önceki güneş ışınım spektrumu, 0.015 ile $1000 \mu\text{m}$ dalga boyu aralığındadır. Dünya dışı güneş ışınımının en büyük kısmı $0.704\text{-}1000 \mu\text{m}$ dalga boyu aralığında, daha azı $0.405\text{-}0.904 \mu\text{m}$ alanında ve en azı $0.015\text{-}1000 \mu\text{m}$ dalga boyu aralığındadır (Şekil 3.3) [32].



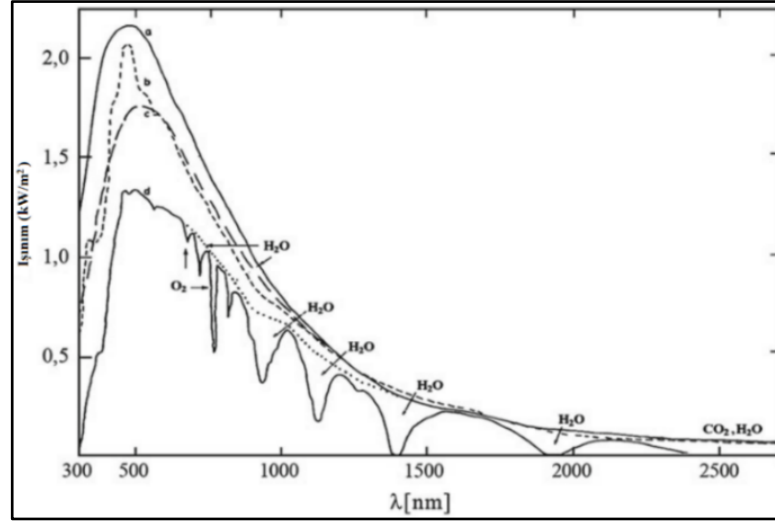
(a)



(b)

Şekil 3.3. a) Dünya dışı güneş ışıma spektrumu [32], b) 1366.1 W/m^2 güneş sabitini veren standart eğri ve elektromanyetik ışıma spektrumundaki konumu [33].

Karasal ışıma, dünya atmosferinden geçtikten sonra Dünya'ya ulaşan güneş ışımasını ifade eder. Karasal ışıma genellikle 0.29 ila $2.5 \mu\text{m}$ dalga boyları aralığındadır. Elektromanyetik spektrumda Dünya'ya ulaşan tüm ışımanın, yaklaşık %3'ü ultraviyole, yaklaşık %42'si görünür ve yaklaşık %55'i kızılötesi kısmındadır. Güneş ışımasının yaklaşık %97'si 0.29 - $2.5 \mu\text{m}$ dalga boyunda ve yaklaşık %3'ü $2.5 \mu\text{m}$ 'den büyük dalga boylarında Dünya'ya ulaşır. Dünya dışı ve karasal ışıma yoğunluğunun spektral dağılımı Şekil 3.4'te verilmiştir [32,34].



Şekil 3.4. Güneş ışınım yoğunluğunun spektral dağılımı: **a** 5727 °C'de siyah cisim ışınımı, **b** dünya dışı ışınım, **c** 5357 °C'de siyah cisim ışınımı ve **d** karasal ışınım [32].

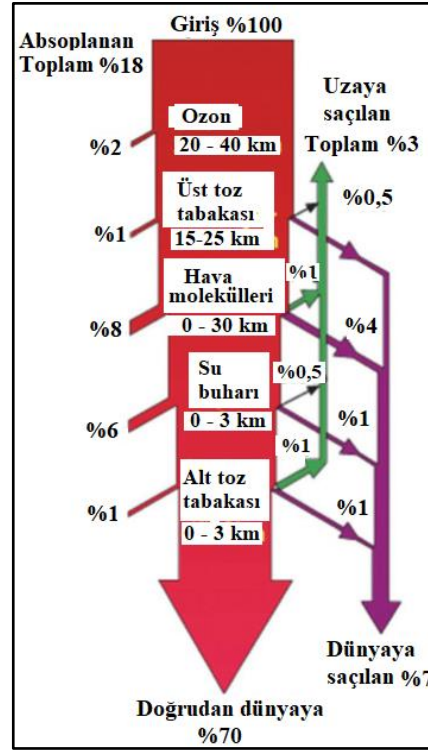
Dünyaya ulaşan güneş ışınımı açılı bir yüzey üzerine direkt, difüz ve yansıyan ışınım gibi çeşitli formlarda düşer ve güneş çalışmalarında farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

3.1.1. Direkt Güneş Işınımı

Atmosfer tarafından saçılmadan güneşten alınan güneş ışınıdır [35]. Dünya ile Güneş arasındaki büyük mesafe nedeniyle, güneş ışınımının dünya atmosferine girmeden önce paralel elektromanyetik dalgalar demetinden oluştuğu düşünülebilir. Güneş ışınımı emilebilir, yansıtılabilir veya atmosferden az ya da çok serbestçe geçebilir. Dünya atmosferinden geçerken güneş ışınımı, mevcut gazların (Dünya ile Güneş arasında bir tabaka oluşturan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksit (NO_x) türevleri, ozon (O₃) ve su buharı (H₂O_(g)) atomları, molekülleri ve iyonları üzerindeki saçılma ve absorpsiyon nedeniyle azalır. Azalma derecesi, güneş ışınımının dünya atmosferi boyunca yol uzunluğuna ve fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Enerjideki bu azalma Bouquerel-Lambert-Beer yasası ile açıklanabilir [32,34]:

$$I = I_0 \times e^{-km} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'deki I bir zaman biriminde normal olarak dünya yüzeyinin bir metrekaresine düşen güneş ışınımının enerjisidir, I_0 bir zaman biriminde normal olarak bir metrekaare yüzeye düşen dünya dışı ışınım enerjisidir, k atmosferdeki bileşime ve değişikliklere bağlı olan, dünya atmosferindeki güneş ışınımı azalma katsayısıdır ve m güneş ışınımının geliş açısına bağlı olan optik hava kütesidir. Dünya üzerine düşen ışınım üzerine atmosferin etkisi Şekil 3.5'te verilmiştir [32].



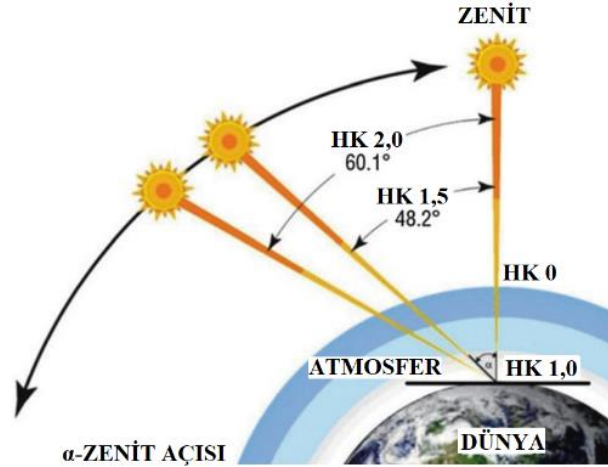
Şekil 3.5. Gelen güneş ışınımı üzerine atmosferin etkisi [32].

Güneş enerjisinde; optik hava kütesi, Güneş Dünyanın en tepe noktasındayken (zenit), güneş ışınlarının atmosferde aldığı mesafenin, dünya atmosferi boyunca aldığı mesafeye oranını temsil eder ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$m = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de α , gelen güneş ışınımı ile dünya yüzeyindeki normal arasındaki açıdır. Dünya atmosferinin yukarısındaki güneş ışınımı için, optik hava kütesinin sifıra eşit olduğu varsayılır ve bu ışınımın spektral enerji dağılımı HK0 ile gösterilir. Sıfır

yükseklikte, güneş ışınımı Dünya'ya dikey olarak düşerse ($\alpha = 0$), optik hava kütlesi $K = 1$ ile gösterilir ve güneş ışınımı enerjisinin spektral dağılımı HK1 olarak verilir. Güneş ışınımı dünya yüzeyinin normaliyle $\alpha = 60^\circ$ 'lik açı yaptığında, optik hava kütlesi $K = 2$ 'dir ve güneş ışınımı enerjisinin spektral dağılımı HK2 ile gösterilir (Şekil 6) [32].



Şekil 3.6. Güneş ışınımının geliş açısına ve optik hava kütlesine bağlı olarak güneş ışınım enerjisinin spektral dağılımının gösterimi [32].

Güneş'in gökyüzündeki konumu, herhangi bir anda Güneş'in yüksekliği ve azimutuyla tanımlanabilir [32].

3.1.2. Difüz Işınım

Difüz ışınım, güneş ışınımının Dünya'nın hava tabakasındaki kirlilik parçacıkları, gaz molekülleri ve atomları üzerinden saçılması ile üretilir. Bulutluluğun, su buharının ve aerosollerin havadaki konsantrasyonunun artması ile, küresel güneş ışınımındaki difüz oranı da artar. Dünyadaki herhangi bir yer için difüz ışınım Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanabilir:

$$I_d = C I F_s \quad (3.3)$$

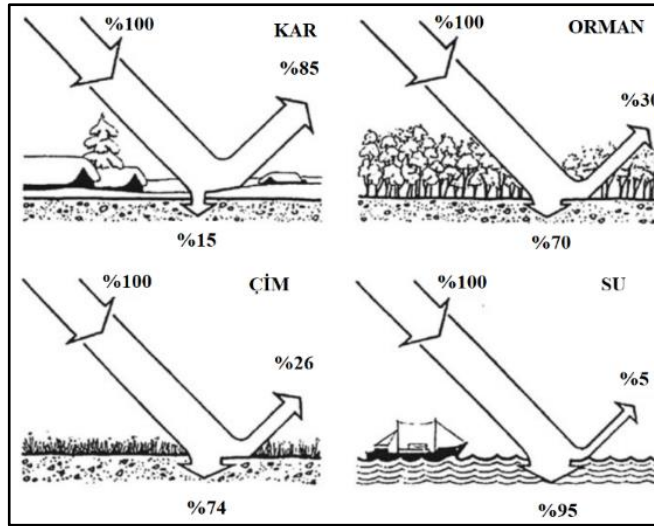
Eşitlikte C bir difüzyon ışınım faktörüdür, I gelen güneş ışınımının yoğunluğudur ve F_s açısal bir faktördür. Açı faktörü aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$F_s = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \quad (3.4)$$

Burada β , yatay düzlem ile belirli bir yüzey arasındaki açıdır [32].

3.1.3. Yansıyan Işınım

Dünyadaki açılı bir yüzey üzerine güneş ışınımı direkt, difüz ve dünyadan ve çevresindeki nesnelere yansıyan ışınım olarak düşer. Güneş ışınımı atmosferden geçtikten sonra yer altı veya yüzey suyuyla (denizler, göller, nehirler) karşılaşır. Alt tabakanın özelliklerine bağlı olarak, ışınımın daha büyük veya daha küçük bir kısmı yansıtılacaktır. Şekil 3.7’de yeryüzüne düşen ışınımın bazı tabakalar üzerinden yansıması görülmektedir [32].



Şekil 3.7. Dünya üzerindeki güneş ışınımının yansıması ve absorpsiyonu [32].

Dünyanın yüzeyine düşen güneş ışınım enerjisinin miktarı, alıcı yüzeyin konumuna, yüzeyin yatay düzleme göre eğimine, Dünya'nın bölgelerine göre yüzeyin yönelimine, yılın zamanına, atmosfer şartlarına, alıcı yüzeyin boyutuna, alıcı yüzeyin karakteristik özelliklerine ve ışınlama süresine bağlıdır. Güneş enerjisi ile çalışmada güneş ışınımı ile ilgili bu bilgiler dikkate alınarak deneysel ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir [32].

3.2. FOTOVOLTAİK (PV) HÜCRE

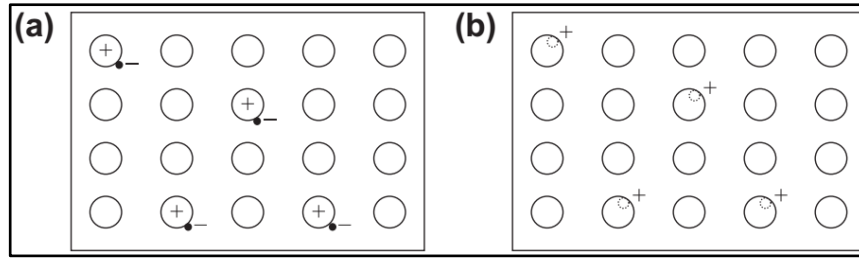
Burada ilk olarak PV hücreler hakkında genel bir giriş yapıldıktan sonra alt başlıklarda p-n bağlantısı, fotovoltaik etki ve PV hücre karakteristikleri açıklanacaktır.

Bir PV hücresi, en yaygın olarak silisyum olmak üzere iki veya daha fazla ince tabaka yarı iletken malzemeden oluşur. Silisyum ışığa maruz kaldığında elektrik yükleri oluşur ve bu yükler metal bağlantılarla doğru akım olarak iletilebilir. Tek bir hücreden gelen elektrik çıkışı küçüktür, bu nedenle birden fazla hücre bir modül oluşturmak için bağlanır ve kapsülendir (genellikle camla kaplanır). Oluşturulan PV panel, bir PV sisteminin ana yapı taşıdır ve istenen elektrik çıkışını vermek için herhangi sayıda panel birbirine bağlanabilir. Bu modüler yapı gerektiğinde mevcut bir sisteme başka panellerin eklenebildiği PV sistemin önemli bir avantajıdır. Fotovoltaik cihazlar veya hücreler, güneş ışınımını doğrudan elektriğe dönüştürmek için kullanılır. Fotovoltaik hücreler, elektriği yalnızca orta derecede iyi iletken malzemeler olan çeşitli yarı iletkenlerden yapılır. En yaygın olarak kullanılan malzemeler silisyum (Si) ve kadmiyum sülfür (CdS), bakır sülfür (Cu_2S) ve galyum arsenit (GaAs) bileşikleridir [36]. Bu hücreler, ışığa maruz bırakıldığında belirli bir voltaj ve akım üretecek modüller halinde paketlenir. PV modülleri, daha büyük voltajlar veya akımlar üretmek için seri veya paralel olarak bağlanabilir. PV sistemleri güneş ışığına dayanır, hareketli parçası yoktur, her ölçekteki güç gereksinimlerini karşılayacak şekilde modülerdir, güvenilir ve uzun ömürlüdür. Sistemler bağımsız olarak veya diğer elektrik güç kaynakları ile kullanılabilir. PV sistemleri tarafından desteklenen uygulamalar arasında iletişim (hem yeryüzünde hem de uzayda), uzaktan güç, uzaktan izleme, aydınlatma, sulama ve pil şarjı yer alır [33].

3.2.1. p-n Bağlantısı

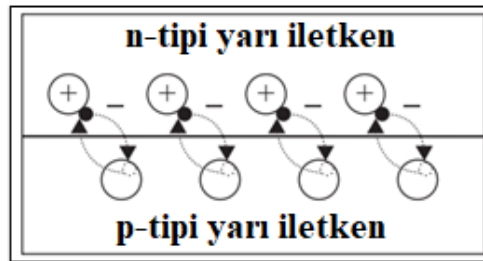
Silisyum (Si), periyodik element tablosunun 4. grubuna aittir. Yarı iletkenlerde, katkılı malzemenin değerlik boşluğunda yarı iletkenin daha fazla elektronu varsa, katkılı malzemeye n-tipi yarı iletken denir. N-tipi yarı iletken elektronik olarak nötrdür ancak iletim için uygun olan fazla elektronlara sahiptir. Bu, Si atomları, arsenik (As) veya antimon (Sb) gibi periyodik tablo 5. grup elementleri ile değiştirilerek kristal etrafında

hareket edebilen elektronlar oluşturduğunda elde edilir. Bu fazla elektronlar çıkarılırsa, atomlar pozitif yüklerle kalır. Yarı iletkenlerde, katkılı malzemenin değerlik boşluğunda yarı iletkenden daha az elektronu varsa, katkılı malzemeye p-tipi yarı iletken denir. P-tipi yarı iletken elektronik olarak nötrdür ancak yapısında fazla elektronları barındırabilen pozitif boşluklara (eksik elektronlar) sahiptir. Bu tip malzeme, Si atomları galyum (Ga) veya indiyum (In) gibi periyodik tablo 3. grup elementleri ile değiştirildiğinde ve böylece difüzyon veya sürüklenme yoluyla kristal etrafında hareket edebilen “boşluklar” adı verilen pozitif parçacıklar oluşturduğunda elde edilir. Her iki yarı iletken türü de Şekil 3.8’de şematik olarak gösterilmiştir [33].



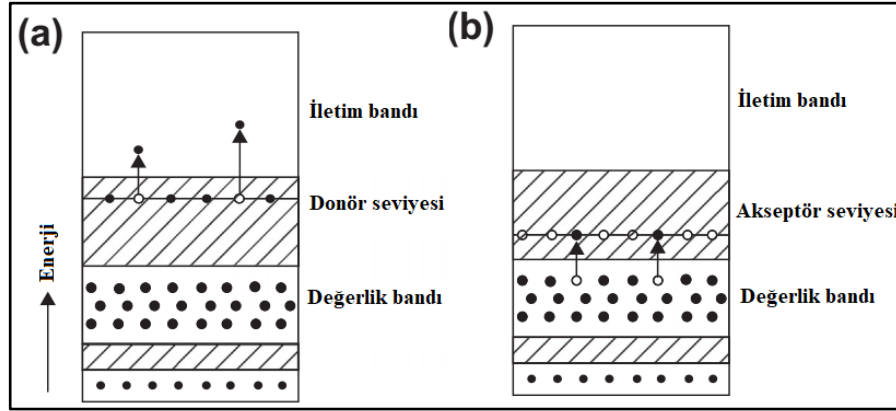
Şekil 3.8. n ve p tipi yarı iletkenlerin şematik diyagramları. a) n-tipi, fazla elektronlu. b) fazla pozitif boşluklara sahip p-tipi [33].

Hem n- hem de p-tipi yarı iletkenler, elektronların ve boşlukların yarı iletkenlerde daha kolay hareket etmesine izin verir. Silisyum için, bir p-n ekleminden bir elektron almak için gereken enerji 1.11 elektron volt (eV)’dur. Bu, her yarı iletken malzeme için farklıdır. Şekil 3.9’da gösterildiği gibi p ve n tipi yarı iletkenler bir araya getirildiğinde bir p-n bağlantısı oluşturulur. Görüldüğü gibi, iki malzeme birleştirildiğinde, n-tipinden gelen fazla elektronlar, p-tipindeki boşlukları doldurmak için hareket eder ve p-tipinden gelen boşluklar, n-tipi tarafa dağılır ve böylece bağlantının n tarafı pozitif yüklü ve p tarafı negatif yüklü olur.



Şekil 3.9. p-n bağlantısının şematik diyagramı [33].

p tarafındaki negatif yükler, n tarafındaki ek elektronların hareketlerini kısıtlar; bununla birlikte, n tarafındaki bağlantıdaki pozitif yükler nedeniyle ek elektronların p tarafından hareketi daha kolaydır. Bundan dolayı p-n bağlantısı bir diyot gibi davranır. N ve p tipi yarı iletkenlerin enerji bantlarının şematik diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. N-tipi yarı iletken, katkılı safsızlık akımın iletimi için ek elektronlar sağladığından, buna “donör” denir ve enerji seviyesine “donör seviyesi” denir. N tipi enerji bandı diyagramı Şekil 3.1(a)'da gösterilmiştir ve görüldüğü gibi donör seviyesi yasak bant içinde yer almaktadır [33]. P tipi yarı iletken katkılı safsızlık ek elektronları kabul eder; bu nedenle, “akseptör” olarak adlandırılır ve enerji seviyesi “akseptör seviyesi” olarak adlandırılır. Enerji bandı diyagramı Şekil 3.10(b)'de gösterilmiştir ve görüldüğü gibi akseptör seviyesi yasak bantta yer almaktadır.

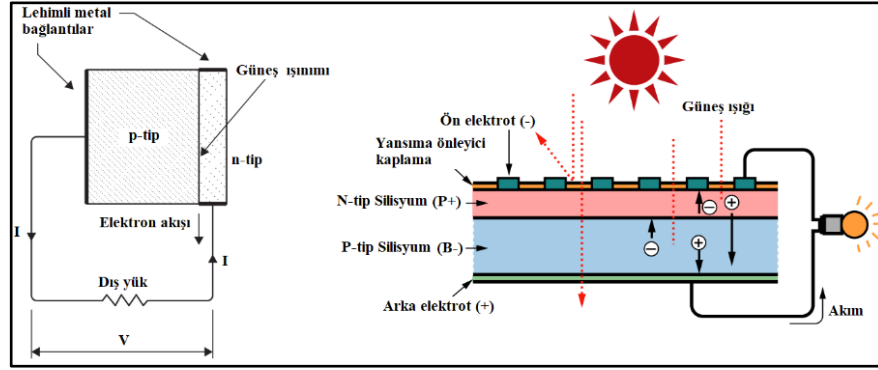


Şekil 3.10. n- ve p-tipi yarıiletkenlerin enerji bant diyagramları. a) n-tipi yarı iletken. b) p-tipi yarı iletken.

3.2.2. Fotovoltaik Etki

Bir foton fotovoltaik bir malzemeye girdiğinde, yansıtılabilir, emilebilir veya iletilebilir. Bu foton bir atomun değerlik elektronu tarafından absorbe edildiğinde, elektronun enerjisi fotonun enerji miktarı kadar artmış olur. Fotonun enerjisi yarı iletkenin bant boşluğundan daha büyükse, fazla enerjiye sahip olan elektron, serbestçe hareket edebileceği iletim bandına atlayacaktır. Bu nedenle, foton soğurulduğunda, atomdan bir elektron kopar. Elektron, fotovoltaik malzemenin önünden ve arkasından bir elektrik alanı ile çıkarılabilir ve bu, bir p-n bağlantısının yardımıyla elde edilir. Bir alanın yokluğunda elektron atomla yeniden birleşir; oysa bir alan olduğunda, içinden

akar, böylece bir akım oluşturur. Foton enerjisi bant aralığından daha küçükse, elektron iletim bandına atlamak için yeterli enerjiye sahip olmayacaktır ve fazla enerji elektronların kinetik enerjisine dönüştürülerek sıcaklığın artmasına neden olur. Fotovoltaik hücrelerin düşük veriminin nedeni budur. Bir fotovoltaik hücrenin çalışması Şekil 3.11’de gösterilmiştir [33].



Şekil 3.11. Fotovoltaik etki [33,37].

Güneş hücreleri, bir p-tipi ve bir n-tipi yarı iletken, yani bir p-n bağlantısı içerir. Bir dereceye kadar, elektronlar ve boşluklar bu bağlantının sınırı boyunca yayılır ve bu bağlantı boyunca bir elektrik alanı oluşturur. Serbest elektronlar, fotonların etkisi ile n-tabakasında üretilir. Güneş ışığı fotonları bir güneş hücresinin yüzeyine çarptığında yarı iletken tarafından emilir, bu şekilde elektron ve boşluk çiftleri oluşturur. Bu çiftler p-n bağlantısına yeterince yakınsa, elektrik alanı yüklerin ayrılmasına, elektronların n-tipi tarafa ve boşlukların p-tipi tarafa hareket etmesine neden olur. Güneş hücresinin iki kenarı bir yük ile bağlanırsa, güneş ışınımı hücreye çarptığı sürece bir elektrik akımı oluşacaktır. Tipik bir kristalin silisyum hücrede n-tipi tabakanın kalınlığı yaklaşık 0.5 μm iken, p-tipi tabakanın kalınlığı yaklaşık 0.25 mm’dir. Elektromanyetik ışınımın hızı Eşitlik 3.5’ten hesaplanabilir.

$$c = \lambda v \quad (3.5)$$

Burada λ ışınımın dalga boyu ve v ışınımın frekansıdır. Bir fotonun içerdiği enerji E_p , Eşitlik 3.6’daki gibi verilir.

$$E_p = h v \quad (3.6)$$

Burada h planck sabiti (6.625×10^{-34} J s) ve v frekanstır (s^{-1}). Eşitlik 3.5 ile Eşitlik 3.6'nın birleştirilmesiyle Eşitlik 3.7 elde edilir [33].

$$E_p = \frac{h c}{\lambda} \quad (3.7)$$

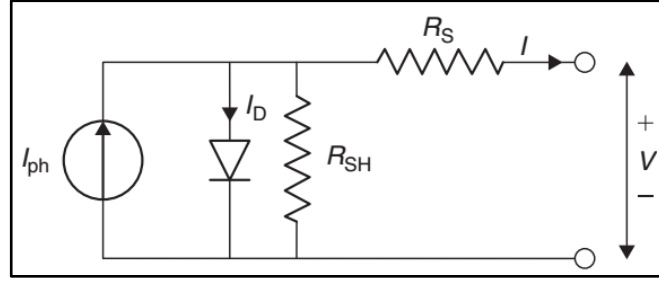
Bir hücreye gelen foton sayısı, n_p , ışık yoğunluğunun I_p , fotonun içerdiği enerji E_p 'ye oranıdır ve Eşitlik 3.8'de verilmiştir.

$$n_p = \frac{I_p}{E_p} \quad (3.8)$$

3.2.3. PV Hücre Karakteristikleri

Bir fotovoltaiik hücre, aktif fotovoltaiik malzeme, metal ızgaralar, yansıma önleyici kaplamalar ve destekleyici malzemedendir oluşur. Tamamlanmış hücre, hem hücreye giren güneş ışığı miktarını hem de hücreden çıkan gücü en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmiştir. Metal ızgaralar, hücrenin önünden ve arkasından akım toplama işlemini gerçekleştirir ve artırır. Hücreye giren ışığı en üst düzeye çıkarmak için hücrenin üstüne yansıma önleyici kaplama uygulanır. Tipik olarak, bu kaplama güneş ışığı için optimize edilmiş tek bir katmandır. Sonuç olarak, fotovoltaiik hücrelerin rengi siyahtan maviye değişir. Tam bir fotovoltaiik hücre, pozitif ve negatif uçlara sahip iki bağlantılı bir cihazdır [33].

Güneş enerjisi (fotonlar) PV hücreye çarptığında, elektronlar yarı iletken malzemedeki atomlardan ayrılarak elektron-boşluk çiftleri oluşturur. Pozitif ve negatif taraflara elektrik iletkenleri bağlanır ve bir elektrik devresi oluşturulursa, elektronlar fotoakım adı verilen I_{ph} elektrik akımı şeklinde elde edilir. Karanlıkta fotovoltaiik hücre aktif değildir ve bir diyot, yani herhangi bir akım veya voltaj üretmeyen bir p-n bağlantısı gibi çalışır. Bununla birlikte, harici, büyük bir voltaj kaynağına bağlanırsa, diyot veya karanlık akım, I_D olarak adlandırılan bir akım üretir. Güneş hücresi, genellikle, Şekil 3.12'de gösterilen, elektrik eşdeğeri tek diyot modeli ile tarif edilir [33].



Şekil 3.12. Güneş hücrelerinin eşdeğer devresi [38].

Bu devre, tek bir hücre, birkaç hücreden oluşan bir modül veya birkaç modülden oluşan bir dizi için kullanılabilir. Şekil 3.12’te gösterilen model, akım kaynağı I_{ph} , diyot ve her bir hücrenin içindeki direnci temsil eden bir seri direnç R_S ile diyotun sahip olduğu iç paralel direnç içerir. Net akım, fotoakım, I_{ph} ve normal diyot akımı, I_D arasındaki farktır ve Eşitlik 3.9’daki gibi ifade edilir.

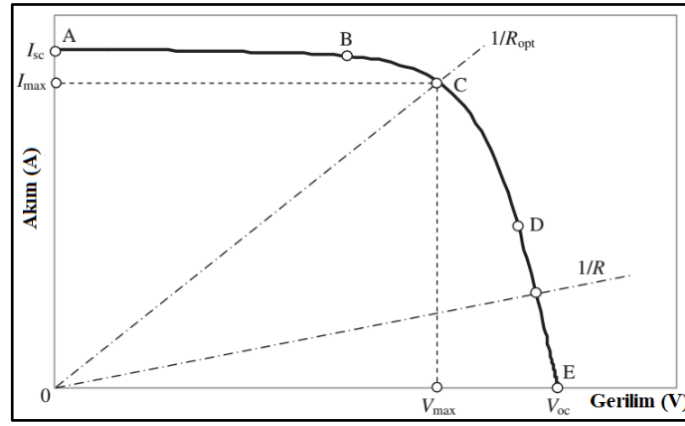
$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_o \left\{ \exp \left[\frac{e(V+IR_S)}{kT_C} \right] - 1 \right\} - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \quad (3.9)$$

Genel olarak, paralel direnç R_{SH} , üzerinde algılanamayan elektrik akımlarına yol açan yük direncinden çok daha büyüktür. Oysa seri direnç R_S yük direncinden çok daha küçüktür ve bu hücre içerisinde daha az gücün dağılmasına neden olur. Bu nedenle, bu iki direnci yok sayarak, net akım, fotoakım, I_{ph} ve normal diyot akımı, I_D arasındaki farktır ve Eşitlik 3.10’da verilmiştir.

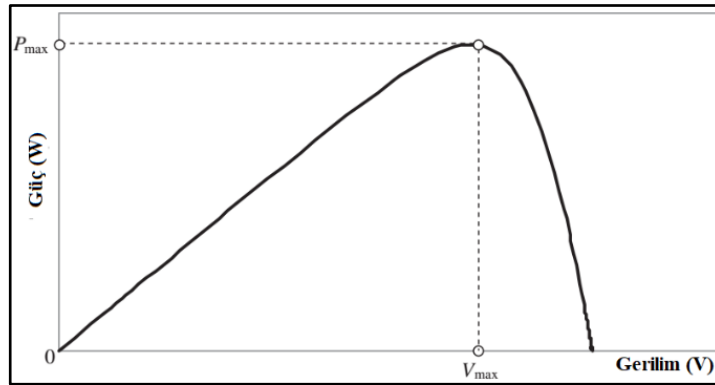
$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{eV}{kT_C} \right) - 1 \right] \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.10’da k Boltzmann gaz sabiti (1.381×10^{-23} J/K), T_C hücrenin mutlak sıcaklığı (K), e elektronik yük (1.602×10^{-19} J/V), V hücreye uygulanan voltaj (V) ve I_o sıcaklığa büyük ölçüde bağlı olan karanlık doyma akımıdır (A). Şekil 3.14, sabit bir hücre sıcaklığında, T_C belirli bir ışınım (I_t) için bir güneş hücresinin I-V karakteristik eğrisini gösterir. Bir PV hücresindeki akım, uygulanan harici voltaja ve hücre üzerine düşen güneş ışığı miktarına bağlıdır. Hücre kısa devre yaptığında, akım maksimumdur (kısa devre akımı, I_{sc}) ve hücre üzerindeki voltaj 0’dır. PV hücre

devresi açıkken, kablolar devre yapmıyorsa, voltaj maksimumdur (açık devre voltajı, V_{oc}) ve akım 0'dır. Her iki durumda da açık devre veya kısa devrede güç 0'dır. Şekil 3.13'te gösterilen tipik akım voltaj eğrisi, akım ve voltaj kombinasyonlarının aralığını gösterir. Yük direnci küçükse, hücre, eğrinin AB bölgesinde çalışır; burada hücre, neredeyse kısa devre akımına eşit, sabit bir akım kaynağı gibi davranır. Öte yandan, yük direnci büyükse, hücre, hücrenin daha çok sabit bir voltaj kaynağı gibi davrandığı, neredeyse açık devre voltajına eşit olduğu eğrinin DE bölgesinde çalışır. PV hücreler için güç voltaj eğrisi Şekil 3.14'te verilmiştir [33].



Şekil 3.13. PV hücreler için temsili akım-voltaj eğrisi [33].



Şekil 3.14. PV hücreler için temsili güç-voltaj eğrisi [33].

Maksimum güç noktasında (Şekil 3.14 C noktası), yük direnci optimumdur R_{opt} ve Eşitlik 3.11'deki gibi hesaplanır.

$$P_{max} = I_{max} V_{max} \quad (3.11)$$

P_{max} , doldurma faktörü FF olarak adlandırılan ek bir parametre ile Eşitlik 3.12'den hesaplanabilir [33].

$$P_{max} = I_{sc} V_{oc} FF \quad (3.12)$$

veya,

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{I_{max} V_{max}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (3.13)$$

Doldurma faktörü, gerçek I-V karakteristiğinin bir ölçüsüdür ve iyi hücreler için değeri 0.7'den büyüktür. Hücre sıcaklığı arttıkça doldurma faktörü azalır. Fotovoltaik hücreden elde edilen güç Eşitlik 3.14 ile hesaplanabilir.

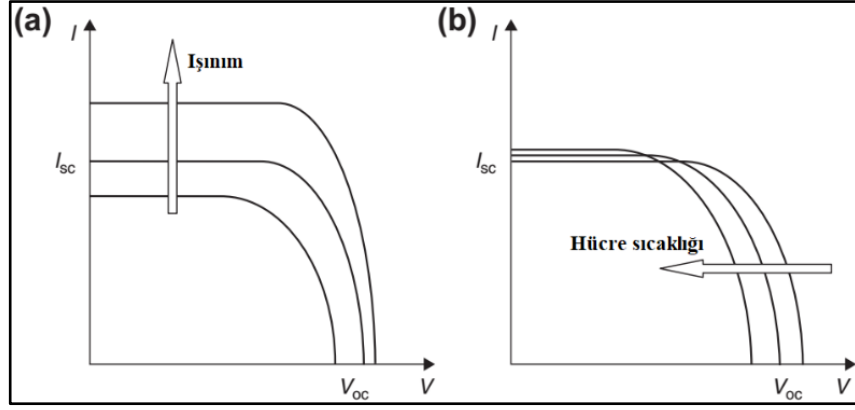
$$P = I V \quad (3.14)$$

Diğer bir parametre, maksimum güç ile gelen ışık gücü arasındaki oran olan maksimum verimdir ve aşağıdaki gibi verilir.

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_g} = \frac{I_{max} V_{max}}{A_h I_t} \quad (3.15)$$

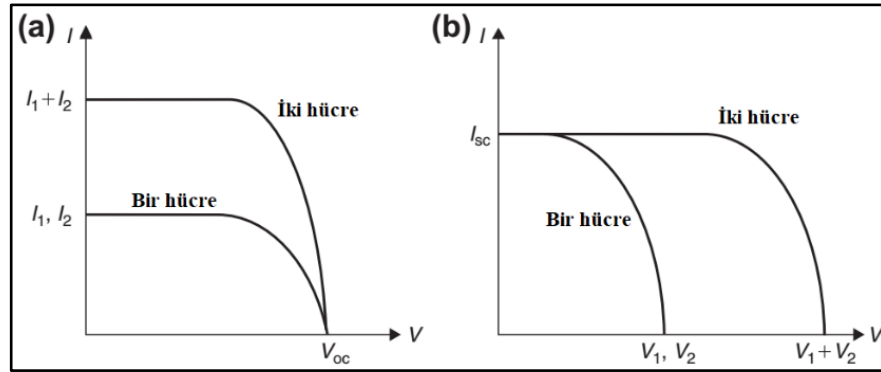
Eşitlik 3.15'te A_h hücre alanıdır (m^2).

Şekil 3.13'teki I-V karakteristiği sadece ışınım ve sıcaklık içindir. Hücre karakteristikleri üzerine sıcaklık ve ışınımın etkisi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. PV hücre karakteristikleri üzerine ışınım ve sıcaklığın etkisi a) Artan ışınımın etkisi b) Artan hücre sıcaklığının etkisi [33].

Artan güneş ışınımı ile açık devre voltajı logaritmik olarak artarken kısa devre akımı doğrusal olarak artar. Hücre sıcaklığındaki artışın ana etkisi, hücre sıcaklığı ile doğrusal olarak azalan açık devre voltajı üzerindedir; böylece hücre verimi düşer [33]. Kısa devre akımı, hücre sıcaklığının artmasıyla biraz artar. Pratikte güneş pilleri seri veya paralel olarak bağlanabilir. Şekil 3.16, iki özdeş hücrenin paralel ve seri olarak bağlanması durumunda I-V eğrisinin nasıl değiştiğini gösterir.

