

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil İbrahim ÖKSÜZ

**YÜZEY SU SOĞUTMALI FOTOVOLTAİK PANELİN (PV)
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZEY SU SOĞUTMALI FOTOVOLTAİK PANELİN (PV)
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

Halil İbrahim ÖKSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 25/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
.....
Prof. Dr. Cebirail GÜMÜŞ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Dr.Öğr.Üy.Ayhan ATIZ DANIŞMAN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr.Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2015-4693**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirilerin,
çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir
ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜZEY SU SOĞUTMALI FOTOVOLTAİK PANELİN (PV/T) PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Halil İbrahim ÖKSÜZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Yıl: 2019, Sayfa: 73
Jüri :Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
:Prof. Dr. Cebail GÜMÜŞ
:Dr. Öğr. Üyesi Ayhan ATIZ

Bu çalışmada, bir yüzey su soğutmalı fotovoltaik (PV) güneş panelinin performansı araştırılmıştır. Bu amaçla, 1,2 m² yüzey alanlı ve 275 W gücünde, 72 adet monokristal hücreden oluşan bir güneş paneli ve üzerinde 1,2 cm çapında 12 adet su çıkışına sahip krom metal su borusu kullanılmıştır. Panel yerden 1,5 m yükseklikteki bir çelik kaide üzerine ve 30°'lik eğim açısı ile yerleştirilmiştir. Su fıskiyesi panelin en üst noktasına tüm yüzeyini tarayacak şekilde yerleştirilmiştir. Panel çalışırken, farklı günlerde ve sabit debide üstten su ile soğutma yapılarak ve su soğutma yapılmadan güç üretim performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, panel üst yüzey soğutma sistemi ile birlikte elektrik güç üretiminde kayda değer artışlar saptanmıştır. Ayrıca, önemli miktarlarda termal enerji de üretilebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik Panel, Isı transferi, Enerji ve Ekserji Analizi

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF SURFACE WATER COOLED PHOTOVOLTAIC PANEL (PV)

Halil İbrahim ÖKSÜZ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSIC**

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK

Year: 2019, Pages: 73

Jury : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK

: Prof. Dr. Cebail GÜMÜŞ

: Dr. Öğr. Üyesi Ayhan ATIZ

In this study, the performance of a surface water cooled photovoltaic (PV) solar panel was investigated. For this purpose, a solar panel with 1,2 m² surface area and 275 W of power, 72 monocrystalline cells and a metal water pipe with a diameter of 1,2 cm and 12 water outlets were used. The panel is placed on a steel base 1,5 m high from the ground and at a 30° angle of inclination. The water fountain was placed on the top of the panel to scan the entire surface. During the operation of the panel, it was tried to determine both the electric power and the thermal power with out being cooled by water from different days and flow. As a result, significant increases were observed in the electric power production with the panel surface cooling system. In addition, significant amounts of thermal energy can be produced.

Keywords: Photovoltaic Panel, Heat Transfer, Energy and Exergy Analysis

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışmada, yüzey su soğutmalı fotovoltaiik (PV) panelin performansı araştırılmıştır. Bunun için 1,2 m² yüzey alanına sahip polikristal güneş hücrelerinden oluşan yüzey soğutmalı fotovoltaiik (PV) panel incelenmiştir. Yüzey soğutmalı panel üst yüzeyden bir fiskiye ile su ile farklı akış hızlarında soğutma işlemi yapılmıştır. Deneysel çalışma, yüzey su soğutmalı ve soğutmasız olarak farklı debilerde için sistemin hem elektik hem de termal performansları incelenmiştir ve yüzey su soğutması ile verimini arttırmak amaçlanmıştır.

Çoklu enerji üretimi uygulamaları için çeşitli sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlerden birisi de fotovoltaiik (PV) panele bütünleşik ısı değıştirici sistemi ile hem elektrik hem de termal enerji üretebilen bütünleşmiş sistemlerdir. PV ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretilmektedir. Isı değıştirici sistemi sistemi ile de termal (T) enerji üretilebilmektedir. Bu tip sistemler, fotovoltaiik termal (PV/T) sistemler olarak bilinmektedir. Bu sistemde, bir yandan fotovoltaiik hücrelerden ısı transfer edilerek hücreler soğutularak elektrik direnci azaltılır. Hücre direncinin azalması ile panel de üretilen güç artar. Diğer yanda ise elde edilen sıcak su yalıtımlı bir depoda toplanarak termal enerji üretilir. Böylece, sistemin elektrik üretimindeki artışa ek olarak ayrıca termal enerji de kanılır. Yani, PV/T'ler güneş enerjisi iletek bir sistemde eş zamanlı olarak hem elektrik enerjisi hem de ısı enerjisi üretebilen verimli sistemlerdir. PV/T' ler anlık çoklu enerji üretimi yapabilen sistemlerdir. Yani, hem elektrik hem de termal enerji üretebildikleri halde enerjiyi depolamayan ve düşük ısı kapasiteli sistemlerdir. Bu amaçla, PV/T' sistemi ile çoklu enerji üretim performansı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Ayrıca, bütünleşik sistemin matematiksel modeli çıkarılarak uygun bir bilgisayar programı aracılığıyla çözümlenmiştir. Güneş panelinin üst yüzeyine bütünleşikdelikli bir fiskiye sistemi ile suyun panelin üst yüzeyinde farklı debilerde akışının güneş panelinin sıcaklık dağılımı hesaplanmıştır. Panel sıcaklık dağılımının üretilen elektrik enerjisi dağılımı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Ayrıca üretilen elektrik enerjisi akü-sarj sistemi depolanmıştır. Akışkan debi değişikliği ile eş zamanlı olarak elektrik enerjisi hesaplanarak, en uygun akışkan debisi belirlenmeye çalışmıştır. Üsten yüzey soğutması ile elde edilen termal enerji oranı ve PV'nin daha verimli ve etkin bir şekilde çalışma sağlamıştır. Bu suretle, sistemde üretilen hem elektrik hem de termal enerji belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak üretilen hem termal enerji ve hem de elektrik şeklinde kullanılabilirliği belirlenecektir. Elde edilecek deneysel sonuçlara göre üsten su soğutmalı sistem için en uygun akışkan debisi belirlenmeye çalışılacaktır.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren hocam sayın Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince hep yanımda olan ve her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Müzeyyen ÇİLOĞULLARI, Saygın ŞAN ve grup arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca UZAYMER çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman yanımda duran, beni her koşulda destekleyen sevgili annem Zühal ÖKSÜZ'e ve babam Metin ÖKSÜZ'e, her durumda olduğu gibi tez çalışmamda da yardımlarını esirgemeyen kardeşim Hale ÖKSÜZ'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	III
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIII
1.GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOD	11
3.1. Kullanılan PV Paneli.....	11
3.2. PV Panel Entegre Püskürtme Sistemi	13
3.2.1. PV Panel Entegre Püskürtme Sistemi Sıvısı	13
3.3. Ölçüm Cihazı	14
3.3.1. Pensampermetre	14
3.3.2. Debimetre.....	16
3.3.3. Solarmetre	17
3.3.4. Inverter	17
3.3.5. Datalogger	18
3.3.6. Jel Akü	19
3.3.7. Anemometre.....	20
3.4. Deneylerin Yürütüldüğü Adana İline Ait İklim Verileri.....	20
3.5. Yöntem.....	25
3.5.1. Fotovoltaik Dolum Faktörünün (FF) Hesaplanması	25
3.5.2. Güneş Paneli Sistem Verimliliği.....	25
3.5.3. Güneş Panelinin Elektrik ve Isı Verimi	26

3.5.4. Güneş Panelinin Isıl Ekserjisi	27
3.5.5. Kapalı Devre Akımının Ölçülmesi	27
3.5.6. Açık Devre Geriliminin Ölçülmesi	28
3.5.7. Panellerin Standart Test Koşullarında Değerlendirilmesi.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1.Su Soğutmasız Tekkristal Fotovoltaik Panel Verim İncelenmesi.....	31
4.2.Su Soğutmasız Tekkristal Fotovoltaik Panel Verim İncelenmesi.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	73

TABLolar DİZİNİ**SAYFA**

Tablo 3.1.	LNPV 125×125–LN güneş panelinin teknik özellikleri.....	12
Tablo 3.2.	Holdpeak 850-A pensampermetre teknik özellikleri.....	15
Tablo 3.3.	Haljia Yf-s201 debimetrenin teknik özellikleri.....	16
Tablo 3.4.	Adana bölgesinin 2018 yılına ait iklim verileri.....	22
Tablo 3.5.	Adana iline ait yıllık ortalama radyasyon ve güneşlenme süreleri.....	23
Tablo 4.1.	Güneş panelinin su soğutmasız 20 Ekim 2018'e ait verileri	31
Tablo 4.2.	Güneş panelinin su soğutmasız 17 Ocak 2019'a ait verileri	32
Tablo 4.3.	Güneş panelinin su soğutmasız 22 Mayıs 2019'a ait verileri	33
Tablo 4.4.	21 Ekim 2018'e ait 1 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması.....	45
Tablo 4.5.	22 Ekim 2018'e ait 2 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması.....	46
Tablo 4.6.	23 Ekim 2018'e ait 4 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması.....	46
Tablo 4.7.	24 Ekim 2018'e ait 6 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması.....	47
Tablo 4.8.	26 Ekim 2018'e ait 8 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması.....	47
Tablo 4.9.	Su soğutmalı güneş panelinin 24 Ekim 2018'e ait verileri... ..	48
Tablo 4.10.	Su soğutmalı güneş panelinin 13 Ocak 2019'a ait verileri.. ..	49
Tablo 4.11.	Su soğutmalı güneş panelinin 17 Mayıs 2019'a ait verileri.....	49
Tablo 4.12.	24 Ekim 2018'e ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi.. ..	50
Tablo 4.13.	13 Ocak 2019'a ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi.. ..	51
Tablo 4.14.	17 Mayıs 2019'a ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi.....	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1.	Tekkristal güneş paneli hücresi	11
Şekil 3.2.	Su soğutmalı güneş paneli uygulaması.....	12
Şekil 3.3.	Püskürtme sistemi çizelgesi.....	13
Şekil 3.4.	PV'ye entegre püskürtme sistemi.....	13
Şekil 3.5.	Holdpeak 850-A pensampermetre.....	14
Şekil 3.6.	Sisteme bağlı debimetre haljia Yf-s201 Debimetre.....	16
Şekil 3.7.	Solar-Log Si-RS485TC2T-v-SL solarmetre (a) Teknik özellikler.....	17
Şekil 3.8.	Inverter	18
Şekil 3.9.	Datalogger	19
Şekil 3.10.	Jel Akü.....	20
Şekil 3.11.	Thies Clima anemometre.....	20
Şekil 3.12.	Türkiye ve Adana iline ait ortalama güneş radyasyonu dağılımı	24
Şekil 3.13.	Türkiye ve Adana iline ait ortalama güneşlenme sürelerinin dağılımı.....	24
Şekil 3.14.	Kapalı devre sistem akım ölçüm şeması	28
Şekil 3.15.	Açık devre geriliminin ölçüm şeması.....	28
Şekil 4.1.1.	20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı.....	33
Şekil 4.1.2.	17 Ocak 2019'e ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı	34
Şekil 4.1.3.	22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı.....	35
Şekil 4.2.1.	20 Ekim 2018'a ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	36
Şekil 4.2.2.	17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	37

Şekil 4.2.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	38
Şekil 4.3.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	39
Şekil 4.3.2. 17 Ocak 2019'a a ait su soğutmasız panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	40
Şekil 4.3.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	41
Şekil 4.4.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	42
Şekil 4.4.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	42
Şekil 4.4.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	43
Şekil 4.5.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı.....	44
Şekil 4.5.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı.....	44
Şekil 4.5.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı.....	45
Şekil 4.6.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı	52
Şekil 4.6.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı	53
Şekil 4.6.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı.....	54
Şekil 4.7.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	55

Şekil 4.7.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	56
Şekil 4.7.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi.....	57
Şekil 4.8.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	58
Şekil 4.8.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	59
Şekil 4.8.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin zamana bağlı Güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı	60
Şekil 4.9.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	61
Şekil 4.9.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	62
Şekil 4.9.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı.....	63
Şekil 4.10.1.24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı.....	64
Şekil 4.10.2.13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı.....	64
Şekil 4.10.3.17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı.....	65
Şekil 4.11. Ekim 2018'den elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı panelin verimlerinin karşılaştırılması	66
Şekil 4.12. Ocak 2019'dan elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı panelin verimlerinin karşılaştırılması	67
Şekil 4.13. Mayıs 2019'dan elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı panelin verimlerinin karşılaştırılması	68



SİMGELER VE KISALTMALAR

FF	: Dolum faktörü
$P_{\max}$	: Yük altındaki maksimum güç (W)
P_n	: Nominal güç (W)
$V_{\max}$	: Yük altında maksimum gerilim (V)
$I_{\max}$	: Yük altında maksimum akım (A)
m	: Panel ısı değiştiricisine giren su kütlesi (kg)
P	: Güç (W)
A	: Yüzey alanı (m^2)
G	: Gelen güneş radyasyonu (W/m^2)
Q	: Panelden çekilen ısı (J)
E	: Ölçüm koşullarındaki ışıınım şiddeti (W/m^2)
V_{oc}	: Boşta açık devre gerilimi (V)
I_{sc}	: Boşta kısa devre akımı (A)
$I_{sc}(STC)$	: Standart test koşullarına dönüştürülen kısa devre akımı (A)
E	: Ölçüm koşullarındaki ışıınım şiddeti (W/m^2)
T_m	: Ölçüm koşullarında hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
α	: Akım sıcaklık düzeltme katsayısı (%/K)
β	: Gerilim sıcaklık düzeltme katsayısı (%/K)
δ	: Gerilim ışıınım düzeltme katsayısı (%/K)
I_{sc}	: Boşta kısa devre akımı (A)
c	: Suyun öz ısı kapasitesi
T_g	: Panel ısı değiştiricinin giriş suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ϕ}	: Panel ısı değiştiricinin çıkış suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
η_{elect}	: Elektrik verimliliği
η_{th}	: Kararlı hal ısı verimliliği
η_o	: Genel sistem verimliliği

$\dot{G}_p$	: Panel yüzeyine gelen güneş radyasyonunu (W/m^2)
T_o	: Çevre sıcaklığını
T_s	: Güneşin yüzey ($\approx 6000 \text{ K}$) sıcaklığını
$\dot{Q}_{\text{ısı,panel}}$	: Panelden çekilen ısı
$\dot{E}x_{\text{ısı,panel}}$	: Panel yüzeyine gelen güneş enerjisinin ekserjisi
S.S.P.S.	: Soğutma sonrası panel sıcaklığı
S.Ö.P.V.	: Soğutma öncesi panel verimi
S.S.P.V.	: Soğutma sonrası panel verimi
S.T.K.	: Standart test koşulları

1. GİRİŞ

Nüfus artışıyla birlikte, insanoğlunun enerji talebi sürekli artmaktadır. Günümüzde enerji talebinin yaklaşık %85'i fosil yakıtlardan (kömür, petrol ve doğal gaz) sağlanmaktadır. Ancak, fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye verdikleri zararlar dikkate alındığında, gelecek nesillerin enerji talebinin karşılanamayacağı ve sürdürülebilir bir çevrenin mümkün olmayacağı anlaşılmaktadır. Eğer yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacı karşılanırsa, çevrenin ve canlı doğanın daha temiz ve daha uzun ömürlü olması mümkün olabilecektir. Hem artan bu talebin karşılanması ve hem de sürdürülebilir çevre için, en çok öne çıkan enerji kaynağı ise güneştir. Güneş enerjisi güneş var olduğu sürece (yaklaşık ömrü 10^{12} yıl) sonsuz bir enerji kaynağı olarak insanoğluna enerji göndermeye devam edecektir. Güneş enerjisi, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinden oluşan bir enerji paketi olarak yaklaşık 8 dakikada yeryüzüne ulaşmaktadır. Buna foton denmektedir ve ikili özelliğe sahiptir. Yani, hem dalga hem de parçacık karakteristiği gösterir. Bu özelliği sayesinde, önlerine bir engel çıktığında burada malzemenin yapısına bağlı olarak, soğurulmaya, saçılmaya ve yansımaya uğrar. Soğurulmada, sahip oldukları enerji maddelere aktarılır. Bu enerji ısıya, elektriğe ve ışığa dönüşebilir. Elektriğe dönüşmesi olayına fotoelektrik etki denir. Dünya'da ilk fotovoltaiik etkinin saptanması 1839 yılında Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiştir, Becquerel platin tabakalar üzerinde yaptığı çalışmalar esnasında bu etkiyi keşfetmiştir. İlk güneş hücresini ise Charles Fritts 1883 yılında güneş ışığını; selenyum ve altın kullanarak elektriğe dönüştüren bir cihaz olarak üretmiştir. Hücrenin verimliliği ise %1'in altında olduğunu belirlenmiştir. Ancak, Albert Einstein, 1921 yılında "fotoelektrik etkiyi" kanıtlamasıyla, Fizik dalında Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür. Bu sayede foton tanımlanmış ve fotovoltaiik teknolojisine çok önemli teorik bir temel oluşturulmuştur. Fotonun keşfinden günümüze kadar geçen süre içinde, insanoğlu bu bilimsel çalışmalar sayesinde güneş enerjisinden ısıtma, kurutma, elektrik

üretme gibi çeşitli şekillerde yararlanmaya çalışmışlardır. Bunlardan günümüzde en öne çıkan yararlanma yollarından birisi güneş enerjisisinden güneş panelleriyle elektrik üretilmesidir. Artık güneş enerjisi santrallerinde binlerce megawatt gücünde çok ciddi miktarlarda elektrik üretilmektedir. Ancak güneş panellerini en önemli problemlerinde birisi olan ısınma etkisi yüzünden verim kayıpları hala çözülememiştir.

