



**FOTOVOLTAİK PANEL (PV) DESTEKLİ KUYU
SUYU İLE DOĞAL KLİMA UYGULMASININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Barış KORKMAZ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

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

**FOTOVOLTAİK PANEL (PV) DESTEKLİ KUYU SUYU İLE DOĞAL
KLİMA UYGULAMASININ DENEYSSEL İNCELENMESİ**

Barış KORKMAZ

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

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

**KARABÜK
Haziran 2021**

Barış KORKMAZ tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK PANEL (PV) DESTEKLİ KUYU SUYU İLE DOĞAL KLİMA UYGULAMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans 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 Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans 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.”

Barış KORKMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK PANEL (PV) DESTEKLİ KUYU SUYU İLE DOĞAL KLİMA UYGULAMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Barış KORKMAZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Haziran 2021, 91 sayfa

Bu çalışmada, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsünde bulunan 4x5.5x3.34 (m) boyutlarındaki deney evinin, fotovoltaik panel desteği ile doğal kaynak olan kuyu suyunun soğutma etkisinden faydalanılarak yaz ayları için soğutma yükünün karşılanması ve kullanılabilir su temini deneysel olarak incelenmiştir. Amaca yönelik olarak 800 W kurulu gücü olan PV paneller ile desteklenen doğal klima ve su temin sistemi kurulmuştur. Bu sistem ile mahal sıcaklığı yaz klima ısı konfor şartlarında tutulmuştur. Aynı zamanda kuyudan soğutma ünitesi (fan coil) ihtiyacından fazla su, bahçe sulama amacı için kullanılmıştır. Soğutma ünitesinden ısınarak çıkan su bina çatısında depolanarak evsel ihtiyaçların karşılanmasında kullanılmıştır. Sistemde soğutma ihtiyacının en fazla olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında, farklı günlerde, mahal için set edilen 22°C ısı konfor şartı ve farklı su debilerinde (0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h) ortam sıcaklığı sırası ile 20.5 °C, 21.94 °C ve 22.09 °C günlük ortalama değerlerinde tutulmuştur. Kuyudan gelen suyun soğutma ünitesine (fan coil)

giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek bu suyun bahçe sulama ve kullanım suyu olarak da kullanılabilceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Doğal klima, Güneş enerjisi, Enerji analiz, Fotovoltaik destekli pompalar.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF NATURAL AIR CONDITIONING APPLICATION WITH PHOTOVOLTAIC PANEL (PV) SUPPORTED WELL WATER

Barış KORKMAZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

June 2021, 91 pages

In this study, meeting the cooling load and usable water supply for the summer months by taking advantage of the cooling effect of the natural source well water with the photovoltaic panel support of the 4x5.5x3.34 (m) experimental house in the Demir Çelik Campus of Karabük University were experimentally investigated. For the purpose, natural air conditioning and water supply system supported by PV panels with an installed power of 800 W were installed. With this system, the room temperature is kept in summer air conditioning thermal comfort conditions. At the same time, more water than the need of the cooling unit (fan coil) from the well was used for garden irrigation purposes. The water coming out of the cooling unit by heating was stored on the roof of the building and used to meet domestic needs. In July and August, when the cooling need in the system is highest, on different days, at 22°C thermal comfort condition set for the space and at different water flow rates (0.3 m³/h,

0.5 m³/h and 0.7 m³/h) ambient temperature was kept at the daily average values of 20.5 °C, 21.94 °C and 22.09 °C, respectively. By measuring the inlet and outlet temperatures of the water coming from the well to the cooling unit (fan coil), it has been seen that this water can also be used as garden irrigation and utility water.

Key Word : Natural air conditioning, Solar energy, Energy analysis, Photovoltaic supported pumps.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumunda ilgi, alaka ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda en büyük destekçim olan sevgili annem Gülay KORKMAZ'a, her düőtüęümde el veren babam Nazım KORKMAZ'a, güzel kardeőim Yıldız KORKMAZ'a ve kadim dostum Atakan EROğLU'na maddi, manevi yardımlarını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	19
GİRİŞ	19
1.1. PV PANEL (FOTOVOLTAİK PANEL)	20
1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI VE KAPSAMI	22
BÖLÜM 2	24
İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ	24
2.1. TAM SULU (FAN COİL) SİSTEMLER	24
2.1.1. İki Borulu Fan Coil Sistemi	25
2.1.2. Dört Borulu Fan Coil Sistemi	26
2.1.3. Fan Coil Üniteleri Otomatik Kontrol Yöntemleri	27
2.1.3.1. Fan İle Kontrol (İki Konumlu Olarak)	27
2.1.3.2. Kontrol Valfi İle İki Borulu Isıtma Veya Soğutma (İki Konumlu Olarak)	28
2.1.3.3. Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma (İki Konumlu Olarak)	28
2.1.3.4. Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma (Oransal Olarak)	28
2.2. TAM HAVALI SİSTEMLER	28

2.3. HAVALI-SULU SİSTEMLER	28
BÖLÜM 3	29
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	29
BÖLÜM 4	37
MATERYAL VE METOD	37
4.1. PV DESTEKLİ KUYU SUYU İLE DOĞAL KLİMA SİSTEMİ	37
4.2. DENEY SİSTEMİNİN ELEMANLARI.....	41
4.2.1. PV (Fotovoltaik) Panel	41
4.2.2. Pompa Sürücüsü ve Kontrolcüsü.....	43
4.2.3. Dalgıç Pompa	44
4.2.4. Fan Coil Ünitesi.....	45
4.2.5. Proses Kontrol Cihazı ve İnverter.....	47
4.2.6. Lavabo ve Su Deposu	48
4.2.7. Deney Evi	49
4.3. ÖLÇÜM AYGITLARI.....	49
4.3.1. Solarimetre.....	49
4.3.2 Dijital Wattmetre	50
4.3.3. Pens Ampermetre	50
4.3.4. Dijital Multimetre	51
4.3.5. Şamandıralı Debimetre	52
4.3.6. Anemometre	52
4.3.7. 4 Kanallı K Tipi Sıcaklık Kayıt Aygıtı.....	53
4.3.8. Termokupl Termometre.....	53
4.3.9. Termokupllar	54
4.3.10. Vanalar ve Borular.....	54
4.4. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ... 54	

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	58
ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	58
5.1. PV (FOTOVOLTAİK) PANEL ENERJİ ANALİZİ.....	58
5.2. DALGIÇ POMPA ENERJİ ANALİZİ.....	59
5.3. FAN COİL ÜNİTESİ ENERJİ ANALİZİ.....	60
5.4. DENEY EVİ ISI KAZANCI ANALİZİ.....	62
5.4.1 Deney Evi İç Isı Kazancı	62
5.4.2 Deney Evi Dış Isı Kazancı.....	63
BÖLÜM 6	67
DENEYLER VE DEĞERLENDİRME	67
6.1. DENEYLER.....	67
6.1.1. 26 Temmuz 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi.....	69
6.1.2. 1 Ağustos 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi.....	72
6.1.3. 2 Ağustos 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi.....	76
6.1.4. Farklı ve Sabit Fan Coil Su Debilerinde Sistem Parametrelerinin Değerlendirilmesi	79
BÖLÜM 7	82
SONUÇ VE ÖNERİLER	82
7.1. SONUÇ	82
7.2. ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	86
EK AÇIKLAMALAR A YAPI BİLEŞENLERİ	89
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. İki borulu fan coil sistem.....	25
Şekil 2.2. Dört borulu fan coil sistem.....	26
Şekil 4.1. Sistem akış şeması.....	38
Şekil 4.2. Deney sistemi 3D modeli	40
Şekil 4.3. PV Panel dizilimi (ön cepheden).....	41
Şekil 4.4. PV Panel seri bağlantı şeması	42
Şekil 4.5. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü ile wattmetre.....	43
Şekil 4.6. Dalgıç pompa	45
Şekil 4.7. Fan coil ünitesi	46
Şekil 4.8. Proses kontrol cihazı ve inverter	47
Şekil 4.9. Deney evi planı	49
Şekil 4.10. Solarimetre	50
Şekil 4.11. Dijital wattmetre.....	50
Şekil 4.12. Pens ampermetre	51
Şekil 4.13. Dijital multimetre	51
Şekil 4.14. Şamandıralı debimetre	52
Şekil 4.15. Anemometre ve teleskobik prop	52
Şekil 4.16. 4 Kanallı K tipi sıcaklık kayıt aygıtı	53
Şekil 4.17. Termokupl termometre.....	54
Şekil 4.18. Fan coil hava üfleme hızı ölçüm metodu	56
Şekil 4.19. Fan coil bağlantıları.....	57
Şekil 6.1. PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (26.07.2019)	69
Şekil 6.2. Dalgıç pompa elektiksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (26.07.2019).....	70
Şekil 6.3. Fan coil sudan ve havadan yararlı soğutma gücünün fan coil veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (26.07.2019)	71
Şekil 6.4. PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (01.08.2019)	72
Şekil 6.5. Dalgıç pompa elektiksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (01.08.2019).....	73

Şekil 6.6.	Fan coil sudan ve havadan yararlı soğutma gücünün fan coil veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (01.08.2019)	74
Şekil 6.7.	PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (02.08.2019)	76
Şekil 6.8.	Dalgıç pompa elektiksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (02.08.2019).....	77
Şekil 6.9.	Fan coil sudan ve havadan yararlı soğutma gücünün fan coil veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (02.08.2019)	78
Şekil 6.10.	22 °C set sıcaklık değerine göre 0.3 m ³ /h, 0.5 m ³ /h ve 0.7 m ³ /h sabit debilerde fan coil hava üfleme (çıkış) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi	79
Şekil 6.11.	Şekil 6. 11 0.3 m ³ /h, 0.5 m ³ /h ve 0.7 m ³ /h sabit debilerde ortam (oda) ve dış hava sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi	80
Şekil 6.12.	0.3 m ³ /h, 0.5 m ³ /h ve 0.7 m ³ /h sabit debilerde yapılan deneyler	81
	sırasındaki PV panele etkiyen güneş ışınımının zamana bağlı değişimi.	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deney sistemi numaralarının açıklamaları.....	40
Çizelge 4.2. PV Panel teknik özellikleri.	42
Çizelge 4.3. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü teknik özellikleri.	44
Çizelge 4.5. Proses kontrol cihazı teknik özellikleri.....	48
Çizelge 4.6. İnverter teknik özellikleri.....	48
Çizelge Ek A.1. Deney evinin yapı bileşenleri.	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO_2	: carbon dioxide (karbon dioksit)
T_h	: hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$I_{(t)}$: güneş ışınlamı (W/m^2)
η_m	: modül verimi (%)
P_{mak}	: panelden maksimum güç (W)
A_m	: toplam panel alanı (m^2)
I_{mp}	: maksimum akım (A)
V_{mp}	: maksimum voltaj (V)
V_{OC}	: açık devre voltajı (V)
I_{SC}	: kısa devre akımı (A)
\dot{E}_{net}	: elektriksel güç (W)
P_i	: panelden çekilen güç (W)
V_i	: panelden çekilen gerilim (V)
I_i	: panelden çekilen akım (A)
η_p	: pompa verim (%)
P_E	: pompaya aktarılan elektriksel güç (W)
P_A	: pompanın akış gücü (W)
\dot{m}_p	: pompa tarafından basılan suyun kütleli debi (kg/s)
g	: yer çekimi ivmesi (m/s^2)
H	: pompa toplam basma yüksekliği (m)
\dot{m}_b	: bahçe kullanım suyu kütleli debisi (kg/s)
\dot{m}_{fs}	: fan coil kütleli su debisi (kg/s)
H_k	: bağlantı elemanları ve boru kayıplarından gelen yükseklik (m)
H_{st}	: statik basma yüksekliği (m)
η_{psk}	: pompa sürücüsü ve kontrolcüsü verimi (%)

- η_{fc} : fan coil ünitesi termal verimi (%)
 \dot{Q}_{hava} : havadan verilen yararlı soğutma gücü (W)
 \dot{Q}_{su} : sudan alınan yararlı soğutma gücü (W)
 \dot{m}_{fh} : fan coil üfleme havasının kütleli debisi (kg/s)
 c_{ph} : havanın özgül ısısı (J/kg. °C)
 ΔT_h : fan coil hava emiş ve üfleme sıcaklıkları farkı (°C)
 ρ_h : havanın yoğunluğu (kg/m³)
 U_{fh} : üfleme havasının fan coil den çıkış hızı (m/s)
 A_{baca} : üfleme havası çıkış bacasının kesit alanı (m²)
 T_e : fan coil hava emme sıcaklığı (°C)
 $T_{\dot{u}}$: fan coil hava üfleme sıcaklığı (°C)
 c_{ps} : suyun özgül ısısı (J/kg. °C)
 ΔT_s : fan coil su giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı (°C)
 $T_{\dot{c}}$: fan coil su çıkış sıcaklığı (°C)
 T_g : fan coil su giriş sıcaklığı (°C)
 f : frekans (Hz)
 U_{in} : giriş voltajı (V)
 $Q_{ayd.}$: aydınlatmadan ısı kazancı (W)
 $P_{ayd.}$: ampül gücü (W)
 k_1 : kullanma faktörü (%)
 k_2 : özel armatür faktörü
 $Q_{mak.}$: makineden ısı kazancı (W)
 $P_{mak.}$: makine anma gücü (W)
 F_1 : motor yük faktörü (%)
 F_2 : motor kullanma faktörü (%)
 $P_{fan\ ort.}$: fan motoru güç sarfiyatı aritmetik ortalaması (W)
 Q_{tavan} : tavadan ısı kazancı (W)
 K_t : tavan ısı geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)
 A_t : mahallin toplam tavan alanı (m²)
 ΔT_k : dış ve iç hava sıcaklık farkı (°C)
 R_i : iç yüzey ısı geçiş direnci (m²K/W)
 d : malzeme kalınlığı (m),

- λ : malzeme ısı taşınım kabiliyeti (W/mK)
- R_d : dış yüzey ısı geçiş direnci (m^2K/W)
- $L_1 - L_2$: deney evi oda 1 duvar uzunlukları (m)
- $L_3 - L_4$: deney evi oda 2 duvar uzunlukları (m)
- T_d : dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T_{ara} : çatı arası hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T_i : mahal iç hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- Q_{duvar} : dış duvarlardan ısı kazancı (W)
- K_d : duvar ısı geçirgenlik kat sayısı (W/m^2K)
- A_d : mahallin toplam net dış duvar alanı (m^2)
- A_{d1} : mahallin toplam dış duvar alanı (m^2)
- $A_{kapı}$: mahallin dış kapı alanı (m^2)
- A_{pe} : mahallin toplam pencere alanı (m^2)
- Q_{pe} : pencerelerden taşınım ile ısı kazancı (W)
- K_{pe} : pencere ısı geçirgenlik kat sayısı (W/m^2K)
- Q_{ka} : dış kapıdan taşınım ile ısı kazancı (W)
- K_{ka} : kapı ısı geçirgenlik kat sayısı (W/m^2K)
- Q_I : ışınlama ile gelen ısı kazancı (W)
- Q_G : düşey pencerelere gelen ısı akışı (W/m^2)
- F : birim pencere alanı (m^2)
- b : gölgeleme faktörü
- n : kapının açılma sayısı (defa/h)
- v : mahallin toplam hacmi (m^3)

KISALTMALAR

- AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
AM : Air Mass (Hava Kütlesi)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DF : Doldurma Faktörü
LCD : Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MPPT : Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
PPRC : Polypropylene Random Copolymer (Polipropilen Rastgele Kopolimer)
PR : Performans Ratio (Performans Oranı)
RY : Referans Yüzeyi
PV : Photovoltaic (Fotovoltaik)
PVC : Polivinil Klorür
PWM : Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
RPM : Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
3D : 3 Dimensions (3 Boyut)
TS : Türk Standardları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin kişi başına enerji tüketimi gelişmişlik seviyesini belirleyici etkindir [1]. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme, nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler gibi olaylara bağlı olarak enerji ihtiyacı her geçen yıl daha da artacaktır [2]. Şimdilik bu ihtiyaç büyük oranda fosil kaynaklarla karşılanmaktadır. Lakin fosil kaynakların yakın bir gelecekte sonlanacak olması, yarattığı çevre kirliliği sorunları, ülkemizde olduğu gibi kaynak ülkelere bağımlılık sonucu ortaya çıkan ekonomik ve de siyasal sorunlar neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talep artmaktadır [2].

İklimlendirme; genel tanımıyla yaşanılan ortamdaki konfor şartlarının sağlanabilmesi veya bitki ve endüstriyel malzeme üretimi için gerekli ortam koşullarının kontrol altında tutulması işlemidir. Uygulamada ise kapalı bir ortamdaki havanın ısıtılıp, soğutulması ve neminin ayarlanarak, şartlandırılmasıdır. Anlaşılacağı üzere iklimlendirme temelde konfor amaçlı ve endüstriyel uygulamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada konfor amaçlı iklimlendirme sistemleri üzerinde durulmaktadır. Konfor amaçlı iklimlendirme sistemlerinde ana etken insandır ve insanın ısı konforda olması gereklidir. Isıl konfor, kapalı ortamdaki havanın sıcaklığı, nemi veya temizliği gibi şartlarından rahatsızlık duyulmamasıdır [3].

Günümüzde binalarda enerji sarfiyatının büyük bir bölümü iklimlendirme uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Fosil kaynakların önceden bahsedilen olumsuz etkileri de göz önüne alındığında binalarda enerji verimliliğini arttırmak ve enerji tüketimini düşürmek için iklimlendirme sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı oldukça akla yatkındır.

Yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal enerji, dalga enerjisi, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, hidroelektrik enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisi olmak üzere çok çeşitlidir.

Bu kaynaklar temelli olarak tüketilmesi mümkün olmayan ve tüketim hızlarından daha hızlı bir biçimde kendilerini yenileyebilen kaynaklardır. Bu çalışmada güneş enerjisi üzerinde durulacaktır. Güneş enerjisi, fosil yakıtların yerini alabilecek yenilenebilir, sonsuz ve temiz bir enerji kaynağıdır. Gelişen teknolojiyle beraber enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. Fosil yakıtların her geçen gün azalması, hidroelektrik üretiminin ve kurulumunun sınırlı olması ayrıca nükleer enerji üretiminde ortaya çıkan çevre meseleleri, radyasyon problemi ve yüksek teknoloji gereksinimleri sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş enerjisinden yararlanma fikri önem kazanmıştır [4]. Ayrıca ülkemizin enerji ihtiyacının büyük kısmı dış ülkelere sağlanmaktadır. Güneş enerjisi Avrupada olduğu gibi ileri düzeyde ülkemizde de yaygınlaşacak olursa bu dışa bağımlılığımızı azaltacaktır. Ülkemiz güneş kuşağı içerisinde olması sebebi ile güneş enerjisinden oldukça etkin şekilde yararlanabilecek düzeydedir.

Genel olarak ülkemizde ısıtma, kullanım suyu ve bahçe sulama uygulamalarında kullanılmakta olan güneş enerjisi soğutma uygulamalarında da kullanılabilir. Yaz aylarında artan soğutma yükü ihtiyacına paralel olarak güneş ışınımından yararlanma oranının artması güneş enerjisini soğutma uygulamalarında da kullanılabilir bir kaynak kılmaktadır [4]. Bu sebeple iklimlendirme sistemlerinde güneş enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

1.1. PV PANEL (FOTOVOLTAİK PANEL)

Ülkemizde güneş paneli, solar panel, güneş pili vb. adlarla da anılan “fotovoltaik paneller” temelde güneş hücrelerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Pozitif ve negatif olarak en az iki adet yarı iletken katmadan meydana gelen güneş hücreleri, yüzeylerine gelen güneş ışınlarının fotonları vasıtası ile doğrudan elektrik akımı oluştururlar. Ortaya çıkan elektrik akımının çok zayıf olması sebebiyle akımı arttırmak

için düzinelerce güneş hücresi bir araya getirilir. Meydana gelen bu yeni yapıya da modül ya da panel denilmektedir [24].

Üzerlerine düşen güneş ışınları vasıtası ile direkt olarak elektrik enerjisi üretebilme kabiliyetine sahip yarı iletken cihazlar olan fotovoltaik panellerin adı, Yunanca, ışık mânâsına gelen “photo” ve pilin mucidi Alessandro Volta’dan ilham alınarak voltaj mânâsına gelen “voltaic” sözcüklerinin kaynaşımından meydana çıkmıştır [8].

Kısaca PV denilen bu cihazların üretiminde yarı iletken silisyum kullanılmaktadır. Dünyada büyük miktarda silisyum bulunmasına rağmen fotovoltaik panellerin üretimi için saf silisyum gerekmektedir. Dünyada az sayıda şirket bu saf silisyumu üretebilme kapasite ve bilgisine sahiptir. Piyasada ticari olarak bulunan ve uygulamaları yapılan üç çeşit silisyum güneş paneli bulunmaktadır [17].