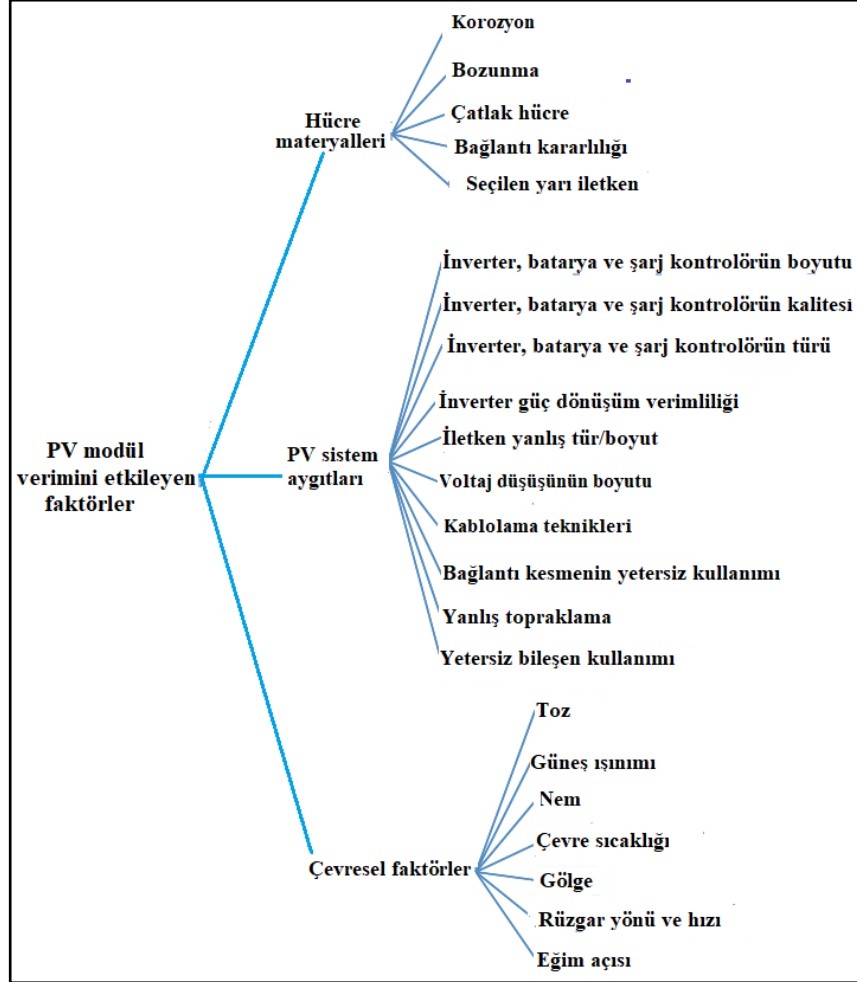


Şekil 3.16. İki özdeş güneş hücresinin paralel ve seri bağlantısı. a) paralel bağlama b) seri bağlama [33].

İki özdeş hücre paralel bağlandığında, voltaj aynı kalır, ancak akım iki katına çıkar, hücreler seri bağlandığında, akım aynı kalır, ancak voltaj iki katına çıkar [33].

PV hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşturulan modüllerin verimini etkileyen faktörler Şekil 3.17'deki gibi verilebilir. Şekilden de görüldüğü gibi PV modüllerin performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. PV sistemlerinin kurulumları

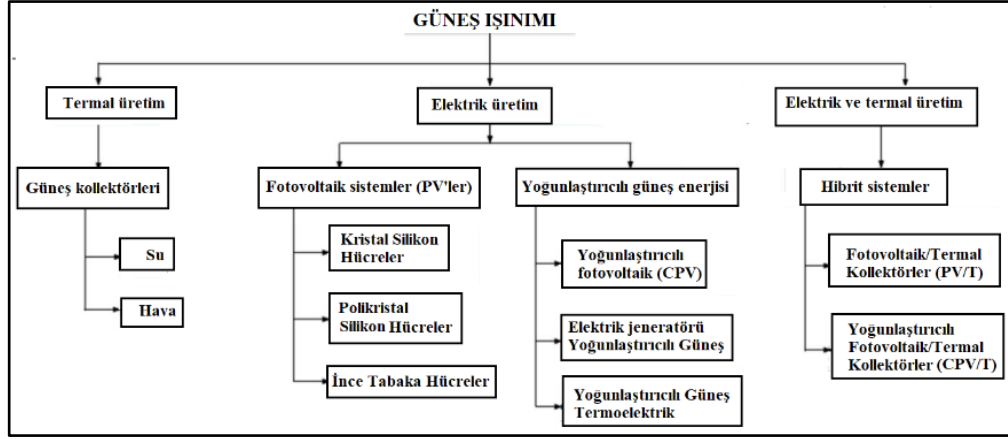
tüm bu faktörler dikkate alınarak gerçekleştirildiğinde istenilen modül verimlerine ulaşılabilir.



Şekil 3.17. Fotovoltaik modül verimini etkileyen faktörler [39].

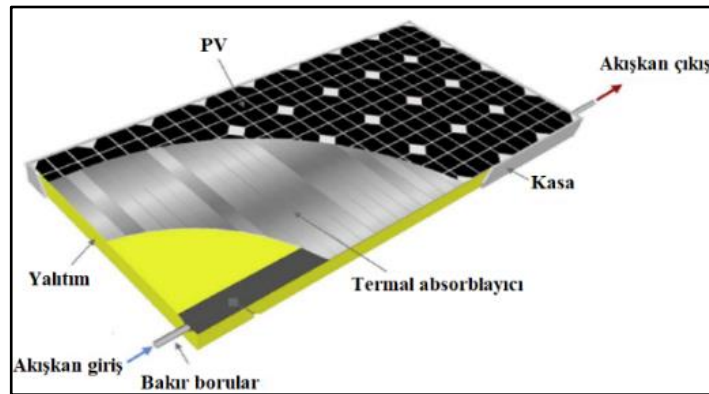
3.3. FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) SİSTEMLER

Güneş enerjisi, sıfır emisyonu dayalı enerji kazanım özelliğinden dolayı gelecekte ana enerji kaynağı olmaya adaydır [40]. Şekil 3.18’de görüldüğü gibi güneş enerjisinden termal üretim (TÜ), elektrik üretimi (EÜ) ve hem elektrik hem de termal üretim olmak üzere başlıca üç farklı şekilde yararlanılmaktadır. Güneş enerjisinin bu faydalı kullanımları arasında hem elektrik hem de termal üretime imkân sağlayan PV/T sistemler incelenecektir.



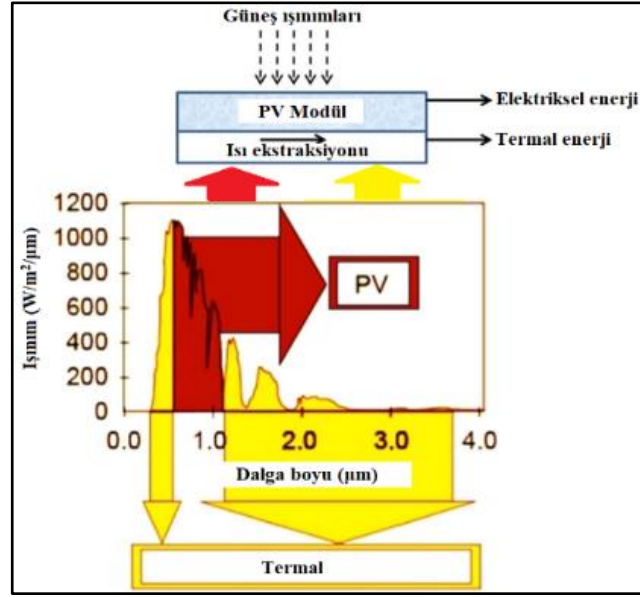
Şekil 3.18. Güneş enerjisi ile üretim sistemlerinin sınıflandırılması [41].

PV hücreler güneş ışınımını absorblar ve elektriğe dönüştürür [42]. Bununla birlikte toplanan güneş ışınımını ısıya dönüştürür ve böylece PV hücre sıcaklığı artar ve verim azalır [43]. PV hücrelerin sıcaklığının 1 °C artması, elektriksel verimde kristal silisyum PV hücreleri için yaklaşık %0.4-0.5 ve amorf silisyum PV hücreleri için yaklaşık %0.25 oranında bir azalmaya neden olur [44]. Bu nedenle, PV hücrelerinin soğutulması ile verimlerinin artırılması arzu edilen bir durumdur. PV panellerde oluşan ısının, sıvı veya hava yoluyla çıkarılması, PV panelin arkasına yerleştirilen ısı eşanjörleri ile gerçekleştirilir böyle bir kombinasyon PV/T sistem olarak bilinir [45]. PV/T sistemin temel yapısı, iki ana bölümden [(a)-PV modülü + (b)-T (termal) bölüm] oluşur. Bu “T” veya termal kısım, termal enerji yönetimi açısından PV/T sisteminin anahtar bileşeni veya ana bileşenidir. Genellikle bu “T” veya tipik bir PV/T sistemin termal kısmı, bir termal absorblayıcı, bakır borular, ısı transfer akışkanı, termal yalıtım ve kasadan oluşmaktadır (Şekil 3.19) [46].



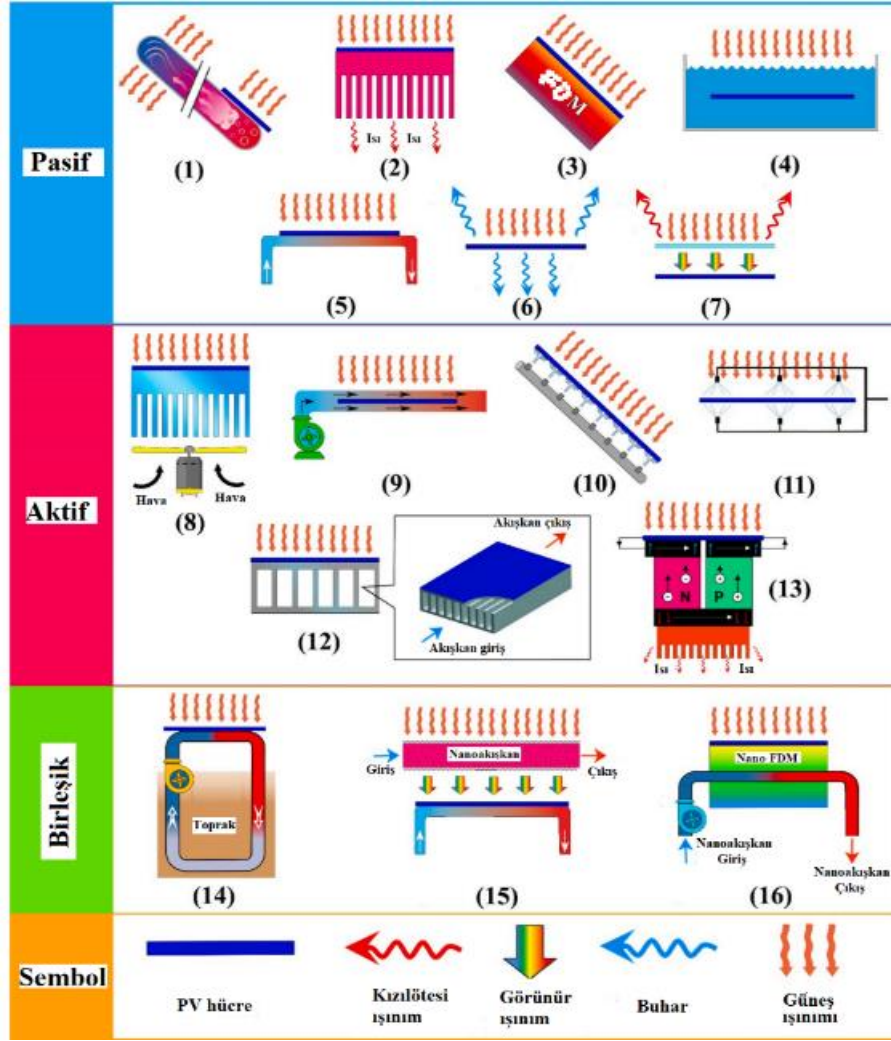
Şekil 3.19. PV/T kolektörün farklı parçaları [46].

PV/T sistemler ile PV paneller istenilen sıcaklıkta çalışabilmekte ve çıkarılan ısı, endüstriyel veya yerleşim alanlarında düşük veya orta sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir [40,45,47]. Şekil 3.20'de en basit haliyle PV/T sistemdeki enerji dönüşümü verilmiştir. PV/T sistemler PV sistemlere kıyasla daha yüksek toplam verime sahiptir [48].



Şekil 3.20. Karasal güneş spektrumu ve PV/T sistemde enerji dönüşümü [49,50].

PV/T sistemler ile ilgili çalışmalarda temel yöntem PV yüzeylerinin soğutulmasıdır [40]. PV soğutma teknikleri aktif, pasif ve birleşik yöntemler bazında sınıflandırılabilir (Şekil 3.21) [51].



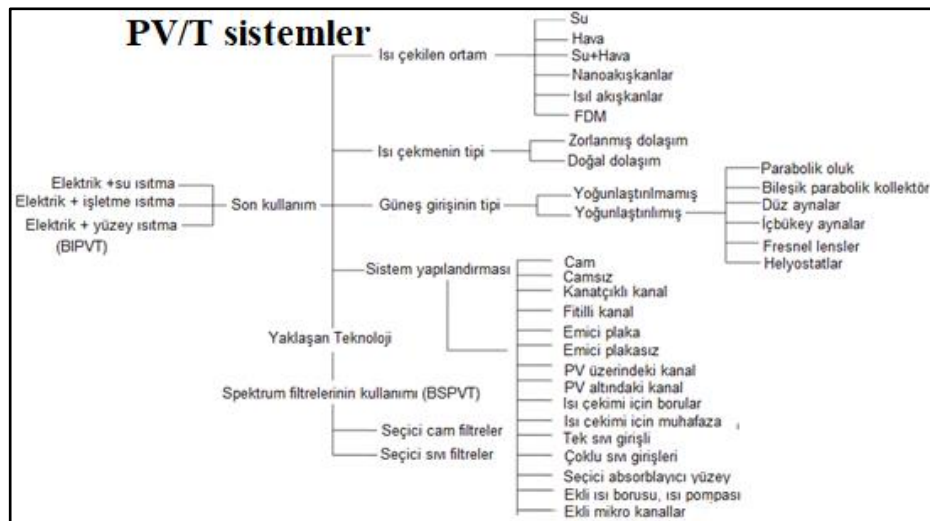
Şekil 3.21. PV soğutma tekniklerinin şematik sınıflandırılması 1) Isı borulu, 2) Doğal hava akışı (serbest hava) ve soğutucu, 3) Faz değıştiren malzemeli (FDM), 4) Sıvı/su daldırma, 5) Pasif sıvı soğutma, 6) Buharlaşmalı, 7) Spektral ayırma filtresi veya su filmi ile kaplama, 8) Cebri hava akışı, 9) Sıvı/su filmi veya sıvı/su akışı (aktif), 10) Jet çarpması, 11) Su püskürtme, 12) Mikrokanal, 13) Termoelektrik, 14) Jeotermal ve su spreyi veya cebri hava akışı, 15) Spektral ayırma filtresi ve su kanalı, 16) Nanoakışkan ve Nano-FDM [51].

Bu soğutma teknikleri aynı zamanda CPV sistemlerde de kullanılmaktadır. PV/T kavramı; 1970'lerin ortasında ortaya konulmuştur. Bu sistemlerin teorik ve deneysel çalışmaları üzerine literatürde oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. PV/T sistemler ile ilgili çalışmaların başlangıcında PV hücre, modül veya panellerden ısıyı çekmek için, akışkan olarak su ve hava yaygın olarak kullanılmıştır. Bu teknoloji; son otuz yıl içerisinde oldukça gelişmiştir ve birçok farklı teknikler literatürde açıklanmıştır. PV/T sistemler kavramı yaklaşık elli yaşındadır fakat hala, bu teknoloji

çok fazla ticarileşmiş değildir [50]. PV/T sisteminin dikkat çekici özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

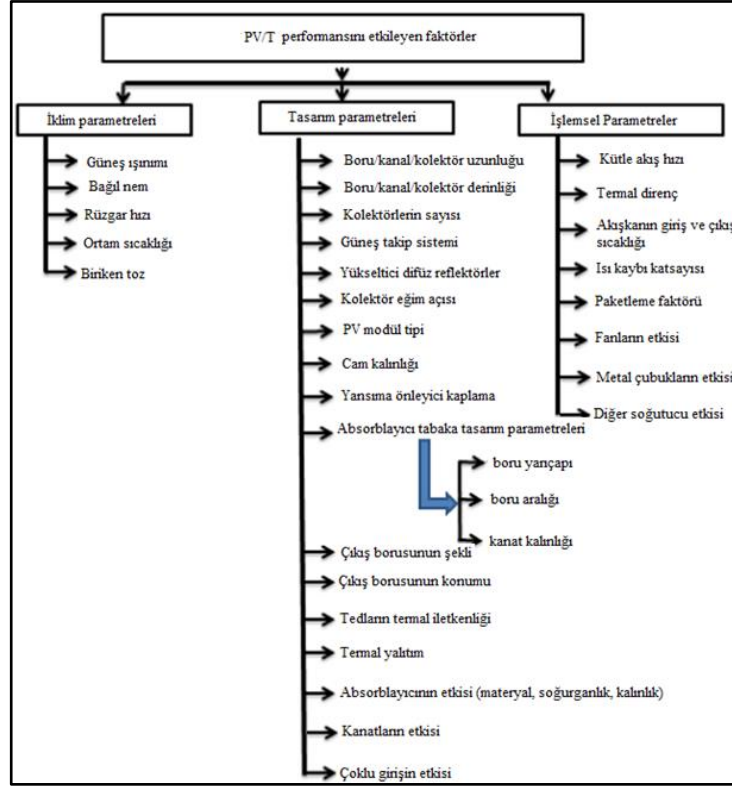
- Çift amaçlıdır: aynı sistem elektrik ve ısı çıkışı üretmek için kullanılabilir.
- Verimli ve esnekler: toplam enerji verimi her zaman geleneksel PV sistemlerinkinden ve termal kolektörlerden daha yüksektir ve özellikle çatı panel aralığı sınırlı olduğunda bina entegreli fotovoltaik (BIPV) yapımında caziptir.
- Geniş bir uygulama alanına sahiptir: ısı çıkışı mevsime bağlı olarak hem ısıtma hem de soğutma (kurutucu soğutma) uygulamaları için kullanılabilir ve pratik olarak konut uygulamalarına uygundur.
- Ucuz ve pratiktir: herhangi bir büyük değişiklik yapılmadan binaya kolayca uyarlanabilir/entegre edilebilir ve çatı kaplama malzemesinin PV/T sistemi ile değiştirilmesi, geri ödeme süresini azaltabilir [52,53].
- Fotovoltaik panelin termal bozulmasını azaltır, böylece PV panelin ömrü artmış olur [50].

PV/T sistemleri genel olarak ısı çekme, çalışma ortamı ve son uygulamalar temelinde sınıflandırılır. Ayrıca, PV/T sistemleri, ışınımın yoğunlaştırılmış olup olmamasına göre de sınıflandırılabilir. PV/T sistemlerinin geniş bir sınıflandırması Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. PV/T sistemlerin sınıflandırılması [50].

Şekil 3.23'te belirtilen iklim, tasarım ve işlemsel parametreler PV/T sistemlerin performanslarını etkileyen parametrelerdir ve sistem kurulumları genellikle bu parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.23. PV/T performansını etkileyen faktörler [17].

Literatürde farklı tipte PV/T sistemlerin incelendiği çalışmaların özeti Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Literatürdeki farklı PV/T sistemleriyle ilgili çalışmalar.

Araştırmacılar	Sistem tipleri	Sonuçlar	Anahtar noktalar
Ooshaksaraei vd., [54].	Hava bazlı PV/T sistem	Tek yönlü kolektör, elektrik enerjisi istenen çıkış enerjisiye daha iyi performans göstermiştir. Çift yönlü paralel akış tasarımı, termal enerji istenen çıkış enerjisiye daha iyi performans göstermiştir.	Tek geçişli ve çift geçişli hava kanalı dikkate alınarak dört yeni çift yüzeyli hava bazlı PV/T güneş kolektörü tasarımı yapılmıştır ve analiz edilmiştir.
Secchia vd., [55].	Hava bazlı PV/T sistem	Doğal taşınımında %10 ve cebri taşınımında %28.6 artış sağlanmış.	Modelde panel arka yüzeyinin pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.1. (Devam ediyor).

Araştırmacılar	Sistem tipleri	Sonuçlar	Anahtar noktalar
Alzaabi vd., [56].	Su bazlı PV/T sistem	Termal verim %60-70, Elektriksel verim %15-20	PV panel sıcaklığı %15-20 oranında azaltılmıştır.
Teo vd., [57].	Su bazlı PV/T sistem	Optimum akış hızında elektriksel verim %8.6'dan %12,'ye yükselmiştir.	PV hücre sıcaklığı 68 °C'den 38 °C'ye düşürülmüştür.
Rosa-clot vd., [58].	Su bazlı PV/T sistem	Termal verim %62, elektriksel verim %13.19	Farklı çalışma koşullarının etkisi incelenmiştir.
Jahromi vd., [59].	Su bazlı PV/T sistem	Tabriz, Shiraz, ve Esfahan şehirleri için sırasıyla %9.7, %9.6 ve %9.6 olarak bulunmuştur.	İklim koşullarının PV/T performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.
Aste vd., [60].	Camsız veya kaplamasız	Termal verim, %20-25, elektriksel verim, %10-12.	Deneysel ve simülasyon çalışma için rulo bağlı alüminyum emici şekli kullanılmıştır.
Khanjari vd., [61].	Nanoakışkan bazlı PV/T sistem	Termal verim %55, elektriksel verim %13.2	Nanopartiküllerin hacimsel oranını artırmanın verimi ve ısı transfer katsayısını artırdığını belirlenmiştir.
Sardarabadi ve Fard, [62].	Nanoakışkan bazlı PV/T sistem	Elektriksel verim deiyonize su, TiO ₂ /su, ZnO/su ve Al ₂ O ₃ /su için sırasıyla %5.48, %6.54, %6.46 ve %6.36 civarındadır. ZnO, su ve diğer iki nanoakışkana kıyasla en yüksek termal verime sahiptir	Nanopartiküllerin kütle fraksiyonunu ağırlıkça %0.05'ten %10'a çıkarmak, sistemin termal performansını yaklaşık dört kat artırmıştır.
Hu vd., [63].	Isı borulu PV/T sistem	Fitilsiz ve tel örgülü ısı borulu iki sistemin termal verimleri 40° optimum eğim açısında sırasıyla %52.8 ve %51.5 olarak bulunmuştur.	Fitilsiz ısı borusu eğim açısına daha duyarlıdır.
Faayaz vd., [64].	Nanoakışkan bazlı PV/T sistem	Nanoakışkan ve kanal kullanımı ile deneysel olarak elektriksel verimde %10.72 iyileşme, sayısal olarak %12.25 iyileşme sağlanmıştır. Termal verim sayısal olarak %81.24 deneysel olarak %79.1 olarak bulunmuştur.	Nanoakışkan kullanımı termal ve elektriksel verim artışında önemli bir etkiye sahiptir.

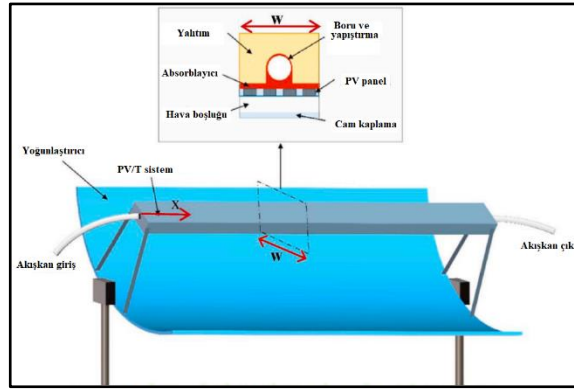
Çizelge 3.1. (Devam ediyor).

Araştırmacılar	Sistem tipleri	Sonuçlar	Anahtar noktalar
Karami ve Rahimi, [65].	Nanoakışkan bazlı PV/T sistem	PV yüzey sıcaklığı düz kanla tipinde 18.33 °C, sarmal tip kanal ile 24.22 °C azaltılmıştır. Düz kanal için elektriksel verim %20.57 sarmal kanal için %37.67 olarak bulunmuştur.	Nano partiküllerin ağırlık fraksiyonu PV sıcaklığını düşürmede oldukça önemlidir.
Al Waeli vd., [66].	Faz değiştiren malzemeli PV/T sistem	Önerilen sistemin maksimum %72 daha fazla termal kazanç sağladığı belirtilmiştir. Elektriksel verim PV modül için %7.1 iken PV/T sistem için %13.7 olarak belirlenmiştir.	PV modülünün çalışma sıcaklığı özellikle yoğun saatlerde 17 °C düşürülmüştür.
Joshi vd., [67].	Spektral ayırmalı PV/T sistem	Güneş hücresinin elektrik performansının su, hindistancevizi yağı ve silikon yağı spektrum filtreleri kullanılarak iyileştirildiği sonucuna varılmıştır.	Farklı akışkanların spektral ayırmadaki etkileri açıklanmıştır.
Agrawal ve Tiwari, [68].	Bina entegreli PV/T (BIPVT) sistem	Sistemin yıllık elektriksel ekserjisi 16.209 kWh, termal ekserjisi 1531 kWh olarak belirlenmiştir.	Paralel ve seri kombinasyonlardaki hava akışının PV/T performansına etkisi incelenmiştir.
Hasan vd., [69].	Jet çarpması bazlı PV/T sistem	PV/T sistemin Elektriksel verimi %12.75, termal verimi %85	SiC/su nanoakışkanlı PV/T sistemin gücü jet çarpmasız ve nanoakışkansız PV modülün gücünden yaklaşık %62.5 daha iyidir.

3.4. CPV/T SİSTEMLER

Bu kısımda tez çalışmasında kullanılan CPV/T kolektörün yoğunlaştırıcı kısmını oluşturan bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar ve CPV/T kolektörün bileşik parabolik yoğunlaştırıcı kolektör yapısı hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra su ve nanoakışkan ile soğutma uygulamalarından bahsedilecek ve son olarak CPV/T kolektörlerin uygulama alanlarından özellikle mahal ısıtma-soğutma uygulamaları örneklendirilecektir.

PV teknoloji, güneş termal teknoloji ve yansıtıcı veya kırılmalı güneş kolektörlerinin kombinasyonu, 1970'lerin sonlarından ve 1980'lerin başlarından beri araştırmacılar için oldukça çekici bir seçenek olmuştur [70]. Sonuç olarak güneş spektrumundan termal enerji ve elektrik enerjisi çıkarmak için CPV ve PV/T sistemlerin kombinasyonu olan CPV/T sistemler oluşturulmuştur (Şekil 3.24) [70,71]. CPV/T sistemin PV sisteminden farkı, güneş ışınımının düşük maliyetli optik elemanların kullanımı ile daha fazla elektrik üretmek için PV hücrelerinde yoğunlaştırılmasıdır [72]. CPV/T sistemlerde kullanılan PV hücrenin alanı, optik elemanların kullanımı ile azaltılmış olur. CPV/T sistemler elektriksel ve termal (PV hücrelerinden atık ısı geri kazanımı) enerji üretirler ve sistem toplam verimleri %60-80 arasındadır [71].



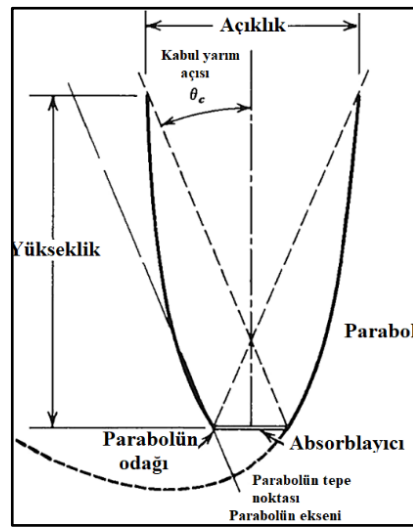
Şekil 3.24. CPV/T sistem örneği [47].

CPV/T sistemleri temel olarak yoğunlaştırıcı oranı ve yoğunlaştırıcı optiklerine dayalı olarak yapılandırılmıştır [71]. Termal olarak birleştirilmiş ısı geri kazanımlı CPV/T sistemlerinde düz yansıtıcı/dağılımlı yansıtıcılar, bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (CPC), doğrusal fresnel yansıtıcılar, parabolik oluk, çanak yansıtıcılar, kule helyostat, fresnel aynalar vb. dahil olmak üzere farklı optiksel sistemler kullanılır [24]. Optik sistemin yoğunlaştırıcı oranı sistem konfigürasyonunun önemli bir parametresidir ve termal sistem tasarımını, güneş hücre türünü, izleme sistemlerinin uygulanmasını, elektriksel ve termal performansını ve sistem maliyetlerini önemli ölçüde etkiler. CPV/T sistemler binalar için sıcak su, ürün kurutma, tuzdan arındırma, iklimlendirme, ve absorpsiyonlu soğutma dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılabilir [24,71].

Düşük yoğunlaştırıcı CPV/T türleri arasında bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (CPC), geniş kabul açısı, güneş difüz ışınımı toplama yeteneği ve yüksek optik verimi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [23,73].

3.4.1. Bileşik Parabolik Yoğunlaştırıcı (CPC)

Güneş enerjisi teknolojileri, herhangi bir enerji teknolojisi gibi, mümkün olan en düşük maliyetle enerji sağlamayı amaçlamaktadır. Bu, sistemlerin verimini artırarak veya yatırım maliyetini azaltarak ve aynı zamanda kurulum zemin alanını azaltarak gerçekleştirilebilir [74]. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri, bir açıklıktan geçen güneş ışınımı (hem direkt hem de difüz ışınımı) geniş sınırlar içindeki geliş açılı aralıkları üzerinden alıcıya yeniden yönlendirir (bu şekilde kabul açısı, θ_c tanımlanır). Düşük yoğunlaştırıcı oranlı sistemler için, difüz ışınımın bir kısmı yoğunlaştırıcının kabul açısına bağlı olan miktarla alıcıya yansıtılacaktır [35]. Bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (CPC), mevcut direkt ışınımı ve kısmi olarak difüz ışınımı alıcıya yansıtma yeteneğinden dolayı izleme sistemi gerektirmeyen görüntüsüz yoğunlaştırıcılardır. Rabl vd. göre, CPC yansıtıcılar, düz tek taraflı, düz iki taraflı, borulu ve kama absorblayıcı gibi farklı konfigürasyonlara sahip olabilir [75]. Simetrik, kesilmemiş tek taraflı absorblayıcı CPC'nin enine kesit görünümü Şekil 3.25'te verilmiştir.

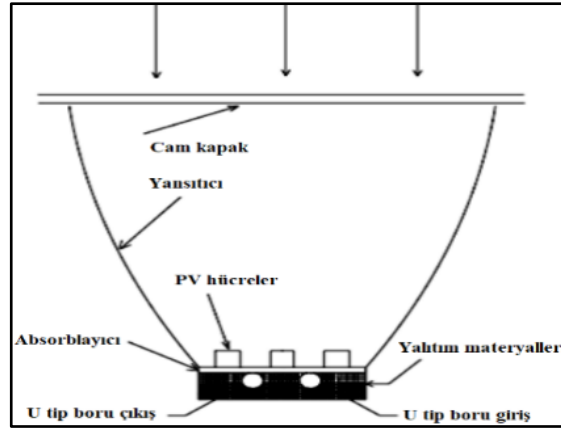


Şekil 3.25. Simetrik, kesilmemiş tek taraflı absorblayıcı CPC'nin enine kesit görünümü [35].

Duffie ve Beckman, açıklığın boyutu ($2a$) ile alıcının boyutu ($2a'$) arasındaki ilişkiyi yoğunlaştırıcı oranı (açıklık alanı ile alıcı alanı arasındaki oran olarak bilinir) olarak tanımlamıştır [35]. Ek olarak, CPC üst yansıtıcı yüzeyler birbirine paraleldir, bu nedenle absorblayıcıya ulaşan ışınım düşük bir katkı sağlar. CPC'ler için yoğunlaştırıcı oranı (YO) Eşitlik 3.16'daki gibi verilmektedir [76,77].

$$YO = \frac{2a}{2a'} = \frac{1}{\sin\theta_c} \quad (3.16)$$

Guiqiang vd., farklı CPC yoğunlaştırıcı oranlarında (1.5, 2, 2.5 ve 3), tek kristalli PV hücreleri ile oluşturulan CPC-PV/T sistemi ile düz PV/T sistemin verimini kıyaslamak için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. CPC-PV/T sisteminin şematik diyagramı Şekil 3.26'da verilmiştir.

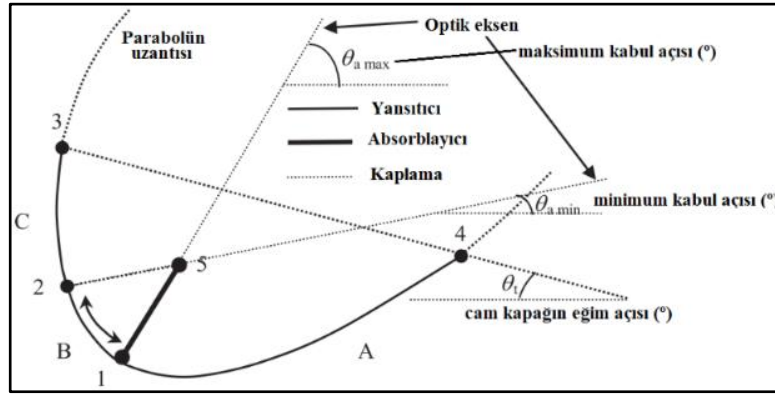


Şekil 3.26. CPC yoğunlaştırıcı oranı (1.5, 2, 2.5 ve 3) ile CPC-PV/T sisteminin şematik diyagramı [78].

Simülasyon çalışmaları sonucunda en yüksek toplam verimi yoğunlaştırıcı oranının 3 olduğu sistem için %78 olarak bulmuşlardır. Kullanılan CPC-PV/T kolektörün düz plakalı PV/T kolektörlere göre elektriksel ve termal performansını önemli ölçüde artırdığını ve CPC-PV/T sistemden elde edilen ısının mahal ısıtma ve su ısıtma uygulamaları için daha yüksek sıcaklıkta olduğunu belirtmişlerdir [78].

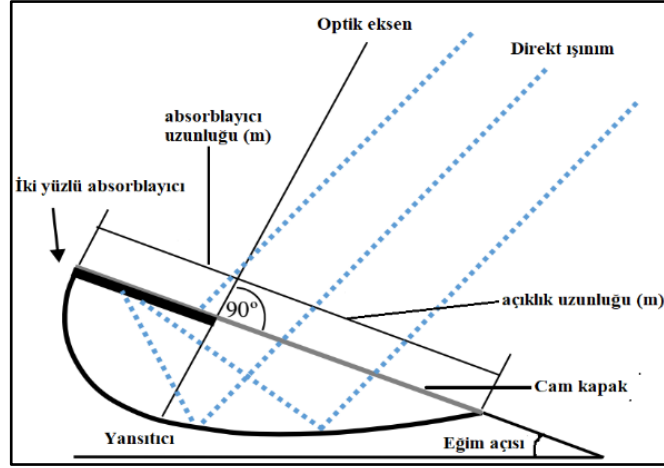
3.4.2. Maksimum Yansıtıcılı Asimetrik Bileşik Parabolik Yoğunlaştırıcı

Rabl, Mills ve Giutronich, ve Tripanagnostopoulos vd. tarafından asimetrik yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri üzerine birçok çalışma rapor edilmiştir. Bu çalışmalar “Maksimum Yansıtıcı Yoğunlaştırıcı” olarak adlandırılan yeni kesilmiş bir geometrinin ortaya çıkmasına neden olmuştur [79–81]. Adsten vd. tarafından bu geometrinin gelişmesi için metodoloji tarif edilmiştir [82]. Standart maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcı yapısı iki parabolik bölge (A ve C) ve bir dairesel bölgeden (B) oluşur (Şekil 3.27). Şekil 3.27’de gösterildiği gibi 1-2 noktaları arası dairesel bölgedir ve bu bölgenin fonksiyonu, absorblayıcıya ışığı yönlendirmektir. Farklı optik eksenlere sahip olan 1-4 (alt parabolik yansıtıcı) ve 2-3 (üst parabolik yansıtıcı) noktaları arası parabolik bölgelerdir. Bu eksenler ışınım kabul açısı ($\theta_{a\ min}$, $\theta_{a\ max}$) aralığını tanımlar. Işınım bu aralığın dışına düşerse, dairesel kısım (B), gelen direkt ışınımı absorblayıcıya yönlendirmez, bu da kolektörün optik veriminde azalmaya neden olur. Son olarak açıklık 3-4 (noktalı çizgi) camla kaplanır [83].



Şekil 3.27. Maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcı temel tasarımı [83].

Bu tez çalışmasında kullanılan CPV/T kolektörün yansıtıcı geometrisi de maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcı tasarımına göre yapılmış asimetrik bileşik parabolik kolektördür. Bu kolektörün geometrisi Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28. Asimetrik bileşik parabolik maksimum yansıtıcı yoğunlaştırıcının yandan kesit görüntüsü [83–85].

3.4.3. Düşük Yoğunlaştırıcılı Fotovoltaik/Termal (LCPV/T) Sistemlerde Soğutucu Akışkan Olarak Su Ve Nanoakışkanların Kullanımı

PV sistemlerde sıcaklığın performans üzerine olumsuz etkisi, CPV sistemlerde de bir dezavantajdır. PV ve CPV sistemlerine Şekil 3.22’de bahsedilen soğutma tekniklerinden biri uygulanarak CPV/T sistemler oluşturulur ve böylece bu olumsuz etki ortadan kaldırılır. CPV/T sistemlerden elde edilen atık ısı enerjisi birçok uygulamada kullanılabilir. Tez çalışmasında kullanılan CPV/T kolektörlerden ısının çekilmesinde %10 mono PG/%90 su karışımı ve hacimce %0.5 Al₂O₃/su nanoakışkanı çalışmanın kış uygulamasında ve düşük sıcaklıktaki kuyu suyu yaz uygulamasında kullanılmıştır. Isının çekilmesinde farklı akışkanlar ve teknikler kullanılmasına rağmen burada nanoakışkan ve su ile aktif soğutma tekniği üzerinde durulmuştur ve bu soğutma uygulamalarının kullanımı ile ilgili çalışmalar aşağıda örneklendirilmiştir.