Bu çalışmada, çelik bir kaide üzerine 30° eğimle yerletirilen bir güneş panelinin tüm yüzeyini su ile tarayacak şekilde bir su fıskiyesi inşa edilmiştir. Bu güneş panelinin verimi belirlemek için soğutmasız ve su ile soğutmalı olarak farklı mevsimlerde, sıcaklıklarda ve su debisinde yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler analiz edilerek soğutmanın verim üzerindeki etkisi incelenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, fotovoltaik paneller (PVs)'in verimin geliştirilmesi bilim insanları tarafından yapılan araştırmalar ve sunulan öneriler değerlendirilmesi için daha önce yapılan çalışmalar hakkında kısa bilgiler verilmektedir.

Fotovoltaik panellerin veriminin artırılması için S.Nižetić ve ark (2017) panel yüzeyi üzerinde su sprej uygulaması ile alternatif bir soğutma tekniği uygulamışlardır. Bu teknikte PV panelin her iki tarafında aynı anda soğutulması gerektiğini belirtmişlerdir. Panel verimliliği maksimum %16,3, elektrik gücü çıkışı toplam %14,1 artış göstermiştir. Ayrıca, bu sistem sayesinde de panellerin kendiliğinden temizlendiğini göstermişlerdir.

Peng ve ark (2017) tarafından, çalışma sıcaklığının PV elektrik çıkışını etkileyen önemli bir rol oynadığını ve güneş panellerinin uygun ısını belirleyebilmek için bir yol izlemek gerektiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada PV yüzey sıcaklığının çıktı performansını, özellikle etkinlik üzerindeki pratik etkilerini araştırmayı amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar, çıkış gerilimi, akım, çıkış gücü ve verimlilik çeşitliliğini araştırmak için farklı radyasyon koşulları altında yürütülmüştür. Daha sonra soğutma testi, soğutma koşuluyla ne kadar verimlilik artışının sağlanabileceğini bulmak için gerçekleştirilmişlerdir. Test sonuçları, PV'nin verimi soğutulmuş koşullar sonucu %47 değerinde artan bir orana sahip olduğunu göstermiştir. Bu soğutma sistemi konutlarda uygulanan PV sistemlerinin kurulumu için önerilmiştir.

Jakhar ve Soni, (2017), Pilani'nin Rajasthan yarı kurak bölge koşulları için yerden su ısı eşanjörü (EWHE) soğutma sistemi ile birleştirilmiş fotovoltaik/termal (PV/T) sistemin teorik ve pratik performanslarını araştırmak için bir çalışma yaptılar. Deneysel çalışmalar aynı iklim koşulları için farklı soğutma suyu debileri (0,033 kg/s, 0,025 kg/s ve 0,017 kg/s) ile gerçekleştirilmiştir. PV panel, termal kolektöre bağlandığında veya bağlantı kesildiğinde, PV/T panellerinin ortalama elektrik verimliliğinin normal PV verimliliğinden daha yüksek olduğu

keşfedilmiştir, iki senaryo için bir elektriksel verimlilik karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, maksimum PV panel sıcaklığının herhangi bir soğutma olmadan 73 °C çıktığını gösterdi. Öte yandan, PV panel sıcaklığı, 0,033 kg/sn akış oranı ile 43,68 - 49,64 °C aralığında düşmüştür. Soğutma ile PV/T sisteminin elektriksel ve ısı verimliliğinin 0,033 kg/s akış oranı için sırasıyla %8,26 - %8,52 ve %44,06 - %55,45 olduğu tahmin edilmektedir. Boru uzunluğu 38 m, önerilen sistem için yeterli görülmüştür. Deney sonuçları, temel enerji denge denklemleri kullanılarak teorik model ile doğrulanmış ve %0,91 - %12,09'luk yüzdesel hata ile iyi bir uyum içerisinde bulunmuştur.

Duck ve ark (2017) tarafından, fotovoltaik (PV) modüllerin çıkışlarını arttırmak için soğutulması yöntemini literatürde birkaç kez önerilmiştir. Bu raporların çoğunda elde edilen enerji çıkışındaki artış açıklanabiliyor ancak ekonomik boyutu konusunda nadiren yorum yapılabiliyordu. Ekonomi göz önüne alındığında, bu spesifik PV sisteminin ölçümlerine dayanmaktadır. PV modüllerinin suni soğutmasının ekonomik değerini ölçmek için teorik bir formülasyon elde ediyoruz. Formülasyon herhangi bir soğutma yöntemine özgü değildir. Yerel güneş koşulları, sistemin ana maliyeti dahil değişkenlere dayalı girdi olarak bir soğutma yöntemi sağlayabilir. Isı ayrılma oranını alır ve bu soğutma hızı ekonomik değerini belirler, sistem havalandırması, artı sıcaklık katsayısı modüllerin verimliliğini belirler. Ancak olumsuz koşullar altında 1 \$/m² daha az caziptir, PV soğutma ekonomik değeri, potansiyel olarak olumlu koşullar ile 40 \$/m² gibi maliyete yol açar, bu maliyet sistem tasarımı ve yerel şartlara bağlı olmaktadır. Sunulan denklemler, soğutma özelliği ve PV sisteminin yukarıdaki parametreleri sağlanırsa, bir PV modülüne veya sisteme uygulanan bir soğutma özelliği tasarımını optimize etmek için kullanılabilir.

Siecker ve ark (2017) tarafından, çalışma yüzeyinin soğutulması, güneş fotovoltaik sistemleri çalıştırılırken daha yüksek verim elde etmek için dikkate alınması gereken önemli bir operasyon faktörü olduğu belirtilmiştir. Doğru soğutma, elektrik verimliliğini artırabilir ve zamanla hücre bozunum hızını düşürür

ve fotovoltaik modüllerin kullanım ömrünü maksimize eder. Soğutma sistemi tarafından çıkarılan aşırı ısı evsel, ticari veya endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir. Standart Test Koşulları'nın (STK) önerilen sıcaklığının ötesinde çalışan fotovoltaik güneş panellerinin verimliliğini arttırma girişimi yaparken, artan sıcaklığın olumsuz etkilerini en aza indirmek için kullanılabilecek çeşitli yöntemlerin bir incelemesini sunar. Değişik soğutma teknolojileri, yani yüzen konsantre soğutma sistemi, hibrid solar fotovoltaik/termal sistem su püskürtme ile soğutulur, ısı alıcı tarafından soğutulan hibrid solar fotovoltaik/termoelektrik (PV/TE) sistemi; su dolaşımı ile soğutulan hibrid solar fotovoltaik/termal (PV/T); faz değiştirme materyalleri kullanılarak güneş panellerinin performansını arttırmak, su daldırmalı soğutma tekniği ile güneş paneli, şeffaf kaplama ile soğutulan solar PV panel (fotonik kristal soğutma), hava sirkülasyonu ile soğutulan hibrid solar fotovoltaik/termal sistem ve termoelektrik soğutmalı güneş panelleri. Birkaç araştırma raporuna göre, fotovoltaik panellerin soğutulması için kullanılan odağın, katkının ve teknolojinin türüne göre yeniden gözden geçirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Sonuçların tartişılması, gözden geçirilen her bir teknolojinin avantajları, dezavantajları, uygulama alanı ve tekno-ekonomik karakteri temel alınarak yapılmıştır. Burada amaç, PV modülün yüzey sıcaklığını düşürmek için yukarıda bahsedilen teknolojilerin her biri için bir anlayış sağlamaktır. Çalışma, soğutma teknolojilerinin her birinin bağlı olduğu yüzey sıcaklık düşürme dizisine odaklanacaktır. Her soğutma teknolojisinin performansı da vurgulanacaktır. Bu incelemeye ek olarak, her bir soğutma teknolojisinin performansını karşılaştıran bir tartişma da içermektedir. Bu çalışmanın sonuçları sonuç bölümünde detaylandırılmıştır. Fotovoltaik panellerin soğutulması için seçilen herhangi bir teknolojinin, çalışma yüzey sıcaklığını düşük ve istikrarlı tutmak, basit ve güvenilir olmasını sağlamak ve mümkünse, toplam dönüştürme verimliliğini arttırmak için ekstrakte edilmiş termik sıcaklığın kullanılmasını mümkün kılmak için kullanıldığını ortaya koymuştur. Sunulan detaylı inceleme fotovoltaik sistemlerin

teorisi, tasarımı veya uygulaması üzerinde çalışan mühendisler tarafından kullanılabilir.

Schiro ve ark (2017) tarafından, fotovoltaik hücrelerin çalışma sıcaklığındaki artış, performanslarında hemen hemen lineer bir azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, sıcaklıklarını kontrol ederek hücrelerin verimliliğini arttırmak için sürekli çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Mevcut çalışmada, orijinal modül yapısını değiştirmeden mevcut fotovoltaik ünitelere bir soğutma sistemi ekleme imkanı araştırılmaktadır. Seçilen soğutma yöntemleri modülün ön tarafını soğutmak için su kullanır. Sistem davranışını araştırmak için, ilk önce bir kararlı durum ve bir PV dinamik modeli geliştirildi. Harici parametrelerin değişimi sırasında modül termal kütlelerinin zaman tepkisini tahmin etmek için dinamik model kullanılırken sabit ortam koşulları ve soğutma rejimi ile ilişkili modül kalıcı rejim sıcaklığını hesaplamak için kararlı durum termal modeli kullanıldı. Ardından, bir test tesisinin tasarımı ve kurulumundan sonra, matematiksel modelleri doğrulamak için ön deney araştırmaları yapıldı. Son olarak, sistemin enerji ve ekonomik performansı ile PV'nin genel performansını iyileştirecek kılavuzların belirlenmesi sunulmuş ve tartışılmıştır. Fotovoltaik soğutma konusundaki deneysel etkinliğin bazı ön sonuçları da ana hatlarıyla belirlenmiştir.

Arcuri ve ark (2014) tarafından, fotovoltaik (PV) sistemlerin ana prensibi, sıcaklıklardan büyük ölçüde etkilenen hücrelerin düşük verimlilik göstermesi olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık arttıkça kısa devre akımı orta derecede artarken, açık devre voltajı önemli ölçüde azalır. Hücre sıcaklık düşümü, hem yeni hem de önceden kurulmuş PV panellerinin performansını iyileştirmek için kullanılabilecek yararlı bir yöntemdir. Bu çözüm, özellikle gündüz boyunca yüksek dış hava sıcaklığı aralığında, yüksek ışınlama seviyesi olan yerler için idealdir. Çünkü maksimum verimlilik, güneş ışınlamayı yüksek olduğu zaman meydana gelir ve sonuç olarak hücre sıcaklığı artar. Önerilen çözüm, hali hazırda kurulmuş birçok PV modeli ile de bütünleştirilebilir. Böylece, üretilen ısıyı tedarik etmek için sıcak su

tüketimine ihtiyaç duyan PVT (Fotovoltaik Termal) sistemlerine bir alternatif oluşturur. Aksi takdirde sistemin performansı düşecektir. Sırasıyla soğutma suyu sistemi ve panellerin arka tarafını açık devre içinde saran bir hava akışı sistemi gibi çözümler getirilebilir, en iyi soğutma solüsyonunu elde etmek için ise daha çok araştırmak gerekmektedir. Farklı hücrenin ulaştığı sıcaklığı, farklı soğutma sistemi konfigürasyonlarıyla değerlendirmek için PV hücreleri, dış ortam ve soğutma sistemi arasındaki termal değişim detaylarını yazılımlar sayesinde daha detaylı elde edebiliriz. Her durum için toplam termal kayıp katsayısı hesaplanmalıdır

Zilli ve ark (2018) tarafından, fotovoltaik panellerdeki aşırı ısı, panel verimindeki artışı belli bir seviyede sınırlandırdığı belirtilmiştir. Bu çalışma, polikristal fotovoltaik modüllerin altındaki su soğutma fiskiyesi sisteminin etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Sistem performansını ölçmek için voltaj, akım, güç ve verimlilik incelenmiştir. Üç farklı analiz yapılmıştır. Birincisi aralıklı soğutma, ikincisi soğutmasız ve üçüncüsü günün en sıcak saatlerinde sürekli soğutma. Analiz iki aşamada gerçekleşti, yüksek düzey ve düşük düzey. Soğutma sisteminin yüksek düzeyde kullanılması, güçte %12,26, verimlilikte %12,17 artış ile sonuçlanmıştır. Düşük düzeyde kullanılması, göreceli güç ve verim artışı ise sırasıyla %8,48 ve %9,09 olmuştur. Soğutma sistemi, çalışılan fotovoltaik panelin gücü ve etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Fotovoltaik hücreler belirli bir sıcaklık limitini aşarsa uzun vadede bozulma gösterir. PV gücünü kullanmak ve fotovoltaik su pompalama sistemi verimliliğini artırmak için, PV hücre sıcaklığını ve hücre yansımasını mümkün olduğu kadar düşük tutmak gerekir. Bu çalışmanın amacı bir fotovoltaik su pompalama sisteminin performansını artırma olasılığını araştırmaktır. Bu, fotovoltaik hücrelerin üzerine su püskürtülerek gerçekleştirilir. Sonuçlar diğer sistemlerle karşılaştırıldı. Deneysel sonuçlar, fotovoltaik hücrelerin üzerine su püskürtülmesi nedeniyle hücrelerin verimini arttığını göstermektedir. Neredeyse sıcaklıktan bağımsız olan modülün kısa devre akımının ölçülmesi, su spreyinin

sistemin optik performansını iyileştirdiğini göstermiştir (Abdolzadeh ve Ameri, 2009).

Fotovoltaik (PV) modülünün performansı, çalışma sıcaklığına büyük ölçüde bağlıdır. Panel tarafından emilen enerjinin çoğu normalde kaybedilen ve hiçbir değer sağlamayan ısıya dönüştürülür. Hibrit bir PV su soğutmalı sistemin performansını incelemek için, EES (Engineering Equation Solver) yazılımı kullanılarak sayısal bir model (elektriksel ve termal) geliştirilmiştir. Model, performansını etkileyen çeşitli elektriksel ve termal parametreleri öngörmektedir. Modülün arka yüzeyine bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) eklenerek soğutulmasının etkisi de deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal modelin sonuçları, Suudi Arabistan'ın Dharan iklimi için yapılan deneysel ölçümlerle iyi bir uyum içinde bulunur. Aktif su soğutmasında, modül sıcaklığı önemli ölçüde %20 azaldı, PV panel verimliliğinde %9 artış sağladı (Bahaidarah ve ark., 2013).

Ceylan ve ark (2014) tarafından, fotovoltaik modüllerin verimliliği ısınınca azaldığı belirlenmiştir. Fotovoltaik modüle gelen güneş ışınımını ısı ve elektrik enerjisine dönüştürürken modüllerin ısıtma özelliğinden dolayı, PV modüllerinden de ısı enerjisi üretilebileceği görülmüştür. Bu tür sistemler literatürde hem fotovoltaik hem de termal sistemler olarak adlandırılmaktadır. PV modülünde birçok özel deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar modül üzerinde özel işlem gerektirdiğinden, yalnızca laboratuvar çalışması olarak kalmıştır. Bu çalışmada, fotovoltaik soğutma modülleri için farklı fotovoltaik/termal (PV/T) sistemleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Bunun için aktif soğutma sağlamak için PV modülüne spiral ısı eşanjörü olarak basit bir boru yerleştirilmiştir. Ayrıca, sistem büyük ölçekli sistemlere de kolayca uygulanabileceği belirtilmiştir. Deneysel araştırmalar sonucunda soğutma ile modül verimleri %13, soğutma olmadan modül verimleri %10 civarında olduğu görülmüştür. Ayarlanan sıcaklık arttıkça, modül sıcaklığı arttırılabilir veya azaltılabilir. Modül sıcaklığı güneş ışığına ve ayarlanan sıcaklığa göre değiştirilmektedir. Güneş ışınımı arttıkça, bu deneysel sistemde modül sıcaklığı düşmüştür.

Teo ve ark (2012) tarafından, fotovoltaik (PV) hücrenin elektriksel verimi, güneş ışınmasının emilmesi sırasındaki hücre çalışma sıcaklığının artmasından olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Bu çalışmada hibrit bir fotovoltaik/termal (PV/T) güneş enerjisi sistemi tasarlandı, üretildi ve deneysel olarak incelendi. PV hücrelerini aktif olarak soğutmak için, düzgün bir hava akışı dağılımı için tasarlanmış giriş/çıkış manifolduna sahip paralel kanal dizisi PV panelinin arkasına tutturulmuştur. Deneyler aktif soğutma ile ve buzdolabı içerisinde gerçekleştirildi. Verimlilik ve sıcaklık arasında doğrusal bir eğilim bulundu. Aktif soğutma olmadan, modülün sıcaklığı yüksekti ve güneş pilleri sadece %8-9 arasında bir verime ulaşabildi. Bununla birlikte, modül aktif soğutma koşulu altında çalıştırıldığında, sıcaklık, güneş pillerinin verimliliğinde %12 ile %14 arasında bir artışa neden olacak şekilde önemli ölçüde artmıştır. PV modülünün gerçek sıcaklık profilini karşılaştırmak için bir ısı transfer simülasyon modeli geliştirildi ve simülasyon ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edildi.

Mah ve ark (2019) tarafından, özellikle tropik bölgelerde kristalin silikon fotovoltaik panel sisteminin performansı, güneş panellerinin sıcaklığının artmasıyla büyük ölçüde azalmıştır. Bu çalışmada, üretim sistemi olarak çalışan bir çatı PV sistemi üzerine su filmi soğutma sistemi kuruldu. Bu yöntem sadece güneş panellerinin ön ve arka yüzeyleri arasındaki ısıl gerilimi azaltmakla kalmayıp, güneş panellerinin farklı konumları arasında eşit olmayan sıcaklık dağılımını da en aza indirdiğini göstermektedir. Ayrıca, 6 L/dk soğutma suyu akış hızına sahip soğutma sistemi, güç üretimini PV modül başına 1150 W/m^2 güneş ışığı altında %15 iyileştirme ve net enerji kazancını 0.0178 kWh artırabildiği gözlenmiştir. Ek olarak, toplanan yağmur suyu, soğutma sistemi için yeterli olmuştur. Bu yöntem, su soğutma yönteminin fotovoltaik bir sistem için pozitif enerji üretimi sağlamak için teknik olarak uygun olduğunu doğrulamaktadır.