Monokristal (tekli kristal) güneş panelleri; verimleri yaklaşık %20 olan bu panellerin paketleme faktörü, absorpsiyon oranı, polikarbon yüzey kaplaması geçirgenliği vb. kayıplar neticesinde verimleri %15’e dek düşmektedir. Diğer panellere kıyasla kalite ve verimlilik bakımından en iyi durumda olan monokristal güneş panellerinin üretimi teknik ve zaman bakımından uzun sürmektedir. Bu sebeple de satış fiyatları yüksektir. Yapımında yalnızca yüksek saflıkta kristal kullanılmasından ötürü “mono” adını almıştır. İleriye dönük yatırımlar için idealdir [17-25].

Polikristal (çoklu kristal) güneş panelleri, verimleri ortalama %15 olan bu panellerin paketleme faktörü, absorpsiyon oranı, polikarbon yüzey kaplaması geçirgenliği vb. kayıplar neticesinde verimleri %12’ye dek düşmektedir. Monokristal saflığında üretilmemeleri ve heterojen yapılarından dolayı “polikristal” olarak adlandırılmışlardır. Kalite ve verimlilikleri monokristal paneller kadar yüksek olmasa da monokristal panellere göre daha düşük üretim maliyetleri sebebi ile daha düşük satış fiyatları vardır. Bu sebeple en çok üretilen panel türüdür [17-25].

Amorf silisyum güneş panelleri ya da ince tabakalı güneş panelleri olarak bilinen bu panellerin verim değeri %10 düzeyindedir. Amorf silisyum güneş panelleri, kristal yapı yerine aynı tür ince silikon atomlarından oluşmaktadır. Amorf silikon panellerin

üretiminde ışın soğurucu maddelerin daha ince bir tabaka halinde kullanılması ışığı kristal silikonlara göre daha verimli absorbe etmelerini sağlar. Bu paneller çatı, biya yüzeyi gibi yerlerde hafif yapısından dolayı tercih edilir. Ayrıca esnek yapısı sayesinde kıvrılarak daha az hacimde saklanabilmektedirler [8-17].

Fotovoltaik panellerin sınırsız bir kaynağa sahip olması, işletme maliyetlerinin düşük olması, çevre sıcaklıklarında çalışabilmeleri, kirlilik yaratmamaları, karbon ayak izini azaltmaları, montajlarının hızlı olması vb. sebeplerden dolayı mevcut kaynaklara alternatif olarak kullanımı oldukça akla yatkın ve ileriye dönük yatırımdır.

1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI VE KAPSAMI

Bu tez çalışmasının amacı; doğal kaynak olan kuyu suyunun soğutma etkisinden yararlanarak fotovoltaik panel desteği ile mahallerin yaz aylarında klimatize edilebilirliğini deneysel olarak incelemek ve klimatize sonrasında sıcaklığı yükseltile su ile evsel ve bitkisel kullanım suyu temin etmektir. Amaca yönelik olarak enerjisini güneşten sağlayan ve mevcut sistemlere alternatif olabilecek doğal klima sisteminin tasarımı yapıp, imalatı gerçekleştirilmiştir. Sistem üzerinde farklı sabit debilerde, farklı günlerde, benzer güneş ışınımı ve dış hava sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır.

Hazırlanmış olan bu tez çalışması, yedi bölümden oluşmaktadır:

- i. İlk bölümde, tez ile alakalı temel bilgiler, tezin araştırma sorusu ve tasarlanan sistemin ön bilgileri yer almaktadır.
- ii. İkinci bölümde, iklimlendirme sistemleri ve çalışmada kullanılan sistem mantığı hakkında temel bilgiler yer alır.
- iii. Üçüncü bölüm, tez çalışması ile ilgili literatür araştırmalarını içerir.
- iv. Dördüncü bölümde materyal ve metod bulunmaktadır. Bu bölümde, sistemin tasarımı, imalatı ve yöntemleri, ölçüm aygıtları, sistemin kurulumu ve ölçüm parametrelerinin incelendiği alt başlıklar yer alır.
- v. Beşinci bölüm, teorik analizi bölümüdür. Bu bölümde, sistemdeki ana elemanların enerji analizleri için hesaplama formülleri vardır.

- vi. Altıncı bölümde deneyler ve değerlendirmeler yer alır. Bu bölümün alt başlıklarında sistem deney verilerinin analizleri vardır.
- vii. Yedinci bölümde, sonuç raporu ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

İklimlendirme sistemlerini genelde üç grup olarak ele alabiliriz.

- i. Tam Sulu (Fan Coil) Sistemler
- ii. Tam Havalı Sistemler
- iii. Havalı-Sulu Sistemler

Bu çalışmada tam sulu (fan coil) sistemlerden iki borulu fan kontrollü sistem incelendiği için diğer sistemlere yüzeysel olarak değinilecektir.

2.1. TAM SULU (FAN COİL) SİSTEMLER

Bir merkezde hazırlanan yahut doğal olarak elde edilen sıcak veya soğuk su iklimlendirilecek ortam içerisinde yerleştirilmiş olan fan coil ünitelerine gidiş boruları ile dağıtılır. Fan coiller fan ve ısı aktarım yüzeyi olan serpantin ikilisinden oluşan cihazlardır. Fan vasıtasıyla ortamdan alınan hava serpantin üzerinden geçirilerek tekrardan ortama atılır. Serpantin içerisinde geçirilen su sıcak olursa ısıtma, soğuk olursa soğutma yapılır. Dönüş boruları üzerinden merkeze geri dönen su buradan ya ısıtma/soğutma işlemi sonrasında ya da doğal halde tekrar sıcak/soğuk su olarak temin edildikten sonra devir daim ettirilir. Devir daim işlemi pompa yardımıyla yapılmaktadır [5].

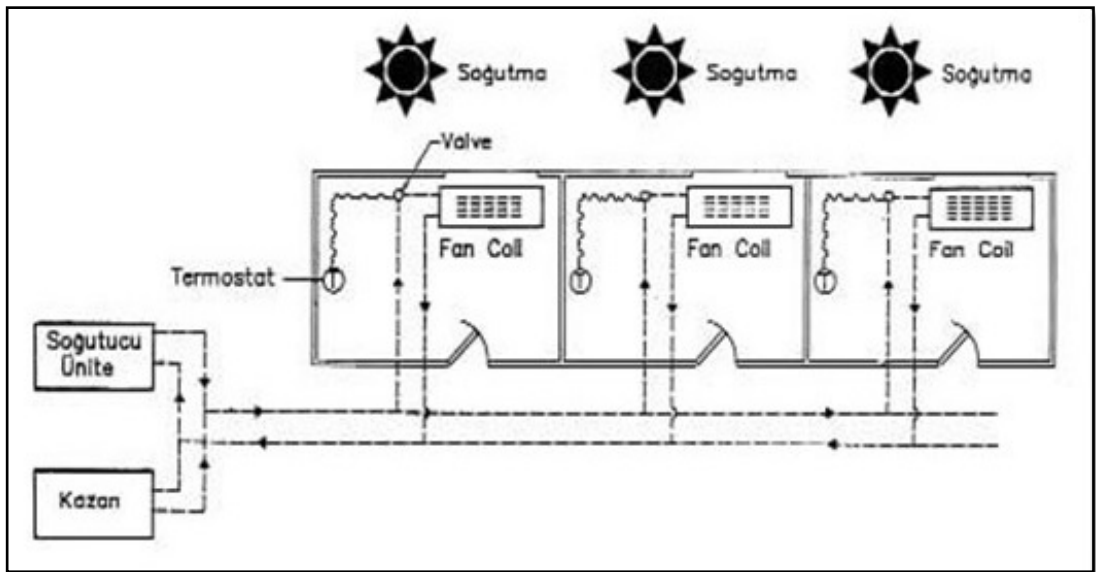
Sistem kontrolü genelde oda termostatı ile kontrolü sağlanan bir valf çeşidi ile yapılır. Bu valf elektrikli veya pnömatik olabilir. Ortam atanan termostat set sıcaklık değerine ulaştığında valf kendini kapar ve su akışı kesilir. Lakin bu valfler pahalı malzemeler olması sebebi ile daha ekonomik olan termostat ile fan kontrol yöntemi de kullanılabilir. Bu yöntemde termostattan gelen sinyale göre ısıtma veya soğutma

işlemi için fan çalışmaya başlayarak ısı geçisini artırır. Ortam istenen set sıcaklık değerine ulaştığında yine termostattan gelen sinyal ile fan durur. Bu yöntemde su serpantin üzerinden sürekli akmaktadır [6].

Genellikle yüksek, çok odalı, kanallar için yeterli alan olmayan yapılarda tercih edilen sistemlerdir. Fan coil ünitesi döşeme içi, tavan altı, cam önü vb. yerlerde konumlandırılabilir. Bunlara göre birçok farklı fan coil tipleri vardır [5].

2.1.1. İki Borulu Fan Coil Sistemi

Kurulan sistemdeki fan coillerde tek serpantin varsa bu tam sulu sistemlerin en bilinen modeli olan iki borulu sistemdir. İki borulu sistemde bir dağıtım (gidiş) ve bir toplama (dönüş) olmak üzere iki boru dolaşır (Şekil 2.1). Sistemde bulunan her fan coil ünitesine bir adet dağıtım ve bir adet toplama borusu bağlanır. Böylelikle tüm sistemde aynı anda ya sıcak ya da soğuk su dolaşabileceği için sistem aynı anda ya soğutma ya da ısıtma yapabilir. Sistemin soğutmadan ısıtmaya çevrilmesi için özel bir işlem gereklidir. Özellikle ara mevsim geçişlerinde ortamda bulunan bazı yerlerde ısıtma talebi olurken bazı yerlerde soğutma talebi olmaktadır. İki borulu sistem yapısı itibari ile bunu karşılayamaz. Bu sebeple bu talebi karşılamak için ya ek bir sistem kurulması ya da dört borulu bir sistem kurulması gerekir [5].



Şekil 2.1. İki borulu fan coil sistem [5].

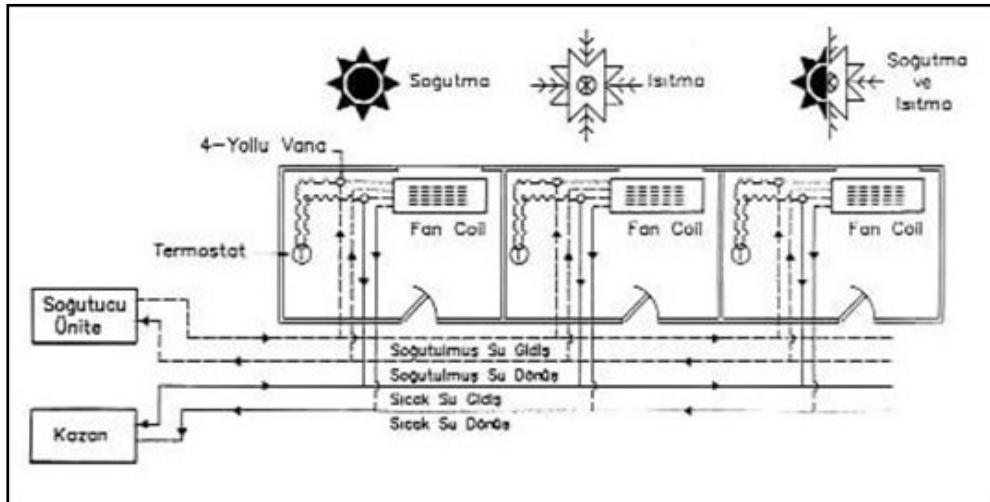
Sistem özellikleri kısaca:

- i. Borulama ve yalıtım maliyeti dört borulu sisteme kıyasla daha uydundur.
- ii. İlk yatırım maliyeti en ucuz olan sistemdir.
- iii. Ara mevsimlerde tam olarak istenen konfor sağlanamaz.
- iv. Yaz-kış geçişi yapabilmek için iki konumlu anahtarlı termostatlar ve boru termostadı eklenmesi gereklidir.
- v. Öteki sistemlere nazaran az boru olması nedeni ile kasetli cihazlarda borulama işlemi daha kolay yapılır.

olarak tanımlanabilir [5].

2.1.2. Dört Borulu Fan Coil Sistemi

Eğer kurulan sistemdeki fan-coillerde soğutma ve ısıtma için iki serpantin mevcutsa bu dört borulu bir sistemdir. Bu sistemde her fan-coil ünitesine iki dağıtım ve iki toplama borusu bağlanır (Şekil 2.2). Bu boru çiftleri içerisinde birbirlerinden tamamen bağımsız olarak sıcak ve soğuk su dolaşım yapar. Böylece her fan-coil ünitesi dolayısı ile tüm sistem aynı anda hem ısıtma hem de soğutma gerçekleştirebilir. Bu da soğutmadan ısıtmaya çevrim için ilave özel işlem gereksinimini ortadan kaldırır. Tüm bu sebeplerden ötürü çoklu zonlar ve ara mevsimler için ideal bir sistemdir [5].



Şekil 2.2. Dört borulu fan coil sistem [5].

Alışıl gelmiş fan coil sistemlerinde havalandırma bulunmaz ve yalnızca ısıtma veya soğutma işlemi yaparlar. Havalandırma noksanlığını gidermek amacı ile iki pratik mevcuttur:

- i. Sisteme ayrıyeten temiz hava (primer hava) beslemesi yapan merkezi kanallı havalandırma sistemi eklenir. Bu sisteme primer havalı fan coil sistemi denir. Sistem hem havalı hem sulu olması nedeni ile başka grupta incelenir.
- ii. Dış duvara yerleşimi yapılan karışıklı fan coil üniteleri üzerinden dış havadan direkt olarak yapılır.

İki pratikte de her odanın hava devir daimi o odaya aittir. Odalar arasında hava, duman vb. geçisi olmaz [5].

2.1.3. Fan Coil Üniteleri Otomatik Kontrol Yöntemleri

Fan coil üniteleri iki konumlu (aç-kapa) veya oransal şekilde; iki borulu ısıtma, iki borulu soğutma, iki borulu ısıtma/soğutma ve dört borulu ısıtma/soğutma yöntemleri ile kontrol edilebilirler.

2.1.3.1. Fan İle Kontrol (İki Konumlu Olarak)

Bu kontrol yöntemi uygun maliyet ve kolay işletilme özelliklerinden dolayı ülkemizde çokça tercih edilir. Bu yöntemde sıcak veya soğuk su iki borulu ısıtma ve/veya soğutma serpantini üzerinden mevsimine göre sabit debide dolaşım sağlar. Talep edilen fan devrine (düşük-orta-yüksek olmasına) göre ve mevsim durumuna (yaz-kış durumuna) göre bir set sıcaklık değeri termostat üzerine manuel olarak atanır. Termostat odanın veya üniteye dönüş havasının sıcaklığını ölçerek atanan set değerine göre fanı aç-kapa yapar [5].

Yöntemin dezavantajları ise: a) Fanın kapalı olduğu durumlarda sıcak veya soğuk suyun devir daimi durmaz. Bundan dolayı fan coil ünitesi radyatör gibi çalışarak odaya gereksiz ısı enerjisi aktarımına devam eder. b) Fan duruş-kalkış sırasında gürültü çıkarır [5].

2.1.3.2. Kontrol Valfi İle İki Borulu Isıtma Veya Soğutma (İki Konumlu Olarak)

Bu yöntemde odanın sıcaklığına göre fan coil ünitesine bağlı termostat akışkan devresi üzerinde bulunan iki ya da üç yollu termal, solenoid, elektrik senkron motorlu veya pnömatik tahrikli olan bir vanayı kontrol eder [5].

2.1.3.3. Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma (İki Konumlu Olarak)

Kelepçeli yaz-kış termostatıyla otomatik olarak veya oda termostatıyla manuel olarak fan coil ünitesinin akışkan devresine bağlı iki ya da üç yollu termal, solenoid, elektrik senkron motorlu veya pnömatik tahrikli olan bir vana kontrol edilir [5].

2.1.3.4. Kontrol Valfi İle Dört Borulu Isıtma Ve Soğutma (Oransal Olarak)

Oda sıcaklığını ve/veya fan coil dönüş havasının sıcaklığını ölçen ve genelde mikroişlemci teknolojisi ile üretilen termostat mahalın ısıtma veya soğutma ihtiyacını ölçer. Değerler karşılaştırılır ve ihtiyaca göre manuel bir müdahale de yok ise otomatik olarak iki veya üç yollu ısıtma ve soğutma vanaları eşlenik olarak sistemi kontrol eder [5].

2.2. TAM HAVALI SİSTEMLER

Isı transferini sağlayan akışkan olarak hava kullanılır. Isıtılmış havayı şartlandırılacak ortama atarak ısıtma ve soğutulmuş, nemi alınmış havayı şartlandırılacak ortama atarak soğutma işlemi yapar. Bu sistemlerde nem alma, hava filtre etme ve taze hava tedarik özellikleri bulunur. Tam havalı sistemler; seri ya da paralel bataryalı, sabit ya da değişken debili, tek ya da çok kanallı, tek ya da çok zonlu olabilirler [5].

2.3. HAVALI-SULU SİSTEMLER

Bu sistemlerde uç ünitelere hava ve su dağıtımı yapılarak mahal iklimlendirmesi yapılır. Genelde hava ve su makine dairesinde ısıtılır ya da soğutulur. Mahal içersisine primer hava ve sekonder su devresi şeklinde gönderilerek şartlandırma yapılır [7].

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Deneysel çalışmamızda fotovoltaik destekli pompa vasıtası ile iklimlendirme yapılmaktadır. Literatür araştırması da buna uygun olarak fotovoltaik destekli pompa uygulamaları ve güneş enerjisi ile iklimlendirme sistemleri üzerine yapılarak en yakın ve kaynak olabilecek çalışmalar dikkate alınmıştır.

Chel ve Tiwari (2010), Hindistan'ın Yeni Delhi şehrinde kerpiç bir evin ısıtılması/soğutulması için topraktan havaya eşansör sistemi ile entegre bağımsız PV güç sistemin deneysel yıllık performans değerlendirmesini yapmışlardır. Şebekeden bağımsız sistemde 32 adet 35 W 2.5 A CEL ve 16 adet 75 W 4.8 A SIEMENS marka PV panel kullanılmıştır. Toplam 2.32 kW kurulu güç ve 12.8 m² CEL panel alanı ile 9.6 m² SIEMENS panel alanı mevcuttur. PV panellerden üretilen güç ile solar şarj kontrolcüsü üzerinden 48 V 360 Ah bir akü düzeneğini beslenmiştir. Akü çıkışında bağlı bulunan 3 kVA sinüs dalgalı DC-AC invertör ile 230 V 50 Hz AC'ye çevrilen elektrik enerjisi 6A'lik minyatür bir devre kesici üzerinden eşanjör sistemini ve/veya istenen elektrikli aletleri beslemektedir. Eşanjör sistemi dışında dalgıç pompa, bilgisayar, sokak lambası gibi çeşitli cihazlar çalışırılmıştır. Eşansör sistemi, bir adet hava üfleyici ve zeminin 1,5 m altında bulunan PVC hava boruları ile emiş borusuna bağlı hava filtesinden oluşmaktadır. Kerpiç bir ev içerisinde emiş ve dağıtım yapmak için iki ucu açık olan borularla ev içerisinde kapalı bir hava sirkülasyonu vardır. Taze hava pencere ve kapılardan doğal olarak temin edilmektedir. Çalışmada belirli derinlikteki toprağın sabit sıcaklığının yaz ve kış aylarında sırası ile ortam sıcaklığından düşük/yüksek olmasından faydalanılmıştır. Sistem yaklaşık olarak 10 kWh/gün elektrik yükünü karşılayabilmiştir. Topraktan havaya eşanjör düzeneğine bağlı üç odanın (her biri 63 m³) yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri sırası ile 3327 kWh/yıl ve 2667 kWh/yıl olarak belirlenmiş ve bu durumun 9.4 ton/yıl CO₂ emisyonu azaltılması sağladığı belirlenmiştir. Her ay (Haziran 2007- Haziran

2008) açık havaya sahip gün için yapılan yıllık deneysel sonuçlara göre CEL VE SIEMENS PV hücre verimleri sırası ile %5-10 ile %10-14 aralığında bulunurken, CEL VE SIEMENS PV modül verimleri sırası ile %3-7 ile %8-12 aralığında bulunmuştur. Günlük ortalama kombine CEL VE SIEMENS PV dizisi verimi ise %9.2 olarak bulunmuştur. PV sistemi tarafından üretilen enerji 3536 kWh/yıl olup, bunun elektrik yükü tarafından tüketilen kısmı toplam 3114 kWh/yıl olmuştur. CEL ve SIEMENS iki PV alt dizisi tarafından üretilen yıllık enerji sırasıyla 1600 kWh/yıl (%45.2) ve 1936 kWh/yıl (%54.8) çıkmıştır. Merkezi olmayan güç sistemi ve iklimlendirme sisteminin, merkeze uzak ikamet eden insanların yaşam standartlarını yükseltileceği ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasında yardımcı olacağı belirlenmiştir [9].

