



**YENİLİKÇİ BİR TASARIM İLE BİRLİKTE
FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİNİN
ARTTIRILMASI**

Hasan Mithat DELİBAŞ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**YENİLİKÇİ BİR TASARIM İLE BİRLİKTE FOTOVOLTAİK PANEL
VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

Hasan Mithat DELİBAŞ

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Hasan Mithat DELİBAŞ tarafından hazırlanan “YENİLİKÇİ BİR TASARIM İLE BİRLİKTE FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Emrah DENİZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/07/2021

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ahmet KABUL (ISUBÜ)

Online

Üye : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Bahadır ACAR (KBÜ)

.....

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.”

Hasan Mithat DELİBAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİLİKÇİ BİR TASARIM İLE BİRLİKTE FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Hasan Mithat DELİBAŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

Temmuz 2021, 146 sayfa

Hızla artmakta olan insan nüfusu ve gelişen yaşam standartları enerji talebinin her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Hızla artan bu enerji talebi, fosil yakıtlara olan talebi de aynı oranda artırmakta ve bunun sonucunda küresel enerji talebinin %80'i fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Ancak, doğada kendini yenileyememesi nedeniyle tükenbilir bir enerji kaynağı konumunda bulunan fosil kökenli yakıtların kullanım ömürlerinin bir sınırı vardır. Bununla birlikte, yüksek seviyelerde fosil yakıt kullanımı sera gazı etkisine sebep olarak küresel ısınma noktasında tehdit oluşturmaktadır. Bunlardan dolayı, günümüzde temiz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bunların verimli kullanımını konularındaki araştırmalara yoğunlaşmıştır. Dünya yüzeyine yüksek miktarda enerji taşıyabilen güneş ışınimleri, enerji potansiyeli açısından diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde açık ara ön planda yer almaktadır. İnsanoğlu, güneş ışınımı ile birlikte gelen bu büyük enerji miktarını fotovoltaik (PV) paneller yardımıyla, doğrudan kullanılabilen bir enerji türü olan elektrik enerjisine

dönüştürebilmektedirler. PV sistemler aracılığıyla güneşten elde edilen enerjiyi kullanılabilir enerjiye dönüştürmek, diğer pek çok yenilenebilir enerji sistemine nazaran, daha kolay ve daha düşük maliyetlidir.

Bununla birlikte, PV sistemler geniş kullanım alanlarına sahip olmalarına rağmen, en büyük dezavantajlarını yine kendi tasarım ve çalışma koşullarında saklamaktadır. PV sistemlerde güneş ışınımı, bir taraftan elektrik üretiminin temelini oluştururken, diğer taraftan ise sistemin iç ve yüzey sıcaklığında artışa sebep olmaktadır. Böylelikle, soğurulan güneş ışınımının enerjisi panel üzerinden havaya aktarılarak kaybedilir. Ayrıca, PV hücrelerin enerji dönüşüm işlemi esnasında ulaştığı yüksek sıcaklık, malzeme bileşiminde bozunmaya neden olabilir. Araştırmalar hücre sıcaklığı 25°C'yi geçtikten sonra hücrelerdeki her 1°C'lik fazladan sıcaklık artışında yaklaşık olarak %0,5 ila %1 aralığında verim kaybı yaşanacağını göstermektedir. Sistem sıcaklığında yaşanan artış panellerin enerji dönüşüm verimliliğinin düşük oranlarda kalmasına, enerji ihtiyacını karşılayabilme noktasında panel yüzey alanının artmasına dolayısıyla ilk yatırım maliyetinin ciddi oranlarda yükselmesine neden olur.

Bu çalışma, temelinde endüstriyel kullanım amacıyla tasarlanmış, ağırlığının 10 katına kadar sıvıyı emme ve yayma özelliğine sahip olan selülozik bazlı süngerlerin özgün bir sistem tasarımı ile PV panellerin arka yüzeyine entegre edilmesine ve selülozik sünger üzerine nozullar aracılığıyla su aktararak buharlaşma entalpisinden yararlanılmasına ve dolayısı ile ısının PV sistemden uzaklaştırılması ilkelerine dayanmaktadır.

Yapılan çalışma sonucunda, selülozik süngerin soğutucu akışkanı panelin arka yüzeyine homojen bir şekilde dağıtarak muadil uygulamalara göre panelde daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı ve aynı zamanda yine eşdeğer uygulamalara kıyasla su tüketimini önemli ölçüde azalttığı ortaya çıkarmıştır. Böylece, PV paneller ile ilgili literatürdeki iki temel soruna tek bir uygulama ile çözüm önerisi sunulabilmiştir. Bu çalışmadaki öngörüler özel olarak oluşturulmuş bir panel standı ile laboratuvar ortamında deneysel olarak test edilmiştir. Bu panel standı ile her bir deneysel parametre net bir şekilde ayarlanabilmekte ve parametre değişikliklerinden kaynaklanan sonuçlar yüksek hassasiyetle analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada, su

püskürtme süreleri, ışınım yoğunluğu ve PV panel açısı olmak üzere 3 farklı deneysel parametrenin farklı değerlerinde çalışmalar yapılmıştır. Maksimum verim ile minimum su tüketimi arasındaki ilişkiye göre optimum çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, fotovoltaik panel (PV), soğutma, enerji verimliliği, ekserji analizi.

Bilim Kodu : 91441

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INCREASING PHOTOVOLTAIC PANEL EFFICIENCY WITH AN INNOVATIVE DESIGN

Hasan Mithat DELİBAŞ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

July 2021, 146 pages

Rapidly rising human population and developing living standards increase the energy demand of human beings day by day. This rapidly increasing energy demand also increases the demand for fossil fuels. As a result of this, 80% of the global energy demand is correspond by using fossil fuels. However, fossil fuels, which are consumable energy source due to their inability to renew themselves in nature, have a limited lifespan. Simultaneously, high levels of fossil fuel use pose a threat to global warming by causing greenhouse gas effects. For those reasons, today the widespread focus of researchers has been on renewable energy sources, which are clean and unlimited energy sources, and research on their efficiency. Solar radiation, which can provide a high amount of energy to the earth's surface, is by far the foremost among other renewable energy sources in terms of energy potential. Mankind has been succeeded in transforming this massive energy mass, which comes with solar radiation, into electrical energy, which is a type of energy that can be used directly, with the help of photovoltaic panels. Converting the energy

obtained from the sun utilizing photovoltaic systems into usable energy is easier and less costly than many other renewable energy systems.

Even though photovoltaic systems have wide usage areas, they contain the biggest disadvantages in their own design and working conditions. Solar radiation in photovoltaic systems, on the one hand, forms the basis of electricity production, on the other hand, it causes an increase in the internal and surface temperature of the system. Thus, the energy of the absorbed solar radiation is lost by transferring it to the air through the panel. In addition, the high temperature reached by photovoltaic cells during the energy conversion process may cause degradation in the material composition. Studies have been shown us that after the cell temperature exceeds 25°C, there will be approximately 0.5% loss of efficiency for every 1°C extra temperature increase in the cells. The increase in the system temperature causes the energy conversion efficiency of the panels to remain at low rates, the increase in the panel surface area at the point of supplying energy need and thus causing the initial investment cost to increase significantly.

This study is based on the principle of integrating cellulosic-based sponges, which are designed for industrial use and capable of absorbing and spreading liquid up to 10 times their weight, into the lower surface of photovoltaic panels with a unique system design. After that, the coolant (water) transfer process will be carried out to the cellulosic sponge through jet nozzles.

As a result of this study, revealed that the cellulosic sponge distributes the refrigerant homogeneously on the back surface of the panel, providing a more homogeneous temperature distribution in the panel compared to the equivalent applications, and at the same time significantly reducing the water consumption compared to the equivalent applications, so that a solution to the two main problems in the literature can be found with a single application. This foresight has been experimentally tested in a laboratory setting with a custom-built panel stand. With this panel stand, each experimental parameter can be adjusted clearly and the results caused by parameter changes can be analyzed with high precision. With this panel stand, each experimental parameter can be adjusted clearly and the results caused by parameter

changes can be analyzed with high precision. In this study, studies were carried out at different values of 3 different experimental parameters: time between sprays, radiation intensity, and photovoltaic panel angle. Optimum operating parameters were determined based on the relationship between maximum efficiency and minimum water consumption.

Key Word : Solar energy, photovoltaic panel (PV) systems, cooling, energy efficiency, exergy analysis.

Science Code : 91441

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, benden maddi veya manevi hiçbir imkânı esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Emrah DENİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın deneysel aşamasında teknik ve lojistik desteğini esirgemeyen Karabük Üniversitesi TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu öğretim elemanı Sayın Öğr. Gör. Burak ÇİFTÇİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalıőmamın pek çok aşamasında yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Sayın Arş. Gör. Gürşah GÜRÜF'a teşekkür ederim.

Öğrenim ve meslek hayatım boyunca desteğini her zaman hissettiğim ve aynı zamanda meslek büyüğüm olan SMG İnş. Tes. Taah. ve Tic. A.Ő. yönetim kurulu başkanı Sayın Mustafa GÖKLÜ'ye teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi veya manevi hiçbir desteği esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ VE HEDEF	4
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
BÖLÜM 3	14
ENERJİ KAYNAKLARI, GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARI VE PV PANELLER	14
3.1. ENERJİ KAYNAKLARI.....	14
3.1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları	15
3.1.2. Yenilebilir Enerji Kaynakları	16
3.2. GÜNEŞ ENERJİSİ	17
3.2.1. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	19
3.2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	20
3.2.3. Güneş Enerjisi Uygulama Alanları	24
3.3. FOTOVOLTAİK PANEL UYGULAMALARI VE ÖZELLİKLERİ	25
3.3.1. PV Panel Sistemleri.....	27

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	29
MATERYAL VE METOT	29
4.1. SİSTEM TASARIMI	29
4.1.1. Ön Hazırlık Aşaması	30
4.1.2. Deneysel Çalışma Aşaması	31
4.1.3. Verilerin Yorumlanması ve Grafik Çizim Aşaması	35
4.2. MATERYAL ÖZELLİKLERİ	36
4.3. METOT	40
4.3.1. Güneş Panellerinde Güç, Akım, Gerilim Parametreleri ve Teorik Hesaplamalar	40
4.3.2. PV Panel Voltaj ve Akım Parametreleri	42
BÖLÜM 5	46
SONUÇLAR	46
6.1. 500 W/m ² IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER ..	47
6.2. 400 W/m ² IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER ..	75
6.3. 300 W/m ² IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER ..	90
BÖLÜM 6	107
DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	114
EK AÇIKLAMALAR A. HALOJEN PROJEKTÖR	120
EK AÇIKLAMALAR B. PV PANEL	122
EK AÇIKLAMALAR C. PİRANOMETRE	124
EK AÇIKLAMALAR D. SU DEPOSU	126
EK AÇIKLAMALAR E. WATTMETRE	128
EK AÇIKLAMALAR F. SİRKÜLASYON POMPASI	130
EK AÇIKLAMALAR G. SİRKÜLASYON POMPASI	132
EK AÇIKLAMALAR H. VERİ KAYIT CİHAZI	134
EK AÇIKLAMALAR I. PV PANEL SICAKLIK ÖLÇÜM NOKTALARI	136
EK AÇIKLAMALAR J. DENEY NUMARALARININ PARAMETRE AÇILIMLARI	138

Sayfa

EK AÇIKLAMALAR K. DENEY SİSTEMİNE AİT ÇEŞİTLİ GÖRÜNTÜLER. 140

ÖZGEÇMİŞ 146

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Klasik model bir PV panelin elemanlarını içeren şekil	3
Şekil 3.1. Güneş ışınımının atmosfer dağılımı	18
Şekil 3.2. Güneş ışınımının dünya üzerindeki dağılımı	20
Şekil 3.3. Güneş ışınımının Avrupa üzerindeki dağılımı	21
Şekil 3.4. Türkiye'nin coğrafi konumu	22
Şekil 3.5. Güneş ışınımının Türkiye üzerindeki dağılımı	23
Şekil 3.6. Türkiye'de güneş enerjisi üretiminin illere göre dağılımı (MW).....	23
Şekil 3.7. PV panel çalışma prensibi	25
Şekil 3.8. Hücre - Modül - Panel ilişkisi	26
Şekil 3.9. PV panel dizi ilişkisi	26
Şekil 3.10. PV panel sistemleri örnekleri	28
Şekil 4.1. Çalışma algoritması	30
Şekil 4.2. Deney düzeneği şematik gösterim	32
Şekil 4.3. Deney sisteminin genel görünümü	34
Şekil 4.4. Selülozik sünger entegrasyonu ve nozul sistemi	34
Şekil 4.5. İzole iç ortam görünümü	35
Şekil 4.6. Güç analizörü anlık ölçüm örneği	39
Şekil 4.7. Veri kayıt cihazının deney ekipmanına bağlantısı	39
Şekil 4.8. I-V ve P-V eğrileri	43
Şekil 4.9. Eğri-MPP ilişkileri	44
Şekil 4.10. FF hesaplama eğrisi	45
Şekil 5.1. 500 W/m^2 , 1. deney grafikleri	47
Şekil 5.2. 500 W/m^2 , 2. deney grafikleri	48
Şekil 5.3. 500 W/m^2 , 3. deney grafikleri	49
Şekil 5.4. 500 W/m^2 , 4. deney grafikleri	50
Şekil 5.5. 500 W/m^2 , 5. deney grafikleri	52
Şekil 5.6. 500 W/m^2 , 6. deney grafikleri	53
Şekil 5.7. 500 W/m^2 , 7. deney grafikleri	54
Şekil 5.8. 500 W/m^2 , 8. deney grafikleri	56

Sayfa

Şekil 5.9. 500 W/m ² , 9. deney grafikleri.....	57
Şekil 5.10. 500 W/m ² , 10. deney grafikleri.....	58
Şekil 5.11. 500 W/m ² , 11. deney grafikleri.....	60
Şekil 5.12. 500 W/m ² , 12. deney grafikleri.....	61
Şekil 5.13. 500 W/m ² , 13. deney grafikleri.....	62
Şekil 5.14. 500 W/m ² , 14. deney grafikleri.....	64
Şekil 5.15. 500 W/m ² , 15. deney grafikleri.....	65
Şekil 5.16. 500 W/m ² , 16. deney grafikleri.....	67
Şekil 5.17. 500 W/m ² , 17. deney grafikleri.....	68
Şekil 5.18. 500 W/m ² , 18. deney grafikleri.....	69
Şekil 5.19. 500 W/m ² , 19. deney grafikleri.....	71
Şekil 5.20. 500 W/m ² , 20. deney grafikleri.....	72
Şekil 5.21. 500 W/m ² , 21. deney grafikleri.....	74
Şekil 5.22. 400 W/m ² , 1. deney grafikleri.....	75
Şekil 5.23. 400 W/m ² , 2. deney grafikleri.....	76
Şekil 5.24. 400 W/m ² , 3. deney grafikleri.....	77
Şekil 5.25. 400 W/m ² , 4. deney grafikleri.....	79
Şekil 5.26. 400 W/m ² , 5. deney grafikleri.....	80
Şekil 5.27. 400 W/m ² , 6. deney grafikleri.....	82
Şekil 5.28. 400 W/m ² , 7. deney grafikleri.....	83
Şekil 5.29. 400 W/m ² , 8. deney grafikleri.....	84
Şekil 5.30. 400 W/m ² , 9. deney grafikleri.....	85
Şekil 5.31. 400 W/m ² , 10. deney grafikleri.....	87
Şekil 5.32. 400 W/m ² , 11. deney grafikleri.....	88
Şekil 5.33. 400 W/m ² , 12. deney grafikleri.....	89
Şekil 5.34. 300 W/m ² , 1. deney grafikleri.....	91
Şekil 5.35. 300 W/m ² , 2. deney grafikleri.....	92
Şekil 5.36. 300 W/m ² , 3. deney grafikleri.....	93
Şekil 5.37. 300 W/m ² , 4. deney grafikleri.....	94
Şekil 5.38. 300 W/m ² , 5. deney grafikleri.....	96
Şekil 5.39. 300 W/m ² , 6. deney grafikleri.....	97
Şekil 5.40. 300 W/m ² , 7. deney grafikleri.....	98
Şekil 5.41. 300 W/m ² , 8. deney grafikleri.....	100

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.42. 300 W/m ² , 9. deney grafikleri.....	101
Şekil 5.43. 300 W/m ² , 10. deney grafikleri.....	103
Şekil 5.44. 300 W/m ² , 11. deney grafikleri.....	104
Şekil 5.45. 300 W/m ² , 12. deney grafikleri.....	105
Şekil 6.1. Hücre sıcaklıklarının ortalama değişim grafikleri.....	109
Şekil 6.2. Üretilen gücün ortalama değişim grafikleri	110
Şekil 6.3. Ekserji miktarının değişim grafikleri	111
Şekil 6.4. Dolum faktörü değişim grafikleri.....	112
Şekil Ek H. Adam modüllerinin bağlantı şeması.....	135
Şekil Ek I. PV panel sıcaklık ölçüm noktaları	137
Şekil Ek K.1. Örnek görüntü 1	141
Şekil Ek K.2. Örnek görüntü 2.....	141
Şekil Ek K.3. Örnek görüntü 3.....	142
Şekil Ek K.4. Örnek görüntü 4.....	142
Şekil Ek K.5. Örnek görüntü 5.....	143
Şekil Ek K.6. Örnek görüntü 6.....	143
Şekil Ek K.7. Örnek görüntü 7.....	144
Şekil Ek K.8. Örnek görüntü 8.....	144
Şekil Ek K.9. Örnek görüntü 9.....	145
Şekil Ek K.10. Örnek görüntü 10.....	145

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	15
Çizelge 3.2. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları	16
Çizelge 3.3. Işınım şiddetinin bölgesel dağılımı	19
Çizelge 3.4. Işınım şiddetinin bölgesel dağılımı	22
Çizelge 4.1. Çalışma parametreleri	31
Çizelge Ek A. Halojen projektör teknik özellikleri.....	122
Çizelge Ek B. PV panel teknik özellikleri	124
Çizelge Ek C. Piranometre teknik özellikleri.....	126
Çizelge Ek D. Su deposu teknik özellikleri	128
Çizelge Ek E. Wattmetre teknik özellikleri.....	130
Çizelge Ek F. Sirkülasyon pompası teknik özellikleri	132
Çizelge Ek G. Dimmer teknik özellikleri.....	134
Çizelge Ek H.1. Adam 4520 teknik özellikleri	136
Çizelge Ek H.2. Adam 4019+ teknik özellikleri	136

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- C : santigrat (derece)
K : kelvin (derece)
W : watt
P : güç (W)
I : akım (A)
J : joule
A : amper
V : volt
Q_e : elektriksel güç (W)
η_e : elektriksel verim
A : panel yüzey alanı (m²)
G : güneş ışınımı (W/m²)
Q_t : termal güç (W)
 \dot{m} : kütleli debi (kg/s)
c_p : özgül ısı (kJ/kg)
ΔT : sıcaklık farkı (K veya °C)
T_g : akışkan giriş sıcaklığı (K veya °C)
T_ç : akışkan çıkış sıcaklığı (K veya °C)
η : elde edilen toplam verim
Ė_{xPV/T} : panel elektrik ekserjisi
T_{hücre} : PV ortalama hücre sıcaklığı
V_{mp} : maksimum güç gerilimi (V)
I_{mp} : maksimum güç akımı (A)
h_{ca} : ışınlam ısı transferi katsayısı (W/m²°C)
V_{nom} : nominal gerilim
V_{oc} : açık devre gerilimi

I_{sc} : kısa devre akımı

P_{mp} : maksimum güç

T_d : dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$T_{p,üst}$: Ek I.'da gösterilen T_{P1} ve T_{P2} noktalarının aritmetik ortalaması ($^{\circ}C$)

$T_{p,alt}$: Ek I.'da gösterilen T_{P3} ve T_{P4} noktalarının aritmetik ortalaması ($^{\circ}C$)

$T_{p,orta}$: Ek I.'da gösterilen T_{P5} noktasının sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_i : iç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)

KISALTMALAR

PV	: Fotovoltaik
kWh	: Kilowatt Saat
GWh	: Gigawatt Saat
TWh	: Terawatt Saat
MW	: Megawatt
GW	: Gigawatt
TW	: Terawatt
KM	: Kilometre
MM	: Milimetre
CM	: Santimetre
DK	: Dakika
LT	: Litre
EVA	: Etilen Vinil Asetat Folyo
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GTS	: Güneş Takip Sistemi
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Belirleyici
MPP	: Maksimum Güç Noktası
FF	: Dolum Faktörü
GZFT	: Güçlü-Zayıf-Fırsat-Tehdit analizi (bkz. SWOT)
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Hızla artmakta olan insan nüfusu ve gelişen yaşam standartları ile birlikte insanoğlunun enerji talebi her geçen gün daha da artmakta ve böylelikle talebin karşılanması noktasında fosil yakıtlara olan bağımlılık gün geçtikçe çoğalmaktadır. Bunun sonucunda günümüzde küresel enerji talebinin yaklaşık olarak %80'i fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır [1]. Ancak, enerji ihtiyacının karşılanması noktasında önemli ölçüde bağımlılığın bulunduğu bu fosil yakıtlar doğada kendini yenileyememeleri nedeniyle tükenebilir bir enerji kaynağı konumunda bulunmaktadır ve bu sebepten dolayı kullanım ömürlerinin bir sınırı vardır. Ayrıca, tedarik ve enerji üretim maliyetleri de geçmişe kıyasla oldukça yükselmiştir. Bütün bu olumsuzlukların yanı sıra, fosil yakıt kullanımı ciddi çevre sorunlarına da sebep olmaktadır. Fosil yakıt kullanımının en önemli sorunları arasında sera gazı etkisi ve ciddi küresel iklim değişikliği tehditleri gösterilmektedir.

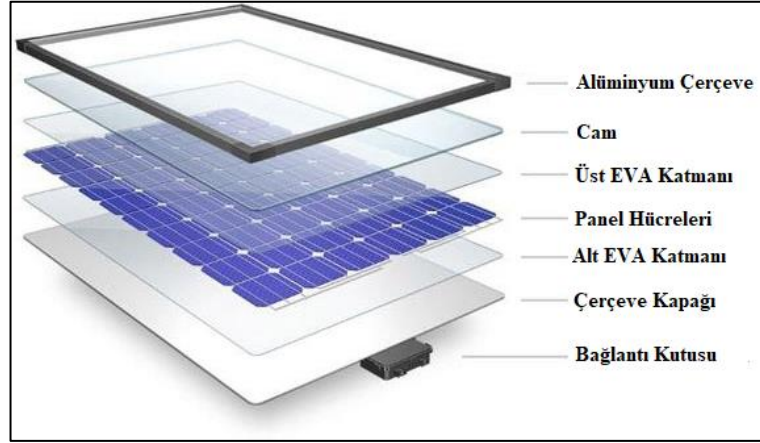
Fosil yakıtların miktarlarındaki göreceli sınırlılık ve olumsuz çevresel etkilerinden dolayı insanoğlu temiz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Araştırmacılar bu kaynakların daha etkin ve ucuz kullanım yollarının araştırılmasına büyük önem vermişlerdir. Günümüzde ve gelecekte sürdürülebilir bir ortam sağlama potansiyeline sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları hem fosil yakıtlara olan bağımlılığın hem de çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlaması açısından umut verici teknikler olarak ön plana çıkmaktadırlar.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hem büyük kaynak potansiyeli hem de karmaşık teknolojiler gerektirmemesi gibi birçok olumlu özelliklerinden dolayı güneş enerjisinin önemi artmıştır. Güneş enerjisi, potansiyeli oldukça yüksek, sistem

maliyetleri diğer enerji kaynaklarına göre oldukça düşük ve çevre dostu önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünya yüzeyine yıllık ortalama olarak $1,08 \times 10^{18}$ kWh değerlerine kadar enerji taşıyabilen güneş ışınımı, bünyesinde barındırdığı enerji potansiyeli açısından diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde açık ara ön plana çıkmıştır [2]. Bununla birlikte, enerji ihtiyacının önemli bir miktarının güneş enerjisinden karşılanabileceği bilinci oluşmuştur. Bu durum, enerji alanında çalışan araştırmacıları güneş enerjisi ve uygulamaları üzerine çalışmalar gerçekleştirmeye yönlendirmiştir [3-7]. Güneş enerjisi, özellikle son 20-25 yıllık süreç içerisinde gerçekleştirilen önemli çalışmalar ve iyileştirmeler sayesinde içilebilir su sağlanmasından, tarım alanlarında kullanımı ile tarımsal üretimin artırılmasına destek olarak kıtlığın azaltılmasına kadar geniş bir kullanım alanına sahip olarak kendisine insanlık için önemli bir yer edinmiştir [5]. İnsanoğlu, güneş ışınımı ile birlikte gelen büyük enerjiyi, fotovoltaik (PV) paneller yardımıyla, doğrudan kullanılabilen bir enerji türü olan elektrik enerjisine dönüştürmeyi başarmışlardır [6]. Temiz, yenilenebilir, sessiz ve çevre dostu olan bu PV sistemler ile kaynaktan sağlanan enerjiyi kullanılabilir enerjiye dönüştürmek, diğer pek çok yenilenebilir enerji sistemine nazaran, daha kolay ve daha az maliyetlidir [7].