Yang ve ark (2019) tarafından, sıg jeotermal enerjili bir soğutma sisteminde fotovoltaik panel verimliliği düşüş problemini hafifletmek için deneysel bir araştırma yapmışlar ve sistem performansını tahmin etmek için bir

matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu soğutma sisteminde, panelin arkasına su püskürtülerek panel soğutulur ve su depoya geri gönderilir. Soğutma kapasitesini arttırmak için geri dönüştürülmüş su, mevcut bir kuyuya monte edilmiş U şeklinde bir sondaj ısı eşanjöründe (UBHE) toplanır ve su, sıg jeotermal enerji ile ısı alışverişinde bulunur. Son olarak, panel soğutmak için tekrar su ile püskürtülür. Deneyler üç aşamadan oluşur: Birincisi, soğutma sistemi olmadan çalışan panel. İkincisi, panelin bir UBHE olmadan, ancak bir soğutma sistemi ile çalışması. Üçüncüsü, bir UBHE ile çalışan soğutma sistemidir. Deneysel sonuçlar ve matematiksel modeller aynı eğilimi göstermektedir. Soğutma sistemi panel dönüşüm verimliliğini artırabilir. Ayrıca, sıcaklık ve panel sayısı arttıkça, verimde artar. Panellerle çalışan bir fabrika için, örneğin, bu soğutma sistemi, verimliliği %14,3 artırabilir ve ekipman maliyetleri bu sistemle 8.7 yılda geri kazanılabilir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, Adana ilinde 30° panel açısı ile tekkristal güneş paneli ve buna üsten entegre su ile soğutma sistemi kullanıldı. Soğutma sistemi için şebeke suyu kullanıldı. Şebeke suyu kontrollü bir şekilde sabit debide yapıldı. Suyun debisini ölçmek için debimetre ve güneş panelinin yüzeyine gelen güneş enerjisi ise solarmetre ile ölçüldü. Ayrıca, Adana ili için meteoroloji istasyonundan alınan sıcaklık dağılımları, yağış yoğunlukları, yatay yüzey gelen güneş radyasyonu ve ortalama güneşlenme saati kullanılmıştır.

3.1. Kullanılan PV Paneli

Bu çalışmada, Şekil 3.1.'de verilen LNPV 125×125-LN tekkristal güneş paneli ve Şekil 3.2'de su soğutmalı güneş paneli sistemi kullanılmıştır. Panele ait teknik özellikler Tablo 3.1.'de belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Tekkristal güneş paneli hücresi

Tablo 3.1. LNPV 125×125–LN güneş panelinin teknik özellikleri

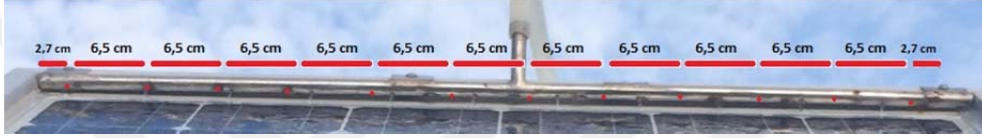
Nominal güç (W)	195
Max. Voltaj, V_{mp} (V)	44,63
Max. Akım, I_{mp} (A)	5,64
Açık devre voltajı (V_{oc})	37,29
Kısa devre akımı (I_{sc}) (A)	5,23
Max. sistem voltajı, DC (V)	1000
Verimlilik (%)	15,27
Tolerans	$\pm$ %5
Hücre Sayısı (adet)	72
Ebat (Boy×En×Kalınlık)	1580×808×35 mm
Ağırlık (kg)	15,5



Şekil 3.2. Su soğutmalı güneş paneli

3.2. PV Panel Entegre Püskürtme Sistemi

Şekil 3.3.'te görülen püskürme sistemi, Şekil 3.4.'te ise PV panelin tepe kısmına entegre edilmiş hali verilmiştir. Püskürtme sistemi paslanmaz krom borudan yapılmıştır. Ana akış boru uzunluğu 77 cm ve çapı 1,2 cm dir. Anaboru üzerine 6,5 cm aralıklarda olacak şekilde 12 adet püskürtme çıkış noktası oluşturulmuştur. Her bir deliğin çapı 0,12 cm olarak açılmıştır. Püskürme işlemi ile PV panelin tüm yüzeyi su ile ıslanacak şekilde akış verilmiştir.



Şekil 3.3. Püskürtme sistemi çizelgesi



Şekil 3.4. PV'ye entegre püskürtme sistemi

3.2.1. PV Panel Entegre Püskürtme Sistemi Sıvısı

Panel soğutma işlemleri sırasında şebeke suyu kullanılmıştır. Uygun debiyi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için, farklı debiler denenmiş ve verim artışının en uygun olduğu debi belirlenmeye çalışılmıştır.

3.3. Ölçüm Cihazı

3.3.1. Pensampermetre

Şekil 3.5.'te görülen pensampermetre (Holdpeak 850-A), PV panelin çıkış akım ve gerilim ölçümleri için kullanılmıştır. Panellerden elde edilen gücün hesaplanması için çıkış akım ve gerilimi kullanılmıştır. Cihazın teknik bilgileri ise Tablo 3.2.'te belirtilmiştir.



Şekil 3.5. Holdpeak 850-A pensampermetre (www.dkteknoloji.com)

Tablo 3.2. Holdpeak 850-A pensampermetre teknik özellikleri

Model	850 A
Güvenlik standartları	CATIII 1000 V
AC Voltaj	60mV~750 V
AC Akım	400A~2000 A
DC Voltaj	60mV~1000 V
DC Akım	400A~2000 A
Direnç	600Ω~60 MΩ
Kapasitör	40nF~4000 µF
Sıcaklık	-20 °C~1000 °C
Diyot test	√
Buzzer	√
Data hold	√
Duty cycle	%0,1~%99,9
Frekans	10Hz~10 MHz
Ekran	5999
Fonksiyon anahtarı ölçümlene ayar seçimi	Otomatik
True RMS	√
MAX/MIN	√
Arka aydınlatma	√
Otomatik kapanma	√
Göreceli değer	√
Çene açısı	55 mm
Bar grafik ekran	√
Çift ekran	√
Pil	9V(6F22)×1
Boyut	275×120×33 mm
Ağırlık	540 g

3.3.2. Debimetre

Tablo 3.3.'te teknik özellikleri verilen debimetre ile 5 dakika boyunca dakikada 6 litre su soğutması uygulanmıştır. Şekil 3.6.'da sisteme bağlı debimetre Halija Yf-s201 gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sisteme bağlı debimetre haljia Yf-s201 debimetre

Tablo 3.3. Haljia Yf-s201 debimetrenin teknik özellikleri

Çalışma gerilimi	5V-24V (DC)
Çalışma akımı	15 mA (DC 5V)
Debi aralığı	1-30L/dakika
Su basıncı	≤1.75MPa

3.3.3. Solarmetre

Güneş radyasyonunu ölçmek için Şekil 3.7.(a)'da gösterilen panel ile aynı eğişimde entegre edilmiş Solar-Log Si-RS485TC2T-v-SL solarmetre kullanılmıştır. Şekil 3.7.(b)'de ise solarmetrenin teknik özellikleri mevcuttur.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Solar-Log Si-RS485TC2T-v-SL solarmetre (a), Teknik özellikleri (b)

3.3.4. Inverter

Şarj kontrol ünitesi içinde yer alan, DC akımı AC akıma dönüştüren inverter (GoodWe String Inverter GW12K-DT) Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Inverter

3.3.5 Datalogger

Sistemin sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için J tipi ısı çiftler, dönüştürücü kart ve bilgisayardan oluşan ölçüm sistemi (datalogger) kullanılmıştır. Şekil 3.9.'da ortam sıcaklığı ve panel iç sıcaklığını ölçmek için kullanılan datalogger gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Datalogger

3.3.6. Jel Akü

Sistemden elde edilen elektrik enerjisini depolayabilmek için Şekil 3.10.'da gösterilen jel akü kullanılmıştır. Jel aküyü tercih etmemizin amacı, bakıma gerek duyulmaması ve sulu akülerde kullanılabilir kapasite miktarı %50 iken, jel akülerde bu miktarın %80 olmasıdır.



Şekil 3.10. Jel akü

3.3.7. Anemometre

Rüzgar hızı ölçümlerini almak için Şekil 3.11’de gösterilen Thies Clima marka anemometre kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Thies Clima anemometre

3.4. Deneylerin Yürütüldüğü Adana İline Ait İklim Verileri

Adana ilinin 2018 yılı iklim verilerinin yıllar içerisindeki ortalaması Tablo 3.4.’te verilmiştir. Aylık ortalama sıcaklıklar Ağustos ayında maksimum 33,9 °C

ve Ocak ayında minimum 9,5 °C olarak ölçülmüştür. Aylık maksimum ortalamaları ise Ağustos ayında 33,9 °C ve Ocak ayında 14,8 °C olarak ölçülmüştür. Aylık minimum sıcaklık ortalaması ise, Ağustos ayında 22,9 °C ve Ocak ayında ise 5,2 °C olarak ölçülmüştür. Adana ili için elde edilen sıcaklık dağılımları üzerinde etkili olan en önemli parametrelerden bazıları, aylık ortalama güneşlenme süresi, aylık ortalama yağışlı gün sayısı, birim yüzey alan başına düşen ortalama radyasyon miktarı ve ortalama güneşlenme süreleridir. Aylık ortalama güneşlenme süresinin maksimum Temmuz ayı için 10,8 saat ve minimum güneşlenme süresi de Aralık ayın için 4,4 saat olarak ölçülmüştür. Aylık ortalama yağışlı gün sayısı ise, maksimum Ocak ayı için 10,6 saat ve minimum ise Ağustos'ta 0,7 saat olarak ölçülmüştür. Buna göre aylık toplam yağış miktarı da Aralık ayı için 121 saat ve minimum olarak ise Ağustos ayı için 5,5 saat olarak ölçülmüştür.

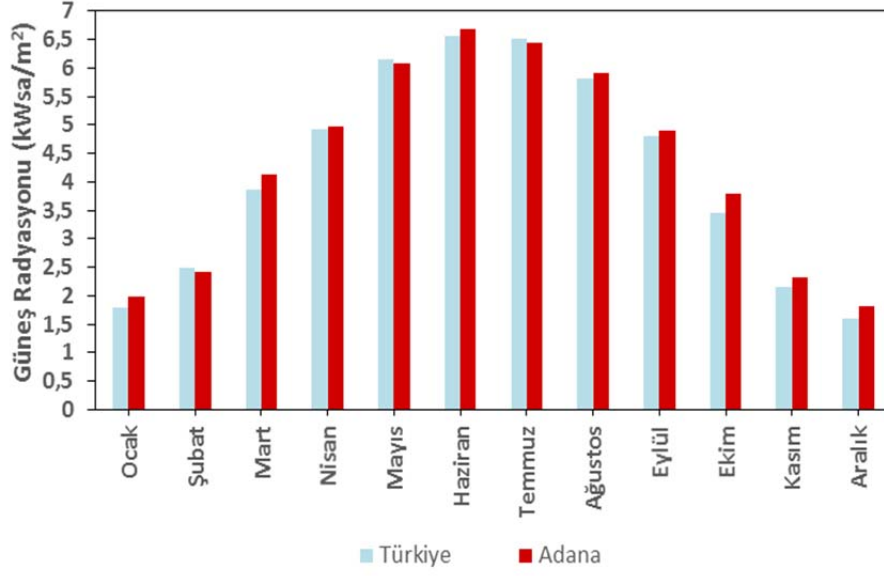
Tablo 3.4. Adana bölgesinin 2018 yılına ait iklim verileri (www.mgm.gov.tr)

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık (°C)	Aylık maksimum sıcaklık ortalaması (°C)	Aylık minimum sıcaklık ortalaması (°C)	Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)	Aylık ortalama yağışlı gün sayısı	Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)
Ocak	9,5	14,8	5,2	4,6	10,6	110
Şubat	10,5	16,1	6	5,3	10,1	89,7
Mart	13,4	19,4	8,2	6,1	9,6	65,1
Nisan	17,5	23,7	11,8	7,2	8,6	51,1
Mayıs	21,7	28,2	15,7	9,1	6,3	47,1
Haziran	25,6	31,7	19,7	10,6	2,9	20,5
Temmuz	28,2	33,9	22,9	10,8	0,9	6,2
Ağustos	28,7	34,7	23,3	10,4	0,7	5,5
Eylül	26,1	33,1	20,1	9,1	2,6	17,6
Ekim	21,6	29	15,7	7,5	5,4	42,4
Kasım	15,8	22,6	10,7	5,9	6,9	71,1
Aralık	11,2	16,7	6,9	4,4	10,2	121,2
Yıllık	19,1	25,3	13,8	91	74,8	647,5

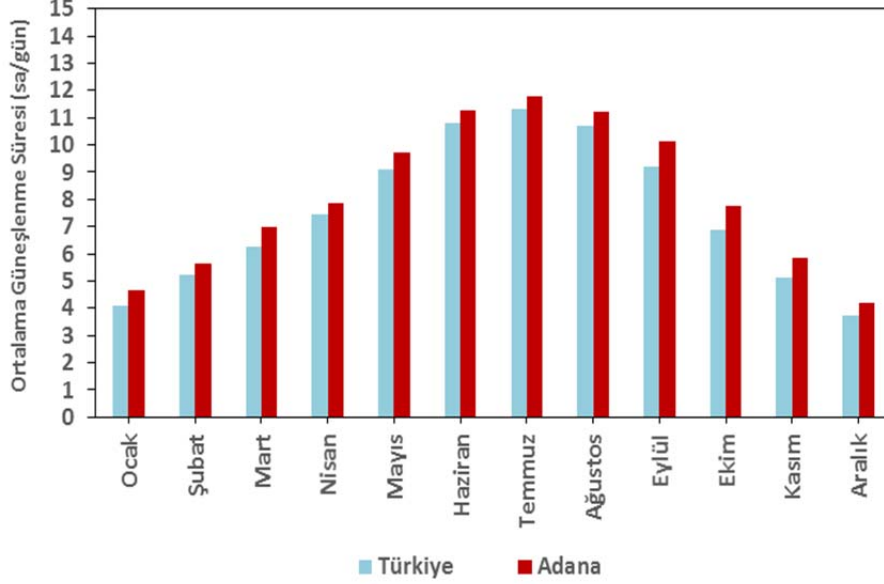
Adana ilinin günlük güneşlenme süreleri ve güneş radyasyon dağılımları Tablo 3.5.'te verilmiştir. Buna göre; Adana ortalama güneş radyasyon değerleri genel olarak Türkiye ortalamasının üzerindedir. Aynı şekilde güneşlenme süresi ortalamasında da Türkiye ortalamasının üzerinde olmakta ve güneş enerjisinden yararlanmak için uygun bir bölge olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.5. Adana iline ait yıllık ortalama radyasyon ve güneşlenme süreleri (2018)

Aylar	Ortalama radyasyon (kWsa/m ² -gün)		Ortalama güneşlenme süresi (sa/gün)	
	Türkiye	Adana	Türkiye	Adana
Ocak	1,79	1,98	4,11	4,67
Şubat	2,50	2,42	5,22	5,65
Mart	3,87	4,12	6,27	6,97
Nisan	4,93	4,98	7,45	7,84
Mayıs	6,14	6,07	9,10	9,72
Haziran	6,57	6,68	10,81	11,29
Temmuz	6,50	6,45	11,31	11,77
Ağustos	5,81	5,91	10,70	11,22
Eylül	4,81	4,90	9,23	10,15
Ekim	3,46	3,78	6,87	7,78
Kasım	2,14	2,33	5,15	5,86
Aralık	1,59	1,81	3,75	4,21
Ortalama	4,18	4,28	7,49	8,09



Şekil 3.12. Türkiye ve Adana iline ait ortalama güneş radyasyonu dağılımı



Şekil 3.13. Türkiye ve Adana iline ait ortalama güneşlenme sürelerinin dağılımı

3.5. Yöntem

Çukurova Üniversitesi Kampüsü'nde Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER)'de güney yönüne 30 derecelik açı ile kurulan tekkristal LNPV 125×125–LN panelin üst tarafında bulunan musluklara debimetre ekli hortumlar bağlanarak, panel üzerine sabit debilerde su püskürtmesi uygulandı. Önce soğutma uygulaması yapılmadan tüm veriler alındı ve hesaplandı. Daha sonra panelin üstünde bulunan fıskiyele ile panelin üst yüzeyi soğutularak veriler alındı, hesaplandı ve soğutma uygulamasız panelin sonuçları ile karşılaştırıldı. Deneyler yılın farklı aylarında gerçek güneş ışığı altında sistematik olarak yapıldı ve kaydedildi. Elde edilen veriler kullanılarak panelin performansını belirlenmesi için de verim hesabı yapıldı. Verim hesabı yapılırken fotovoltaik hücre için yapılan verimin hesaplaması için hücrenin dolum faktörünün bilinmesi gereklidir.

3.5.1. Fotovoltaik Dolum Faktörünün (FF) Hesaplanması

Fotovoltaik panelin dolum faktörü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$FF = \frac{P_{\max}}{P_n} = \frac{V_{\max} I_{\max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.1)$$

Burada, FF dolum faktörü, $P_{\max}$ yük altındaki maksimum güç (W), $V_{\max}$ yük altında maksimum gerilim (V), $I_{\max}$ yük altında maksimum akım (A), P_n nominal güç (W), V_{oc} boşa açık devre gerilimi (V) ve I_{sc} boşa kısa devre akımı (A)'dır.