Gutierrez vd. (2021), yaptıkları deneysel çalışmada Şili Concepcion Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Fakültesi deney istasyonunda kurulu olan, değişken frekanslı invertör ile çalıştırılan ve AC bir yüzey elektrik pompasına bağlı fotovoltaik pompa sisteminin hidrolik performansını değerlendirmişlerdir. Sistem 37° kuzey eğimli 22 adet 260 W PV panel, maksimum güç noktası izleme modunda çalışan değişken frekanslı bir invertör, 3kW nominal güce sahip üç fazlı bir AC yüzeysel santrifüj pompa olmak üzere 3 ana elemandan oluşmaktadır. Şubat ayında 14 gün boyunca yapılan deneyler; i. Yüksek seviyede güneş ışınımı (6-8 saat arasında değişen maksimum güneşlenme süresi), ii. Orta seviyede güneş ışınımı (4-6 saat arasında değişen maksimum güneşlenme süresi), iii. Düşük seviyede güneş ışınımı (2-4 saat arasında değişen maksimum güneşlenme süresi) olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Özellikle bulut geçişlerinden dolayı orta seviye güneş ışınımına sahip günlerde ışınımın değişimine bağlı olarak DC güçte, AC güçte ve hidrolik güçte kalıcı değişimler yaşanmıştır. Buna rağmen pompa gün boyunca çalışmasını sürdürebilmiştir. Çok bulutlu günlerde yapılan düşük seviyede güneş ışınımına sahip denyelerde sabah saatlerinde pompa çalıştırılmamış, fotovoltaik sistem pompayı sadece öğleden sonra birkaç saat çalıştırabilecek kadar ışınımı alabilmiştir. Açık havada alınan yüksek güneş ışınımı olan deneylerde sistem 09.36 dan önce ve 19.12 den sonra pompayı çalıştıramamıştır. Lakin gün içerisinde basınç ve akış eğrisi günün büyük bölümünde sabit kalmaktadır. Buda basınçlı sulama sistemleri için yararlıdır. Kurulan sistem en yüksek ışınım seviyelerinde 7.3 saat maksimum güneşlenme süresi ile 4.7 bar üzerinde 5 saatten fazla çalışarak 45m³ üzerinde su depolamıştır. 3 saatlik maksimum güneşlenme süresi olan

düşük ışınlam seviyeli günlerde dahi 4.1 bar üzerinde basınçlar ile çalışabilmiş ve bu zamanlarda basınçlı sulama yapılamayacak olsa bile 8.27m³'lük bir depolama yapabilmiştir. Çalışmada PV panel sıcaklığı, ışımanın eksik kullanımı ve sistem bileşeni verimsizlikleri veya arızaları sebebi ile PV sisteminin nominal çıktısı üzerindeki kayıpların genel etkisini gösteren performans oranı (PR) denilen bir ölçü kullanılmaktadır. PR, kısaca PV sistem veriminin, referans verimine oranıdır. PR, optimum çalışma basıncında düşük, orta ve yüksek ışınlam seviyelerinde sırası ile %3, %11 ve %15 seviyelerinde iken, minimum çalışma basıncında düşük, orta ve yüksek ışınlam seviyelerinde sırası ile %6.8, %16 ve %19 seviyelerinde çıkmıştır. Sistem çalışma basıncını düşük ışınlam zamanlarda optimum çalışma basıncı olan 4.7 bar değerlerinden minimum çalışma basıncı olan 4.1 bar değerlerine düşürerek pompa için gerekli elektrik gücünü sağlamakta ve bu sayede pompa daha uzun süre çalışabilmekte ayrıca bununla beraber performans değeri yükselmektedir. Basınç gereksiniminin azalması debi ve hidrolik gücü artırarak performans değerini de %3 ile %5 arasında arttırmıştır. Sistemin şebekeden uzak küçük çiftçiler için şebekeden bağımsız hali ile hem su depolama hem de özellikle yaz aylarında olmak üzere basınçlı sulama için elverişli olduğu ve fotovoltaik enerjinin mevcut pompa sistemlerine dahil edilmesi ile avantaj sağlayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca AC pompa kullanılması sebebi ile ihtiyaç halinde şebekeye bağlanabilme özelliğinin bulunmasının da çiftçiler için büyük avantaj olduğu belirtilmiştir [10].

Ebaid vd. (2013), Ürdün'de Mudawara'dan Amman'a Su İletim Projesi için açılmış 55 adet kuyu içerisinde seçilen kuyu 34 olarak adlandırılan kuyudaki dalgıç pompaya sürekli enerji sağlayabilmek amacı ile şebekeden bağımsız bir PV sisteminin ana bölümlerini seçmiş ve boyutlandırmışlardır. Çalışmanın yapılmış olduğu yerin bir çöl arazisi olması ve 40 km kadar geniş bir alana yayılmış kuyular sebebi ile bir elektrik şebekesinden elektrik temininin çok zahmetli ve masraflı olacağı ön görülmüştür. Aynı şekilde dizel jeneratör kullanımı da yüksek işletme, bakım ve yakıt maliyetleri sebebi ile tercih edilmemiştir. Lakin bölgenin yıl boyunca yüksek güneş ışınlamı alması ve genellikle açık bir havaya sahip olması PV panel kullanımının uygun maliyetli ve uzun ömürlü bir seçenek olacağını ortaya koymuştur. İlk olarak bölgenin sıcaklık, hava durumu, tahminsel güneşli gün sayısı, rüzgar hızı gibi ayrıntılı verileri toplanmıştır. Sonrasında bulunan coğrafya için eğimli yüzeylerdeki güneş radyasyonları hesap

edilmiş ve 25 yıllık bir çalışma süresi için fotovoltaik sistemin bileşenlerini seçmek ve boyutlandırabilmek amacı ile en kötü ay olan Aralık ayına ve en yoğun güneş saatlerine göre bir tasarım yapılmıştır. 2011 yılı verilerine göre bölgede yılın %77'sine denk gelen, 281 günlük açık gökyüzü koşulları meydana gelmiştir. Ayrıca bölgenin en kötü ay için ışınlam seviyesi, Avrupa ve Asya'daki geniş alanların neredeyse en iyi ışınlam seviyesi olan yaklaşık 5.8 kWh/m²-gün değerine ulaşmıştır. Toz birikmesinin %5 güç kaybı yaratacağı ön görülmüş ve sürekli temizlik işlemi önerilmiştir. Belirlenen 80 l/s debiyi karşılayabilmek için en kötü aya göre tasarlanan sistem 250 kW değerindedir. Lakin sistem en kötü ayın ötesinde panellerin %62'si ile pompaya enerji sağlayabilmekte ve kalan %38'lik kısmı ile farklı ihtiyaçları karşılayabilmektedir. Bu çalışma su temini için güneş enerjisi kullanımının diğer enerji türlerine kıyasla daha büyük bir ekonomik uygulanabilirliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur [11].

Khatib ve Muhsen (2020), yayınladıkları kitapta bir fotovoltaik su pompalama sistemi anlayışını, bu sistemin bölümlerini, matematiksel modellerini ve yeni yapay zeka yöntemlerini de içeren tasarım yöntemlerini sağlamaktadırlar. Bu sebepten dolayı kitap altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel bir giriş yapılmakta, ikinci bölümde PV su pompalama anlayışı, performansı, güvenilirliği, kontrol stratejileri ve boyutlandırma metodları üzerinde durulmaktadır. Üçüncü bölümde sistem bölümlerinin matematiksel modelleri tartışılmaktadır. Dördüncü ve beşinci bölümler, sezgisel, sayısal ve yapay zeka gibi tasarım yöntemlerini önermektedir. Altıncı bölüm ise farklı yedekleme ve depo etme kaynakları için PV su pompalama sisteminin yapılabildiğini ve hassasiyetini tartışmaktadır [12].

Fıratoglu ve Yeşilata, gerçekleştirdikleri çalışmada Şanlıurfa iklim koşulları için seçilen bir PV destekli su pompası sisteminin belirlenen üç farklı referans yüzeyinde gün boyunca ışınlam şiddeti ve çevre sıcaklığındaki anlık değişime göre performansında yaşanan dinamik değişimi araştırmışlardır. Belirlenen referans yüzeyleri;

- i. 1-RY: Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos
- ii. 2-RY: Mart, Nisan, Eylül, Ekim
- iii. 3-RY: Kasım, Aralık, Ocak, Şubat

şeklindedir. Bu şekilde gruplandırmanın amacı öncelikle hesaplamalarda benzer sonuç veren ayların birlikte gruplandırılması ile ortaya çıkan üç farklı zaman aralığının mevsimler ile karıştırılmasını önlemek, ikinci olarak ise ülkemizdeki farklı ışınım seviyelerinde potansiyele sahip başka yörelerde PV sistem reksiyonları hakkında yaklaşık bir kaniya ulaşmaktır. Gün boyunca alınan ölçümler neticesinde verilen tablolara göre okunabilen en yüksek anlık sıcaklık ve ışınım aralıkları sırası ile 1.RY'de 30-35 °C ve 700-800 W/m², 2.RY'de 20-25 °C ve 500-600 W/m², 3. RY'de 10-15 °C ve 400-500 W/m² olmuştur. Yine gün boyunca alınana ölçümler neticesinde verilen tabloya göre her bir RY için okunabilen yaklaşık en yüksek su pompa debisi ve sistem verimi sırası ile 1.RY'de 0.1 l/s ve %7.5, 2.RY'de 0.09 l/s ve %9.3.RY'de 0.085 l/s ve %8.5 olmuştur. Seçtikleri PV destekli su pompası sistemi, özellik ile düşük ışınımına sahip bölgelerde, yüksek seviyelerde performansa ulaşabilmiştir. Bunun iki temel sebebinin panelin maksimum çalışma noktalarının, sistemin çalışma noktalarına yakın olması ve düşük olan çevre sıcaklığının PV sistem verimindeki olumlu etkisi olduğu açıklanmıştır. Gün içerisinde debi ve sistemin performansında büyük değişimlerin gerçekleştiği görülmüş ve herhangi bir PV destekli su pompa sisteminin dinamik süreç araştırması olmadan, günlük ortalamalar ışığında tasarlanmaması gerektiği belirtilmiştir. Herhangi bir bölge için PV sistem seçimi yapılırken bölgenin meteorolojik şartlarının yıllık ve günlük değişimleri ile sistem bileşenlerinden alınacak dinamik tepkilerinde dikkate alınması gerektiği aksi taktirde sistem performansının beklenen değerlerin çok altında kalacağı aktarılmıştır [13].

Chahartaghi ve Nikzad (2021), bir fotovoltaik su pompası sisteminin farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde ekseji verimliliğini teorik olarak analiz etmişlerdir. Amaca yönelik ilk olarak İran'ın İsfan şehrinde bulunan patates mahsulünün su ihtiyacını karşılamak için özel bir yazılım kullanarak gerekli sistemin optimum tasarım ve boyut tahminleri yapılmıştır. Sonrasında sistemin pompa debisi ve ekserji verimliliği gibi bazı performans değişkenleri ile çevresel kirleticilerin azaltılması farklı aylar için değerlendirilmiştir. Çalışma iki senaryo üzerine kurulmuştur. Bu senaryolar sırasıyla; i. Senaryo 1: Her aşamada sabit ışınım altında farklı ortam sıcaklıklarında teknik parametrelerin incelenmesi. ii. Senaryo 2: Her aşamada sabit ortam sıcaklığında farklı ışınımlarda teknik parametrelerin incelenmesi. şeklindedir. Belirlenen optimum kapasite ve PV dizi sayısı, 9.6 kW nominal güçte 16x2 düzeninde (2 paralel dizi

biçiminde 16 seri PV modülü) polikristal tip panellerdir. 5.5 kW max. kapasiteli, MPPT kontrolörlü ve 3 fazlı AC dalgıç pompa belirlenmiştir. Senaryo 1'deki teknik değişkenlerin duyarlılık analizi, ortam sıcaklık artışının çıkış akımı, hücre sıcaklığı ve PV dizisindeki sıcaklık kayıpları dışındaki tüm sistem performans değişkenlerini azalttığı görülmüştür. Işınım artışının Senaryo 2'de PV dizisi çıkış voltajı, motor-pompa verimliliği, PV dizisi ekserji verimliliği dışındaki tüm değişkenleri arttırdığı görülmüştür. Her iki senaryoda da, 900 W/m² üzeri ışınım değerlerinde motor-pompa gücü ve verimliliğinin, pompa hızı ve pompa deşarj değişkenlerinin ortam sıcaklığından bağımsız şekilde her daim sabit kaldığı görülmüştür. Önerilen PV destekli su pompası sisteminin elektriksel verimliliği %3.99 ile 6.81 arasında olup, bu değerler ışınım artışı ile doğru, ortam sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Önerilen PV destekli su pompası sisteminin ekserji veriminin en yüksek %3.56 ve en düşük %0.27 olup, her zaman elektriksel verimlilikten düşük olacağı belirtilmiştir. Ortam sıcaklık artışının PV dizisi ekserji verimliliğini azaltacağı, düşük ışınım düzeylerinin ise tam tersi arttıracağı görülmüştür. 600 ila 800 W/m² ışınım değerlerinde fotovoltaik destekli su pompası sisteminin ekserji verimliliğinin her zaman aşağı veya yukarı eğilim göstermeyeceğine değinilmiş ve bunun sebebinde ışınımın sabit ortam sıcaklığında artışının her zaman için ekserji girdisinde artış sağlamasına rağmen ekserji çıktısında kayda değer bir artışın yaşanmaması olduğu açıklanmıştır. Son olarak bu önerilen sistemin CO₂ emisyonunu her yıl 4.8 ton değerinde azaltabileceğine değinilmiştir [14].

Mishra vd. (2020), Doğu Hindistan iklim şartlarında şebekeden bağımsız PV panel destekli, ev tipi AC split klima kullanılan, akıllı ve düşük maliyetli bir soğuk hava deposu sisteminin tasarımını gerçekleştirmiş ve deneysel verilere göre analizler yapmışlardır. Soğuk hava deposu için seçilen depo 39.64 m³ büyüklükte olup 1 ton ürün kapasitelidir. Bölgede günlük ortalama 6 saat güneşlenme süresi olduğu hesap edilmiştir. Bu nedenle kalan 18 saatlik soğutma süresinin akü sistemi ile karşılanması gerektiğine karar verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 22 adet 325 W polikristal PV panel ile hem gün içerisinde klimaya yeteli enerjiyi sağlayabilecek hem de kalan 18 saatlik yedekleme için seçilen akü sistemini besleyebilecek 7 kW PV güç sisteminin seçimi ve kurulumu yapılmıştır. Depoya ısı kazancını engellemek için zeminde Portland çimento, poliüretan köpük levhalar ve kapı ile duvarlarda yine

poliüretan köpük levhalar ile sağlam bir yalıtım yapılmıştır. Sistemde %85 verimlilikte 5.2 kVA invertör kullanılmaktadır. Sistemde nem ile sıcaklık kontrolü için nemlendirici ve kompresör rölelere bağlı olup bu rölelerde mikrodenetleyiciler ile kontrol edilmektedir. Soğuk hava deposu içerisinde ve dışarısında kurulan sensörler ile her 5 dk da bir sıcaklık ve nem değerleri 7 gün boyunca ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde ortalama sıcaklık ve bağıl nem sırası ile 6.88 (± 0.7) °C ve %95 (± 1) olarak bulunmuştur. Dış sıcaklığın 39 ila 42 °C arası değişkenlik gösterdiği zaman aralığında dahi sistem depo içindeki ortam sıcaklığını 10 °C altında tutabilmiştir. Klima ünitesi kapatıldıktan sonra depo kapısı açılmadan geçen sürede oda sıcaklığı ve neminin 20 dakikaya kadar neredeyse sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Yalıtım malzemelerinin üstün bir performans gösterdiğine değinilmiştir. Kurulan sistemin ortalama %60, %70 ve %100 kapasite ile kullanımına göre sırası ile 2.6, 2.1 ve 1.3 yıl olarak geri ödeme süreleri olduğu hesaplanmıştır [15].

Ardiansyah vd. (2019), yaptıkları deneysel çalışmada bir akü güç kaynaklı DC su pompası sisteminin PV panel desteği ile ve PV panel desteği olmadan iki farklı konfigürasyonunu mukayese etmişlerdir. İntertörden yaşanacak kayıplardan dolayı daha az kayıplı bir sistem kurmak için DC pompa kullandıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca suyun pompaya taşınımında daha az enerji harcanacağı ve montaj kolaylığı sebebi ile dalgıç pompa tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışmada 30 W 24 V çıkışlı polikristal paneller, 12 V 20 Ah akü, solar şarj kontrolörü, 12 V DC dalgıç pompa kullanmışlardır. PV modülsüz sistem konfigürasyonunda toplam basma yükseliği yaklaşık 1'er m artışlar ile $H_0 = 0.27$ m, $H_1 = 1.33$ m, $H_2 = 2.36$ m ve $H_3 = 3.41$ m olarak dört farklı bağımsız değişken ve aynı akü güç kaynağı ile bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bu dört farklı koşulda DC pompa verimlerini sırası ile %2.73, %12.21, %18.44 ve %15.34 olarak bulmuşlardır. Genel olarak DC pompa tarafından üretilen elektrik gücünün, güç kaynağı (akü) ile %2'nin altında sapma yaşadığını belirlemişlerdir. PV paneli ile donatılmış konfigürasyonda ise PV paneller 4x30 W dizilim ve 6x30 W dizilim bağımsız değişken ve $H_1 = 1.33$ m toplam basma yüksekliği bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bu iki farklı koşulda DC pompa verimlerini sırası ile %11.92 ve %11.78 olarak bulmuşlardır. 4 modüllü ve 6 modüllü PV panel dizilimlerinde panel verimleri hemen hemen aynı olan 927.1 W/m² (4 PV modül) ve 928.4 W/m² (6 PV modül) ışınım değerlerinde sırası ile %45.58 ve %47.59

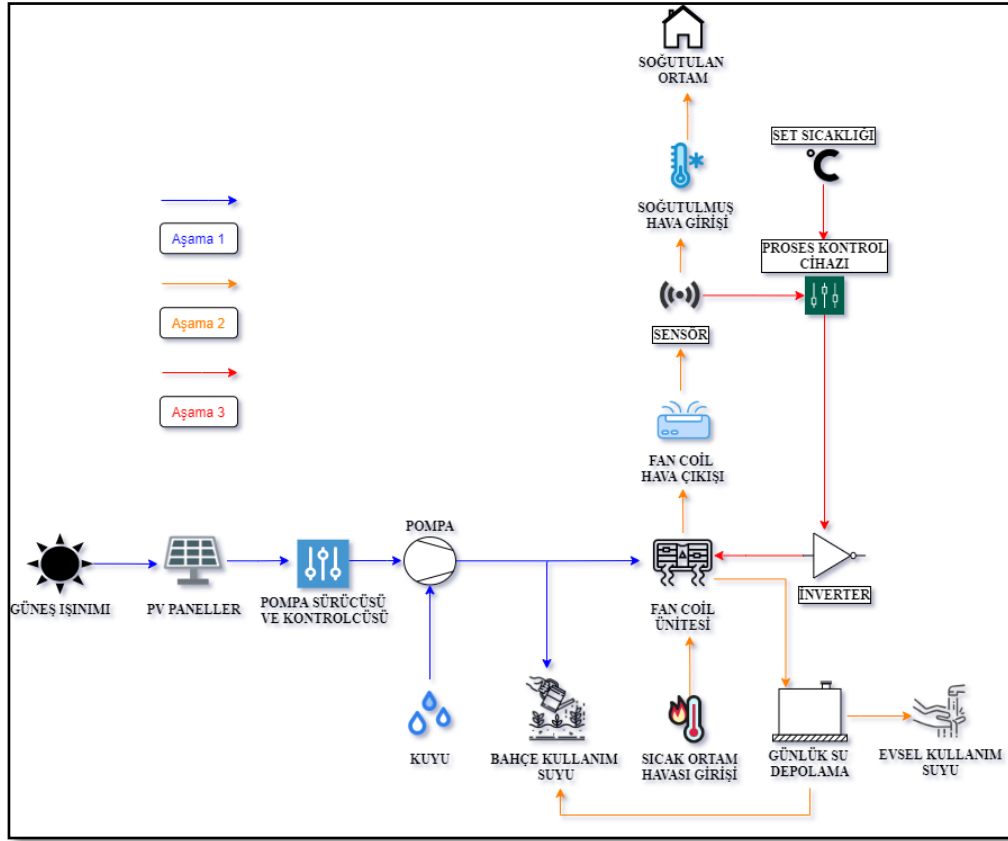
bulunmuştur. Bunun sebebinin panel çıkışındaki 18-19 V değerini akü girişindeki 12-13 V değerine düşüren solar şarj kontrolöründen kaynaklı olabileceğine değinilmiştir. Sonuç olarak PV modülsüz sistem konfigürasyonunun, bir PV paneli ile donatılmış konfigürasyondan daha kısa çalışma süresi gerçekleştirdiği görülmüştür. PV modülsüz sistem konfigürasyonunun, bir PV paneli ile donatılmış konfigürasyondan belirli bir zaman dilimindeki yük gereksinimlerinden daha yüksek veya eşit olması dışında, sürekli olarak uzun süreli çalışma için iyi bir seçenek olmadığı görülmüştür [16].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1. PV DESTEKLİ KUYU SUYU İLE DOĞAL KLİMA SİSTEMİ

Çalışmada kurulan deney sisteminin çalışma prensibi blok diyagramı olarak Şekil 4.1 üzerinde görülmektedir. Sistem görüldüğü üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, sistemde kullanılan pompa, belirlenen sabit debilerdeki kuyu suyunu fotovoltaik panellerden aldığı güç ile fan coil ünitesine gönderir. İkinci aşamada ise ortamın havası cebri olarak bir fan coil ünitesi üzerinden geçirilmek sureti ile soğutulmakta ve ortama geri üflenmektedir. Ortamın soğutulması için kullanılan havanın debisi, fan coil ünitesinin fan motor hızını kontrol eden bir inverter ve proses kontrol cihazı vasıtasıyla ayarlanmıştır. Bu aşamada soğutulan havanın sıcaklığı ölçülmüş ve fan coil çıkış sıcaklığı 22 °C olarak ayarlanmıştır. Son aşamada, PV destekli kuyu ile doğal klima sisteminin set sıcaklığı kontrol cihazı üzerinde 22 °C olarak belirlenmiştir. Kontrol cihazı atan set sıcaklığını ve fan coil hava çıkış sıcaklığını mukayese etmiştir. Atanan set sıcaklık değerinin (22 °C), fan coil hava çıkış sıcaklığından düşük ve yüksek olması durumlarında sırası ile fan motor hızını artırmış ve düşürmüştür. Bu sayede sistem, soğutma havasının sıcaklığı set sıcaklığına yakın olarak çalışmıştır.