PV sistemlerin geniş ve önemli kullanım alanları olmasına rağmen en büyük dezavantajları yine kendi tasarım ve çalışma şartlarından kaynaklanmaktadır. PV sistemlerde güneş ışınımı, bir taraftan elektrik üretimi amacıyla kullanırken, diğer taraftan da sistemin iç ve yüzey sıcaklığının da artmasına sebep olmaktadır. Böylelikle, soğurulan güneş ışınımının enerjisi panel üzerinden dış ortama aktarılarak kaybedilmiş olur [8]. Başka bir ifade ile, panel üzerindeki sıcaklık artışıyla ışınımın elektrik enerjisine dönüşümü, ısı enerjisi dönüşümüne kıyasla daha düşük kalmaktadır [9]. Ayrıca, bir PV hücrelerin enerji dönüşüm işlemi esnasında ulaştığı yüksek sıcaklık, malzeme bileşiminin bozulma oranını da artırabilir [10]. Panel sıcaklığına etki eden diğer parametreler ise elektrik üretimi sonucunda panel katmanları arasında termal temas direnci oluşması ve voltaj – akım değerleri arasında oluşan değişimlerdir [11]. Bu nedenlerden dolayı panellerin enerji dönüşüm verimliliği, teorik çalışmalarda ortaya çıkan değerlere oranla, oldukça düşük bir oranda kalmaktadır. Bu durum, aynı zamanda enerji ihtiyacını karşılamak noktasında

panel yüzey alanının artmasına neden olarak ilk yatırım maliyetini ciddi oranda yükseltir [12]. Şekil 1.1’de klasik bir PV panelin içyapı elemanları ve genel görünümü gösterilmektedir [13].



Şekil 1.1. Klasik model bir PV panelin elemanlarını içeren şekil [13].

Literatürdeki birçok çalışmada bu bulgularla uyumlu bir şekilde, PV sistemlerinde hücre sıcaklığındaki artışın panel verimini ciddi anlamda olumsuz etkilediği sonucuna varmaktadır. Bu araştırmalar, özellikle hücre sıcaklığında 25°C 'yi geçen her 1°C 'lik artışta hücre yapısına ve özelliklerine bağlı olarak yaklaşık yüzde %0,5 ila %1 aralığında bir verim kaybı yaşayacağını göstermektedir [14,15].

PV sistemlerinin en büyük dezavantajlarından birisi olan yüksek sıcaklık sorununa literatürde pek çok öneri getirilmiştir. Bu öneriler arasında;

- PV paneller yüzeyinde faz değiştiren madde kullanımı,
- Isı borularının kullanımı,
- Termoelektrik jeneratörün kullanımı,
- Buharlaştırma ısısı veya iletim-taşıma yöntemlerinin kullanımı,
- Farklı kanatçık tasarımların geliştirilmesi,

gibi birçok yöntem ile panel üzerindeki ısının uzaklaştırılması amacıyla yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır [16]. Literatürdeki çalışmalar incelendiği zaman panellerden ısının iletim-taşıma yöntemiyle uzaklaştırılmasında yoğunlukla akışkan

olarak havanın veya suyun kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamalarda genel olarak, hava kanal içerisinde dolaşım sağlarken su ise boru içerisinde dolaşım sağlamaktadır. Akışkan olarak hava kullanıldığı çalışmalarda hava ve kanallar arasındaki ısı transfer miktarını arttırılabilmek amacıyla kanallara kanatçık eklenildiği durumlara sıkça rastlanır. Akışkan olarak su kullanıldığı çalışmalarda ise, genellikle panelin arkasına iyi ısıl temas halinde olacak biçimde yerleştirilen bakır borulu levha yardımı ile ısı transferi gerçekleştirilir. Literatürde hava ile panelden ısı atılması işlemine daha sık rastlanmakta olup, bunun temel sebebi bu tarz deney düzeneklerinin sulu sistemlere oranla daha basit, daha ucuz ve deneylerinin daha kolay gerçekleştirilmesinden dolayıdır. Ancak, bu yöntem ile sağlanan ısı düşüşü sulu sistemlere nazaran oldukça düşük kalmaktadır. Panellerden ısı aktarımı konusunda sıklıkla karşılaşılan çalışmalardan bir diğeri ise panellerin ön yüzeylerine yapılan su püskürtme/damlatma yöntemidir [4,17,18].

1.2. AMAÇ VE HEDEF

PV enerji sistemleri yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu sistemler için enerji dönüşüm verimlilikleri hayati bir önem arz etmektedir ve büyük oranda PV panelin sıcaklık değeri ile ilişkilidir. Söz konusu alanda bazı gelişmeler elde edilmiş olmasına rağmen açık literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, PV panellerde hücre sıcaklığının azaltılması doğrultusunda panel alt yüzeyinde soğutucu akışkanın maksimum homojen ısı dağılımı sağlamaya ve tüketilen akışkan sarfiyatını azaltmaya yönelik özel olarak tasarlanmış, süper emme ve yayılma özelliklerine sahip olan, selülozik sünger içerikli malzemelerin kullanımının henüz gerçekleştirilmemiş olduğu anlaşılmıştır. PV panellerin alt yüzeyine selülozik yapıdaki sünger malzemelerin entegre edilmesiyle panellerde sıcaklık düşümü sağlamanın PV sisteminin yapısal ve üretimsel özelliklerini iyileştirmeye aday bir sistem olduğu görülmektedir. Selülozik sünger lifli yapısı sayesinde üstün sıvı emme ve yayılma özelliklerine sahip olduğu için sıvı akışkanın sünger içerisinde homojen bir dağılım sağlayabileceği öngörülmüştür. Literatür araştırmalarında, soğutucu akışkanın yüzey üzerinde homojen olarak dağılımını sağlayarak panel üzerinde homojen ısı dağılımı sağlamaya yönelik ciddi zorluklar yaşandığı dikkat çekmektedir. Bu noktada, yapılan çalışmanın homojen dağılım

sağlama konusunda ciddi özgünlükler içerdiği görülmektedir. Literatür çalışmalarında, PV sistemlerde soğutma akışkanı olarak suyu temel alan dizaynlardaki en büyük iki sorundan bir değeri ise, yüksek su sarfiyatı olarak nitelendirilmektedir. Bu çalışmada, su püskürtme süreleri manuel olarak kontrol edilerek selülozik süngerin ıslanması için optimum su miktarı belirlenecektir. Bu sayede literatürde bahsedilen yüksek su sarfiyatı probleminin önüne geçilmiş olacaktır.

Selülozik sünger/su modifikasyonu ile buharlaşma entalpisi üzerine çalışmalar yapılması ve elde edilen panel çalışma karakteristiklerinin literatüre kazandırılması, ilgili literatür için aynı zamanda bir özgünlük ifade etmektedir. Selülozik sünger entegreli PV panellerin farklı parametreler altında deneysel olarak incelenmesi ile PV panel gücü ve veriminin değişimleri elde edilecektir. Özellikle, elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda gelecekte gerçekleştirilecek olan fizibilite çalışmalarıyla birlikte sistemin endüstriyel enerji santrallerinde uygulanabilirliğinin incelenmesine olanak sağlayabilmesi açısından da başka bir özgün değer niteliği taşıdığı düşünülmektedir. Son olarak, bu çalışmanın gelecekteki çalışmalara ışık tutarak bir literatür alt yapısı oluşturması amaçlanmıştır. Böylelikle, gelecekte yapılacak olan çalışmalara yeni ufuklar açabileceği ve gerçekleştirilecek olan çalışmalarda zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde PV panellerde hücre sıcaklıklarını düşürme yöntemi ile verimlerinin artırılması üzerine son yıllarda yapılan farklı türlerde birçok çalışma bulunmaktadır. PV panel yüzey sıcaklığının azaltılma çalışmalarında ortaya çıkan başlıca sorun olan panelde homojen sıcaklık dağılımının sağlanamama'sı durumudur. Bu durum PV panelin maksimum verimliliğini sınırlamaktadır.

Tan vd. yaptıkları bu çalışma ile PV panel yüzeylerinde sıcaklık düşüşü elde etmek amacıyla alüminyum köpük kullanımını araştırmışlardır. Kullanılan bu alüminyum köpük ile gözenekli yapısı sayesinde yüzey alanı artışı, daha yüksek termal iletkenlik sağlanması ve hava akışının daha kıvrımlı bir akış karakterine sahip olmayı amaçlanmışlardır. Çalışmada değişken olarak alüminyum köpük içerisindeki gözenek yapısı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar kademeli olarak azaltılan bir gözenekli yapıya sahip olacak şekilde derecelendirilmiş alüminyum köpüğün PV panel yüzeyinde daha iyi bir sıcaklık homojenliği sağladığını göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile alüminyum köpük kullanılarak panel yüzeyinin ortalama sıcaklığının 51,2°C değerinde sabit tutulabileceği öngörülmektedir [18].

Bir başka çalışmada ise, Abu vd. PV panel sıcaklıklarının pasif soğutma yöntemi ile düşürülmesini ve bu sayede elektrik verimliliğinin artırılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada hem sayısal hesaplamalar hem de deneysel donanımlar kullanmışlardır. Gerçekleştirilen deneyde değişken parametreler pasif soğutmanın sağlanacağı kanal derinliklerinin mesafesi ve farklı eğim açıları olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların sonuçları doğrultusunda 15 cm açıklığa sahip olan bir kanala entegre panelin ortalama sıcaklığı geleneksel panellere oranla 5°C daha düşük olduğu tespit edilirken 30 cm kanal açıklığına sahip olan sistemde bu fark 10°C'ye kadar

çıkabilmektedir. Bu durumda, PV panel verimlerinin sadece pasif soğutma yöntemi kullanılarak %3-4 oranında iyileştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır [19].

Prakash teorik bir bakış açısıyla entegre sisteme sahip bir PV/T sistemini incelemiştir. Bu sistemde PV panellerin altına yerleştirilen kanal içi akış sayesinde ısısının çekilerek hücrelerdeki sıcaklığın düşürülmesi amaçlanmıştır. Çalışma akışkanı hava ve su olmak üzere iki farklı şekilde seçilmiştir. Uygulanan bu mekanizma ile elektrik verimliliği gerçekten de fark edilir bir şekilde artmıştır. Ancak plaka ile akan hava arasındaki ısı transferinin suya nazaran daha düşük kalması sebebiyle, havanın enerji dönüşüm verimindeki etkisi de suya nazaran daha düşük olmuştur. Bu çalışma verileri, PV panellerin sıcaklığının düşürülmesi konusunda suyun kullanımının, havaya oranla, daha yüksek bir enerji verimliliği sağlayacağını ortaya koymuştur [20].

Abdolzadeh ve Ameri yaptıkları çalışma ile 225 W'lık enerji üretme kapasitesine sahip bir PV sistem ile çalışan su pompalama sisteminin performansını panellerin yüzeylerine su püskürtmek suretiyle arttırmayı hedeflemiştir. Deneysel sonuçlar, PV hücreler üzerine su püskürtülmesi ile hücrelerin enerji dönüşüm performansının %1,8 oranında arttığını göstermiştir. Bu artışın başlıca iki temel sebebi olarak ise püskürtme sayesinde hücrenin sıcaklığının düşürülmesi ve yansıma kaybındaki azalma gösterilmiştir [21].

Kordzadeh gerçekleştirdiği çalışmada, PV hücreler üzerinde filtrelenmiş ince bir su tabakası oluşturmanın sistemin nominal gücü üzerine nasıl bir etkisi olacağı incelenmiştir. Sistemdeki nominal elektrik çıkışının 90 W ve 135 W olduğu durumlar için gözlemler yapılmıştır. Özellikle 90 W güç çıkışına sahip olunan durumda hücrelerin ısı atmasına ince bir su tabakası ile yardımcı olduğu zaman sistem performansında %3,66 oranında artış gözlemlenmiştir. Bu artışın başlıca sebepleri olarak; su filmi sayesinde hücrenin sıcaklığının düşürülmesi, yansıma kaybındaki azalma ve yüzeydeki sürekli su devri sayesinde yüzey temizliğinin sağlanması gösterilmiştir [22].

Habibollahi vd. 225 W güce sahip PV panellerin sıcaklığını düşürmek için panelin arka kısmına çalışma akışkanı su olan bir kolektör sistemi dizayn etmişlerdir. Kolektörlerin içerisindeki su akışı gün boyunca aralıksız olarak devam edecek şekilde tasarlanmıştır. Deneyde 274 L/h ve 310 L/h olmak üzere iki farklı kolektör içi su debisi ile çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada, PV hücrelerin bu yöntemle soğutulması ile sistem ve alt sistem verimliliğinin büyük ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Deney sonuçları kolektördeki debinin artırılmasının sistem verimi üzerine olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu çalışmaya göre, kolektör içi debinin 310 L/h olarak ayarlandığı durumda hücre verimliliğinin, alt sistem verimliliğinin ve toplam verimliliğin sırasıyla; %2,04, %4,05 ve %1,08 oranlarında arttığı tespit edilmiştir [23].

Fudholi vd. gerçekleştirdikleri bu çalışma ile PV panelin ve su kolektörünün entegrasyonunu sağlayarak yeni bir tasarım geliştirmişlerdir. Tasarım üç farklı akış tipine (ağ akış, dairesel akış, doğrudan akış) olanak sağlayan üç farklı kolektör ile ayrı ayrı modellenmiştir. Kolektörlerin geometrisi akış tipine göre dairesel veya dikdörtgen olarak tek yönlü akış sağlayacak biçimde tasarlanmış ve kolektörler yuvarlak içi boş paslanmaz çelik borulardan tungsten ark kaynağı kullanarak imal etmişlerdir. İmal edilen kolektörler 815 x 628 x 300 mm boyutlarına sahip bir PV panellin altına yalıtım malzemesiyle birlikte yerleştirilmiştir. Daha sonra tasarlanan sistemler çeşitli güçlere sahip güneş ışınımalarında ve farklı kolektör içi kütleli debilerde test edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre en verimli sistemin, 800 W/m²'lik bir güneş ışınım değeri ve 0,041 kg/s'lik debiye sahip dairesel kolektörün kullanıldığı sistem olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; entegre yeni sistem geleneksel modele oranla yaklaşık olarak %13 daha fazla verimle çalışmıştır [24].

Xia vd. yaptıkları çalışmalar neticesinde PV/T sistemlerinde doğru ve etkin bir yalıtım malzemesi kullanımının sistemin termal verimliliğini %9 oranında arttırabileceği gözlemlenmiştir [25].

Mohanraj vd. yaptıkları çalışma ile hava ve su kullanılarak panel soğutmanın sistem verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırılmışlardır. Sistem

performansının incelenmesi dört yöntem (panelin üst yüzeyi üzerinden hava soğutmalı yöntem, panelin alt yüzeyi üzerinde hava soğutmalı yöntem, panelin üst yüzeyi üzerinden suyla soğutmalı yöntem ve panelin alt yüzeyi üzerinden su soğutmalı yöntem) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapılan bu çalışmaların verileri geleneksel bir sistem ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; panelin alt yüzeyinden su ile sağlanan soğutmanın, diğer soğutma yöntemlerine kıyasla sistemde önemli bir performans artışı sağlandığını göstermiştir. Bu yöntemde sağlanan %13,7'lik iyileşme ile büyük ölçekli bir sistemde 7,3 yıllık bir amortisman süresine sahip olunacağını tespiti yapılmıştır [26].

Fakouriyan vd. PV panellerden çekilen ısı ile sıcak kullanım suyu elde etmeyi amaçlayan bir sistem kurmuşlardır. Sistem tasarımına göre PV panelden çekilen ısı ile ön ısıtılması sağlanan su daha sonra harici başka bir kullanım sıcak su deposuna iletilmekte ve buradan nihai ısıtılmanın gerçekleştirileceği ısıtma elemanına yönlendirilmektedir. Kurulan sistemin ömrü ortalama 13 yıl olarak tespit edilmiştir. Entegre sistemden bağımsız çalışan sistemde panel sıcaklığının 62°C olarak ölçüldüğü şartlarda aynı şartlara sahip entegre sistemin sıcaklık değeri yaklaşık olarak 43°C olarak ölçülmüştür. Bu sayede sistemin enerji dönüşüm verimliliği geleneksel sistemlere oranla %12,3 artmıştır. Sistemin amortisman süresinin ise elde edilen ön ısıtılması gerçekleştirilmiş suyun, kullanım suyu olarak değerlendirilmesi halinde 1,7 yıla kadar düşebileceği tespit edilmiştir [27].

Das vd. bir PV/T sistemi için panel katmanları arasındaki termal temas direncini ve katmanların bireysel direncini içeren yeni bir termal model geliştirilmişlerdir. Bu termal modelleme ile, bir PV/T modülünün sahip olduğu katmanların özelliklerinin, sistemin genel performansını nasıl etkilediğine dair yorumlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, son teknoloji ürünü (2019 yılı için) vakum tüplü tip ve levha tip PV sistemler kullanılmıştır. Yapılan çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran kısım PV/T sisteminin farklı katmanlar arasında ve katmanların kendi iç yapısında var olan termal temas direncinin rolünün de bu çalışmada dikkate alınmasıdır. Katmanlarda oluşan iç termal temas direnci fazladan ısı artımına (ohmik ısı oluşumuna) neden olmaktadır. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda termal temas

direnci dikkate alınmadan yapılan hesaplarda enerji ve ekserji verimliliklerinde %4,47 oranında bir sapma yaşanabileceği ortaya çıkmaktadır [28].

Jordan vd. yaptıkları çalışma ile PV sistemlerdeki hücre yapısındaki bozulmalara neden olan etkenleri incelemişler ve bu etkenlerin enerji dönüşüm verimliliği üzerindeki etkilerine göre sıralamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma doğrultusunda sıcak ve nemli iklimlerdeki modüllerin çöl ve ılıman iklimlerdeki bulananlara kıyasla, önemli ölçüde, daha yüksek bir bozulma oranına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Delaminasyon ve diyet/j-box sorunlarının da sıcak ve nemli iklimlerde daha sık görülmesine rağmen son 13 yılda kurulan sistemlerde en büyük verim kaybına neden olan etmen panel üzerindeki sıcak noktalar olarak görülmektedir. Bu etmeni ise entegre devreden kaynaklanan renk değişikliği takip etmektedir. Bozulmaya neden olan diğer önemli etmenler ise çevresel etmenler ve kirlenme dolayısıyla bozulma olarak tespit edilmiştir [29].

Krauter gerçekleştirdiği çalışmada, PV panelin üst kısmına yerleştirdiği nozullar ile yüzey üzerinde bir su filmi oluşturmuştur. Yerleştirilen 24 nozul ile dakikada 4 litre su akışı sağlanarak 132 cm genişliğe ve 390 cm uzunluğa sahip panelin yüzeyinde su filmi oluşturulmuştur. Oluşan su akışı ve buharlaşma nedeniyle panelde 22°C'ye varan sıcaklık düşüşü elde edilebilmiştir. Aynı zamanda optik performansı ise %1,5 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucuna göre sistemin enerji dönüşüm verimliliğinin %10,3 oranında arttığı belirlenmiştir. Su dolaşımını sağlamak için kullanılan pompa enerjisi hesaba katıldığı zaman ise, sistemin yaklaşık %8 oranında bir enerji kazancı sağladığı tespit edilmiştir [30].

Odeh ve Behnia gerçekleştirdikleri çalışma ile PV panelin üst yüzeyine damla sulama ile yapılan çalışmanın panel sıcaklığı üzerine etkisini araştırmışlardır. Damla sulama yöntemi kullanılarak su akışında yerçekiminin etkili olması hedeflenerek sirkülasyon için gerekli olan pompa enerjisi tüketiminden kazanç sağlanması amaçlanmıştır. 60 W güç üretimi kapasitesine sahip panele 2,5 cm çapında ve 65 cm uzunluğunda tüp damla sulama sağlamak amacıyla entegre edilmiştir. Damlatmalı tüp, eşit aralıklarla dağıtılmış 5 mm çapında toplam 32 deliğe sahiptir. Bu çalışma ile sistemin enerji dönüşüm verimliliğinde %10'a varan artış elde edilmiştir [31].

Castanheira vd. panel yüzey sıcaklığını düşürmek amacıyla homojen bir su tabakası ve camdan yansıyan güneş ışınımını azaltmak için kırılma tabakası oluşturmayı amaçlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Kullanılan nozullar ile suyun panel boyunca düşük bir basınç ve hızda yayılması ve bu sayede panel üzerinde homojen bir su tabakası oluşturması hedeflenmiştir. Paneller üzerinden anlık sıcaklık değerleri alınarak ihtiyaca göre, otomasyon sistemleri ile, nozulların açılıp, kapatılması sağlanmıştır. Deneysel testler, panelin tamamen soğutulması için (PV panelinin sıcaklığının su sıcaklığına ulaşabilmesi için) sistem açık durumdayken minimum 2 dakika gerektiğini göstermiştir. Bu yöntem ile enerji dönüşümünde yıl boyunca ortalama %12 oranında bir artış sağlamanın mümkün olacağı tespit edilmiştir [32].

Royne ve Dey çalışmalarında PV hücrelerin yüksek konsantrasyon altında soğutulması için yüzeye dik olarak yerleştirilerek panel köşelerinden su akışı sağlanan bir dizi jetten oluşan ve jet çarpmasına dayalı çalışan bir soğutma cihazı önermişlerdir. Model, birim alan başına daha yüksek sayıda nozulun, daha az sayıda nozula oranla daha iyi performans göstereceğini öngörmektedir. Çalışmada, jet nozullarının doğası gereği homojen olmayan ısı transferi dağılımı oluşturduğunu ortaya çıkarmıştır. Böylece, su jetlerinin PV sistemlerde enerji dönüşüm verimliliği üzerinde beklenenden daha az bir etkiye sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Bu nedenle, soğutma sistemi, yüksek bir homojenlik seviyesi yerine yüksek bir ortalama ısı transfer katsayısı verecek şekilde optimize edilmelidir [33].

Bahaidarah gerçekleştirdiği deneysel ve sayısal çalışma ile 148 W gücüne sahip PV paneller için darbeli jet su soğutma sistemi geliştirmiştir. PV hücre performansının kesin tahmini için yedi parametrelilik elektrik modeli kullanılırken, soğurulmuş radyasyon hesaplaması için izotropik gökyüzü modeli benimsenmiştir. Sistemde 5 mm çapında, 1,5 l/dk debide boru tipi nozullar kullanılmıştır. Çalışma ile, panel sıcaklığı 69,7°C'den, 36,6°C'ye düşürülerek %47,5 oranında düşüş sağlanmıştır. Enerji dönüşüm verimliliğinin ise, aynı fiziksel koşullar altında %9,5 oranından %15,5 oranına arttığı tespit edilmiştir [34].

Nižetić vd. yaptıkları deneysel çalışma ile PV paneller için panellerin her iki yüzeyi üzerine aynı anda su püskürtme uygulaması içeren bir soğutma tekniği sunmuşlardır.

PV panel, her iki yüzeyindeki uygun su püskürtme dağılımını sağlamak için panelin ön ve arka taraflarına monte edilmiş bir 4 mm çapa sahip nozul sistemi ile donatılmıştır. Yüzey alanı 0,31 m² olan bir PV panele ön yüzeyine 10 adet, arka yüzeyine 10 adet olmak üzere toplam 20 adet nozul kullanarak deney sistemi hazırlanmıştır. Arka yüzeye bakan nozullar dik yerleştirilmişken, panelin ön yüzeyine bakan nozullar gölgeleme etkisinden kaçınmak ve daha geniş bir püskürtme dağılımı sağlamak için 40°'lik bir açı ile sabitlenmiştir. Ancak nozul açısını sistem parametrelerine dahil etmemişlerdir. Nozul uzaklıkları ise arka yüzeye 80 mm, ön yüzeye 150 mm olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortalama panel sıcaklığı 52°C'den ortalama 24°C'ye kadar düşürülerek maksimum enerji çıktısında %16,28'lik bir artış gözlemlenmiştir [35].

Hadipour vd. gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, PV sistemlerin enerji dönüşüm verimliliğini artırmak ve soğutma işlemi sırasında tüketilen suyun miktarını azaltmak için darbeli jet su soğutma sistemi tasarlanmıştır. 1195 x 541 x 30 mm boyutlarına sahip bir panele aralarında 30° açı olacak şekilde konumlandırılan nozuldan birbirleri ile mesafesi 12 cm olacak şekilde 9 adet entegre edilmiştir. Standart tipe sahip olan nozulların panel ile arasındaki mesafe ise 8 cm olacak şekilde konumlandırılmıştır. Çalışma, nozulların açık kalma süresinin kapalı kalma süresine oranını tanımlayan bir terminoloji geliştirilerek kısaca DC olarak tanımlanmıştır. DC oranı 0,2 olduğu durumda sürekli akışlı soğutma yöntemine göre verimin %12,1'den %11,5'a düştüğü görülmektedir. Ancak, tüketilen su oranı sürekli akış sağlayan sisteme kıyasla dokuz da bir oranında azalma göstermiştir [36].

Javidan ve Moghadam yaptıkları çalışmada, PV panelin sıcaklığının düşürülmesi amacıyla soğutucu akışkan olarak su kullanılan jet nozul sistemi geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada değişken parametrelerini; akışkanın kütleli debisi, nozul dizilimi, nozul sayısı, nozul çapı ve panel nozul arası mesafe olarak belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan geleneksel PV panelin ortalama yüzey sıcaklığı 64°C, elektrik üretimi ise 5,9 W olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, panelin elektriksel verimliliği kütleli debi ve nozul sayısı arttıkça artmış, nozul çapı ve mesafe arttıkça ise düşmüştür. Panel yüzey sıcaklığı ve elektrik üretiminin optimizasyonu kütleli debi 0,12 kg/s, nozul sayısı 24 (en yüksek), nozul çapı 1,08 mm ve mesafe aralığı 5,1

cm olduğu zaman sağlanmıştır. Bu koşullar altında panel yüzey sıcaklığının $33,6^{\circ}\text{C}$, elektrik üretiminin ise $8,6\text{ W}$ olduğu tespit edilmiştir [37].