Elminshawy vd., nanoakışkan bazlı soğutma kanalları ile donatılmış yeni geliştirdikleri düşük yoğunlaştırıcı fotovoltaik/termal sistem ile soğutmanın olmadığı PV modül ve su soğutmalı düşük yoğunlaştırıcılı fotovoltaik (LCPV) modül performansını kıyaslamışlardır. Çalışmada hacimce %1, %2 ve %3 konsantrasyonda hazırlanmış Al₂O₃/su nanoakışkanları ve 1.5 yoğunlaştırıcı oranına sahip bir yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. %3 Al₂O₃/su nanoakışkanı ile soğutmada PV modül sıcaklığının soğutulmayan modülünkünden 16.47 °C düşük olduğu ve çalışma

sıcaklığının test boyunca 45 °C'nin altında kaldığı belirtilmiştir. Sonuçlar, soğutulmamış LCPV modülünün günlük elektrik çıkış gücünün 1646.85 W olduğunu, su soğutma durumunda ise %13.58'lik iyileştirme ile 1870.55 W olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte, %3 Al₂O₃/su nanoakışkanı ile soğutmalı LCPV'nin güç çıkışının, sırasıyla su soğutmalı ve soğutmasız ile karşılaştırıldığında sırasıyla %24.02'lik ve %40.86'lık iyileştirme ile 2319.88 W olarak bulunmuştur. Sonuç olarak Al₂O₃ nanopartiküllerinin nanoakışkandaki hacim oranındaki artış ile LCPV modülünün işlem sıcaklığının önemli ölçüde azaldığı ve ayrıca hem elektriksel hem de termal verimin arttığı gözlemlenmiştir [21].

Radwan vd. yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmada, LCPV/T sistemler için nanoakışkan mikro kanallı ısı alıcı kullanılarak yeni bir soğutma tekniği geliştirmişler. Al₂O₃/su ve SiC/su nanoakışkanlarının farklı kütleli debileri ve nanopartiküllerin hacim fraksiyonlarının, farklı yoğunlaştırıcı oranı değerlerinde LCPV/T sisteminin performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, SiC/su nanoakışkanı ile soğutulan LCPV/T sistemdeki panel sıcaklığının Al₂O₃ ile olan soğutmadan daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak iki nanopartikül hacim fraksiyonunu artırmak LCPV/T sistemden elde edilen elektrik gücünde yaklaşık %19'luk artışlara ve hücre sıcaklığında 38 °C'ye kadar bir azalma olduğunu belirtmişlerdir [86].

El-Samie vd., soğutucu olarak su ve etilen glikol kullanan düşük yoğunlaştırıcı bir LCPV/T sistemin performansını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, bir test gününde, LCPV/T sisteminin toplam enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %57.66 ve %7.94'e kadar arttığı belirtilmiştir [87].

Dumrul vd. yaptıkları deneysel çalışmada, yoğunlaştırıcı oranı 1.4 olan LCPV/T kolektörün elektriksel ve termal performansına, üç farklı kütleli debilerde denenilen %10 mono PG/%90 su karışımı ve hacimce %0.5'lik Al₂O₃/su nanoakışkanının etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, LCPV/T kolektörden elde edilen en yüksek elektriksel gücün PG/su karışımı için 0.6 m³/sa debide 268.65 W olarak bulunmuşlardır. Sistemin toplam termal gücünü PG/su karışımı için ortalama 1223.45 W, nanoakışkan için 1096.42 W olarak hesaplamışlar ve bu termal güç değerlerinde toplam termal verimi her iki akışkan içinde ortalama yaklaşık %22 olarak

bulmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre sistemde kullanılan iki akışkanın benzer termal özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir [88].

Xu ve Kleinstreuer çalışmalarında, nanoakışkan bazlı ısı ekstraksiyon birimi kullanarak LCPV/T sistemin elektriksel ve termal performansını geliştirmek için sayısal bir model geliştirmişlerdir. PV hücrenin nanoakışkan çıkış sıcaklığı, kontrollü bir akış hızı ile 62 °C'ye ayarlanırsa, sistemin termal ve elektriksel veriminin sırasıyla %59 ve %11'e ulaşabileceğini ve toplam veriminde %70 olacağını belirtmişlerdir. Sonuçlar, nanoakışkanların kullanılması halinde, özellikle silisyum güneş hücreleri kullanıldığında sistemin elektriksel ve toplam veriminin iyileştirdiğini göstermiştir [89].

Lelea vd. yaptıkları çalışmada, Al₂O₃/su nanoakışkanını kullanarak bir LCPV/T sistemin sayısal simülasyon analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bu nanoakışkanın PV hücre performansını artırmak için çok etkili bir seçim olmadığı ve daha yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartikül kullanımının gerektiğini önermişlerdir [90].

Youssef vd., Tunus ve Chambery illeri iklim şartlarında nanoakışkan (su+Cu) kullanarak bir yoğunlaştırılmalı fotovoltaik/termal kolektörde enerji ve ekonomik performans değerlendirmesi için sayısal model oluşturmuşlar ve sistemin deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Sayısal sonuçlar ile deneysel çalışmalar kıyaslandığında sayısal model ile tahmin edilen çıkış gücünün deneysel veri ile uyum içerisinde olduğu ve ayrıca nanoakışkandaki nanopartikül konsantrasyonunun %0 dan %0.2'ye artırıldığında termal ve elektriksel verimde sırasıyla yaklaşık %15 ve %0.2'lik artış sağladığını belirtmişlerdir. Son olarak; Tunus ve Chambery şartları altında CPV/T sistemi için ekonomik açıdan verimleri incelendiğinde Tunus için %35 Chambery için %38 olduğu bulunmuştur [91].

Srivastava ve Reddy, CPC ile birleştirilmiş ve birleştirilmemiş parabolik oluk kolektörlü (PTC) CPV/T sistemin farklı konfigürasyonlarını Fluent 16.1 programı kullanarak sayısal olarak çalışmışlardır. Çalışmada Al₂O₃/su, Syltherm 800, Therminol VP-1 ve Therminol VP-59 akışkanlarının performans üzerine etkisini

araştırmışlardır. Syltherm 800 kullanıldığında maksimum termal çıktı 2592.42 W, en yüksek elektriksel çıktı ise hacimce %1 Al₂O₃/su nanoakışkanı kullanıldığında 692.2 W olarak bulunmuştur [92].

Rahbar vd., Ag/su nanoakışkanının CPV/T sistem üzerine etkisini araştırmak için bir matematiksel model geliştirmişler ve bu modelin sayısal çözümlemesini Mühendislik Denklem Çözücü (EES) programında yapmışlardır. Nanoakışkanı, CPVT sistem için soğutucu akışkan ve ayrıca yalnızca yararlı güneş spektrumunu elde etmek için bir optik filtre olarak kullanmışlardır. Nanoakışkanın soğutucu olarak kullanımı ile CPV/T sistem veriminde önemli derecede artış gözlemişlerdir. Yoğunlaştırıcı oranı 7'nin üzerinde olduğunda elektriksel, termal ve toplam verimi sırasıyla %1.8, %3.3 ve %5.1 olarak bulmuşlardır [93].

Nanoakışkanlar ile ilgili bütün bu çalışmalar incelendiğinde çalışmalarda neden soğutucu akışkanlar olarak nanoakışkanların seçildiğini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- **Termal iletkenlik:** Nanoakışkan kullanıldığında termal iletkenlikte anormal artış gözlenir.
- **Termal yayılma:** Nanoakışkan kullanıldığında ısı yayılımı artar, böylece ısı transfer oranı artar.
- **Viskozite:** Nanopartikül ilavesinden dolayı viskozitedeki artış, termal özelliklerin gelişmesine neden olur.
- **Taşınım ile ısı transfer katsayısı:** Taşınım ile ısı transfer katsayısı nanoakışkan kullanıldığında artar.
- **Yüzey alanı/hacim oranı:** Nanopartiküller genellikle; temel akışkan ve katı partikül arasındaki ısı transferini artıran geniş yüzey alanı/hacim oranına sahiptir.
- **Yüksek absorpsiyon katsayısı:** Su gibi geleneksel akışkanın yerine nanoakışkan kullanınca elde edilen bir özelliktir.
- **Kayıplarda azalma:** Nanoakışkan kullanınca, absorblayıcı plaka ile nanoakışkan arasındaki ısı transferindeki artışa bağlı olarak ışıma ve taşınım kayıpları azalır [94].

Koronaki ve Nitsas yaptıkları çalışmada, seri bağlı asimetrik CPC yoğunlaştırıcı beş CPV/T kolektörün performansını farklı aylarda deneysel ve matematiksel olarak incelemişlerdir. LCPV/T kolektörlerden ısıyı çekmek için akışkan olarak su kullanılmıştır. Model ve deneysel sonuçlar arasındaki ortalama sapmanın %4.8 olduğunu ve bu değer ekipman doğrulukları ve model varsayımları dikkate alındığında kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Seri bağlı güneş kolektörlerinden; yazın yaklaşık 2.2 kW, bahar 2.8 kW ve güz 2.6 kW faydalı enerji elde ettiklerini ve sonuç olarak kolektörlerin yaza kıyasla baharda ve güzde daha verimli çalıştığını belirtmişlerdir [95].

Yang vd. yaptıkları çalışmada, düz paneller ile yoğunlaştırıcı oranı 8 olan LCPV/T panellerin performansını karşılaştırmak için bir prototip deney düzeneği hazırlamışlar ve kurmuşlardır. LCPV/T panellerde panelin arkasına yerleştirilen iki alüminyum borudan ısıyı uzaklaştırmak için soğutucu akışkan olarak suyu kullanmışlardır. Sonuç olarak, incelenen CPVT sistemin elektriksel veriminin %16.6-20 aralığında ve toplam verimin yaklaşık %59 olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca güneşli günlerde LCPV/T panellerin düz panellere kıyasla beş kat güç artışı sağladığını belirtmişlerdir [96].

Diğer bir çalışmada Brogren ve Karlsson farklı konfigürasyonlara sahip CPC bazlı LCPV/T sistemlerini tasarlamışlar ve performanslarını tayin etmişlerdir. İlk tasarım konut cephe entegrasyonu, ikincisi ise konut zemin montajı uygulaması için yapılmıştır. İlk tasarım için yoğunlaştırıcı oranı 3, ikinci tasarım için yoğunlaştırıcı oranı 4.3 ve kabul açısı 22.5 olan yoğunlaştırıcılar kullanmışlardır. Sonuçlar, 3X tasarımı için yaklaşık %60'lık bir optik verim, elektrik gücü çıktısının yılda 200 kWh/m², termal güç çıktısının ise yılda 510 kWh/m² olduğunu göstermiştir. Bu tasarım için soğutma suyu çıkış sıcaklığının ortalama 50 °C olduğu belirtilmiştir. 4.3X tasarımı için ise, yılda yaklaşık 200 kWh/m² elektrik ve 800 kWh/m² termal güç çıktısı elde ettiklerini belirtmişlerdir. Önerilen sistemlerin konut uygulamalarında hem elektriksel hem de termal açıdan katkı sağlayacağı bildirilmiştir [97].

He vd., konsantrasyon oranı 2'den daha az olan bir difüz-yansımaya yoğunlaştırıcıyı su soğutmalı PV/T sistemine uygulamışlardır. Sistemin elektriksel ve termal çıktılarını düz tabaka PV/T kolektörden elde edilen elektriksel ve termal çıktılar ile

karşılaştırmışlar ve performanstaki farkları belirtmişlerdir. Sonuçlar, yoğunlaştırıcı sistemde gelen ışınının test süresi boyunca %26 daha fazla olduğunu ve bu sistemde dolaşan su sıcaklığının 58 °C'ye kadar ulaştığını, düz tabaka PV/T sisteminde ise su sıcaklığının 46 °C'ye çıkabildiğini göstermiştir. Ayrıca yoğunlaştırıcı sistemde maksimum güç çıktısının %11 oranında arttığını bildirmişlerdir [98].

Nasseriyan vd. yaptıkları çalışmada, asimetrik CPC yoğunlaştırıcı LCPV/T kolektörün PV hücre çalışma sıcaklığının elektriksel ve termal performans üzerine etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. PV hücre ve ısı transfer akışkan sıcaklığı, akış hızı ve ışınım ölçümünün yapılabildiği bir deney düzeneği Gavle Üniversitesinde (İsveç) kurulmuştur. LCPV/T kolektörden akışkan geçirilmediğinde hücre sıcaklığının 105 °C'ye kadar çıktığı ve bununda elektriksel verimde %32'lik bir azalışa neden olduğu belirtilmiştir. Ortalama 2.2 l/dk akış hızı ve 35.1 °C sıcaklığa sahip ısı transfer akışkanı suyun kolektörlerin hücre sıcaklığını 42 °C'ye kadar düşürebildiği ve bu düşüşün elektriksel verimde %25'lik bir artış sağladığı açıklanmıştır. Sonuç olarak akışkan hızı 2.2 l/dk olduğunda maksimum kolektör termal ve elektriksel verimin sırasıyla %52 ve %13 olduğu ve deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir [99].

Bahaidarah vd., düz su soğutmalı ve soğutmasız PV sistem ile su soğutmalı ve soğutmasız yoğunlaştırıcı oranı 2.3X olan PV-CPC sistemlerin performans kıyaslamasını yapmak için deneysel ve sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar soğutmalı PV sistemden elde edilen maksimum güç çıktısının soğutmasız göre yaklaşık %49'luk bir artışla 21 W olduğunu göstermiştir. PV-CPC sisteminin soğutmalı maksimum güç çıkışı, soğutmanın olmadığı durumda elde edilen gücün yaklaşık iki katı olan 34 W değerinde bulunmuştur. Sonuçlar, PV hücrelerinin soğutulmasının sistemin güç çıkışını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. PV-CPC sisteminin güç çıkışının, soğutmalı ve soğutmasız düz PV sistemlerinkinden sırasıyla %39 ve %23 daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Düz PV sistemler için maksimum güç çıktılarının sayısal ve deneysel sonuçları soğutmalı ve soğutmasız sistemler için kıyaslandığında sırasıyla %5 ve %7'lik bir fark gözlemlendiği, PV-CPC soğutmalı ve soğutmasız sistemlerde ise bu farkın sırasıyla %9 ve %11 olduğu belirtilmiştir [100].

Zhang vd. yaptıkları çalışmada, yoğunlaştırıcı oranı 4 olan LCPV/T sisteminin performans analizini yapmak için, LCPV/T sistemi ve geleneksel düz plaka PV/T sistem prototipi kurmuşlar ve sabit akış hızı koşulu altında ısı transfer akışkanı olarak suyu kullanarak, deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, düz plakalı PV/T sisteminin ve LCPV/T sisteminin maksimum termal güçlerinin sırasıyla 1198.71 W ve 2247.95 W ve elektriksel güçlerinin sırasıyla 83.20 W ve 459.19 W olduğunu göstermiştir. Analiz sonuçlarına göre LCPV/T sistemin elektriksel ve termal gücünün düz plakalı sisteme göre sırasıyla 3 ve 1.9-2 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir [101].

3.4.4. CPV/T Kolektörlerin Uygulamaları İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Atık ısı geri kazanım CPV/T sistemlerinden elde edilen termal enerji, kullanım sıcak suyu, bölgesel ısıtma, klima, absorpsiyonlu soğutma, termal tuzdan arındırma, organik rankine çevrimi vb. uygulamalar için kullanılabilir ve aşağıda bu tür çalışmalara örnekler verilmiştir. Öte yandan CPV/T sistemlerden elde edilen elektrik enerjisi, bir termal sistemin yardımcı cihazlarını çalıştırmak veya termal işlemlerle kolayca birleştirilebilen uygulamaları çalıştırmak için kullanılabilir. Tez çalışmasında CPV/T kolektörlerden çekilen atık ısı mahal ısıtma uygulamasında kullanılmıştır.

Dumrul vd. yaptıkları çalışmada, soğuk günlerde hem bir odanın ısıtma ihtiyacını karşılamak hem de sistemde kullanılan ekipmanların elektrik ihtiyacını karşılamak için iki adet LCPVT kolektör kullanarak bir prototip sistem kurmuşlardır. Deneyler süresince odanın ısıtılmasında kullanılan fan-coil hava çıkış sıcaklığının invertör ve proses kontrol cihazı ekipmanı ile 35 °C ye ayarlandığı belirtilmiştir. Ortalama güneş ışınımının 1056 W/m² olduğu ve dış hava sıcaklığının en düşük 8 en yüksek 26 °C arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığının 33 °C olduğunu belirlemişlerdir. Deneysel sistemin uygulandığı bölge itibariyle, soğuk havalarda mahal ısıtma uygulamaları için kullanılabilir olduğu bildirilmiştir [88].

Calise vd. yaptıkları çalışmada, CPV/T bağlantılı klima santralinin simülasyon analizini TRNSYS programı ile gerçekleştirmişlerdir. CPV/T sisteminin 80-100 °C arasında sıcak su üretebildiği belirlenmiştir. Üretilen elektrik, yardımcı cihazları çalıştırmak için kullanılırken, termal enerji yazın yenilenme havasını, kışın ise proses

havasını ısıtmak için kullanılmıştır. Fazla elektrik ve ısı sırasıyla şebekeye ve kullanım sıcak suyu üretimine verilmiştir. CPVT'nin yıllık termal ve elektriksel verimleri sırasıyla %21.15 ve %55.32 bulunmuştur. CPV/T'nin elektrik talebinin %70'inden fazlasını, yazın yenilenme enerjisinin %60'ını ve kışın proses havası ısıtma enerjisinin %30'unu karşıladığı belirtilmiştir. Geleneksel bir klima santrali ile karşılaştırıldığında, CPVT klima sisteminin %81-%89 arasında birincil enerji tasarrufu sağladığı bildirilmiştir [102].

Bernardo vd. yaptıkları çalışmada, 7.8X yoğunlaştırıcı oranlı LCPV/T kolektör kullanarak kullanım sıcak suyu elde etmek amacıyla deneysel bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sistemde dolaştırılan suyun 77 °C' ye kadar sıcaklığının arttığı ve sistemin termal veriminin yaklaşık %45 olduğu belirtilmiştir. Kurulu sistemin kullanım sıcak suyu veya havuz ısıtma sistemlerinde kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir [103].

Xu vd., hem elektriksel hem de termal olarak bir ısı pompası sistemi ile entegre edilen yeni LCPVT sistemini analiz etmiştir. Deneysel sonuçlar, çıkış elektrik veriminin %17.5 olduğunu ve sistemin suyu 30 °C'den 70 °C'ye kadar ısıttığını göstermiştir. Üretilen sıcak suyun, kullanım sıcak suyu temini, alan ısıtma veya bir güneş enerjisi soğutma sisteminde kullanılabileceği bildirilmiştir [104].

3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMLERİ

Pompalar, endüstriyel prosesler, sulama ve içme suyu ihtiyacını karşılamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar esas olarak fosil yakıtlardan elde edilen elektrik tarafından sürülürler [105]. Güneş PV sistemlerini su pompaları ile entegre etme fikri, dünya çapında birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir [106]. Tez çalışmasının yaz uygulamasında güneş enerjili sulama sistemi ile elde edilen kuyu suyu ile mahal soğutma uygulaması yapılmıştır. Literatürdeki güneş enerjili sulama sistemleri ve bu sistemlerin iklimlendirme uygulamalarındaki kullanımı ile ilgili çalışmalara benzer örnek çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Renu vd., uygulanan bölgenin ışınlam ve sıcaklık koşullarını kullanarak, su tabakasının yüksekliğine ve pompanın çalışma noktasına dayalı olarak PV destekli pompaların performans optimizasyonu için bir metodoloji önermişlerdir. Sonuçlar 50 m yükseklikte AC dalgıç pompaların, DC dalgıç pompadan daha verimli ve yaklaşık 30 m yükseklikte ise dalgıç DC pompaların AC pompalardan daha iyi performansta çalıştığını göstermiştir. PV destekli pompalama sistemlerinin performans analizi sonucunda dalgıç AC pompaların %28-65 aralığında, DC pompaların ise %38-60 aralığında verim gösterdikleri bulunmuştur [107].

Ramulu vd., yaptıkları çalışmada PV beslemeli üç fazlı asenkron motor tahrikli sulama sistemi için tek aşamalı bir çözüm sunmuştur. Önerilen sistemin PV kaynağı ile asenkron motor için daha iyi performans sağladığı sonucuna varmışlardır [108].

Bataineh, sulama pompalarına güç sağlamak için bir güneş enerjisi sisteminin performansını araştırmıştır. Mayıs ayı için optimum pompa veriminin %14, temmuz ayı için ise %18'e eşit olduğunu belirtmiştir [109].

Daud ve Mahmoud, bir çöl kuyusunda işletilen güneş enerjisiyle sürülen su pompasının enerji performansını incelemiştir. Sonuç olarak güneş enerjili su pompasının genel veriminin %3'ü aştığını belirtmişlerdir [110].

Sontake ve Kalamkar, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin tiplerini ve yıllar içindeki gelişim sürecini kapsamlı olarak değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda güneş enerjili sulama sistemlerinin içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için iyi bir alternatif olabileceğini rapor etmişlerdir [111].

Arghand vd., fan-coil uygulaması ile bir mahalın doğrudan yeraltı suyu ile soğutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Mahale 3 °C'den daha yüksek soğutma sağlayabilmek için besleme yeraltı suyundaki sıcaklık değişiminin yaklaşık 2.2 °C olduğu sonucuna varmışlardır [112].

Zhao vd., yaptıkları çalışmada soğuk soğutma suyu beslemeli fan-coil ünitesinin bir kapalı alanı soğutmak üzerindeki termal performansını incelemeyi amaçlamışlardır.

Besleme suyunun sıcaklığının yaklaşık 5 °C artması ile taze hava beslemesinin yaklaşık 4 °C soğuma sağladığını belirtmişlerdir [113].

BÖLÜM 4

TEZ ÇALIŞMASININ ENERJİ, EKSERJİ, BELİRSİZLİK VE ÇEVRESEL MALİYET ANALİZİ

4.1. ENERJİ ANALİZİ

Genel olarak enerji, bir nesnenin farklı formlara dönüşerek iş yapmasını sağlayan bir özellik olarak tanımlanır. Enerji analizi, prosesin çalışma performansını incelemek için termodinamiğin temel yasaları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Termodinamik analizde, enerji formları makroskobik ve mikroskobik olarak iki gruba ayrılabilir. Makroskobik enerji formları, bir sistemin kinetik ve potansiyel enerjiler gibi bazı dış referans çevresine göre bir bütün olarak sahip olduğu formlardır. Kinetik ve potansiyel enerji, sistemin bulunduğu ortama bağlıdır ve yerçekimi, elektrik, yüzey gerilimi ve manyetizma gibi birçok dış etkiden etkilenir. Enerjinin mikroskobik formları, bir sistemin moleküler yapısı ve moleküler aktivitenin derecesi ile ilgilidir ve dış referans çevreden bağımsızdırlar. Tüm mikroskobik enerji biçimlerinin toplamına bir sistemin iç enerjisi denir. Bir sistemin iç enerjisi, sistemdeki malzemelerin bileşim ve fiziksel form gibi doğal niteliklerine veya özelliklerine ve ayrıca sıcaklık, basınç, elektrik alanı, manyetik alan, vb. çevresel değişkenlere bağlıdır. Bu nedenle, sistemle ilişkili enerjinin mutlak değerini ölçmek zordur, ancak çeşitli güneş enerjisi sistemlerinin enerji analizinde enerjinin değişimi dikkate alınır [114–116]. Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin korunumu kanunudur ve sadece enerji miktarıyla ilgilidir. Genel olarak sistem enerji analizinde birinci kanun dikkate alınır [116–118].

Bu tez çalışması için tasarlanan sistemin enerji analizinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Sistemin termal enerji kazanımı, fan-coil içerisinde geçen havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek Eşitlik 4.1'den hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_\zeta - T_g) \quad (4.1)$$

Eşitlikte; \dot{m}_h , fan-coilde sirküle olan havanın kütleli debisi (kg/s), c_{ph} , sirküle olan havanın özgül ısı (J/kg °C) ve T_g ve T_ζ sirküle olan havanın fan-coil giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır. Fan-coilde sirküle olan havanın kütleli debisi;

$$\dot{m}_h = \rho_h \cdot v_h \cdot A \quad (4.2)$$

Eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; ρ_h havanın yoğunluğu (kg/m³), v_h fan-coil'den havanın çıkış hızı (m/s) ve A fan-coil çıkış kanalının kesit alanıdır (m²).

Sistemde birbirine paralel olarak bağlı CPV/T kolektörler Sumry 3KVA 2400 W akıllı tam sinüs solar invertöre bağlanmıştır ve invertörden okunan akım voltaj değerleri ile kolektörlerden elde edilen elektriksel enerji kazanımı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{net} = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (4.3)$$

Eşitlikte V_{oc} , paralel bağlı kolektörlerin açık devre voltajı (V) ve I_{sc} , kısa devre akımıdır (A) [119].

Sistemden elde edilen toplam yararlı termal enerji aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{u,toplam} = \dot{Q}_u + \frac{\dot{E}_{net}}{C_{güç}} \quad (4.4)$$

Eşitlikte $C_{güç}$ elektriksel enerji kazanımını termal enerji kazanımına dönüştürmek için kullanılır. $C_{güç}$, kömürün kalitesine bağlı olarak ısı güç santrali dönüşüm faktörüdür. Kül oranı düşük kaliteli bir kömür için $C_{güç}$ 0.38 olarak kabul edilebilir ve bu değer 0.2 ile 0.4 arasındadır [119,120].

Sistemin toplam termal enerji verimi Eşitlik 4.5'te verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\eta_{toplam(termal)} = \frac{\dot{Q}_{u,toplam}}{(A_{kolektör} \cdot I_{(t)} \cdot YO) + \dot{Q}_{harcanan}} \quad (4.5)$$

Eşitlikte $A_{kolektör}$, kullanılan iki CPV/T kolektörün toplam alanını (m^2), I_t , kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım (W/m^2), YO , yoğunlaştırıcı oranı ve $\dot{Q}_{harcanan}$ kış uygulamasında sistemde kullanılan fan-coil ve pompa tarafından tüketilen enerji ($W_{fan\ coil} + W_{pompa}$), yaz uygulamasında ise fan-coil, pompa ve lamba tarafından tüketilen enerjidir ($W_{fan\ coil} + W_{pompa} + W_{lamba}$) (W).

Sistemin toplam elektriksel enerji verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir [121].

$$\eta_{toplam(elektriksel)} = \frac{\dot{E}_{net}}{(A_{kolektör} \cdot I_{(t)} \cdot YO) + \dot{Q}_{harcanan}} \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6'daki yoğunlaştırıcı oranı ve yoğunlaştırılmış ışınım sırasıyla Eşitlik 4.7 ve Eşitlik 4.8'den hesaplanmıştır [95].

$$YO = \frac{1}{\sin(\theta_c/2)} \quad (4.7)$$

Burada θ_c kolektörün kabul açısıdır ve Şekil 3.29'da gösterildiği gibi 90° dir.

$$YI = YO \cdot I_{(t)} \quad (4.8)$$

4.2. EKSERJİ ANALİZİ

Enerji analizi, termodinamiğin birinci yasasına ve ekserji analizi, termodinamiğin ikinci yasasına dayanır. Ekserji analizi, enerji ve diğer sistemlerin analizi, tasarımı ve iyileştirilmesi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu ilkelerini kullanan bir tekniktir. Ekserji analizi, sadece enerjinin nicel bir analizini veren enerji analizinin aksine, enerjinin nicel analizini aynı zamanda nitel analizini de verir. Ekserji, bir referans çevreyle dengeye geldiğinde bir sistem, madde veya enerji akışı tarafından üretilebilecek maksimum iş miktarı olarak tanımlanır. Enerjiden farklı olarak, ekserji bir korunum yasasına tabi değildir (ideal

veya tersinir süreçler hariç). Aksine, herhangi bir gerçek süreçteki tersinmezlikler nedeniyle ekserji tüketilir veya yok edilir. Bir süreç sırasındaki ekserji tüketimi, süreçle ilişkili tersinmezliklerden dolayı oluşan entropi ile orantılıdır. Ekserji, herhangi bir gerçek süreçte korunmayan, kısmen yok edilen veya kaybedilen enerjinin kalitesinin bir ölçüsüdür. Ekserji analizi için referans ortamın özellikleri belirtilmelidir. Bu genellikle referans çevrenin sıcaklığı, basıncı ve kimyasal bileşimi belirtilerek yapılır. Sonuç olarak, ekserji analizlerinin sonuçları, belirtilen referans ortamına göredir. Referans çevre ile dengede olan bir sistemin ekserjisi sıfırdır [118].

Ekserji analizinde, farklı güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve analizi için hem kütle hem de enerji korunumu ilkeleri birlikte uygulanabilir. Süreçte meydana gelen çeşitli kayıpların idealliği, yeri, türü ve büyüklüğü belirlenebilir ve buna göre giderilebilir. Bu nedenle optimum tasarım, kaynak kullanımı, sürdürülebilirlik ve çevrenin enerji üzerindeki etkisi ekserjetik analiz yoluyla araştırılabilir [117].

Ekserji analizi, toplam ekserji girişinin, ekserji çıkışının ve yok olan ekserjinin hesaplanmasını içeren termodinamiğin ikinci yasasına dayanmaktadır. Sistemin yaz ve kış uygulamasında ekserji analizi için aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır. Genel olarak CPV/T kolektör için ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılır,

$$\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{çıkan} = \sum \dot{E}x_{yokolan} \quad (4.9)$$

veya,

$$\sum \dot{E}x_{giren} - \sum (\dot{E}x_{termal} + \dot{E}x_{elektriksel}) = \sum \dot{E}x_{yokolan} \quad (4.10)$$

Eşitlik 4.10'daki gibi yazılabilir. Bu eşitlikteki çıkan ekserji, elektriksel ekserji ve termal ekserjinin toplamına eşittir ve aşağıdaki eşitlikle verilir [122].

$$\sum \dot{E}x_{çıkan} = \sum \dot{E}x_{termal} + \sum \dot{E}x_{elektriksel} \quad (4.11)$$

Sistemin ekserji girişi güneş ışınım ekserjisine eşittir ve ışınım enerjisi, hava sıcaklığı ve güneş yüzey sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [123].

$$\Sigma \dot{E}x_{giren} = I_{(t)} \cdot YF \cdot A_{kolektör} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{güneş}}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{güneş}}} \right)^4 \right] \quad (4.12)$$

Eşitlikte $T_{\text{çevre}}$, çevre sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$) ve $T_{\text{güneş}}$ güneş yüzey sıcaklığıdır (5777 K).

Sistemin termal ekserjisi $\dot{E}x_{\text{termal}}$, PV modülü üzerinden çevreye olan ısı kaybı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{\text{termal}} = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot \left\{ (T_{\text{ç}} - T_g) - (T_{\text{çevre}} + 273) \ln \left(\frac{T_{\text{ç}} + 273}{T_g + 273} \right) \right\} \quad (4.13)$$

Eşitlikte \dot{m}_h , fan-coil de sirküle olan havanın kütleli debisi (kg/s), c_{ph} , sirküle olan havanın özgül ısısı (J/kg $^{\circ}\text{C}$) ve T_g ve $T_{\text{ç}}$ sirküle olan havanın fan-coil giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır ($^{\circ}\text{C}$) ve $T_{\text{çevre}}$, çevre sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$) [119,120].

Elektriksel ekserji aşağıdaki gibi hesaplanabilir [118].

$$\dot{E}x_{\text{elektriksel}} = \dot{E}_{\text{net}} = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (4.14)$$

Ekserji verimi, çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranı olarak verilir;

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{\dot{E}x_{\text{çıkkan}}}{\dot{E}x_{\text{giren}}} \quad (4.15)$$

eşitliği ile hesaplanabilir [121].

4.3. ÇEVRESEL MALİYET (ENVİROEKONOMİK) ANALİZİ

Günümüzde ağırlıklı olarak kullanılan fosil yakıtlar, atmosfere salınan CO₂ miktarını artırmaktadır. Atmosferde artan CO₂ miktarının sonucu olarak, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları çözmek ve dünya çapında CO₂ emisyonlarını azaltmak için birçok ülke önlemler almaktadır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen çevresel maliyet analizi CO₂ emisyon fiyatı üzerinden yapılmaktadır.

Çalışmada, yaz ve kış uygulaması için kurulan düşük yoğunlaştırıcılı fotovoltaik/termal sistemin kullanılması ile sağlanan CO₂ emisyon azaltım miktarı Eşitlik 4.16 kullanılarak hesaplanmıştır [15].

$$\varphi_{CO_2} = \Psi_{CO_2} \cdot \dot{Q}_{u,toplam} \quad (4.16)$$

Eşitlikte Ψ_{CO_2} , elektrik üretilirken kömürden açığa çıkan ortalama CO₂ miktarını gösterir. Literatürdeki çalışmalar incelenerek bu değer 2.08 kg CO₂/kWh olarak alınmıştır [124–126]. Eşitlikte $\dot{Q}_{u,toplam}$, sistemden elde edilen toplam yararlı termal enerjidir.

Sistemin çevresel maliyet değeri Eşitlik 4.17 kullanılarak hesaplanabilir [15].

$$Z_{CO_2} = z_{CO_2} \cdot \varphi_{CO_2} \quad (4.17)$$

Eşitlikte z_{CO_2} , uluslararası karbon fiyatıdır ve 13 \$/tCO₂ ile 16 \$/tCO₂ arasında değişmektedir [127,128]. Hesaplamalarda bu değer 14.5 \$/tCO₂ olarak alınmıştır.

4.4. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Belirsizlik analizi, deneylerden elde edilen verilerin doğruluğunu belirler. Kış ve yaz uygulaması deneylerinde kaydedilen değerlerin doğruluğunu ispatlamak için belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik değerleri, deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının standart sapma değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$X_m = \frac{1}{N} \cdot \sum X_i \quad (4.18)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \cdot \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (4.19)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (4.20)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (4.21)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (4.22)$$

Yukarıdaki eşitliklerde X_m deneysel ölçümün aritmetik ortalamasını, X_i yapılan gözlemleri, N gözlemlerin sayısını, a hassasiyeti, S standard sapma ve U belirsizliği gösterir. Sistemde ölçülen değerler için Eşitlik 4.22 kullanılarak belirsizlik analizi yapılmıştır [129–132]. Deneysel sistemin kış ve yaz uygulamasında ölçülen parametrelerde kullanılan cihazlar için belirsizlik değerleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sistemin kış uygulamasında kullanılan cihazların belirsizlik değerleri.

Cihaz	Ölçülen değer	Belirsizlik
EKO Piranometre MS-602	Güneş ışınımı	$\pm 9.73 \text{ W/m}^2$
Pico USB TC-08 veri kaydedici	Sıcaklık	$\pm 0.22 \text{ }^\circ\text{C}$
Ordell PC440 Proses kontrol cihazı	Sıcaklık	$\pm 0.37 \text{ }^\circ\text{C}$
Sumry 3KVA 2400 W akıllı tam sinüs solar invertör	Akım ve voltaj	Voltaj için $\pm 0.13 \text{ V}$, Akım için $\pm 0.12 \text{ A}$
HoldPeak HP-846A Digital Anemometre	Hava hızı	$\pm 0.08 \text{ m/s}$
Bass instruments inline paddlewheel türbin tipi analog debimetre	Akışkan akış hızı	$\pm 0.07 \text{ L/dk}$

Çizelge 4.2. Sistemin yaz uygulamasında kullanılan cihazların belirsizlik değerleri.