Şekil 4.1. Sistem akış şeması.

Ülkemizde güneş pili, güneş paneli, solar panel gibi benzer isimlerle de anılan fotovoltaik paneller, yarı iletken yapıları sayesinde güneşten gelen ışınımı doğrudan elektrik enerjisine çevirirler [17]. Üretilen bu elektrik enerjisi DC (doğru akım) olup doğrudan ya da inverter adı verilen elektrikselsel bir güç çeviricisi yardımı ile AC (alternatif akım) haline çevrilerek uygun alanlarda kullanılabilir. Bu çalışmada, fotovoltaik panellerden elde edilen DC elektrik enerjisi, 3 fazlı AC bir pompa kullanılması sebebi ile inverter özelliğine sahip pompa sürücüsü ve kontrolcüsü üzerinden AC hâline çevrilerek kullanılmıştır. AC pompa kullanımı ihtiyaç halinde şebekeye doğrudan bağlanabilme imkanı da sağlamaktadır.

Günlük hayatın vazgeçilmezi olan suyun, evsel ihtiyaçlar ve bahçe sulama gibi amaçlar doğrultusunda kullanımı günde kişi başına 75 L ila 380 L arasında değişmektedir [18]. Bu değerler genellikle yaşam standartlarının ve ekonomik düzeyin artması ile artış göstermektedir. TÜİK 2018 yılı verilerine göre ülkemizde kişi başına düşen ortalama evsel su tüketimi 224 L'dir [19]. Çalışmada pompadan gelen su

debisinin bir kısmı fan coil ünitesine aktarılmış kalan ihtiyaç fazlası kısmı ise bahçe sulamasında kullanılmıştır. Fan coil ünitesinden çıkan ısınmış su ise depo edilerek ihtiyaç durumunda lavabodan evsel ihtiyaçlar için kullanılmış veya depodaki fazla su taşma borusu ile yine bahçe sulamasında kullanılmıştır.

Tasarlanan sistemi oluşturan elemanlar, bağlantıları, ölçüm parametreleri ve ölçüm noktaları Şekil 4.2' de verilen deney sisteminin 3D modelinde görülmektedir. Sistem üzerindeki numaraların açıklamaları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

4.2. DENEY SİSTEMİNİN ELEMANLARI

4.2.1. PV (Fotovoltaik) Panel

Deneysel sistemde kullanılan PV paneller 4 adet Sovello marka SV-T-200-fc1 model 200 W nominal güçte polikristal panellerdir. Dalgıç pompanın motoru için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini yarı iletken yapıları sayesinde güneş ışınımı vasıtasıyla doğrudan üretirler. PV panel dizilimi ön cepheden Şekil 4.3' de görülmektedir. PV panel teknik özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

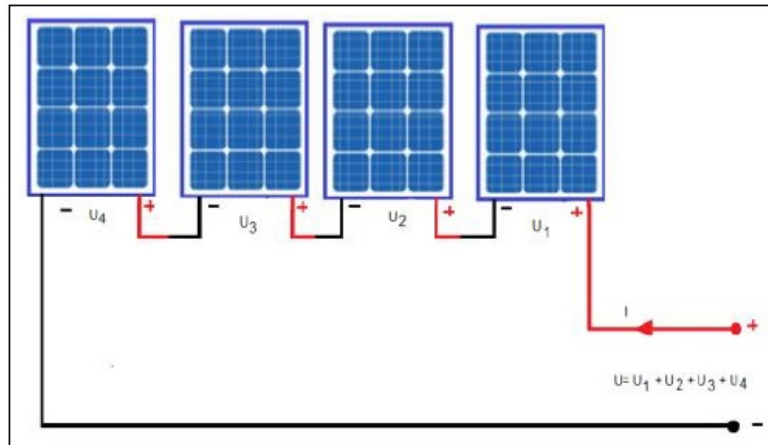


Şekil 4.3. PV Panel dizilimi (ön cepheden).

Çizelge 4.2. PV Panel teknik özellikleri.

Marka	Sovello
Model	SV-T-200-fc-1
Ölçüler	1571x951x46 (mm)
Ağırlık	17.4 kg
Pik Gücü	200 W
Maksimum Pik Gücü	204.9 W
Minimum Pik Gücü	200 W
Pik Güçte Voltaj	27.5 V
Pik Güçte Akım	7.28 A
Açık Devre Voltajı	33.2 V
Kısa Devre Akımı	8.25 A
Modül Verimliliği	%13.6
PV modül standart test koşullarında: $AM = 1.5$, $I = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_h = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	

Sistemde kullanılan dalgıç pompaya yeterli gerilimi sağlayabilmek için paneller seri olarak bağlanmıştır. Panellerin örnek seri bağlantı şeması Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. PV Panel seri bağlantı şeması [20].

4.2.2. Pompa Sürücüsü ve Kontrolcüsü

Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü Lorentz marka PS 1200 modelidir. Panellerden gelen DC elektrik enerjisini 3 faz AC'ye çevirerek pompaya iletir. Aynı zamanda ışınım değerine göre pompayı kontrol eder. Yüzeye monte edilme özelliği ile elektronik parçaların suyla teması olmamaktadır. Akülü ve solar işletme olmak üzere iki kontrol girişi bulunmaktadır. Susuz çalışma korunması mevcuttur. Aşırı akım, yüksek sıcaklık ve ters kutup korunması bulunmaktadır. Solar işletmede MPPT uygulanabilir. Solar işletmede ışınım olmasına rağmen pompayı çalıştıracak kadar enerji alınamaması durumunda, pompa 90 saniyede bir yeniden başlatma vermektedir. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü ile pompanın toplam çalışma verimi %92'ye ulaşabilmektedir. Pompa kontrolcüsü ve sürücüsünün verimi %85 alınmıştır. RPM (devir/dakika) kontrolü ile maksimum hızı %30 düşürebilme özelliğine sahiptir. Böylece başlangıçta ve düşük ışınım zamanlarında pompa daha az güç harcayarak çalışmaya devam edebilmektedir. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü ile panel çıkışını ölçen wattmetre Şekil 4.5'de, teknik özellikleri Çizelge 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü ile wattmetre.

Çizelge 4.3. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü teknik özellikleri.

Marka	Lorentz
Model	PS1200
Solar İşletme	
Giriş (PV Jeneratör)	
Maksimum Güç Gerilimi*	> 102 V DC
Açık Devre Gerilimi	max. 200 V DC
Akülü İşletme	
Akü Giriş Gerilimi (nominal)	96 V DC
Düşük Gerilim Bağlantısı	88 V DC
Yeniden Başlatma Gerilimi	96 V DC
Çıkış	
Güç (nominal)	30-130 V AC PWM 3 faz 1200 W
PV modül standart test koşullarında: AM = 1.5, I = 1000 W/m ² , T _h = 25 °C	

4.2.3. Dalgıç Pompa

Kullanılan dalgıç pompa Lorentz marka PS 1200 modelidir. Kuyu içerisine yerleştirilmiş olan dalgıç pompanın statik su seviyesi yüksekliği 10 m olup, bağlantı elemanları ve iletim borularından oluşan kayıplardan dolayı pompa basma yüksekliği 20 mSS olarak alınmıştır. Deney sisteminde kullanılan pompa, diğer pompalara nazaran kum, çakıl etkilerine ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Pompa motoru su ile soğutulmakta ve kauçuk pompa ucu sayesinde motordaki gibi suyla yağlanarak çalışması nedeni ile bakım gerektirmemektedir. Helezonik rotorlu pompa ucu kullanılmaktadır. Rotor, kendininkilerden farklı büyüklükte hatveler içeren kauçuk bir statör içerisine sıkı sıkıya geçmiş vaziyettedir. Rotor ile statör arasındaki hatvelerin büyüklük farkı suyu hatveler arasında hapseder. Rotorun dönmesi ile hatveler suyu çıkışa itmektedir. Sürücü ve kontrolcü üzerinden doğrudan PV panellerden beslenen pompa istenirse 3 Fazlı AC yapısı sayesinde AC kaynaklardan beslenebilme imkanı

da sağlar. Montajının hızlı ve kolay olması da ek bir avantaj sağlamaktadır. Pompanın görüntüsü Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Dalgıç pompa [21].

4.2.4. Fan Coil nitesi

Kullanılan fan coil nitesi döşeme tipi Daikin Europe N.V. marka FWV03CCTN6V3 modelidir. Ortam havasını fan vasıtasıyla cebri olarak içerisindeki ısı eşanjöründen geçirir. Eşanjör içerisinde pompa tarafından basılan soğuk kuyu suyu bulunmaktadır. Sıcak ortam havası ile soğuk kuyu suyu konveksiyon (taşınım) ile ısı iletimi yapar. Soğutulan ortam havası sensor üzerinden ortama geri üflenmektedir. Fan coil su giriş ve çıkışı ile hava emiş ve üfleme noktalarında termokupl yardımı ile sıcaklık ölçümü hassas olarak yapılmaktadır. Fan coil nitesi ve havanın hız ölçümü için montajlanan baca Şekil 4.7’de, teknik özellikleri izelge 4.4’de verilmiştir. Fan coil fan motoru şebekeden beslenmektedir. Fan coil termal verimi esas alınmiştır.

Çizelge 4.4. Fan coil teknik özellikleri.

MARKA	Daikin Europe N.V.
MODEL	FWV03CCTN6V3
KAPASİTELER	
Soğutma (kW)	2.93
Isıtma (kW)	3.81
SU AKIŞI	
Soğutma (L/h)	494
Isıtma (L/h)	286
HAVA AKIŞI	
Yüksek (m ³ /h)	431
Orta (m ³ /h)	332
Düşük (m ³ /h)	238
Hız	3 kademe (yüksek, orta ve düşük)
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Akım Girişi	
Yüksek (A)	0.25
Orta (A)	0.2
Düşük (A)	0.14
Gerekli güç kaynağı (V/f/Hz)	230/1/50
Fan gücü (W)	62



Şekil 4.7. Fan coil ünitesi.

4.2.5. Proses Kontrol Cihazı ve İnverter

Kullanılan proses kontrol cihazı ORDEL marka PC 440 modelidir. Kullanılan inverter ABB marka ACS150 modelidir. Bu çalışmada konfor şartı olarak 22 °C set sıcaklık değeri belirlenmiştir. Odanın orta kısmına yerleştirilen termokupl ile ortam sıcaklığı hassas olarak ölçülmektedir. Proses kontrol cihazı üzerine manuel olarak bir set değeri atanmaktadır. Ortam sıcaklık verisi anlık olarak proses kontrol cihazına aktarılır. Proses kontrol cihazı anlık ortam havası sıcaklığı ile atanan set sıcaklığını mukayese eder. Ortam havası sıcaklığının set sıcaklığından yüksek veya düşük olması durumlarında invertere sırası ile attırma ve düşürme sinyalleri gönderir. İnverter gelen sinyale göre fan motor hızını artırır veya düşürür. Proses kontrol cihazı ile otomatik oransal kontrol yapılmıştır. Proses kontrol cihazı ve inverter Şekil 4.8’de görülmektedir. Proses kontrol cihazı teknik özellikleri Çizelge 4.5’de, inverter teknik özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Cihaz enerjisini şebekeden almaktadır.



Şekil 4.8. Proses kontrol cihazı ve inverter.

Çizelge 4.5. Proses kontrol cihazı teknik özellikleri.

Besleme Gerilimi (PS)	100-240Vac/dc : +%10 -%15	24Vac/dc : +%10 -%20
Güç Tüketimi	4W,6VA	
Üniversal Sensör Girişi (S1)	Termokupl : B,E,J,K,L,N,R,S,T,U	
	İki Telli Transmitter : 4-20mA	
	Rezistans Termometre : PT100	
	Akım : 0/4-20mA	
	Gerilim : 0-50mV, 0/2-10V	
Transmitter Besleme (TX)	24Vdc (I _{sc} = 30mA)	
Analog Giriş Empedansları	Termokupl, mV : 10MΩ	
	Akım : 10Ω	
	Gerilim : 1MΩ	
Analog Çıkış (O1)	Akım : 0/4-20mA (RL ≤ 500Ω)	Gerilim : 0/2-10V (RL ≥ 1MΩ)
Röle Çıkışları (R1,R2)	Kontak : 250Vac, 5A	Lojik Çıkış : 24Vdc, 20mA

Çizelge 4.6. İnverter teknik özellikleri.

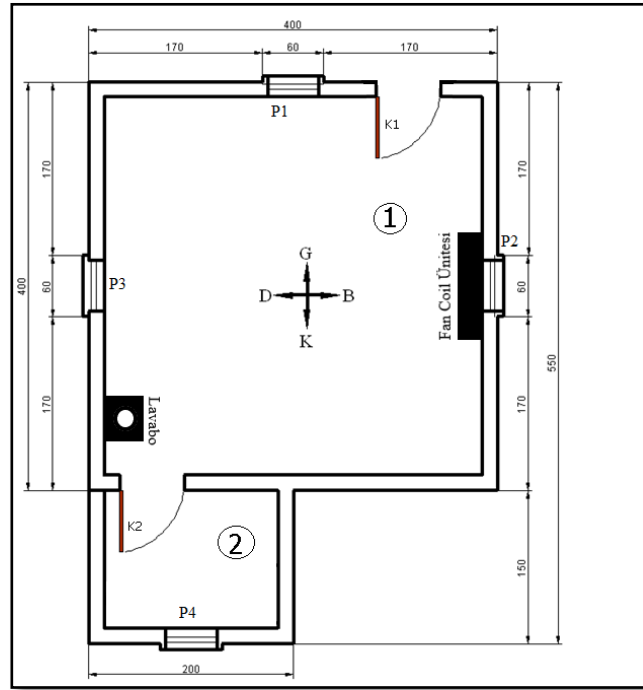
Frekans (f)	50/60 Hz
Giriş Voltajı (U _{in})	200 ... 240 V
Faz Sayısı	1
Çıkış Akımı, Hafif - Aşırı Yük Kullanımı	4.7 A
Çıkış Akımı, Normal Kullanım	4.7 A
Çıkış Gücü, Hafif - Aşırı Yük Kullanımı	0.8 Kw
Çıkış Gücü, Normal Kullanım	0.8 kW
Model	ACS150

4.2.6. Lavabo ve Su Deposu

Fan coil çıkışında ısınan su depo edilmektedir. Depo edilen suyun fazlası taşma borusu üzerinden bahçe kullanımına aktarılmaktadır. Depodan lavaboya bağlantı vardır. Günlük kullanım suyu da buradan temin edilmektedir. Fan coil çıkışında ölçülen su sıcaklığı günlük kullanım ve bahçe sulaması için kullanıma uygundur.

4.2.7. Deney Evi

Deney evi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü içerisinde bulunmaktadır. Araç Çayı'nın kenarında kurulmuş olan deney evi 2 odalı 4 pencereyi olup tek girişi bulunmakta ve tek katlı bir yapıdır. Deney evinin planı Şekil 4.9'da görülmektedir. Deney evinin yapı bileşenleri Çizelge Ek A.1'de verilmiştir. Batı duvarına yakın başka bir binadan ve kuzey kısmındaki toprak yükselitisinden dolayı evin bu yönleri sürekli olarak gölgede kalmaktadır.



Şekil 4.9. Deney evi planı.

4.3. ÖLÇÜM AYGITLARI

4.3.1. Solarimetre

PV Panel yüzeyinin birim alanına düşen direkt ve difüz güneş ışınımı toplamını ölçmekte kullanılan aygıttır. Kullanılan solarimetre TES marka 1333R modelidir. 4 haneli okuma yapılabilen LCD ekrana sahiptir. Aygıt 2000 W/m^2 ışınım değerine kadar okuma yapılabilme ve 0.1 W/m^2 ölçüm kararlılığı özelliklerine sahiptir. Tipik

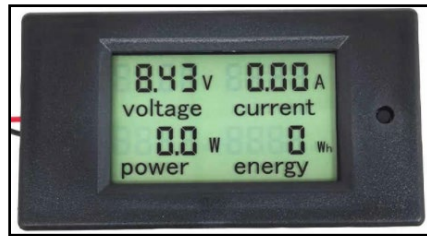
olarak $\pm 10 \text{ W/m}^2$ ya da $\pm 5\%$, güneş ışığında hangisi daha büyük ise; $25 \text{ }^\circ\text{C}$ değerinden itibaren ek sıcaklık kaynaklı hata 0.38 W/m^2 olmaktadır. Solarimetre Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.100. Solarimetre.

4.3.2 Dijital Wattmetre

Panel çıkışındaki DC akım, voltaj, güç ve enerji değerlerini ölçmekte kullanılmaktadır. Deney ölçümlerinde kullanılan aygıt Peacefair marka PZEM-031 modelidir. Aygıt $6.5\sim 100 \text{ V}$, $0\sim 20 \text{ A}$, $0\sim 2 \text{ kW}$, $0\sim 9999 \text{ kWh}$ ölçüm aralıklarına sahiptir. Dijital wattmetre Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.111. Dijital wattmetre.

4.3.3. Pens Ampermetre

Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü çıkışında pompaya iletilen faz akımlarını ölçmekte kullanılmaktadır. Deney ölçümlerinde kullanılan pens ampermetre TT Technic marka DT-266C modelidir. Aygıtın 1000 A AC akım ölçebilme, 750 V AC ve 1000 V DC voltaj ölçebilme özelliği vardır. Aygıt ayrıca diyot, direnç ve sıcaklık ölçümü ile sesli

kısa devre kontrolü de yapabilmektedir. Pens ampermetre Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.122. Pens ampermetre.

4.3.4. Dijital Multimetre

Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü çıkışında pompaya iletilen AC faz-faz, AC faz-nötr ve DC faz-nötr gerilimlerini ölçmekte kullanılmaktadır. Deney ölçümlerinde kullanılan multimetre UNIT marka UT33C modelidir. Aygıt 500 V AC ve DC voltaj, 10 A DC akım, 10 M Ω direnç ve 1000 °C’ye kadar sıcaklık ölçebilme özelliklerine sahiptir. Dijital multimetre Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.133. Dijital multimetre.