Siddiqui vd. gerçekleştirdikleri çalışma ile PV panel sıcaklığını panelin her bölgesinde homojen olarak düşürerek, panel yüzey sıcaklığını her bölgede aynı seviyede tutmayı amaçlamışlardır. Böylece özgün bir ısı değiştiricisi tasarımı gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli oluşturularak aynı zamanda çeşitli ısı değiştiricisi tasarım parametrelerinin elektrik üretim verimi üzerindeki etkilerini sırayla analiz ederek on dört farklı tasarım elde etmişlerdir. Bu tasarım değişiklikleri genel olarak; farklı kanal sayıları, farklı kanal uzunlukları, giriş ve çıkışta farklı boyutlarda başlık kullanımı, giriş ve çıkışın değişen pozisyonlarda konumlandırılması ve seri-paralel kombinasyonların kullanılması olarak özetlenebilir. Tasarlanan bu özgün ısı değiştiriciler PV panelin alt yüzeyine temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve panelde homojen bir sıcaklık düşümü eldesi, ısı değiştirici yüzeyindeki sıcaklık gradyanının ve harcanan gücün azaltılması gibi avantajlar sağlanmıştır [38].

Literatürde yapılan çok sayıdaki çalışmadan da görüldüğü gibi, PV panellerin soğutulması amacıyla kanal içerisinden su geçirilmesi veya direk yüzeye su püskürtülmesi yöntemleri kullanılmıştır. Fakat bu yöntemlerin hepsinden anlık olarak soğutma gerçekleştirilmiş olup tam olarak yüzeyi soğutmak için hem çok fazla süre hem de çok fazla miktarda su harcanmıştır. Yapılması planlanan bu projeyi literatürde aynı hedef doğrultusunda yapılan diğer çalışmalardan ayıran özelliği ise daha az su harcayıp suyun tüm enerjisini kullanarak panel yüzeyini daha etkin ve homojen bir şekilde soğutmaktır. Bu sayede süreden ve soğutma sisteminin çalışması için kullanılması gereken enerjiden tasarruf sağlanacak ve aynı zamanda panel veriminde ise artış olacaktır. Bu çalışmanın hedefleri arasında yer alan ve literatürde önemli bir sorun olarak nitelendirilen homojen ısı dağılımının sağlanması sorununa da selülozik sünger kullanılarak çözüm getirilecektir. Selülozik süngerin suyu homojen bir şekilde emebilme özelliğinin yanında, bünyesinde bir miktar suyu da depo edebilmesi özelliğinden dolayı PV sistemlerin soğutulması uygulamalarında önemli avantajlar sağlayacağı ve piyasa uygulamalarında önemli bir uygulama alternatifi haline gelebileceği düşünülmektedir.

BÖLÜM 3

ENERJİ KAYNAKLARI, GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARI VE PV PANELLER

3.1. ENERJİ KAYNAKLARI

Günümüzde her geçen gün gelişen teknolojinin bizlere sunmuş olduğu imkânlarından ve kolaylıklarından faydalanabilmek ve bunların gelişiminin devamını sağlayabilmek açısından enerjiye ihtiyaç duymaktayız. İnsanoğlu ihtiyaç duyduğu bu yüksek miktardaki enerjiyi yeterli düzeyde sağlayabilmek amacıyla pek çok farklı uygulama alanları geliştirmiş ve halende geliştirmektedir. Günümüzde tükettiğimiz enerjinin büyük bir kısmını fosil yakıtlardan, geriye kalan kısımlarını ise nükleer kaynaklardan veya yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır [39].

Çizelge 3.1’de gösterildiği üzere enerji kaynakları iki ayrı temel gruba ayrılabilir. Bunlardan ilki enerji kaynaklarının kullanım özelliklerine göre yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olmasıyla açıklanır. Eğer bir çevrim sonucunda kullanılmasına rağmen kaynaktan bir azalma veya tahribat meydana gelmiyorsa ve çevrim sürecinde değişime uğramadan aynen kalabiliyorsa bu enerji çeşidine yenilenebilir enerji ismi verilir. Ancak çevrim sonucunda kaynaktan bir azalma veya tahribat oluşuyorsa ve aynı zamanda kaynak özellikleri değişiyorsa bu enerji çeşidi yenilenemez enerji olarak adlandırılır. Bir değer gruplandırma ise enerjinin dönüştürülebilir özellikleriyle alakalı olarak birincil enerji veya ikincil enerji olarak adlandırılmasıdır. Eğer enerji herhangi bir değişim ya da dönüşümüne uğramamış şekilde ise bu enerji birincil enerji ya da primer enerji olarak, eğer birincil enerjinin dönüştürülmesi ile elde edilen bir enerji ise de bu enerji ikincil enerji ya da sekonder enerji olarak gruplandırılmaktadır [40].

Çizelge 3.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [40].

Enerji Kaynakları	
Kullanışlarına Göre	Dönüştürülebilirliklerine Göre
<p>A. <u>Yenilenemez Enerji</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fosil Kaynaklı Enerji <ul style="list-style-type: none"> -Kömür, -Petrol -Doğal Gaz • Çekirdek Kaynaklı Enerji (Nükleer Enerji) <ul style="list-style-type: none"> -Uranyum -Toryum 	<p>A. <u>Birincil Enerji</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kömür • Petrol • Doğal Gaz • Nükleer Enerji • Yenilenebilir Enerji
<p>B. <u>Yenilenebilir Enerji</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrolik Enerji • Jeotermal Enerji • Rüzgar Enerjisi • Dalga Enerjisi • Hidrojen Enerjisi • Biokütle Enerjisi • Güneş Enerjisi 	<p>B. <u>İkincil Enerji</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrik, • Benzin, Mazot, Motorin • İkincil Kömür, Kok Kömürü vs. • Hava Gazı, • Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

3.1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Bir enerji çevrimi sonucunda kendini tekrar yenileyemeyen enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynakları temel olarak fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olmak üzere iki çeşide ayrılmaktadırlar. Özellikle fosil kaynaklı enerjinin daha ucuza üretilmesi ve lojistiğinin daha kolay sağlanabilmesi diğer muadil enerji kaynaklarına oranla daha çok tercih edilmesine sebep olmaktadır. Ancak diğer, alternatif kaynaklara göre doğaya zararlı kimyasallar yayan enerji kaynaklarıdır. Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre 2021 yılı itibarıyla dünyada fosil kaynakların kullanım oranı %80'den fazladır [41]. Çekirdek kaynaklı enerji ise fosil kaynaklı enerjiye alternatif olabilmek amacıyla atom ile çekirdeğin yapısı hakkında araştırmalar yapılması ile insanoğlunun hayatına girmiştir. Bu süreç çeşitli bilimsel araştırmalarla devam etmiş ve 1940'lı yıllar sonrasında nükleer enerji üretimi prensipleri kısa sürede öğrenilmiştir [42]. Nükleer enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında olmamasına rağmen alternatif

kaynaklar arasında sayılmaktadır. Bunun sebebi ise fosil yakıtlara alternatif olması ve çevreye zararlı gaz salınımı yapmamasıdır [43].

3.1.2. Yenilebilir Enerji Kaynakları

Bir enerji çevrimi sonucunda kendini tekrar yenileyebilen enerji kaynaklarıdır. Sözlük tanımı “enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı” olan yenilenebilir enerji doğa dostu olması ve çevreyi kirletmemesi açısından fosil kaynaklara göre çok daha avantajlı bir konumda bulunmaktadır [44].

Yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, hidrojen enerjisi, biokütle enerjisi ve güneş enerjisi olmak üzere 7 ana başlık altında toplanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek potansiyele sahip enerji çeşidi güneş enerjisidir. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi yaklaşık olarak $3,6 \times 10^6$ TW, rüzgar enerjisi 72 TW, jeotermal enerji 9,8 TW iken tüm insanlığın ortak bir şekilde ortaya çıkarabileceği maksimum teorik enerji 15 TW olarak saptanmıştır. Çizelge 3.2 yenilenebilir enerji çeşitleri ve bunların kaynakları gösterilmektedir [45].

Çizelge 3.2. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları [45].

No	Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	Enerjinin Kaynağı
1	Hidrolik Enerji	Su ve Hidroksitler
2	Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
3	Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
4	Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
5	Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler
6	Biokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
7	Güneş Enerjisi	Güneş

Bu çalışmanın da ana odak noktası olan güneş enerjisi sistemimizin merkezinde bulunan ve bir yıldız olan güneşten almaktadır. Gezegenimizden yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta ve 1,39 milyon km çapındadır. Güneş dünyamızın en temel ve en

önemli enerji kaynağıdır ve diğer enerji türlerinin birçoğu doğrudan yada dolaylı olarak güneş enerjisine bağlı olarak ortaya çıkmış enerji türleridir [45].

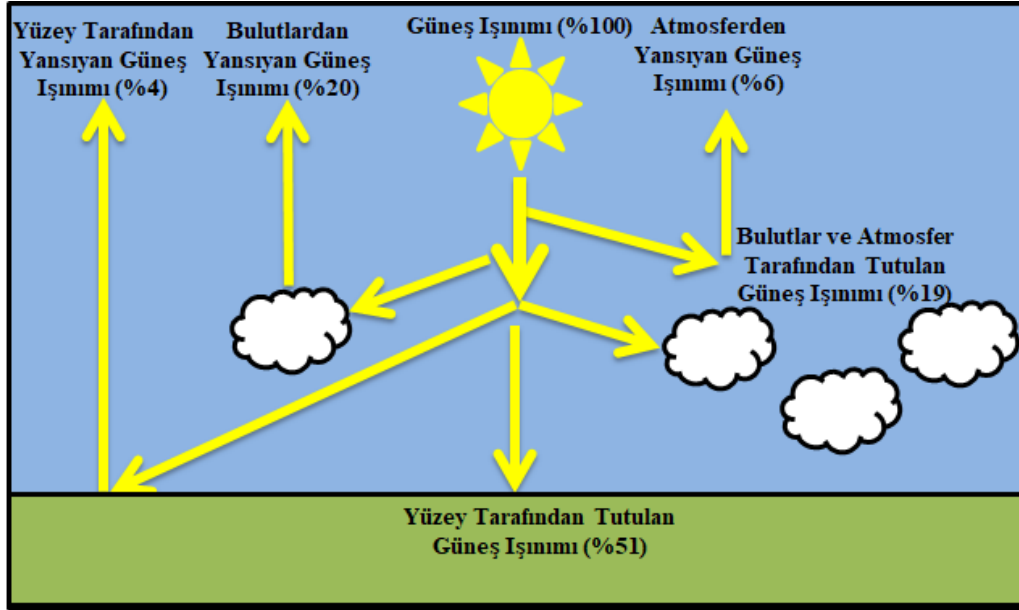
3.2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşten dünyamıza ulaşan ışınım enerjisi, yerkürenin yüzeyi ve atmosferinde yer alan fiziksel ve biyolojik etkileşimlere yön veren en temel enerji kaynağıdır. Dünya çapının yaklaşık 110 misli olan güneş, yaklaşık 1,4 milyon km çapındadır ve yüksek yoğunla sahip sıcak gazlar içermektedir. 2×10^{30} kg kütleyle ise dünya kütesinin yaklaşık 330 bin katına eşittir. Yüzeyi 5777°K (yaklaşık 5504°C) sıcaklığındadır. Ancak güneşin merkezine gidildikçe yoğunlaşan füzyon tepkimeleri sonucunda bu sıcaklık 8×10^6 °K derecesine kadar çıkmaktadır [46]. Bu denli sıcak olan bir cismin saniyede yaydığı enerji yaklaşık olarak 4×10^{23} kW'tır ve yaklaşık olarak küre biçiminde olan güneş bu ürettiği enerjiyi çevresine neredeyse homojen bir biçimde yaymaktadır [47]. Güneş ile gezegenimiz arasındaki mesafe yaklaşık olarak 150 milyon km kadardır ve güneşten tarafımızdan dünyamıza gönderilen ışınım, bu uzak mesafeyi saniyede 300 bin km'lik bir hızla sadece 8 dakikada kat ederek yerküreye ulaşmaktadır [48].

Güneşten gelen ışınımın yaklaşık %30'u atmosfere girişte geri yansırken %51'lik kısmı ise atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır. Geriye kalan % 19'lük kısım ise atmosfer ve bulutlar tarafından absorbe edilir [49]. Güneş ışınımının yer yüzeyinden geri uzaya yansıyan kısmına *albedo ışınım* adı verilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Şekil 3.1'de güneş ışınımının atmosfer içindeki dağılımları gösterilmektedir.

Güneş enerjisi güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon tepkimeleri ile hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sonucu ortaya çıkan kütesiz bir enerji çeşididir. Dünya atmosferine giriş yapan güneş enerjisi şiddeti ortalama olarak 1370 W/m^2 değerindeyken, yerküreye ulaşan enerji (ışınım) miktarı ortalama olarak 1100 W/m^2 değerleri arasında değişim göstermektedir [50]. Güneş ışınımının bir bölümü atmosferdeki gazlar nedeniyle atmosfere dağılım sağlar, bir bölümü ise doğrudan yerküre yüzeyine ulaşır. Yüzeye doğrudan ulaşan bölümüne *doğrudan ışınım (beam*

radiation), atmosferde dağılan kısmına ise *yayınık ışınım (diffuse radiation)* adı verilmektedir. Bu ışınımların toplamı ise özellikle PV sistem hesaplarında kullanılan *küresel ışınımı (global radiation)* oluşturur [51]. Güneşten gelen ışınımın %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i ise görünür ışık bölgesinde yer almaktadır. Geri kalan %9 ise mor ötesi bölgede bulunmaktadır [49].



Şekil 3.1. Güneş ışınımlarının atmosfer dağılımı.

Günümüzde dünya üzerinde yaklaşık olarak 7,5 milyar insan yaşamaktadır. İnsanoğlu, günümüzdeki yaşam standartlarını sürdürerek yaşamına devam edebilmesi için, yaklaşık olarak 13 TWh'lik enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Gerçekleştirilen araştırmalarda ise 30 yıl içerisinde insanoğlunun enerji talebinin günümüze nazaran 10 TWh daha fazla olacağı öngörülmektedir. Güneşten yerküreye gelen kullanım potansiyeline sahip enerji miktarı ise yaklaşık olarak 120.000 TWh'dir. Bu durumda, günümüz şartlarında, saatlik olarak güneşten yerküreye ulaşan enerji miktarı günümüzdeki saatlik enerji ihtiyacının yaklaşık olarak 9,500 katı kadar fazlasını içerdiği anlamını taşımaktadır. Yani güneşten dünyamıza ulaşan enerji miktarı insanoğlunun ihtiyacından 200 kat daha fazladır. Bu açıdan güneş enerjisinden etkin bir biçimde yararlanabilmek insanlık açısından pek çok soruna çözüm sağlamak anlamına gelebilmektedir [52].

3.2.1. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli

Teorik olarak konumu itibariyle dünya üzerinde güneş ışınımlarından en iyi yararlanılma potansiyeline sahip olan bölge ekvatorun 35° kuzey ile güney enlemleri arasındaki bölgedir. Bu bölgeye *Dünya Güneş Kuşağı* adı verilmektedir. Yıl içerisinde ortalama olarak 3500 saate kadar güneşlenme süresine sahiptir ve 3,5 – 4 kWh/m² arasında değişen ışınım şiddetine sahiptir. Dünya üzerinde ortalama ışınım şiddeti ise yağış oranı düşük olan bölgelerde 2-2,5 kWh/m² iken daha yağışlı bölgelerde 1-1,5 kWh/m² aralıklarındadır. Dünyanın değişik bölgelerindeki değişik ışınım şiddetleri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir [53].

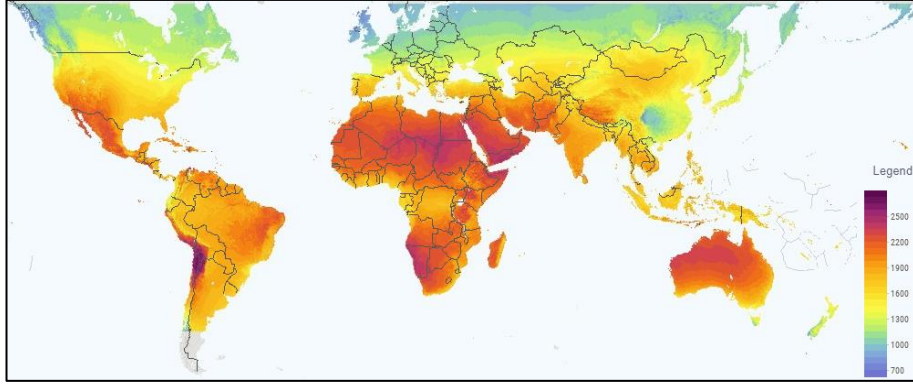
Çizelge 3.3. Işınım şiddetinin bölgesel dağılımı [53]

Bölge	Radyasyon Oranı
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Işınım şiddeti ölçümleri aynı noktadan aynı gün aynı saat aynı dakika içerisinde ölçülse dahi farklı sonuçlar ile karşılaşılabilir. Bunun sebebi ışınım şiddetinin ortamdaki en küçük değişimden dahi kolaylıkla etkilenebilen bir özelliğe sahip olmasından ötürüdür. Güneş ışınımının ölçümüne etki eden temel parametreler aşağıda sıralandığı gibidir:

- Dakika, saat gibi daha kısa süreli zaman değişimi,
- Hava durumu etkileri,
- Ay, mevsim, yıl gibi daha uzun süreli zaman değişimi,
- Bulunulan noktaya göre değişim,
- Konumun güneşlenme süresi,
- Konumun anlık sıcaklığı [49].

Şekil 3.2’de gösterildiği üzere güneş ışınımlarının şiddeti ekvator bölgesi üzerinde ve düşük yağış oranına sahip yerlerde yoğunlaşmaktadır [54].



Şekil 3.2. Güneş ışınımlarının dünya üzerindeki dağılımı [54].

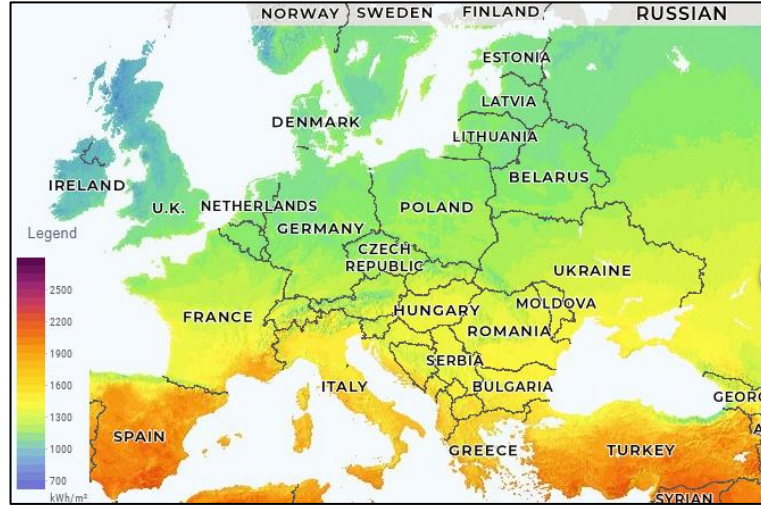
Geçmişte güneş enerjisi sektöründeki en dikkat çekici yatırımlar genellikle Avrupalı ülkeler tarafından yapılırken son yıllarda özellikle Çin, Japonya ve Hindistan gibi Asya ülkelerinde ve ABD’de ciddi yatırımlar ile güneş enerjisi tesisleri kurulumuna hız verilerek bu alanda dünyada öncü konumuna geldikleri görülmektedir [55]. Gerçekleştirilen bu gelişmeler ile güneş enerjisinde Çin, küresel kurulu güç kapasitesinin yaklaşık %74’ünü tek başına üstlenmektedir. 2020 sonu verileri itibari ile dünyadaki güneş enerjisi kurulu gücü 700 GW değerini aşmıştır [56].

Aralık 2020 verilerine göre dünyada en yüksek güneş enerjisi kurulu gücüne sahip olan ülke yaklaşık 255,000 MW’lık bir güç oranı ile Çin Halk Cumhuriyeti’dir. Bu ülkeyi yaklaşık 75,000 MW ile Amerika Birleşik Devletleri izlemektedir. Avrupa’da en yüksek kurulu güce sahip olan ülke ise yaklaşık 54,000 MW ile Almanya’dır. Yine bu veriler ışığında güneş enerjisi kurulu güç oranı en yüksek olan 15 ülkeden 5 tanesi Asya ülkesidir ve toplam kurulu güçleri 400,000 MW’a dayanmaktadır. Avrupa ülkesi olan 8 ülkenin toplam kurulu güçleri ise yaklaşık 150,000 MW’dır. Geriye kalan 2 ülke Amerika Kıtasında bulunan ülkelerdir ve toplam 83,000 MW’lık bir kurulu güce sahiptir. Bu veriler doğrultusunda görülmektedir ki, güneş enerjisi potansiyelinin büyük kısmını bu alanda liderliğini Çin Halk Cumhuriyeti’nin yaptığı Asya ülkeleridir [53].

3.2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi konumunun getirmiş olduğu avantaj ile birlikte ülkemiz güneş enerjisinden yararlanabilme potansiyeli açısından pek çok Avrupa ülkesine göre şanslı

durumdadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2700 saat (yaklaşık olarak günlük 7,5 saat), ortalama ışınım şiddeti ise 1300 kWh/m²-yıl (yaklaşık olarak günlük 3,6 kWh/m²) olduğu tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu veriler ışığında kıyaslama yapılırsa ülkemizin güneş ışınımlarından yararlanma olanağının Almanya'ya kıyasla 1,6 kat daha fazla olduğunu söyleyebilmekteyiz.



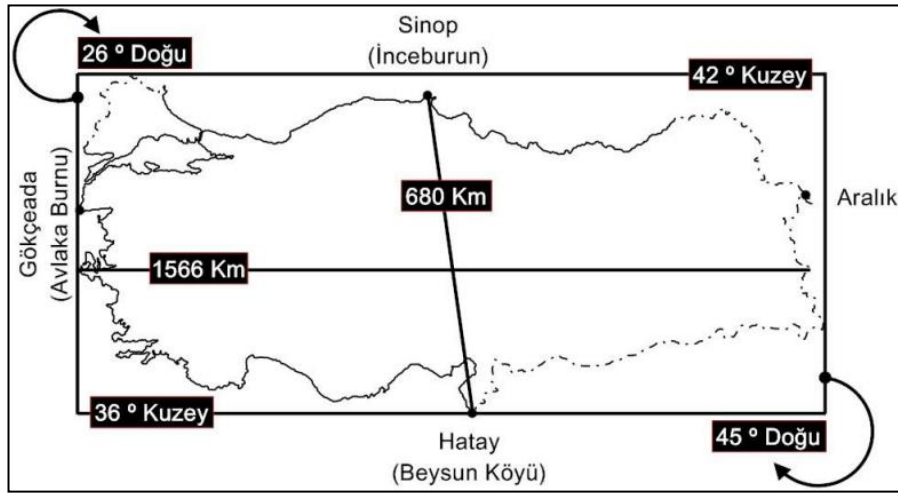
Şekil 3.3. Güneş ışınımlarının Avrupa üzerindeki dağılımı [54].

Çeşitli çalışmalar sonucunda ortaya çıkan verilerden yapılan hesaplamalarla ülkemizin ışıınımdan yararlanma potansiyelinin yıllık en az 189 GWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Buda bize Türkiye'de enerji potansiyeli bakımından en yüksek enerji kaynağının Güneş Enerjisi olduğunu göstermektedir. Avrupa'da güneş enerjisi potansiyeli bakımından en yüksek iki ülke olan İtalya ve İspanya, Türkiye'ye kıyasla yaklaşık %23 daha düşük bir potansiyele sahiptir. Böyle bir potansiyele sahip olmamızın en büyük nedenlerinden birisi yıl içerisindeki güneşli gün sayısının fazla olmasıdır [57]. Şekil 3.3'de güneş ışınımlarının Avrupa üzerindeki dağılımları gösterilmektedir [54].

Türkiye coğrafi konumunun bir getirisi olarak ılıman iklim kuşağında yer alan bir ülkedir ve iki farklı kıtayı birleştiren bir konumdadır. Kuzey yarımkürede yer almasına karşın sınırları içerisindeki farklı bölgelerde farklı iklim koşulları yaşamaktadır. Karadeniz bölgesi yoğun ağaçlara sahip ışınım şiddetinin görece

düşük olduğu bir bölgeyken, Güneydoğu Anadolu bölgesi bozkırlar ve dağlarla çevrili güneş ışınımının görece yüksek olduğu bir bölgedir. Şekil 3.4’de Türkiye’nin coğrafi konumu gösterilmektedir [48].

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli bakımından en yüksek yerlerdir. En düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bölgelerin ise Marmara ve Doğu Karadeniz olduğu söylenebilir. Çizelge .3 Türkiye’nin yıllık ortalama toplam güneş enerjisi dağılımı ve güneşlenme süreleri verilmiştir [49].



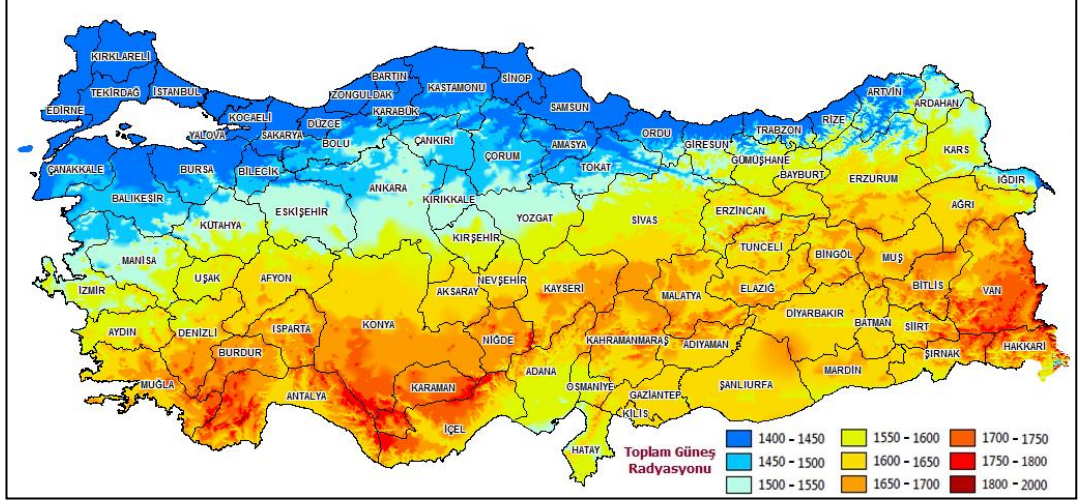
Şekil 3.4. Türkiye’nin coğrafi konumu [48].