3.5.2. Güneş Paneli Sistem Verimliliği

Bir güneş hücresinin gücü,

$$P = I_m \times V_m \quad (3.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada, I_m maksimum akımı ve V_m ise maksimum gerilimi verir. Güneş panelinin ısı verimi ise,

$$Q = mc(\Delta T) = mc(T_c - T_g) \quad (3.3)$$

Burada, m panel ısı değiştiricisine giren su kütlesi, c suyun öz ısı kapasitesi, T_g panel ısı değiştiricinin giriş suyu sıcaklığı, T_c panel ısı değiştiricinin çıkış suyu sıcaklığıdır. Genel sistem verimliliği ise η_o ,

$$\eta_o = \eta_{\text{elect}} - \eta_{\text{th}} \quad (3.4)$$

ile verilir. Burada, η_{elect} elektrik verimliliği, η_{th} ise kararlı hal ısı verimliliğini verir.

3.5.3. Güneş Panelinin Elektrik ve Isı Verimi

Güneş panellerinin elektrik verimi,

$$\eta_{\text{elect}} = \frac{P}{AG} = \frac{I_m V_m}{AG} \quad (3.5)$$

eşitliği ile verilir. Burada, P gücü, A yüzey alanını ve G gelen güneş radyasyonunu verir. Güneş panellerinin ısı verimi ise,

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q}{AG} = \frac{mc\Delta T}{AG} = \frac{mc(T_c - T_g)}{AG} \quad (3.6)$$

Burada Q panelden çekilen ısı, T_c çıkış suyu sıcaklığı ve T_g ise giriş suyu sıcaklığıdır.

3.5.4. Güneş Panelinin Isıl Ekserjisi

Bir güneş panelinin ısı ekserjisi,

$$\eta_{Ex} = \frac{\dot{E}x_{Isi,panel}}{A\dot{E}x_{rad,panel}} \quad (3.7)$$

eşitliği ile verilir. Burada, $\dot{E}x_{Isi,panel}$ panelden çekilen ısı ekserjisidir ve

$$\dot{E}x_{Isi,panel} = \dot{Q}_{Isi,panel} \left\{ 1 - \frac{T_c}{T_o} \right\} \quad (3.8)$$

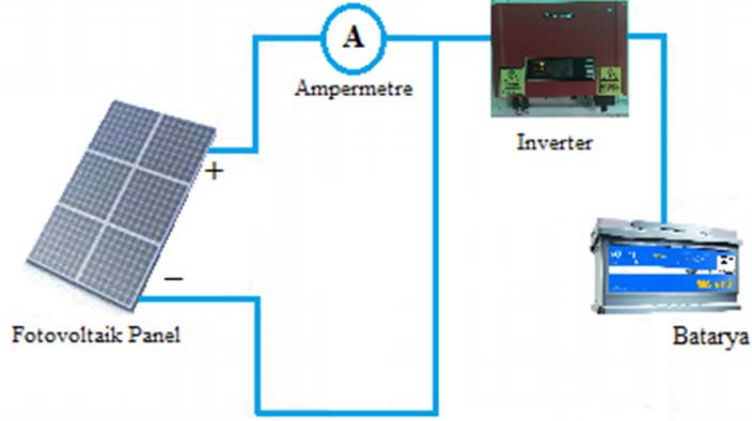
eşitliği ile verilir. Burada, $\dot{Q}_{Isi,panel}$ panelden çekilen ısıyı verir. T_c çıkış suyu sıcaklığı ve T_o ise çevre sıcaklığıdır. Sıcaklık değerleri Kelvin cinsinden alınmıştır. Panel yüzeyine gelen güneş enerjisinin ekserjisi, $\dot{E}x_{Isi,panel}$ eşitliği ile verilir.

$$\dot{E}x_{rad,panel} = \dot{G}_p \left\{ 1 - \frac{4T_o}{3T_s} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_o}{T_s} \right)^4 \right\} \quad (3.9)$$

Burada, $\dot{G}_p$ panel yüzeyine gelen güneş radyasyonunu, T_o çevre sıcaklığını, T_s ise güneşin yüzey (≈ 6000 K) sıcaklığını verir.

3.5.5. Kapalı Devre Akımının Ölçülmesi

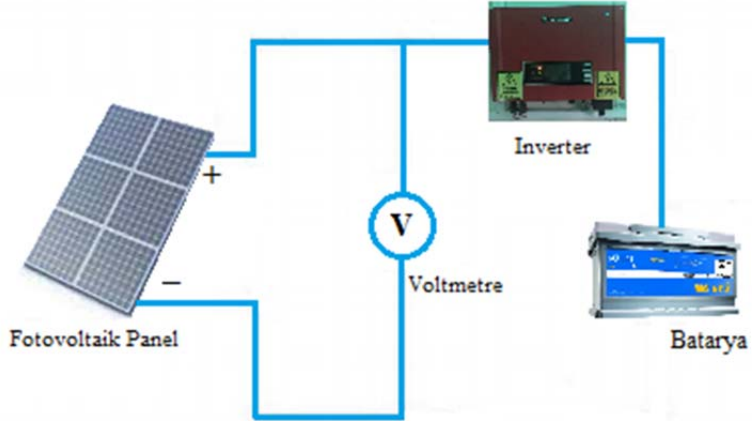
Sistem üzerinde herhangi bir güç kaynağı bağlı bulunmaksızın ölçülen akım değeridir. Kapalı devre gerilimi $V_{oc} = 0$ 'dır. Holdpeak 850-A ölçüm cihazı ile ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.14. Kapalı devre sistem akım ölçüm şeması

3.5.6. Açık Devre Geriliminin Ölçülmesi

Sistemin voltmetre ile ölçülen gerilimidir. Sistemde $I_{sc} = 0$ 'dır. Holdpeak 850-A cihazı ile ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.15. Açık devre geriliminin ölçüm şeması

3.5.7. Panellerin Standart Test Koşullarında Değerlendirilmesi

Panel üreticilerinin laboratuvar koşullarında yaptıkları performans değerlendirmeleri sonucu elde edilen verilerdir.

$$I_{sc}(STK) = \frac{I_{sc}(\frac{1000}{E})}{[1+\alpha(T_m-25)]} \quad (3.10)$$

Burada, $I_{sc}(STK)$ standart test koşullarına dönüştürülen kısa devre akımı (A), E ölçüm koşullarındaki ışıyım şiddeti (W/m^2), T_m ölçüm koşullarında hücre sıcaklığı (C), α akım sıcaklık düzeltme katsayısı (%/K) ve I_{sc} boшта kısa devre akımı (A)'dır.

$$V_{oc}(STK) = \frac{V_{oc}}{[1+\beta(T_m-25)][1+\delta(\ln E - \ln 1000)]} \quad (3.11)$$

Burada $V_{oc}(STK)$ standart test koşullarında dönüştürülen açık devre gerilimi (V), T_m ölçüm koşullarında hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$), E ölçüm koşullarındaki ışıyım şiddeti (W/m^2), V_{oc} boшта açık devre gerilimi (V), δ gerilim ışıyım düzeltme katsayısı (%/K) ve β gerilim sıcaklık düzeltme katsayısı (%/K)'dır. $P_{max}(STK)$ standart test koşullarına dönüştürülen maksimum güç (W)'tür.

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



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Su Soğutmasız Tekkristal Fotovoltaik Panel Verim İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında; deneyler Adana ilinde 30° panel eğim açısı ile panel yüzeyi su soğutma uygulaması yapılmadan belirtilen ayların tüm günlerinde alınan verilerin rüzgar, ortam sıcaklığı, panel içi sıcaklık ve verim değerleri dikkate alındığında, genel olarak sıcaklık ve rüzgar değerleri panel verimliliğine olumlu veya olumsuz etkisi olduğu için bu değerlere en uygun günler seçilmiş ve o ayların seçilen günlerine ait güç değerleri, güneş radyasyonu, iç panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı verileri Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3.'te belirtilmiştir.

Tablo 4.1.'de, 20 Ekim 2018 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerinde elde edilen verilere göre panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 39,1 W ve maksimum 136,70 W, güneş radyasyon değerleri ise minimum 232 W/m² ve maksimum 824 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 24 °C ve maksimum 52 °C, ortam sıcaklığı minimum 22 °C ve maksimum 41 °C olarak ölçülmüştür. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 18 km/sa iken panel verimi minimum %12,24 ve maksimum %15,10 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel sıcaklığı 24 °C, rüzgar hızı 0 km/sa ve güneş radyasyonu 232 W/m² iken %15,10 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.1. Güneş panelinin su soğutmasız 20 Ekim 2018'e ait verileri

Zaman	P_{out} (W)	Güneş Rad. (W/m ²)	Panel İç Sıc. (°C)	Ortam Sıc. (°C)	Rüzgar Hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	39,42	232	24	22	0	15,10
10:00	100,5	614	42	31	18	14,56
12:00	136,7	824	46	34	17	14,75
14:00	112,7	720	52	41	6	13,92
16:00	39,1	284	37	31	15	12,24

Tablo 4.2.'de 17 Ocak 2019 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerindeki verilerden; panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 29,44 W ve maksimum 170 W, güneş radyasyon değerleri minimum 235 W/m² ve maksimum 942 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 13 °C ve maksimum 34 °C, ortam sıcaklığı minimum 10 °C ve maksimum 19 °C olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 26 km/sa iken panel verimi minimum %11,28 ve maksimum %15,10 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel sıcaklığı 34 °C, rüzgar hızı 9 km/sa ve güneş radyasyonu 942 W/m² iken %15,10 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2. Güneş panelinin su soğutmasız 17 Ocak 2019'a ait verileri

Zaman	P_{out} (W)	Güneş Rad. (W/m ²)	Panel İç Sıc. (°C)	Ortam Sıc. (°C)	Rüzgar Hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	51,7	351	17	10	0	13,10
10:00	127	795	32	19	0	14,20
12:00	170	942	34	19	9	15,10
14:00	122,8	738	31	18	7	14,80
16:00	29,44	235	13	11	26	11,28

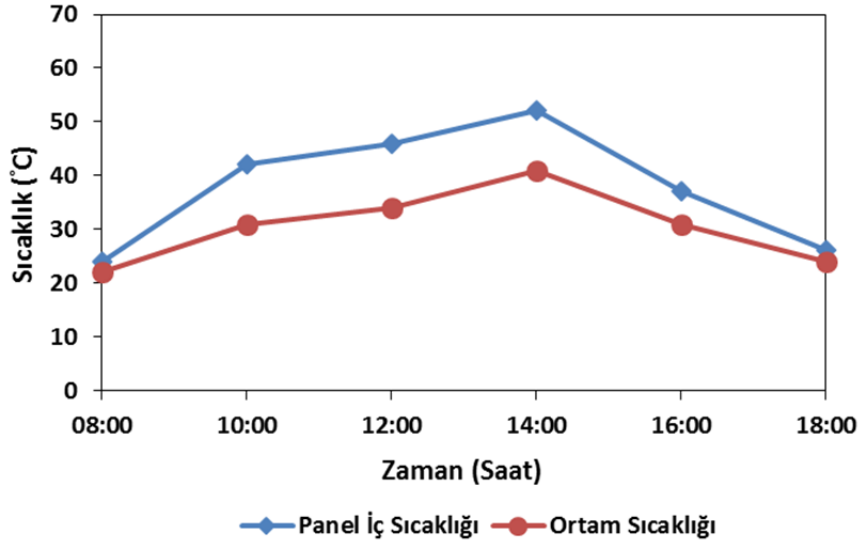
Tablo 4.3'te 22 Mayıs 2019 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerindeki verilerden, panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 27 W ve maksimum 141,6 W, güneş radyasyon değerleri minimum 149 W/m² ve maksimum 917 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 27 °C ve maksimum 65 °C, ortam sıcaklığı minimum 24 °C ve maksimum 52 °C olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 13 km/sa iken panel verimi minimum %13,54 ve maksimum %15,00 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel sıcaklığı 27 °C, rüzgar hızı 9 km/sa ve güneş radyasyonu 215 W/m² iken %15 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.3. Güneş panelinin su soğutmasız 22 Mayıs 2019'a ait verileri

Zaman	P_{out} (W)	Güneş rad. (W/m^2)	Panel iç Sıc. ($^{\circ}C$)	Ortam sıc. ($^{\circ}C$)	Rüzgar hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	36,2	215	27	24	9	15,00
10:00	109,3	698	54	43	0	13,92
12:00	141,6	917	62	51	13	13,73
14:00	131,6	864	65	52	4	13,54
16:00	81,8	531	50	43	7	13,70
18:00	27	149	35	32	13	14,50

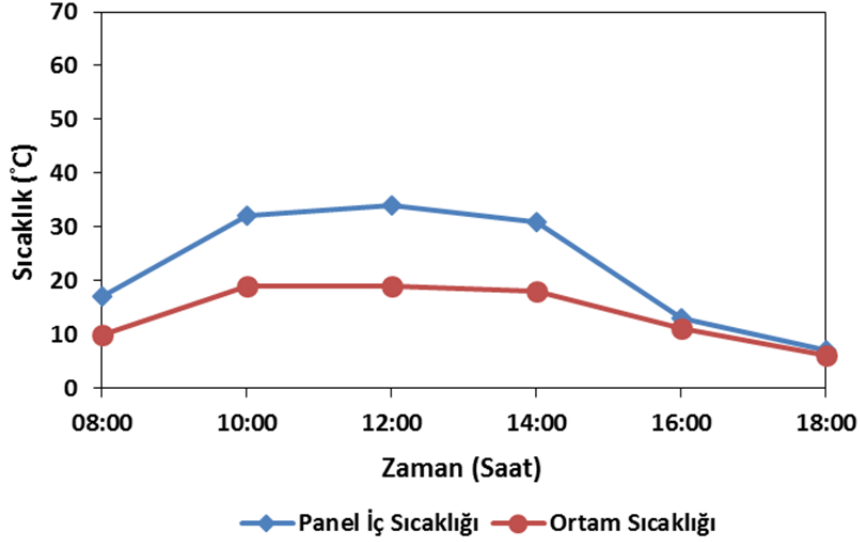
Güneş panelinin su soğutmasız seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019'a ait “zamana bağlı panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı” grafikleri Şekil 4.1.1, Şekil 4.1.2 ve Şekil 4.1.3.'te gösterilmektedir.

Şekil 4.1.1'de 20 Ekim 2018 gününe ait minimum panel sıcaklığı $24^{\circ}C$ ve maksimum panel sıcaklığı $52^{\circ}C$, minimum ortam sıcaklığı $22^{\circ}C$, maksimum ortam sıcaklığı $41^{\circ}C$ olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



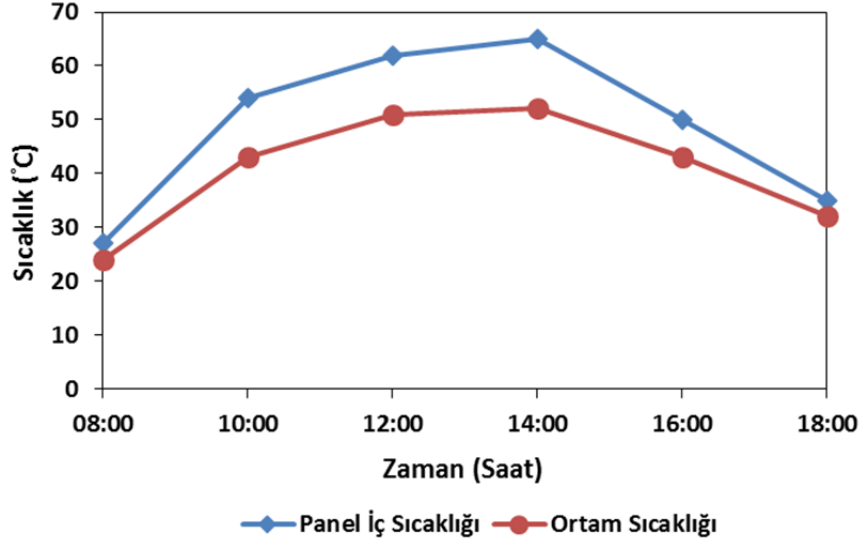
Şekil 4.1.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

Şekil 4.1.2.'de 17 Ocak 2019 gününe ait minimum panel sıcaklığı 13 °C ve maksimum panel sıcaklığı 34 °C, minimum ortam sıcaklığı 10 °C, maksimum ortam sıcaklığı 19 °C olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

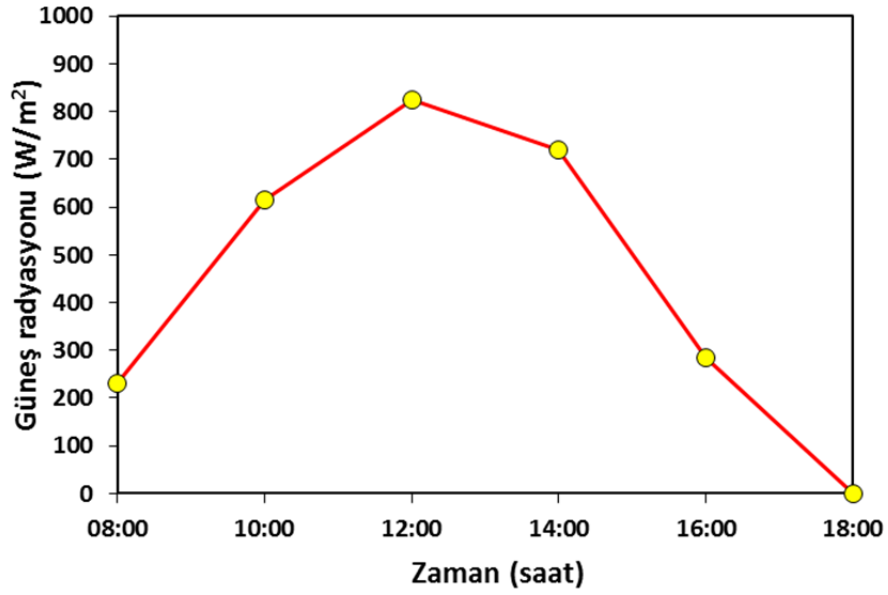
Şekil 4.1.3.'te 22 Mayıs 2019 gününe ait minimum panel sıcaklığı 27 °C ve maksimum panel sıcaklığı 65 °C, minimum ortam sıcaklığı 24 °C, maksimum ortam sıcaklığı 52 °C olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1.3. 22 Mayıs 2019’a ait su soğutmasız panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

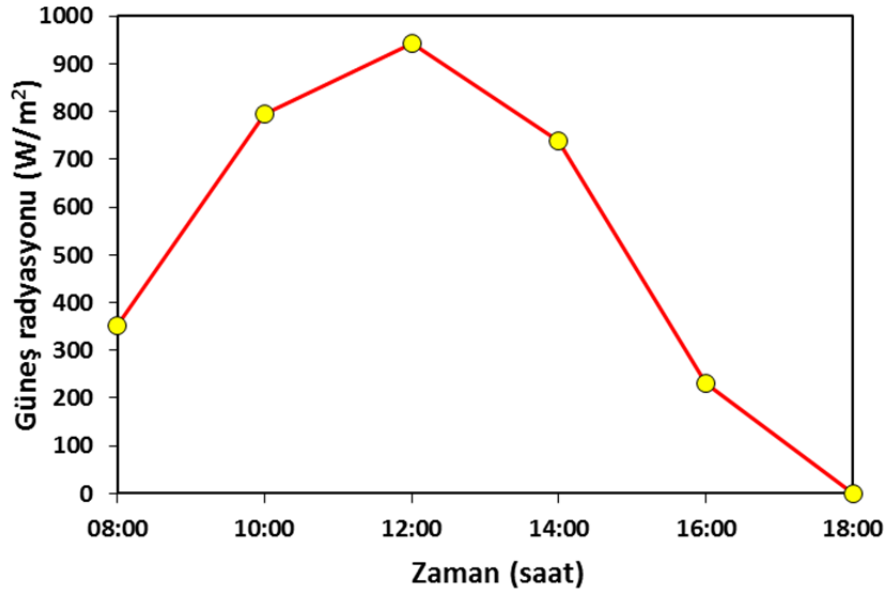
Güneş panelinin su soğutmasız seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “Güneş radyasyonu – zaman” grafikleri Şekil 4.2.1, Şekil 4.2.2 ve Şekil 4.2.3.’te gösterilmektedir.