4.3.5. Şamandıralı Debimetre

Fan coile giren kuyu suyunun hacimsel debisini ölçmek için kullanılmaktadır. PVC boru içerisinde bulunan şamandırası ile üzerindeki çizelgeden $0.1\sim 1\text{ m}^3/\text{h}$ aralığında hacimsel debi ölçülebilmektedir. Şamandıralı debimetrenin görseli Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Şamandıralı debimetre.

4.3.6. Anemometre

Deneylerde fan coil hava üfleme hızının ölçümünde kullanılan ayardır. Deney ölçümlerinde kullanılan anemometre Testo marka 435 modelidir. Max. 720 mm teleskobik çubuklu $\text{Ø}16\text{ mm}$ kanatçıklı prop kullanılmıştır. Kullanılan teleskobik prop ve anemometre ile $0\sim 60\text{ °C}$ operasyon sıcaklığında $0.6\sim 40\text{ m/s}$ aralığında $\pm 0.2\text{ m/s}$ doğrulukta hava hızı ölçülebilmektedir. Kullanılan anemometre ile uygun proplar vasıtası ile hız dışında hacim ve sıcaklık ölçümleri de yapılabilmektedir. Deney ölçümlerinde kullanılan anemometre ve teleskobik prop Şekil 4.15'da verilmiştir.



Şekil 4.145. Anemometre ve teleskobik prop.

4.3.7. 4 Kanallı K Tipi Sıcaklık Kayıt Aygıtı

Deneyleerde fan coil hava emiş ve üfleme sıcaklıkları ile fan coil su giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmekte ve kaydetmekte kullanılan aygıttır. K tipi termokupllar ile birlikte kullanılan aygıt 4 kanallı yapısı ile 4 ölçümü aynı anda okumaya ve mukayese etmeye olanak tanımaktadır. SD kart takılabilen aygıt txt formatında veri depolama özelliğine sahiptir. Sesli ve görsel alarm özelliği bulunan aygıtın ekranından saat ve tarih bilgileri de okunabilmektedir. Deney ölçümlerinde kullanılan 88598 model aygıt -200~1370 °C aralığında 0.1 °C kararlılıkta sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Sıcaklık kayıt aygıtı Şekil 4.16'de görülmektedir.



Şekil 4.16. 4 Kanallı K tipi sıcaklık kayıt aygıtı.

4.3.8. Termokupl Termometre

Deney evinin ortam havası sıcaklığını ve dış hava sıcaklığını ölçmekte kullanılmaktadır. Deneyleerde kullanılan aygıt CEM marka DT 3891G modelidir. Aygıt 4 kanallı yapıda olup J ve K tipi termokupllar ile çalışabilmektedir. Aygıt K tipi ile -200~1372 °C ve J tipi ile -210~1100 °C aralıklarında ± 1 °C hassaslıkta ve 0.1 °C çözünürlükte sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Çalışma sıcaklık aralığı 0~50 °C'dir. Kullanılan termokupl termometre Şekil 4.17'de görülmektedir.



Şekil 4.17. Termokupl termometre.

4.3.9. Termokupllar

Deney ölçümlerinde kullanılan tüm termokupllar K tipidir. Fan coil su giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümünde ORDEL marka OM06 tip 30 mm dalma boyu, 3 m kablo uzunluğu olan minyatür soketli sabit kablolu ve rekorlu termokupllar kullanılmıştır. Hava sıcaklıklarının ölçümlerinde ise uygun uzunlukta kablo termokupllar kullanılmıştır.

4.3.10. Vanalar ve Borular

Deney düzeneğinde kullanılan vanalar şiber ve küresel vana olmak üzere iki tiptir. Tüm su boruları 1/2" PPRC borudur. Pompa çıkışında bahçe ile fan coil ünitesine giden borularda ve depodan bahçeye giden taşma borusunda 1/2" PPRC küresel vanalar kullanılmaktadır. Fan coil ünitesi girişinde kuyu suyunun debisini ayarlamakta 1/2" standart bir şiber vana kullanılmaktadır.

4.4. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

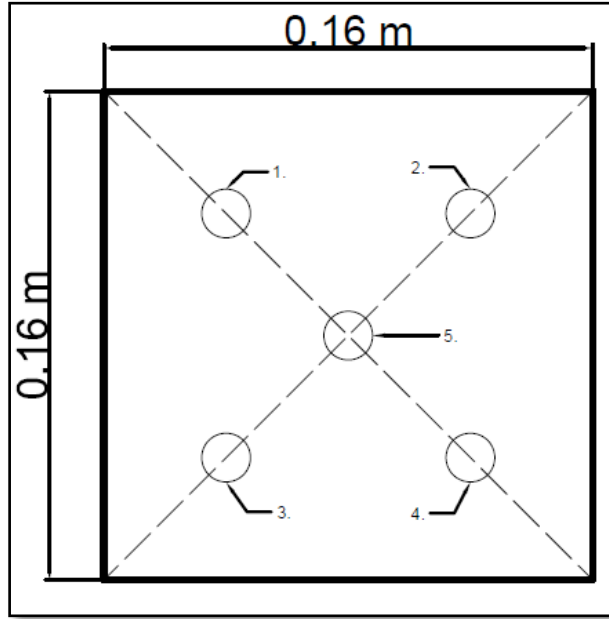
Paneller 4'lü seri dizilimdedir ve bu sayede gerekli pompa gerilimi sağlanmaktadır. Dalgıç pompa ise kuyu içerisinde 10 m statik basma yüksekliğinde yer almaktadır. İlk olarak dalgıç pompa çıkışından deney evi batı duvarına kadar yaklaşık 100 m su basma hattı çekilmiştir. Duvar önünde T bağlantı parçası ile akış bahçe kullanımı ve fan coil girişi olarak ikiye ayrılarak küresel vana bağlantıları yapılmıştır. Borular duvar önüne

kadar toprak altından geçirilerek ışınlam ve dış havadan ısı kazanımı engellenmiştir. Duvar tarafında ise borular alüminyum folyo kaplı polietilen köpük ile yalıtılmıştır. İkinci olarak fan coil ünitesi evin giriş kapısı önündeki batıya bakan camın altına yerleştirilmiştir. Sonrasında debimetre, termokupl ve şiber vana ile birlikte fan coil ünitesinin serpantin girişi boru bağlantıları yapılmıştır. Serpatin çıkışından benzer şekilde termokupl ile birlikte su deposu alt kısmına boru bağlantısı yapılmıştır. Su deposunun en üst noktasından taşma borusu olarak çıkış alınmış küresel vana bağlantısı yapılarak bahçeye yönlendirilmiştir. Su deposunun alt kısmından lavaboya evsel kullanım için borulama yapılmıştır. Üçüncü olarak fan coil ünitesi hava üfleme hızını ölçebilmek amacıyla mukavvadan bir baca yapılmıştır. Yapılan baca fan coil ünitesinin üfleme kısmına sızdırma yapmayacak şekilde montajlanmıştır. Baca orta kısmına üfleme havası sıcaklık ölçümü için bir termokupl bağlanmıştır. Dördüncü olarak evin tam orta noktası tespit edilerek bu noktaya bir çubuk yardımı ile ortam havası sıcaklığını ölçecek termokupl sabitlenmiştir. Son olarak fan coil ünitesinin hava emiş ve üfleme kısımlarının hemen önlerine birer termokupl sabitlenmiştir. Emme kısmındaki termokupl proses kontrol cihazına bağlanmış, fan coil ünitesinin enerji kablosu ise inverttere bağlanmıştır. Fan coil ünitesi, mahal içerisinde yaz ve kış uygulamalarında uygun hava dağılımının gerçekleşebilmesi ve ideal ısı konfor şartının sağlanması için deney evinde pencere önüne yerleştirilmiştir.

Deney sisteminde; dış hava, ortam havası, fan coil emme ve üfleme havası, fan coil giriş ve çıkış su sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca fan coile giren suyun hacimsel debisi ölçülerek, bu değer tüm deneylerde o gün istenen debiye göre gün boyunca sabit tutulmuştur. Farklı devirlerde fan coil hava debisini bulmak için, üfleme hızı ölçülmüştür. Hava hızını ölçmek için fan coil üzerine 16x16 cm kare bir çıkış yapılarak hız bu kesitte 5 noktadan alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir. Fan coil hava üfleme hızı ölçüm metodu ve fan coil bağlantıları sırası ile Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Çıkış alanı bilinen ve ortalama hızı da ölçülen fan coil üfleme havasının kütleli debisi havanın yoğunluk değeri yardımı ile hesap edilmiştir. Fan coil için ölçülen ve hesaplanan bu değerler yardımı ile fan coilin sudan aldığı soğutma gücü, havadan verdiği soğutma gücü ve termal verimi bulunmuştur. Ayrıca fan coil ünitesi fan motorunun harcadığı güç de ölçülerek bulunmuş ve ısı kazancı hesaplamalarında kullanılmıştır.

PV panellerin üzerine düşen güneş ışınımı, panellerin çıkış akımı, gerilimi ve gücü ölçülmüştür. Alınan ölçümler yardımı ile toplam yüzey alanı da bilinen panellerin elektriksel verimi bulunmuştur.

Pompa tarafından bahçe kullanımına basılan suyun kütleli debisi ölçekli kap yardımı ile ölçülmüştür. Fan coil ünitesinin sabit debisi ile toplanarak pompanın toplam kütleli debisi bulunmuştur. Pompa statik basma yüksekliği ve hidrolik basma yüksekliği toplanarak toplam basma yüksekliği bulunmuştur. Pompa sürücüsü ve kontrolcüsü verimi %85 alınmıştır. Daha evvelden PV panelden pompa sürücüsü ve kontrolcüsüne aktarılan akım, gerilim ve güç değerleri de bilinmektedir. Ölçülen ve hesap edilen değerler yardımı ile pompaya aktarılan elektriksel güç, pompanın akış gücü ve verimi bulunmuştur.



Şekil 4.158. Fan coil hava üfleme hızı ölçüm metodu.



Şekil 4.19. Fan coil bağlantıları.

BÖLÜM 5

ANALİZ YÖNTEMLERİ

5.1. PV (FOTOVOLTAİK) PANEL ENERJİ ANALİZİ

PV modülünün doldurma faktörü, kısa devre akımı ve açık devre voltajına bağlı olarak verimi;

$$\eta_m = \frac{P_{mak}}{A_m \times I_{(t)}} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [17]. Eşitlikte; η_m modül verimi (%), A_m toplam panel alanı (m^2), $I_{(t)}$ güneş ışınımı (W/m^2) değeridir. Burada; modül alanı $1.494021 m^2$ ($0.951 m \times 1.571 m$) ve modül adedi 4'tür.

Eşitlikte P_{mak} panelden alınabilecek maksimum güçtür ve aşağıdaki gibi hesap edilmiştir [17].

$$P_{mak} = DF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC} = I_{mp} \cdot V_{mp} \quad (5.2)$$

Eşitlikte DF doldurma faktörüdür ve aşağıdaki gibi hesap edilmiştir [17].

$$DF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{P_{mak}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (5.3)$$

Eşitlikte; I_{mp} maksimum akım (A), V_{mp} maksimum voltaj (V), V_{OC} açık devre voltajı (V), I_{SC} kısa devre akım (A) değeridir.

PV modülünün elektriksel kazancı;

$$\dot{E}_{\text{net}} = \eta_m \times A_m \times I_{(t)} \quad (5.4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [17]. Eşitlikte; \dot{E}_{net} elektriksel güç (W) değeridir.

PV panelden çekilen elektriksel güç;

$$P_i = I_i \times V_i \quad (5.5)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; P_i panelden çekilen güç (W), V_i panelden çekilen gerilim (V), I_i panelden çekilen akım (A) değeridir.

5.2. DALGIÇ POMPA ENERJİ ANALİZİ

Dalgıç pompanın verimi;

$$\eta_p = \frac{P_A}{P_E} \quad (5.6)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte η_p pompa verim (%), P_E pompaya aktarılan elektriksel güç (W), P_A pompanın akış gücü (W) değeridir.

Sistemdeki pompanın akış gücü;

$$P_A = \dot{m}_p \times g \times H \quad (5.7)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; \dot{m}_p pompa tarafından basılan suyun kütleli debisi (kg/s), g yer çekimi ivmesi (m/s^2), H pompa toplam basma yüksekliği (m) değeridir. Hesaplamalarda $g = 9.81m/s^2$ olarak kabul edilmiştir.

Pompa tarafından basılan suyun kütleli debisi;

$$\dot{m}_p = \dot{m}_b + \dot{m}_{fs} \quad (5.8)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; \dot{m}_b bahçe kullanım suyu kütleli debisi (kg/s), \dot{m}_{fs} fan coil kütleli su debisidir (kg/s).

Pompanın toplam basma yüksekliği;

$$H = H_{st} + H_k \quad (5.9)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; H_{st} statik basma yüksekliği (m), H_k bağlantı elemanları ve boru kayıplarından gelen yükseklik (m) değeridir. Sistemde pompanın toplam basma yüksekliği 20 mSS'dur.

Sistemdeki pompaya aktarılan elektriksel güç;

$$P_E = I_i \times V_i \times \eta_{psk} = P_i \times \eta_{psk} \quad (5.10)$$

eşitliği ile hesap edilmiştir. Eşitlikte; P_i panelden çekilen güç (W), V_i panelden çekilen gerilim (V), I_i panelden çekilen akım (A), η_{psk} pompa sürücüsü ve kontrolcüsü verim (%) değeridir. Burada; pompa sürücüsü ve kontrolcüsü verimi %85'tir.

5.3. FAN COİL ÜNİTESİ ENERJİ ANALİZİ

Fan coil ünitesinin termal verimi;

$$\eta_{fc} = \frac{\dot{Q}_{hava}}{\dot{Q}_{su}} \quad (5.11)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; η_{fc} fan coil ünitesi termal verim (%), \dot{Q}_{hava} havadan verilen yararlı soğutma gücü (W), \dot{Q}_{su} sudan alınan yararlı soğutma gücü (W) değeridir.

Fan coil ünitesinin havadan verdiği yararlı soğutma gücü;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{fh} \times c_{ph} \times \Delta T_h \quad (5.12)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; \dot{m}_{fh} fan coil üfleme havasının kütleli debisi (kg/s), c_{ph} havanın özgül ısısı (J/kg. °C), ΔT_h fan coil hava emiş ve üfleme sıcaklıkları farkıdır (°C). Hesaplamalarda $c_{ph} = 1005$ J/kg. °C olarak kabul edilmiştir. Fan coil üfleme havasının kütleli debisi;

$$\dot{m}_{fh} = \rho_h \times v_{fh} \times A_{baca} \quad (5.13)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; ρ_h havanın yoğunluk (kg/m³), v_{fh} üfleme havasının fan coilden çıkış hızı (m/s) ve A_{baca} üfleme havası çıkış bacasının kesit alanı (m²) değeridir. Hesaplamalarda $\rho_h = 1.225$ kg/m³ olarak kabul edilmiştir. Burada; üfleme havası çıkış bacasının kesit alanı 0.0256 m² (0.16 m × 0.16 m)'dir.

Fan coil hava emiş ve üfleme sıcaklıkları farkı;

$$\Delta T_h = T_e - T_{\dot{u}} \quad (5.14)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; T_e fan coil hava emme sıcaklığı (°C) ve $T_{\dot{u}}$ fan coil hava üfleme sıcaklığıdır (°C).

Fan coil ünitesinin sudan aldığı yararlı soğutma gücü;

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{fs} \times c_{ps} \times \Delta T_s \quad (5.15)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; \dot{m}_{fs} fan coil kütleli su debisi (kg/s), c_{ps} suyun özgül ısısı (J/kg. °C), ΔT_s fan coil su giriş ve çıkış sıcaklıkları farkıdır (°C). Hesaplamalarda $c_{ps} = 4187$ J/kg. °C ve 1000 kg su = 1 m³ su olarak kabul edilmiştir. Fan coil su giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı;

$$\Delta T_s = T_c - T_g \quad (5.16)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; T_c fan coil su çıkış sıcaklığı (°C) ve T_g fan coil su giriş sıcaklığıdır (°C).

5.4. DENEY EVİ ISI KAZANCI ANALİZİ

Deney evi toplam ısı kazancı hesap edilirken iç ve dış olmak üzere iki ayrı başlık altında ısı kazançları hesap edilmiştir. Isı kazançları 24 °C klima konfor şartı olan iç hava sıcaklığı sabit alınarak hesap edilmiştir.

5.4.1 Deney Evi İç Isı Kazancı

Bilindiği üzere iç ısı kazançları dış kaynaklardan tamamen bağımsız olarak insanlardan, aydınlatmadan, makinelerden, komşu duvarlardan ve geçici maddelerden olmaktadır [22]. Deneylerde, sistemin çalışması esnasında deney evi içerisinde insan bulunmamış ve geçici madde giriş çıkışı olmamıştır. İki odanın sıcaklıkları eşit olacağı kabul edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı geçici maddelerden, komşu duvarlardan ve insanlardan ısı kazancı olmamıştır. İç ısı kazancı yalnızca deney evi içerisinde bulunan aydınlatma cihazı ve fan coil fan motorundan gerçekleşmiştir.

Aydınlatmadan gelen ısı kazancı;

$$Q_{\text{ayd.}} = P_{\text{ayd.}} \times k_1 \times k_2 \quad (5.17)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [5]. Eşitlikte; $Q_{\text{ayd.}}$ aydınlatmadan ısı kazancı (W), $P_{\text{ayd.}}$ ampül gücü (W), k_1 kullanma faktörü (%) ve k_2 özel armatür faktörüdür. Hesaplamalarda, deneyler sırasında bir adet ampül sürekli açık olduğu için kullanma faktörü 1 kabul edilmiştir. Burada; 100 W tungsten ampüle eşit olan 20 W'lık led ampül kullanılması sebebi ile özel armatür faktörü, enkandesan ampül için kabul edilen değer olan 1 alınmıştır. Bu sebeple;

$$Q_{\text{ayd.}} = P_{\text{ayd.}} \quad (5.18)$$

eşitliği ile aydınlatmadan gelen ısı kazancı tüm deneylerdeki tüm saatlerde sabit ve ampül gücü kadar olmuştur.

Makineden gelen ısı kazancı;

$$Q_{\text{mak.}} = P_{\text{mak.}} \times F_1 \times F_2 \quad (5.19)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [5]. Eşitlikte; $Q_{\text{mak.}}$ makineden ısı kazancı (W), $P_{\text{mak.}}$ makine anma gücü (W), F_1 motor yük faktörü (%), F_2 motor kullanma faktörü (%) değeridir. Hesaplama, motor kullanma faktörü deneyler sırasında fan coil fan motorunun devamlı olarak çalışmasından dolayı 1 alınmıştır. Motor yük faktörü;

$$F_1 = P_{\text{fan ort.}}/P_{\text{mak.}} \quad (5.20)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; $P_{\text{fan ort.}}$ fan coil ünitesi fan motorunun deney sırasındaki güç sarfiyatlarının aritmetik ortalama (W) değeridir.

5.4.2 Deney Evi Dış Isı Kazancı

Bilindiği üzere dış ısı kazançları iklimlendirilecek mahale dış etkenlerden gelen enerjilerin toplamıdır. Bu enerjiler güneşten ışıma, taşıma ve yansıma yolu ile gelmektedir [22]. Dış ısı kazançları pencerelerden gelen ışıma, pencerelerden taşınım, dış kapıdan taşınım, dış duvarlardan taşınım, tavandan taşınım ve enfiltrasyon (havadan sızıntı) yollarıyla gerçekleşmektedir.

Tavandan taşınım ile gelen ısı kazancı;

$$Q_{\text{tavan}} = K_t \times A_t \times \Delta T_k \quad (5.21)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [22]. Eşitlikte; Q_{tavan} tavandan ısı kazancı (W), K_t tavan ısı geçirgenlik kat sayısı ($W/m^2 \cdot K$), A_t mahallenin toplam tavan alanı (m^2), ΔT_k deneyler sırasındaki dış hava ve iç hava sıcaklık farkıdır ($^{\circ}C$).