Çizelge 3.4. Işınım şiddetinin bölgesel dağılımı [49].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ²)	Güneşlenme Süresi (Saat /yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

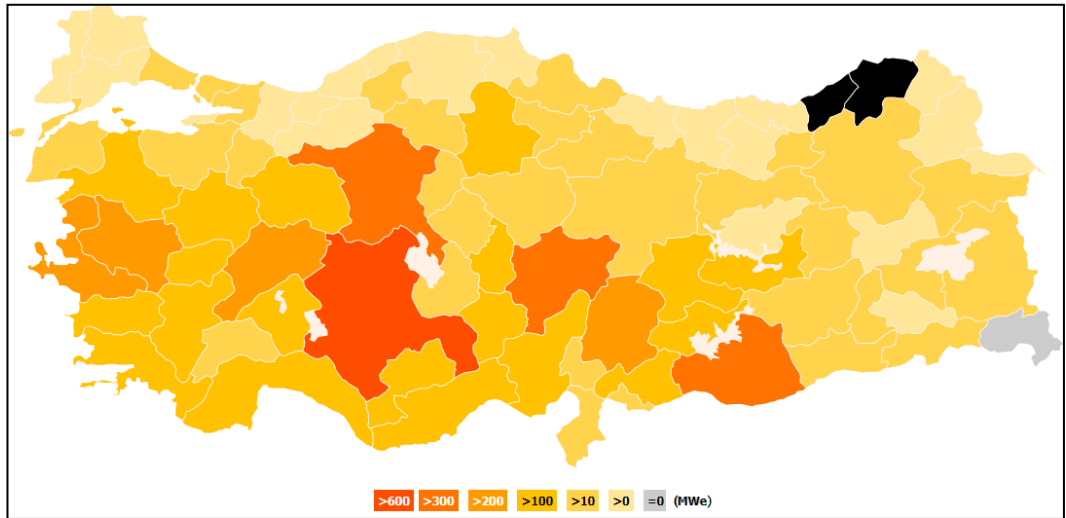
EİE’nin GEPA çalışmalarından alınan Şekil 3.5’deki Türkiye’nin solar atlası görüntüsünden de çizelgedeki verileri doğrulamak mümkündür [58]. Görüldüğü

üzere Türkiye topraklarında Marmara ve Karadeniz kıyıları haricinde yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Güneş ışınımının Türkiye üzerindeki dağılımı [58].

Türkiye kuzey yarımkürede yer almakta ve eski dünya karaları olarak bilinen Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan bir konumda bulunmaktadır. Bu coğrafi özellikler nedeniyle yaz aylarını Mayıs – Ağustos ayları arasında yaşamaktadır. Yine en yüksek ışınım şiddetini ve güneşlenme süreleri bu aylar arasında yaşamaktadır. Bu aylarda ortalama ışınım şiddeti değerleri $6,25 \text{ kWh/m}^2$ iken, ortalama güneşlenme süresi ise $10,5 \text{ saat/gün}$ 'dür. Geriye kalan ayların ortalama ışınım şiddeti değerleri $3,13 \text{ kWh/m}^2$ iken, ortalama güneşlenme süresi ise 6 saat/gün 'dür [58].



Şekil 3.6. Türkiye'de güneş enerjisi üretiminin illere göre dağılımı (MW) [56].

Şekil 3.6.'de gösterildiği üzere Türkiye'de güneş enerjisi santralleri Konya bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bunun temel sebepleri arasında güneş enerjisi santrallerinin kurulması için gerekli coğrafi konumlara fazlasıyla sahip olması ve yüksek güneşlenme süresi gösterilebilir.

3.2.3. Güneş Enerjisi Uygulama Alanları

Geçmiş yıllarda ülkemizde genellikle endüstriyel veya evsel kullanımlara sıcak su sağlamak amacıyla kullanılan güneş enerjisi, dünya ülkelerinin yenilenebilir enerji sektörüne önem vermesiyle birlikte Türkiye'de bu trende ayak uydurarak güneş enerjisinden elektrik üretimi noktasında ciddi yatırımlara ev sahipliği yapmaya başlamıştır. Ancak güneş enerjisi sistemlerinin kullanım amaçları sadece bu iki örnekle sınırlı değildir. Güneş enerjisinin bazı kullanım alanları aşağıda verildiği gibidir:

- Konut veya işyerlerinin enerji ihtiyacının tamamının veya bir kısmının karşılanmasında,
- Konut, sera veya işyerlerinin ortamlarının ısıtılmasında veya kullanım amaçlı sıcak su eldesinin sağlanmasında,
- Soğutma sistemlerinin pasif kısımlarında,
- Kurutma amaçlı kullanılan sistemlere ısı aktarımı yapılması,
- Su damıtma işlemlerinde,
- Yol, sokak, bahçe vb. Alanların ışıklandırılmasında veya trafik işaretlerine enerji sağlamada,
- Hesap makinesi, saat vb. cihazlara enerji sağlamada,
- Uzay araçları ve uydulara uzay boşluğu içinde enerji sağlamada,
- Güneş kulelerinde,
- Prototipleri halen geliştirilme aşamasında olan ulaşım araçlarında,
- Güneş ocaklarında yemek pişirilmesinde [59,60].

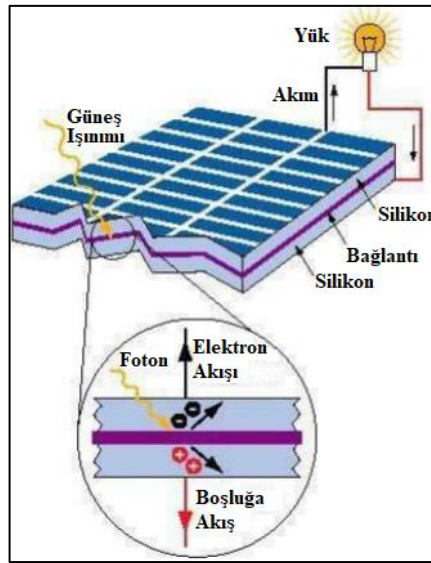
Güneş enerjisi sistemlerini çalışma sıcaklıklarına göre iki ayrı gruba dağıtabiliriz. Bunlardan ilk grup 65°C ile 120°C sıcaklıkları arasında çalışan düşük sıcaklıklı sistemlerdir. Bu sistemlere örnek olarak güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş

bacaları ve güneş ocakları verilebilir. İkinci grup ise ise 800°C'ye kadar çıkabilen yüksek sıcaklıkta çalışan sistemlerdir. Bu sistemlere örnek olarak parabolik oluk tipi güneş kolektörleri, parabolik çanak (diş) güneş kolektörleri ve güneş kuleleri verilebilir [61].

3.3. FOTOVOLTAİK PANEL UYGULAMALARI VE ÖZELLİKLERİ

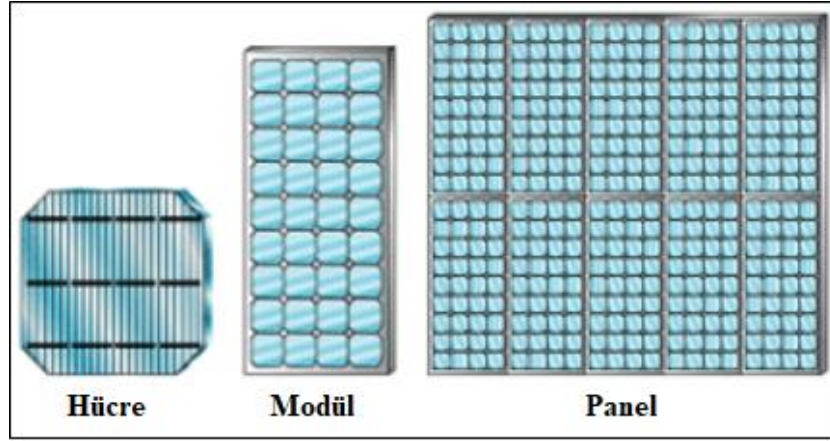
Fotovoltaik (PV) paneller, enerjinin korunumu yasasına göre fotonlar aracılığı ile yerküre yüzeyine ulaşan ışınım enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Kısaca 'photovoltaic' kelimesinin kısaltılması olan PV simgesi ile gösterilmektedir. Doğru akım (DC) olarak enerji çevrimi yaparlar ve bir inverter yardımıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülerek şebekeye enerji sağlayabilirler. Üretim cihazı olup enerji depolayabilme özellikleri bulunmaz. Işınım etkisinde kalan iki farklı malzeme ile yarıiletken (silikon vb.) bir malzeme arasında oluşan elektriksel potansiyeli, elektrik enerjisine dönüştürmeyi amaçlayan ve bu temel prensip ile çalışan bir sistemdir.

Panel üzerine düşen ışınım enerjisi yarıiletken malzeme üzerindeki uçlar arasında potansiyel bir fark oluşturur, bu uçlar dış bir devreye bağlanarak elektrik üretimi sağlanır. Eğer bir yarıiletken üzerindeki aralık küçükse, fotovoltaik sistemin uçları arasında oluşan potansiyel fark küçük, dış devre akımı ise büyük olur. Bu doğrultuda şekil 3.7'de geleneksel bir PV için çalışma prensibi verilmiştir [62].

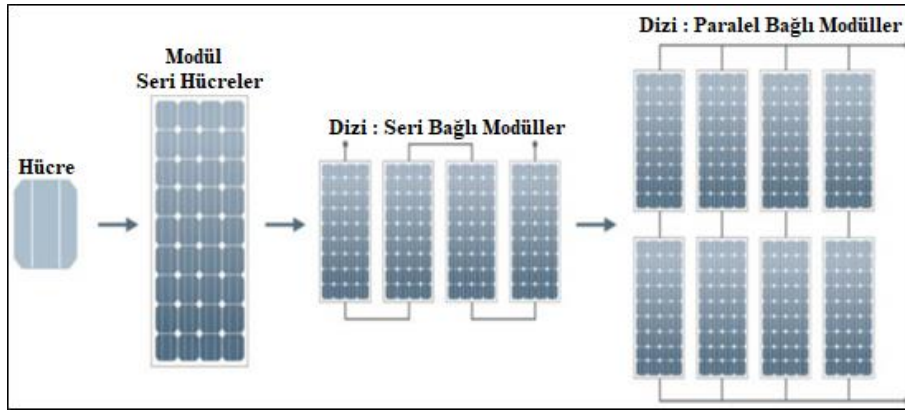


Şekil 3.7. PV panel çalışma prensibi [62].

PV panellerin en küçük yapısı PV hücrelerdir, bu hücreler modülleri, modüller ise panelleri oluşturur (Şekil 3.8) [63]. Alınan güç eldesini arttırmak amacı ile paneller paralel veya seri olarak bağlanabilir (Şekil 3.9) [64].



Şekil 3.8. Hücre - Modül - Panel ilişkisi [63].



Şekil 3.9. PV panel dizi ilişkisi [64].

PV panellerin hücre yapılarına göre verimleri %5 ila %20 arasında değişmektedir. Yapılarından kaynaklı olarak verimleri oldukça düşük sayılabilecek bir oranda olan bu sistemlerden elde edilen enerjinin mümkün olduğunca az fazladan kayıp vererek çalışması gerekmektedir. Üretilen enerji potansiyeli dış etmenler yüzünden yaklaşık olarak %25 daha az olmaktadır. Bunların başlıcaları ise yaklaşık %7 ile gölgeleme faktörü ve yaklaşık %5 ile yüksek hücre sıcaklığı olarak göze çarpmaktadır [65]. Gölgeleme faktörünün etkisini en aza indirmek panel yerleştiriliminde doğru lokasyon seçimi ile mümkün olabilirken yüksek sıcaklığın etkisinin minimize edilebilmesi için ekstra yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3.1. PV Panel Sistemleri

PV panel sistemlerini temelinde sabit ve hareketli sistemler olarak ikiye ayırmak mümkündür.

- **Sabit PV Panel Sistemleri:** Zemin yada çatı gibi alanlara kolaylıkla yerleştirilebilen, genellikle görüntü kirliliğine neden olmayan, hareket ettirici herhangi bir mekanizma içermeyen, konumlandırıldığı şekilde sabit kalan, görece düşük bütçeli ve düşük işletme bakım maliyetine sahip sistemlerdir. Her ne kadar bu sistemler ilk yatırım ve işletme maliyeti bakımından hareketli sistemlere kıyasla daha düşük olsalar da yıllık enerji üretimi noktasında daha düşük kalmaktadırlar (Şekil 3.10-a) [61].

- **Hareketli PV Panel Sistemleri:** Güneş ışınımını günün her saati dik olarak karşılamayı amaçlayan sistemlerdir. Güneşin gün içindeki hareketlerine bağlı olarak panel konumunu ayarlayabilen hareketli mekanizmalara sahiptir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri ile birlikte verimleri sabit panel sistemlerine kıyasla daha yüksektir. Tek eksenli ve iki eksenli olarak kendi içinde iki ayrı sınıflandırmaya sahiptir [66].

- **Tek eksenli harekete sahip PV sistem:** Sadece tek ekseninde (yukarı-aşağı veya sağ-sol) hareket sağlayabilen, güneş takip sistemi (GTS) adı verilen bir donanım kullanılan bu sistem ile yaklaşık olarak %25 oranında bir verim artışı sağlanabilmektedir. Genellikle kuzey-güney hattına konumlandırılan bu sistemde paneller doğu-batı ekseninde hareket ettirilmektedir (Şekil 3.10-b).

- **İki eksenli harekete sahip PV sistem:** Her iki ekseninde de hareket sağlayabilen, bu sayede güneşi tam olarak dik bir şekilde karşılayabilen. Böylece daha yüksek bir verim sağlayabilen bu sistemler daha gelişmiş bir GTS 'ne sahiptirler. Bu sistemler ile yaklaşık olarak %40 oranında bir verim artışı sağlanabilmektedir (Şekil 3.10-c).

Dünya, kendi eksenini etrafındaki hareketini 24 saatte, güneş etrafındaki hareketini ise 365,25 günde tamamlamaktadır. Diğer bir taraftan bu hareketleri gerçekleştirirken dünya dönüş eksenini ve güneş yörünge düzlemi arasında açı farkları sabit olarak kalmamaktadır. Bu durum mevsimlerin ve hava değişikliklerinin oluşumuna da olanak sağlamaktadır. PV sistemlerinin konumlandırılmasında, konuma özel olan bu değişken açıların hesaplamaları panel verimliliği açısından çok önemli bir yere sahiptir [61].



a) Sabit PV panel sistemi



b) Tek eksenli harekete sahip PV sistemi c) İki eksenli harekete sahip PV sistemi

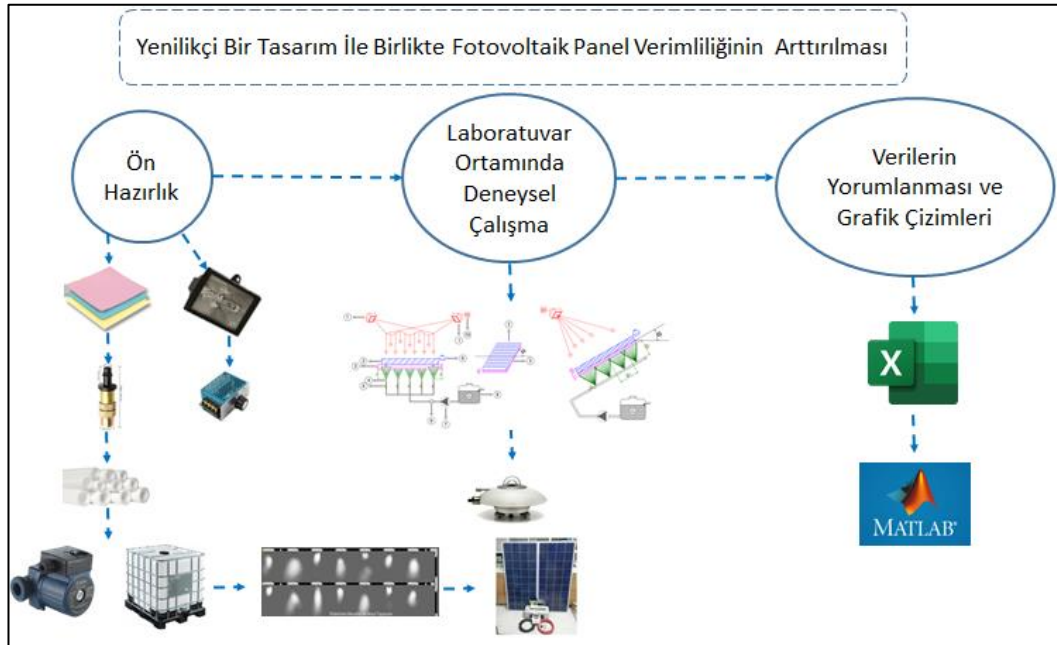
Şekil 3.10. PV panel sistemleri örnekleri [70] .

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. SİSTEM TASARIMI

Yapılan çalışmada, Şekil 4.1’de algoritma şeması halinde gösterilen 3 temel adım takip edilerek gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, deney ekipmanları için gerekli malzemelerin programlaması ve tedarigi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, çalışma boyunca izlenecek yolun GZ analizi yapılarak olası bir sorunun önüne geçilmeye çalışarak çalışma çok yönlü olarak incelenmiştir. Daha sonrasında ise, özel olarak bu çalışmada kullanılmak üzere dış ortam koşullarından olabildiğince az etkilenen bir kapalı sistem deney düzeneği kurulumu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma algoritması.

Deneysel çalışmada tercih edilecek parametrelere, literatürdeki çalışmalar ışığında, karar verilerek kurulan bu düzenele birlikte deneysel çalışma aşamasına geçilmiştir. Deneysel çalışma yaklaşık olarak 350 saatlik veri alma süreci (bu süre sadece

sistemin çalışarak veri kaydı yaptığı süredir, sistemin çalışma koşullarına dönmesi için beklenen ve diğer ara süreler bu süre içerisine dahil edilmemiştir) sonucunda tamamlanmıştır. Bu süre zarfı sonunda, 45 farklı değişik parametrede veri alınarak deneysel çalışma aşaması sona ermiştir. Son olarak ise, elde edilen veriler ışığında grafik oluşturma ve sonuç yorumlama aşamasına geçilerek çalışmada anlamlı bir bütünlük sağlanmıştır.

4.1.1. Ön Hazırlık Aşaması

Bu aşamada, temel olarak bir sonraki aşamada gerçekleştirilecek olan deneysel çalışma için karar, tedarik ve programlamalar gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada tedarik edilen malzemeler ve işlevleri aşağıda belirtildiği gibidir.

- Halojen Projektör: Güneş ışınımını simüle etmek (sıcaklık ve radyasyon).
- PV Panel: Işınım şiddetini elektrik enerjisine dönüştürmek.
- Piranometre: Işınım şiddetini ölçmek.
- Selülozik Sünger: PV panel arka yüzeyine entegre edilerek panel yüzeyinde homojen sıcaklık düşüşü sağlamak ve muadil uygulamalara kıyasla daha az su sarfiyatına olanak sağlamak.
- Nozul: Suyun süngere püskürtülmesini sağlayarak sünger içerisindeki su dağılımını hızlandırmak.
- Su Deposu: Sistemde kullanılacak olan suyu depolamak.
- Wattmetre: Kullanılan elektriksel gücü ölçebilmek.
- Hidrolik Hortum: Depo su beslemesini sağlamak ve açığı gerektiren anlarda PPRC boru ile sağlanamayan esnekliği sisteme kazandırmak.
- Sirkülasyon Pompası: Depodaki durgun haldeki suyu basınçlandırarak selülozik sünger gönderilmesini sağlamak.
- PPRC Borulama Sistemi: Depo ile sistem arasındaki su iletimini sağlamak.
- PPRC Vana: Olası durumlarda su akışını kesmek.
- Alüminyum Kaplama EPS: Paneli dış ortam ile ilişkisini asgari düzeye indirerek etkilenme oranını en aza indirilmesini sağlamak.
- Dimmer: Halojen projektörlerin çalışma gücünü ayarlamak suretiyle panel yüzeyine gönderilen ışınım şiddetini istenilen seviyede tutmak.

- Güç Analizörü: Panel tarafından dönüştürülen elektrik enerjisini, akımı ve gerilimi ölçmek ve kaydetmek.
- Veri Kayıt Cihazı: Panel yüzeyindeki sıcaklıkları, çevre ve iç ortam sıcaklıkları ile ışınım şiddetini ölçmek ve kaydetmek.

Deneysel çalışma aşamasında değişimleri incelenecek olan parametreler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere çalışmada 4 farklı parametre kullanılmıştır. 1,2 ve 3 numaralı parametreler kendi aralarında incelenirken 5 mm kalınlıkta selülozik sünger kullanılmıştır. 500 W/m² ışınım şiddetine sahip deneylerde ise, parametrelerin incelenmesi yapılırken hem 5 mm’lik süngerle hem de süngersiz deneyler gerçekleştirilmiştir.

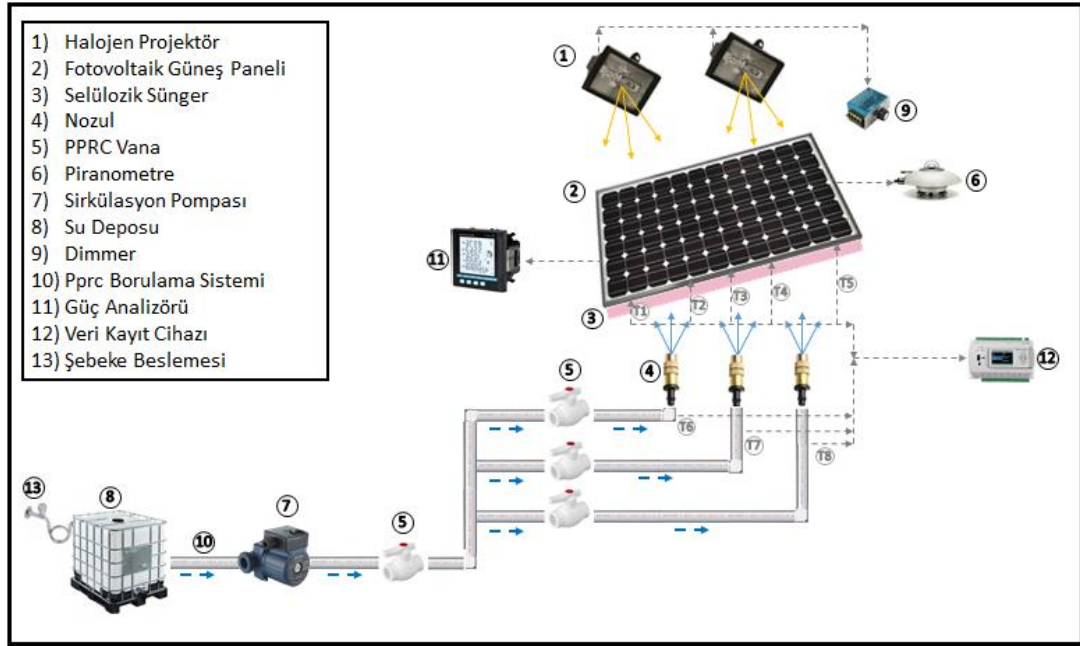
Çizelge 4.1. Çalışma parametreleri.

No	Parametre	Seviler		
1	Her bir püskürtme arası zaman (dk)	10	20	30
2	Işınım şiddeti - (W/m ²)	300	400	500
3	PV panel eğim açısı (α) - (°)	0	25	35
4	Selülozik sünger kalınlığı (mm) (500 W/m ² için)	x	5	

4.1.2. Deneysel Çalışmalar

Bir önceki aşamada tedarik edilen ekipmanlar kullanılarak sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. PV panel standı ise, parametre açılarını tam bir biçimde sağlamak, ışınım şiddetini PV panel üzerine daima dik olarak gelmesini sağlamak ve nozul sistemini PV panel ile paralel olarak tutmamak amacı ile özel olarak tasarlanmıştır. Bir diğer söyleyiş ile Halojenik projektörler, PV panel ve nozul sistemi tüm parametrelerde birbirine paralel olacak şekilde bir dizayn gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla halojenik projektörler vasıtası ile elde edilen ışınımlar PV panel yüzeyine daima 90° olarak gelmektedir. Kurulan deney düzeneğinin şematik ve ayrıntılı gösterimi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Çalışma dahilinde açık literatürde yapılan araştırmalar sonucunda PV panellerde hücre sıcaklığını düşürmek amacı doğrultusunda panel alt yüzeyine selülozik sünger

entegrasyonu gerçekleştirilmesi ile ilgili muadil çalışmanın henüz literatürde yer almadığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı, çalışma prosedürü ve deney parametreleri tespit edilirken benzer nitelikteki çalışmalardan, konu ile ilgili genel literatür bulgularından ve gerçekleştirilen ön çalışmalardan elde edilen bulgulardan yararlanılmıştır.



Şekil 4.2. Deney düzeneği şematik gösterim.

Şekil 4.2’de çizimleri gösterilen deney düzeneğinin montaj ve çalışma prosedürü aşağıda belirtildiği sırada ve şekilde gerçekleştirilmiştir:

- Panel standında gerekli ayarlamalar yapılarak parametre olarak belirlenen eğim şartlarını sağlayan ve 3 deney ekipmanında (halojenik projektörler, PV panel ve nozul sistemi) çalışma esnasında birbirlerine paralel olarak konumlanmasına olanak veren bir panel standı tasarımı yapılmıştır.
- 2 adet halojenik projektör, panel yüzeyinde homojen bir ışınım dağılımı sağlayabilecek bir biçimde stant üzerine monte edilmiştir. Halojen projektörler, çalışma esnasında tükettiği enerjiyi ölçebilmek amacıyla priz tipi wattmetreye bağlanmıştır.