Cihaz	Ölçülen değer	Belirsizlik
EKO Piranometre MS-602	Güneş ışınımı	$\pm 8.08 \text{ W/m}^2$
Pico USB TC-08 veri kaydedici	Sıcaklık	$\pm 0.13 \text{ }^\circ\text{C}$
Ordell PC440 Proses kontrol cihazı	Sıcaklık	$\pm 0.07 \text{ }^\circ\text{C}$
Sumry 3KVA 2400 W akıllı tam sinüs solar invertör	Akım ve voltaj	Voltaj için $\pm 0.08 \text{ V}$, Akım için $\pm 0.13 \text{ A}$
HoldPeak HP-846A Digital Anemometre	Hava hızı	$\pm 0.04 \text{ m/s}$
Bass Instruments Inline Paddlewheel türbin tipi analog debimetre	Akışkan akış hızı	$\pm 0.09 \text{ L/dk}$

BÖLÜM 5

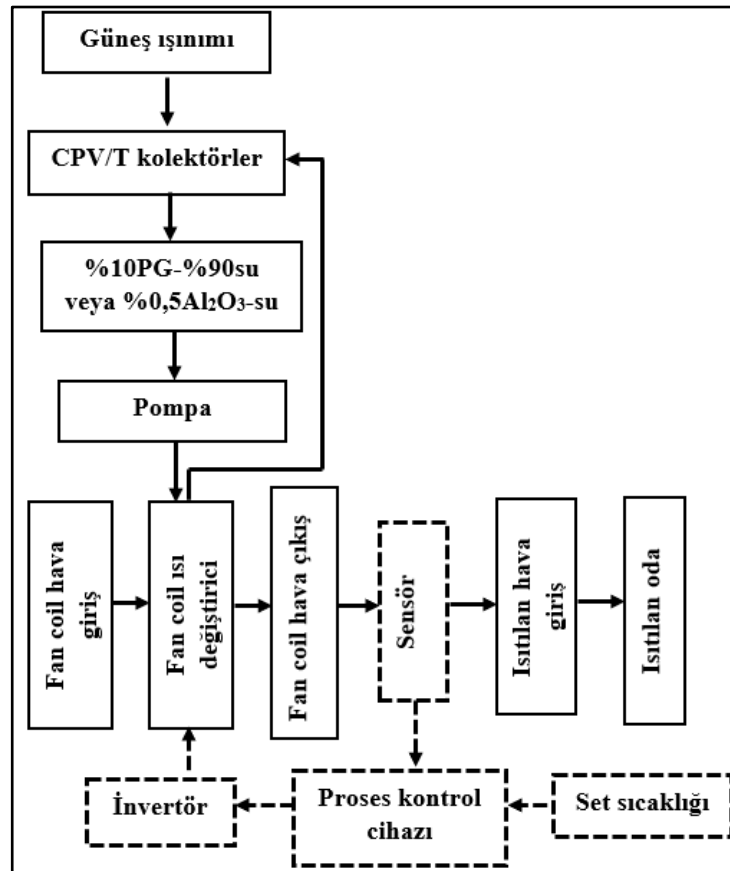
MATERYAL VE METOD

5.1. DÜŞÜK YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEM İLE MAHAL ISITMA UYGULAMASI (KIŞ UYGULAMASI)

5.1.1. Tasarım Ve Çalışma Prensibi

Enerjide fosil yakıtlara bağımlılığı ve bu tür yakıtların çevreye olumsuz etkilerini en aza indirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Günümüz dünyasında enerji ülke politikalarını önemli ölçüde etkilemektedir. Güneş ışınımını üst seviyede alan bir ülke olarak güneş enerjisinin kullanımı ve teknolojilerinin geliştirilmesi ülkemizdeki enerji çeşitliliği ve enerjideki dışa bağımlılığı azaltma açısından oldukça önemlidir. CPV/T kolektörler gibi güneş enerjisinden hem elektriksel hem de termal olarak faydalanmayı maksimuma çıkarabilecek teknolojilerin kullanımı büyük öneme sahiptir. CPV/T sistemlerden elde edilen ısı mahal ısıtma, ürün kurutma, soğutma vb. birçok uygulamada kullanılmaktadır. Aynı zamanda elde edilen elektrik hem on-grid hem de off-grid sistemlerde kullanılmaktadır. Güneş ışınımının daha çok difüz ve yayılmış olarak yeryüzüne ulaştığı ve güneşlenme süresinin daha az olduğu kış aylarında geleneksel PV/T sistemlere kıyasla CPV/T sistemlerin kullanımı ile güneş ışınımından maksimum seviyede yararlanılabilir. Yoğunlaştırıcıli fotovoltaik/termal sistemlerin bu avantajları düşünülerek tez çalışmasının kış uygulamasında, CPV/T kolektörlerden elde edilen ısının mahal ısıtma uygulamasında ve elde edilen elektriginde sistem ekipmanlarının çalıştırılmasında kullanılması amacıyla bir sistem tasarlanmış ve kurulmuştur. Tasarlanan sistemi oluşturan ekipmanlar ve ölçüm noktaları Şekil 5.1’de verilmiştir.

sıcaklığının artırılması hem de ısınan kolektörlerin soğutularak elektriksel güçlerinin artırılmasıdır. İkinci çevrimde ise mahal havası cebri olarak bir fan-coil üzerinden geçirilerek ısıtılmakta ve odaya üflenmektedir. Odanın ısıtılmasında kullanılan havanın debisi, fan-coilin motor hızını kontrol eden bir motor sürücü invertör ve proses kontrol cihazı ile ayarlanmıştır. Bu çevrimde ısınan havanın sıcaklığı ısıl çift ile ölçülmüş ve fan-coil hava çıkış sıcaklığı 35 °C olarak ayarlanmıştır. Isıtma havasının sıcaklığı, CPV/T kolektörler üzerine gelen güneş ışınımı ile ısınan akışkanın depoladığı ısı enerjisinin artmasıyla artmıştır. Otomasyon çevriminde, yoğunlaştırıcılı fotovoltaik/termal sistem için set sıcaklığı kontrol ekipmanı üzerinde 35 °C olarak belirlenmiştir. Çevrimde kontrol ekipmanı set sıcaklığı ile fan-coil hava çıkış sıcaklığını karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Burada eğer set sıcaklığı (35 °C), fan-coil hava çıkış sıcaklığının ölçülen değerinden düşük veya yüksek ise, invertör istenilen hava çıkış sıcaklığında ısıtma havası sıcaklığını tutabilmek için ayarlama yapmıştır. Böylece ısıtma havasının sıcaklığının set sıcaklığına yakın olması sağlanmıştır.



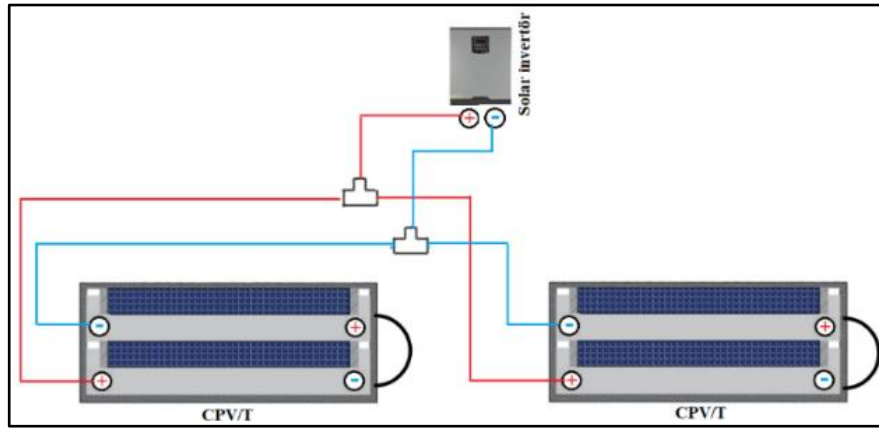
Şekil 5.2. Sistemin çalışma prensibi şeması.

Çalışmada CPV/T kolektörlerden elde edilen DC elektrik enerjisi akıllı tam sinüs solar invertör ile AC elektrik enerjisine çevrilerek, sistemde kullanılan pompa ve motor sürücü invertöre bağlı fan-coil motorunun sürülmesinde kullanılmıştır (Şekil 5.1). Kullanılmayan elektriksel enerji akülerde depo edilmiştir. Tasarlanan sistemde CPV/T kolektörlerin termal kısmını oluşturan sekiz elips şeklindeki kanallardan geçirilen akışkanların sıcaklığı yükseltilecek elde edilen ısı, oda içerisine yerleştirilen fan-coilden geçirilmesi ile oda havasının ısıtılması sağlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak seçilen fan-coilin kolektörlerden elde edilen ısıyı mahale aktarabilecek kapasitede olmasına dikkat edilmiştir.

5.1.2. Sistem Kurulumu Ve Deneyin Yapılışı

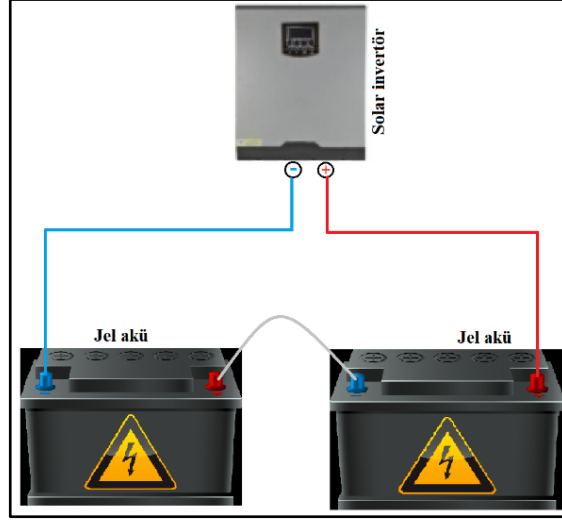
Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü yerleşkesinden geçen Araç çayının yanındaki tek katlı ve tek odalı bir yapının ısıtılması ve sistemde kullanılan ekipmanların elektrik ihtiyacının karşılanması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin kurulumuna ilk olarak tek katlı yapının güney yönündeki kısmının önüne Karabük ilinin enlem derecesine göre belirlenmiş 30°'lik eğim açısında CPV/T kolektörlerin destek düzeneklerine yerleştirilmesi ile başlanmıştır. CPV/T kolektörler birbirini gölgelemeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu işlemten sonra fan-coil ünitesi odanın güney yönündeki camın hemen yanına monte edilmiştir. Fan-coil ünitesinden hava çıkış sıcaklığını ve hızını hassas bir şekilde ölçebilmek için bir baca yapılmıştır. Yapılan baca fan-coil ünitesinin üstüne sızdırma olmayacak şekilde monte edilmiştir. Odanın tam orta noktası tespit edilerek tavandan asılan bir çubuğa ortam sıcaklığını ölçecek bir ısı çifti sabitlenmiştir. Fan-coil ünitesinin akışkan giriş kısmına dört yollu paslanmaz çelikten yapılmış bağlantı elemanı bağlanmış ve bu bağlantı elemanına ısı çifti, manometre ve pompa bağlantıları yapılmıştır. Fan-coil ünitesinin çıkış kısmına ise dört yollu bağlantı elemanı bağlanmış ve bu bağlantı elemanına ısı çifti şamandıralı debimetre ve akışkan dolumu yapabilmek için küresel vana bağlanmıştır. Şamandıralı debimetrenin hemen üstüne analog debimetre bağlanmıştır. Dış ortamdaki CPV/T kolektörler ile iç kısımdaki sistem ekipmanları arasındaki bağlantıyı oluşturmak için odanın duvarlarına hilti ile boşluklar açılmıştır. Daha sonra CPV/T kolektörler ile pompa, genişleme tankı ve analog debimetrenin bağlantıları PPRC kompozit borular kullanılarak yapılmıştır. Oda içerisindeki ekipmanlar ile dış

ortamdaki CPV/T kolektörlerin bağlantısı yapıldıktan sonra duvarlarda oluşan boşluklar çimento ile kapatılmıştır. CPV/T kolektörlerin çıkış kısmı ile pompa arasına genişleme tankı bağlantısı yapılmıştır. CPV/T kolektörlerin akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçebilmek için kolektörlerin giriş ve çıkış kısımlarına ısı çiftleri yerleştirilmiştir. CPV/T kolektörlerin termal kısımları ısıya dayanıklı hidrolik hortum ile birleştirilmiştir. Sisteme akışkan dolumu sırasında sistemin içerisindeki havayı almak için CPV/T kolektörlerin termal bağlantı hortumlarından bir tanesine hava boşaltma musluğu takılmıştır. CPV/T kolektörlerin boru bağlantıları ve termal kısım bağlantı hortumları dış ortamda olduğu için ısı kayıpları minimuma indirmek amacıyla alüminyum folyo kaplı polietilen boru izolasyon malzemesi ile yalıtımları yapılmıştır. Deneyle boyunca odanın dış ortama ısı alışverişini engellemek için kapılar ve pencereler yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Sistem kurulumunu tamamlamak için sistemin elektriksel bağlantıları yapılmıştır. İlk olarak CPV/T kolektörlerin paralel bağlantısı yapılmış ve uçlar akıllı tam sinüs solar invertöre bağlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Kolektörlerin paralel bağlantısı ve kolektörlerin akıllı tam sinüs solar invertöre bağlantı şeması.

Daha sonra jel aküler birbirine seri olarak bağlanmış ve akü uçları akıllı tam sinüs solar invertöre bağlanmıştır (Şekil 5.4).

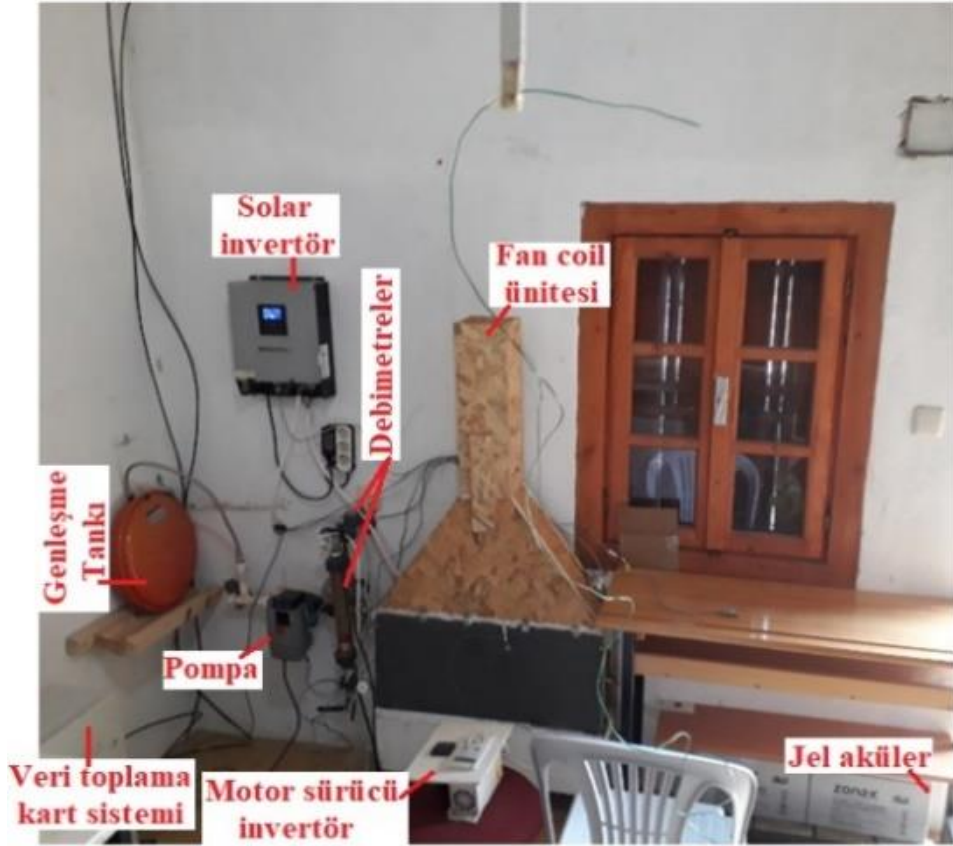


Şekil 5.4. Akülerin seri bağlantıları ve akülerin akıllı tam sinüs solar invertöre bağlantı şeması.

Fan-coil ünitesinin motor kontrolünü yapabilmek için fan-coil elektrik çıkışı motor sürücü invertöre bağlanmıştır. Son olarak solar invertörün AC çıkış uçları üçlü prize bağlanmış ve bu üçlü prize motor sürücü invertör ile pompanın priz başlıkları takılarak sistemin kurulumu tamamlanmıştır. Kış uygulamasında sistemde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Çizelge Ek A.1’de sunulmuştur. Sistem kurulumu görseli Şekil 5.5’te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.5. Sistemin kurulum görseli (a) Sistemin dış ortamdaki kısmı, (b) sistemin oda içindeki kısmı.

Sistemin kurulumu tamamlandıktan sonra akışkan giriş kısmından belirli basınçta su verilerek sistemin montaj kısımlarında veya ekipman bağlantı noktalarında sızıntılar varsa tespit edilerek gerekli işlemler sonucunda bu sızıntılar giderilmiştir.

Deneylere başlanmadan önce gerçekleştirilen işlemler aşağıda verilmiştir.

- Akışkan dolumu için deney sisteminin havası boşaltılmıştır.
- Deney sistemine akışkan dolumu CPV/T kolektörlerin termal modül kapasitesi (1.4 L/modül), fan-coil, borular, genişleme deposu vb. sistem elemanlarının kapasite değerleri dikkate alınarak emme ve basma yapan DC pompa ile yaklaşık 1 bar basınç oluşturacak şekilde yapılmıştır. Sistem dolumu için yaklaşık 7-8 litre akışkan kullanılmıştır. Sisteme kullanılacak akışkanlardan hangisi doldurulmuşsa o akışkan ile ölçümlere devam edilmiştir.
- Piranometrenin veri toplama kart sistemine bağlantısı yapılarak ölçüme uygun hale getirilmiştir.
- Sıcaklık ölçümleri ve CPV/T kolektörün kısa devre akımı-açık devre voltajı ve pompa ile fan-coil motorunun harcadığı güçleri gün boyu kaydedebilmek için veri kaydedici ve solar invertörün bilgisayar bağlantısı yapılmıştır.
- Her deneyden önce CPV/T kolektörlerin yüzey temizleme işlemi yapılmıştır.

Sistemde kullanılan ısı transfer akışkanlarından hacimce %0.5'lik Al₂O₃/su nanoakışkanı Ege Nanotek, %10 mono PG/%90 su karışımı Merck firmasından satın alınmıştır. %0.5 Al₂O₃/su nanoakışkanında Al₂O₃ nanopartiküllerinin boyutu 30 nm'dir. Kullanılan akışkanların termofiziksel özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan ısı transfer akışkanlarının termofiziksel özellikleri.

	Hacimce konsantrasyon ϕ (%)	Termal iletkenlik (k) (W/mK)	Yoğunluk (ρ) (kg/m ³)	Özgül ısı C_p (J/kg K)	Viskozite μ (kg/ms)
Al ₂ O ₃ /su nanoakışkanı	0.5	0.62178	1010.82	4114.61	0.0008797
PG/su karışımı	10	0.55556	1004.90	4098.87	0.0010499

Deneyleyler % 10 mono PG/%90 su karışımı için 10, 13, 18 Nisan 2020 tarihlerinde 0.4, 0.5 ve 0.6 m³/sa debilerde ve %0.5 Al₂O₃/su nanoakışkan için 14, 16, 18 Mayıs 2020 tarihlerinde aynı debilerde havanın açık olduğu günlerde 09:35 ile 18:20 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Solar invertörün çalıştırılması ile pompa ve fan motoru çalıştırılmış ve deneyleyere başlanmıştır. Pompanın ayar düğmesinden sistem çalışma debisi o gün için çalışılacak debiye ayarlanmış ve gün boyu aynı debide çalışılmıştır. Kış uygulamasında odayı istenilen konfor sıcaklığında tutabilmek için fan-coil hava çıkış sıcaklığı invertör ve proses kontrol cihazı ekipmanı ile kontrol edilmiştir. PG/su karışımı ve Al₂O₃/su nanoakışkan için gerçekleştirilen her deney için fan-coil hava çıkış sıcaklığı için set sıcaklığı proses kontrol cihazına 35 °C olarak manuel girilmiştir. Sistem çalıştırıldıktan en az 15 dakika sonra ölçümler kaydedilmeye başlanmıştır. Bunun sebebi ölçülen parametrelerin örneğin fan-coil hava çıkış hızının, sistemde dolaşan akışkanın, CPV/T kolektörlerden elde edilen akım ve voltaj değerlerinin ve pompa ile fan motorunun çektiği gücün stabil hale gelmesini ve ayrıca sistemin ısıl atalet bakımından dengeye ulaşmasını sağlamaktır.

Deneyleyler boyunca fan-coil hava çıkış sıcaklıkları her 10 dakikada bir proses kontrol cihazından okunarak kaydedilmiştir. Fan-coil akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ile CPV/T kolektörlerin akışkan giriş çıkış sıcaklıkları ve oda havası sıcaklığı ile dış ortam sıcaklıkları dakikada bir veri olacak şekilde veri kaydediciden bilgisayara kaydedilmiştir. Solar invertörden CPV/T kolektörlerin akım voltaj değerleri ile fan-coil motorunun ve pompanın harcadığı güçler dakikada bir veri olacak şekilde kaydedilmiştir. Fan-coil hava çıkış hızı fan-coil bacasının beş farklı bölgesinden alınan değerlerin aritmetik ortalaması olarak 10 dakikalık periyotlarda kaydedilmiştir. Hava hızı m/s cinsinden ölçülmüştür ve ilgili sıcaklıklardaki hava yoğunluk değerleri kullanılarak fan-coil hava çıkış debisi hesaplanmıştır. Deneyleyler süresince CPV/T kolektörlerin yüzeyine düşen difüz ve direkt ışınım piranometre ile ölçülmüş ve veri toplama kart sisteminde her 12 saniyede bir veri olacak şekilde SD karta kaydedilmiş ve bilgisayara alınmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş ışınımı değerleri de bu değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Deneyleylerde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Sistemin yaz-kış uygulamasında kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri.

Kış uygulaması Ölçüm Noktası	Yaz uygulaması Ölçüm Noktası	Ölçülen değer	Cihaz modeli ve adı	Cihaz özellikleri	Adedi
2	2	Güneş ışımını	EKO Instruments, MS-602 Piranometre	Ölçüm aralığı 0-2000 W/m ² ; hassasiyeti 7 µV/W/m ² ; 1000W/m ² de doğrusalsızlığı: ±%1.5.	1
T1, T2, T4, T5,	T1, T2, T3, T4	Sıcaklık	Ordel K tipi ısııl çift NiCr-Ni	Bağlantı: ½ rekor, çap: 6 mm, uzunluk: 3 m, dalma boyu: 30 mm, ölçüm aralığı -200-1200 °C, hassasiyeti: ±1 °C.	4
T3, T6, T7	T5, T6, T7	Sıcaklık	Ordel K tipi ısııl çift NiCr-Ni	Kesit: 2 x 0.5 mm ² tek telli, izolasyon: teflon uzunluk: 3 m ölçüm aralığı -200-1200 °C, hassasiyeti: ±1 °C.	3
T1, T2, T3, T4, T5, T6	T1, T2, T3, T4, T5, T6	Sıcaklık	Pico USB TC-08 veri kaydedici	Ölçüm aralığı: -270- +1370 °C (K tip ısııl çift için), hassasiyeti: ±0.5.	1
T7	T7		ORDEL PC440 Proses kontrol cihazı	Besleme: 100-240VAC, güç tüketimi: 4 W, hassasiyeti: ± %0.2, örnekleme zamanı:100 ms.	1
9	11	Hava hızı	HoldPeak HP-846A Dijital Anemometre	Çalışma sıcaklığı aralığı: 0-45 °C, hassasiyeti: ±0.1 m/s ve ölçüm aralığı: 0-45 m/s	1
12	14	Akım ve voltaj, harcanan güç	Sumry 3KVA 2400 W Solar invertör	Çalışma sıcaklığı: 0-55 °C, verim: %98	1
5	6	Akışkan akış hızı	Bass Instruments Inline Paddlewheel akış ölçer	Ölçüm aralığı: 2.5...42 l/dk, mak. çalışma sıcaklığı: 70°C, mak. basınç: 10 bar, hassasiyeti: ±%1.	1
6	5	Akışkan akış hızı	LZS-15 Uzun boru tipi akış ölçer	Çalışma basıncı: ≤1 Mpa, çalışma sıcaklığı: 0~60 °C, ölçüm aralığı 0.1-1 m ³ /sa, hassasiyeti: ±%4.	1
7		Basınç	Moneks en837-1	Çalışma sıcaklığı: -20-60 °C	1

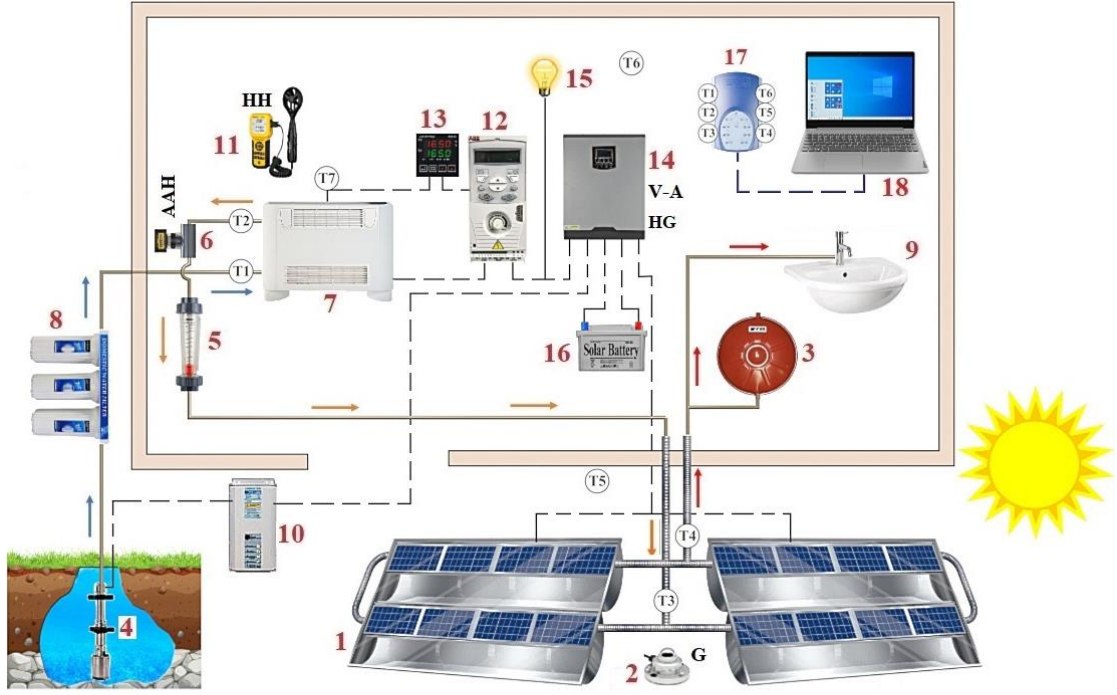
PG/su karışımı için yapılan deneysel işlemlerin aynısı hacimce %0.5'lik Al₂O₃/su nanoakışkanı içinde yapılmıştır. Elde edilen tüm verilerin 30 dakikalık ortalamaları kullanılarak sistemin termal-elektriksel enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre farklı debilerde kullanılan ısı transfer akışkanlarının sistem

performansına etkileri kıyaslanmıştır. Ayrıca dış ortam, oda ve fan-coil hava çıkış sıcaklıklarının değişimleri kullanılan akışkanlara göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

5.2. DÜŞÜK YOĞUNLAŞTIRICILI FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEM İLE MAHAL SOĞUTMA UYGULAMASI (YAZ UYGULAMASI)

5.2.1. Tasarım Ve Çalışma Prensibi

Güneş enerjili sulama sistemleri genellikle tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, CPV/T kolektörler ile çalıştırılan dalgıç tipi pompa vasıtası ile yüzeye çıkarılan kuyu suyunun düşük enerji yoğunluğundan faydalanılarak bir odanın konfor sıcaklığında (yaz ayları için 21-24 °C) soğutulması, ayrıca sistemde düşük sıcaklıktaki kuyu suyunun CPV/T kolektörlerden geçirilerek kolektörlerin elektriksel performanslarının artırılması amacıyla bir sistem tasarlanmış ve kurulmuştur. Tasarlanan sistemde kullanılan ekipmanlar ve ölçüm noktaları Şekil 5.6'da görsellenmiştir.



Sistem ekipmanları

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1-CPV/T kolektörler | 10-Pompa kontrolcü |
| 2-Piranometre | 11-Anemometre |
| 3-Genleşme Tankı | 12-Motor sürücü invertör |
| 4-Pompa | 13-Proses kontrol cihazı |
| 5-Debimetre (Manuel) | 14-Solar invertör |
| 6-Debimetre (Analog) | 15-Lamba |
| 7-Fan coil | 16-Jel akü |
| 8-Su arıtma cihazı | 17- Veri kaydedici |
| 9-Kullanım suyu (Lavabo) | 18-Bilgisayar (Veri işleme) |

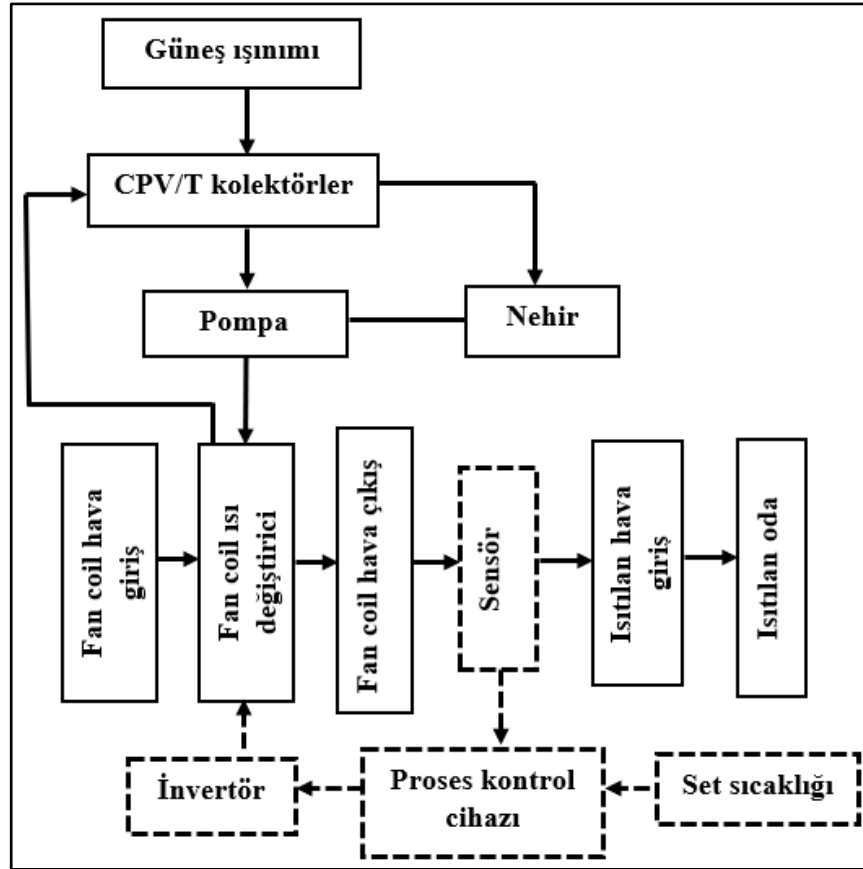
Ölçüm noktaları

- | |
|--------------------------------------|
| T1: Fan coil akışkan giriş sıcaklığı |
| T2: Fan coil akışkan çıkış sıcaklığı |
| T3: Kolektör akışkan giriş sıcaklığı |
| T4: Kolektör akışkan çıkış sıcaklığı |
| T5: Dış ortam sıcaklığı |
| T6: Oda sıcaklığı |
| T7: Fan coil çıkış havası sıcaklığı |
| G: Güneş ışınımı |
| V-A: CPV/T Voltaj ve akımı |
| HG: Harcanan güç |
| AAH: Akışkan akış hızı |
| HH: Hava hızı |

Şekil 5.6. Tasarlanan düşük yoğunlaştırıcılı fotovoltaiik/termal sistem ile mahal soğutma uygulamasının şematik gösterimi.

Deneysel sistemin çalışma prensibi şeması Şekil 5.7’de verilmiştir. Sistem; akışkan çevrimi, hava çevrimi ve otomasyon çevrimi olmak üzere üç çevrimden oluşmaktadır. Birinci çevrimde CPV/T kolektörlerden elde edilen güç ile çalıştırılan dalgıç tipi pompa, ayarlanan sabit debilerde kullanılan kuyu suyunun fan-coilden ve yoğunlaştırıcılı fotovoltaiik/termal kolektörlerden geçmesini sağlamaktadır. Burada temel amaç hem düşük sıcaklıktaki suyun fan-coil den geçirilerek oda havasının sıcaklığının düşürülmesi hem de üzerine düşen güneş ışınımı ile ısınan CPV/T kolektörlerin soğutularak elektriksel güçlerinin artırılmasıdır. İkinci çevrimde ise mahal havası cebri olarak bir fan-coil üzerinden geçirilerek soğutulmakta ve odaya üflenmektedir. Odanın soğutulmasında kullanılan havanın debisi, fan-coil motor hızını

kontrol eden bir invertör ve proses kontrol cihazı ile ayarlanmıştır. Bu çevrimde soğuyan havanın sıcaklığı ısıl çift ile ölçülmüş ve fan-coil hava çıkış sıcaklığı 20 °C olarak ayarlanmıştır. Soğutma havasının sıcaklığı, çevre sıcaklığının artması ve fan-coil kuyu suyu debisinin düşmesi ile artmıştır. Otomasyon çevriminde, yoğunlaştırıcılı fotovoltaik/termal sistem için set sıcaklığı kontrol ekipmanı üzerinde 20 °C olarak belirlenmiştir. Çevrimde kontrol ekipmanı set sıcaklığı ile fan-coil hava çıkış sıcaklığını karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Burada, eğer set sıcaklığı (20 °C), fan-coil hava çıkış sıcaklığından düşük veya yüksek ise, invertör istenilen hava çıkış sıcaklığında soğutma havasının sıcaklığını tutabilmek için ayarlama yapmıştır. Böylece soğutma havasının sıcaklığının set sıcaklığına yakın olması sağlanmıştır.



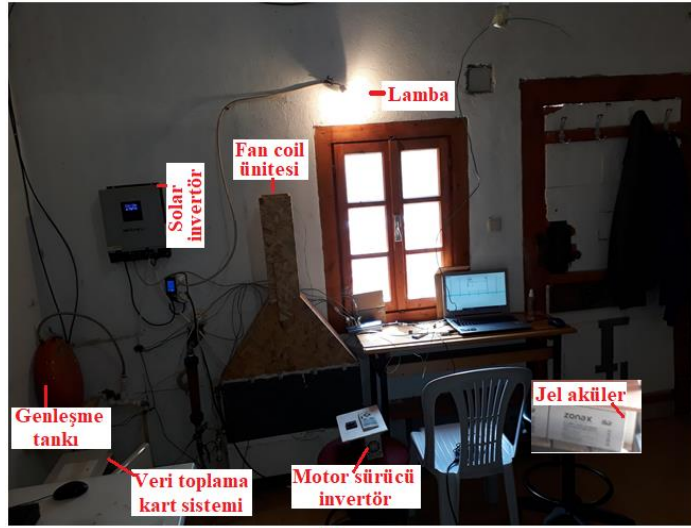
Şekil 5.7. Yaz uygulaması çalışma prensibi şeması.

Çalışmada CPV/T kolektörlerden elde edilen elektriksel enerji sistemde kullanılan pompanın, fan-coil motorunun ve 40 W'lık lambanın çalıştırılmasında kullanılmıştır (Şekil 5.6). Kullanılmayan elektriksel enerji akülerde depo edilmiştir.

5.2.2. Sistem Kurulumu Ve Deneyin Yapılışı

Sistemin yaz uygulamasında, kış uygulamasında kullanılan odanın soğutulması ve aydınlatılması, sistem ekipmanlarının elektrik ihtiyacının karşılanması gerçekleştirilmiştir. Sistemde soğutma işleminde fan-coil ünitesinde soğutma akışkanı olarak kuyu suyu kullanılmıştır. Kuyu suyunu yüzeye çıkarmak için 10 m statik su seviyesine yerleştirilen toplam manometrik yüksekliği 20 mSS olan dalgıç pompa kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin kurulumuna kuyu suyunun çıkışından soğutulması düşünülen odaya yer altından boruların çekilmesi ile başlanmıştır. Kuyu suyunun çıkışına sistem boru hattında oluşacak kirlenmeyi ve tıkanmayı önlemek için su filtresi bağlanmıştır. Borular odanın batı duvarına kadar yaklaşık 100 m olacak şekilde çekilmiş ve burada T bağlantısı ile kuyu suyunun hem odaya hem de bahçeye gitmesi sağlanmıştır. T bağlantısından odaya çekilen PPRC borular ile yapılan boru bağlantısı ile kuyu suyu oda içerisindeki lavabo musluğuna bağlanmıştır. Deneyler süresince sabit fan-coil kuyu suyu akış hızları hem T bağlantısından hem de oda içerisindeki lavabo musluğundan ayarlanmıştır. Kış uygulamasındaki fan-coil ünitesi yaz uygulamasında da kullanılmıştır. Musluk çıkışı hortumlar ile fan-coil akışkan giriş kısmındaki T bağlantısına bağlanmıştır. Buradaki T bağlantısına fan-coil su giriş sıcaklığını ölçebilmek için ısı çifti bağlanmıştır. Fan-coil akışkan çıkış kısmına kısa bir hortum bağlanmış ve bu hortum şamandıralı debimetrenin dört yollu bağlantı elemanının küresel vana bulunan kısmına bağlanmıştır. Dört yollu bağlantı elemanın bir ucuna fan-coil çıkış sıcaklığını ölçmek için bir ısı çifti diğer ucuna şamandıralı debimetre ve üçüncü çıkışına da bir küresel vana bağlanmıştır. Debimetreler ile CPV/T kolektörler arasındaki boru sistemi kış uygulamasındaki gibi kullanılmıştır. CPV/T kolektörlerin akışkan çıkış kısmı ile genişleme tankının bağlı olduğu boru bağlantıları da aynen kullanılmıştır. Kış uygulamasında kullanılan genişleme tankı ile fan-coil arasında bulunan sirkülasyon pompası ve manometre yaz uygulamasında çıkarılmıştır. Genişleme tankının bağlı olduğu boru bağlantısına hortum takılarak, CPV/T kolektörlerden çıkan su lavabo giderinden tekrar nehre gönderilmiştir. Oda sıcaklığını ölçmek için kış uygulamasındaki odanın tam orta noktasındaki çubuğa sabitlenen ısı çiftten yararlanılmıştır. Sistem kurulumunu tamamlamak için elektriksel bağlantıların yapımına geçilmiştir. Birbirine paralel bağlı olan CPV/T kolektörlerin çıkış uçları aynı kış uygulamasında olduğu gibi solar invertöre bağlanmıştır. Seri bağlı akülerin çıkış

uçları da solar invert6re bağlanmıştır. Solar invert6r6n AC ıkışı ile fan-coil motorunu s6ren motor s6r6c6 invert6r, dalgıç tipi pompayı s6ren pompa s6r6c6s6 ve 40 W'lık lamba çalıştırılmıştır. Kurulumu tamamlanan sistemin hem elektriksel bağlantıları hem de akışkan bağlantılarının kontrol6 yapılarak çalışır konuma getirilmiştir. Kurulu sistemin g6rseli Şekil 5.8'de verilmiştir. Yaz uygulamasında sistemde kullanılan ekipmanların teknik 6zellikleri izelge Ek A.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.8. Sistemin kurulum görseli (a) Sistemin dış ortamdaki kısmı, (b) ve (c) sistemin oda içindeki kısmı.