Tavan ısı geçirgenlik kat sayısı;

$$K_t = \frac{1}{R_i + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_d} \quad (5.22)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; R_i iç yüzey ısı geçiş direnci (m^2K/W), d malzeme kalınlığı (m), λ malzeme ısı taşınım kabiliyeti (W/mK), R_d dış yüzey ısı geçiş direncidir (m^2K/W). Hesaplamalarda R_i ve R_d tavan için sırası ile TS 825'den $0.13 m^2K/W$ ve $0.08 m^2K/W$ kabul edilmiştir [23]. Tavanın toplam alanı;

$$A_t = (L_1 \times L_2) + (L_3 \times L_4) \quad (5.23)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte L_1 ve L_2 deney evindeki kare olan oda 1'in duvar uzunlukları (m), L_3 ve L_4 deney evindeki kare olan oda 2'nin duvar uzunluklarıdır (m). Deneyleler sırasındaki dış hava ve iç hava sıcaklık farkı;

$$\Delta T_k = T_d - T_i = T_{ara} - T_i \quad (5.24)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; T_d dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$), T_{ara} çatı arası hava sıcaklığı ($^{\circ}C$) ve T_i mahal iç hava sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). Burada; iç hava sıcaklığı klima konfor şartı olan $24^{\circ}C$ kabul edilmiştir. Çatı arası sıcaklığı, çatıda yalnızca kiremit ve kontrplak bulunmasından kaynaklı düşük konstrüksiyon sebebi ile dış hava sıcaklığıyla eşit kabul edilmiştir.

Dış duvarlardan taşınım ile ısı kazancı;

$$Q_{duvar} = K_d \times A_d \times \Delta T_k \quad (5.25)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [22]. Eşitlikte; Q_{duvar} dış duvarlardan ısı kazancı (W), K_d duvar ısı geçirgenlik kat sayısı (W/m^2K), A_d mahallin toplam net dış duvar alanıdır (m^2). Duvar ısı geçirgenlik kat sayısı;

$$K_d = \frac{1}{R_i + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_d} \quad (5.26)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda R_i ve R_d dış duvar için sırası ile TS 825'den $0.13 m^2K/W$ ve $0.04 m^2K/W$ kabul edilmiştir [23]. Mahallin toplam net dış duvar alanı;

$$A_d = A_{d1} - (A_{kapı} + A_{pe}) \quad (5.27)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; A_{d1} mahallin toplam dış duvar alanı (m^2), $A_{kapı}$ mahallin dış kapı alanı (m^2), A_{pe} mahallin toplam pencere alanıdır (m^2). Burada; pencereler $0.6 m \times 0.1 m$ ($0.6 m^2$) ve 4 adettir, dış kapı $2 m \times 1 m$ ($2 m^2$) ve 1 adettir. Mahallin dış duvar yükseklikleri $2.6 m$ olup, duvar uzunlukları Şekil 4.9'daki deney evi planında görülmektedir.

Pencerelerden taşınım ısı kazancı;

$$Q_{pe} = K_{pe} \times A_{pe} \times \Delta T_k \quad (5.28)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [22]. Eşitlikte; Q_{pe} pencerelerden taşınım ısı kazancı (W), K_{pe} pencere ısı geçirgenlik kat sayısıdır (W/m^2K). Burada; pencere ısı geçirgenlik kat sayısı ahşap ve tek camlı pencere için $5.2 W/m^2K$ kabul edilmiştir [22].

Dış kapıdan taşınım ısı kazancı;

$$Q_{ka} = K_{ka} \times A_{ka} \times \Delta T_k \quad (5.29)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [22]. Eşitlikte; Q_{ka} dış kapıdan taşınım ile ısı kazancı (W), K_{ka} kapı ısı geçirgenlik kat sayısıdır (W/m^2K). Burada; dış kapı ısı geçirgenlik kat sayısı ahşap dış kapı için $3.5 W/m^2K$ kabul edilmiştir [22].

Pencerelerden ışınlama ile gelen ısı kazancı;

$$Q_I = Q_G \times F \times b \quad (5.30)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [5]. Eşitlikte; Q_I ışınlama ile gelen ısı kazancı (W), Q_G düşey pencerelere gelen ısı akısı (W/m^2), F birim pencere alanı (m^2) ve b gölgeleme faktörüdür. Hesaplamalarda gölgeleme faktörü kuzey ve batı pencerelerinde sürekli gölgede kaldıkları için 0.1 ve diğer pencerelerden dışta jaluzili ve normal cam özellikten dolayı 0.2 kabul edilmiştir [5]. Düşey pencerelere 40° kuzey enlemde ışınlama ile gelen ısı akısı pik saatlerine ve yönlere göre verilen değerler için aritmetik ortalama ile bulunmuştur [5].

Enfiltrasyon (hava sızıntısı) ısı kazancı;

$$Q_E = n \times \rho_h \times c_{ph} \times \Delta T_k \times v \quad (5.31)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [26]. Eşitlikte; n kapının açılma sayısı (defa/h), ρ_h havanın yoğunluğu (kg/m^3), c_{ph} havanın özgül ısısı ($J/kg \cdot ^\circ C$) ve v iklimlendirilen mahallin toplam hacmidir (m^3). Burada; kapı ölçümleri için saatte 1 defa açılmıştır. Hesaplamalarda $c_{ph} = 1005 J/kg \cdot ^\circ C$ olarak ve $\rho_h = 1.225 kg/m^3$ olarak kabul edilmiştir. Deney evinin hacmi Şekil 4.9'da verilen plan üzerindeki ölçüler ve 2.6 m duvar yüksekliğine göre hesap edilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYLER VE DEĞERLENDİRME

Deneyle, Karabük ilinde, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü içerisinde bulunan 4x5.5x3.34 (m) boyutlarındaki deney evinde, havanın bulutsuz ve az bulutlu olduğu günlerde yapılmıştır. Deneyle sabah 09.30'da başlanılmış ve sistemin bulunduğu yerdeki köprü gölgelenmesinden dolayı akşam 17.30'da sonlandırılmıştır. Ölçümlerden evvel, sistemdeki boruların iyi yalıtılmış olmasına ve deney evine giriş, çıkış noktalarının iyi kapatılmış olmasına dikkat edilmiştir. Tüm bağlantı noktalarının sızdırma yapmadıkları ve termokupl bağlantılarının sağlamlığı teyit edilmiş ardından sistem çalıştırılmıştır. Sistemin ısıl atalet bakımından dengeye oturması ve ölçülen parametrelerdeki dalgalanmaların kararlı duruma gelmesini sağlamak maksadıyla ilk 20 dakika süresince ölçüm alınmamıştır [1]. Deneyle başlanılmadan önce panellerden tam verimin alınabilmesi için panel yüzeylerinde temizlik işlemi yapılmıştır.

6.1. DENEYLER

Deneyle, 26 Temmuz 2019-1 Ağustos 2019-2 Ağustos 2019 tarihlerinde üç farklı günde yapılmıştır. Deneyle tarihlere göre sırası ile 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h sabit fan coil su debilerinde, yakın güneş ışınımı ve dış hava sıcaklık değerlerinde yapılmıştır. Sistemden sağlanan deney verileri yardımı ile sistemin panelden sağladığı elektriksel güçleri ve verimleri, pompanın elektriksel ve akış güçleri ve verimleri, fan coilin termal güçleri ve verimleri hesaplanarak analiz edilmiş, hesaplanan bu değerler grafikler halinde verilerek değerlendirilmeleri yapılmıştır.

PV modülünden sağlanan maksimum elektriksel güç değerlerinin hesaplanmasında eşitlik (5.2), (5.3) ve modül verimlerinin hesaplanmasında eşitlik (5.1) kullanılmıştır. PV panelden elektriksel kazanç değeri eşitlik (5.4) ile hesaplanmıştır. PV panel

yüzeyine güneş ışınımının doğrudan etki etmesi nedeniyle verim hesaplamalarında solarimetre ile ölçülen güneş ışınımı değerleri dikkate alınmıştır.

Pompanın çektiği elektriksel güç değerlerinin hesaplanmasında eşitlik (5.5) ve (5.10)'dan yararlanılmıştır. Pompanın akış gücü değerleri, eşitlik (5.7) kullanılarak hesaplanmıştır. Pompanın bastığı suyun toplam kütleli debisi ve pompanın toplam basma yüksekliği sırası ile eşitlik (5.8) ve (5.9) kullanılarak hesaplanmıştır. Pompanın verim hesaplamaları eşitlik (5.6) ile yapılmıştır. PV panel tarafından üretilen tüm elektrik enerjisinin pompa sürücüsü ve kontrolcüsü üzerinden pompaya aktarılması sebebi ile pompanın çektiği elektriksel güç hesaplarında pompa sürücüsü ve kontrolcüsünün verimi dikkate alınmıştır.

Fan coil ünitesinin termal güç değerlerinin hesaplanmasında eşitlik (5.12) ve (5.15) kullanılmıştır. Termal güç değerleri üzerinden fan coil termal verimi hesabında eşitlik (5.11), fan coil ünitesinin üfleme havasının kütleli debisinin hesabında eşitlik (5.13) ve fan coil hava emme - üfleme ile su giriş - çıkış sıcaklık farklarının hesabında sırası ile eşitlik (5.14) ve (5.16) kullanılmıştır.

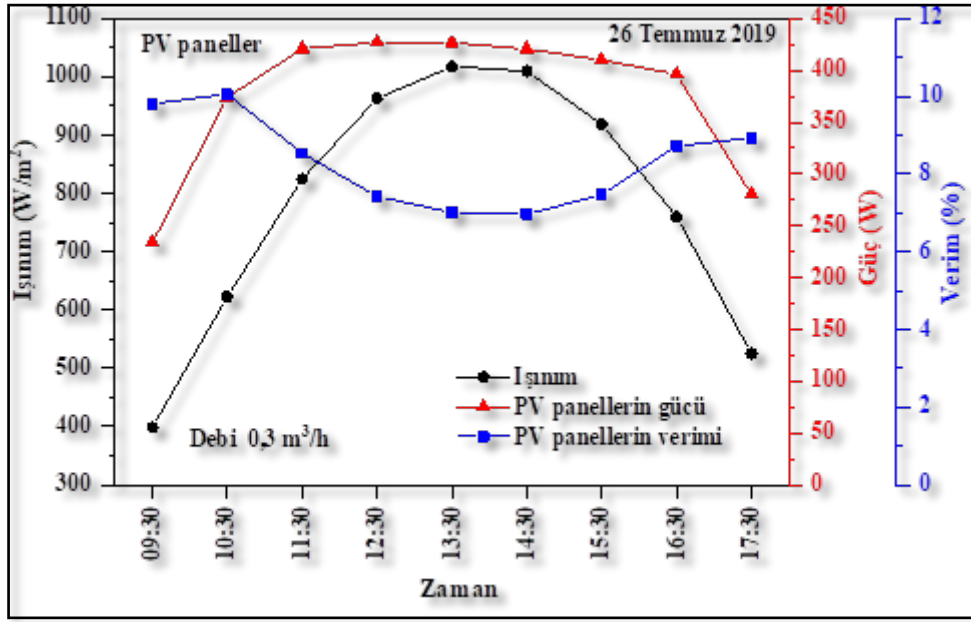
Deney evinin aydınlatmadan gelen iç ısı kazancı hesabında eşitlik (5.17) ve (5.18), makinelerden gelen iç ısı kazancı hesabında eşitlik (5.19) ve motor yük faktörünün hesabında eşitlik (5.20)'den yararlanılmıştır.

Deney evinin tavandan taşınımıyla gelen dış ısı kazancı eşitlik (5.21), tavanın ısı geçirgenlik kat sayısının hesaplanmasında eşitlik (5.22), toplam tavan alanı ve dış ile iç hava sıcaklık farkı sırası ile eşitlik (5.23) ve (5.24) ile hesaplanmıştır. Dış duvarlardan taşınımıyla olan ısı kazancı eşitlik (5.25), duvar ısı geçirgenlik kat sayısının hesaplanmasında eşitlik (5.26) ve mahallin toplam net dış duvar alanı eşitlik (5.27) ile hesaplanmıştır. Pencereleden ve kapıdan taşınımıyla dış ısı kazançları sırası ile eşitlik (5.28) ve (5.29), pencereleden ışınım ve enfiltrasyon dış ısı kazançları sırası ile eşitlik (5.30) ve (5.31) ile hesaplanmıştır.

Grafik çizimlerinde ve değerlendirmelerinde kullanılan veriler, deney verilerinin aritmetik ortalama değerleridir.

6.1.1. 26 Temmuz 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi

26 Temmuz 2019 tarihinde saat 09.30'da başlatılan deney süresince fan coil su debisi $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 'dir. Sistemde kullanılan PV panelin elektriksel güç değerlerinin ve panel veriminin deney süresince solarimetre ile ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.1'de görülmektedir.

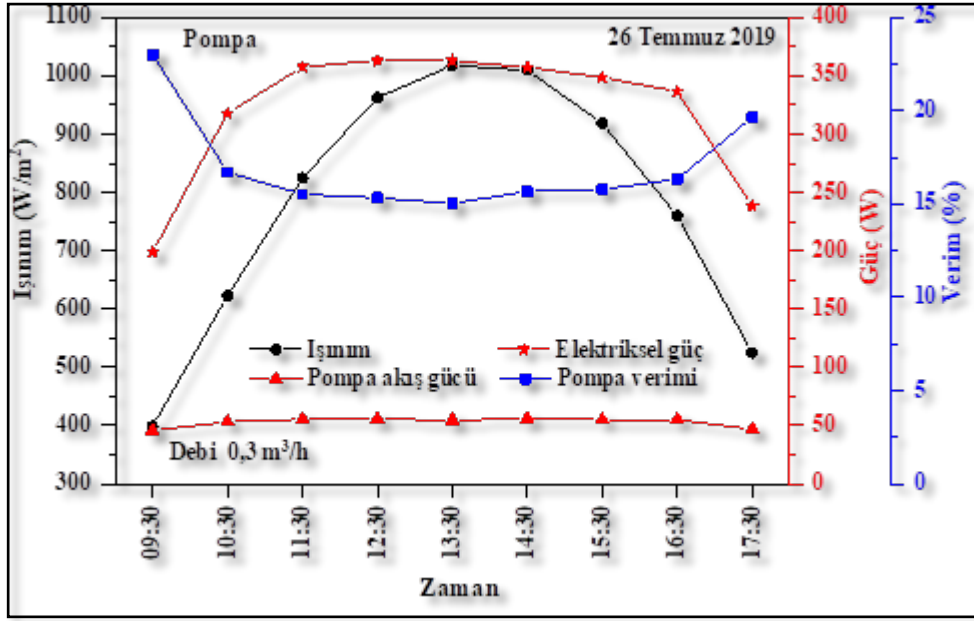


Şekil 6.1. PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (26.07.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde sistemde PV panellerden sağlanan ortalama elektriksel güç 376.76 W , ortalama modül verimi $\%8.33$, panel yüzeyine etkiyen ortalama güneş ışınımı $782.44 \text{ W}/\text{m}^2$ olmuştur. PV panelin laboratuvar şartlarında ($I = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, $T_h = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) modül verimi $\%13.6$ 'dır. Yapılan karşılaştırmada PV panelin laboratuvar şartlarındaki verim değerinin $\%38.75$ kayıp yaşadığı görülmüştür. Bu konuda yapılan önceki çalışmalardan da bilindiği üzere PV modüllerde sıcaklık arttıkça ısınan hücrelerden akım çıkışı artmakta lakin gerilim değeri düşmektedir. Gerilimdeki düşüş akım artışından fazla olduğunda çıkış gücünde düşüş gerçekleşmektedir [20]. Gücün düşmesi de verim kaybına neden olmaktadır. Sistemdeki PV panellerde yaşanan verim kaybının temel sebebi de bu olmakla beraber deneylerde kullanılan panellerin 8 yaşında olmasının da verim kaybına neden olduğu

düşünülmektedir. Güneş ışınımı saat 13.30'da beklenildiği gibi pik noktasını yapmıştır. PV panel gücü ise saat 12.30'da pik noktası yapmıştır.

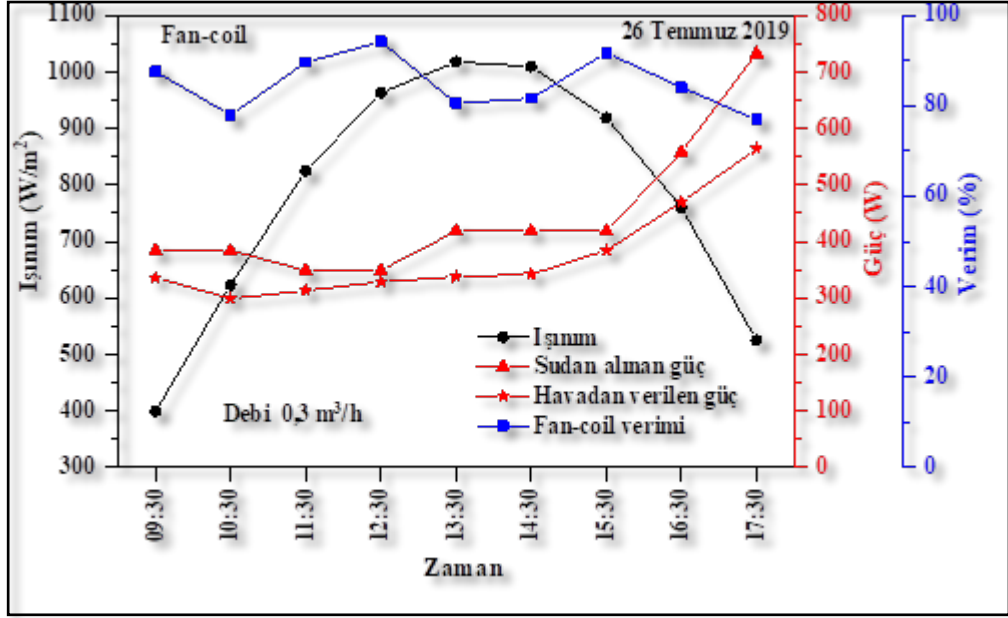
Sistemde kullanılan pompanın çektiği elektriksel gücün, pompa akış gücünün ve pompa veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2. Dalgıç pompa elektriksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (26.07.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde 782.44 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki dalgıç pompanın çektiği ortalama elektriksel güç 320.24 W , pompanın ortalama akış gücü 53.09 W , ortalama pompa verimi $\%17.01$ olmuştur. Pompanın güç eğrisi ışınım ile benzer bir eğri göstermiştir. Pompa verimi, panel veriminin düşüş yaşadığı saat 11.30-14.30 arasında güç değerlerinin stabil kalması sayesinde stabil kalabilmiştir.

Sistemdeki fan coil ünitesinin sudan aldığı ve havadan verdiği yararlı soğutma gücünün, fan coil termal veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3. Soğutma ünitesi (Fan coil) güçlerinin, veriminin ve güneş ışınımının zamana bağlı değişimi (26.07.2019).

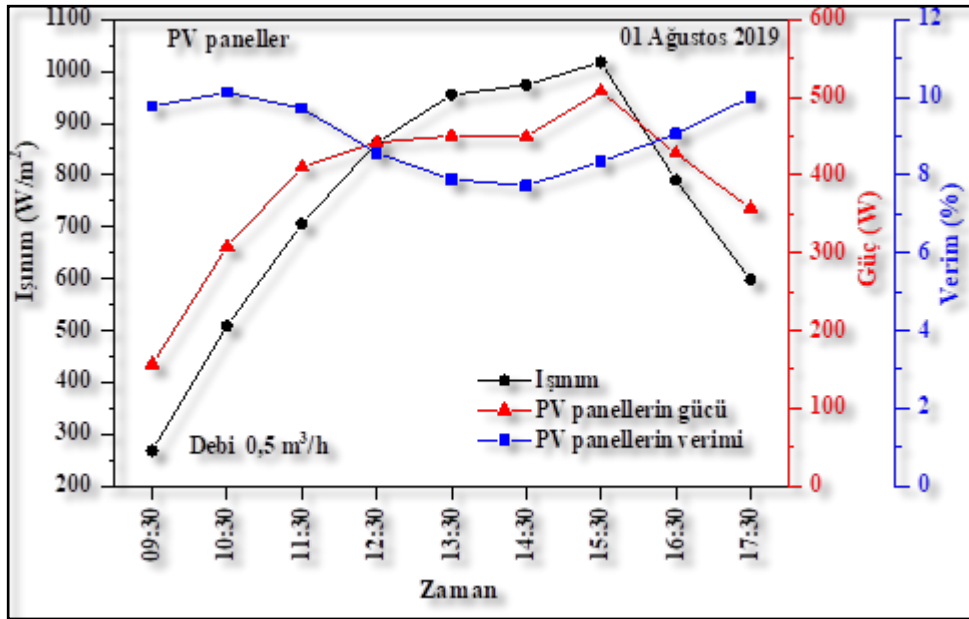
Grafikte deney verileri incelendiğinde 782.44 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki fan coil ünitesinin sudan sağlanan ortalama yararlı soğutma gücü 445.84 W , havadan verdiği ortalama yararlı soğutma gücü 374.93 W ve fan coil ortalama verimi $\%84.95$ olmuştur. PV panel destekli pompa gün boyunca $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisini sağlayabildiği ve fan coil ünitesi fan motoru şebekeden beslediği için fan coil veriminde panel verim kaybının bir etkisi olmamıştır. Fan coil verimini etkileyen en büyük etken fan coil üfleme havası hızı olup o da fan motoruna bağlıdır. Dolayısıyla ile fan coil verim eğrisinde farklı tepe noktalarının oluşma nedeni fan motor hızının artması ve düşmesinden kaynaklıdır.