- PV panelin sıcaklıklarını ölçmek amacı ile arka yüzey üzerinde ikisi panel alt kısmına, ikisi panel üst kısmına ve bir tanede panelin tam orta noktasına olmak üzere toplam 5 farklı noktaya K tipi termokupl monte edilmiştir. Bu termokupların bağlantı noktaları kauçuk yalıtım ile izole edilerek panel yüzey sıcaklıklarının en doğru biçimde ölçülmesi sağlanmıştır. Belirtilen sıcaklık ölçüm noktaları Ek-I'da gösterilmektedir.

- PV panelin alt yüzeyine selülozik sünger entegrasyonu gerçekleştirilerek süngerin panel ile olan teması olabildiğince yüksek tutulmuştur. Süngerin bünyesinde su barındırma kapasitesi kendi hacminin yaklaşık 10 katı olduğundan, su püskürtme esnasında süngerin hacminin ve ağırlığının artması sonucunda bağlantıda esneme olmamasına özellikle dikkat etmek ve bu durumlar göz önüne alınarak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Sonrasında PV panel, panel standına monte edilmiştir.

- Alüminyum kaplama EPS kullanılarak panel çevresi kapalı bir sisteme çevrilmiştir. Bu kapalı alan ile PV panel sistemi laboratuvar ortam koşullarından ayrılmıştır. Bu sayede çalışma esnasında hem ışınım şiddeti açısından hem de iç ortam sıcaklığı açısından güneş altındaki çalışma koşulları daha gerçekçi olarak simüle edilebilmiştir. Ayrıca, projektörlerden elde edilen ışınım şiddetinin panel üzerine homojen bir biçimde dağılımına yardımcı olmaktadır.

- Boruluma sisteminin kaynağı ve montajı gerçekleştirilerek nozul sisteminin montajı su deposundan panel standına kadar monte edilmiştir. PPRC boru ile sağlanması zor olan açı verme esnekliği yine PPRC boru kadar dayanıklığa (5 bar'a kadar) sahip özel imalat hidrolik hortum ile sağlanmıştır.

- Depoda durgun halde bulunan suyun basınçlandırarak nozul sisteminden püskürtülmesini sağlamak amacıyla kullanılan sirkülasyon pompasının bağlantısı yapılmıştır. Sirkülasyon pompasının çalışma süresi her açılışında yarım litre suyu nozullar aracılığı ile selülozik sünger üzerine püskürtecek şekilde ayarlanmıştır. 0.3 m³/h debi ile çalıştırılan bu pompa, deneyde kullanılacak parametreye bağlı olarak her 10, 20 veya 30 dk'da bir çalışarak suyu basınçlandırmıştır.

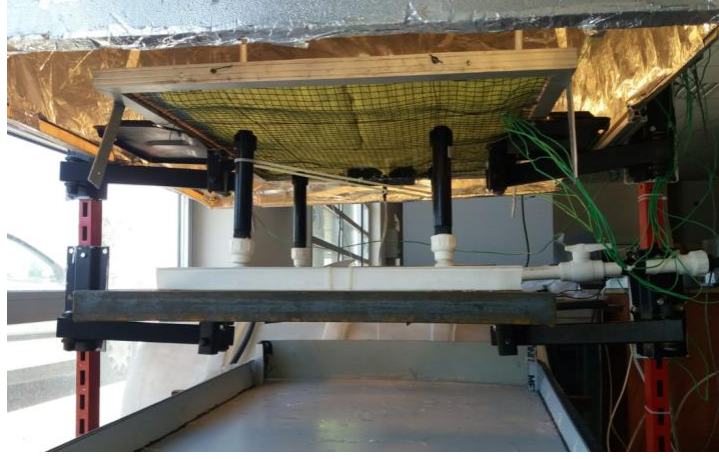
- Panelin ürettiği anlık akım, gerilim ve güç değeriyle birlikte I-V ve P-V eğrilerini kaydetmek amacıyla kullanılan PV güç analizörünün panele olan bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

- Panelden alınan sıcaklık verilerinin işlenip kaydedilmesini sağlayan veri kayıt cihazının termokupl bağlantıları gerçekleştirilerek sistemden veri alınma işlemine başlanmıştır.

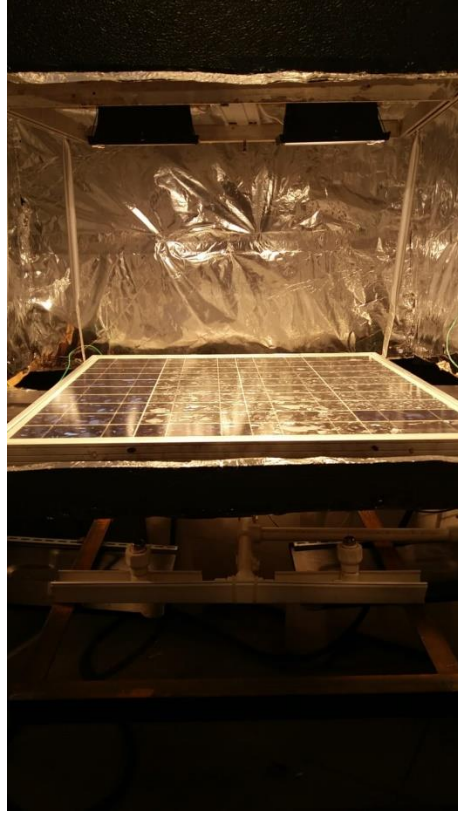
Açıklanan bu prosedürler bağlamında kurulumu gerçekleştirilen deney düzeneğinin genel görünümü ve montajı Şekil 4.3'te gösterildiği gibidir. Deney düzeneğinin selülozik sünger entegrasyonu, nozul sistem elemanları ve alt yüzey bağlantılarının genel görünümü Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Deney düzeneğinin projektör bağlantısının ve alüminyum köpük ile izole edilmiş iç sistemin görünümü ise Şekil 4.5'te yer almaktadır.



Şekil 4.3. Deney sisteminin genel görünümü.



Şekil 4.4. Selülozik sünger entegrasyonu ve nozul sistemi.



Şekil 4.5. İzole iç ortam görünümü.

4.1.3. Verilerin Yorumlanması

Veri kayıt cihazı aracılığıyla elde edilen sıcaklık verileri ve güç analizörü aracılığıyla elde edilen PV panel güç, akım ve gerilim değerleri öncelikle excel dosyalarına kullanılabilir şekilde işlenmiştir. İşlenen bu veriler Matrix Laboratory (MATLAB)

programı aracılığı ile Eşitlik 4.2, Eşitlik 4.3, Eşitlik 4.7, Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9 kullanılarak hesaplamalar yapılarak her bir deney için, Sıcaklık-Zaman, I-V, Güç-Zaman ve Verim-Zaman değişimi grafikleri çizilmiş ve değerlendirilmeleri yapılmıştır.

4.2. MATERYAL ÖZELLİKLERİ

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nın imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği çeşitli literatür verileri ve yapılan ön çalışmalar ışığında tasarlanıp, parametreler de aynı anlayış ile tespit edilmiştir. Deney düzeneği halojen projektör, PV panel, pıranometre, selülozik sünger, nozul, su deposu, wattmetre, hidrolik hortum, sirkülasyon pompası, PPRC borulama sistemi ve vana, alüminyum kaplama EPS, dimmer, güç analizörü ve veri kayıt cihazından oluşmaktadır.

1. Halojen projektör özellikleri: Deney düzeneğinde 2 adet 500 W halojen projektör ve d-lite 500 W çubuk halojen ampul kullanılmıştır. Halojenik projektörün yaydığı ısı termokupllar, yaydığı ışınım şiddeti ise pıranometre aracılığıyla ölçümlenmiştir. Çizelge Ek A.1'de halojen projektör teknik özellikleri gösterilmektedir.

2. PV panel özellikleri: Deney düzeneğinde 1 adet 42 W gücünde polikristal panel kullanılmıştır. Ölçülen ışınım şiddeti değerleri veri kayıt cihazı vasıtasıyla kaydedilmiştir. PV panel arkasındaki güç çıkış ünitesine 3D yazıcıdan imal edilen özel bir muhafaza eklenerek güç çıkış elemanlarına her hangi bir su kaçağına karşı önlem alınarak deney gerçekleştirilmiştir. Çizelge Ek B.1'de PV panel teknik özellikleri gösterilmektedir.

3. Pıranometre özellikleri: Deney düzeneğinde 1 adet silikon hücreli 3120 model pıranometre kullanılmıştır. Pıranometre 0,25-1,15 mikron spektrum aralığındaki projektör ışınımı ölçmek için tasarlanmıştır. Hassasiyet oranı $\pm\%0,3$ 'tür. Çizelge Ek C.1'de pıranometre teknik özellikleri gösterilmektedir.

4. Selülozik Sünger Özellikleri: Çalışmanın ana odak noktasını oluşturan selülozik sünger İngiliz menşeli bir firma tarafından üretilmiştir. Pamuk, odun hamuru ve ketenden oluşan selülozik sünger, çözünmüş tuz kristallerinden yapılmış olan gözenekler içermektedir. Hidrofilik özelliğe sahip olan bu süngerler kuru ağırlığının 10 katına kadar sıvıyı emerek hacminde barındırabilir. Yenilenebilir doğal malzemelerden üretilmiş olan süngerler uzun sürüler boyunca kullanılabilir. Fiziksel olarak istenilen her şekilde üretiminin yapılması mümkündür, tamamen çevre dostu olan bu malzeme atık olarak uzaklaştırıldığında doğada tamamen biyolojik olarak parçalanabilme özelliğine sahiptir. Sıkıştırılmış bu selüloz süngerler hem depolama hem nakliye hem de entegrasyon açısından kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmadan önce mikrobiyolojik testlerde ve laboratuvar ortamlarında emme gücünden yararlanılmak amacıyla sıklıkla kullanılan bu materyal, bu çalışma ile birlikte ilk kez yenilenebilir enerji alanında kullanılmıştır [67].

5. Püskürtme Nozulu Özellikleri: Çalışmada, hunter 8A ayarlanabilir açılı iç dişli sprej nozul kullanılmaktadır. Özellik olarak eğimli yüzeylere, zor köşelere ve püskürtme yapılacak çevreye uyum sağlayabilen bu nozul çeşidi yüzeye hassas bir dağıtım sağlar. Büyük su damlaları oluşturmak üzere tasarlanan bu nozul tipi 0°-360° arasında kademesiz olarak ayarlanabilir. Oluşturulan basınca göre 0-1200 mm çap ile püskürtme yapabilmektedir.

6. Su Deposu Özellikleri: Çalışmada, polietilen 500 L yatay su deposu kullanılmıştır. Çizelge Ek D.1.'de su deposu teknik özellikleri gösterilmektedir.

7. Wattmetre Özellikleri: Çalışmada, AGT marka priz tipi bir wattmetre kullanılmıştır. 3500 W değerine kadar ölçüm yapabilen bu cihaz aynı zamanda amper değerini veya saatlik güç tüketimini de gösterebilmektedir. Çizelge Ek E.1'de wattmetre teknik özellikleri gösterilmektedir.

8. Hidrolik Hortum Özellikleri: Gerçekleştirilen çalışmada nozul sistemine açılı esnekliği kazandırma amacıyla PPRC bağlantılar arasında 5 bar hidrolik hortum kullanılmıştır.

9. PPRC Borulama Sistemi ve Vana Özellikleri: Su deposu ile nozul sistemi arasındaki bağlantı PPRC boru sistemi ile sağlanmıştır. Ana hat DN20 çaplı boru ile, nozul gruplarına ayrılan yan hatlar ise DN15 çaplı borular ile imal edilmiştir.

10. Sirkülasyon Pompası Özellikleri: Çalışmada, su deposu ile nozul sistemi arasındaki basınçlandırmayı sağlamak amacıyla DAB marka ve Evoplus 80/180 XM model bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Çalışma öncesinde gerçekleştirilen ön çalışmalar ile belirlenen kriter doğrultusunda çalışma basıncı $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak ayarlanarak her açılıp kapanma aralığı boyunca süngere nozullar aracılığı ile 0,5 lt su aktarımı yapması sağlanmıştır. Her açılıp kapanma aralığı yaklaşık olarak 10 sn, her püskürtme zamanı ise yaklaşık 6 sn olacak şekilde kullanımı gerçekleştirilmiştir. Çizelge Ek F.1’de sirkülasyon pompasının teknik özellikleri verilmiştir.

11. Alüminyum Kaplama Eps Özellikleri: Genellikle havalandırma imalatında kullanılan bu malzemelerin sıcaklık yalıtımı oldukça yüksektir. Yüksek ısılara dayanıklı olan bu malzeme alüminyum kaplama olması dolayısıyla sistem içerisindeki ışınlamaların daha homojen bir biçimde dağılmasına yardımcı olmuştur. Bu malzeme ile panel etrafına bir kutu oluşturularak panelin laboratuvar ortamındaki değişkenlerden (sıcaklık, ışınlım vb.) etkilenme oranı minimize edilmiştir.

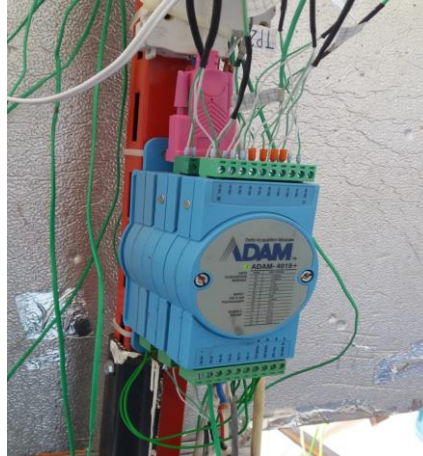
12. Dimmer Özellikleri: Güç çıktısının kontrolüne olanak sağlayan bu cihaz ile ışınlım şiddetinin değeri istenilen düzeye getirilmiş ve sabitlenmiştir. Çalışma parametreleri olan $300\text{-}400\text{-}500 \text{ W/m}^2$ ışınlım şiddeti değerleri bu materyal ile ayarlanmıştır. Çizelge Ek G.1.’de çalışmada kullanılan dimmerin teknik özellikleri verilmiştir.

13. Güç Analizör Özellikleri: Panel tarafından ışınlım şiddetinden dönüştürülen elektrik enerjisini ve bu esnada oluşan akım ve gerilim değerlerini ölçmek ve kaydetmek amacıyla tasarlanmış, özel yapım bir analizör kullanılmıştır. Bu analizör aynı zamanda I-V ve P-V eğrilerini de oluşturmak için gerekli veriyi ayrıştırarak bir txt. dosyası olarak kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 4.6’da analizör tarafından ölçülen anlık değere örnek gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Güç analizörü anlık ölçüm örneği.

14. Veri Kayıt Cihazı Özellikleri: Sıcaklık sensörlerinden alınan analog sinyaller, Advantech marka ADAM-4520 bilgisayar iletişim modülü ve 4019+ analog sinyal dönüştürücü modülü ile bilgisayar ortamına aktarılarak kaydedilmiştir. Adam 4520 iletişim modülü ve 4019+ analog dijital dönüştürücüye ait elektronik bağlantı şeması Şekil Ek H.1.'de verilmiştir. Çizelge Ek H.1 ve Çizelge Ek H.2'de ise 4520 ve 4019+ ait teknik özellikler verilmiştir. Şekil 4.7'de veri kayıt cihazı bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Veri kayıt cihazının deney ekipmanına bağlantısı.

4.3 METOT

Gücün birimi Watt 'tır (W) ve enerji akışının bir ölçüsüdür. P simgesi ile gösterilir. Bir diğer deyiş ile enerji akışının anlık değerine güç denmektedir. 1 W, saniyede 1 Joule (J) enerjiye eşittir. Yani enerji, gücün zaman ile çarpımı olarak ifade edilmektedir. Güç denkleminin temeli, ohm yasası ile ilgilidir ve akım ile gerilim ilişkisi üzerine formül olarak tanımlanması yapılmaktadır. Akım elektrik yüklü parçacıkların hareketi olarak tanımlanmaktadır ve birimi Amperdir (A). I simgesi ile gösterilir. Gerilim ise direnç ve akım ilişkisinden ortaya çıkan potansiyel farka verilen isimdir ve birimi Volttur (V). Güç, akım, gerilim arasındaki matematiksel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Gücün, akım ve gerilim ile ilişkisi Eşitlik 4.1'de, gösterilmektedir [64].

$$P = I \cdot V \quad (4.1)$$

4.3.1. Güneş Panellerinde Güç, Akım, Gerilim Parametreleri ve Teorik Hesaplamalar

• **Elektriksel Güç (Q_e):** Devre ölçülen gerilimin ve akımın çarpımıdır. Eşitlik 4.2 ile gösterilmektedir [64]. Eşitlikte, " Q_e ", elde edilen elektriksel gücü, " V ", üretilen gerilim ve " I ", üretilen akım değerlerini ifade etmektedirler.

$$Q_e = V \cdot I \quad (4.2)$$

• **Elektriksel Verim (η_e):** Panelden elde edilen elektriksel gücün (Q_e), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye oranıdır. Eşitlik 4.3 ile gösterilmektedir. Eşitlikte, " η_e ", elde edilen elektriksel verimin yüzdesini, " Q_e ", elde edilen elektriksel gücü, " G ", güneş ışınım şiddetini, " A ", panel yüzey alanını ifade etmektedir [64].

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \cdot A} \quad (4.3)$$

• **Termal Güç (Q_t):** Eğer sistem üzerinden bir soğutucu akışkan geçiriliyorsa bu akışkan panelden bir miktar termal güç kazanmaktadır. Bu termal gücü hesaplanmak için Eşitlik 4.4'deki formülasyon kullanılmaktadır. Eşitlikte, “ Q_t ”, termal gücü, “ \dot{m} ”, kütleli debiyi, “ C_p ”, soğutucu akışkan özgül ısısını, “ ΔT ”, sıcaklık farkını, “ T_g ”, akışkan giriş sıcaklığını, “ T_c ”, akışkan çıkış sıcaklığını ifade etmektedir [64].

$$Q_t = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot (T_c - T_g) \quad (4.4)$$

• **Termal Verim (η_t):** Panel ile ortam arasında ortaya çıkan sıcaklık farkı ortaya bir termal iş çıkarmaktadır. Bu termal işin verimini ifade eden terimdir. Bu termal verimi hesaplanmak için Eşitlik 4.5'deki formülasyon kullanılmaktadır. Eşitlikte, “ η_t ”, elde edilen termal verimin yüzdesini, “ Q_t ”, elde edilen elektriksel gücü, “ G ”, güneş ışınım şiddetini, “ A ”, panel yüzey alanını ifade etmektedir [64].

$$\eta_t = \frac{Q_t}{G \cdot A} \quad (4.5)$$

• **Toplam Verim (η):** Panelden elde edilen elektriksel (Q_e) ve termal (Q_t) güç toplamlarının, ışınım şiddeti ve panel yüzey alanının çarpımına oranıdır. Toplam verimi hesaplanmak için Eşitlik 4.6'deki formülasyon kullanılmaktadır. Eşitlikte, “ η ”, elde edilen toplam verimi, “ Q_e ”, elde edilen elektriksel gücü, “ Q_t ”, elde edilen termal gücü, “ G ”, güneş ışınım şiddetini, “ A ”, panel yüzey alanını ifade etmektedir [64].

$$\eta = \frac{Q_e + Q_t}{G \cdot A} \quad (4.6)$$

• **Panelin Elektrik Ekserjisi ($\dot{E}_{x_{PV/T}}$):** Ekserji termodinamik bir sistemin içerdiği potansiyel enerjiyi herhangi bir referans haline göre kullanılabilirliğinin ölçümlenebilmesi anlamına gelmektedir. Panelde elektriksel ekserjiyi hesaplanmak için Eşitlik 4.7'deki formülasyon kullanılmaktadır. Ancak eğer panel üzerinde cebri olarak herhangi bir sıcaklık düşüşü gerçekleştirilmeden panel doğrudan

kullanılıyorsa Eşitlik 4.8’de belirtilen sıcaklıktan bağımsız olan formülasyonu kullanılır. Eşitlikte 4.7’de, “ $\dot{E}_{x_{PV/T}}$ ”, panel elektrik ekserjisini, “ V_{mp} ”, maksimum güç gerilimini, “ I_{mp} ”, maksimum güç akımını, “ h_{ca} ”, ışıınım ısı transferi katsayısını, “ A ”, panel yüzey alanını, “ $T_{\text{çevre}}$ ”, çevre sıcaklığını, “ $T_{\text{hücre}}$ ”, ortalama hücre sıcaklığını ifade etmektedir [68]. (Laboratuvar sistemleri için h_{ca} değeri 5,7 olarak alınabilir.)

$$\dot{E}_{x_{PV/T}} = V_{mp} \cdot I_{mp} + \left(1 - \frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{hücre}}}\right) \cdot [h_{ca} \cdot A \cdot (T_{\text{hücre}} - T_{\text{çevre}})] \quad (4.7)$$

$$\dot{E}_{x_{PV}} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (4.8)$$

4.3.2. PV Panel Voltaj ve Akım Parametreleri

PV panellerde elde edilen verilerin yorumlanması, paneller vasıtasıyla üretilen elektrik enerjisi çıktısının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi ve bu konu üzerinde değerlendirmeler yapılabilmesi açısından son derece önemlidir. Başlıca PV panel parametreleri aşağıdakiler gibidir [64].

- **Nominal Voltaj (V_{nom}):** Şebeke harici sistemlerde tercih edilen şarj regülatörü, MPPT cihazları gibi panelden elde edilen voltajın regüle edilmiş halinin değeridir. Bu nedenle şarj regülatörünün batarya çıkışından ölçülebilir. Bunun için PV panelin yük altında olması gerekmektedir. 12 V sistemler için V_{nom} ortalama olarak 12-13 arasındadır [69].

- **Açık Devre Voltajı (V_{oc}):** PV panelin hiç bir yüke maruz kalmadığı anda, basit bir multimetre yardımıyla panele paralel bağlantı yapılarak ölçülebilen değerdir [69].

- **Kısa Devre Akımı (I_{sc}):** PV panelin hiç bir yüke maruz kalmadığı anda voltmetre veya multimetre yardımıyla panele seri bağlantı yapılarak ölçülebilen değerlerdir [69].

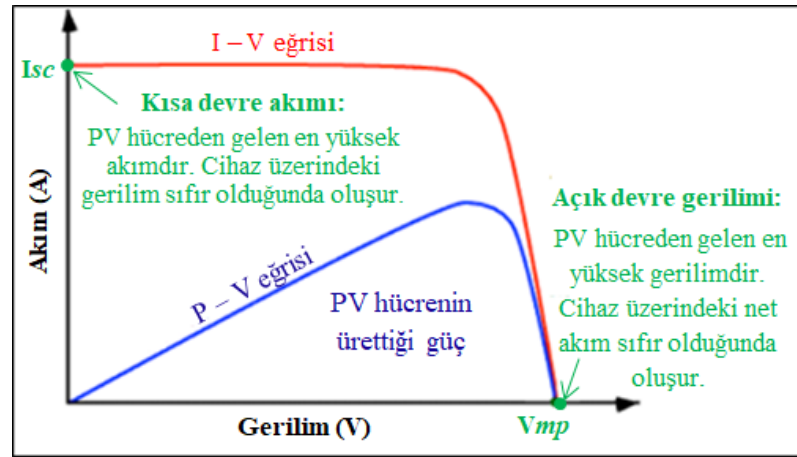
- **Maksimum Güç Voltajı (V_{mp}):** PV panelin maksimum güçte ve maksimum yükte olduğu anda ve standart test koşullarında ölçülen değerdir. Ancak sistemdeki mevcut

yükler anlık olarak değişkenlik gösterme eğiliminde olduklarından dolayı net olarak ölçümlenebilmesi zordur [69].

• **Maksimum Güç Akımı (I_{mp}):** PV panelin maksimum gücü verdiği andaki maksimum akım değeridir. Özellikle PV sistemlerinin boyutlandırma hesaplamalarında kullanılmaktadır [69].

• **Maksimum Güç (P_{mp}):** Bir PV panelin çalışması esnasında elde edilen maksimum güç çıktısının değeridir [69].

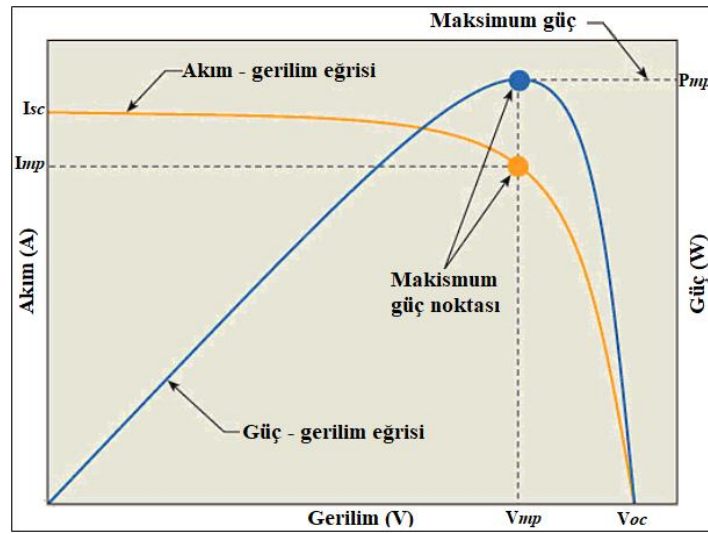
• **I-V ve P-V eğrisi:** Sabit ışınım şiddeti altında yapılan ölçümlerde akım ve çalışma gerilimin birbirleri ile orantılı bir biçimde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu değişimin grafiksel değişiminin yorumlanması sonucunda ortaya çıkan grafiklerdir. I-V eğrisi oluşturulurken I_{sc} ve V_{oc} değerleri arasındaki değişim temel alınır. P-V eğrisi oluşturulurken ise gerilim değeri ile güç değerleri arasındaki ilişki temel alınır. Şekil 4.8’de eğri ilişkileri gösterilmektedir [70].