Deneylere başlamadan önce CPV/T kolektörlerin yüzeylerinin temizlik işlemi yapılmış ve her deney öncesi tekrarlanmıştır. Deneylerden önce solar invertörün ve veri kaydedicinin bilgisayar bağlantısı, solar invertörün AC elektrik çıkış bağlantıları ve piranometrenin veri toplama kart sistemine bağlantısının yapılması her deneyden önce tekrarlanmıştır.

Deneyler havanın açık olduğu ve ışıınım değerleri ile dış ortam sıcaklıklarının yakın olduğu 11, 12, 25, 26, 27 Temmuz 2020 günlerinde saat 09:55 ve 17:40 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Deneyler çalışılan bölgedeki köprünün gölgelemesinden dolayı saat 17:40'ta bitirmek zorunda kalmıştır. Bu saatten sonra CPV/T kolektörler üzerine ışıınım gelmemektedir. Deneylerde sistemde dolaştırılan sabit fan-coil kuyu suyu debileri verilen tarih sırasına göre 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa'tir. Solar invertörün çalıştırılması ile fan-coil motoru ve dalgıç pompa çalıştırılmış ve deneylere başlanmıştır. Gün boyu çalışılacak debi oda ile kuyu suyunun dış bağlantısı olan T bağlantı noktasındaki vanadan ve oda içerisindeki lavabo musluğundan ayarlanmıştır. Deneylerde ölçümler sistem çalıştırdıktan 15 dakika sonra kaydedilmeye başlanmıştır. Bunun nedeni 15 dakika içerisinde kuyu suyu akış hızının ve sistem ölçümlerinin rejime girmesi ve ısıl ataletten dolayı oluşacak hatalı ölçümlerin giderilmesi içindir. Yaz uygulamasında odayı istenilen konfor sıcaklığında tutabilmek için fan-coil hava çıkış sıcaklığı invertör ve proses kontrol cihazı ekipmanı ile kontrol edilmiştir ve fan-coil hava çıkış sıcaklığının set değeri proses kontrol cihazına 20 °C olarak manuel girilmiştir.

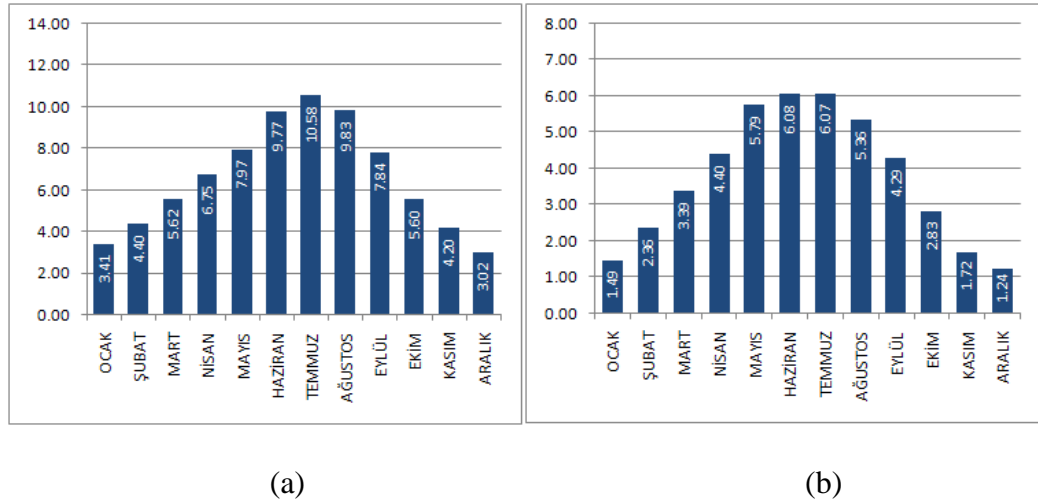
Deneyler süresince fan-coil hava çıkış sıcaklıkları proses kontrol cihazından her 10 dakikada bir kaydedilmiştir. Fan-coil akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ile CPV/T kolektörlerin akışkan giriş çıkış sıcaklıkları ve oda havası sıcaklığı ile dış ortam sıcaklıkları dakikada bir veri olacak şekilde veri kaydediciden bilgisayara kaydedilmiştir. Solar invertörden CPV/T kolektörlerin akım voltaj değerleri ile fan-coil motorunun ve pompanın harcadığı güçler dakikada bir veri olacak şekilde kaydedilmiştir. Fan-coil hava çıkış hızı fan-coil bacasının beş farklı bölgesinden alınan değerlerin aritmetik ortalaması olarak 10 dakikada bir kaydedilmiştir. Hava hızı m/s cinsinden ölçülmüştür ve ilgili sıcaklıklardaki hava yoğunluk değerleri kullanılarak fan-coil hava çıkış debisi hesaplanmıştır. Deneyler süresince CPV/T kolektörlerin

yüzeyine düşen difüz ve direkt ışınım piranometre ile ölçülmüş ve veri toplama kart sisteminde her 12 saniyede bir veri olacak şekilde SD karta kaydedilmiş ve bilgisayara alınmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş ışınımı değerleri de bu değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu işlemler çalışılan her farklı debi için tekrarlanmış ve elde edilen verilerin 30 dakikalık ortalamaları kullanılarak sistemin termal-elektriksel enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Farklı debiler için dış ortam sıcaklıkları, fan-coil hava çıkış sıcaklıkları, oda sıcaklıkları ve kuyu suyu sıcaklıkları ile CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklıkları da karşılaştırmalı olarak kıyaslanmıştır. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında bir mahalın iklimlendirilmesinde kullanılmak amacıyla yaz ve kış şartları için tasarlanan sistem Karabük iklim şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Karadeniz ikliminden karasal iklime geçiş sahasındaki Karabük'te geçiş tipi iklim etkili olmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık 13.2 °C'dir. En soğuk ay olan Ocak'ta ortalama 2.6 °C, en sıcak ay olan Temmuz'da ortalama 23.1 °C sıcaklık vardır. Deneyleerin gerçekleştirildiği nisan, mayıs ve temmuz aylarında ortalama en düşük sıcaklıklar sırasıyla 5.4, 10.8, 16.3 ortalama en yüksek sıcaklıklar ise sırasıyla 21.1, 24.7, ve 31.7'dir. Şekil 6.1'de Karabük güneşlenme süreleri ve global ışınım değerlerinin aylara göre dağılımlarını gösteren grafikler verilmiştir [133–135].



Şekil 6. 1. a) Karabük güneşlenme süreleri (saat), b) Karabük global ışınım değerleri (kWh/m²-gün) [135].

Çalışmanın kış uygulamasında düşük yoğunlaştırıcı CPV/T kolektörlü bir sistemin, soğuk havalarda mahal ısıtma uygulamasında ve sistem ekipmanlarının elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılması amaçlanmış ve bu amaca yönelik olarak sistem tasarımı, kurulumu ve deneysel analizi gerçekleştirilmiştir.

Sistemin deneysel analizinde iki farklı ısı transfer akışkanı kullanılmış ve bu akışkanların her ikisi de üç farklı debide denenmiştir. Akışkanlar vasıtasıyla CPV/T kolektörlerden çekilen ısının oda içerisindeki fan-coil vasıtasıyla oda havasına aktarılması sonucunda mahal ısıtma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Burada fan-coilin hava çıkış sıcaklığı motor sürücü invertöre bağlı proses kontrol cihazı ile kontrol edilmiştir. Oda sıcaklığını istenilen konfor sıcaklığında tutmak ve fan-coilin tükettiği elektriksel enerjiyi de kontrol etmek amacıyla fan-coil hava çıkış set sıcaklığı proses kontrol cihazına 35 °C olarak girilmiştir. Sistem performansı üzerine çalışılan akışkanların, farklı debilerin, ortam sıcaklıklarının ve güneş ışınımının etkisi bu bölümde detaylıca açıklanmıştır.

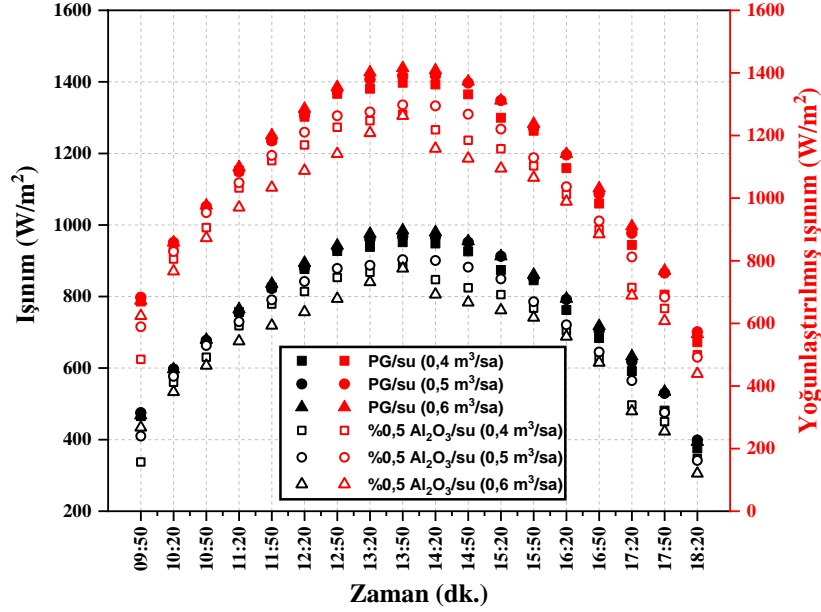
Yaz uygulamasında; soğutma akışkanı olarak kullanılan kuyu suyunun temininde ve sistem ekipmanlarının çalıştırılmasında düşük yoğunlaştırıcı CPV/T kolektörlerden yararlanılmıştır. Sistemde kuyu suyundan elde edilen soğutma ısı fan-coil vasıtasıyla oda havasına aktarılmıştır. Fan-coil hava çıkış sıcaklığı proses kontrol cihazı ile kontrol edilmiş ve hava çıkış set sıcaklığı proses kontrol cihazına 20 °C olarak girilmiştir. Çalışmada kullanılan farklı sabit fan-coil kuyu suyu debilerinin sistem performansına (elektriksel ve termal performansa) etkisi ve sistem için çevresel maliyet analizi detaylıca bu bölümde verilmiştir.

6.1. KIŞ UYGULAMASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Sistemin kış uygulamasında 2020 yılının nisan ve mayıs aylarında farklı günlerde mahal ısıtma uygulaması için %10 mono PG/%90 su ve %0.5 Al₂O₃/su akışkanları ile 0.4, 0.5, 0.6 m³/sa debilerinde gerçekleştirilen deneylerde; CPV/T kolektörlerin açık devre voltajları, kısa devre akımları, fan-coil ve pompanın tükettiği güçler, dış ortam sıcaklığı, oda sıcaklığı, fan-coil hava çıkış sıcaklığı, CPV/T kolektör akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı, fan-coil akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı verileri ölçülmüştür ve ölçülen veriler ile yapılan teorik hesaplamalar sonucunda sistem performansı değerlendirilmesi kullanılan iki akışkan için karşılaştırmalı olarak aşağıda detaylıca sunulmuştur.

Sistemde kullanılan CPV/T kolektörlerin yoğunlaştırıcı oranı Eşitlik 4.7 ile hesaplanmış ve 1.4 olarak bulunmuştur. CPV/T kolektörlerin yoğunlaştırıcısız PV

yüzeilerine düşen toplam ışınım (direkt ve difüz ışınım) değerleri piranometre ile 12 saniyede bir ölçülmüştür. Bu ışınım değerleri kullanılarak yoğunlaştırılmış ışınım değerleri Eşitlik 4.8'den hesaplanmıştır. Işınım ve yoğunlaştırılmış ışınım değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 6.2'de verilmiştir.

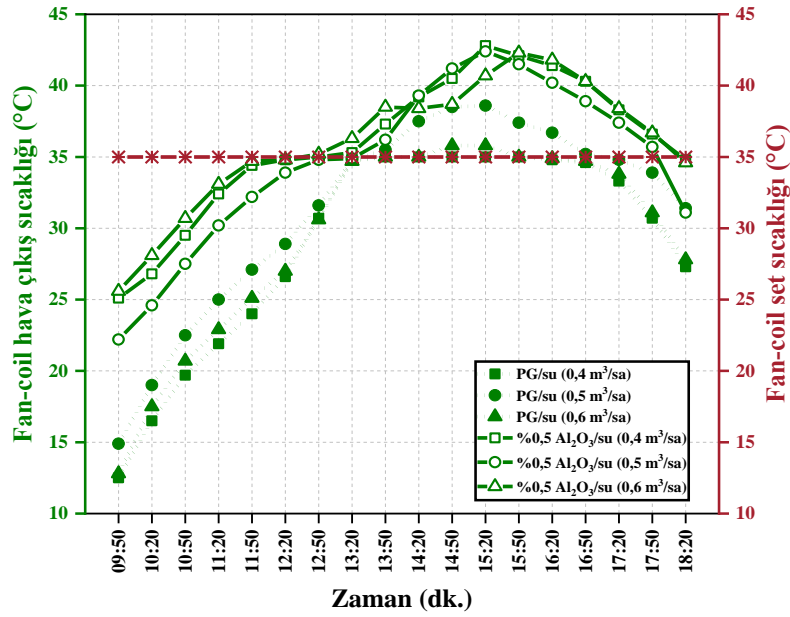


Şekil 6.2. Işınım ve yoğunlaştırılmış ışınımın zamana bağlı değişimi.

Farklı debilerde farklı akışkanlar ile yapılan deneylerde en yüksek ışınım değerleri çalışılan bölgenin konumundan dolayı öğleden sonra saat 13:50 de görülmüştür. Grafikten de görüldüğü gibi en yüksek ışınım değeri 0.6 m³/sa debide PG/su karışımı ile yapılan deney için 985 W/m² olarak belirlenmiştir. En yüksek yoğunlaştırılmış ışınım değeri ise aynı debide PG/su karışımı ile yapılan deney için 1416 W/m² olarak hesaplanmıştır ve grafikten de görülmektedir. 0.4 ve 0.5 m³/sa debilerde PG/su karışımı ile yapılan deneylerde ölçülen en yüksek ışınım değerleri ise sırasıyla 952 ve 967 W/m² olarak belirlenmiştir. Al₂O₃/su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde en yüksek ışınım değeri 0.5 m³/sa debide 903 W/m² olarak ölçülmüş ve 0.4 ve 0.6 m³/sa debilerinde ise sırasıyla 882 ve 878 W/m² olarak ölçülmüştür. 300 W/m² ışınım değerinin altındaki ışınım değerlerinde alınan ölçümlerin sağlıklı olmamasından dolayı her iki akışkan ile yapılan deneylerde grafikten de görüldüğü gibi bu ışınımın altına düşülmemiştir. Deneyler boyunca CPV/T kolektörlerin üzerine gelen ortalama ışınım 730 W/m² olarak ölçülmüş ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1056 W/m²

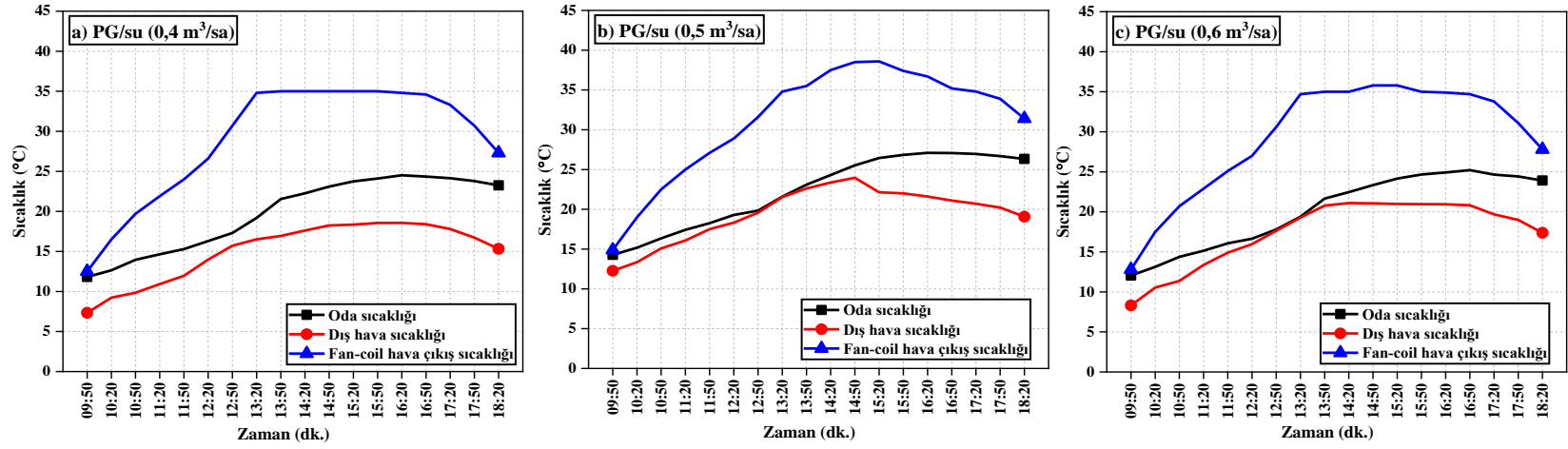
olarak hesaplanmıştır. Her iki akışkana ait ölçülen güneş ışınım değerleri ve hesaplanan yoğunlaştırılmış ışınım değerleri birbirine yakındır.

Deneysel boyunca ısıtılan odanın istenilen konfor sıcaklığında tutulması için her iki akışkan ile yapılan farklı debi deneylerinde fan-coil hava çıkış sıcaklığının invertör ve proses kontrol cihazı ekipmanı ile kontrolü yapılmış ve set sıcaklığı 35 °C olarak ayarlanmıştır. Proses kontrol cihazından ölçülen fan-coil hava çıkış sıcaklıklarının ve set sıcaklığının zamana bağlı değişimlerini gösteren grafik Şekil 6.3'te verilmiştir. Grafik verileri incelendiğinde ölçülen güneş ışınım değerleri her iki akışkan içinde yaklaşık aynı olmasına rağmen set sıcaklığına fan-coil hava çıkış sıcaklığının ulaşma süresi %0.5 Al₂O₃/su için daha kısa sürmüştür ve buna bağlı olarak nanoakışkanın geçici rejiminin daha kısa olduğu söylenebilir.

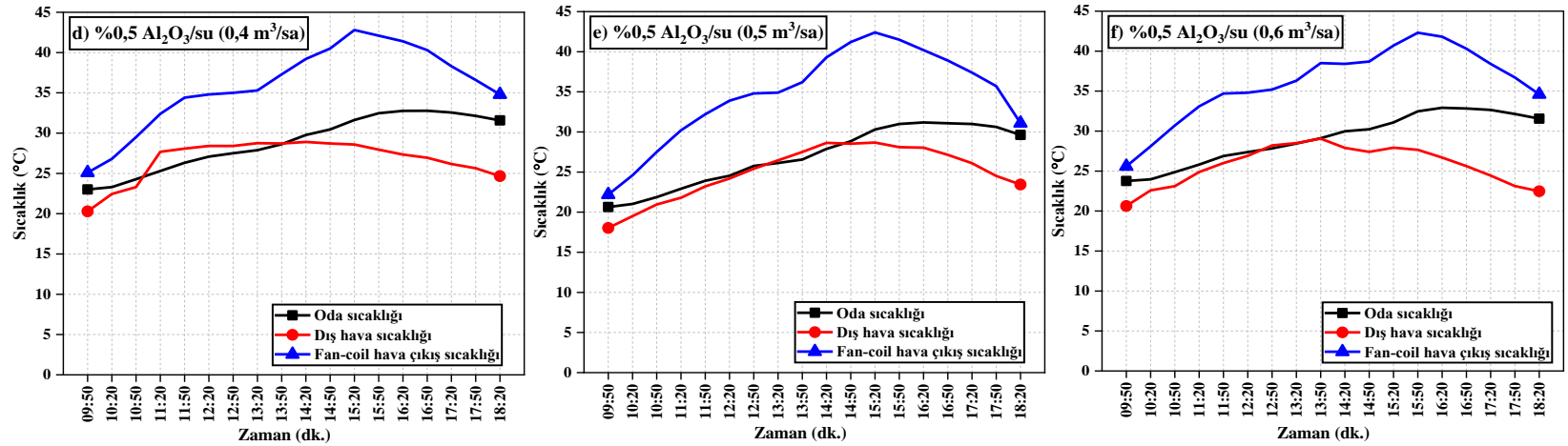


Şekil 6.3. Fan-coil hava çıkış ve set sıcaklığının zamana bağlı değişimi.

Değişken debilere bağlı olarak fan-coil hava çıkış sıcaklığı, oda sıcaklığı ve dış ortam sıcaklıklarının karşılaştırmalı grafikleri PG/su karışımı için Şekil 6.4'te ve Al₂O₃/su nanoakışkanı için Şekil 6.5'te verilmiştir.



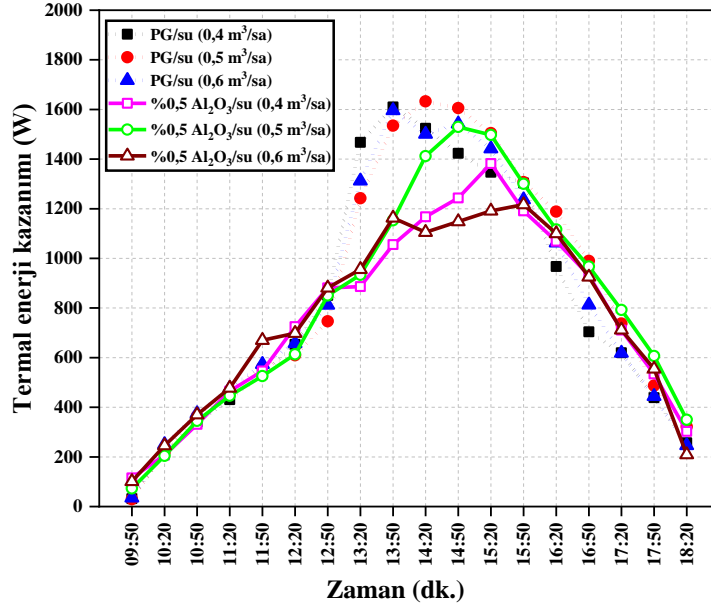
Şekil 6.4. PG/su karışımı ile yapılan deney günlerinde değişken debilere bağlı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.



Şekil 6.5. Al₂O₃/su nanoakışkan ile yapılan deney günlerinde değişken debilere bağlı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.

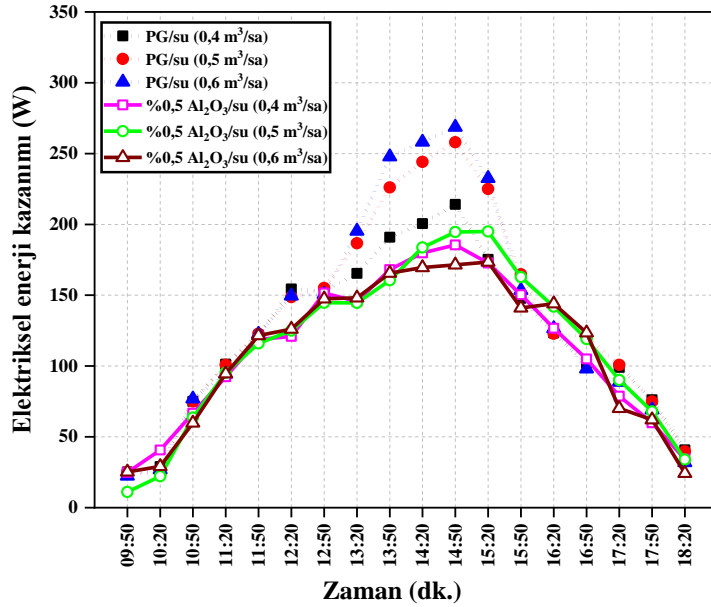
Deneyley boyunca CPV/T kolektörlerin üzerine gelen yoğunlaştırılmış ışınının ortalaması 1056 W/m^2 iken dış ortam sıcaklığının en düşük 8 en yüksek $26 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığı $33 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Farklı debilerde her iki akışkan içinde ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığında ve ortalama oda sıcaklığındaki artışlarda belirgin farklar görülmemiştir.

Sistemdeki fan-coilin içerisinden geçen havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak, sistemdeki yararlı termal enerji Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 6.6'da verilmiştir. Grafikten, sistemden elde edilen en yüksek yararlı termal enerjinin $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:20'de PG/su karışımı için 1632.86 W ve $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:50'de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için 1529.86 W olduğu görülmektedir. Sistemde PG/su karışımı ile çalışılan günlerde güneş ışınımının nanoakışkan ile çalışılan günlerden daha yüksek olmasından dolayı yararlı termal enerji PG/su karışımı için yüksek çıkmıştır. Sistemde kullanılan akışkanlar farklı debilerde kendi içerisinde değerlendirildiklerinde termal enerji kazanımı açısından belirgin farklılıklar göstermemişlerdir. En yüksek yararlı termal enerjinin elde edildiği PG/su karışımı için $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debideki saat 14:20'de diğer deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 1524.14 W ve $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 1500.69 W olmuştur. Aynı saatte $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkan ile yapılan deneylerden elde edilen yararlı termal enerjiler sırası ile $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 1167.52 W , $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 1412.26 W ve $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 1105.43 W olarak bulunmuştur.



Şekil 6.6. Termal enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

CPV/T kolektörlerden elde edilen yararlı elektriksel enerji Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanmış ve yararlı elektriksel enerjideki değişimler Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

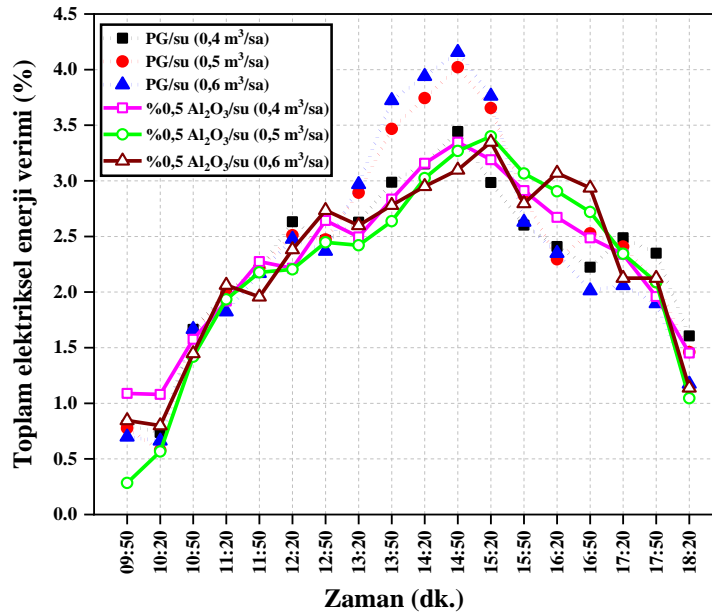


Şekil 6.7. Elektriksel enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

Grafik verileri incelendiğinde PG/su karışımı için en yüksek yararlı elektriksel enerji 0.6 m³/sa debide saat 14:50'de 268.65 W, nanoakışkan için 0.5 m³/sa debide saat 14:50'de 194.96 W olarak bulunmuştur. En yüksek yararlı elektriksel enerjinin elde

edildiği PG/su karışımı için $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debideki saat 14:50'de diğer deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 214.14 W, $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 258 W olduğu grafikten görülmektedir. Aynı saatte $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkan ile yapılan deneylerden elde edilen yararlı elektriksel enerjiler sırası ile $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 185.54 W, $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide ise 171.45 W olarak bulunmuştur. PG/su karışımı için $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanından daha yüksek yararlı elektriksel enerji elde edilmiştir. Bunun nedeni PG/su karışımı ile yapılan deney günlerinde ışınımın daha yüksek olmasıdır.

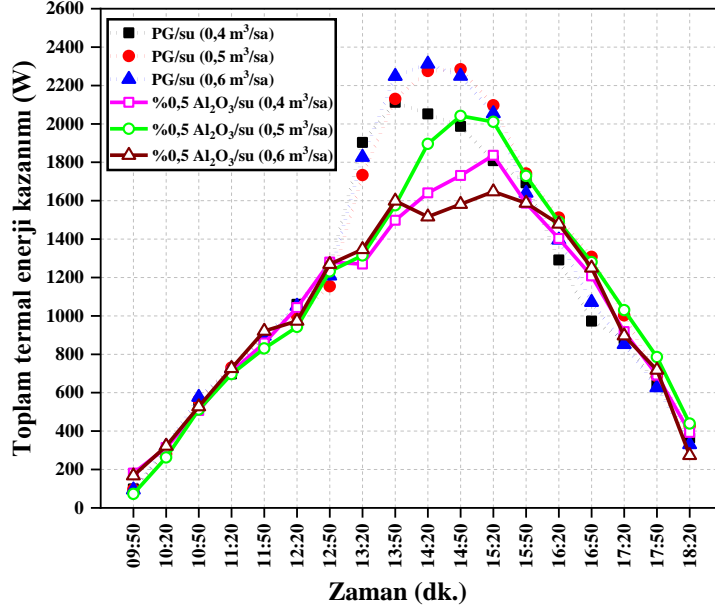
Sistemin toplam elektriksel enerji verimi Eşitlik 4.6 kullanılarak hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.8'de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.8. Toplam elektriksel enerji veriminin zamana bağlı değişimi.

Grafikten toplam elektriksel verim değerleri incelendiğinde en yüksek PG/su karışımı için $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:50'de %4.2, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkan için $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 15:20'de %3.4 olduğu görülmektedir. Sistemden elde edilen toplam elektriksel enerji verim grafiğinden verimin yoğunlaştırıcı kullanılan sistemlerin elektriksel kazanımı için doğru bir belirteç olmadığını ifade edebiliriz.

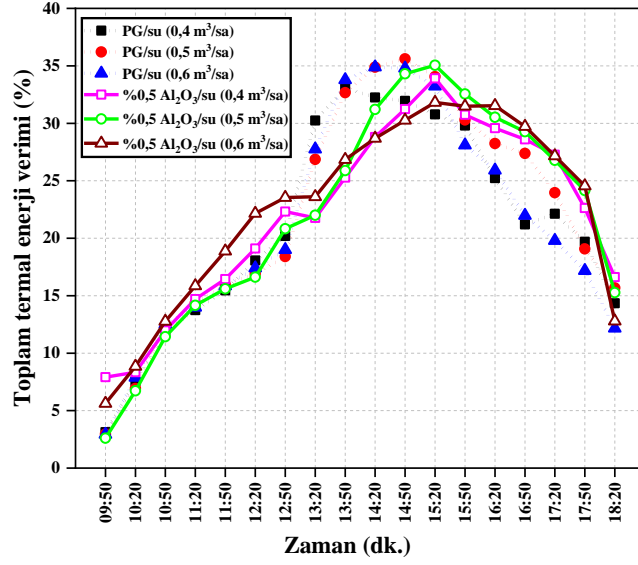
Sistemin toplam yararlı termal enerjisi Eşitlik 4.4 kullanılarak hesaplanmıştır ve elde edilen değerler Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Toplam termal enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

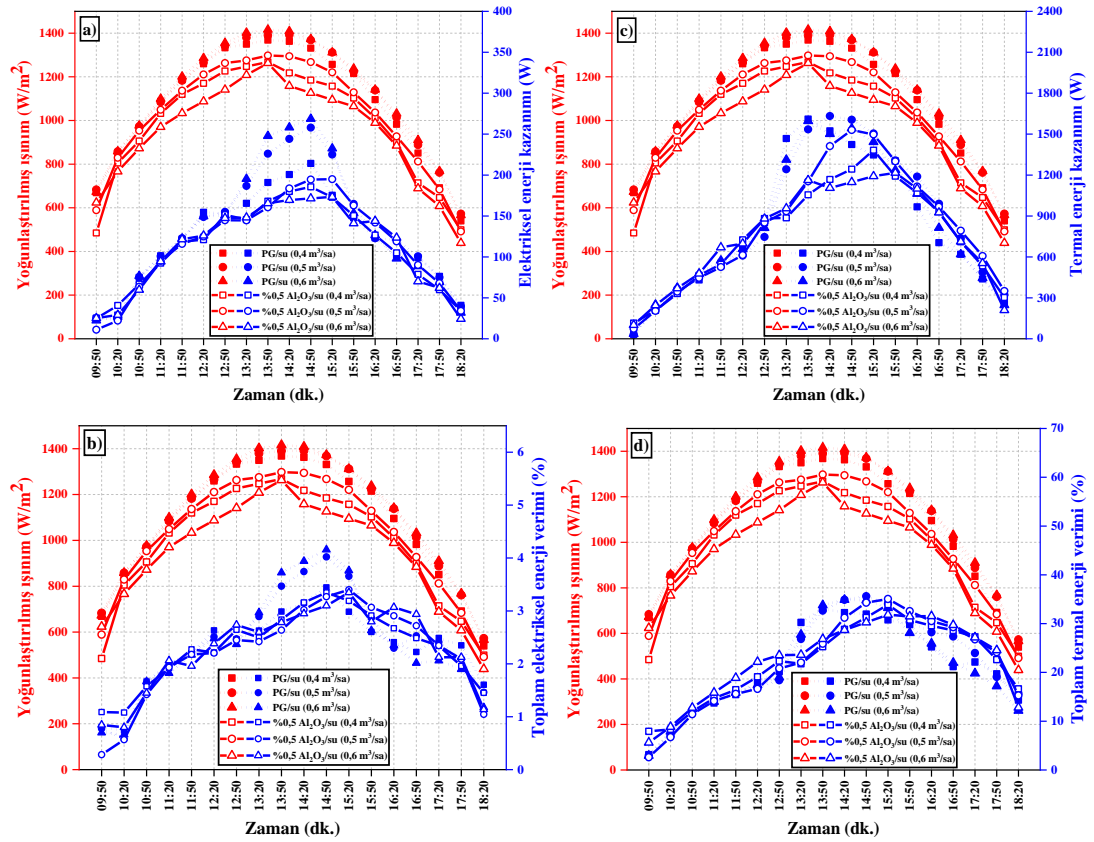
Grafik verileri incelendiğinde sistemden farklı akışkanlar kullanılarak elde edilen en yüksek toplam yararlı termal enerji PG/su karışımı için $0,6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:20'de 2312.49 W nanoakışkan için ise $0,5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:50'de 2041.86 W olduğu görülmektedir. PG/su karışımı ile yapılan deneylerde ortalama toplam termal enerji kazanımını 1223.45 W iken $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı ile yapılan deneylerde bu değer 1096.42 W olarak hesaplanmıştır. Her iki akışkan ile yapılan deneylerden elde edilen değerler kullanılan akışkanların benzer termal özellikler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Sistemin toplam termal enerji verimi Eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 6.10'da sunulmuştur. PG/su karışımı için en yüksek toplam termal enerji verimi %35.61 ile saat 14:50'de $0,5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide elde edilmiş ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için ise saat 15:20'de $0,5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide %35.06 olarak elde edilmiştir. Sistemde kullanılan her iki karışım içinde toplam termal enerji verimi ortalama %22 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.10. Toplam termal enerji veriminin zamana bağlı değişimi.

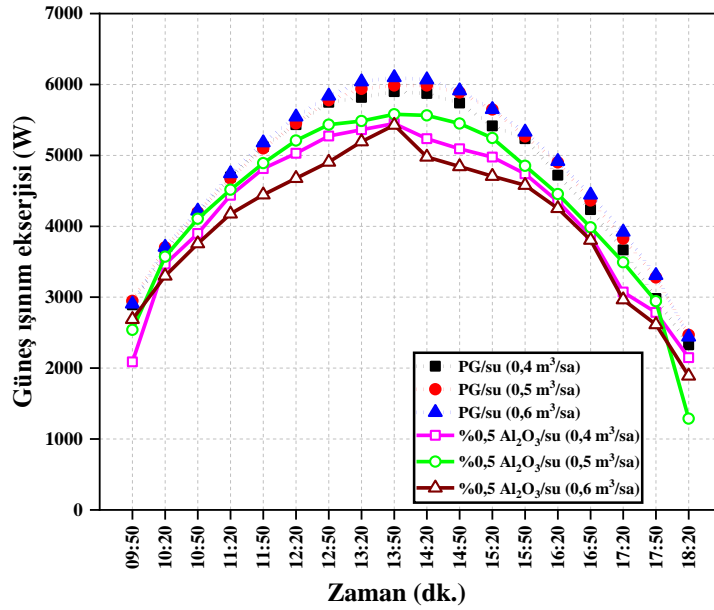
Şekil 6.11'de yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak termal enerji kazanımı, elektriksel enerji kazanımı, toplam elektriksel ve termal enerji verimindeki değişimler verilmiştir.