Şekil 4.2.1’de 20 Ekim 2018 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum güneş radyasyonu 232 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 824 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafikte gösterilmektedir.



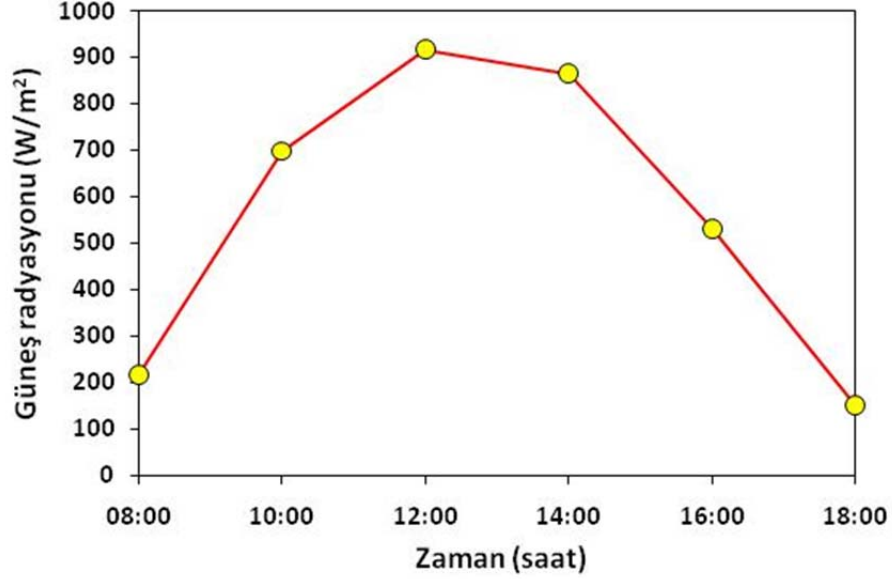
Şekil 4.2.1. 20 Ekim 2018 gününe ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyonunun zamanla değişimi

Şekil 4.2.2.'de 17 Ocak 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum Güneş radyasyonu 235 W/m^2 ve maksimum Güneş radyasyonu 942 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.2.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyonu - zamanla değişimi

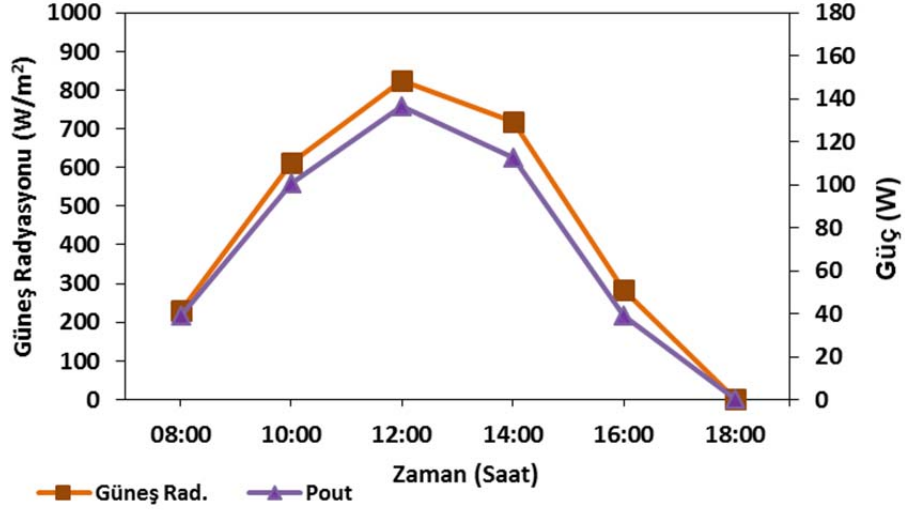
Şekil 4.2.3.'te 22 Mayıs 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum Güneş radyasyonu 149 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 917 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.2.3. 22 Mayıs 2019 gününe ait panel su soğutmasız Güneş radyasyonunun zaman değişimi

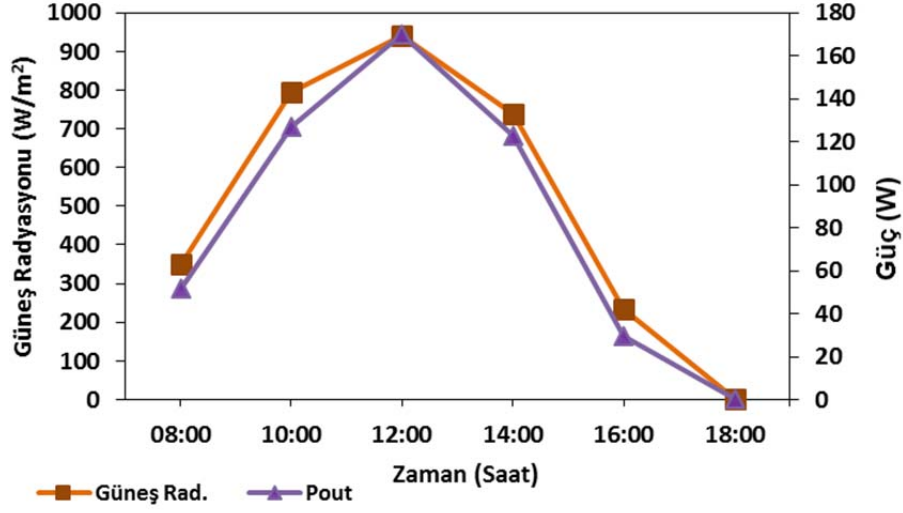
Güneş panelinin su soğutmasız seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “Güneş Radyasyonu-Güç” grafikleri Şekil 4.3.1, Şekil 4.3.2 ve Şekil 4.3.3’de gösterilmektedir.

Şekil 4.3.1’de ise 20 Ekim 2018 gününe ait minimum çıkış gücü 39,1 W ve maksimum çıkış gücü 136,7 W, minimum güneş radyasyonu 232 W/m² ve maksimum güneş radyasyonu 824 W/m² ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir. Veri aralığında maksimum güç 136,7 W, güneş radyasyonunun maksimum olduğu 824 W/m² olduğu anda elde edildiği gözlemlenmiştir.



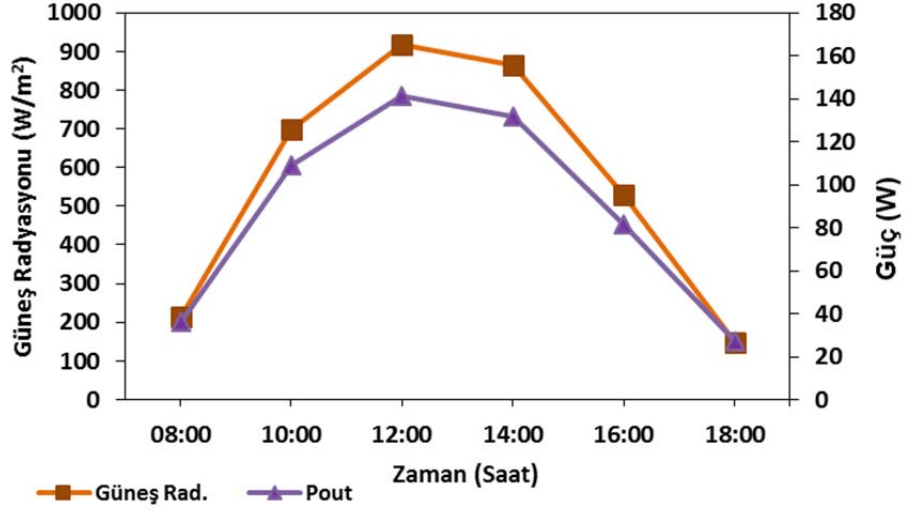
Şekil 4.3.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zaman bağlı Güneş radyasyonu-güç (P_{out}) dağılımı

Şekil 4.3.2'de 17 Ocak 2019 gününe ait minimum çıkış gücü 29,44 W ve maksimum çıkış gücü 170 W, minimum güneş radyasyonu 235 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 942 W/m^2 ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir. Veri aralığında maksimum güç 170 W, güneş radyasyonunun maksimum olduğu 942 W/m^2 olduğu anda elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zaman bağlı Güneş radyasyonu-güç (P_{out}) dağılımı

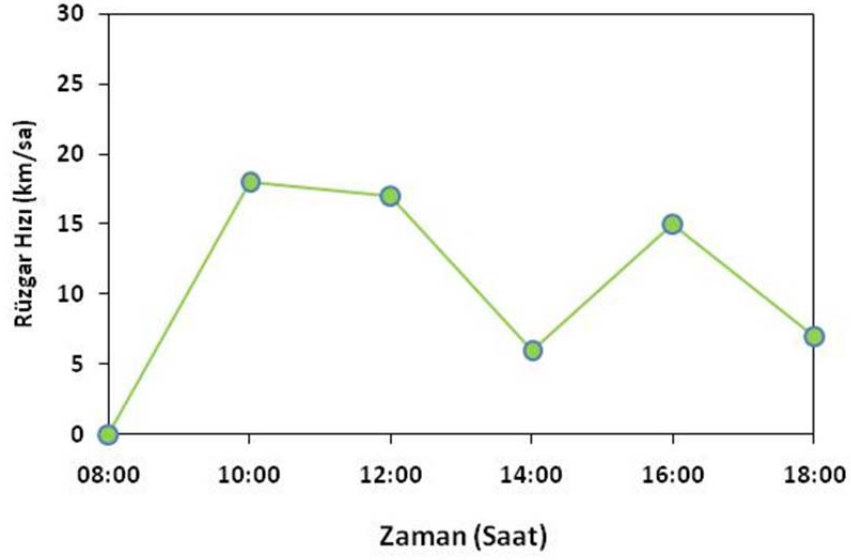
Şekil 4.3.3.'te 22 Mayıs 2019 gününe ait minimum çıkış gücü 27 W ve maksimum çıkış gücü 141,6 W, minimum güneş radyasyonu 149 W/m² ve maksimum güneş radyasyonu 917 W/m² ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir. Veri aralığında maksimum güç 141,6 W, güneş radyasyonunun maksimum olduğu 917 W/m² olduğu anda elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3.3. 22 Mayıs 2019’a ait su soğutmasız panelin Güneş radyasyon-güç (P_{out}) dağılımı

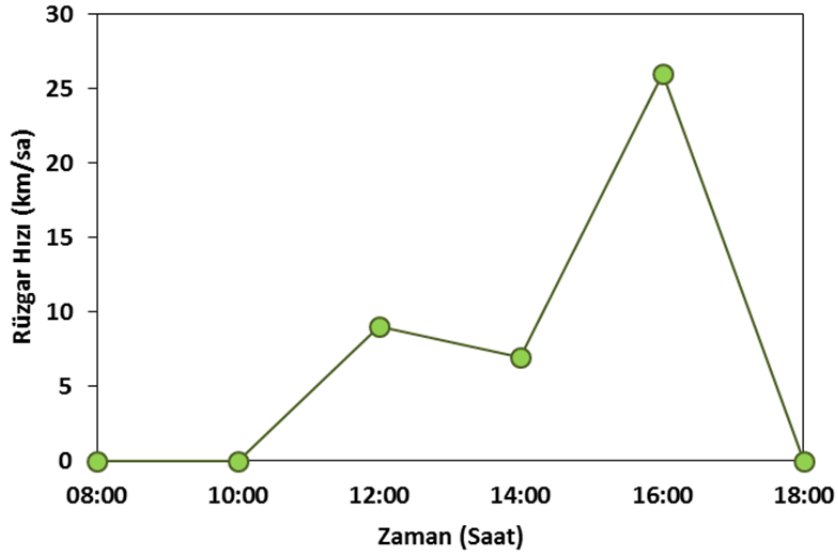
Güneş panelinin su soğutmasız seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “Rüzgar hızı – zaman” grafikleri Şekil 4.4.1, Şekil 4.4.2 ve Şekil 4.4.3’te gösterilmektedir.

Şekil 4.4.1’de 20 Ekim 2018 gününe ait minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 18 km/sa olarak ölçülmüştür.



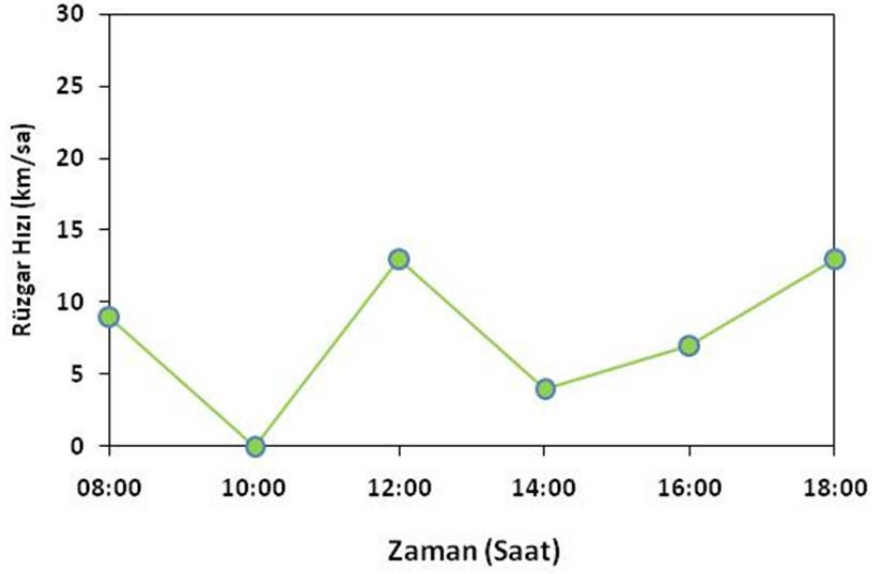
Şekil 4.4.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

Şekil 4.4.2'de 17 Ocak 2019 gününe ait minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 26 km/sa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.4.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

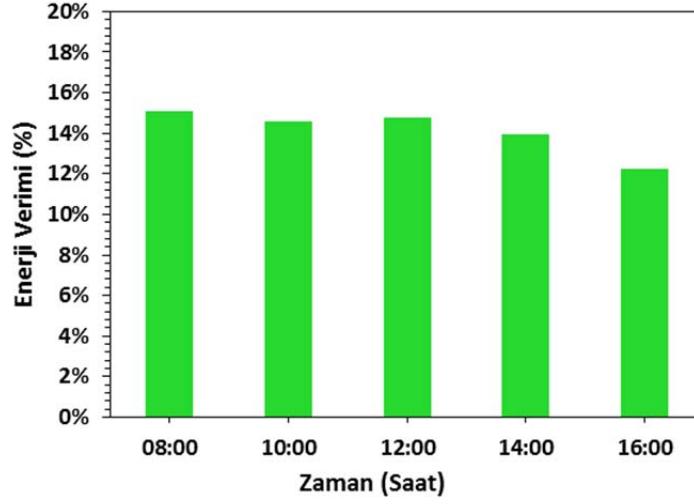
Şekil 4.4.3'te 22 Mayıs 2019 gününe ait minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 13 km/sa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.4.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

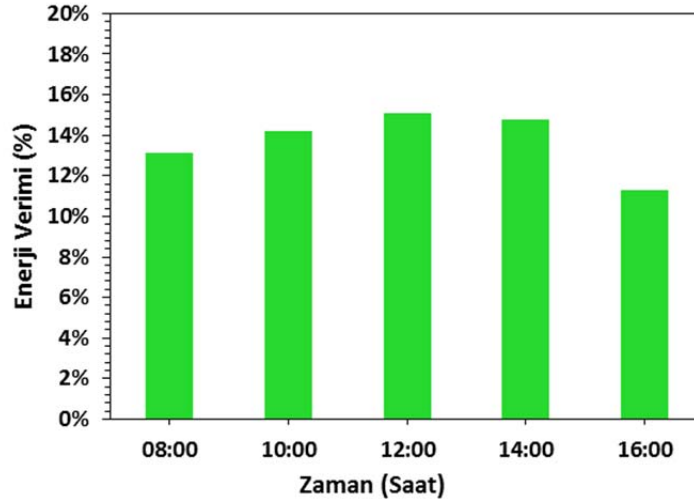
Güneş panelinin su soğutmasız seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019'a ait "Rüzgar-Verim" grafikleri Şekil 4.5.1, Şekil 4.5.2 ve Şekil 4.5.3'te gösterilmektedir.