Şekil 4.8. I-V ve P-V eğrileri [70].

• **Maksimum Güç Noktası (MPP):** PV panellerde elde edilen maksimum güç I-V ve P-V eğrileri üzerinde gösterilebilmektedir. I-V eğrisi üzerinde I_{mp} ve V_{mp} değerlerinin kesiştiği nokta, P-V eğrisi üzerinde ise P_{mp} ve V_{mp} değerlerinin kesiştiği noktadır [71].

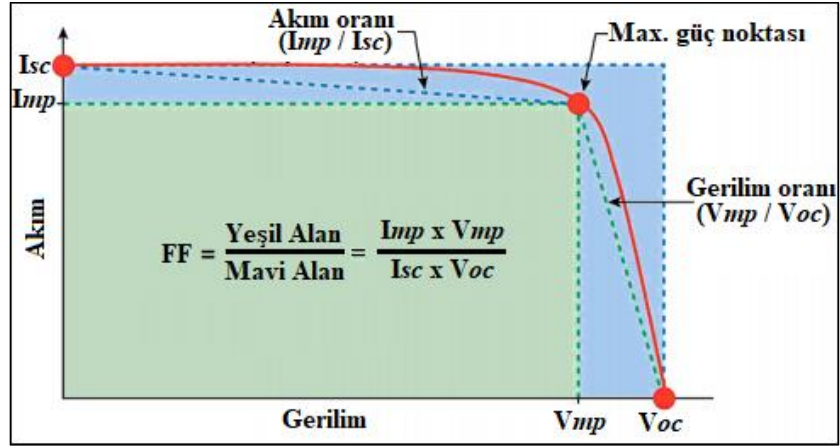
•**Dolum Faktörü (Fill Factor, FF):** PV panellerinden elde edilebilecek en yüksek akım değeri I_{sc} , en yüksek gerilim değeri ise V_{oc} 'dir. Ancak bu noktadaki güç sıfırdır. Bundan dolayı en yüksek güç bulunurken $I \times V$ değerinin en yüksek olduğu değer alınır. Dolum Faktörü PV panelin kalitesinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir. İdeal bir PV hücrenin FF değeri 1'dir. Ancak gerçek şartlarda 1 FF değerine sahip panel bulmak olanaksızdır. Dolum faktörü hesaplanmaları Şekil 4.9'da ve Eşitlik 4.9'da belirtilmiştir [69,71]. Eşitlik 4.9'da, "FF", dolum faktörünü, " V_{mp} ", maksimum güç voltajını, " I_{mp} ", maksimum güç akımını, " V_{oc} ", açık devre voltajını, " I_{sc} ", kısa devre akımını, " P_{mp} ", maksimum gücü ifade etmektedir. Aynı zamanda FF yardımı ile P_{mp} hesaplaması yapılabilir ve Eşitlik 4.10'da gösterilmektedir. Eşitlik 4.16'da, " P_{mp} ", maksimum gücü, "FF", dolum faktörünü, " I_{sc} ", kısa devre akımını, " V_{oc} ", açık devre voltajını ifade etmektedir. Şekil 4.10'da eğri üzerinden FF hesaplama yöntemi ve taralı alanların anlamları gösterilmiştir [70].



Şekil 4.9. Eğri-MPP ilişkileri [71].

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4.9)$$

$$P_{mp} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} \quad (4.10)$$



Şekil 4.10. FF hesaplama eğrisi [70].

BÖLÜM 5

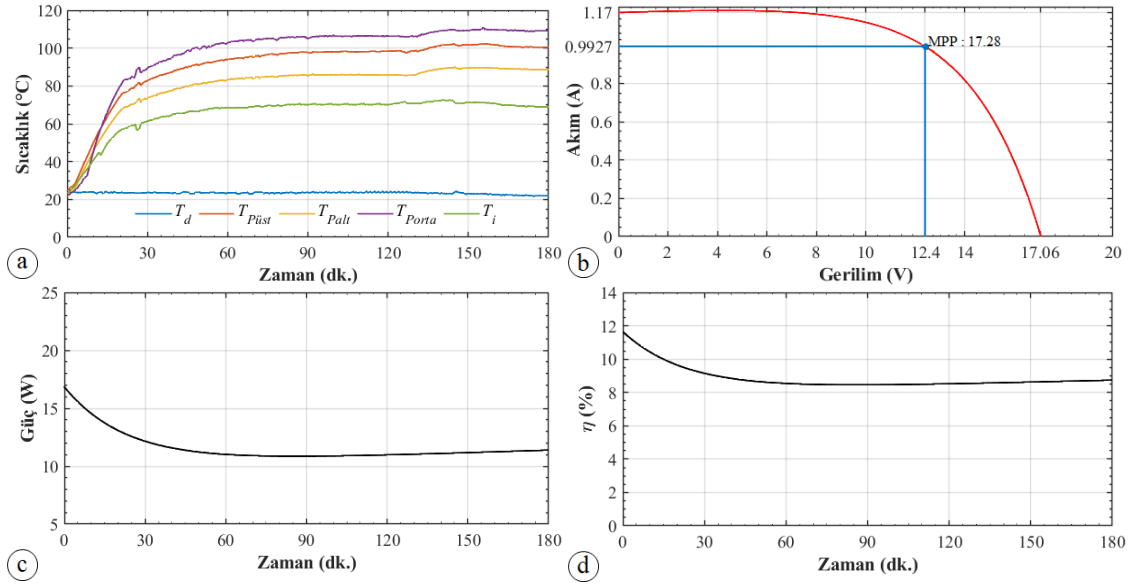
SONUÇLAR

PV panellerde hücre sıcaklığının düşürülmesi ve buna paralel olarak verim artışının sağlanmasına yönelik olan bu çalışmada, parametre sayısının çokluğundan dolayı ışıyım şiddetleri temel sabit parametreler olarak düşünölmüş ve diğler parametreler bu ışıyım şiddetlerine göre çeşitlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan ışıyım şiddetleri, çeşitli literatür araştırmaları ve sistem koşulları dikkate alınarak 300 – 400 – 500 W/m² olmak üzere 3 farklı değerde alınmış ve bu değerele bağılı kalınarak incelenmiştir. Veri kayıt cihazından ve güç analizöründen elde edilen veriler bilgisayar dosyasına txt. dosyası olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen bu veriler excel formatına dönüştürölerek MATLAB programında işlenerek grafik haline getirilmiştir. Veriler aracılığıyla elde edilen grafiklerde, “T_d”, dış ortam sıcaklığıını, “T_i”, iç ortam sıcaklığıını, “T_{p,üst}”, “T_{P1}” ve “T_{P2}” noktalarının aritmetik ortalamasını, “T_{p,alt}”, “T_{P3}” ve “T_{P4}” noktalarının aritmetik ortalamasını, “T_{p,orta}”, “T_{P5}” noktasının sıcaklığıını belirtmektedir. Burada belirtilen T_{P1} ve T_{P2} noktaları panelin üst kısmında yer alan iki noktayı, “T_{P3}” ve “T_{P4}” noktaları panelin alt kısmında yer alan iki noktayı ve “T_{P5}” noktası ise panelin tam orta noktasını belirtmektedir. Bu ölçüm noktalarının tam konumu Ek Açıklamalar I.’da gösterilmiştir.

Sistem tasarımı gerçekleştirilirken püskürtme nozulları Ek Açıklamalar I.’da gösterilen “T_{P1}”, “T_{P2}”, “T_{P3}” ve “T_{P4}” sıcaklık ölçüm noktalarının hemen altına konumlandırılmıştır. Ancak, “T_{P5}” noktasının altına herhangi bir püskürtme nozulu yerleştirilmemiştir. Bunun temel sebebi, selülozik sünger entegrasyonu yapılmış özgün sistem ile geleneksel sistem arasındaki doğrudan ıslatmaya maruz kalmayan noktadaki sıcaklık düşümlerini kıyaslayabilmektir. Burada temel beklenti ve düşünce, püskürtmeye maruz kalmayan nokta için, geleneksel sistemde sadece küçük bir değışim olması ancak özgün sistemde sünger yardımıyla kayda değer bir sıcaklık düşümü elde etmektedir.

5.1. 500 W/m² IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

500 W/m² ışınım şiddeti değerinde, farklı parametreler ile toplam 21 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları ve bu sonuçlara göre yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmektedir. Şekil 5.1’de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.

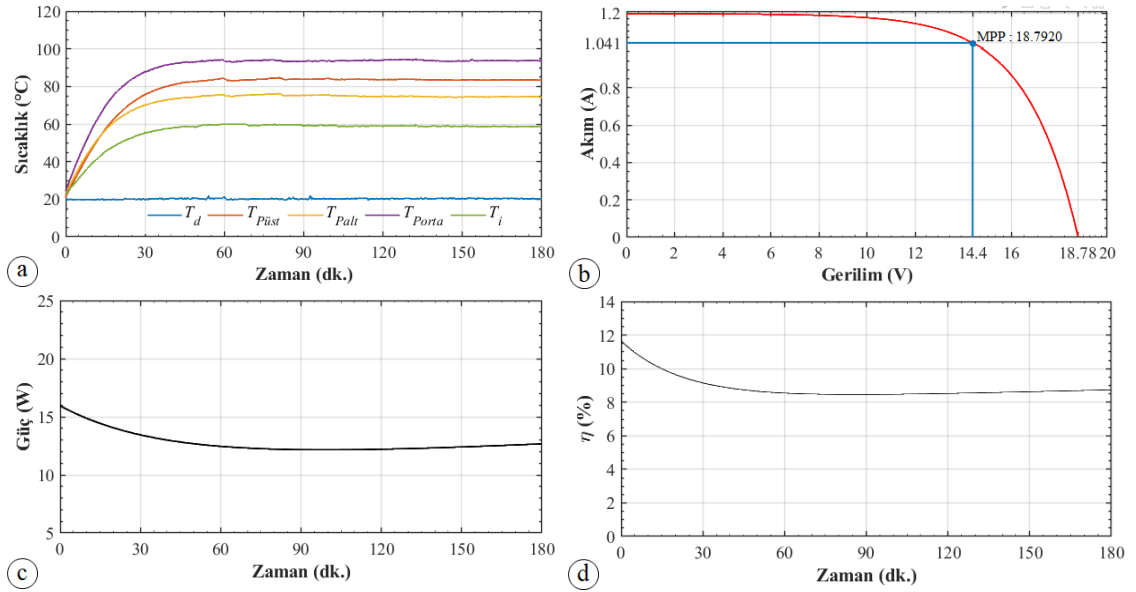


Şekil 5.1. 500 W/m², 2. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır. Şekil 5.1-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise, $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 98,34 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 70,5°C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 23,2 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiğinde ise, yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü

olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 12,07 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 17,28 W, V_{mp} değeri 12,4 V, I_{mp} değeri 0,9927 A, V_{oc} 17,06 V, I_{sc} değeri ise 1,17 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,40 W, dolun faktörü ise 0,62 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.2'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

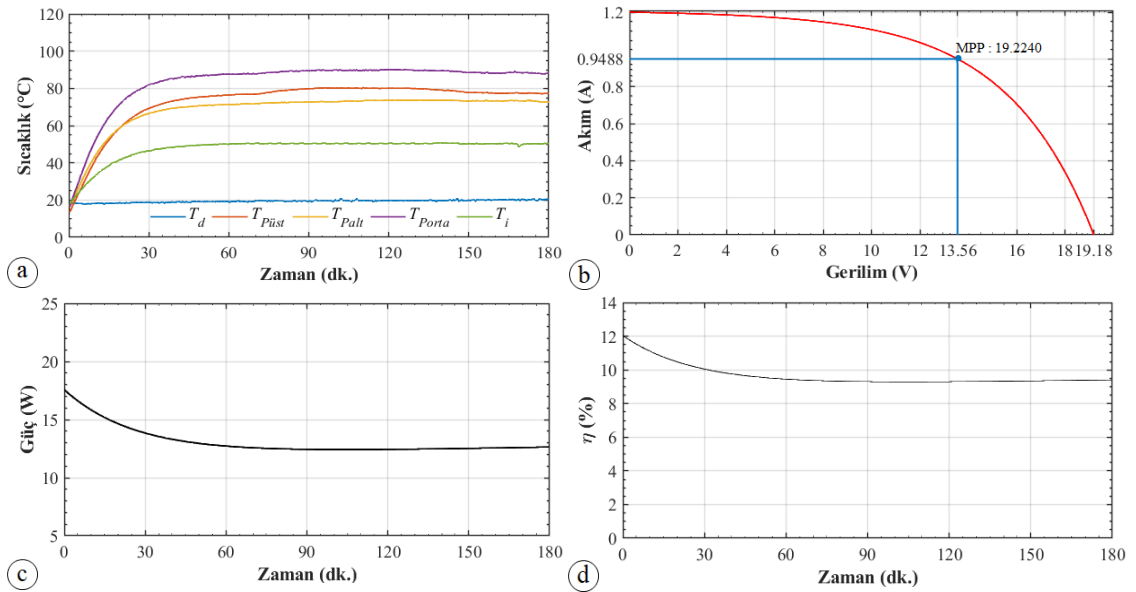


Şekil 5.2. 500 W/m^2 , 2. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.2-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk

sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 84 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 58,85 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 20,3 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 12,31 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 18,7920 W, V_{mp} değeri 14,4 V, I_{mp} değeri 1,041 A V_{oc} 18,78 V, I_{sc} değeri ise 1,2 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 15 W, dolun faktörü ise 0,61 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.3'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

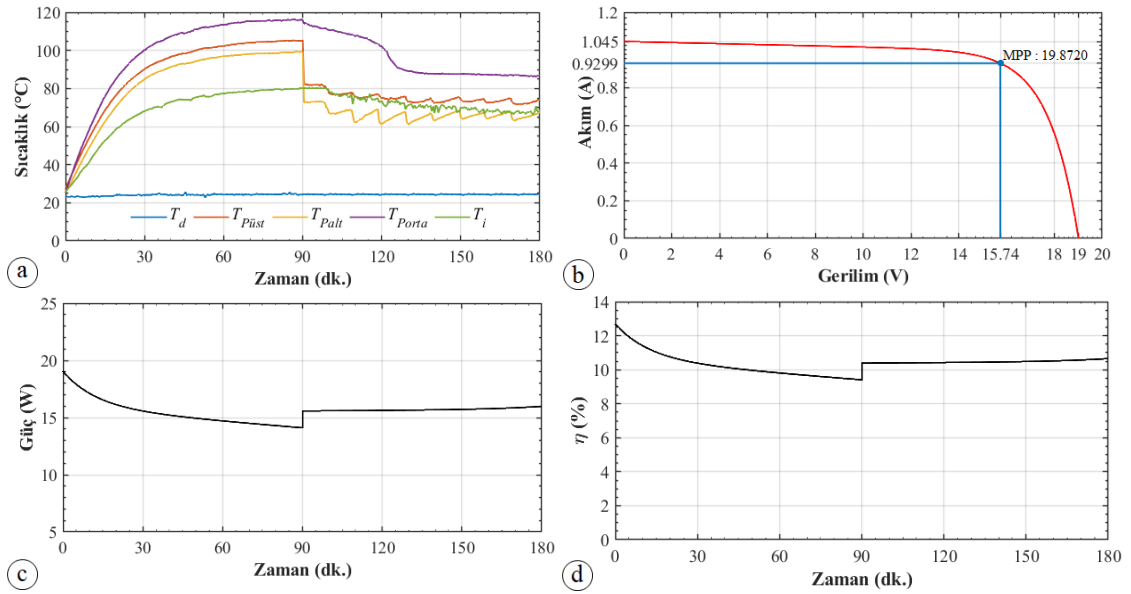


Şekil 5.3. 500 W/m^2 , 3. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.3-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir

değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $80,48\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $50,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $19,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıkışı $12,44\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,2240\text{ W}$, V_{mp} değeri $13,36\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,9498\text{ A}$, V_{oc} $19,18\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $1,2\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $15,2\text{ W}$, dolun faktörü ise $0,56$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.4'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



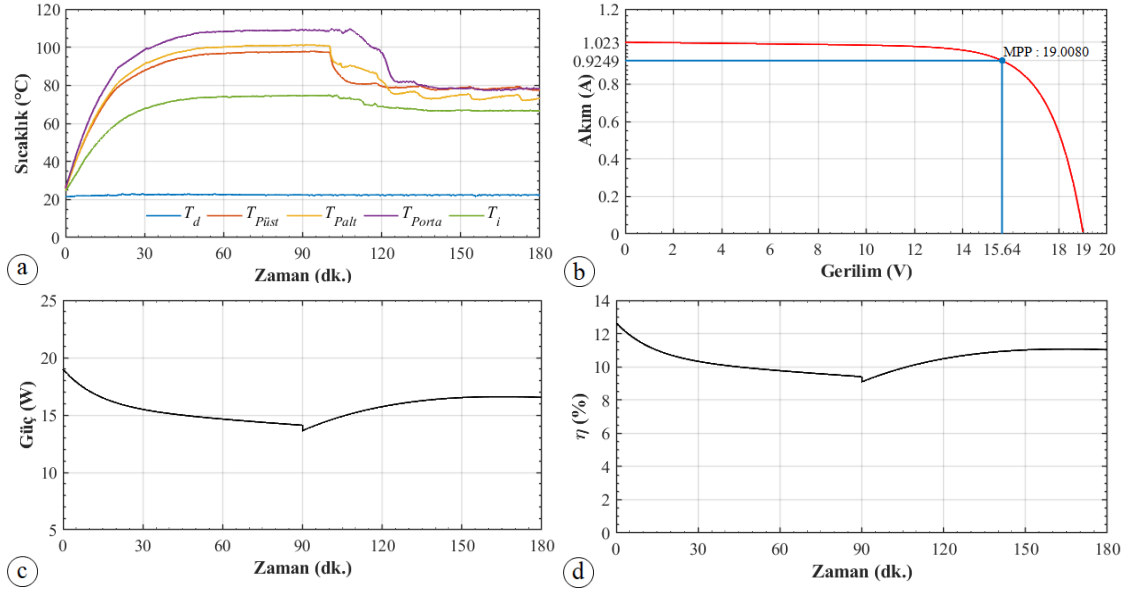
Şekil 5.4. 500 W/m^2 , 4. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar

aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.4-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.4-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 79,1 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 72 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 24 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,3 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,8720 W, V_{mp} değeri 15,74 V, I_{mp} değeri 0,9299 A, V_{oc} 19 V, I_{sc} değeri ise 1,045 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 16 W, dolun faktörü ise 0,74 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.5'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

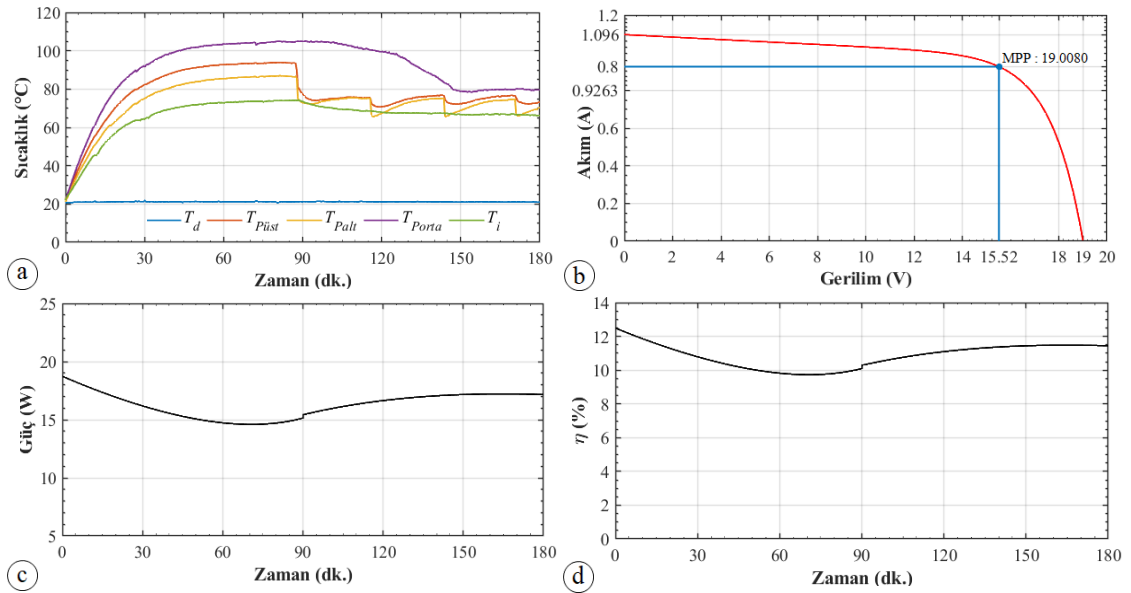


Şekil 5.5. 500 W/m^2 , 5. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.5-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 20 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.5-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk’dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $81,4 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $69 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk’ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk’dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk’dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $15,5 \text{ W}$ ’dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,0080 \text{ W}$, V_{mp} değeri $15,64 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,9249 \text{ A}$, V_{oc} 19 V , I_{sc}

değeri ise 1,023 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 18,3 W, dolum faktörü ise 0,75 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.6'da, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

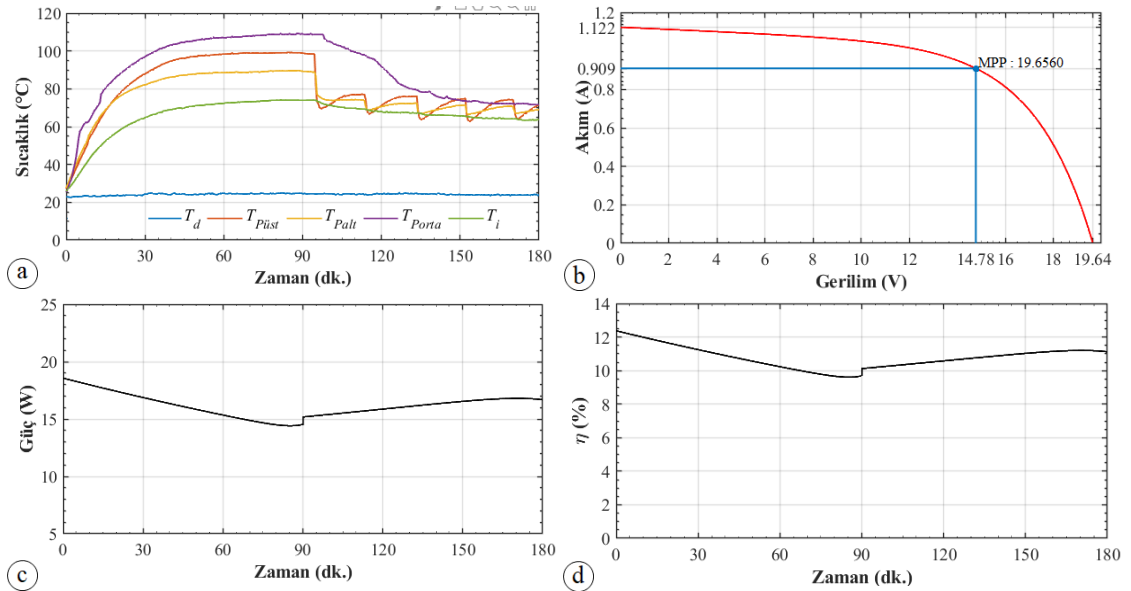


Şekil 5.6. 500 W/m^2 , 6. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.6-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.6-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde

gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 79,1 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 68 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 21,2 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 16,1 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,0080 W, V_{mp} değeri 15,52 V, I_{mp} değeri 0,82 A, V_{oc} 19 V, I_{sc} değeri ise 1,096 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 16 W, dolun faktörü ise 0,62 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.7'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



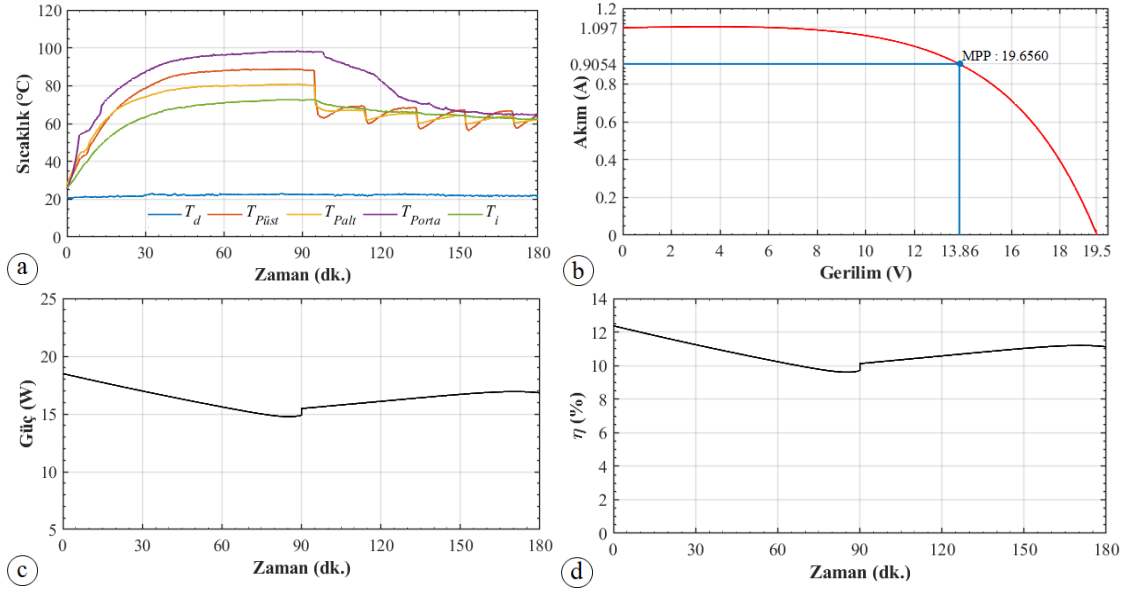
Şekil 5.7. 500 W/m^2 , 7. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.7-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.7-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 76,5 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 67,3 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 24 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,8 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,6560 W, V_{mp} değeri 14,78 V, I_{mp} değeri 0,909 A, V_{oc} 19,64 V, I_{sc} değeri ise 1,122 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 15,8 W, dolun faktörü ise 0,67 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.8'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar

aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

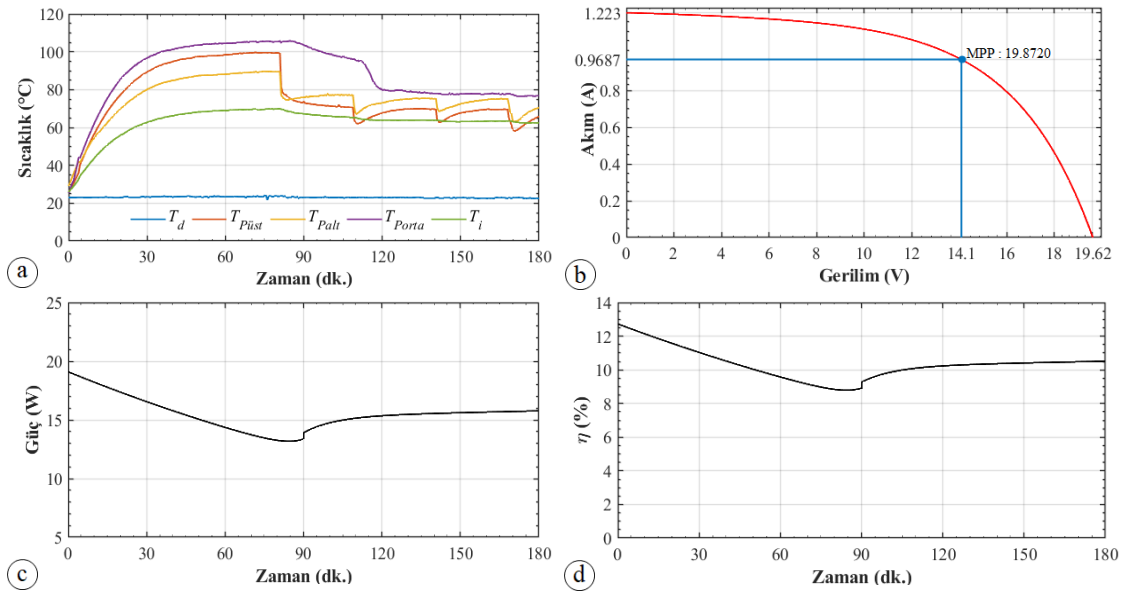


Şekil 5.8. 500 W/m², 8. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.8-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.8-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 68,8 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 66 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,1 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 16,03 W'dır.

PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,6560 W, V_{mp} değeri 13,86 V, I_{mp} değeri 0,9054 A, V_{oc} 19,5 V, I_{sc} değeri ise 1,097 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 12,8 W, dolun faktörü ise 0,60 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.9'da, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

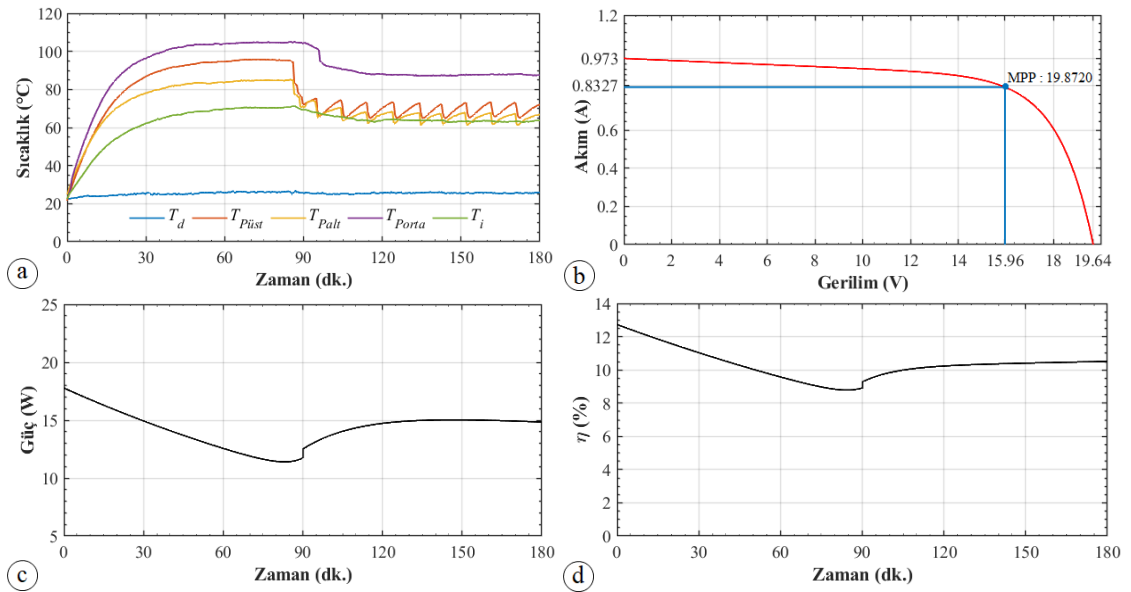


Şekil 5.9. 500 W/m^2 , 9. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.9-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.9-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan

püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $15,76\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,8720\text{ W}$, V_{mp} değeri $14,1\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,9687\text{ A}$, V_{oc} $19,62\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $1,223\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $17,1\text{ W}$, dolum faktörü ise $0,57$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.10'da, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülözik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



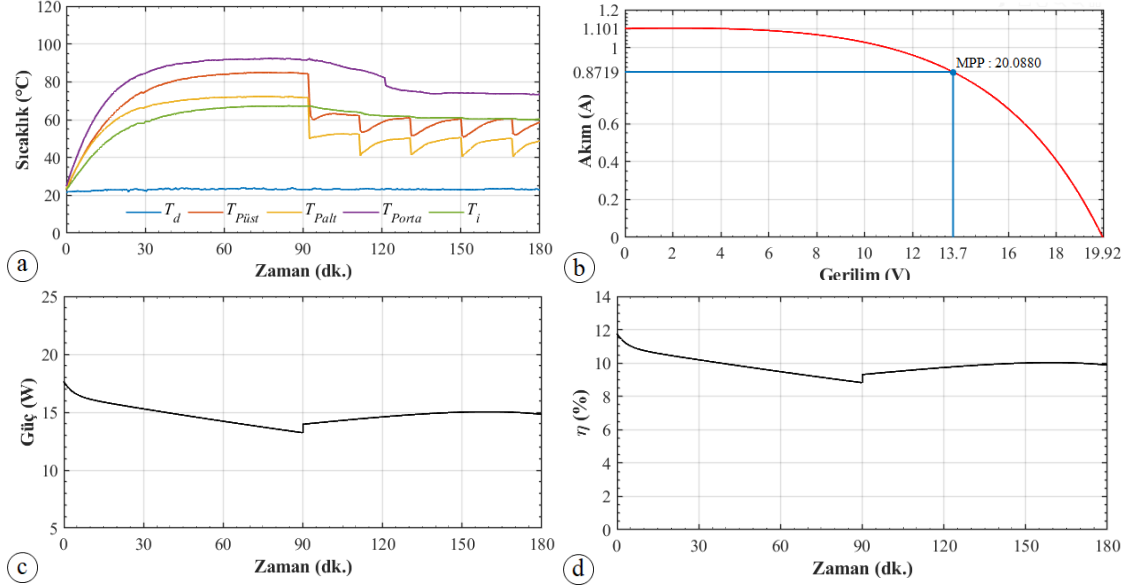
Şekil 5.10. 500 W/m^2 , 10. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.10-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.10-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 75 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 64,1 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 25,5 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 13,78 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,8720 W, V_{mp} değeri 15,96 V, I_{mp} değeri 0,8327 A, V_{oc} 19,64 V, I_{sc} değeri ise 0,973 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 16,7 W, dolun faktörü ise 0,70 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.11'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar

aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

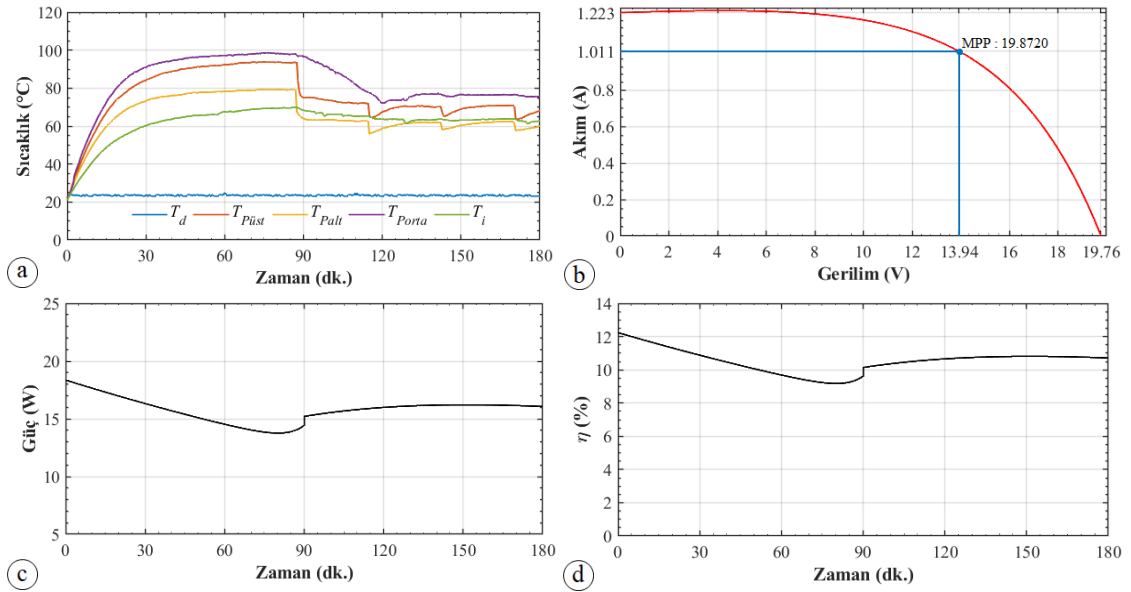


Şekil 5.11. 500 W/m^2 , 11. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.11-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.11-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $64,1 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $62,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,2 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,41 \text{ W}$ 'dır.

PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 13,7 V, I_{mp} değeri 0,8719 A, V_{oc} 19,92 V, I_{sc} değeri ise 1,101 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 12,1 W, dolun faktörü ise 0,55 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.12’de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

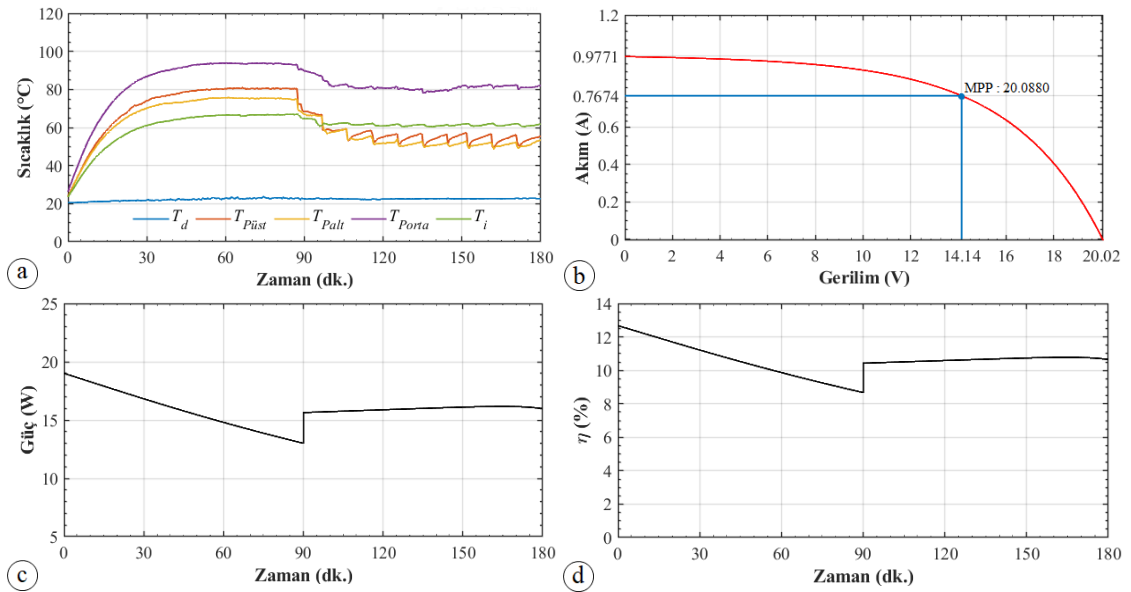


Şekil 5.12. 500 W/m^2 , 12. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.12-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 30 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.12-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan

püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $70,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $15,44\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,8720\text{ W}$, V_{mp} değeri $13,94\text{ V}$, I_{mp} değeri $1,011\text{ A}$, V_{oc} $19,76\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $1,223\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $15,3\text{ W}$, dolun faktörü ise $0,59$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.13'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülözik sünger kullanılmadan 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



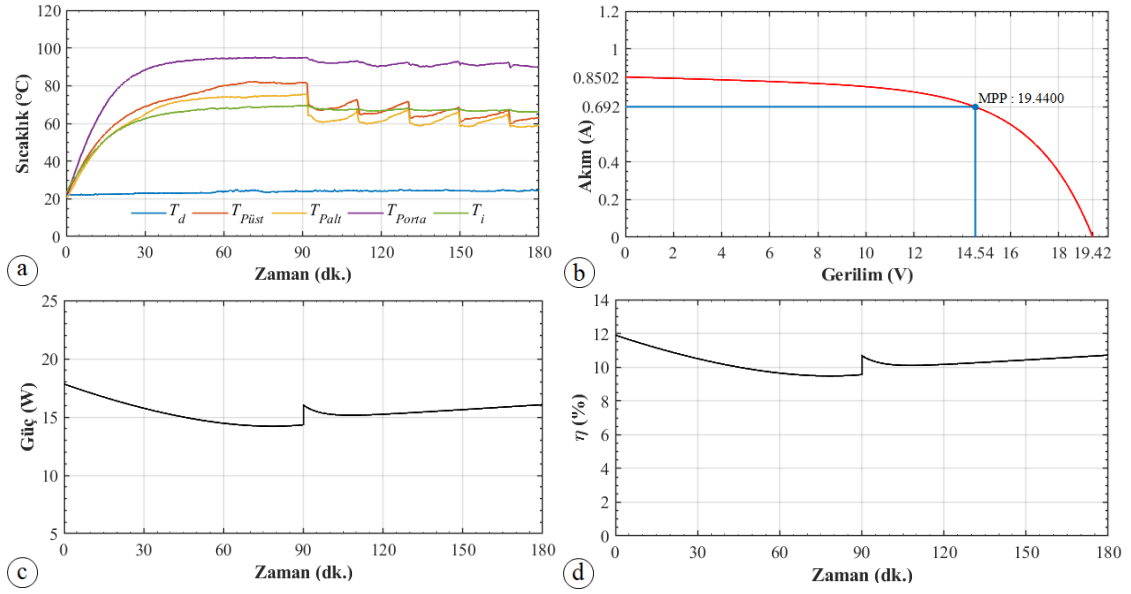
Şekil 5.13. 500 W/m^2 , 13. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.13-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.13-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 63,8 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 61,5 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,98 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 14,14 V, I_{mp} değeri 0,7674 A, V_{oc} 20,02 V, I_{sc} değeri ise 0,9771 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11 W, dolum faktörü ise 0,56 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.14'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m²

ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

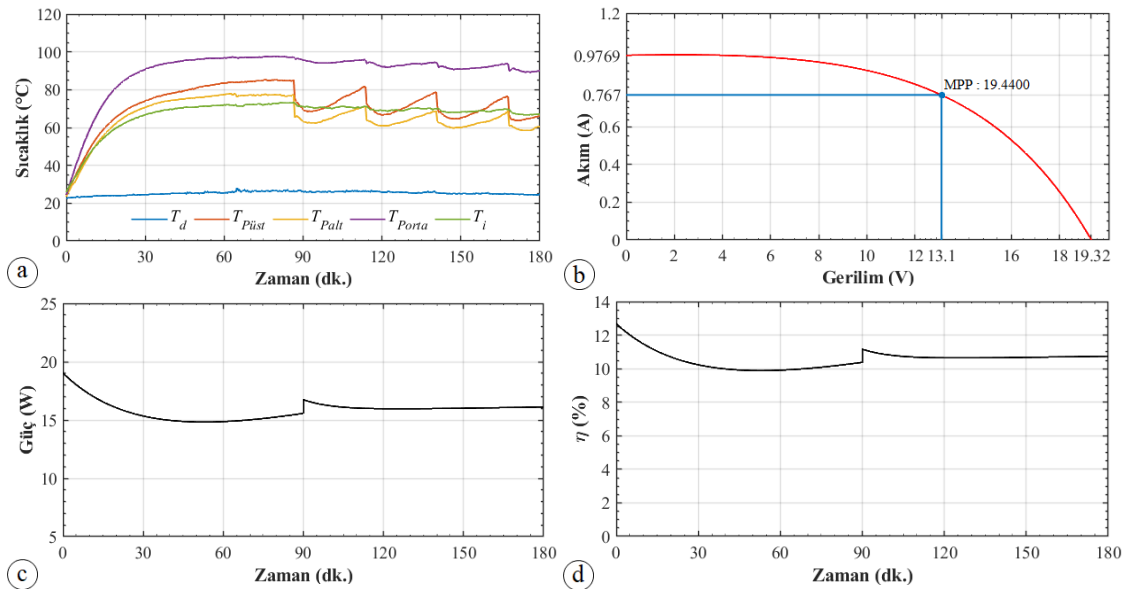


Şekil 5.14. 500 W/m^2 , 14. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.14-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk aralıklarla su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.14-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $73,1 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $67,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü

olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,5 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,4400 W, V_{mp} değeri 14,54 V, I_{mp} değeri 0,692 A, V_{oc} 19,42 V, I_{sc} değeri ise 0,8502 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,2 W, dolum faktörü ise 0,61 olarak bulunmuştur.

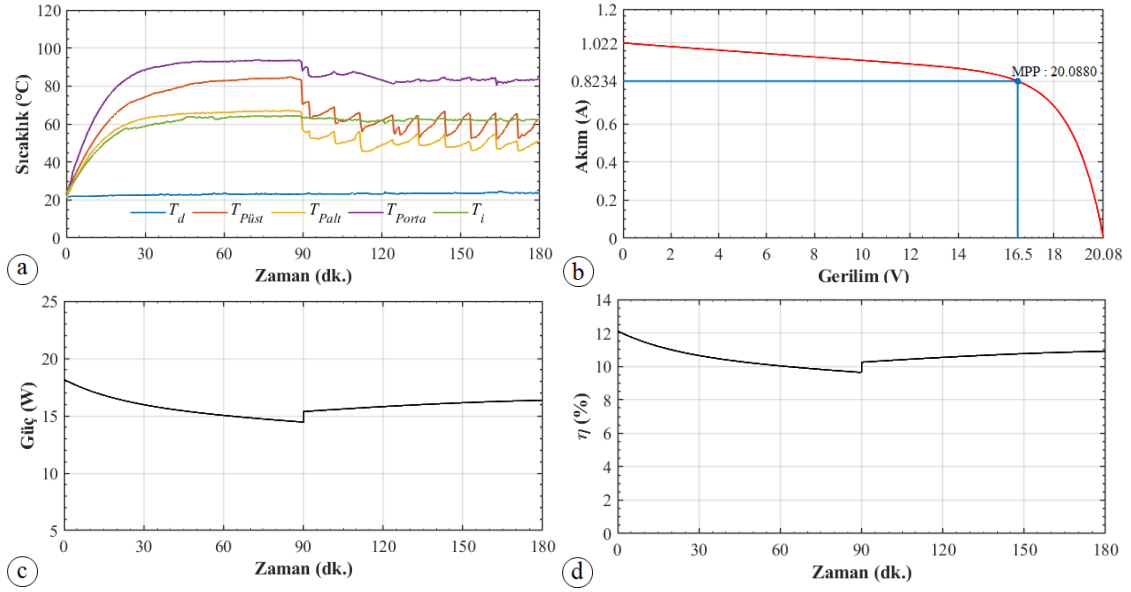
Şekil 5.15'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.15. 500 W/m^2 , 15. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.15-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.15-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 75,6 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 69,3°C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 25,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 16,02 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,4400 W, V_{mp} değeri 13,1 V, I_{mp} değeri 0,767 A, V_{oc} 19,32 V, I_{sc} değeri ise 0,9769 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,2 W, dolun faktörü ise 0,54 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.16'da, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

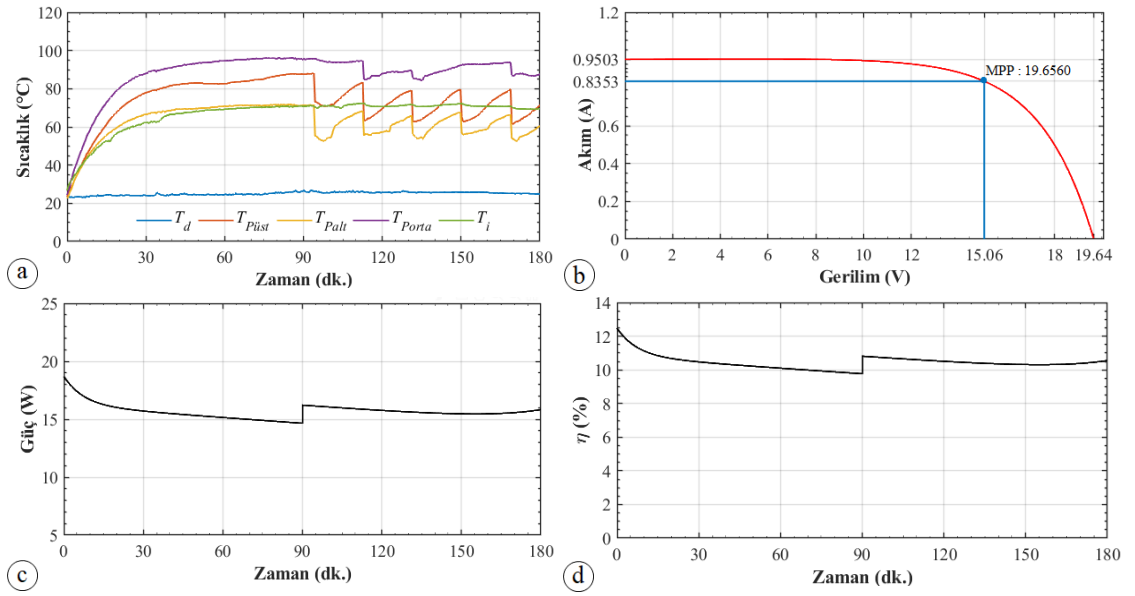


Şekil 5.16. 500 W/m², 16. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.16-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.16-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 64,9 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 62,3 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 23,5 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,92 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 16,5 V, I_{mp} değeri 0,8234 A, V_{oc} 20,08 V,

I_{sc} değeri ise 1,022 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 13,8 W, dolum faktörü ise 0,66 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.17’de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

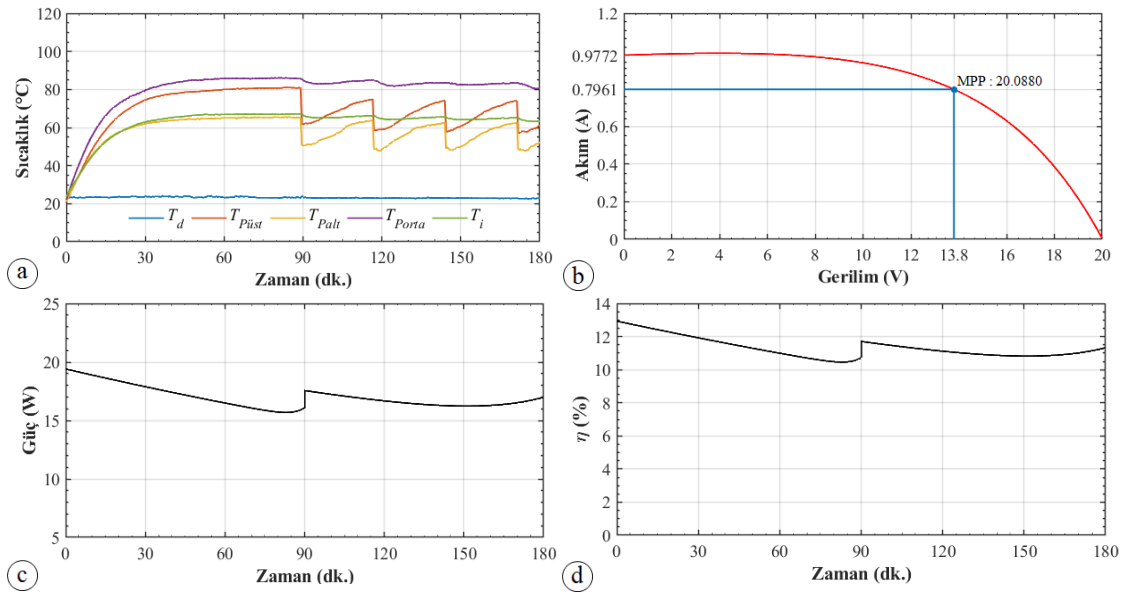


Şekil 5.17. 500 W/m^2 , 17. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.17-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 20 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.17-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok

daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $74,4^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $70,9^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $25,6^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $15,7\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,6560\text{ W}$, V_{mp} değeri $15,06\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,8353\text{ A}$, V_{oc} $19,64\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,9503\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 13 W , dolun faktörü ise $0,68$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.18'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



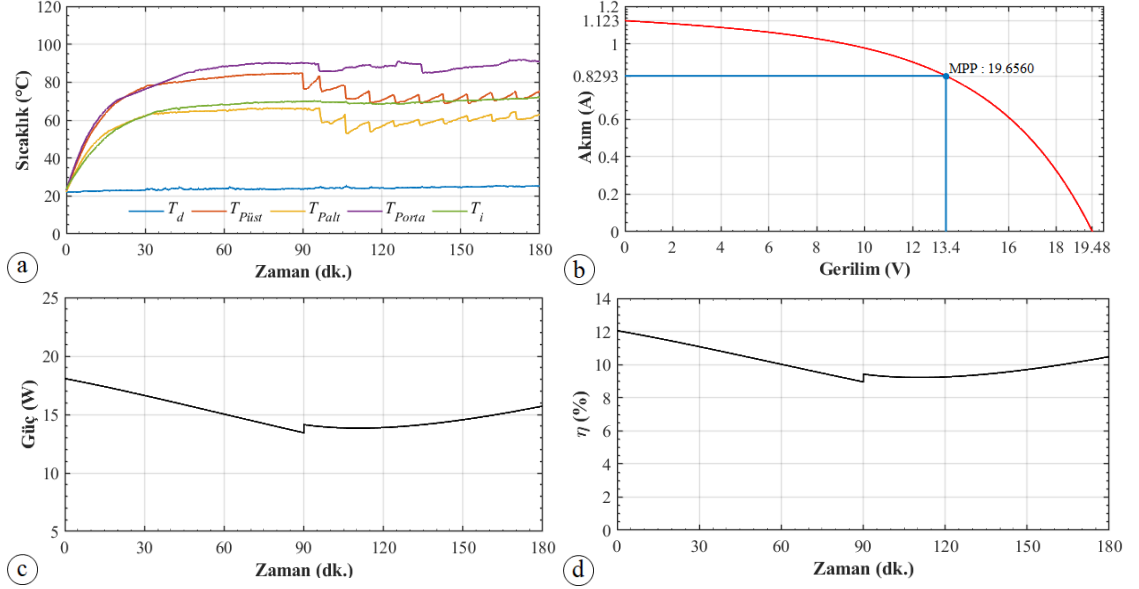
Şekil 5.18. 500 W/m^2 , 18. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.18-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.18-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 68,4 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 64,9 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,9 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 16,62 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 13,8 V, I_{mp} değeri 0,7961 A, V_{oc} 20 V, I_{sc} değeri ise 0,9772 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,4 W, dolun faktörü ise 0,57 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.19'da, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m², panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m²

ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlar.