Şekil 6.11. Yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak sistemden elde edilen elektriksel- termal kazanım ve verim grafikleri.

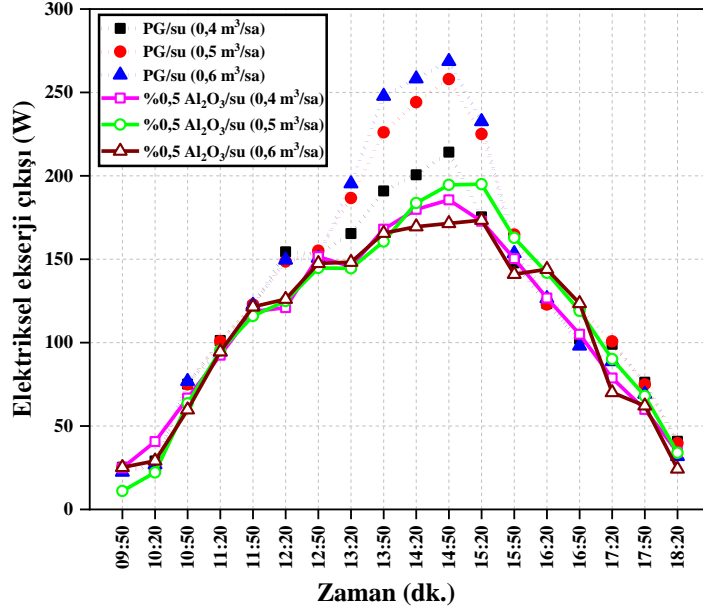
Şekil 6.11 (a) ve (c) de ışınlıma bağılı olarak her bir akışkan için farklı debilerde yararlı elektriksel ve termal enerjinin arttığı görülmektedir. En yüksek yararlı elektriksel ve termal enerjilere 13:00-15:00 saatleri arasında ulaşılmıştır. Şekil 6.11 (b) ve (d) de görüldüğü gibi elektriksel ve termal verimler de ışınlımın artmasıyla artmaktadır ve en yüksek verim değerleri, 13:00-15:00 saatleri arasında elde edilmiştir.

Sistemin ekserji girişi güneş ışınlım ekserjisine eşittir ve deneylerden elde edilen veriler kullanılarak Eşitlik 4.12 ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Şekil 6.12’de verilmiştir. Grafik verileri incelendiğinde farklı debilerde her iki akışkan içinde sisteme giren ekserjinin sabah saatlerinden öğleden sonra saat 13:50 saatine kadar arttığı ve daha sonra düşüş gösterdiği görülmektedir. Sisteme giren ekserji miktarı farklı günlerde ve farklı debilerde çalışılan akışkanlar ile yapılan ölçümler için belirgin farklılık göstermemiştir ve ortalama 4544.8 W olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.12. Güneş ışınlım ekserjisinin zamana bağlı değişimi.

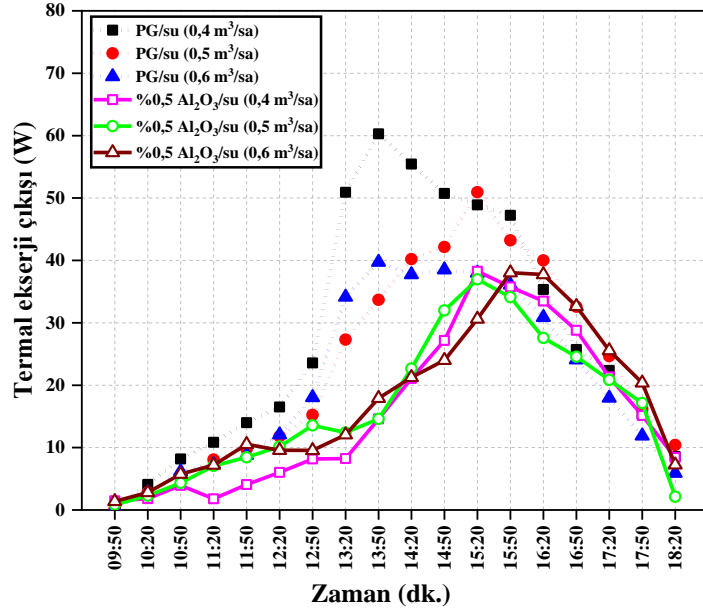
Sistemin elektriksel ekserji çıkışı elde edilen deneysel verilerin Eşitlik 4.14’te kullanılması ile hesaplanmıştır ve Şekil 6.13’te verilmiştir.



Şekil 6.13. Elektriksel ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.

Grafikten sistemden elde edilen en yüksek elektriksel ekserji çıkışı PG/su karışımı için saat 14:50'de $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 268.65 W olarak $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için saat 14:50'de $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 194.96 W olduğu görülmektedir. Elektriksel ekserji çıkışları PG/su karışımında $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanından yüksek çıkmıştır bunun nedeni giren ekserjinin PG/su karışımında daha fazla olmasındandır.

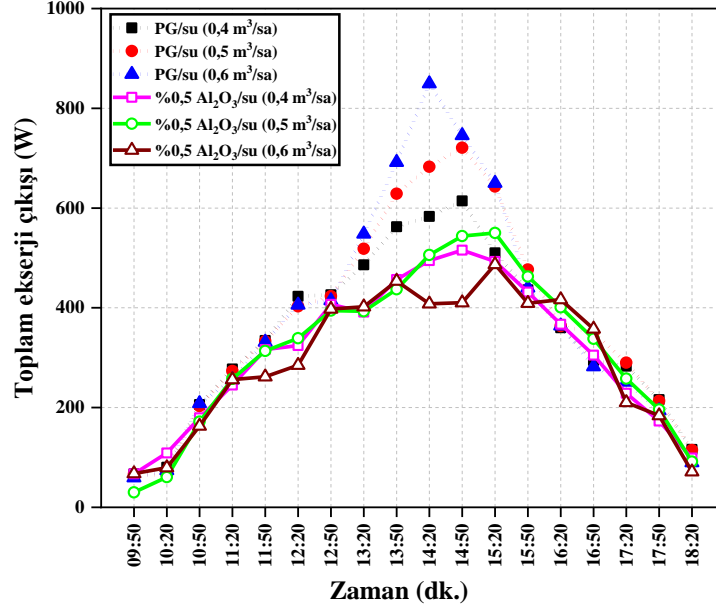
Fan-coilde dolaşan havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak sistemin termal ekserjisi Eşitlik 4.13 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.14. Termal ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.

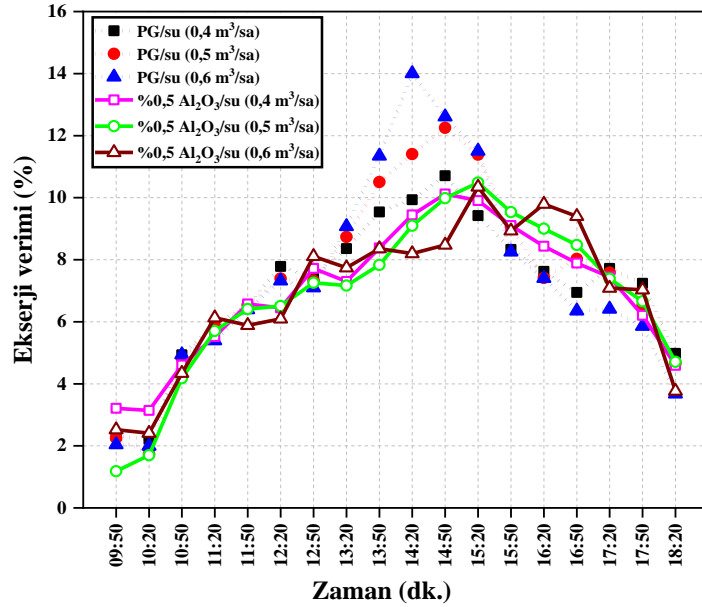
Grafikten elde edilen veriler incelendiğinde PG/su karışımı ile yapılan deneylerde en yüksek $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 13:50'de 60.27 W, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için ise en yüksek $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 15:20'de 38.26 W termal ekserji çıkışı olmuştur. Düşük debilerde CPV/T kolektörden çekilen ısının akışkana aktarılamaması ve fan-coilde dolaşan havanın ısısının yükselmesine bağlı olarak oluşan ısıl ataletten dolayı termal ekserji çıkışlarının düşük debilerde yüksek çıktığını söyleyebiliriz.

Toplam ekserji çıkışı Eşitlik 4.11 kullanılarak hesaplanmıştır ve Şekil 6.15'te grafiksel olarak verilmiştir. En yüksek ekserji çıkışı PG/su karışımı için $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:20'de 849.54 W olarak, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 15:20'de 550.01 W olarak bulunmuştur. En yüksek ekserji çıkışının elde edildiği PG/su karışımı için $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:20'de diğer deneylerden elde edilen termal ekserji çıkışları sırasıyla $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 583.31 W, $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 682.73 W olmuştur. Aynı saatte $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı ile yapılan deneylerden elde edilen termal ekserji çıkışları sırası ile $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 494.49 W, $0.5 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 505.98 W ve $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ için 408.17 W olduğu grafikten görülmektedir. Toplam ekserji çıkışının $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için düşük çıkmasının nedeni CPV/T kolektörlerin PV alıcılarına düşen ışınımın PG/su karışımı ile çalışılan günlerdekinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.15. Toplam ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.

Sistemin ekserji verimi Eşitlik 4.15 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.16’da verilmiştir.

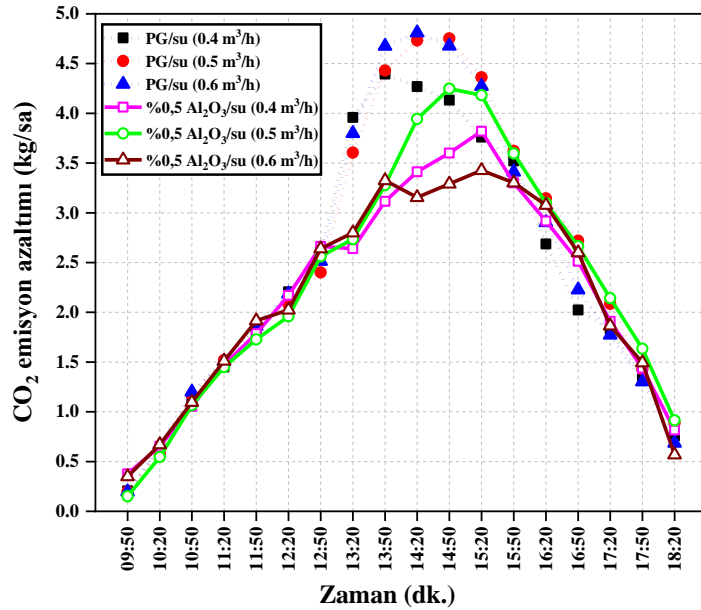


Şekil 6.16. Ekserji veriminin zamana bağlı değişimi.

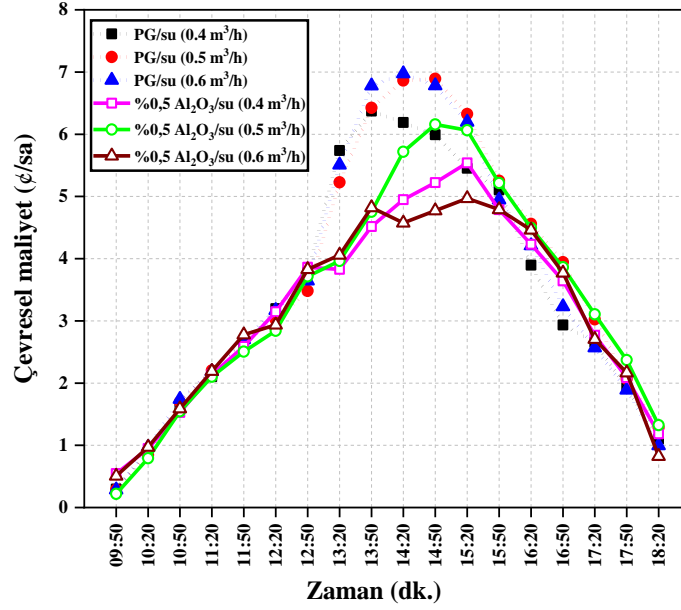
Sistemin en yüksek ekserji verimi PG/su karışımı için $0,6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 14:20’de %14, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{su}$ nanoakışkanı için $0,5 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide saat 15:20’de %10,48 olarak elde edilmiştir. PG/su karışımı için $0,4$, $0,5$, $0,6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debilerdeki ortalama ekserji verimleri

sırasıyla %7.28, %7.52 ve %7.55'tir. Al_2O_3/su nanoakışkanında 0.4, 0.5, 0.6 m^3/sa debiler için ortalama ekserji verimleri sırasıyla %7.16, %6.84 ve %7.19 olarak bulunmuştur. Her iki akışkan içinde çalışılan debilerde ortalama ekserji verimleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.

Kış uygulamasında kullanılan sistem için CO_2 emisyon azaltım miktarı Eşitlik 4.16 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 6.17'de grafiksel olarak verilmiştir. Sistemin kullanımı ile atmosfere yayılımı engellenen CO_2 miktarından dolayı sağlanan tasarrufun bir ölçüsü olan çevresel maliyet değeri Eşitlik 4.17 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 6.18'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemin kullanılması ile saatte 4.8 kg'a varan CO_2 emisyon azaltımı sağlanmış ve bu azalığa bağlı olarak saatte 7 º'e yaklaşan tasarruf elde edilmiştir.



Şekil 6.17. Sistemin CO_2 azaltımının zamana bağlı değişimi.



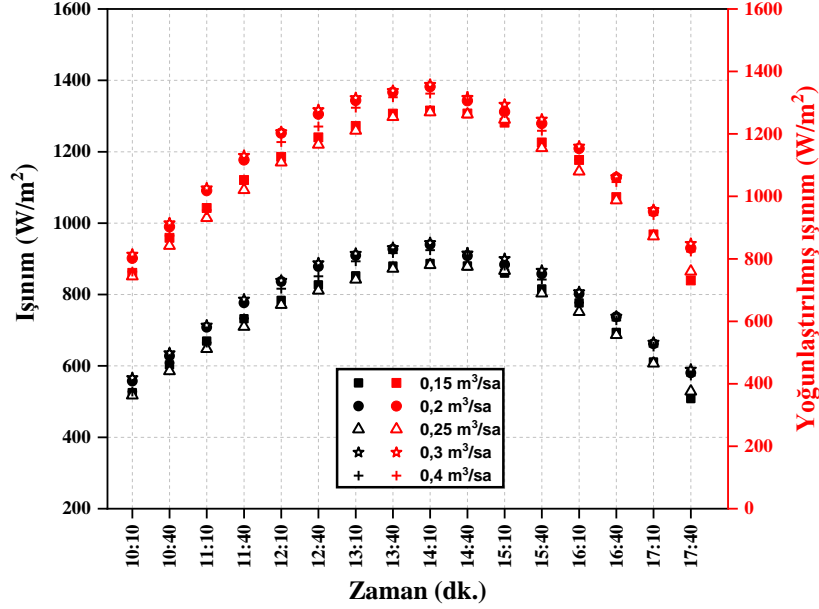
Şekil 6.18. Sistemin çevresel maliyet değerinin zamana bağlı değişimi.

6.2. YAZ UYGULAMASI DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Sistemin yaz uygulamasında mahal soğutma, aydınlatma ve CPV/T kolektörlerin elektriksel performansının artırılması için 2020 yılının temmuz ayının farklı günlerinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde gerçekleştirilen deneylerde CPV/T kolektörlerin açık devre voltajları, kısa devre akımları, fan-coil ve pompanın tükettiği güçler, dış ortam sıcaklığı, oda sıcaklığı, fan-coil hava çıkış sıcaklığı, CPV/T kolektör su giriş ve çıkış sıcaklığı, fan-coil su giriş ve çıkış sıcaklığı verileri ölçülmüş ve ölçülen veriler ile yapılan teorik hesaplamalar sonucunda farklı debilerin sistem performansı üzerine etkisi aşağıda detaylıca sunulmuştur.

CPV/T kolektörlerin yoğunlaştırıcısız PV yüzeylerine düşen global ışınım değerleri piranometre ile 12 saniyede bir ölçülmüştür. Bu ışınım değerleri kullanılarak yoğunlaştırılmış ışınım değerleri Eşitlik 4.8 ile hesaplanmıştır. Işınım ve yoğunlaştırılmış ışınım değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 6.19'da verilmiştir. Grafikte verilen ışınım ve yoğunlaştırılmış ışınım değerleri incelendiğinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa sabit fan-coil debilerinde CPV/T kolektörlerin yoğunlaştırıcısız PV panel yüzeylerine düşen en yüksek güneş ışınımının saat 14:10'da ölçüldüğü ve sırasıyla 886, 939, 882, 944, 924 W/m², ve yoğunlaştırıcılı PV

yüzelerine düşen yoğunlaştırılmış ışınımın aynı saatteki hesaplanan değerleri ise sırasıyla 1274, 1350, 1269, 1358, 1329 W/m² olduğu grafikten görülmektedir.

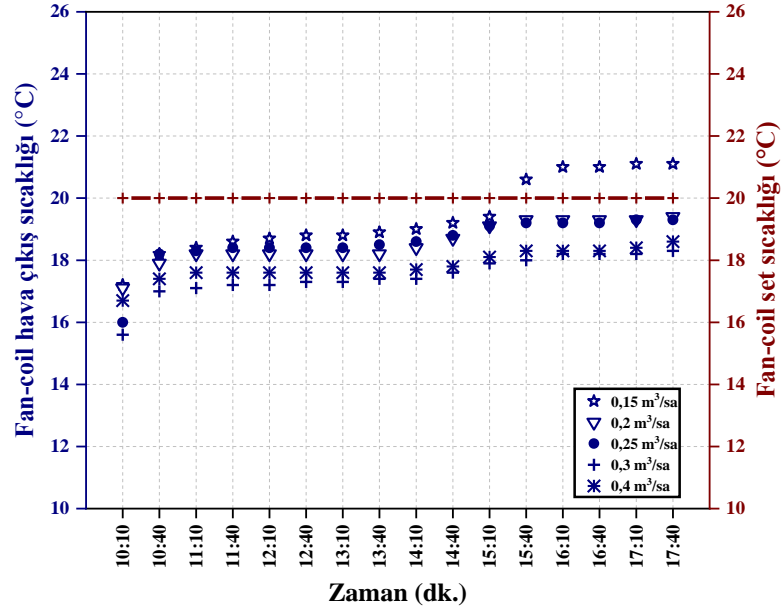


Şekil 6.19. Işınım ve yoğunlaştırılmış ışınımın zamana bağlı değişimi.

0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa sabit fan-coil debilerinde CPV/T kolektörlerin yüzeyine etkiyen ortalama ışınım değerleri sırasıyla 743, 784, 739, 793, 768 W/m² ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım değerleri ise sırasıyla 1069, 1128, 1063, 1140, 1105 W/m² olarak bulunmuştur. Deneyler boyunca CPV/T kolektörlerin üzerine gelen ortalama ışınım 766 W/m² olarak ölçülmüş ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1101 W/m² olarak hesaplanmıştır. Farklı günlerde çalışılan debilerin ışınım değerleri arasında belirgin bir fark yoktur aynı durum yoğunlaştırılmış ışınım değerlerinde de gözlenmektedir. Farklı günlerde yapılan deneylerde yakın ışınım değerlerinin gözlenmesi sistem performansının kıyaslanmasında oldukça önemlidir.

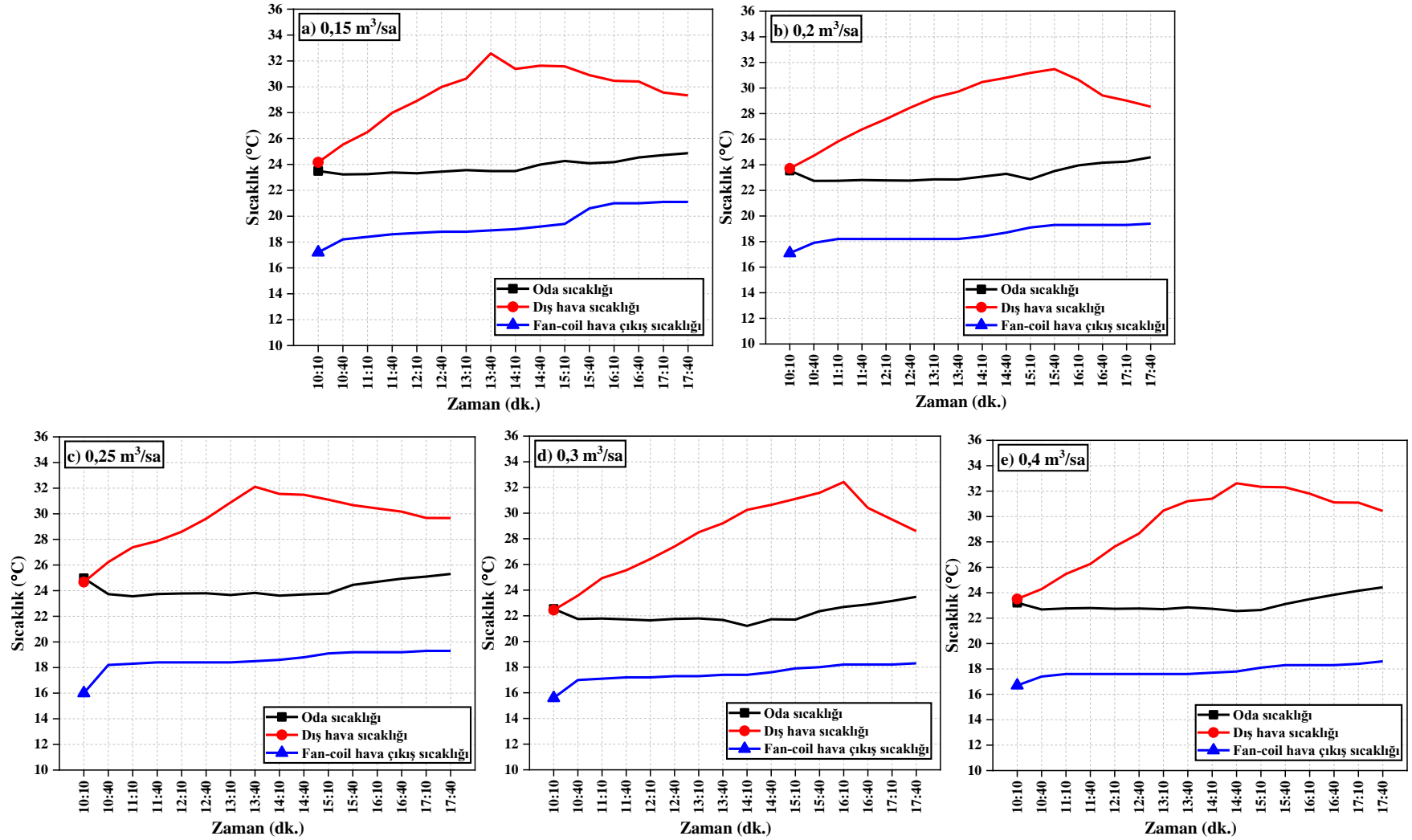
Deneyler boyunca soğutulan odanın istenilen konfor sıcaklığında tutulması için sabit fan-coil kuyu suyu debi deneylerinde fan-coil hava çıkış sıcaklığının invertör ve proses kontrol cihazı ekipmanı ile kontrolü yapılmış ve set sıcaklığı 20 °C olarak ayarlanmıştır. Proses kontrol cihazından ölçülen fan-coil hava çıkış sıcaklıklarının ve set sıcaklığının zamana bağlı değişimlerini gösteren grafik Şekil 6.20'de verilmiştir. Grafik verileri incelendiğinde ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklıkları 0.15, 0.2, 0.25,

0.3 ve 0.4 m³/sa sabit fan-coil debilerinde sırasıyla 19.35, 18.56, 18.66, 17.49, 17.79 °C olarak bulunmuştur. 0.15, 0.2, 0.25 m³/sa debilerde fan-coil hava çıkış sıcaklığı ile set sıcaklığı arasında ortalama 1.14 °C'lik bir fark varken 0.3 ve 0.4 m³/sa debilerde ortalama 2.36 °C'lik bir fark oluşmuştur ve buna bağlı olarak artan sabit fan-coil kuyu suyu debisi ile daha iyi soğutma etkisi olduğu söylenebilir.



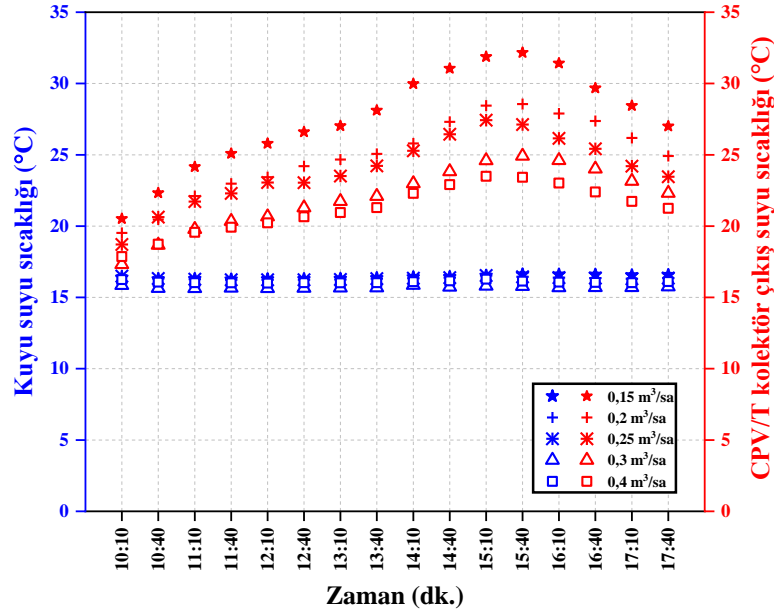
Şekil 6.20. Fan-coil hava çıkış ve set sıcaklığının zamana bağlı değişimi.

0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde fan-coil hava çıkış sıcaklıkları, oda sıcaklıkları ve dış ortam sıcaklıklarının karşılaştırmalı grafikleri Şekil 6.21'de verilmiştir. Grafik verileri incelendiğinde ortalama dış ortam, oda ve fan-coil hava çıkış sıcaklıkları 0.15 m³/sa debi için sırasıyla, 29.44, 23.84 ve 19.35 °C, 0.2 m³/sa için 28.59, 23.29, 18.56 °C, 0.25 m³/sa için 29.63, 24.15, 18.66 °C, 0.3 m³/sa için 28.28, 22.09, 17.49 °C ve 0.4 m³/sa için 29.38, 23.09 ve 17.79 °C olarak bulunmuştur. Deneyler boyunca CPV/T kolektörlerin üzerine gelen ortalama ışınım 766 W/m² ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1101 W/m² olduğunda ve dış ortam sıcaklığının en düşük 23 °C en yüksek 33 °C arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığı 18 °C ve ortalama oda sıcaklığı 23 °C olarak belirlenmiştir. Sistemde çalışılan farklı sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde oda sıcaklıkları yaz ayları için 21-24 °C olan konfor sıcaklıklarında tutulabilmektedir.



Şekil 6.21. Değişken fan-coil kuyu suyu debilerine bağlı olarak fan-coil, oda ve dış ortam sıcaklık değişim grafikleri.

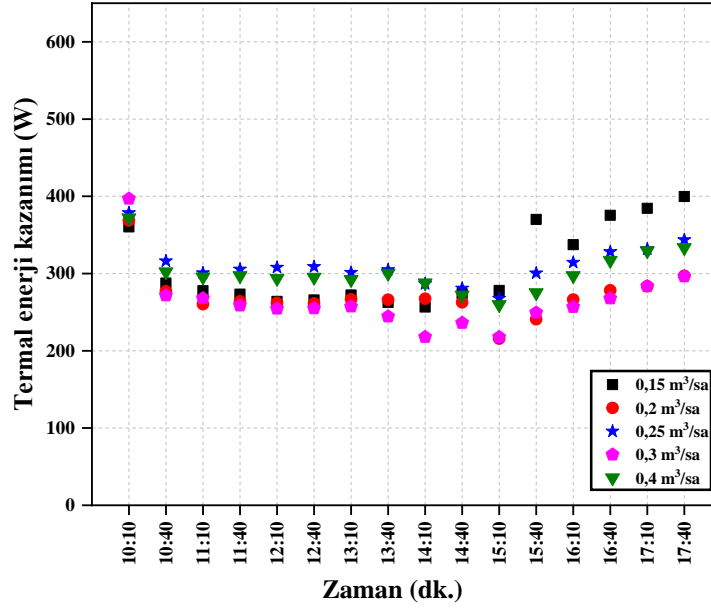
Düşük sıcaklıktaki kuyu suyunun, fan-coil ünitesindeki sirkülasyonundan odanın ortam havasının soğutulmasında aynı zamanda CPV/T kolektörlerin elektriksel performansın artırılmasında faydalanılmıştır. Farklı gün ve debilerde kuyu suyu sıcaklıkları ile CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklıklarının karşılaştırılması Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22. Farklı debilerde kuyu sıcaklıklarının ve CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklıklarının zamana bağlı değişimleri.

Grafik verilerinden ortalama kuyu suyu sıcaklığı ve CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklığının 0.15 m³/sa debi için sırasıyla 16.42 ve 27.59 °C, 0.2 m³/sa debi için 15.97 ve 24.93 °C, 0.25 m³/sa için 16.34 ve 24.06 °C, 0.3 m³/sa için 15.72 ve 22.02 °C, 0.4 m³/sa debide ise 16.09 ve 21.23 °C olduğu bulunmuştur. En yüksek CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklığı tüm debiler için saat 15:40'ta gözlenmiştir ve bu sıcaklık değerleri 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debileri için sırasıyla 32.16, 28.55, 27.12, 24.92, 23.42 °C olmuştur. Deneyler boyunca CPV/T kolektörler üzerine gelen ortalama ışınım 766 W/m² ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1101 W/m² olduğunda ortalama kuyu suyu sıcaklığı 16 °C olarak ve ortalama CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklığı 24 °C olarak belirlenmiştir.

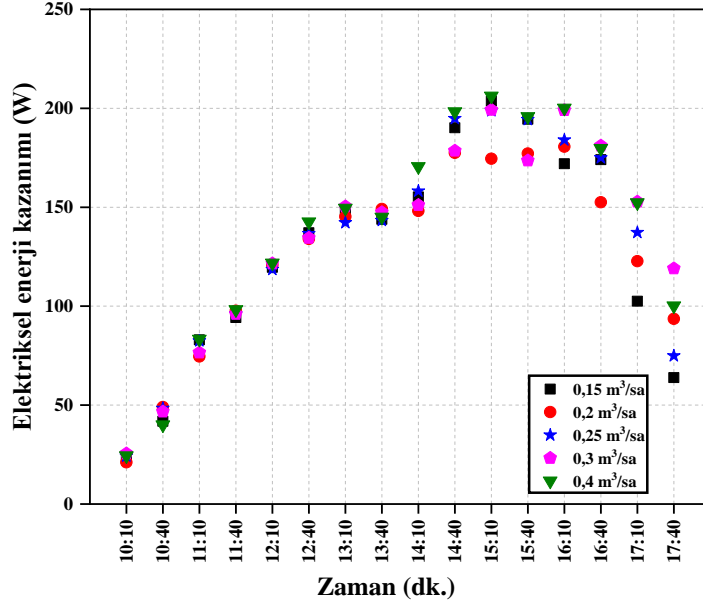
Sistemin yararlı termal enerjisi fan-coilin içerisinde geçen havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 6.23'te verilmiştir.



Şekil 6.23. Termal enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

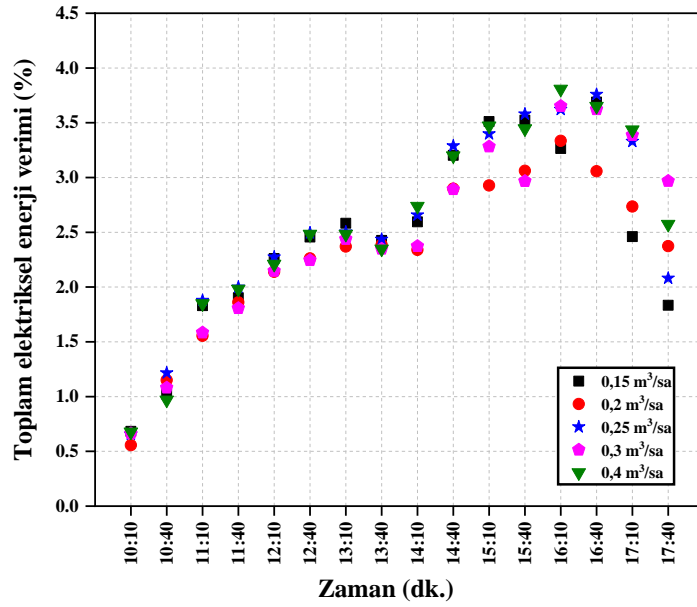
Grafik verileri incelendiğinde farklı günlerde yapılan deneylerde sistemden elde edilen ortalama yararlı termal enerjiler 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debiler için sırasıyla 307.32, 270.46, 313.85, 262.77 ve 302.92 W olmuştur. Farklı gün ve debilerde sistemin termal enerji kazanımları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Farklı sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde CPV/T kolektörlerden elde edilen yararlı elektriksel enerji Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanmış ve yararlı elektriksel enerjideki değişimler Şekil 6.24'te gösterilmiştir. Grafik verileri incelendiğinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debileri için ortalama yararlı elektriksel enerji kazanımları sırasıyla 126.97, 124.87, 132.71, 133.87, 137.48 W olmuştur. En yüksek yararlı elektriksel enerji saat 15:10'da 0.4 m³/sa debide 206.24 W olarak bulunmuştur. 0.4 m³/sa debide en yüksek elektriksel enerjinin elde edildiği saatte diğer deneylerden elde edilen yararlı elektriksel enerjiler 0.15 m³/sa için 175.37 W, 0.2 m³/sa için 174.51 W, 0.25 m³/sa için 198.82 W, 0.3 m³/sa için 199.21 W olmuştur. Sistemden elde edilen yararlı elektriksel enerji fan-coil kuyu suyu debisinin artması ile artmıştır. Buna bağlı olarak CPV/T kolektörlerin yüksek debilerde elektriksel çıktılarının daha iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 6.24. Elektriksel enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

Sistemin toplam elektriksel enerji verimi Eşitlik 4.6 kullanılarak hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.25'te grafiksel olarak verilmiştir.

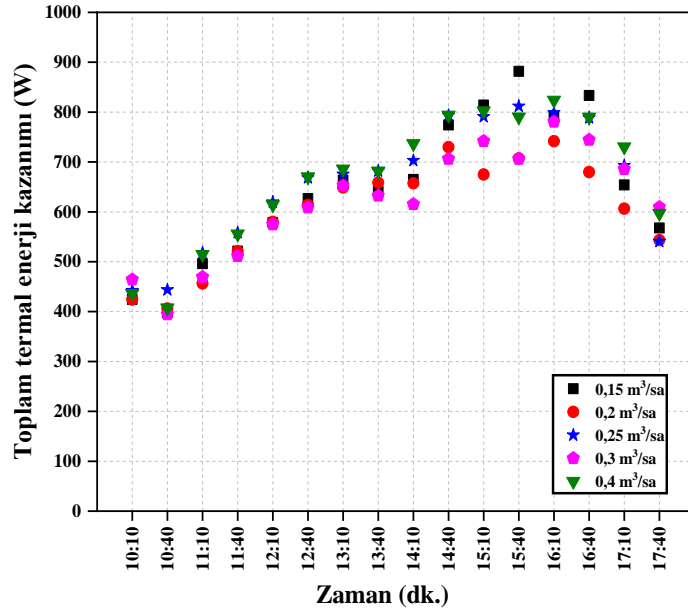


Şekil 6.25. Toplam elektriksel enerji veriminin zamana bağlı değişimi.

Grafikten toplam elektriksel verim değerleri incelendiğinde en yüksek 0,4 m³/sa debide saat 16:10'da %3,8 olmuştur. Aynı saatte 0,15, 0,2, 0,25, 0,3 m³/sa debileri için

elde edilen verim değerleri ise sırasıyla %3.26, %3.33, %3.62, %3.65 olarak bulunmuştur. Sistemden elde edilen toplam elektriksel enerji verim grafiğinden verimin yoğunlaştırıcı kullanılan sistemlerin elektriksel kazanımı için doğru bir belirteç olmadığını belirtebiliriz.

Sistemin toplam yararlı termal enerjisi Eşitlik 4.4 kullanılarak hesaplanmıştır ve elde edilen değerler Şekil 6.26’da verilmiştir.