Şekil 4.5.1'de 20 Ekim 2018 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %12,24 ve maksimum verim %15,10 olarak hesaplanmıştır.



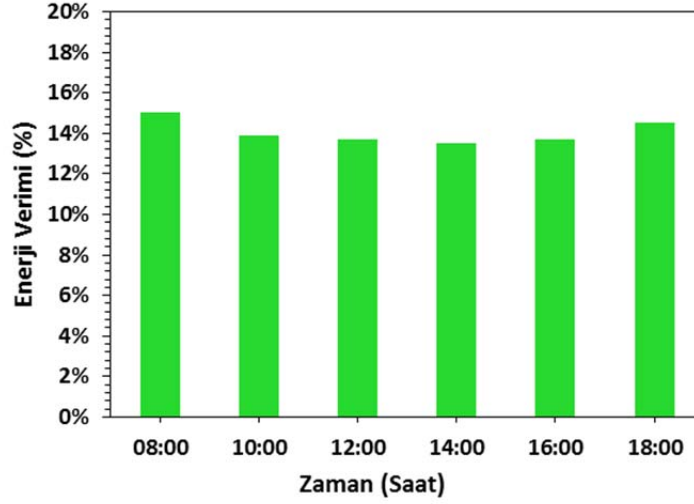
Şekil 4.5.1. 20 Ekim 2018'e ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı

Şekil 4.5.2'de 17 Ocak 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %11,28 ve maksimum verim %15,10 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5.2. 17 Ocak 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı

Şekil 4.5.3'te 22 Mayıs 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %13,54 ve maksimum verim %15,00 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5.3. 22 Mayıs 2019'a ait su soğutmasız panelin zamanla verim dağılımı

4.2. Su Soğutma Uygulamalı Tekkristal Fotovoltaik Panel Verim İncelenmesi

Sistemin verimliliği ve soğutma sonrası maksimum verim artışını sağlayacak debinin belirlenmesi ile ilgili deneyler 21–26 Ekim 2018 tarihleri arasında güneşli günlerde yapılmış ve sonuçları Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.4. 21 Ekim 2018’e ait 1 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması

Zaman	P _{out} (W)	Gün. rad. (W/m ²)	Ortam sic. (°C)	Panel sic. (°C)	S.S. P.S. (°C)	Debi (L/dk)	Rü. hızı (km/sa)	S.Ö. P.V. (%)	S.S. P.V. (%)
07:55-08:00	19,76	129	19	20	18	1	8	13,58	13,62
09:55-10:00	27,1	162	20	24	22	1	0	14,89	14,94
11:55-12:00	148,4	883	29	42	40	1	18	14,94	15,03
13:55-14:00	134,0	806	33	46	43	1	12	14,78	14,87
15:55-16:00	45,0	321	25	30	26	1	12	12,48	12,53

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Halil İbrahim ÖKSÜZ

Tablo 4.4.'te 21 Ekim 2018 gününe ait panel su soğutma işlemi 1 L/dk debide 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Elde edilen verim artışı ortalaması %0,448'dir.

Tablo 4.5. 22 Ekim 2018'e ait 2 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması

Zaman	P _{out} (W)	Gün. rad. (W/m ²)	Ortam sıc. (°C)	Panel sıc. (°C)	S.S. P.S. (°C)	Debi (L/dk)	Rü. hızı (km /sa)	S.Ö. P.V. (%)	S.S. P.V. (%)
07:55- 08:00	31	202	19	22	20	2	0	13,60	13,64
09:55- 10:00	45,0	264	26	31	29	2	3	15,14	15,27
11:55- 12:00	26,6	157	27	32	29	2	0	15,07	15,14
13:55- 14:00	139,1	861	45	58	53	2	4	14,37	14,53
15:55- 16:00	29,4	187	33	37	34	2	0	13,98	14,07

Tablo 4.5'te 22 Ekim 2018 gününe ait panel su soğutma işlemi 2 L/dk debide 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Elde edilen verim artışı ortalaması %0,671'dir.

Tablo 4.6. 23 Ekim 'e ait 4 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması

Zaman	P _{out} (W)	Gün. rad. (W/m ²)	Ortam sıc. (°C)	Panel sıc. (°C)	S.S. P.S. (°C)	Debi (L/dk)	Rü. hızı (km /sa)	S.Ö. P.V. (%)	S.S. P.V. (%)
07:55- 08:00	29,7	175	20	23	21	4	0	15,04	15,09
09:55- 10:00	104,2	632	29	39	34	4	6	14,66	14,97
11:55- 12:00	130,0	799	39	50	42	4	15	14,45	14,79
13:55- 14:00	101,6	637	35	44	37	4	21	14,18	14,46
15:55- 16:00	27,6	186	29	33	28	4	18	13,22	13,51

Tablo 4.6.'da 23 Ekim 2018 gününe ait panel su soğutma işlemi 4 L/dk debide 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Elde edilen verim artışı ortalaması %1,79'dur.

Tablo 4.7. 24 Ekim 2018'e ait 6 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması

Zaman	P _{out} (W)	Gün. rad. (W/m ²)	Ortam sıc. (°C)	Panel sıc. (°C)	S.S. P.S. (°C)	Debi (L/dk)	Rü. hızı (km /sa)	S.Ö. P.V. (%)	S.S. P.V. (%)
07:55- 08:00	28,6	162	20	23	19	6	0	15,21	15,70
09:55- 10:00	111,7	662	38	48	37	6	5	14,47	15,00
11:55- 12:00	116,9	688	33	42	33	6	7	14,56	15,10
13:55- 14:00	96,4	579	40	48	37	6	8	14,20	14,80
15:55- 16:00	41,5	234	25	27	23	6	5	15,21	15,80

Tablo 4.7.'de 24 Ekim 2018 gününe ait panel su soğutma işlemi 6 L/dk debide 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Elde edilen verim artışı ortalaması %3,73'tür.

Tablo 4.8. 26 Ekim'e ait 8 L/dk debi ile 5 dk boyunca uygulanan panel su soğutma uygulaması

Zaman	P _{out} (W)	Gün. rad. (W/m ²)	Ortam sıc. (°C)	Panel sıc. (°C)	S.S. P.S. (°C)	Debi (L/dk)	Rü. hızı (km /sa)	S.Ö. P.V. (%)	S.S. P.V. (%)
07:55- 08:00	40,7	233	15	18	16	8	6	15,17	15,54
09:55- 10:00	130,1	755	29	41	31	8	0	15,32	15,83
11:55- 12:00	166,2	982	37	51	40	8	0	15,05	15,67
13:55- 14:00	157,5	908	28	42	32	8	8	15,42	15,94
15:55- 16:00	42,4	308	22	29	22	8	5	12,26	12,83

Tablo 4.8.'de 26 Ekim 2018 gününe ait panel su soğutma işlemi 8 L/dk debide 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Elde edilen verim artışı ortalaması %3,58'dir.

Elde ettiğimiz veriler neticesinde 6 L/dk debi oranından sonra alınan debi miktarı 8 L/dk ve sonraki debi miktarlarında önemli derecede artış sağlayamayacağı ve aynı zamanda boşa su israfına neden olabileceği belirlendi. En uygun debi miktarının 6 L/dk olacağına karar verildi. Belirlenen aylarda panel yüzeyi su soğutma uygulaması yapıldı ve aynı şekilde rüzgar, ortam sıcaklığı, panel içi sıcaklık ve verim değerleri dikkate alındı. Ayların seçilen günlerinde 6 L/dk su soğutma uygulaması 5 dakika boyunca uygulandı, güç değerleri ve tabloları, güneş radyasyonu, iç panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı verileri Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te belirtilmiştir.

Tablo 4.9. Su soğutmalı güneş panelinin 24 Ekim 2018'e ait verileri

Zaman	P_{out} (W)	Güneş rad. (W/m ²)	Panel iç Sıc. (°C)	Ortam sıc. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	28,6	162	19	20	6	0	15,70
10:00	111,7	662	37	38	6	5	15,00
12:00	116,9	688	33	33	6	7	15,10
14:00	96,4	579	37	40	6	8	14,80
16:00	41,5	234	23	25	6	5	15,80

Tablo 4.9'da 24 Ekim 2018 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerindeki verilerden; panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 28,6 W ve maksimum 116,9 W, güneş radyasyon değerleri minimum 162 W/m² ve maksimum 688 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 19 °C ve maksimum 37 °C, ortam sıcaklığı minimum 20 °C ve maksimum 40 °C, debi 6 L/dk olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 8 km/sa iken panel verimi minimum %14,8 ve maksimum %15,8 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel

sıcaklığı 23 °C, rüzgar hızı 5 km/sa, debi 6 L/dk ve güneş radyasyonunu 234 W/m² iken %15,80 olarak ölçülmüştür. Su soğutma uygulaması sonucunda tekkrystal güneş panelinde verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.10. Su soğutmalı güneş panelinin 13 Ocak 2019'a ait verileri

Zaman	P _{out} (W)	Güneş Rad. (W/m ²)	Panel iç Sıc. (°C)	Ortam Sıc. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar Hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	39,25	301	14	11	6	28	11,60
10:00	84,1	512	20	14	6	9	14,60
12:00	125,7	709	22	14	6	21	15,75
14:00	93,12	592	21	15	6	29	14,00
16:00	37,86	237	11	10	6	0	14,20

Tablo 4.10'da 13 Ocak 2019 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerindeki verilerden; panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 37,86 W ve maksimum 125,7 W, güneş radyasyon değerleri minimum 237 W/m² ve maksimum 709 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 11 °C ve maksimum 22 °C, ortam sıcaklığı minimum 10 °C ve maksimum 15 °C, debi 6 L/dk olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 29 km/sa iken panel verimi minimum %11,60 ve maksimum %15,75 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel sıcaklığı 22 °C, rüzgar hızı 21 km/sa, debi 6 L/dk ve güneş radyasyonunu 709 W/m² iken %15,75 olarak ölçülmüştür. Su soğutma uygulaması sonucunda tekkrystal güneş panelinde verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.11. Su soğutmalı güneş panelinin 17 Mayıs 2019'a ait verileri

Zaman	P _{out} (W)	Güneş rad. (W/m ²)	Panel iç sıc. (°C)	Ortam sıc. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar hızı (km/sa)	Verim (%)
08:00	48,75	277	26	29	6	0	15,60
10:00	113,8	700	45	44	6	0	14,40
12:00	149,2	938	56	53	6	0	14,10
14:00	140,9	896	53	53	6	7	13,97
16:00	87,7	558	46	48	6	11	14,00
18:00	35,4	226	27	34	6	4	13,96

Tablo 4.11.'de 17 Mayıs 2019 tarihinde günün güneşlenme süresine göre belirlenen saatlerindeki verilerden; panel çıkış gücü (P_{out}) minimum 35,4 W ve maksimum 149,2 W, güneş radyasyon değerleri minimum 226 W/m² ve maksimum 938 W/m² dir. Panel sıcaklığı minimum 26 °C ve maksimum 56 °C, ortam sıcaklığı minimum 29 °C ve maksimum 53 °C, debi 6 L/dk olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 11 km/sa iken panel verimi minimum %13,96 ve maksimum %15,60 olarak hesaplanmıştır. Maksimum verim ise panel sıcaklığı 26 °C, rüzgar hızı 0 km/sa, debi 6 L/dk ve güneş radyasyonunu 277 W/m² iken %15,60 olarak ölçülmüştür. Su soğutma uygulaması sonucunda tekkrystal güneş panelinde verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.12. 24 Ekim 2018'e ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi

Zaman	Panel sıc. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar hızı (km/sa)	Soğutma hızı (°C/dk)	Soğutma sonrası panel sıc. (°C)
07:55-08:00	23	6	0	0,70	19
09:55-10:00	48	6	5	2,24	37
11:55-12:00	42	6	7	1,88	33
13:55-14:00	48	6	8	2,18	37
15:55-16:00	27	6	5	0,84	23

Tablo 4.12.'de 24 Ekim 2018 tarihinde panel su soğutma uygulaması, hortuma bağlı debimetre ile ayarlanarak dakikada 6 L su ile 5 dakika boyunca soğutularak uygulanmıştır. Panel sıcaklığı minimum 23 °C ve maksimum 48 °C, debi 6 L/dk, rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 8 km/sa olarak ölçülmüştür. Soğutma hızı minimum 0,7 °C/dk ve maksimum 2,24 °C/dk, soğutma sonrası minimum panel sıcaklığı 19 °C ve maksimum 37 °C olarak ölçülmüştür. 09:55-10:00 saatleri arasında 48 °C olan panel sıcaklığı 5 dakika boyunca 2,24 °C/dk ile en fazla soğutma miktarına sahip olduğu gözlemlenmiş ve soğutma sonrası durumunda panel sıcaklığının 37 °C olduğu ölçülmüştür.

Tablo 4.13. 13 Ocak 2019'a ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi

Zaman	Panel sic. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar hızı (km/sa)	Soğutma hızı (°C/dk)	Soğutma sonrası panel sic. (°C)
07:55-08:00	15	6	28	0,24	14
09:55-10:00	23	6	9	0,60	20
11:55-12:00	25	6	21	0,64	22
13:55-14:00	24	6	29	0,61	21
15:55-16:00	12	6	0	0,12	11

Tablo 4.13'te 13 Ocak 2019 tarihinde panel su soğutma uygulaması, hortuma bağlı debimetre ile ayarlanarak dakikada 6 L su ile 5 dakika boyunca soğutularak uygulanmıştır. Panel sıcaklığı minimum 12 °C ve maksimum 25 °C, debi 6 L/dk olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 29 km/sa, soğutma hızı minimum 0,12 °C/dk ve maksimum 0,64 °C/dk, soğutma sonrası minimum panel sıcaklığı 11 °C ve maksimum 22 °C olarak ölçülmüştür. 11:55-12:00 saatleri arasında 25 °C olan panel sıcaklığı 5 dakika boyunca 0,64 °C/dk ile en fazla soğutma miktarına sahip olduğu gözlemlenmiş ve soğutma sonrası durumunda panel sıcaklığının 22 °C olduğu ölçülmüştür.

Tablo 4.14. 17 Mayıs 2019'a ait bir gün boyunca soğutma hızı analizi

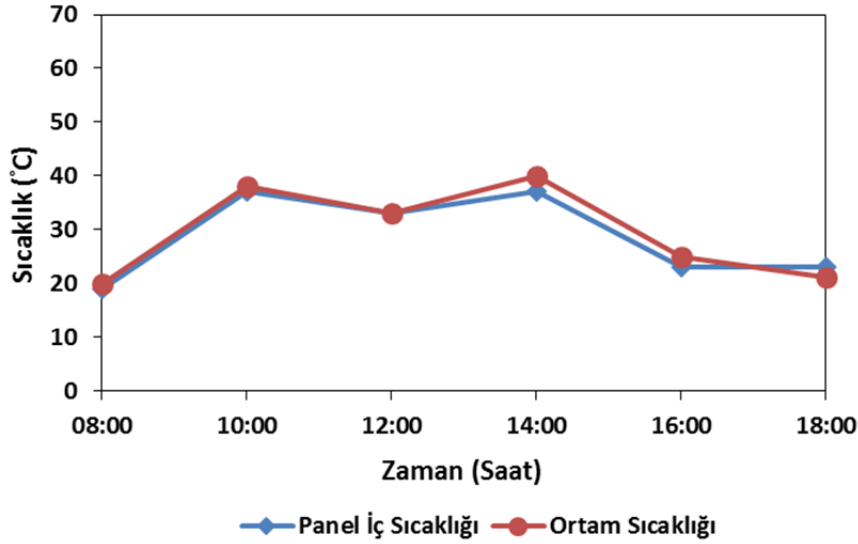
Zaman	Panel sic. (°C)	Debi (L/dk)	Rüzgar hızı (km/sa)	Soğutma hızı (°C/dk)	Soğutma sonrası panel sic. (°C)
07:55-08:00	36	6	0	1,86	26
09:55-10:00	56	6	0	2,22	45
11:55-12:00	67	6	0	2,19	56
13:55-14:00	63	6	7	1,97	53
15:55-16:00	56	6	11	1,93	46
17:55-18:00	36	6	4	1,88	27

Tablo 4.14'te 17 Mayıs 2019 tarihinde panel su soğutma uygulaması, hortuma bağlı debimetre ile ayarlanarak dakikada 6 L su ile 5 dakika boyunca soğutularak uygulanmıştır. Panel sıcaklığı minimum 36 °C ve maksimum 67 °C,

debi 6 L/dk olarak ölçüldü. Rüzgar hızı minimum 0 km/sa ve maksimum 11 km/sa, soğutma hızı minimum 1,86 °C/dk ve maksimum 2,22 °C/dk, soğutma sonrası minimum panel sıcaklığı 26 °C ve maksimum 56 °C olarak ölçülmüştür. 09:55-10:00 saatleri arasında 56 °C olan panel sıcaklığı 5 dakika boyunca 2,22 °C/dk ile en fazla soğutma miktarına sahip olduğu gözlemlenmiş ve soğutma sonrası durumunda panel sıcaklığının 45 °C olduğu ölçülmüştür.