Deneyden elde edilen veriler, hesaplanan değerler ve kabuller üzerinden sistemin kurulduğu mahallin ısı kazançları hesaplanmıştır. Mahallin deneyler sırasındaki iç ısı kazançları, aydınlatmadan ve makineden gelen ısı kazançlarıdır. Aydınlatmadan gelen ısı kazancı kullanılan ampül gücüne bağlı olarak tüm deneylerdeki tüm saatlerde sabit olarak 20 W 'tır. Makineden gelen ısı kazancı motorun değişken yük faktörüne bağlı

olarak ortalama 34.1 W olmuştur. Mahallin deneyler sırasında güneşten gelen enerjilerden kaynaklı dış ısı kazançları, taşınım ile tavan, dış kapı, pencereler ve dış duvarlardan, ışınlım ile pencerelerden ve havadan sızıntı şeklinde olmuştur. Tavandan taşınım ile gerçekleşen ısı kazancı değişken çatı arası sıcaklığına bağlı olarak ortalama 55.912 W olmuştur. Mahallin dış duvarlarından, pencerelerden ve dış kapıdan değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak taşınım ile gerçekleşen ortalama ısı kazançları sırası ile 102.901 W, 40.907 W ve 22.944 W olarak bulunmuştur. Güneş ışınlımından kaynaklı pencerelerden radyasyonla gelen ısı kazancı değişken ısı akılarına bağlı olarak ortalama 12.75 W olarak tüm deneylerde sabittir. Deneyler sırasında ölçüm almak için dış kapının açılma sayısına ve değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak enfitrasyon ısı kazancı ortalama 55.37 W olarak bulunmuştur.

6.1.2. 1 Ağustos 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi

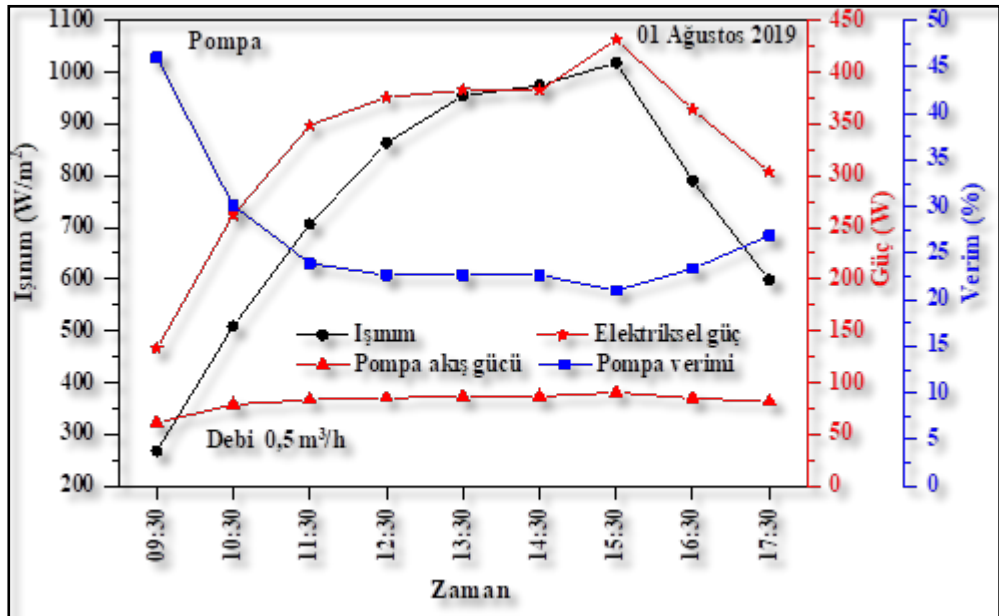
1 Ağustos 2019 tarihinde saat 09.30'da başlatılan deney süresince fan coil su debisi 0.5 m³/h'te sabit tutulmuştur. Sistemde kullanılan PV panelin elektriksel güç değerlerinin ve panel veriminin deney süresince solarimetre ile ölçülen güneş ışınlımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.4. PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınlımında zamana bağlı değişimi (01.08.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde sistemde PV panellerden sağlanan ortalama elektriksel güç 390 W, ortalama modül verimi %9, panel yüzeyine etkiyen ortalama güneş ışınımı 742.33 W/m^2 olmuştur. PV panelin laboratuvar şartlarında ($I = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_h = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) modül verimi %13.6'dır. Yapılan karşılaştırmada PV panelin laboratuvar şartlarındaki verim değerinin %33.82 kayıp yaşadığı görülmüştür. Bu konuda yapılan önceki çalışmalardan da bilindiği üzere PV modüllerde sıcaklık arttıkça ısınan hücrelerden akım çıkışı artmakta lakin gerilim değeri düşmektedir. Gerilimdeki düşüş akım artışından fazla olduğunda çıkış gücünde düşüş gerçekleşmektedir [20]. Gücün düşmesi de verim kaybına neden olmaktadır. Sistemdeki PV panellerde yaşanan verim kaybının temel sebebi de bu olmakla beraber deneylerde kullanılan panellerin 8 yaşında olmasının da verim kaybında etkili olduğu düşünülmektedir. Güneş ışınımı saat 15.30 da pik yapmış ve PV panel gücü de doğru orantılı olarak bu saatte pik yapmıştır.

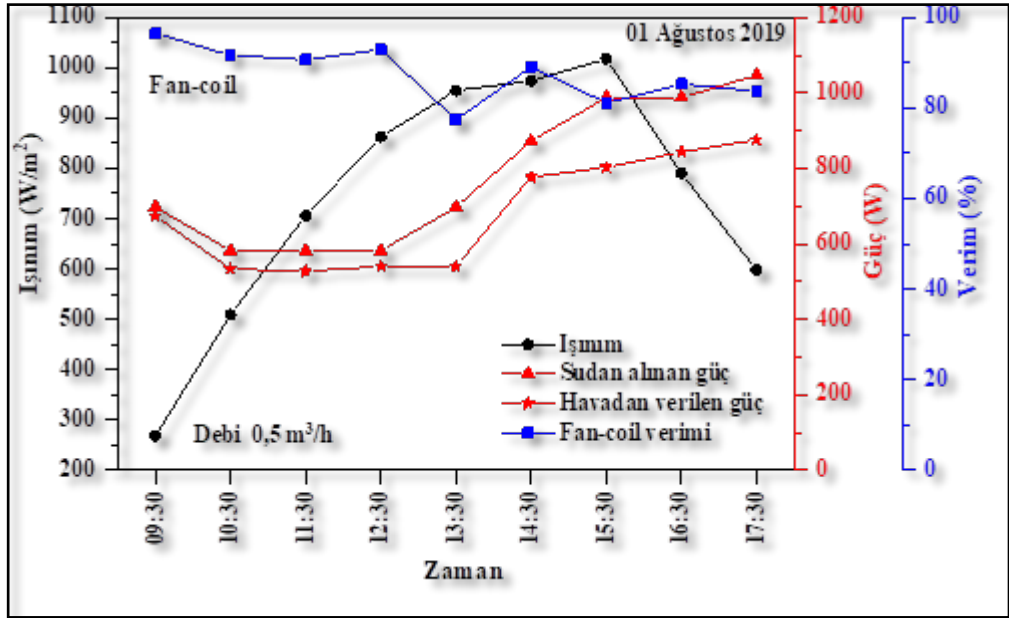
Sistemde kullanılan pompanın çektiği elektriksel gücün, pompa akış gücünün ve pompa veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.5. Dalgıç pompa elektriksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (01.08.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde 742.33 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki dalgıç pompanın çektiği ortalama elektriksel güç 332 W , pompanın ortalama akış gücü 82 W , ortalama pompa verimi %27 olmuştur. Pompanın güç eğrisi ışınım ile benzer bir eğri göstermiştir. Pompa verimi, panel veriminin düşüş yaşadığı saat 12.30-14.30 arasında güç değerlerinin stabil kalması sayesinde stabil kalabilmiştir.

Sistemdeki fan coil ünitesinin sudan aldığı ve havadan verdiği yararlı soğutma gücünün, fan coil termal veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Soğutma ünitesi (Fan coil) güçlerinin, veriminin ve güneş ışınımının zamana bağlı değişimi (01.08.2019).

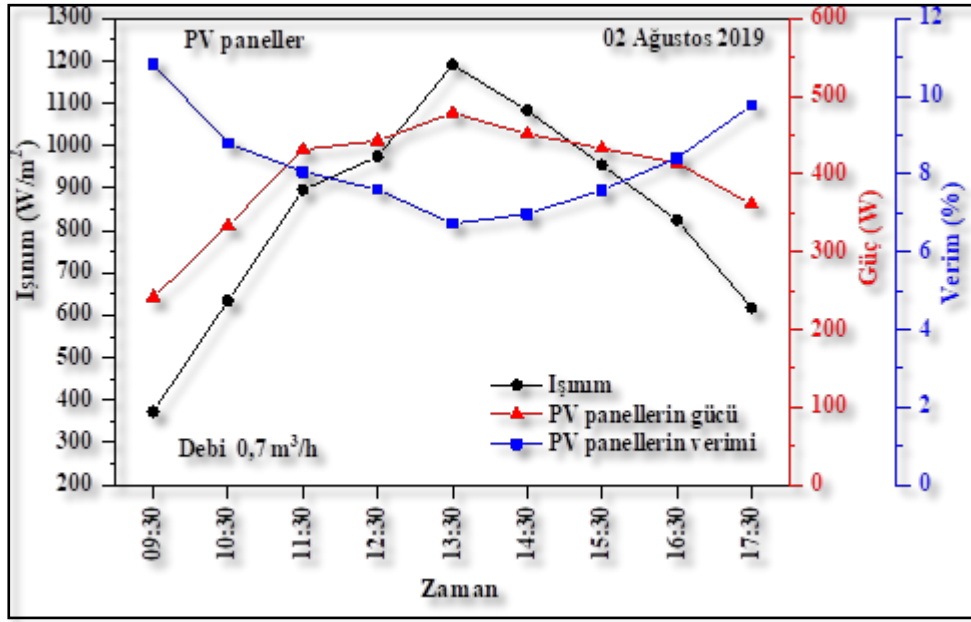
Grafikte deney verileri incelendiğinde 742.33 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki fan coil ünitesinin sudan aldığı ortalama yararlı soğutma gücü 782 W , havadan verdiği ortalama yararlı soğutma gücü 679 W ve fan coil ortalama verimi %88 olmuştur. PV panel destekli pompa gün boyunca $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisini sağlayabildiği ve fan coil ünitesi fan motoru şebekeden beslediği için fan coil veriminde panel verim kaybının bir etkisi olmamıştır. Fan coil verimini etkileyen en büyük etken fan coil üfleme havası hızı olup o da fan motoruna bağlıdır. Dolayısı ile

fan coil verim eğrisinde farklı tepe noktalarının oluşma nedeni fan motor hızının artması ve düşmesinden kaynaklıdır.

Deneyden elde edilen veriler, hesaplanan değerler ve kabuller üzerinden sistemin kurulduğu mahallin ısı kazançları hesaplanmıştır. Mahallin deneyler sırasındaki iç ısı kazançları, aydınlatmadan ve makineden gelen ısı kazançlarıdır. Aydınlatmadan gelen ısı kazancı kullanılan ampül gücüne bağlı olarak tüm deneylerdeki tüm saatlerde sabit olarak 20 W'tır. Makineden gelen ısı kazancı motorun değişken yük faktörüne bağlı olarak ortalama 42.436 W olmuştur. Mahallin deneyler sırasında güneşten gelen enerjilerden kaynaklı dış ısı kazançları, taşınım ile tavan, dış kapı, pencereler ve dış duvarlardan, ışıyım ile pencerelerden ve havadan sızıntı şeklinde olmuştur. Tavandan taşınım ile gerçekleşen ısı kazancı değişken çatı arası sıcaklığına bağlı olarak ortalama 111.446 W olmuştur. Mahallin dış duvarlarından, pencerelerden ve dış kapıdan değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak taşınım ile gerçekleşen ortalama ısı kazançları sırası ile 205.105 W, 81.536 W ve 45.733 W olarak bulunmuştur. Güneş ışıyımından kaynaklı pencerelerden radyasyonla gelen ısı kazancı değişken ısı akılarına bağlı olarak ortalama 12.75 W olarak tüm deneylerde sabittir. Deneyler sırasında ölçüm almak için dış kapının açılma sayısına ve değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak enfitrasyon ısı kazancı ortalama 110.37 W olarak bulunmuştur.

6.1.3. 2 Ağustos 2019 Deney Verileri, Analizi ve Değerlendirilmesi

2 Ağustos 2019 tarihinde saat 09.30'da başlatılan deney süresince fan coil su debisi $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te sabit tutulmuştur. Sistemde kullanılan PV panelin elektriksel güç değerlerinin ve panel veriminin deney süresince solarimetre ile ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.7'de görülmektedir.

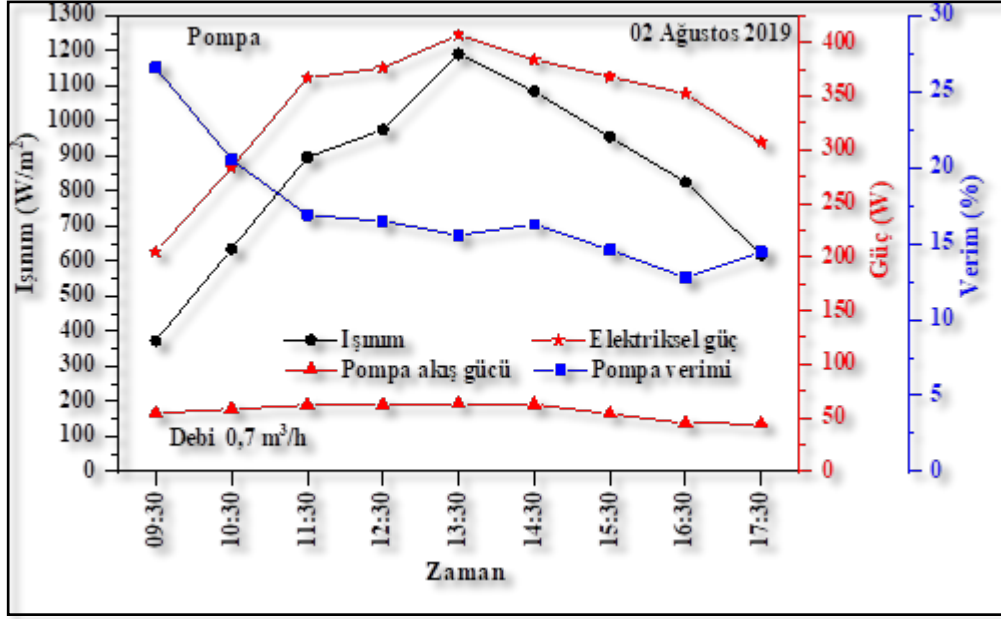


Şekil 6.7. PV Panel güç ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (02.08.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde sistemde PV panellerden sağlanan ortalama elektriksel güç 398.74 W , ortalama modül verimi $\%8.31$, panel yüzeyine etkiyen ortalama güneş ışınımı $839.07 \text{ W}/\text{m}^2$ olmuştur. PV panelin laboratuvar şartlarında ($I = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, $T_h = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) modül verimi $\%13.6$ 'dır. Yapılan karşılaştırmada PV panelin laboratuvar şartlarındaki verim değerinin $\%38.9$ kayıp yaşadığı görülmüştür. Bu konuda yapılan önceki çalışmalardan da bilindiği üzere PV modüllerde sıcaklık arttıkça ısınan hücrelerden akım çıkışı artmakta lakin gerilim değeri düşmektedir. Gerilimdeki düşüş akım artışından fazla olduğunda çıkış gücünde düşüş gerçekleşmektedir [20]. Gücün düşmesi de verim kaybına neden olmaktadır. Sistemdeki PV panellerde yaşanan verim kaybının temel sebebi de bu olmakla beraber deneylerde kullanılan panellerin 8 yaşında olmasının da verim kaybında etkili olduğu

düşünülmektedir. Güneş ışınımı saat 13.30 da pik yapmış ve PV panel gücü de doğru orantılı olarak bu saatte pik yapmıştır.

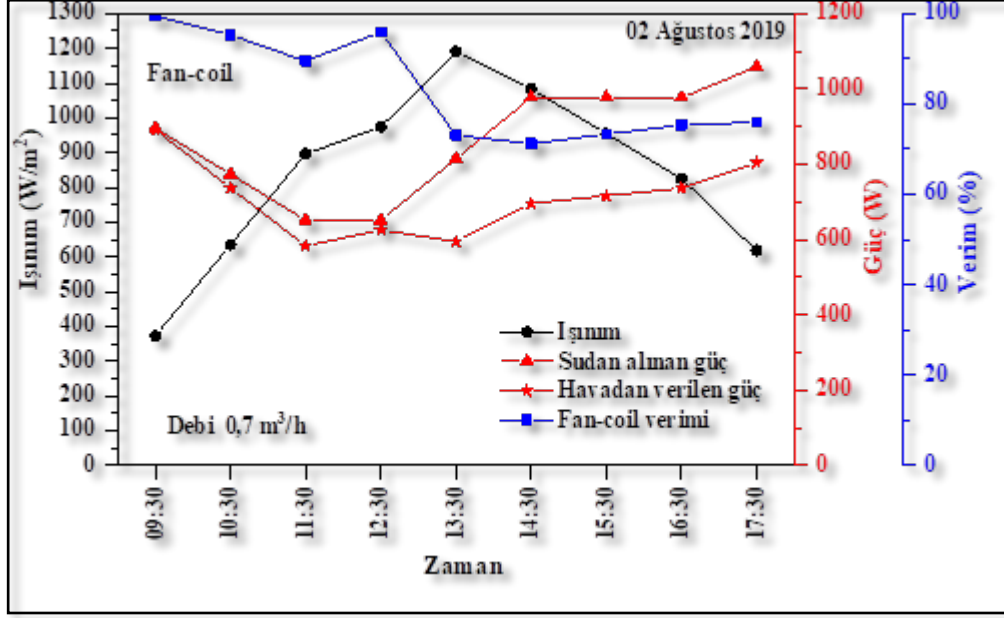
Sistemde kullanılan pompanın çektiği elektriksel gücün, pompa akış gücünün ve pompa veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8. Dalgıç pompa elektriksel güç, akış gücü ve verim değerlerinin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi (02.08.2019).

Grafikte deney verileri incelendiğinde 839.07 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki dalgıç pompanın çektiği ortalama elektriksel güç 338.93 W , pompanın ortalama akış gücü 56.17 W , ortalama pompa verimi %17.12 olmuştur. Pompanın güç eğrisi ışınım ile benzer bir eğri göstermiştir. Pompa verimi, panel veriminin düşüş yaşadığı saat 11.30-12.30 arasında güç değerlerinin stabil kalması sayesinde stabil kalabilmiştir.

Sistemdeki fan coil ünitesinin sudan aldığı ve havadan verdiği yararlı soğutma gücünün, fan coil termal veriminin ölçülen güneş ışınımında zamana bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 6.9’da görülmektedir.



Şekil 6.9. Soğutma ünitesi (Fan coil) güçlerinin, veriminin ve güneş ışınımının zamana bağlı değişimi (02.08.2019).