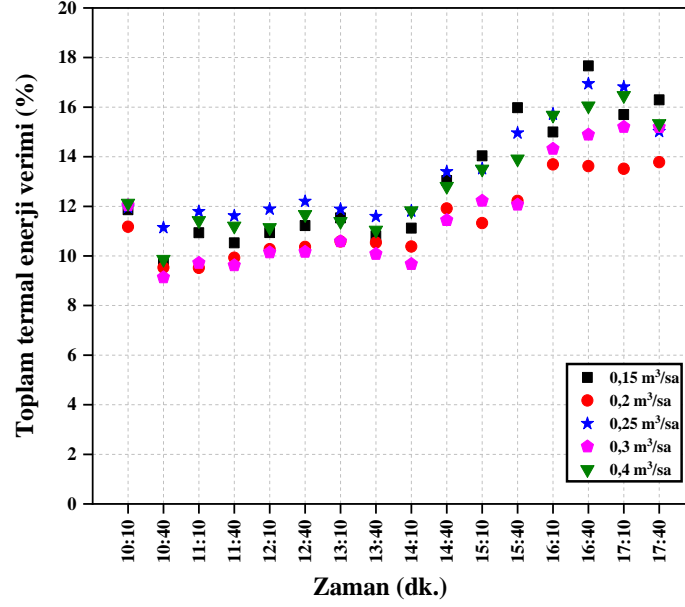


Şekil 6.26. Toplam termal enerji kazanımlarının zamana bağlı değişimleri.

Grafikte verilen değerler incelendiğinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debiler için sistemin ortalama toplam termal enerji kazanımları sırasıyla 641.46, 599.08, 663.07, 615.06, 664.71 W olmuştur. Farklı günlerde ve debilerde yapılan deneylerde sistemin toplam termal enerji kazanımları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Farklı sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde oda havası sıcaklığının ortalama 23-24 °C arasında ve fan-coil hava çıkış sıcaklıklarının ise ortalama 18 °C olmasına bağlı olarak sistemden elde edilen termal kazanımlar farklı debiler için birbirine yakın çıkmıştır.

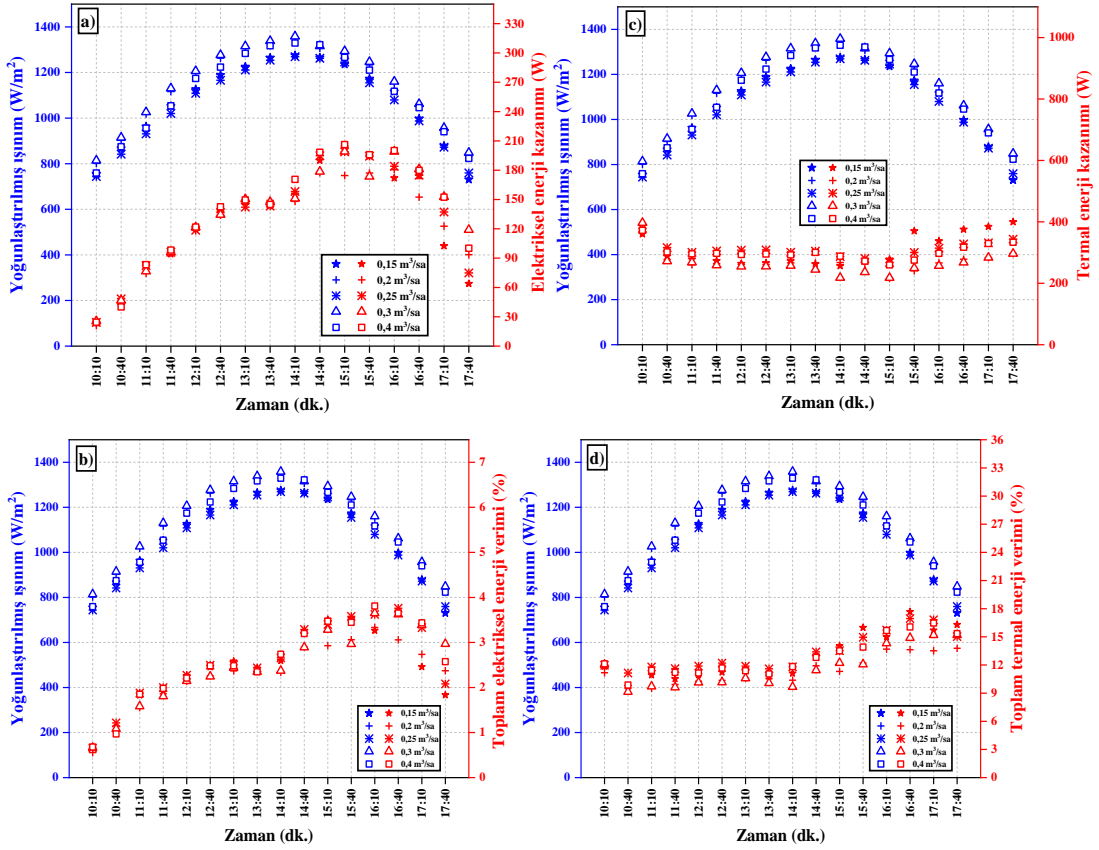
Sistemin toplam termal enerji verimi Eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 6.27’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debiler için sistemin ortalama toplam termal enerji verimleri sırasıyla %12.82, %11.34, %13.33, %11.60, %12.86 olmuştur. En yüksek

toplam termal enerji verimi $0.15 \text{ m}^3/\text{sa}$ debi için saat 16:40'ta %17.66 olmuştur ve bu saatteki 0.2, 0.25, 0.3, $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debileri için verimler ise sırasıyla %13.62, %16.94, %14.89, %16.04 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.27. Toplam termal enerji veriminin zamana bağlı değişimi.

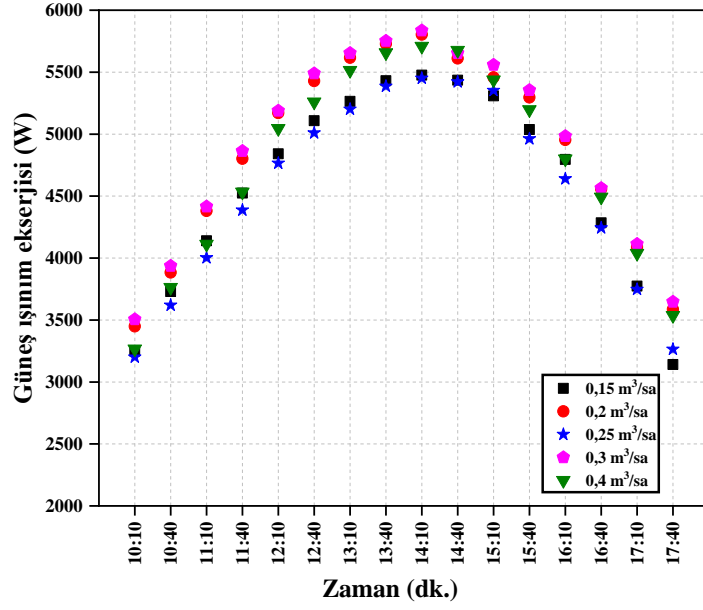
Şekil 6.28'de yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak sistemin termal enerji kazanımı, elektriksel enerji kazanımı, toplam elektriksel ve termal enerji verimlerindeki değişimler verilmiştir.



Şekil 6.28. Yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak sistemden elde edilen elektriksel-thermal kazanım ve verim grafikleri.

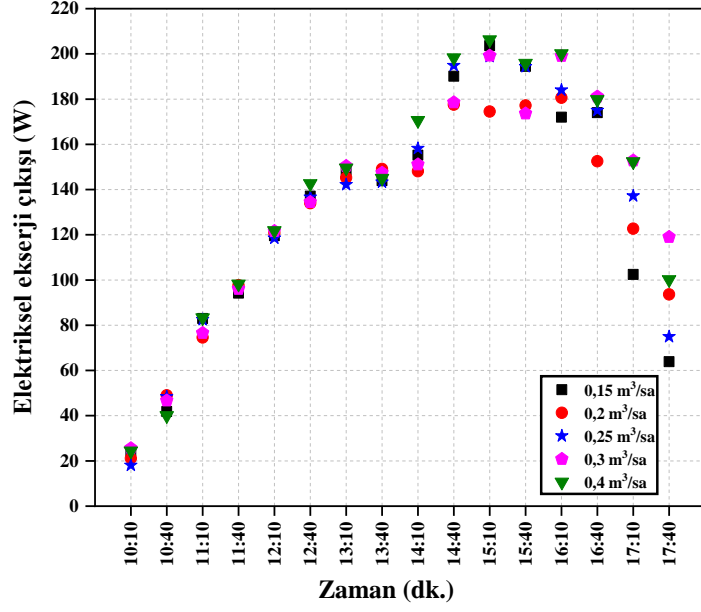
Şekil 6.28 (a) ve (c) de yoğunlaştırılmış ışınımına bağlı olarak farklı debilerde yararlı elektriksel ve thermal enerjinin arttığı görülmektedir. En yüksek yararlı elektriksel ve thermal enerjilere 14:00-16:00 saatleri arasında ulaşılmıştır. Şekil 6.28 (b) ve (d) de görüldüğü gibi elektriksel ve thermal verimler de ışınımın artmasıyla artmaktadır ve en yüksek verim değerleri, 14:00-16:00 saatleri arasında elde edilmiştir.

Sisteme giren ekserji deneylerden elde edilen veriler kullanılarak Eşitlik 4.12 ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Şekil 6.29'da gösterilmiştir. Sisteme giren ekserji miktarı farklı gün ve debilerde yapılan ölçümler için belirgin farklılık göstermemiştir ve ortalama 4733.82 W olarak bulunmuştur.

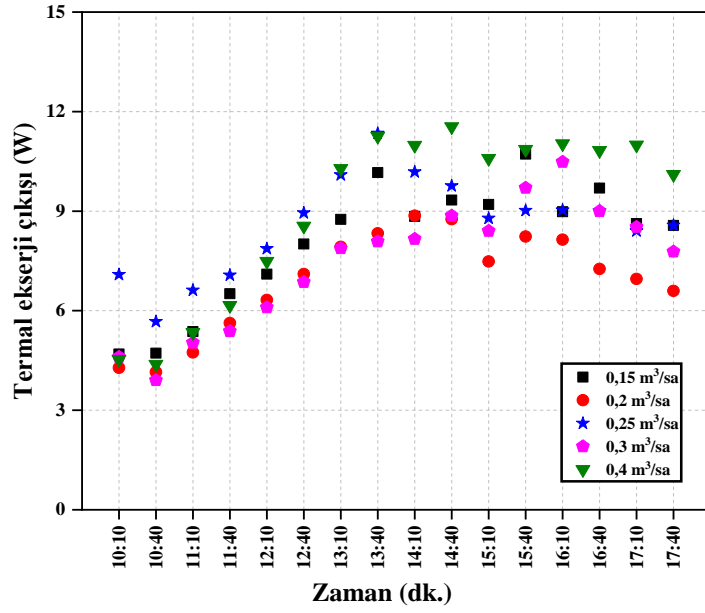


Şekil 6.29. Güneş ışınım ekserjisinin zamana bağlı değişimi.

Sistemin elektriksel ekserji çıkışı Eşitlik 4.14 kullanılarak hesaplanmıştır ve Şekil 6.30'da verilmiştir. Elektriksel ekserji çıkışı en yüksek $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ sabit fan-coil kuyu suyu debisinde 206 W olarak elde edilmiştir. Fan-coil hava giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak sistemin termal ekserjisi Eşitlik 4.13 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.31'de verilmiştir. Grafikten termal ekserji çıktılarını 0.15 , 0.2 , 0.25 , 0.3 , $0.4 \text{ m}^3/\text{sa}$ debileri için sırasıyla ortalama 7.99 , 6.91 , 8.63 , 7.37 , 9.06 W olarak bulunmuştur. Farklı gün ve debilerde gerçekleştirilen deneylerde sistemden elde edilen ortalama termal ekserji çıkışı 7.99 W olmuştur.



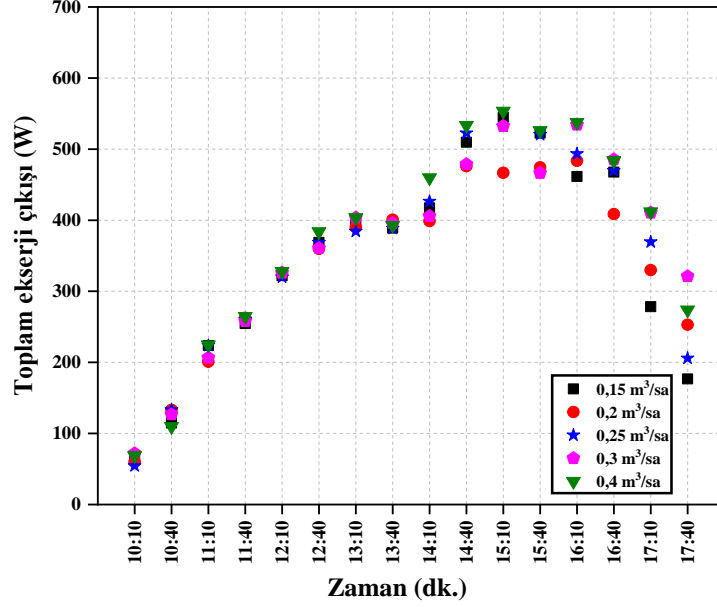
Şekil 6.30. Elektriksel ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.31. Termal ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.

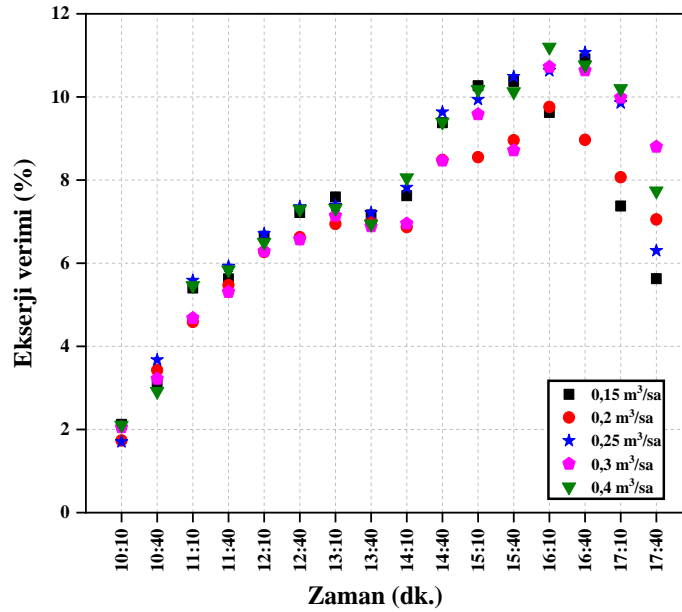
Toplam ekserji çıkışı Eşitlik 4.11 kullanılarak hesaplanmıştır ve Şekil 6.32'de grafiksel olarak verilmiştir. Grafikten elde edilen veriler incelendiğinde toplam ekserji çıktılarını 0,15, 0,2, 0,25, 0,3 ve 0,4, m³/sa debileri için sırasıyla ortalama 335,54, 342,13, 357,86, 359,66, ve 370,84 W olmuştur. Sabit fan-coil kuyu suyu debisindeki artış ile sistemden elde edilen toplam ekserji çıkışı da artmıştır. Farklı gün ve debilerde

gerçekleştirilen deneylerde sistemden elde edilen ortalama toplam ekserji çıkışı 353.2 W olarak bulunmuştur.



Şekil 6.32. Toplam ekserji çıkışının zamana bağlı değişimi.

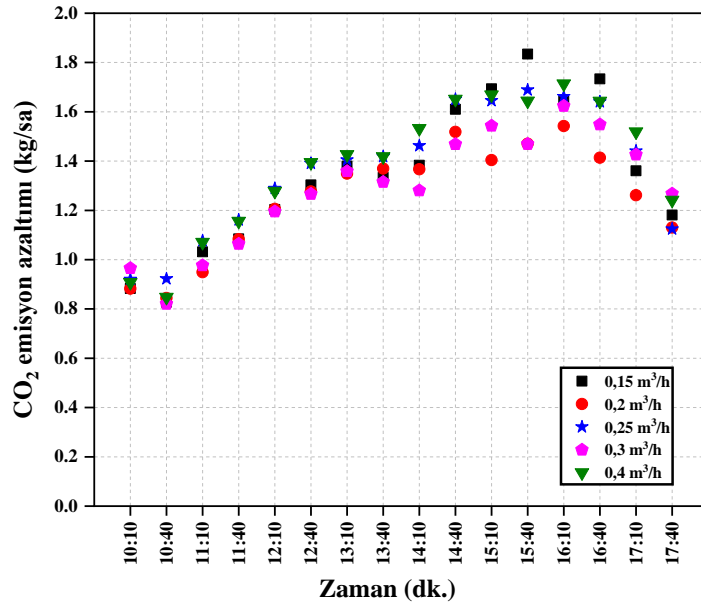
Sistemin ekserji verimi Eşitlik 4.15 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.33'te verilmiştir.



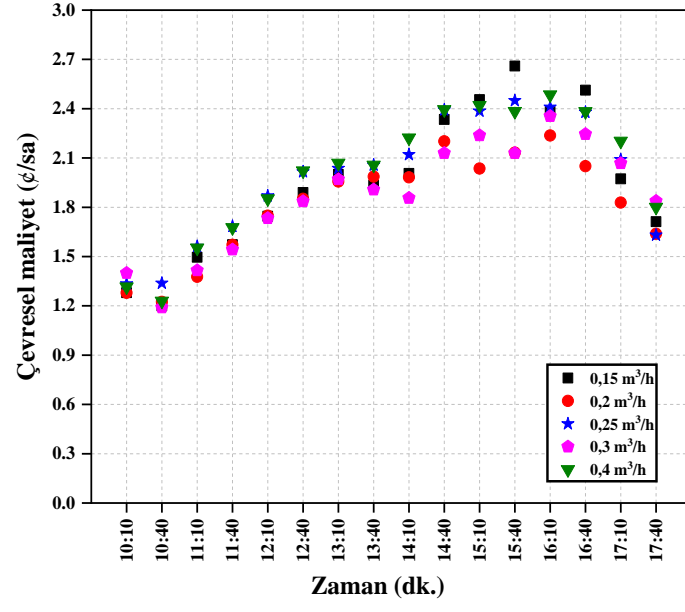
Şekil 6.33. Ekserji veriminin zamana bağlı değişimi.

Ekserji verim grafiği incelendiğinde 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa farklı sabit fan-coil kuyu suyu debilerinde elde edilen ortalama ekserji verimleri sırasıyla %7.19, %6.74, %7.63, %7.22, %7.71 olmuştur. Farklı gün ve debilerde gerçekleştirilen deneylerde sistemden elde edilen en yüksek ekserji verimi 0.4 m³/sa debide elde edilmiştir.

Yaz uygulamasında kullanılan sistem için CO₂ emisyon azaltım miktarı Eşitlik 4.16 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 6.34'te grafiksel olarak verilmiştir. Sistemin kullanımı ile atmosfere yayılımı engellenen CO₂ miktarından dolayı sağlanan tasarrufun bir ölçüsü olan çevresel maliyet değeri Eşitlik 4.17 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 6.35'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemin kullanılması ile saatte 1.83 kg'a varan CO₂ emisyon azaltımı sağlanmış ve bu azalığa bağlı olarak saatte 2.66 'e yaklaşan tasarruf elde edilmiştir.



Şekil 6.34. Sistemin CO₂ azaltımının zamana bağlı değişimi.



Şekil 6.35. Sistemin çevresel maliyet değerinin zamana bağlı değişimi.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Karabük ili iklim şartlarında 54 m^3 hacme sahip bir odanın ısıtma-soğutma uygulaması ve aynı zamanda sistemde kullanılan ekipmanların elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla kurulan bir sistem deneysel olarak test edilmiştir. Deneylelerden elde edilen veriler ile sistemlerin teorik hesaplamaları yapılarak enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Kış uygulaması deneylelerinden elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Deneyleler boyunca CPV/T kolektör üzerine gelen güneş ışınımı 730 W/m^2 olduğunda ortalama yoğunlaştırılmış güneş ışınımı 1056 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.
- CPV/T kolektörlerden elde edilen toplam termal güç PG/su karışımı için ortalama 1223.45 W nanoakışkan için 1096.42 W olarak hesaplanmış ve bu güç değerlerinde ortalama verim %22 olarak bulunmuştur. Bu durum her iki akışkanında benzer termal özellikler gösterdiğini ortaya koymaktadır.
- CPV/T kolektörlerden elde edilen en yüksek elektriksel güç PG/su karışımı için $0.6 \text{ m}^3/\text{sa}$ debide 268.65 W olarak ölçülmüştür.
- Deneyleler boyunca fan-coil hava çıkış sıcaklıkları invertör ve proses kontrol ekipmanı vasıtasıyla $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ye ayarlanmıştır. İstenilen fan-coil hava çıkış sıcaklığına ulaşma süresi nanoakışkanda, PG/su karışımından daha kısa sürmüştür.
- Yatay düzlemde CPV/T paneller üzerine gelen yoğunlaştırılmış güneş ışınımı 1056 W/m^2 olduğunda ve dış hava sıcaklıkları en düşük $8 \text{ }^\circ\text{C}$ en yüksek $26 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğunda elde edilen fan-coil hava çıkış sıcaklığı $33 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir.

Bu sırada oda sıcaklığı 24.6 °C olarak ölçülmüştür. Oda sıcaklığının değişimi fan-coil hava sıcaklığının değişimi ile orantılı olarak değişmiştir.

- Sistemden elde edilen toplam ekserji çıkışı PG/su karışımı için ortalama 380.56 W, Al₂O₃/su nanoakışkanı için 315.36 W olmuştur. Sistemin bu ekserji çıkış değerlerinde her iki akışkan içinde ekserji verimi ortalama %7 olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin kış uygulamasında PG/su karışımı için saatte 4.8 kg'a Al₂O₃/su nanoakışkanı için ise saatte 4.2 kg'a varan CO₂ emisyon azaltımı sağlanmış ve bu azalıma bağlı olarak PG/su karışımı için saatte 7 º'e ve Al₂O₃/su nanoakışkanı için ise saatte 6.2 º'e yaklaşan bir tasarruf elde edilmiştir. Önerilen sistemin yaygınlaşmasıyla birlikte bu değerlerin oldukça artması beklenmekte ve sistemin oldukça çevre dostu olduğu anlaşılmaktadır.
- Dışardan herhangi bir enerji girdisi olmadan enerjisini sadece yenilenebilir enerji kaynağı güneşten karşılayan çevre ve enerji dostu bir sistem geliştirilmiştir.
- Kurulu deneysel sistemin uygulandığı bölge itibariyle, soğuk havalarda mahal ısıtma uygulamaları için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Yaz uygulaması deneylerinden elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Deneyler boyunca CPV/T kolektörlerin üzerine gelen ortalama ışınım 766 W/m² olduğunda ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1101 W/m² olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama kuyu suyu sıcaklığı 16 °C olduğunda ve dış ortam sıcaklığının en düşük 23 °C en yüksek 33 °C arasında değiştiği durumlarda ortalama fan-coil hava çıkış sıcaklığı 18 °C ve ortalama oda sıcaklığı 23 °C olarak belirlenmiştir. Sistemde çalışılan tüm debilerde oda sıcaklıkları yaz ayları için 21-24 °C olan konfor sıcaklıklarında tutulabilmiştir.
- Deneyler boyunca fan-coil hava çıkış sıcaklıkları invertör ve proses kontrol ekipmanı vasıtasıyla 20 °C ye ayarlanmıştır. 0.15 m³/sa sabit fan-coil kuyu suyu debisinde yapılan deneylerde öğleden sonraki saatlerde fan-coil hava çıkış sıcaklığının set sıcaklığına ulaştığı diğer debilerde ise set sıcaklığının

altında kaldığı belirlenmiştir. 0.15, 0.2, 0.25 m³/sa debilerde fan-coil hava çıkış sıcaklığı set sıcaklığından ortalama 1.14 °C düşükken 0.3 ve 0.4 m³/sa debilerde ortalama 2.36 °C düşük bulunmuştur ve buna bağlı olarak artan sabit fan-coil kuyu suyu debisi ile daha iyi soğutma etkisi olduğu söylenebilir.

- Deneysel boyunda CPV/T kolektörler üzerine gelen ortalama ışınım 766 W/m² ve ortalama yoğunlaştırılmış ışınım 1101 W/m² olduğunda ortalama kuyu suyu sıcaklığı 16 °C olarak ve ortalama CPV/T kolektör çıkış suyu sıcaklığı 24 °C olarak belirlenmiştir.
- Sistemden 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 m³/sa debiler için elde edilen toplam termal güç değerleri sırasıyla 641.46, 599.08, 663.07, 615.06, 664.71 W olarak hesaplanmıştır ve bu güç değerlerinde sistemin verimleri sırasıyla %12.82, %11.34, %13.33, %11.60, %12.86 olmuştur. Sistemden elde edilen ortalama toplam termal güç 636.67 W olarak bulunmuş ve bu güç değerinde ortalama verim %12.4 olarak hesaplanmıştır.
- CPV/T kolektörlerden elde edilen en yüksek elektriksel güç 0.4 m³/sa debide 206.24 W olarak ölçülmüştür.
- Sistemden 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 ve 0.4 m³/sa debileri için elde edilen toplam ekserji çıktıları sırasıyla ortalama 335.54, 342.13, 357.86, 359.66, ve 370.84 W olmuştur ve sistemin bu ekserji çıkış değerlerinde elde edilen ortalama ekserji verimleri sırasıyla %7.19, %6.74, %7.63, %7.22, %7.71 olmuştur. Farklı gün ve debilerde gerçekleştirilen deneylerde sistemden elde edilen ortalama toplam ekserji çıkışı 353.20 W olduğunda ortalama ekserji verimi %7.3 olmuştur.
- Yaz uygulamasında kullanılan sistem ile saatte ortalama 1.3 kg'a varan CO₂ emisyon azaltımı sağlanmış ve bu azalmaya bağlı olarak saatte ortalama 2 º'e yaklaşan tasarruf elde edilmiştir.
- Kurulu sistem dışardan enerji girişi olmadan enerji ihtiyacını tamamen yenilenebilir enerjiden karşılayan çevre ve enerji dostu bir sistemdir.
- Kurulu deneysel sistemin uygulandığı bölge itibarıyla, sıcak havalarda mahal soğutma ve aydınlatma uygulamalarında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Günümüzde konutlarda, sanayide, ulaşımda ve diğer alanlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların tükenme ve çevreye olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Güneş ışınımını üst seviyede alan ülkemiz için güneş enerjisi ile kullanılan teknolojilerin enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan mahal ısıtma-soğutma ve aydınlatma uygulamalarındaki kullanımları enerji talebinin karşılanmasında oldukça önemlidir. Bu kapsamda yapılan bu tez çalışmasında CPV/T kolektörler gibi güneş enerjisinden hem elektriksel hem de termal olarak faydalanmayı maksimuma çıkarabilecek güneş enerji teknolojisinin bir odanın ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerji ihtiyaçlarını karşılamadaki performansı test edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak gelecek çalışmalara yön verebilmek adına aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- Sistemin kış uygulamasında kullanılan akışkanların sistem performansı üzerinde benzer etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sistemde farklı tip ısı transfer akışkanları denenerek deneyler tekrarlanabilir ve optimum akışkan seçimi yapılabilir.
- Yaz ve kış uygulamasında kurulu sistemde kullanılan CPV/T kolektörlerin yoğunlaştırıcı oranı düşüktür. Sistemde yüksek yoğunlaştırıcı oranına sahip kolektör tipleri seçilerek farklı debilerde çalışmalar yapılabilir.
- CPV/T kolektörler ısıtılan odanın çatısına konumlandırılarak bina entegreli CPV/T sistemi ileriki çalışmalarda denenebilir. Konutlarda veya sanayide kullanımını sağlayacak bina entegreli bir sistem oluşturulabilir.
- Fotovoltaik/termal sistemlerin termal kısımlarından elde edilen ısının geceleyin de kullanılabilmesi için ısı depolama özelliğine sahip farklı faz değiştiren malzemelerin sisteme entegre edilmesi ile yeni bir sistem tasarlanabilir.
- Uygulanan sistemin çalışıldığı bölge itibariyle kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Sistem farklı şehirlerde denenerek elde edilen sonuçlarla uygulandığı bölge koşullarında kullanılabilirliği araştırılabilir.

- Yaz uygulamasında düşük enerji yoğunluklu kuyu suyunun soğutma etkisinden yararlanılarak oda havası istenilen konfor sıcaklığında tutulabilmiştir. Sistemde çalışılan beş farklı debi içinde istenilen oda sıcaklığı elde edilmiştir. Ancak farklı debiler denenerek sistem için optimum parametreler belirlenebilir.
- Güneş enerjili sulama sistemlerinden elde edilen su genellikle tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır. Kurulu sistem ile güneş enerjili sulama sistemlerinden elde edilen suyun mahal soğutmada kullanımı ile uygulama alanı artırılmıştır. Ayrıca sistemde kullanılan elektrik enerjisi de tamamen CPV/T kolektörlerden karşılanmaktadır. Şebekeden bağımsız bölgelerde bu tür uygulamaların hem elektrik hem de ısı enerjisi açısından kullanıma uygunluğu prototip bir sistem üzerinde denenebilir ve projelendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Celik, A. N. and Özgür, E., "Review of Turkey's photovoltaic energy status: Legal structure, existing installed power and comparative analysis", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 134: (2020).
2. Ergen, E. and Nazlıgöl, H., "Energy criticism of Turkey and comparison with the world : energy harvesting , development , challenges , and opportunities", *Adana Alparslan Turkes Science And Technology University Journal Of Science*, 4 (1): 43–54 (2021).
3. Internet: IPCC., "Summary for Policymakers — Global Warming of 1.5 °C", <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> (2021).
4. Internet: Secretariat REN21, "RENEWABLES 2022 GLOBAL STATUS REPORT", https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf (2022).
5. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., and Gorini, R., "The role of renewable energy in the global energy transformation", *Energy Strategy Reviews*, 24: 38–50 (2019).
6. Erat, S., Telli, A., Ozkendir, O. M., and Demir, B., "Turkey's energy transition from fossil-based to renewable up to 2030: milestones, challenges and opportunities", *Clean Technologies And Environmental Policy*, 23 (2): 401–412 (2021).
7. Internet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Elektrik", <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (2022) .
8. Internet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Eigm Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Gunes", <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (2021).
9. Internet: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ), "Nisan 2022 Kurulu Güç Raporu.", <https://www.gensed.org/assets/attachments/dosyalar/Nisan-2022-Kurulu-Güç-Raporu.pdf> (2022).
10. Internet: International Energy Agency, " Turkey 2021 Energy Policy Review", https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_2021_Energy_Policy_Review.pdf (2021).
11. Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., and Kim, K. H., "Solar energy: Potential and future prospects", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*,

82: 894–900 (2018).

12. Li, Q., Zheng, C., Mesgari, S., Hewkuruppu, Y. L., Hjerrild, N., Crisostomo, F., Rosengarten, G., Scott, J. A., and Taylor, R. A., "Experimental and numerical investigation of volumetric versus surface solar absorbers for a concentrated solar thermal collector", *Solar Energy*, 136: 349–364 (2016).
13. Zondag, H. A., "Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 12 (4): 891–959 (2008).
14. Browne, M. C., Quigley, D., Hard, H. R., Gilligan, S., Ribeiro, N. C. C., Almeida, N., and McCormack, S. J., "Assessing the Thermal Performance of Phase Change Material in a Photovoltaic/Thermal System", *Energy Procedia*, 91: 113–121 (2016).
15. 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).
16. Kandilli, C., "Performance analysis of a novel concentrating photovoltaic combined system", *Energy Conversion And Management*, 67: 186–196 (2013).
17. Elbreki, A. M., Alghoul, M. A., Al-Shamani, A. N., Ammar, A. A., Yegani, B., Aboghrara, A. M., Rusaln, M. H., and Sopian, K., "The role of climatic-design-operational parameters on combined PV/T collector performance: A critical review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 57: 602–647 (2016).
18. Hosseini, S. A., Kermani, A. M., and Arabhosseini, A., "Experimental study of the dew formation effect on the performance of photovoltaic modules", *Renewable Energy*, 130: 352–359 (2019).
19. Acar, B., Gürel, A. E., Ergün, A., Ceylan, İ., Ağbulut, Ü., and Can, A., "Performance assessment of a novel design concentrated photovoltaic system coupled with self-cleaning and cooling processes", *Environmental Progress And Sustainable Energy*, 39 (5): 1–10 (2020).
20. Hasan, A., Sarwar, J., and Shah, A. H., "Concentrated photovoltaic: A review of thermal aspects, challenges and opportunities", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 94: 835–852 (2018).
21. Elminshawy, A., Morad, K., Elminshawy, N. A. S., and Elhenawy, Y., "Performance enhancement of concentrator photovoltaic systems using nanofluids", *International Journal Of Energy Research*, 45 (2): 2959–2979 (2021).
22. Lamnatou, C., Vaillon, R., Parola, S., and Chemisana, D., "Photovoltaic/thermal systems based on concentrating and non-concentrating technologies: Working fluids at low, medium and high temperatures", *Renewable And Sustainable*

Energy Reviews, 137: 110625 (2021).

23. Zhang, G., Wei, J., Zhang, L., Xi, C., Ding, R., Wang, Z., and Khalid, M., "A comprehensive study on the effects of truncation positions of the compound parabolic concentrator eliminating multiple reflections on the performances of concentrating photovoltaic and thermal system", *Applied Thermal Engineering*, 183: 116162 (2021).
24. Ju, X., Xu, C., Liao, Z., Du, X., Wei, G., Wang, Z., and Yang, Y., "A review of concentrated photovoltaic-thermal (CPVT) hybrid solar systems with waste heat recovery (WHR)", *Science Bulletin*, 62 (20): 1388–1426 (2017).
25. Ozcan, O. and Ersoz, F., "Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis application", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 22 (4): 1098–1106 (2019).
26. Cao, X., Yao, R., Ding, C., Zhou, N., Yu, W., Yao, J., Xiong, J., Xu, Q., Pan, L., and Li, B., "Energy-quota-based integrated solutions for heating and cooling of residential buildings in the Hot Summer and Cold Winter zone in China", *Energy And Buildings*, 236: 110767 (2021).
27. Oughton, D. R. and S. H., "Faber & Kell's Heating and Air Conditioning of Buildings 9th Ed.", *Taylor & Francis*, London, 373–408 (2012).
28. Pita, G. E., "Air Conditioning Principles and Systems: An Energy Approach 4th Ed.", *Pearson Education*, New Jersey, 102–119, 306–331 (2001).
29. Morosuk, T. and Sultan, M., "Low-Temperature Technologies 1st Ed.", *Intechopen*, London, 1–20 (2020).
30. Küçükçalı, R., "Isısan Çalışmaları No.305 Klima Tesisatı Kitabı 3. Baskı", *Isısan*, İstanbul, 176–222 (2001).
31. Haines, R. W. and Hittle, D. C., "Control Systems for Heating, Ventilating and Air Conditioning 6th Ed.", *Springer*, New York, 209–217 (2006).
32. Pavlovic, T., "The Sun and Photovoltaic Technologies 1st Ed.", *Springer*, Switzerland, 1–44 (2020).
33. Kalogirou, S. A., "Solar Energy Engineering: Processes and Systems: 2nd Ed.", *Elsevier*, Amsterdam, 51–123 (2014).
34. Tiwari, G. N., Tiwari, A., and Shyam, "Handbook of Solar Energy; Theory, Analysis and Applications 1st Ed.", *Springer*, Singapore, 1–48 (2016).
35. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes 4th Ed.", *Wiley*, Canada, 3–133 (2013).

36. Kazmerski, L. L., "Photovoltaics: A review of cell and module technologies", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 1 (1–2): 71–170 (1997).
37. Gorjian, S. and Shukla, A., "Photovoltaic Solar Energy Conversion Technologies, Applications and Environmental Impacts 1st Ed.", *Elsevier*, London, 1–33 (2020).
38. Zhang, C., Shen, C., Wei, S., Wang, Y., Lv, G., and Sun, C., "A Review on Recent Development of Cooling Technologies for Photovoltaic Modules", *Journal Of Thermal Science*, 29 (6): 1410–1430 (2020).
39. Idoko, L., Anaya-Lara, O., and McDonald, A., "Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique", *Energy Reports*, 4: 357–369 (2018).
40. Selimli, S., Dumrul, H., Yilmaz, S., and Akman, O., "Experimental and numerical analysis of energy and exergy performance of photovoltaic thermal water collectors", *Solar Energy*, 228: 1–11 (2021).
41. Bayrak, F., Abu-Hamdeh, N., Alnefaie, K. A., and Öztop, H. F., "A review on exergy analysis of solar electricity production", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 74: 755–770 (2017).
42. Tripanagnostopoulos, Y., "Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems", *Solar Energy*, 81 (9): 1117–1131 (2007).
43. Dupré, O., Vaillon, R., and Green, M. A., "Thermal Behavior of Photovoltaic Devices 1st. Ed.", *Springer*, Switzerland, 1–70 (2017).
44. Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., and Yu, X., "Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16 (1): 599–617 (2012).
45. Alous, S., Kayfeci, M., and Uysal, A., "Experimental investigations of using MWCNTs and graphene nanoplatelets water-based nanofluids as coolants in PVT systems", *Applied Thermal Engineering*, 162: 114265 (2019).
46. Chauhan, A., Tyagi, V. V., and Anand, S., "Futuristic approach for thermal management in solar PV/thermal systems with possible applications", *Energy Conversion And Management*, 163: 314–354 (2018).
47. Yazdanifard, F., Ameri, M., and Ebrahimnia-Bajestan, E., "Performance of nanofluid-based photovoltaic/thermal systems: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 76: 323–352 (2017).
48. Al-Waeli, A. H. A., Kazem, H. A., Chaichan, M. T., and Sopian, K., "A review of photovoltaic thermal systems: Achievements and applications", *International Journal Of Energy Research*, 45 (2): 1269–1308 (2021).