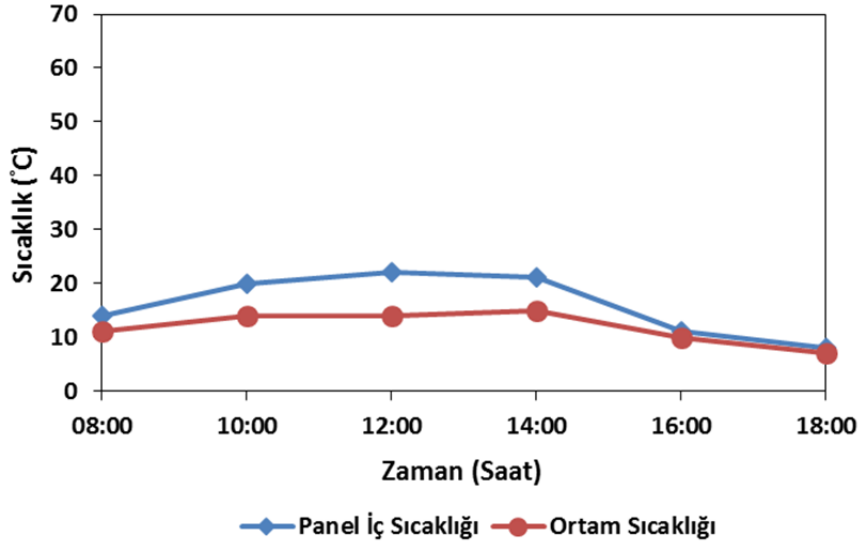
Güneş panelinin 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019'a ait “zamana bağlı panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı” grafikleri Şekil 4.6.1., Şekil 4.6.2., Şekil 4.6.3.'te gösterilmektedir.

Şekil 4.6.1.'de 24 Ekim 2018 gününe ait deney saatleri içerisinde 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum panel sıcaklığı 19,5 °C ve maksimum panel sıcaklığı 37,1 °C, minimum ortam sıcaklığı 20 °C ve maksimum panel sıcaklığı 40 °C olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



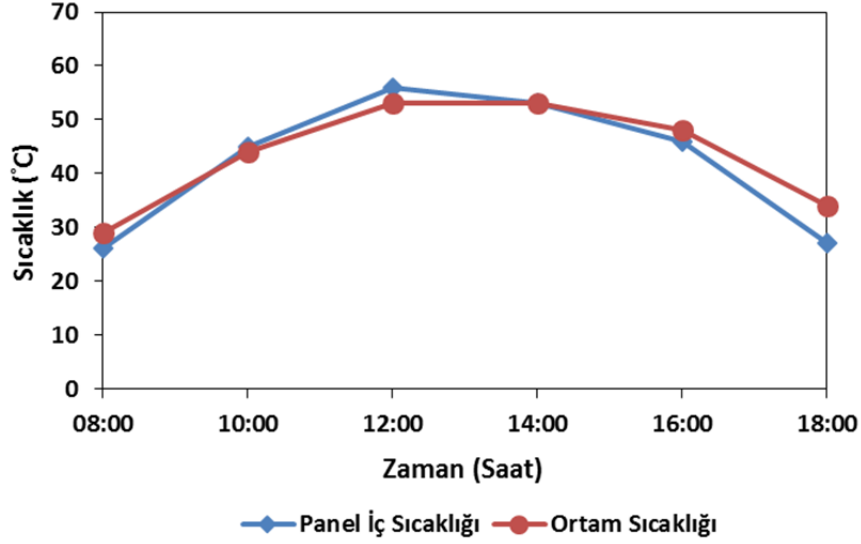
Şekil 4.6.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

Şekil 4.6.2’de 13 Ocak 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum panel sıcaklığı 11 °C ve maksimum panel sıcaklığı 22 °C, minimum ortam sıcaklığı 10 °C ve maksimum panel sıcaklığı 15 °C olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6.2. 13 Ocak 2019’a ait su soğutmalı panel zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

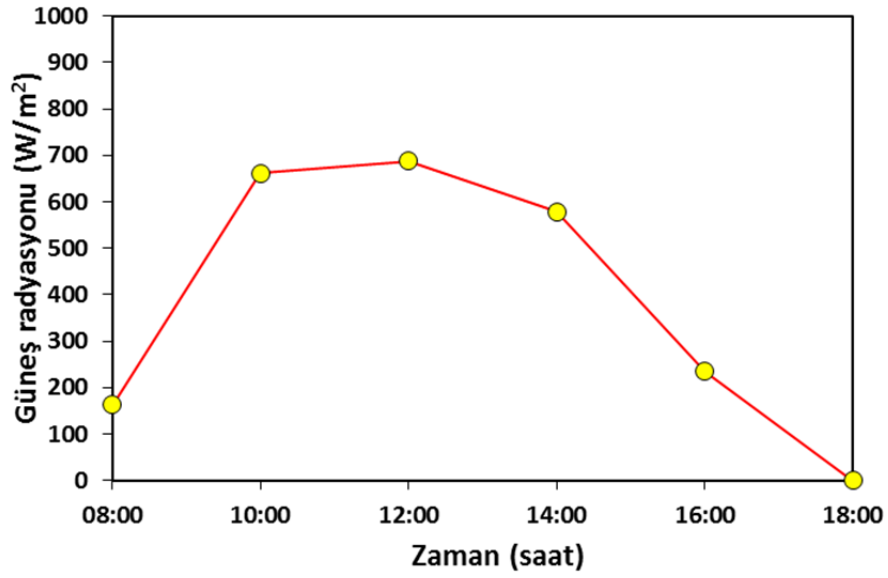
Şekil 4.6.3’te 17 Mayıs 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum panel sıcaklığı 26 °C ve maksimum panel sıcaklığı 56 °C, minimum ortam sıcaklığı 29 °C ve maksimum panel sıcaklığı 53 °C olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6.3. 17 Mayıs 2019’a ait su soğutmalı panelin zamana bağlı ortam ve panel sıcaklığı dağılımı

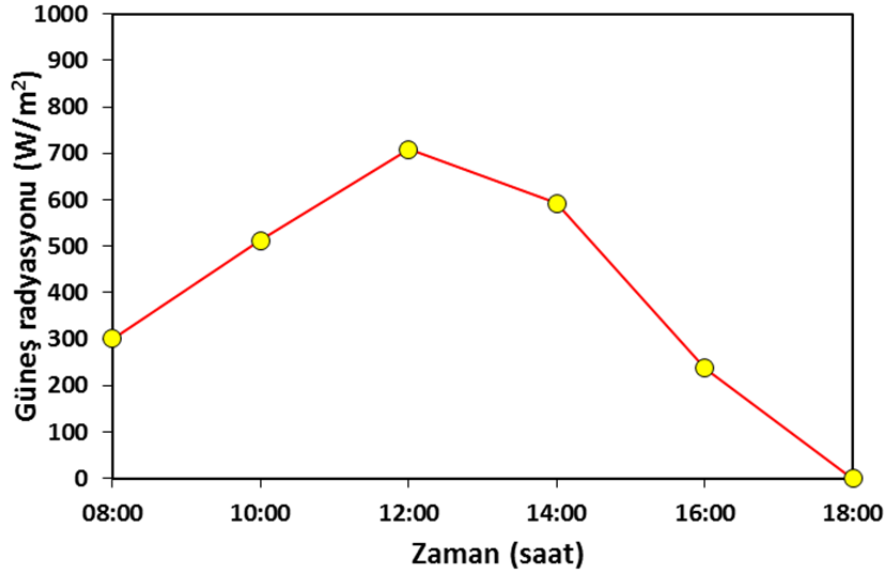
Güneş panelinin 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulamalı seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “Güneş radyasyonu – zaman” grafikleri Şekil 4.7.1., Şekil 4.7.2., Şekil 4.7.3.’te gösterilmektedir.

Şekil 4.7.1’de 24 Ekim 2018 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum güneş radyasyonu 162 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 688 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



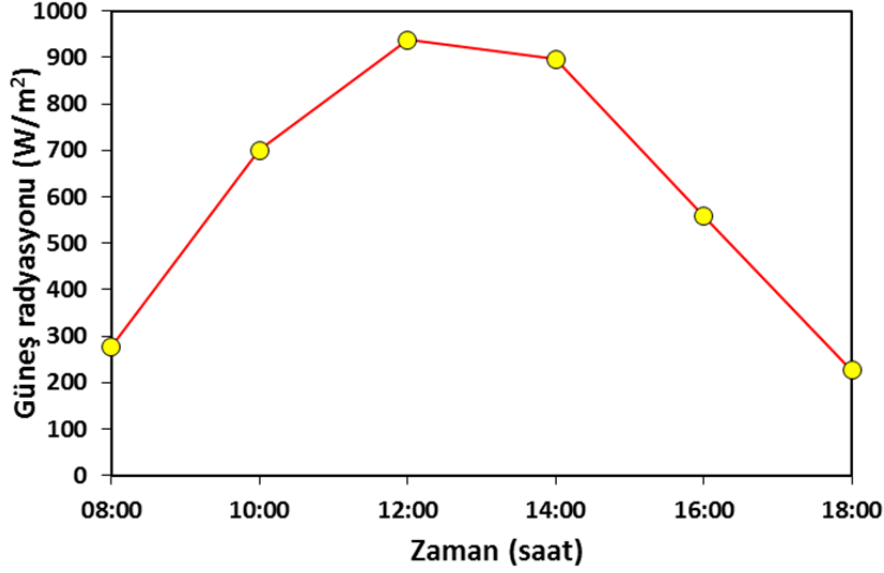
Şekil 4.7.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin güneş radyasyonunun zaman değişimi

Şekil 4.7.2'de 13 Ocak 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum güneş radyasyonu 237 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 709 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin güneş radyasyonunun zaman değişimi

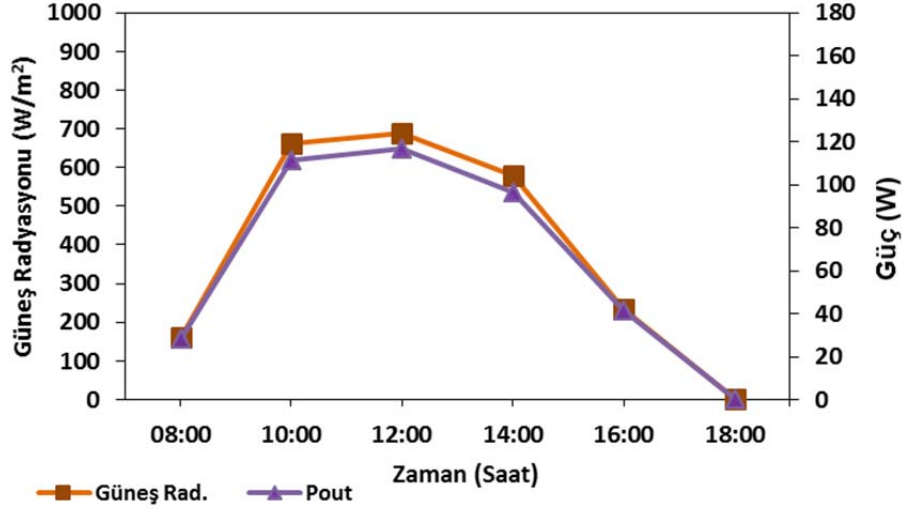
Şekil 4.7.3.'te 17 Mayıs 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde panel su soğutmalı minimum güneş radyasyonu 226 W/m^2 ve maksimum güneş radyasyonu 938 W/m^2 olarak ölçülmüş olup grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7.3. 17 Mayıs 2019’a ait su soğutmalı panelin güneş radyasyonunun zaman değişimi

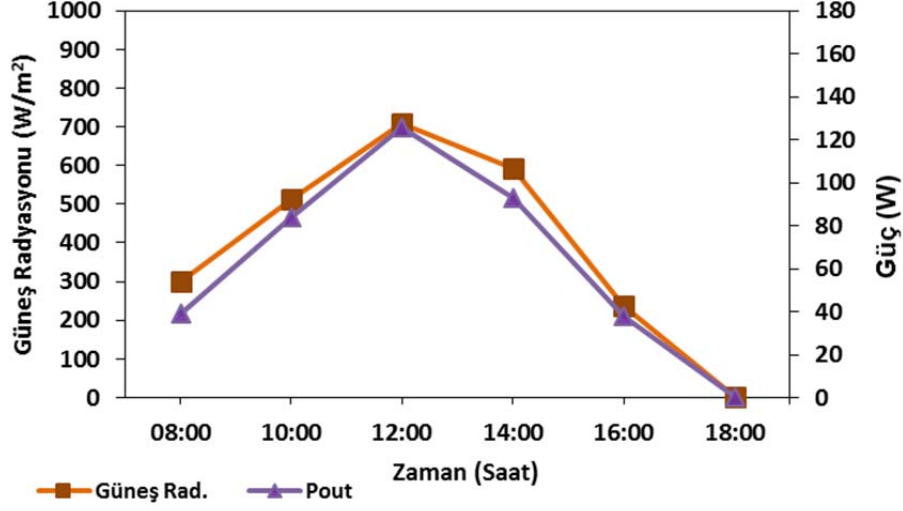
Güneş panelinin 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulamalı seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “Güneş radyasyonu-Güç” grafikleri Şekil 4.8.1, Şekil 4.8.2 ve Şekil 4.8.3’te gösterilmektedir.

Şekil 4.8.1’de 24 Ekim 2018 gününe ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum çıkış gücü 28,6 W ve maksimum çıkış gücü 116,9 W olarak ölçülmüş, minimum güneş radyasyonu 162 W/m² ve maksimum güneş radyasyonu 688 W/m² olup grafiği gösterilmiştir. Veri aralığında güneş radyasyonunun maksimum olduğu 688 W/m² değerinde maksimum panel çıkış gücü 116,9 W olarak hesaplanmıştır.



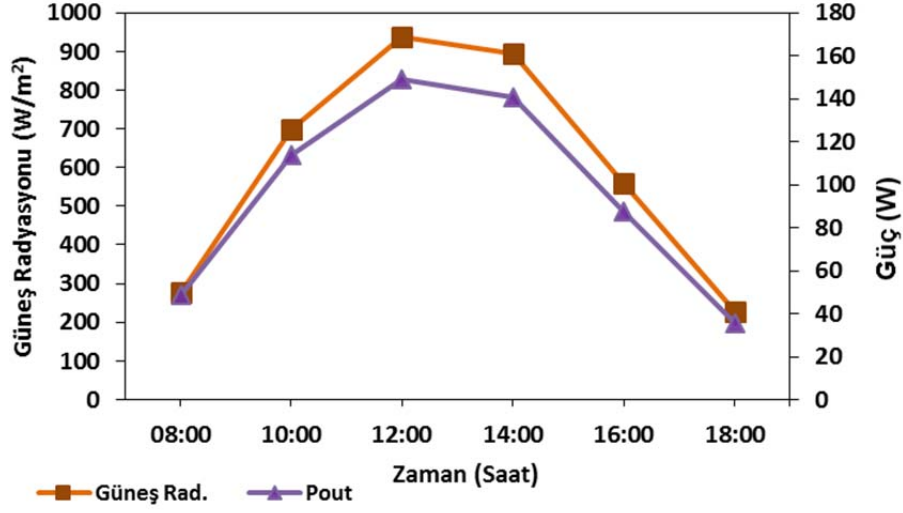
Şekil 4.8.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zaman bağlı güneş radyasyonu-güç (P_{out}) dağılımı

Şekil 4.8.2'de 13 Ocak 2019 gününe ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum çıkış gücü 37,86 W ve maksimum çıkış gücü 125,7 W olarak ölçülmüş, minimum güneş radyasyonu 237 W/m² ve maksimum güneş radyasyonu 709 W/m² olup grafikte gösterilmiştir. Veri aralığında güneş radyasyonunun maksimum olduğu 709 W/m² değerinde maksimum panel çıkış gücü 125,7 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zaman bağlı güneş radyasyonu - güç (P_{out}) dağılımı

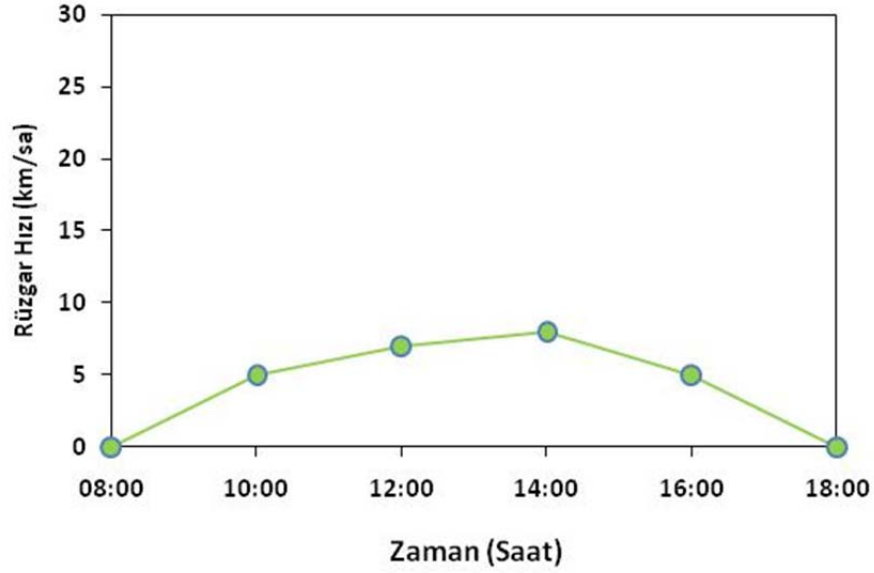
Şekil 4.8.3'te 17 Mayıs 2019 gününe ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması sonrası minimum çıkış gücü 35,4 W ve maksimum çıkış gücü 149,2 W olarak ölçülmüş, minimum güneş radyasyonu 226 W/m² ve maksimum güneş radyasyonu 938 W/m² olup grafiği gösterilmiştir. Veri aralığında güneş radyasyonunun maksimum olduğu 938 W/m² değerinde maksimum panel çıkış gücü 149,2 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin güneş radyasyonu-güç (P_{out}) dağılımı

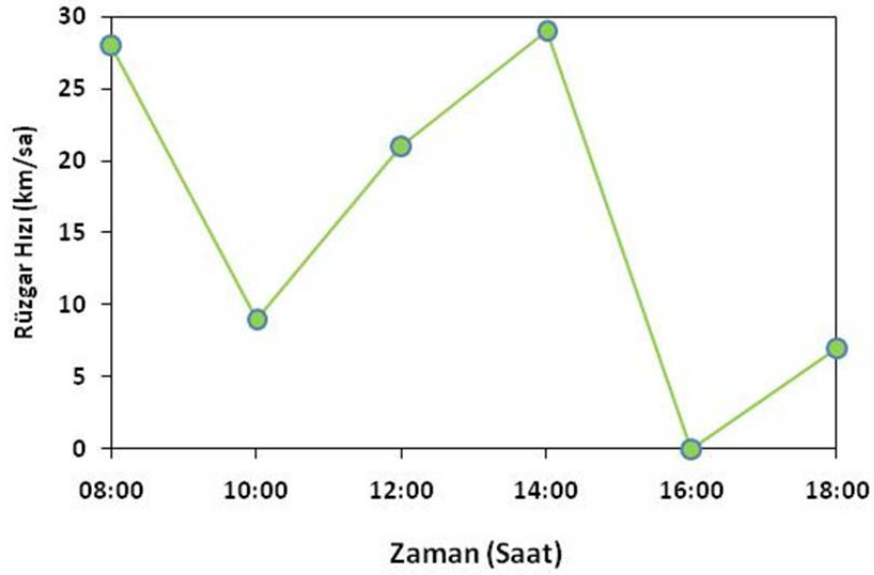
Güneş panelinin 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulamalı seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019'a ait "Rüzgar hızı-zaman" grafikleri Şekil 4.9.1, Şekil 4.9.2 ve Şekil 4.9.3'te gösterilmektedir.