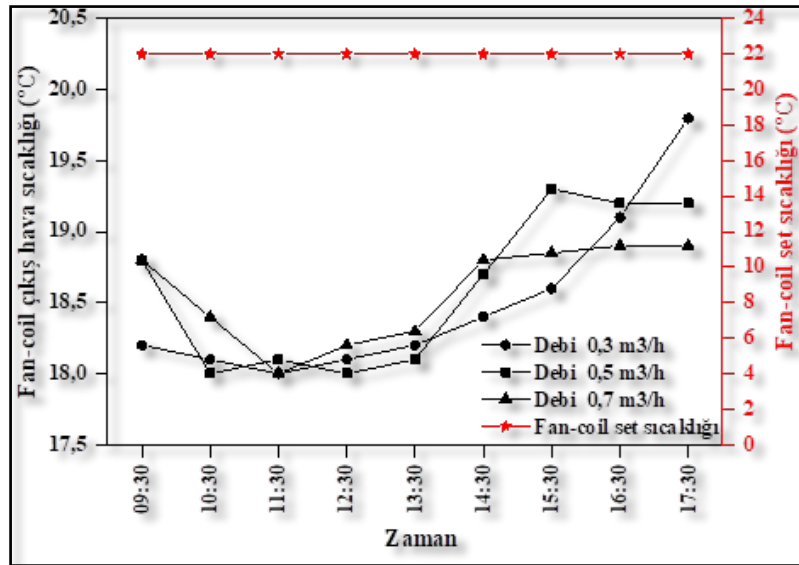
Grafikte deney verileri incelendiğinde 839.07 W/m^2 ortalama güneş ışınımında, sistemdeki fan coil ünitesinin sudan aldığı ortalama yararlı soğutma gücü 863.89 W , havadan verdiği ortalama yararlı soğutma gücü 709.19 W ve fan coil ortalama verimi %83.24 olmuştur. PV panel destekli pompa gün boyunca $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisini sağlayabildiği ve fan coil ünitesi fan motoru şebekeden beslendiği için fan coil veriminde panel verim kaybının bir etkisi olmamıştır. Fan coil verimini etkileyen en büyük etken fan coil üfleme havası hızı olup o da fan motoruna bağlıdır. Dolayısı ile fan coil verim eğrisinde farklı tepe noktalarının oluşma nedeni fan motor hızının artması ve düşmesinden kaynaklıdır.

Deneyden elde edilen veriler, hesaplanan değerler ve kabuller üzerinden sistemin kurulduğu mahallin ısı kazançları hesaplanmıştır. Mahallin deneyler sırasındaki iç ısı kazançları, aydınlatmadan ve makineden gelen ısı kazançlarıdır. Aydınlatmadan gelen ısı kazancı kullanılan ampül gücüne bağlı olarak tüm deneylerdeki tüm saatlerde sabit

olarak 20 W'tır. Makineden gelen ısı kazancı motorun değişken yük faktörüne bağlı olarak ortalama 49.669 W olmuştur. Mahallin deneyler sırasında güneşten gelen enerjilerden kaynaklı dış ısı kazançları, taşınım ile tavan, dış kapı, pencereler ve dış duvarlardan, ışıyım ile pencerelerden ve havadan sızıntı şeklinde olmuştur. Tavandan taşınım ile gerçekleşen ısı kazancı değişken çatı arası sıcaklığına bağlı olarak ortalama 108.224 W olmuştur. Mahallin dış duvarlarından, pencerelerden ve dış kapıdan değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak taşınım ile gerçekleşen ortalama ısı kazançları sırası ile 199.175 W, 79.179 W ve 44.411 W olarak bulunmuştur. Güneş ışıyımından kaynaklı pencerelerden radyasyonla gelen ısı kazancı değişken ısı akılarına bağlı olarak ortalama 12.75 W olarak tüm deneylerde sabittir. Deneyler sırasında ölçüm almak için dış kapının açılma sayısına ve değişken dış hava sıcaklığına bağlı olarak enfitrasyon ısı kazancı ortalama 107.18 W olarak bulunmuştur.

6.1.4. Farklı ve Sabit Fan Coil Su Debilerinde Sistem Parametrelerinin Değerlendirilmesi

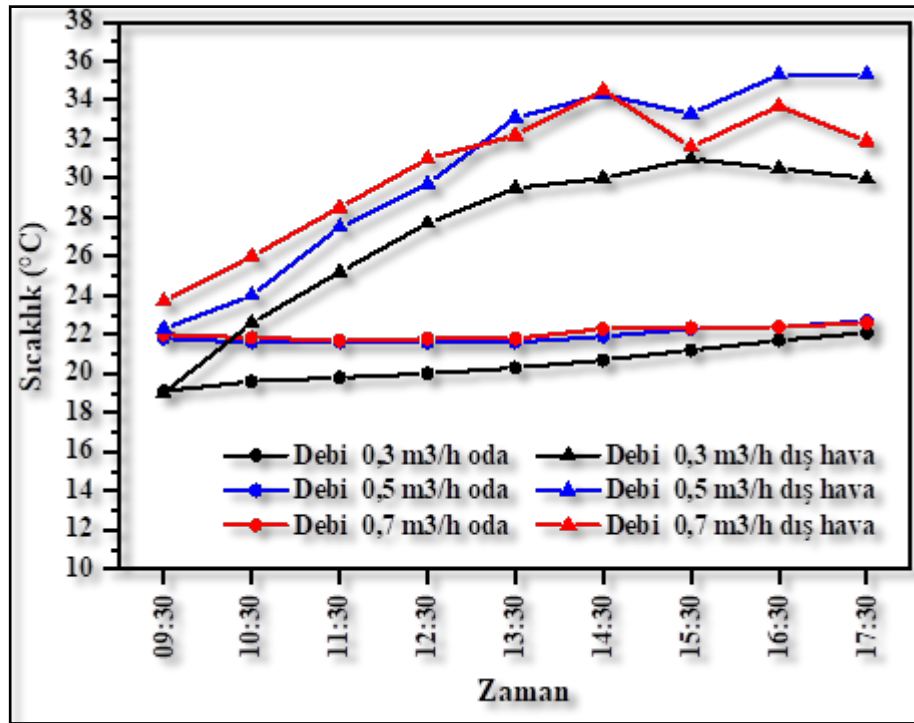
Sisteme atanan 22 °C set sıcaklık değerine göre 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h sabit debilerde fan coil hava üfleme (çıkış) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10. 22 °C set sıcaklık değerine göre 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h sabit debilerde fan coil hava üfleme (çıkış) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.

Grafikte deney verileri incelendiğinde 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h sabit debilerde fan coil ortalama hava üfleme sıcaklıkları sırası ile 18.5 °C, 18.6 °C ve 18.57 °C olmuştur. Sistem tüm sabit debilerde fan coil hava üfleme sıcaklığını 22 °C set değerinin ortalama 3.44 °C altında tutmuştur. En düşük ortalama üfleme sıcaklığı 0.3 m³/h sabit fan coil debisinin kullanıldığı 26 Temmuz 2019 deneyinde 18.5 °C ile elde edilmiştir.

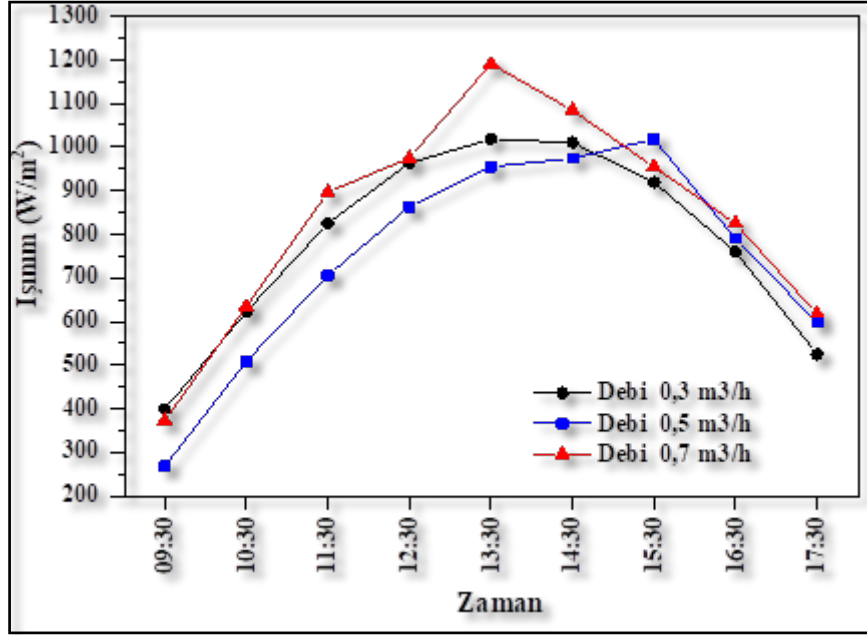
Sistemde 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h farklı sabit debilerde ortam (oda) ve dış hava sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11. 0.3 m³/h, 0.5 m³/h ve 0.7 m³/h sabit debilerde ortam (oda) ve dış hava sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.

Grafikte deney verileri incelendiğinde 0.3 m³/h sabit debide dış hava ve oda ortalama sıcaklıkları sırası ile 27.28 °C ve 20.50 °C, 0.5 m³/h sabit debide dış hava ve oda ortalama sıcaklıkları sırası ile 30.53 °C ve 21.94 °C, 0.7 m³/h sabit debide dış hava ve oda ortalama sıcaklıkları sırası ile 30.34 °C ve 22.09 °C olmuştur. Sistem tüm sabit debilerde oda sıcaklığını, dış hava sıcaklığının ortalama 7.87 °C altında tutabilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık farkı 0.5 m³/h sabit fan coil debisinin kullanıldığı 1 Ağustos 2019 deneyinde 8.59 °C ile elde edilmiştir.

Sistemden $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$, $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ farklı sabit debilere göre alınan deneyler sırasında PV panele etkiyen güneş ışınımının zamana bağlı değişimi Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12. $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$, $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit debilerde yapılan deneyler sırasındaki PV panele etkiyen güneş ışınımının zamana bağlı değişimi.

Grafikte deney verileri incelendiğinde $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$, $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil debilerinde yapılan deneyler sırasında PV panele etkiyen ortalama güneş ışınım değerleri sırası ile $782.44 \text{ W}/\text{m}^2$, $742.33 \text{ W}/\text{m}^2$ ve $839.07 \text{ W}/\text{m}^2$ olmuştur. En yüksek ortalama güneş ışınımı değeri $839.07 \text{ W}/\text{m}^2$ ile 2 Ağustos 2019’da yapılan deneyde görülmüştür.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇ

Bu tez çalışmasında temmuz ve ağustos aylarında farklı sabit su debisi, benzer dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımında deneyler yapılmıştır. Deney verileri ile sistemdeki panellerin elektriksel güçleri ve verimleri, pompanın elektriksel ve akış güçleri ile verimleri, fan coil ünitesinin sudan ve havadan yararlı soğutma güçleri ile verimleri hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına ve yapılan teorik analizlere göre çıkarılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- i. PV panellerin verimleri ve elektriksel güç çıkışları güneş ışınımına ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermiştir.
- ii. 26 Temmuz 2019 tarihli deneyde fan coil su debisi $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te sabit tutulurken günlük güneş ışınımı ortalaması $782.44 \text{ W}/\text{m}^2$ olup, PV panellerin ortalama verimi %8.33, pompanın ortalama verimi %17.01, fan coil ortalama hava üfleme debisi $424.84 \text{ m}^3/\text{h}$ ve fan coil verimi %84.95 olarak belirlenmiştir.
- iii. 1 Ağustos 2019 tarihli deneyde fan coil su debisi $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te sabit tutulurken günlük güneş ışınımı ortalaması $742.33 \text{ W}/\text{m}^2$ olup, PV panellerin ortalama verimi %9, pompanın ortalama verimi %27, fan coil ortalama hava üfleme debisi $526 \text{ m}^3/\text{h}$ ve fan coil verimi %88 olarak belirlenmiştir.
- iv. 2 Ağustos 2019 tarihli deneyde fan coil su debisi $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 'te sabit tutulurken günlük güneş ışınımı ortalaması $839.07 \text{ W}/\text{m}^2$ olup, PV panellerin ortalama

- v. verimi %8.31, pompanın ortalama verimi %17.12, fan coil ortalama hava üfleme debisi $603.79 \text{ m}^3/\text{h}$ ve fan coil verimi %83.24 olarak belirlenmiştir.
- vi. PV panel destekli sistemde, PV panelden sağlanan elektriksel gücün ortalaması her deney için sırası ile 376.76 W , 390 W , 398.74 W , pompanın çektiği elektriksel gücün ortalaması her deney için sırası ile 320.24 W , 332 W , 338.93 W , pompanın ortalama akış gücü her deney için sırası ile 53.09 W , 82 W , 56.17 W , pompanın ortalama su debisi her deney için sırası ile $0.97 \text{ m}^3/\text{h}$, $1.51 \text{ m}^3/\text{h}$, $1.03 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunmuştur.
- vii. Fan coil ünitesinin sudan aldığı ve havadan verdiği yararlı soğutma güçleri her deney için sırası ile 445.84 W ve 374.93 W , 782 W ve 679 W , 863.89 W ve 709.19 W olarak belirlenmiştir.
- viii. Fan coil ünitesi fan motorunun şebekeden ortalama güç sarfiyatı her deney için sırası ile 34.10 W , 42.44 W ve 49.67 W olarak belirlenmiştir.
- ix. Bahçe kullanım suyunun ortalama debisi her deney için sırası ile $0.6742 \text{ m}^3/\text{h}$, $1.0071 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0.3306 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunmuştur.
- x. Sistemde $22 \text{ }^\circ\text{C}$ set sıcaklığında ortalama fan coil hava üfleme sıcaklığı her deney için sırası ile $18.5 \text{ }^\circ\text{C}$, $18.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $18.57 \text{ }^\circ\text{C}$ olmuştur.
- xi. Sistemde ortalama dış hava ve ortam sıcaklıkları her deney için sırası ile $27.28 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $20.50 \text{ }^\circ\text{C}$, $30.53 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $21.94 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $30.34 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $22.09 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir.
- xii. Sistemde $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisi ile yapılan deneyde toplam ortalama ısı kazancı 344.889 W ve fan coilin ortalama soğutma gücü 374.93 W olarak belirlenmiştir. Fan coil soğutma yükünü 1.087 oran ile %100'ün üzerinde karşılamıştır.

- xiii. Sistemde $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisi ile yapılan deneyde toplam ortalama ısı kazancı 629.379 W ve fan coilin ortalama soğutma gücü 679 W olarak belirlenmiştir. Fan coil soğutma yükünü 1.079 oran ile %100'ün üzerinde karşılamıştır.
- xiv. Sistemde $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisi ile yapılan deneyde toplam ortalama ısı kazancı 620.589 W ve fan coilin ortalama soğutma gücü 709.19 W olarak belirlenmiştir. Fan coil soğutma yükünü 1.143 oran ile %100'ün üzerinde karşılamıştır.

Tez çalışmasında ölçülen deney verilerine ve teorik analiz sonuçlarına göre, $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$, $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit debilerde karşılaştırılan sistem için ana elemanların güç ve verim değerleri ile soğutma yüklerinin karşılanma oranları ayrı ayrı belirlenerek değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, PV panel destekli kuyu suyu ile doğal klima sisteminin en yüksek performansı $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ sabit fan coil su debisinde verdiği açıkça görülmektedir. Sistem en düşük çalışma debisinde dahi %100'in üzerinde soğutma yükünü karşılamıştır.

7.2. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bundan sonraki konu ile alakalı yapılacak çalışmalara ışık tutması amacıyla bazı öneriler ve değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- i. Tez çalışmasında PV panel sadece pompayı beslemekte kullanılmıştır. Fan coil enerjisini şebekeden almıştır. İlave bir düzenek yardımı ile fan coil ünitesinin de enerjisini tamamen güneşten karşılaması sağlanarak daha doğal ve çevreci bir sistem oluşturulabilir.
- ii. Polikristal PV paneller Karabük iklim şartlarında yüksek verim kaybı yaşamışlardır. Monokristal panel kullanımı ile yüksek hücre sıcaklıklarında daha verimli sonuçlar sağlanabilir.
- iii. Sistemde hava ya da akışkan soğutmalı fotovoltaiik panel kullanımı panel verimlerini arttırabilir.
- iv. Sistemin kurulacağı mahallin özellikle ısı kazancının en yüksek olduğu tavan ve duvar yalıtımları attırılabilir veya ısı direnci daha yüksek malzemeler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Akdamar, İ., “Güneş enerjili fotovoltaik/termal (PV/T) kollektör destekli kurutma fırını tasarımı ve incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2018).
2. Erdem, E. U., Arzık, A., Bahçeci, İ. ve Akdemir, Ö., “Farklı iklimlendirme uygulamalarının örnek bir villada değerlendirilmesi”, **13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, 265-287 (2017).
3. Dikici, A., Akbulut, A. ve Gülçimen, F., “Güneş ve hava kaynaklı ısı pompası sisteminin deneysel incelenmesi”, **Mühendis ve Makina**, 46 (544): 41-51 (2005).
4. Daşkın, M. ve Aksoy, İ. G., “İklimlendirme amaçlı güneş enerjisi destekli bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin simülasyonu”, **Yaşam Bilimleri Dergisi**, 4 (1): 52-65 (2014).
5. Rüknettin K., “Isısan Çalışmaları No.305 Klima Tesisatı Kitabı”, **Isısan**, İstanbul, 176-222 (2001).
6. Bulgurcu, H., Koçyiğit, N. ve Akyüz, E., “İklimlendirme ve Soğutma Kontrolleri”, **İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Otomatik Kontrol Kitabı**, 9-10 (2020).
7. Koçal, T., “Gemilerde çok odalı iklimlendirme sistemlerinin kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2012).
8. Eruz, Ü. G., “Güneş paneli çeşitlerinden polikristal, monokristal ve thin film panellerinin karabük ili iklimi şartlarında verimlilik karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2015).
9. Chel, A. and Tiwari, G. N., “Stand-alone photovoltaic (PV) integrated with earth to air heat exchanger (EAHE) for space heating/cooling of adobe house in New Delhi (India)”, **Energy Conversion and Management**, 51 (3): 393-409, (2010).
10. Gutierrez, J., Merino, G., Lara, D. and Salazar, L., “Hydraulic assessment of a photovoltaic system driving a conventional AC surface electric pump”, **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 45: 101060, (2021).

11. 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).
12. Khatib, T. and Muhsen, D. H., “Photovoltaic Water Pumping Systems: Concept, Design, and Methods of Optimization”, Academic Press, *Elsevier*, London, 39-46 (2020).
13. Fıratoğlu, Z. A. ve Yeşilata B., “Dinamik çevre koşullarının fotovoltaiik destekli su pompası sistemi üzerindeki etkilerinin araştırılması”, *Mühendis ve Makina*, 46 (544): 17-24 (2005).
14. Chahartaghi, M. and Nikzad, A., “Exergy, environmental, and performance evaluations of a solar water pump system”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43: 100933, (2021).
15. Mishra, R., Chauhya, S. K., Prasad, G. M., Mandal, S. K. and Banerjee, G., “Design of a low cost, smart and stand-alone PV cold storage system using a domestic split air conditioner”, *Journal of Stored Products Research*, 89: 101720, (2020).
16. Ardiansyah, R. A., Luthfi, M. and Hudaya, C., “Performance analysis of solar powered submersible DC water pump”, *2nd IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD 2019)*, Indonesia, (2019).
17. Ceylan, İ. ve Gürel, A. E., “Güneş Enerjisi Sistemleri Ve Tasarımı”, *Dora Basım-Yayın Dağıtım*, Bursa, (2017).
18. ADA Strateji, “Ulusal su politikası ihtiyacımız”, *Ulusal Sanayici Ve İşadamları Derneği (USİAD)*, Ankara, 21-22 (2007).
19. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, “Belediye Su İstatistikleri, 2018”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Su-Istatistikleri-2018-30668> (2019).
20. Adak S., Cangi. H., ve Yılmaz A. S., “Fotovoltaiik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı matematisel modellenmesi ve simülasyonu”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11 (1): 316-327 (2019).
21. İnternet: SOLARENZA, “SOLAR SU POMPALARI”, <http://www.solarenza.com/su-pompalari.html> (2010).
22. Doğan, H., “Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara (2002).
23. Türk Standardları Enstitüsü, “TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara (2008).

24. Sancar, M. R., “Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Isparta (2018).
25. Benli, F, “Fotovoltaik (PV) Ve Fotovoltaik Termal (PV-T) Kolektörlerin Deneysel Olarak Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Osmaniye (2018).
26. Kısa, O., “Isıtma Sistemleri Ders Notları”, ***Akdeniz Üniversitesi Elektrik ve Enerji Bölümü***, Antalya (2011).

EK AÇIKLAMALAR A.

YAPI BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek A.1. Deney evinin yapı bileşenleri.

DUVARLARIN YAPI BİLEŞENLERİ		
Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Sıva	0.03	0.87
Poliüretan köpük	0.03	0.04
Delikli tuğla	0.2	0.45
Sıva	0.03	0.87
TAVANIN YAPI BİLEŞENLERİ		
Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Kontrplak	0.02	0.13
Poliüretan köpük	0.03	0.04
TABANIN YAPI BİLEŞENLERİ		
Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Kontrplak	0.02	0.13
Poliüretan köpük	0.03	0.04
Grobeton	0.4	1.74
Kum-çakıl	0.15	2
Kil-alüvyon (toprak)	0.15	1.5

ÖZGEÇMİŞ

Barış KORKMAZ ilk ve orta öğrenimini Tekirdağ'da tamamladı. Tekirdağ Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Elektrik Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında iyi derece ile mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. 2020 yılında Trak Makine Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.'de Teknik Tasarım Uzmanı olarak çalışmaya başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.