49. Imenes, A. G. and Mills, D. R., "Spectral beam splitting technology for increased conversion efficiency in solar concentrating systems: A review", *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 84 (1–4): 19–69 (2004).
50. Joshi, S. S. and Dhoble, A. S., "Photovoltaic -Thermal systems (PVT): Technology review and future trends", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 92: 848–882 (2018).
51. Gharzi, M., Arabhosseini, A., Gholami, Z., and Rahmati, M. H., "Progressive cooling technologies of photovoltaic and concentrated photovoltaic modules: A review of fundamentals, thermal aspects, nanotechnology utilization and enhancing performance", *Solar Energy*, 211: 117–146 (2020).
52. Kumar, A., Baredar, P., and Qureshi, U., "Historical and recent development of photovoltaic thermal (PVT) technologies", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 42: 1428–1436 (2015).
53. Hasan, M. A. and Sumathy, K., "Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 14 (7): 1845–1859 (2010).
54. Ooshaksaraei, P., Sopian, K., Zaidi, S. H., and Zulkifli, R., "Performance of four air-based photovoltaic thermal collectors configurations with bifacial solar cells", *Renewable Energy*, 102: 279–293 (2017).
55. Secchi, R., Tempesti, D., and Smolka, J., "Effect of a back surface roughness on annual performance of an air-cooled PV module", *25th International Conference On Efficiency, Cost, Optimization And Simulation Of Energy Conversion Systems And Processes, ECOS 2012*, Perugia, 1-16 (2012).
56. Alzaabi, A. A., Badawiyeh, N. K., Hantoush, H. O., and Hamid, A. K., "Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE", *International Journal Of Smart Grid And Clean Energy*, 3 (4): 385–389 (2014).
57. Teo, H. G., Lee, P. S., and Hawlader, M. N. A., "An active cooling system for photovoltaic modules", *Applied Energy*, 90 (1): 309–315 (2012).
58. Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G. M., and Ventura, C., "Experimental photovoltaic-thermal Power Plants based on TESPI panel", *Solar Energy*, 133: 305–314 (2016).
59. Jahromi, S. N., Vadiiee, A., and Yaghoubi, M., "Exergy and Economic Evaluation of a Commercially Available PV/T Collector for Different Climates in Iran", *Energy Procedia*, 75: 444–456 (2015).
60. Aste, N., Del Pero, C., Leonforte, F., and Manfren, M., "Performance monitoring and modeling of an uncovered photovoltaic-thermal (PVT) water collector", *Solar Energy*, 135: 551–568 (2016).

61. Khanjari, Y., Pourfayaz, F., and Kasaeian, A. B., "Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system", *Energy Conversion And Management*, 122: 263–278 (2016).
62. Sardarabadi, M. and Passandideh-Fard, M., "Experimental and numerical study of metal-oxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT)", *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 157: 533–542 (2016).
63. Hu, M., Zheng, R., Pei, G., Wang, Y., Li, J., and Ji, J., "Experimental study of the effect of inclination angle on the thermal performance of heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) systems with wickless heat pipe and wire-meshed heat pipe", *Applied Thermal Engineering*, 106: 651–660 (2016).
64. Fayaz, H., Nasrin, R., Rahim, N. A., and Hasanuzzaman, M., "Energy and exergy analysis of the PVT system: Effect of nanofluid flow rate", *Solar Energy*, 169: 217–230 (2018).
65. Karami, N. and Rahimi, M., "Heat transfer enhancement in a PV cell using Boehmite nanofluid", *Energy Conversion And Management*, 86: 275–285 (2014).
66. Al-Waeli, A. H. A., Sopian, K., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Ibrahim, A., Mat, S., and Ruslan, M. H., "Evaluation of the nanofluid and nano-PCM based photovoltaic thermal (PVT) system: An experimental study", *Energy Conversion And Management*, 151: 693–708 (2017).
67. Joshi, S. S., Dhoble, A. S., and Jiwanapurkar, P. R., "Investigations of Different Liquid Based Spectrum Beam Splitters for Combined Solar Photovoltaic Thermal Systems", *Journal Of Solar Energy Engineering, Transactions Of The ASME*, 138 (2): 1–7 (2016).
68. Agrawal, B. and Tiwari, G. N., "Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions", *Applied Energy*, 87 (2): 417–426 (2010).
69. Hasan, H. A., Sopian, K., Jaaz, A. H., and Al-Shamani, A. N., "Experimental investigation of jet array nanofluids impingement in photovoltaic/thermal collector", *Solar Energy*, 144: 321–334 (2017).
70. Sharaf, O. Z. and Orhan, M. F., "Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part I - Fundamentals, design considerations and current technologies", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 50: 1500–1565 (2015).
71. Jacob, J., Pandey, A. K., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Samykano, M., Saidur, R., and Tyagi, V. V., "Concentrated Photovoltaic Thermal (CPVT) systems: Recent advancements in clean energy applications, thermal management and storage", *Journal Of Energy Storage*, 45: 103369 (2022).

72. George, M., Pandey, A. K., Abd Rahim, N., Tyagi, V. V., Shahabuddin, S., and Saidur, R., "Concentrated photovoltaic thermal systems: A component-by-component view on the developments in the design, heat transfer medium and applications", *Energy Conversion And Management*, 186: 15–41 (2019).
73. Alzahrani, M., Shanks, K., and Mallick, T. K., "Advances and limitations of increasing solar irradiance for concentrating photovoltaics thermal system", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 138: 110517 (2021).
74. Perers, B. and Karlsson, B., "External reflectors for large solar collector arrays, simulation model and experimental results", *Solar Energy*, 51 (5): 327–337 (1993).
75. Rabl, A., O’Gallagher, J., and Winston, R., "Design and test of non-evacuated solar collectors with compound parabolic concentrators", *Solar Energy*, 25 (4): 335–351 (1980).
76. Cabral, D. and Karlsson, B. O., "Electrical and thermal performance evaluation of symmetric truncated C-PVT trough solar collectors with vertical bifacial receivers", *Solar Energy*, 174: 683–690 (2018).
77. Ustaoglu, A., Ozbey, U., and Torlaklı, H., "Numerical investigation of concentrating photovoltaic/thermal (CPV/T) system using compound hyperbolic –trumpet, V-trough and compound parabolic concentrators", *Renewable Energy*, 152: 1192–1208 (2020).
78. Guiqiang, L., Gang, P., Su, Y., Xi, Z., and Jie, J., "Preliminary study based on building-integrated compound parabolic concentrators (CPC) PV/thermal technology", *Energy Procedia*, 14: 343–350 (2012).
79. Rabl, A., "Comparison of solar concentrators", *Solar Energy*, 18 (2): 93–111 (1976).
80. Mills, D. R. and Giutronich, J. E., "Asymmetrical non-imaging cylindrical solar concentrators", *Solar Energy*, 20 (1): 45–55 (1978).
81. Tripanagnostopoulos, Y., Yianoulis, P., Papaefthimiou, S., and Zafeiratos, S., "CPC solar collectors with flat bifacial absorbers", *Solar Energy*, 69 (3): 191–203 (2000).
82. Adsten, M., Helgesson, A., and Karlsson, B., "Evaluation of CPC-collector designs for stand-alone, roof- or wall installation", *Solar Energy*, 79 (6): 638–647 (2005).
83. Fernandes, C. A. F., Torres, J. P. N., Branco, P. J. C., Fernandes, J., and Gomes, J., "Cell string layout in solar photovoltaic collectors", *Energy Conversion And Management*, 149: 997–1009 (2017).
84. Torres, J. P. N., Fernandes, C. A. F., Gomes, J., Luc, B., Carine, G., Olsson, O.,

- and Branco, P. J. C., "Effect of reflector geometry in the annual received radiation of low concentration photovoltaic systems", *Energies*, 11 (7): 1878 (2018).
85. Torres, J. P. N., Fernandes, J. F. P., Fernandes, C., Costa Branco, P. J., Barata, C., and Gomes, J., "Effect of the collector geometry in the concentrating photovoltaic thermal solar cell performance", *Thermal Science*, 22 (5): 2243–2256 (2018).
 86. Radwan, A., Ahmed, M., and Ookawara, S., "Performance enhancement of concentrated photovoltaic systems using a microchannel heat sink with nanofluids", *Energy Conversion And Management*, 119: 289–303 (2016).
 87. El-Samie, M. M. A., Ju, X., Zhang, Z., Adam, S. A., Pan, X., and Xu, C., "Three-dimensional numerical investigation of a hybrid low concentrated photovoltaic/thermal system", *Energy*, 190: 116436 (2020).
 88. Dumrul, H., Yılmaz, S., Kaya, M., and Ceylan, İ., "Energy analysis of concentrated photovoltaic/thermal panels with nanofluids", *International Journal Of Thermodynamics*, 24 (3): 227–236 (2021).
 89. Xu, Z. and Kleinstreuer, C., "Concentration photovoltaic-thermal energy co-generation system using nanofluids for cooling and heating", *Energy Conversion And Management*, 87: 504–512 (2014).
 90. Lelea, D., Calinoiu, D. G., Trif-Tordai, G., Cioabla, A. E., Laza, I., and Popescu, F., "The hybrid nanofluid/microchannel cooling solution for concentrated photovoltaic cells", *AIP Conference Proceedings*, 1646: 122–128 (2014).
 91. Ben Youssef, W., Maatallah, T., Menezo, C., and Ben Nasrallah, S., "Modeling and optimization of a solar system based on concentrating photovoltaic/thermal collector", *Solar Energy*, 170: 301–313 (2018).
 92. Srivastava, S. and Reddy, K. S., "Simulation studies of thermal and electrical performance of solar linear parabolic trough concentrating photovoltaic system", *Solar Energy*, 149: 195–213 (2017).
 93. Rahbar, K., Riasi, A., Khatam Bolouri Sangjoei, H., and Razmjoo, N., "Heat recovery of nano-fluid based concentrating Photovoltaic Thermal (CPV/T) Collector with Organic Rankine Cycle", *Energy Conversion And Management*, 179: 373–396 (2019).
 94. Raj, P. and Subudhi, S., "A review of studies using nanofluids in flat-plate and direct absorption solar collectors", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 84: 54–74 (2018).
 95. Koronaki, I. P. and Nitsas, M. T., "Experimental and theoretical performance investigation of asymmetric photovoltaic/thermal hybrid solar collectors connected in series", *Renewable Energy*, 118: 654–672 (2018).
 96. Yang, F., Wang, H., Zhang, X., Tian, W., Hua, Y., and Dong, T., "Design and

- experimental study of a cost-effective low concentrating photovoltaic/thermal system", *Solar Energy*, 160: 289–296 (2018).
97. Brogren, M. and Karlsson, B., "Low-concentrating water-cooled PV-thermal hybrid systems for high latitudes", *Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, New Orleans, 1733-1736 (2002).
 98. He, Y., Xiao, L. and, and Li, L., "Theoretical and experimental study on the application of diffuse-reflection concentrators in PV/T solar system", *International Journal Of Energy Research*, 40: 963–970 (2016).
 99. Nasserian, P., Gorouh, H. A., Gomes, J., Cabral, D., Salmazadeh, M., Lehmann, T., and Hayati, A., "Numerical and experimental study of an asymmetric CPC-PVT solar collector", *Energies*, 13 (7): 1669 (2020).
 100. Bahaidarah, H. M., Tanweer, B., Gandhidasan, P., Ibrahim, N., and Rehman, S., "Experimental and numerical study on non-concentrating and symmetric unglazed compound parabolic photovoltaic concentration systems", *Applied Energy*, 136: 527–536 (2014).
 101. Zhang, H., Liang, K., Chen, H., Gao, D., and Guo, X., "Thermal and electrical performance of low-concentrating PV/T and flat-plate PV/T systems: A comparative study", *Energy*, 177: 66–76 (2019).
 102. Calise, F., Dentice d'Accadia, M., Roselli, C., Sasso, M., and Tariello, F., "Desiccant-based AHU interacting with a CPVT collector: Simulation of energy and environmental performance", *Solar Energy*, 103: 574–594 (2014).
 103. Bernardo, L. R., Perers, B., Håkansson, H., and Karlsson, B., "Performance evaluation of low concentrating photovoltaic/thermal systems: A case study from Sweden", *Solar Energy*, 85 (7): 1499–1510 (2011).
 104. Xu, G., Zhang, X., and Deng, S., "Experimental study on the operating characteristics of a novel low-concentrating solar photovoltaic/thermal integrated heat pump water heating system", *Applied Thermal Engineering*, 31 (17–18): 3689–3695 (2011).
 105. Sahw, P. and Gaur, P., "Photovoltaic Powered Centrifugal Water Pump", *International Journal Of Electronic And Electrical Engineering*, 7 (3): 247–254 (2014).
 106. Ebaid, M. S. Y., Qandil, H., and Hammad, M., "A unified approach for designing a photovoltaic solar system for the underground water pumping well-34 at Disi aquifer", *Energy Conversion And Management*, 75: 780–795 (2013).
 107. Renu, Bora, B., Prasad, B., Sastry, O. S., Kumar, A., and Bangar, M., "Optimum sizing and performance modeling of solar photovoltaic (SPV) water pumps for different climatic conditions", *Solar Energy*, 155: 1326–1338 (2017).

108. Ramulu, C., Sanjeevikumar, P., Karampuri, R., Jain, S., Ertas, A. H., and Fedak, V., "A solar PV water pumping solution using a three-level cascaded inverter connected induction motor drive", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 19 (4): 1731–1741 (2016).
109. Bataineh, K. M., "Optimization analysis of solar thermal water pump", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 55: 603–613 (2016).
110. Daud, A. K. and Mahmoud, M. M., "Solar powered induction motor-driven water pump operating on a desert well, simulation and field tests", *Renewable Energy*, 30 (5): 701–714 (2005).
111. Sontake, V. C. and Kalamkar, V. R., "Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 59: 1038–1067 (2016).
112. Arghand, T., Trüschel, A., Dalenbäck, J.-O., and Javed, S., "Dynamic thermal performance and controllability of fan coil systems", *Cold Climate HVAC Conference*, Kiruna, 351-361 (2018).
113. Zhao, K., Liu, X. H., and Jiang, Y., "Application of radiant floor cooling in a large open space building with high-intensity solar radiation", *Energy And Buildings*, 66: 246–257 (2013).
114. Dincer, I. and Rosen, M. A., "Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development 3rd Ed.", *Elsevier*, Amsterdam; Boston, 1–36 (2020).
115. Rosen, M. A., "Energy sustainability: A pragmatic approach and illustrations", *Sustainability*, 1 (1): 55–80 (2009).
116. Dincer, I. and Cengel, Y. A., "Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering", *Entropy*, 3 (3): 116–149 (2001).
117. Sansaniwal, S. K., Sharma, V., and Mathur, J., "Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 82: 1576–1601 (2018).
118. Joshi, A. S., Dincer, I., and Reddy, B. V., "Thermodynamic assessment of photovoltaic systems", *Solar Energy*, 83 (8): 1139–1149 (2009).
119. Zuhur, S. and Ceylan, İ., "Energy, Exergy and Enviroeconomic (3E) analysis of concentrated PV and thermal system in the winter application", *Energy Reports*, 5: 262–270 (2019).
120. Tiwari, G. N., Meraj, M., and Khan, M. E., "Exergy analysis of N-photovoltaic thermal-compound parabolic concentrator (N-PVT-CPC) collector for constant collection temperature for vapor absorption refrigeration (VAR) system", *Solar Energy*, 173: 1032–1042 (2018).






121. Zuhur, S., Ceylan, İ., and Ergün, A., "Energy, exergy and environmental impact analysis of concentrated PV/cooling system in Turkey", *Solar Energy*, 180: 567–574 (2019).
122. 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).
123. Aberoumand, S., Ghamari, S., and Shabani, B., "Energy and exergy analysis of a photovoltaic thermal (PV/T) system using nanofluids: An experimental study", *Solar Energy*, 165: 167–177 (2018).
124. Su, Y., Zhang, Y., and Shu, L., "Experimental study of using phase change material cooling in a solar tracking concentrated photovoltaic-thermal system", *Solar Energy*, 159: 777–785 (2018).
125. 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).
126. Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L., and Fang, G., "Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials", *Energy Conversion And Management*, 131: 79–89 (2017).
127. 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).
128. 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).
129. Ceylan, İ., Yilmaz, S., İnanç, Ö., Ergün, A., Gürel, A. E., Acar, B., and İlker Aksu, A., "Determination of the heat transfer coefficient of PV panels", *Energy*, 175: 978–985 (2019).
130. Kaya, M., Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Ceylan, İ., Çelik, S., Ergün, A., and Acar, B., "Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe", *Energy Conversion And Management*, 199: 111936 (2019).
131. Ceylan, İ., Gürel, A. E., and Ergün, A., "The mathematical modeling of concentrated photovoltaic module temperature", *International Journal Of Hydrogen Energy*, 42 (31): 19641–19653 (2017).
132. Ceylan, I., Kaya, M., Gürel, A. E., and Ergun, A., "Energy Analysis of a New Design of a Photovoltaic Cell-Assisted Solar Dryer", *Drying Technology*, 31 (9): 1077–1082 (2013).

133. Internet: Karabük İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, "Cografya", <https://karabuk.ktb.gov.tr/TR-63702/cografya.html> (2022).
134. Internet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Karabük İstatistik", <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KARABUK> (2022).
135. Internet: GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ ATLASI (GEPA), "KARABÜK", <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/78.aspx> (2022).




EK AÇIKLAMALAR A.

DENEYLERDE KULLANILAN EKİPMANLARIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek. A.1. Deneyleerde kullanılan sistem ekipmanlarının teknik özellikleri.

Kullanılan ekipman	Teknik özellikleri																																										
CPV/T kolektör																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Genel özellikler</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Marka</td> <td>Solarus</td> </tr> <tr> <td>Boş ağırlık</td> <td>55 kg</td> </tr> <tr> <td>Açıklık alanı</td> <td>2.31 m²</td> </tr> <tr> <td>Brüt alan</td> <td>2.57 m²</td> </tr> <tr> <td>Optik geçirgenlik</td> <td>Süper saydam</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Termal özellikleri</th> </tr> <tr> <td>Isı kaybı katsayısı</td> <td>4.8 W / m² K</td> </tr> <tr> <td>Maksimum güç</td> <td>1250 W</td> </tr> <tr> <td>Antifriz kapasitesi</td> <td>1,4 L / modul</td> </tr> <tr> <td>Maksimum çalışma basıncı</td> <td>10 bar</td> </tr> <tr> <td>Duraklama sıcaklığı</td> <td>175 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Elektriksel özellikleri</th> </tr> <tr> <td>Hücre sayısı</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>Hücre boyutu</td> <td>52 x 156 x 0,2 mm</td> </tr> <tr> <td>Açık devre voltajı (V_{oc})</td> <td>45,6 V</td> </tr> <tr> <td>Kısa devre akımı (I_{sc})</td> <td>7A</td> </tr> <tr> <td>Mak. güç voltajı (V_{mp})</td> <td>40 V</td> </tr> <tr> <td>Mak. güç akımı (I_{mp})</td> <td>6,2 A</td> </tr> <tr> <td>Maksimum elektriksel güç</td> <td>250 W_m ± 5%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Standard Test Koşulları: I₀: 1000 W/m² T_a: 25 °C, HK:1,5</td> </tr> </tbody> </table>	Genel özellikler		Marka	Solarus	Boş ağırlık	55 kg	Açıklık alanı	2.31 m ²	Brüt alan	2.57 m ²	Optik geçirgenlik	Süper saydam	Termal özellikleri		Isı kaybı katsayısı	4.8 W / m ² K	Maksimum güç	1250 W	Antifriz kapasitesi	1,4 L / modul	Maksimum çalışma basıncı	10 bar	Duraklama sıcaklığı	175 °C	Elektriksel özellikleri		Hücre sayısı	152	Hücre boyutu	52 x 156 x 0,2 mm	Açık devre voltajı (V _{oc})	45,6 V	Kısa devre akımı (I _{sc})	7A	Mak. güç voltajı (V _{mp})	40 V	Mak. güç akımı (I _{mp})	6,2 A	Maksimum elektriksel güç	250 W _m ± 5%	Standard Test Koşulları: I ₀ : 1000 W/m ² T _a : 25 °C, HK:1,5	
Genel özellikler																																											
Marka	Solarus																																										
Boş ağırlık	55 kg																																										
Açıklık alanı	2.31 m ²																																										
Brüt alan	2.57 m ²																																										
Optik geçirgenlik	Süper saydam																																										
Termal özellikleri																																											
Isı kaybı katsayısı	4.8 W / m ² K																																										
Maksimum güç	1250 W																																										
Antifriz kapasitesi	1,4 L / modul																																										
Maksimum çalışma basıncı	10 bar																																										
Duraklama sıcaklığı	175 °C																																										
Elektriksel özellikleri																																											
Hücre sayısı	152																																										
Hücre boyutu	52 x 156 x 0,2 mm																																										
Açık devre voltajı (V _{oc})	45,6 V																																										
Kısa devre akımı (I _{sc})	7A																																										
Mak. güç voltajı (V _{mp})	40 V																																										
Mak. güç akımı (I _{mp})	6,2 A																																										
Maksimum elektriksel güç	250 W _m ± 5%																																										
Standard Test Koşulları: I ₀ : 1000 W/m ² T _a : 25 °C, HK:1,5																																											
Sirkülasyon pompası																																											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Elektrik şebeke bağlantısı</td> <td>1~230 V AC, 50/60 Hz</td> </tr> <tr> <td>Güç tüketimi</td> <td>1~230 V P1 9-38 W</td> </tr> <tr> <td>1~230V'de akım</td> <td>0,13-0,35 A</td> </tr> <tr> <td>İşletme basıncı</td> <td>10 bar</td> </tr> <tr> <td>Basma yüksekliği</td> <td>4,4 m</td> </tr> <tr> <td>Debi</td> <td>5,5 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>	Elektrik şebeke bağlantısı	1~230 V AC, 50/60 Hz	Güç tüketimi	1~230 V P1 9-38 W	1~230V'de akım	0,13-0,35 A	İşletme basıncı	10 bar	Basma yüksekliği	4,4 m	Debi	5,5 m ³ /h																														
Elektrik şebeke bağlantısı	1~230 V AC, 50/60 Hz																																										
Güç tüketimi	1~230 V P1 9-38 W																																										
1~230V'de akım	0,13-0,35 A																																										
İşletme basıncı	10 bar																																										
Basma yüksekliği	4,4 m																																										
Debi	5,5 m ³ /h																																										
Genleşme tankı																																											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Marka</td> <td>Zilmet</td> </tr> <tr> <td>Kapasite</td> <td>8 L</td> </tr> <tr> <td>Mak. çalışma basıncı</td> <td>3 bar</td> </tr> <tr> <td>Mak. çalışma sıcaklığı</td> <td>90 °C</td> </tr> </tbody> </table>	Marka	Zilmet	Kapasite	8 L	Mak. çalışma basıncı	3 bar	Mak. çalışma sıcaklığı	90 °C																																		
Marka	Zilmet																																										
Kapasite	8 L																																										
Mak. çalışma basıncı	3 bar																																										
Mak. çalışma sıcaklığı	90 °C																																										
Fan coil																																											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Marka</td> <td colspan="2">Daikin</td> </tr> <tr> <td>Model</td> <td colspan="2">FWV03CCTN6V3</td> </tr> <tr> <td>Güç girişi</td> <td colspan="2">56 W</td> </tr> <tr> <td>Soğutma kapasitesi</td> <td colspan="2">2.93 kW</td> </tr> <tr> <td>Isıtma kapasitesi (2-borulu)</td> <td colspan="2">3.81 kW</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Akışkan hızı</td> <td>Soğutma</td> <td>504 l/h</td> </tr> <tr> <td>Isıtma</td> <td>504 l/h</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Akışkan basınç düşümü</td> <td>Soğutma</td> <td>11 kPa</td> </tr> <tr> <td>Isıtma</td> <td>9 kPa</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Fan</td> <td>Tip</td> <td>Santrifüj çok kanatlı, çift emişli</td> </tr> <tr> <td>Hava hızı</td> <td>442 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>	Marka	Daikin		Model	FWV03CCTN6V3		Güç girişi	56 W		Soğutma kapasitesi	2.93 kW		Isıtma kapasitesi (2-borulu)	3.81 kW		Akışkan hızı	Soğutma	504 l/h	Isıtma	504 l/h	Akışkan basınç düşümü	Soğutma	11 kPa	Isıtma	9 kPa	Fan	Tip	Santrifüj çok kanatlı, çift emişli	Hava hızı	442 m ³ /h												
Marka	Daikin																																										
Model	FWV03CCTN6V3																																										
Güç girişi	56 W																																										
Soğutma kapasitesi	2.93 kW																																										
Isıtma kapasitesi (2-borulu)	3.81 kW																																										
Akışkan hızı	Soğutma	504 l/h																																									
	Isıtma	504 l/h																																									
Akışkan basınç düşümü	Soğutma	11 kPa																																									
	Isıtma	9 kPa																																									
Fan	Tip	Santrifüj çok kanatlı, çift emişli																																									
	Hava hızı	442 m ³ /h																																									
Jel akü																																											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Marka</td> <td>Zonax</td> </tr> <tr> <td>Voltaj</td> <td>12V</td> </tr> <tr> <td>Akım</td> <td>100 Ah</td> </tr> </tbody> </table>	Marka	Zonax	Voltaj	12V	Akım	100 Ah																																				
Marka	Zonax																																										
Voltaj	12V																																										
Akım	100 Ah																																										

Çizelge Ek. A.1. (Devam Ediyor).

Proses kontrol cihazı ve motor sürücü invertör.																																							
	<p style="text-align: center;">Motor sürücü invertör</p> <table border="1"> <tr><td>Marka</td><td>ABB</td></tr> <tr><td>Model</td><td>ACS150-01e-04a7-2</td></tr> <tr><td>Faz sayısı</td><td>1</td></tr> <tr><td>Nominal Frekans (f1)</td><td>50/60 Hz</td></tr> <tr><td>Nominal Giriş Voltajı</td><td>200 ... 240 V</td></tr> <tr><td>Nominal Çıkış Gücü, Hafif Aşırı Yük Modu</td><td>0,75 kW 1.0 Hp</td></tr> <tr><td>Nominal Çıkış Gücü, Standart Yük</td><td>0,75 kW 1.0 Hp</td></tr> <tr><td>Çıkış Akımı, Hafif- Aşırı Yük Kullanımı</td><td>4,7 A</td></tr> <tr><td>Çıkış Akımı, Standart Yük</td><td>4,7 A</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Proses kontrol cihazı</p> <table border="1"> <tr><td>Marka</td><td>Ordell</td></tr> <tr><td>Model</td><td>PC440</td></tr> <tr><td>Besleme</td><td>100-240Vac/dc</td></tr> <tr><td>Güç tüketimi</td><td>4 W</td></tr> <tr><td>Programlanabilir Universal Giriş</td><td>(TC, RT, mV, V, mA)</td></tr> <tr><td>Transmitter besleme</td><td>24Vdc (I_{sc} = 30 mA)</td></tr> <tr><td>İletişim Birimi</td><td>1 Adet RS485</td></tr> <tr><td>Röle veya Lojik Çıkış</td><td>Kontak: 250Vac, 5A Lojik Çıkış: 24Vdc, 20mA</td></tr> <tr><td>Doğruluk</td><td>± %0,2</td></tr> <tr><td>Örnekleme zamanı</td><td>100 ms</td></tr> </table>	Marka	ABB	Model	ACS150-01e-04a7-2	Faz sayısı	1	Nominal Frekans (f1)	50/60 Hz	Nominal Giriş Voltajı	200 ... 240 V	Nominal Çıkış Gücü, Hafif Aşırı Yük Modu	0,75 kW 1.0 Hp	Nominal Çıkış Gücü, Standart Yük	0,75 kW 1.0 Hp	Çıkış Akımı, Hafif- Aşırı Yük Kullanımı	4,7 A	Çıkış Akımı, Standart Yük	4,7 A	Marka	Ordell	Model	PC440	Besleme	100-240Vac/dc	Güç tüketimi	4 W	Programlanabilir Universal Giriş	(TC, RT, mV, V, mA)	Transmitter besleme	24Vdc (I _{sc} = 30 mA)	İletişim Birimi	1 Adet RS485	Röle veya Lojik Çıkış	Kontak: 250Vac, 5A Lojik Çıkış: 24Vdc, 20mA	Doğruluk	± %0,2	Örnekleme zamanı	100 ms
Marka	ABB																																						
Model	ACS150-01e-04a7-2																																						
Faz sayısı	1																																						
Nominal Frekans (f1)	50/60 Hz																																						
Nominal Giriş Voltajı	200 ... 240 V																																						
Nominal Çıkış Gücü, Hafif Aşırı Yük Modu	0,75 kW 1.0 Hp																																						
Nominal Çıkış Gücü, Standart Yük	0,75 kW 1.0 Hp																																						
Çıkış Akımı, Hafif- Aşırı Yük Kullanımı	4,7 A																																						
Çıkış Akımı, Standart Yük	4,7 A																																						
Marka	Ordell																																						
Model	PC440																																						
Besleme	100-240Vac/dc																																						
Güç tüketimi	4 W																																						
Programlanabilir Universal Giriş	(TC, RT, mV, V, mA)																																						
Transmitter besleme	24Vdc (I _{sc} = 30 mA)																																						
İletişim Birimi	1 Adet RS485																																						
Röle veya Lojik Çıkış	Kontak: 250Vac, 5A Lojik Çıkış: 24Vdc, 20mA																																						
Doğruluk	± %0,2																																						
Örnekleme zamanı	100 ms																																						
Solar invertör																																							
	<table border="1"> <tr><td>Marka</td><td>Sunmy</td></tr> <tr><td>Model</td><td>PS 3KVA</td></tr> <tr><td>Çalışma sıcaklığı</td><td>0-55 °C</td></tr> <tr><td>Verim</td><td>%98</td></tr> <tr><td colspan="2">İnvertör modu</td></tr> <tr><td>Nominal güç</td><td>3000VA/2400W</td></tr> <tr><td>DC giriş</td><td>24 VDC, 100A</td></tr> <tr><td>AC çıkış</td><td>230 VA, 50 Hz, 13A, 1Φ</td></tr> <tr><td colspan="2">AC şarj modu</td></tr> <tr><td>AC giriş</td><td>230V AC, 50 Hz, 17,7 A, 1Φ</td></tr> <tr><td>DC çıkış</td><td>27V DC, 30 A/20 A</td></tr> <tr><td>AC çıkış</td><td>230V AC, 50 Hz, 13 A, 1Φ</td></tr> <tr><td colspan="2">Solar şarj modu</td></tr> <tr><td>Nominal akım</td><td>50 A</td></tr> <tr><td>Sistem voltajı</td><td>24V DC</td></tr> <tr><td>Maksimum solar voltaj (V_{oc})</td><td>80V DC</td></tr> </table>	Marka	Sunmy	Model	PS 3KVA	Çalışma sıcaklığı	0-55 °C	Verim	%98	İnvertör modu		Nominal güç	3000VA/2400W	DC giriş	24 VDC, 100A	AC çıkış	230 VA, 50 Hz, 13A, 1Φ	AC şarj modu		AC giriş	230V AC, 50 Hz, 17,7 A, 1Φ	DC çıkış	27V DC, 30 A/20 A	AC çıkış	230V AC, 50 Hz, 13 A, 1Φ	Solar şarj modu		Nominal akım	50 A	Sistem voltajı	24V DC	Maksimum solar voltaj (V _{oc})	80V DC						
Marka	Sunmy																																						
Model	PS 3KVA																																						
Çalışma sıcaklığı	0-55 °C																																						
Verim	%98																																						
İnvertör modu																																							
Nominal güç	3000VA/2400W																																						
DC giriş	24 VDC, 100A																																						
AC çıkış	230 VA, 50 Hz, 13A, 1Φ																																						
AC şarj modu																																							
AC giriş	230V AC, 50 Hz, 17,7 A, 1Φ																																						
DC çıkış	27V DC, 30 A/20 A																																						
AC çıkış	230V AC, 50 Hz, 13 A, 1Φ																																						
Solar şarj modu																																							
Nominal akım	50 A																																						
Sistem voltajı	24V DC																																						
Maksimum solar voltaj (V _{oc})	80V DC																																						
Pompa sürücüsü																																							
	<table border="1"> <tr><td>Model</td><td>PS 1200</td></tr> <tr><td colspan="2">Solar çalışma modu</td></tr> <tr><td>Giriş (PV jeneratör)</td><td></td></tr> <tr><td>Maksimum güç voltajı V_{mp}</td><td>> 102 VDC</td></tr> <tr><td>Açık devre voltajı V_{oc}</td><td>Mak. 200 VDC</td></tr> <tr><td colspan="2">Aküler çalışma modu</td></tr> <tr><td>Aküler giriş voltajı (nominal)</td><td>96 V DC</td></tr> <tr><td>Düşük voltaj bağlantısı</td><td>88 V DC</td></tr> <tr><td>Yeniden başlatma voltajı</td><td>96 V DC</td></tr> <tr><td>Çıkış</td><td>30-130 V AC PWM 3 faz</td></tr> <tr><td>Güç (nominal)</td><td>1200 W</td></tr> <tr><td>Verim (Pompa+sürücü)</td><td>%92</td></tr> <tr><td colspan="2">PV modül standart test koşullarında: AM= 1.5, I_t=1000 W/m² T_a = 25 °C</td></tr> </table>	Model	PS 1200	Solar çalışma modu		Giriş (PV jeneratör)		Maksimum güç voltajı V _{mp}	> 102 VDC	Açık devre voltajı V _{oc}	Mak. 200 VDC	Aküler çalışma modu		Aküler giriş voltajı (nominal)	96 V DC	Düşük voltaj bağlantısı	88 V DC	Yeniden başlatma voltajı	96 V DC	Çıkış	30-130 V AC PWM 3 faz	Güç (nominal)	1200 W	Verim (Pompa+sürücü)	%92	PV modül standart test koşullarında: AM= 1.5, I _t =1000 W/m ² T _a = 25 °C													
Model	PS 1200																																						
Solar çalışma modu																																							
Giriş (PV jeneratör)																																							
Maksimum güç voltajı V _{mp}	> 102 VDC																																						
Açık devre voltajı V _{oc}	Mak. 200 VDC																																						
Aküler çalışma modu																																							
Aküler giriş voltajı (nominal)	96 V DC																																						
Düşük voltaj bağlantısı	88 V DC																																						
Yeniden başlatma voltajı	96 V DC																																						
Çıkış	30-130 V AC PWM 3 faz																																						
Güç (nominal)	1200 W																																						
Verim (Pompa+sürücü)	%92																																						
PV modül standart test koşullarında: AM= 1.5, I _t =1000 W/m ² T _a = 25 °C																																							
Dalgıç pompa																																							
	<table border="1"> <tr><td>Marka</td><td>Lorentz</td></tr> <tr><td>Model</td><td>PS1200</td></tr> <tr><td>Statik su seviyesi yüksekliği</td><td>10 m</td></tr> <tr><td>Nominal motor gücü</td><td>1,7 kW</td></tr> <tr><td>Mak. ve nominal sürücü giriş voltajı</td><td>VDC: 200->102</td></tr> <tr><td>Mak. motor akımı</td><td>9,5 A</td></tr> <tr><td>Çıkış borusu çapı</td><td>2</td></tr> </table>	Marka	Lorentz	Model	PS1200	Statik su seviyesi yüksekliği	10 m	Nominal motor gücü	1,7 kW	Mak. ve nominal sürücü giriş voltajı	VDC: 200->102	Mak. motor akımı	9,5 A	Çıkış borusu çapı	2																								
Marka	Lorentz																																						
Model	PS1200																																						
Statik su seviyesi yüksekliği	10 m																																						
Nominal motor gücü	1,7 kW																																						
Mak. ve nominal sürücü giriş voltajı	VDC: 200->102																																						
Mak. motor akımı	9,5 A																																						
Çıkış borusu çapı	2																																						

ÖZGEÇMİŞ

Hakan DUMRUL ilk ve orta öğrenimini Niğde’de tamamladı. 2002 yılında başlamış olduğu Niğde Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünü 2006 yılında bölüm birincisi olarak bitirdi. 2006 yılında Selçuk Üniversitesi Kimya Bölümünde yüksek lisans programına başladı ve 2009 yılında mezun olarak aynı yıl Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümünde doktora programına başladı. 2011 yılında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde doktora programına başlamış ve halen devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.