Şekil 4.9.1'de 24 Ekim 2018'e ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması esnasında ölçülen minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 8 km/sa olarak ölçülmüştür.



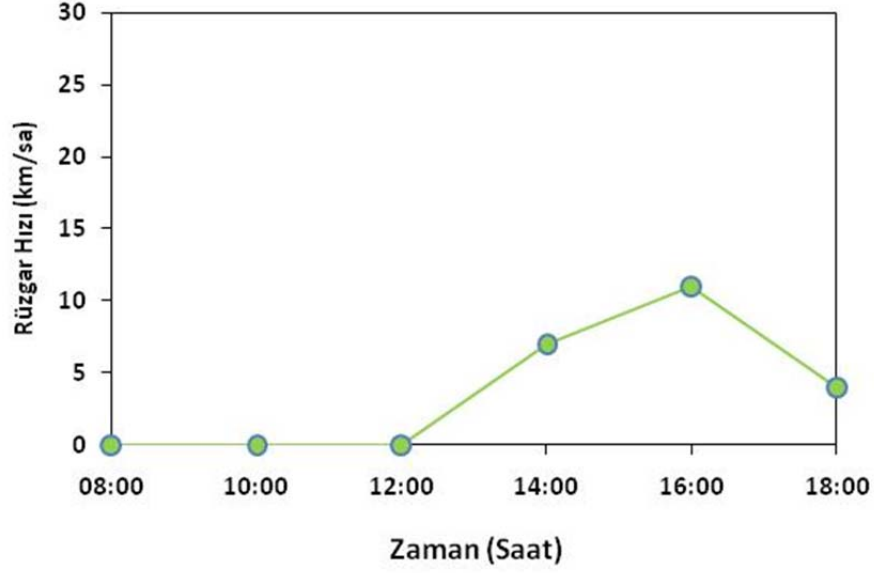
Şekil 4.9.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

Şekil 4.9.2'de 13 Ocak 2019 gününe ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması esnasında ölçülen minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 29 km/sa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

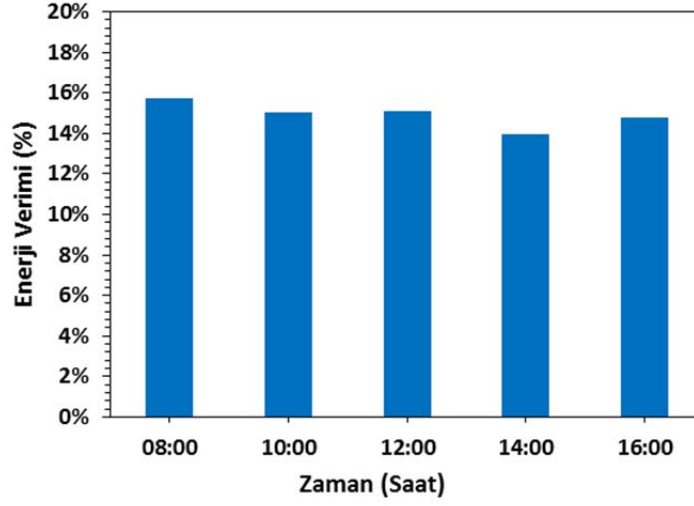
Şekil 4.9.3.'te 17 Mayıs 2019 gününe ait 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulaması esnasında ölçülen minimum rüzgar hızı 0 km/sa ve maksimum rüzgar hızı 11 km/sa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9.3. 17 Mayıs 2019’a ait su soğutmalı panelin zamanla rüzgar hızı dağılımı

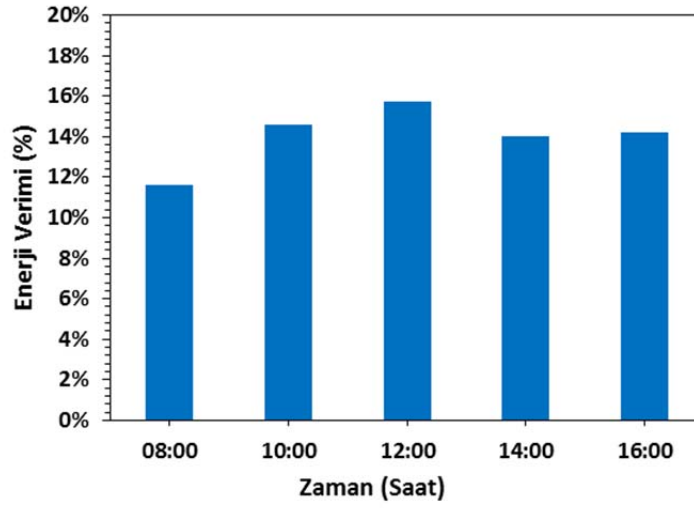
Güneş panelinin 5 dakika boyunca 6 L/dk su soğutma uygulamalı seçilmiş günlerdeki Ekim 2018, Ocak 2019 ve Mayıs 2019’a ait “verim – zaman” grafikleri Şekil 4.10.1, Şekil 4.10.2 ve Şekil 4.10.3’de gösterilmektedir.

Şekil 4.10.1’de 24 Ekim 2018 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %14,80 ve maksimum verim %15,80 olarak hesaplanmıştır.



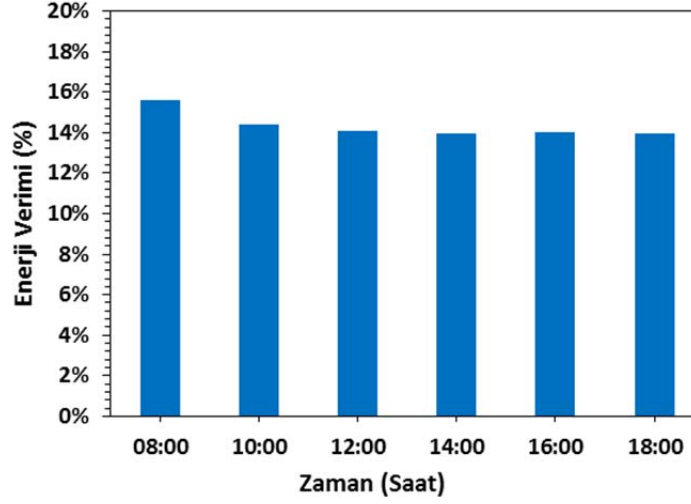
Şekil 4.10.1. 24 Ekim 2018'e ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı

Şekil 4.10.2'de 13 Ocak 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %11,60 ve maksimum verim %15,75 olarak hesaplanmıştır.



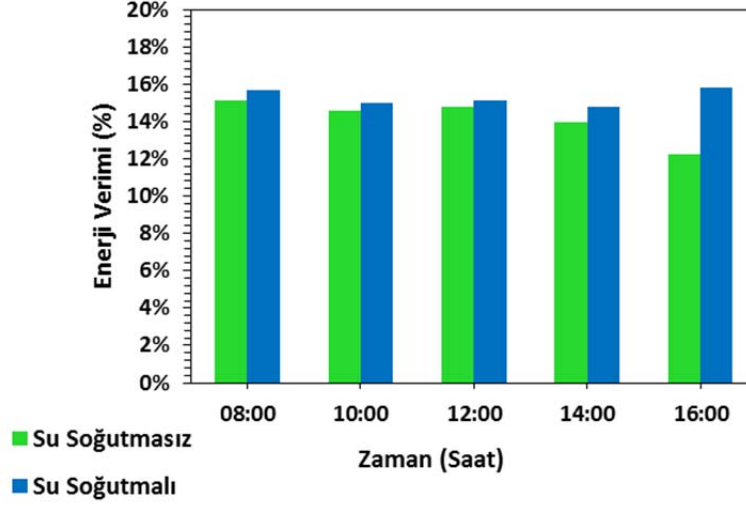
Şekil 4.10.2. 13 Ocak 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı

Şekil 4.10.3'te 17 Mayıs 2019 gününe ait deney saatleri içerisinde minimum verim %13,96 ve maksimum verim %15,60 olarak hesaplanmıştır.



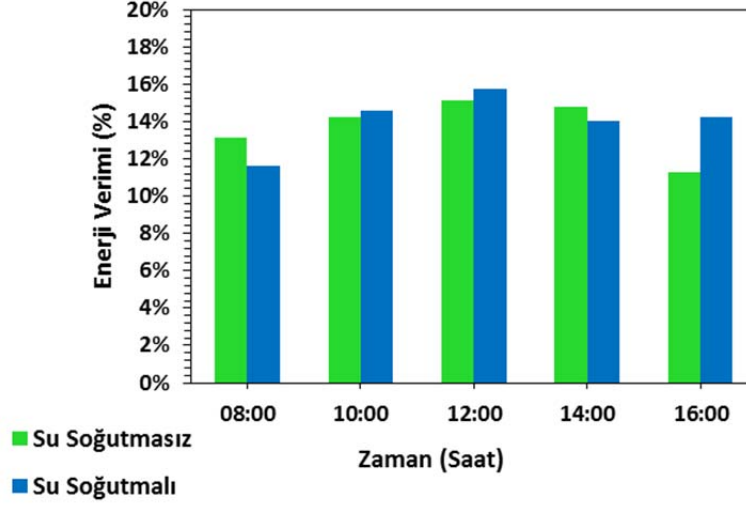
Şekil 4.10.3. 17 Mayıs 2019'a ait su soğutmalı panelin zamanla verim dağılımı

Şekil 4.11'de Ekim ayı içerisinde su soğutmasız ve panel su soğutmalı uygulamalar yapılması sonucunda elde edilen verim değerleri sonucunda, su soğutmasız minimum verim %12,24 ve maksimum verim %15,10, su soğutma uygulamalı minimum verim %14,80 ve maksimum verim %15,80 olarak ölçülmüştür. Deneyler sonucunda panel su soğutma işleminin panel üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir.



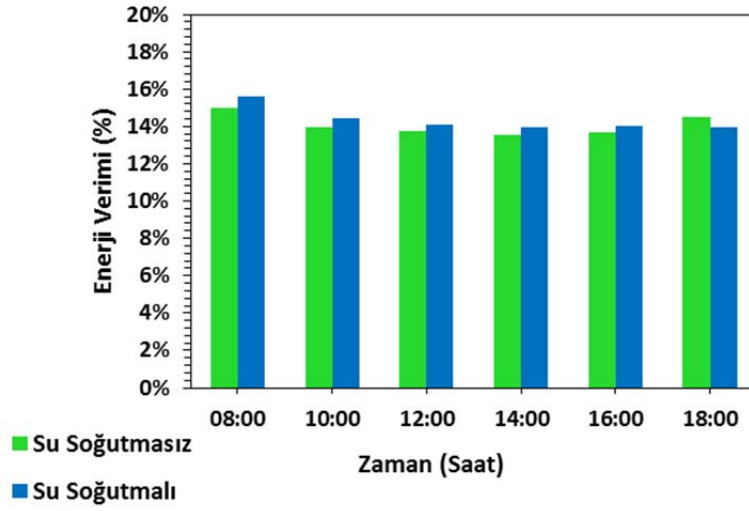
Şekil 4.11. Ekim 2018’de elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı Panelin verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.12’de Ocak ayı içerisinde su soğutmasız ve panel su soğutmalı uygulamalar yapılması sonucunda elde edilen verim değerleri sonucunda, su soğutmasız minimum verim %11,28 ve maksimum verim %15,10, su soğutma uygulamalı minimum verim %11,60 ve maksimum verim %15,75 olarak ölçülmüştür. Deneyler sonucunda panel su soğutma işleminin panel üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. Ocak 2019'da elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı panelin verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.13'te Mayıs ayı içerisinde su soğutmasız ve panel su soğutmalı uygulamalar yapılması sonucunda elde edilen verim değerleri sonucunda, su soğutmasız minimum verim %13,54 ve maksimum verim %15,00, su soğutma uygulamalı minimum verim %13,96 ve maksimum verim %15,60 olarak ölçülmüştür. Deneyler sonucunda panel su soğutma işleminin panel üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Mayıs 2019’da elde edilen su soğutmasız ve su soğutmalı Panelin verimlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüzey soğutmalı fotovoltaiik güneş panelinin performansı incelenmiştir. Üç farklı sezon içindeki en etkili aylardan olan Ocak, Mayıs ve Ekim aylarında panel yüzeyi üstten belli bir debi, temiz su ile soğutulmaya çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 6 L/dk debi oranından sonra alınan debi miktarı 8 L/dk ve sonraki debi miktarlarında verimde kayda değer derecede artış sağlanmadığı ve su sarfiyatına neden olduğu görülmüştür. Ayrıca, üstten soğutma etkisinin belirlenmesi için su soğutmasız olarakta deneyler yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada, yaz aylarında PV panel sıcaklığındaki artışların fotovoltaiik hücrelerin performansını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Ancak kış aylarında ise panel sıcaklığının çok fazla artmadığı görülmüştür. Özellikle hava sıcaklığının, gelen güneş radyasyonundaki azalma ve rüzgarın panel sıcaklığı üzerinde olumlu katkıları olduğu belirlenmiştir. Ocak ayında, üstten su ile soğutmaya ihtiyaç olmadığı belirlenmiştir. Fakat yaz aylarında Mayıs ve Ekim aylarında dahi üstten su ile soğutma işleminin yapılması durumunda fotavoltaiiklerin (PVs) verimlerinin arttığı bulunmuştur. Sonuç olarak, bir güneş panelinin verimi üzerinde sadece iklimsel şartların değil aynı zamanda su soğutma sisteminin de özellikle yaz aylarında kayda değer oranda etkili olduğu görülmüştür. Böylece, güneş panellerine entegre edilen soğutma sistemleri ile olumsuz iklim şartlarına rağmen verimlerinin artırılmasının mümkün olduğu kanaatine varılmıştır.



KAYNAKLAR

- Abdolzadeh, M., Ameri, M., 2009. Improving the effectiveness of photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renewable Energy*, 34: 91-96.
- Arcuri, N., Reda, F., De Simone, M., 2014. Energy and thermo-fluid-dynamics evaluations of photovoltaic panels cooled by water and air. *Solar Energy*, 105, 147-156.
- Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., Rehman, S., 2013. Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, 59: 445-453.
- Ceylan, İ., Gürel, A.E., Demircan, H., Aksu, B., 2014. Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector. *Energy and Buildings*, 72: 96-101.
- Duck, B.C., Fell, C.F., Anderson K.F., Sacchetta, C., Du., Y., Zhu, Y., 2018. Determining the value of cooling in photovoltaics for enhanced energy yield. *Solar Energy*, 159: 337-345.
- Jakhar, S., Soni M.S., 2017. Experimental and theoretical analysis of glazed tube-and-sheet photovoltaic/thermal system with earth water heat exchanger cooling. *Energy Conversion And Management*, 153: 576-588.
- Mah, C., Lim, B., Wong, C., Tan, M., Chong, K., Lai, A., 2019. Investigating the performance improvement of a photovoltaic system in a tropical climate using water cooling method. *Energy Procedia*, 159: 78-83.
- Nizetic, S., Coko, D., Yadav, A., Grubisic-Cabo F., 2016. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. *Energy Conversion and Management*, 108: 287-296.

- Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., Liu, Y., 2017. Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimization. *Energy Conversion and Management*, 150: 949-955.
- Sanjeev, J., Soni, M.S, Nikhil, G., 2017. An integrated photo voltaic thermal solar (IPVTS) system with earth water heat exchanger cooling: Energy and exergy analysis. *Solar Energy*, 157: 81-93.
- Schiro, F., Benato, A., Stoppato, A., Destro, N., 2017. Improving photovoltaic sefficiency by water cooling: Modelling and experimental approach. *Energy*, 137:798-810.
- Siecker, J., Kusakana, K., Numbi, B.P., 2017. A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79: 192-203.
- Teo, H.G., Lee, P.S., Hawlader, M.N.A., 2012. An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90: 309-315.
- www.dkteknoloji.com
- www.mgm.gov.tr
- Yang, L., Liang, J., Hsu, C., Yang, T., Chen, S., 2019. Enhanced efficiency of photovoltaic panels by integrating a spray cooling system with shallow geothermal energy heat exchanger. *Renewable Energy*, 134: 970-981.
- Zilli, B.M., Lenz, A.M., Melegari de Souza, S.N., Secco, D., Nogueira, C.E.C., Junior, O.H.A., Nadaleti, W.C., Siqueira, J.A.C., Gurgacz, F., 2018. Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 192: 477-485.

ÖZGEÇMİŞ

23 Eylül 1986 yılında Adana’da doğdu. İlkokulu Celalettin Sayhan İlköğretim okulunda, orta okulu Ziyapaşa Orta Okulun’da, lise öğrenimini ise Borsa Lise’sinde tamamladı. 2006-2010 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölüm’ünde lisans öğrenimini tamamladı. 2014 yılında Pedagojik Formasyon Eğitimini Çukurova Üniversitesi’nden aldı. 2014 te Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümünde yüksek lisans programına başladı.