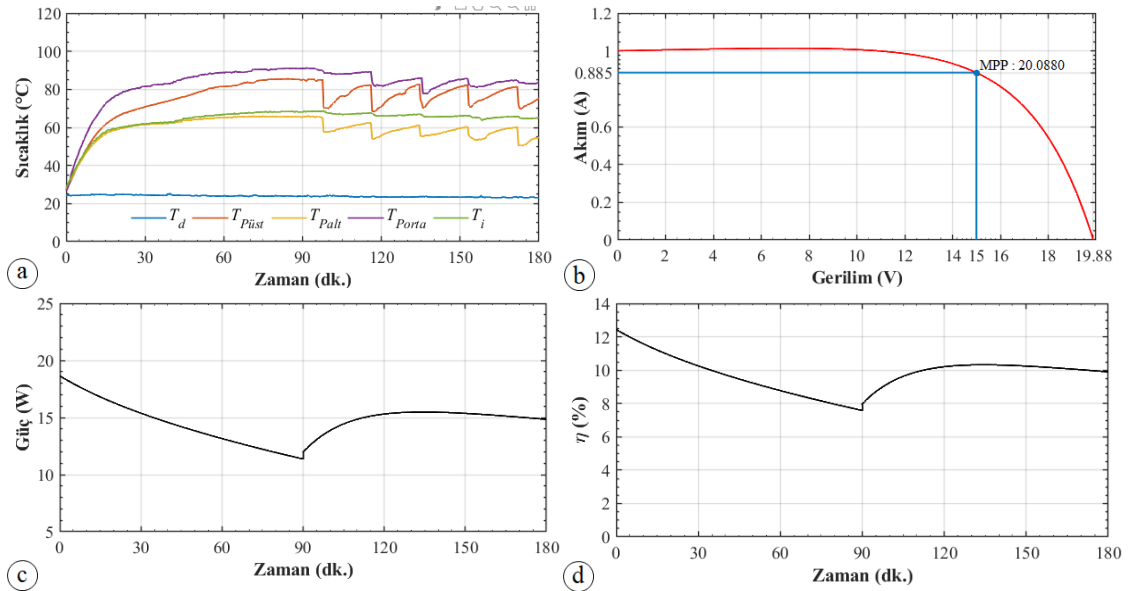


Şekil 5.19. 500 W/m², 19. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.19-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 30 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.19-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk’dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 73,6 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 69,9 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 24,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk’ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim

yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 14,5 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,6560 W, V_{mp} değeri 13,4 V, I_{mp} değeri 0,8293 A, V_{oc} 19,48 V, I_{sc} değeri ise 1,123 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,5 W, dolun faktörü ise 0,50 olarak bulunmuştur.

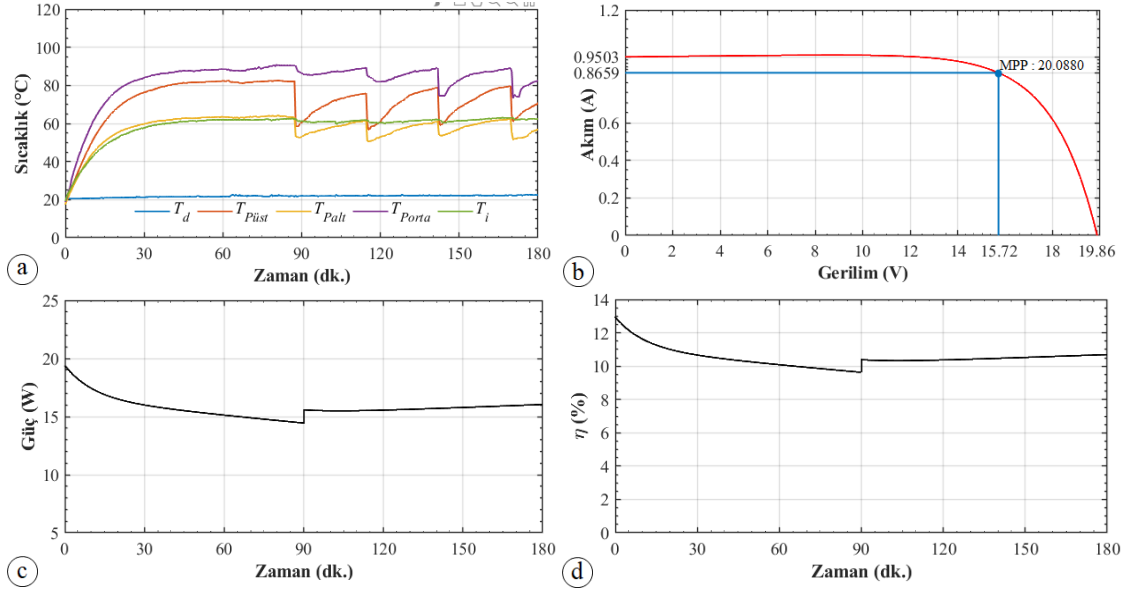
Şekil 5.20'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.20. 500 W/m^2 , 20. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.20-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.20-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $73,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $66,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,95\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $20,0880\text{ W}$, V_{mp} değeri 15 V , I_{mp} değeri $0,885\text{ A}$, V_{oc} $19,88\text{ V}$, I_{sc} değeri ise 1 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $14,9\text{ W}$, dolun faktörü ise $0,67$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.21'de, ışınım şiddeti değerinin 500 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılmadan 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk 'dır. PV panel yüzeyine 500 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmemiştir ve panel arka yüzeyine nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla $0,5$ litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



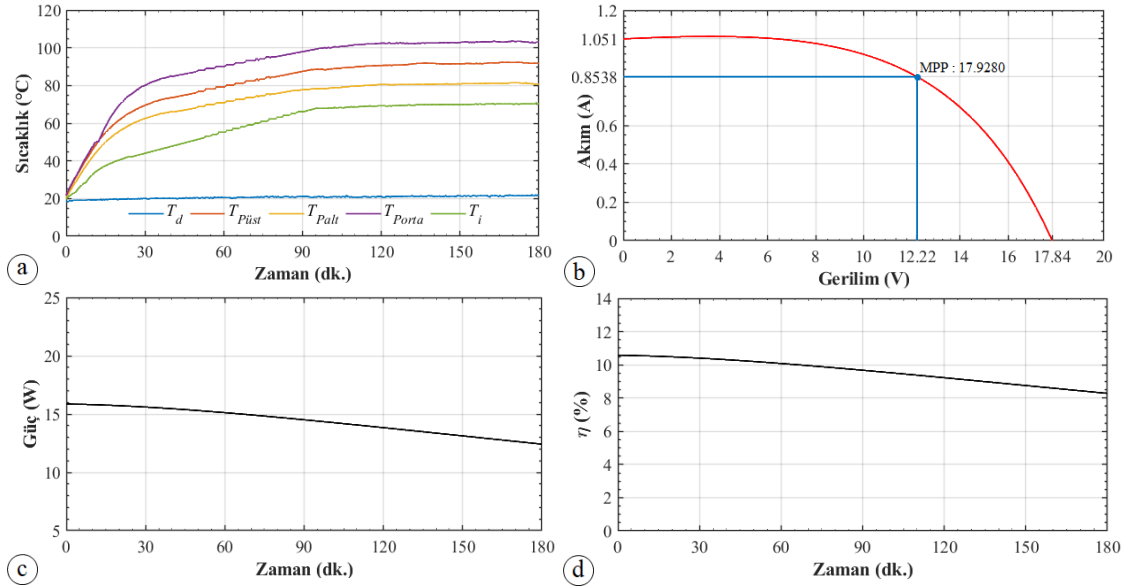
Şekil 5.21. 500 W/m², 21. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.21-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.21-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgedeki düşüş sünger entegreli sisteme nazaran çok daha düşük kalmaktadır. Bu düşüşün daha düşük kalmasının sebebi selülozik süngerdeki gibi su dağılımını homojen sağlayabilecek bir ara malzeme bulunmamasındandır. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 70,8 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 61,5 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,2 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 15,6 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 15,72 V, I_{mp} değeri 0,8659 A, V_{oc} 19,86 V,

I_{sc} değeri ise 0,9503 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 16,3 W, dolum faktörü ise 0,73 olarak bulunmuştur.

6.2. 400 W/m² IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

400 W/m² ışınım şiddetinde farklı parametreler ile toplam 12 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları ve bu sonuçlara göre yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmektedir. Şekil 5.22’de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 400 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

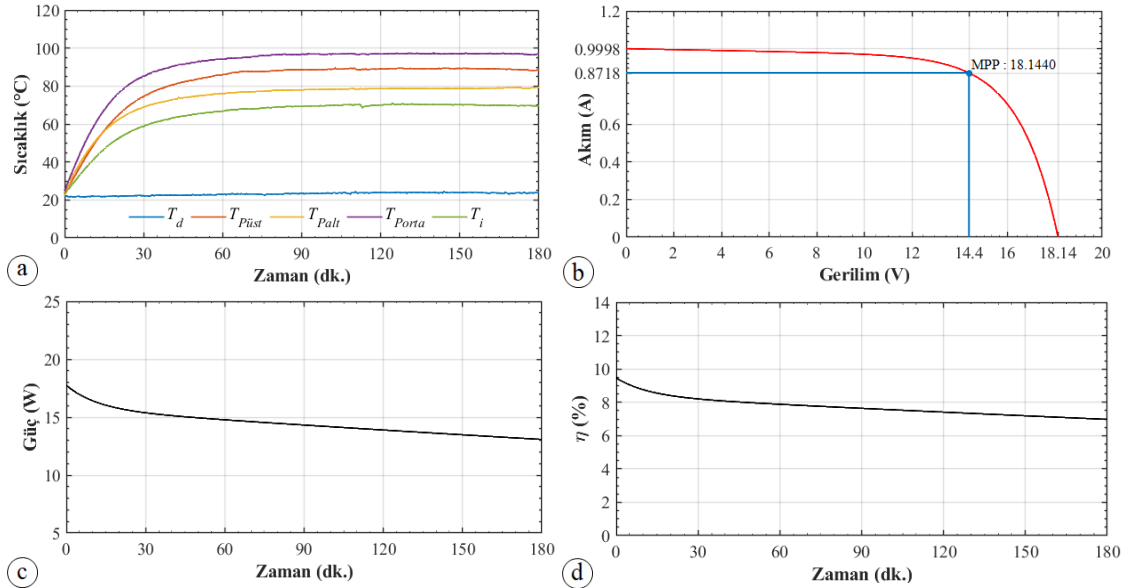


Şekil 5.22. 400 W/m², 1. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.22-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk

sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 91,05 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 69,3°C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 21,2 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 13,85 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 17,9280 W, V_{mp} değeri 12,22 V, I_{mp} değeri 0,8538 A, V_{oc} 17,84 V, I_{sc} değeri ise 1,051 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 10,5 W, dolun faktörü ise 0,56 olarak bulunmuştur.

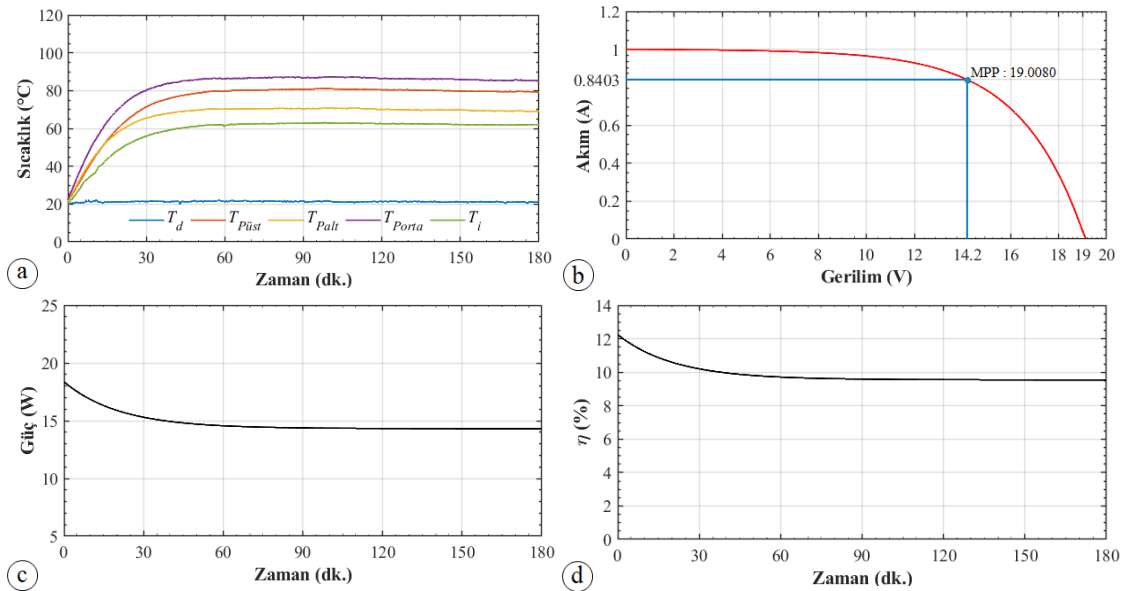
Şekil 5.23'de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.23. 400 W/m^2 , 2. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.23-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $88,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı 70°C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk’dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıkışı $13,95\text{ W}$ ’dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $18,1440\text{ W}$, V_{mp} değeri $14,4\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,8718\text{ A}$, V_{oc} $18,14\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,9998\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $12,3\text{ W}$, dolum faktörü ise $0,60$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.24’de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülözik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.

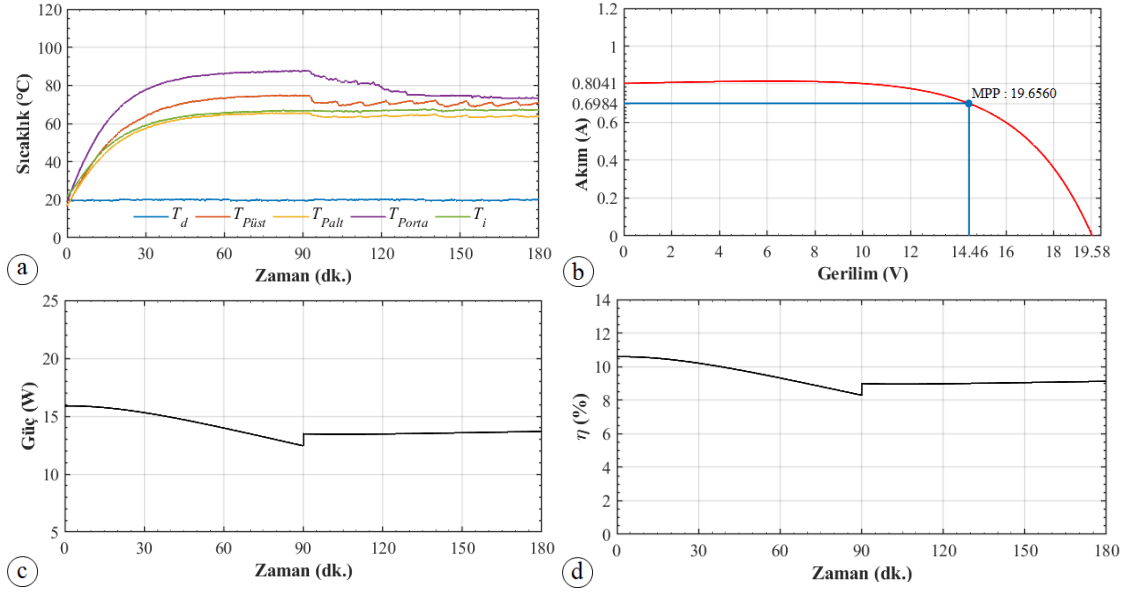


Şekil 5.24. 400 W/m^2 , 3. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.24-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $78,7^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $62,4^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $21,2^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıkışı $14,38 \text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,0080 \text{ W}$, V_{mp} değeri $14,2 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,8403 \text{ A}$, V_{oc} 19 V , I_{sc} değeri ise 1 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 12 W , dolum faktörü ise $0,63$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.25'de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla $0,5$ litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

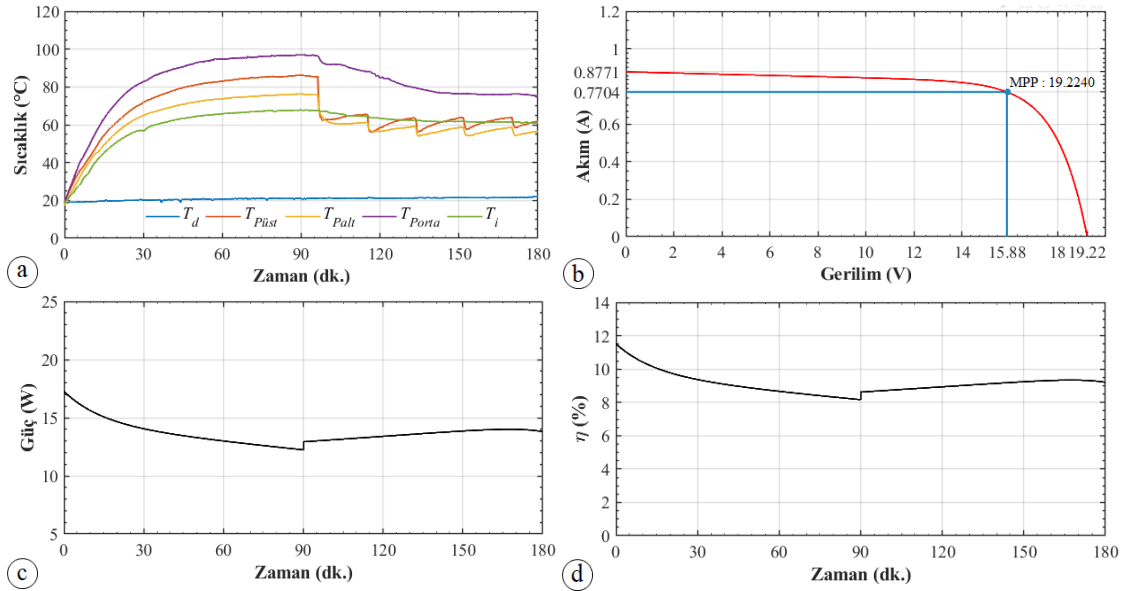


Şekil 5.25. 400 W/m², 4. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.25-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.25-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 70,6 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 66,9 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 19,8 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 14,12 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,6560 W, V_{mp} değeri 14,46 V, I_{mp} değeri 0,6984 A, V_{oc} 19,58 V,

I_{sc} değeri ise 0,8041 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 10,5 W, dolum faktörü ise 0,64 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.26'da, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.26. 400 W/m^2 , 5. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

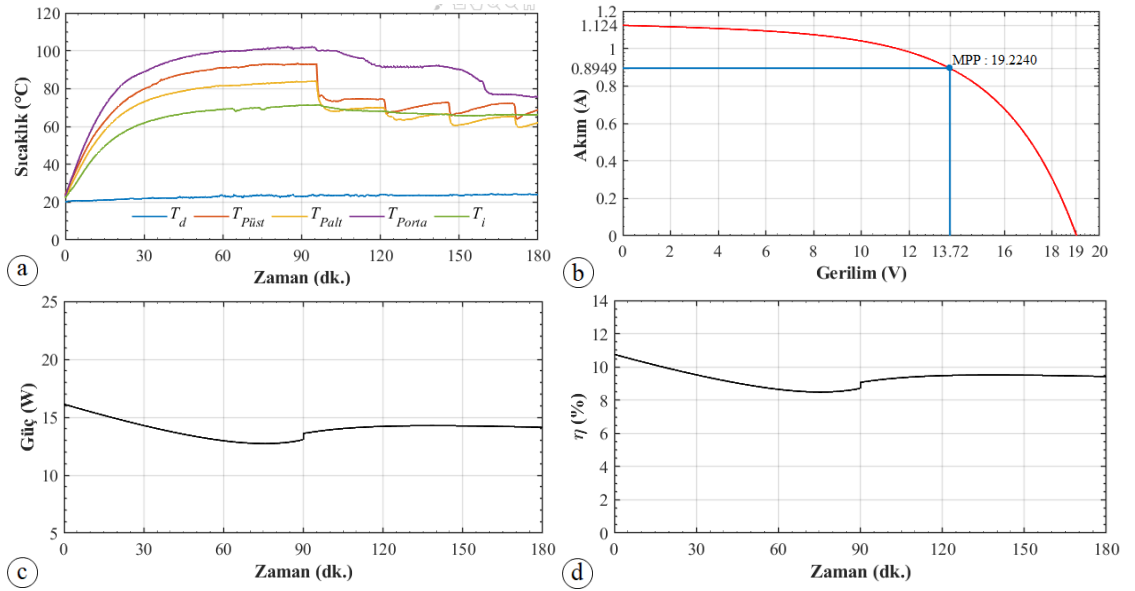
Şekil 5.26-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.26-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde

gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 68,3 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 63,2 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 21,3 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 14,18 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,2240 W, V_{mp} değeri 15,88 V, I_{mp} değeri 0,7704 A, V_{oc} 19,22 V, I_{sc} değeri ise 0,8771 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 12,8 W, dolum faktörü ise 0,72 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.27'da, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

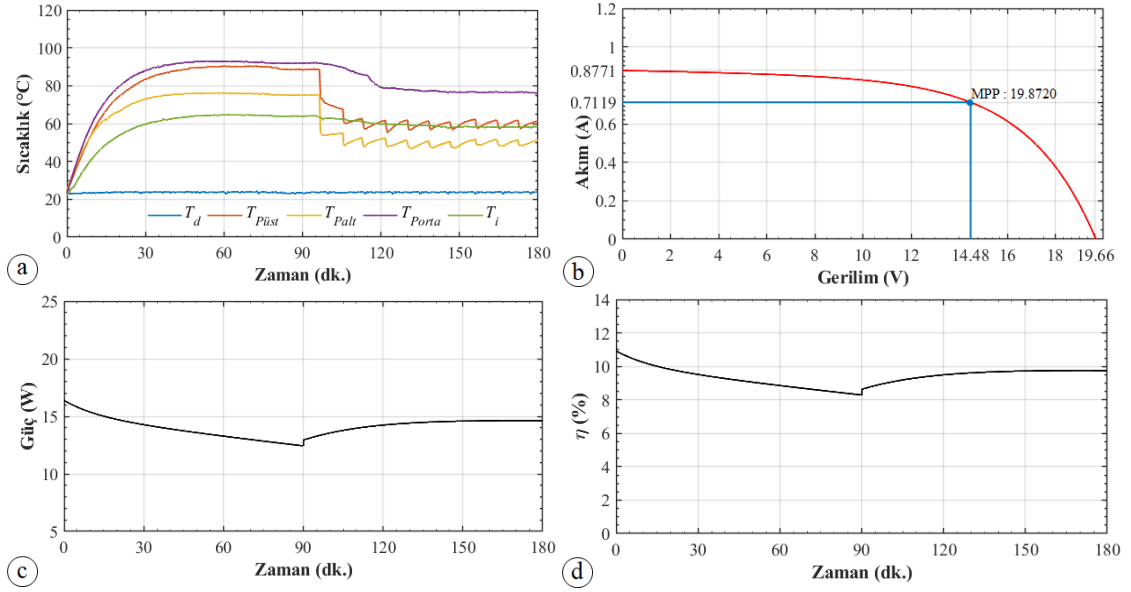
Şekil 5.27-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.27-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 76,3 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 67,5 °C ve dış

ortam ortalama sıcaklığı ise 23,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 14,64 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,2240 W, V_{mp} değeri 13,72 V, I_{mp} değeri 0,8949 A, V_{oc} 19 V, I_{sc} değeri ise 1,124 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 14,5 W, dolun faktörü ise 0,58 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.27. 400 W/m², 6. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.28'de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m², panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

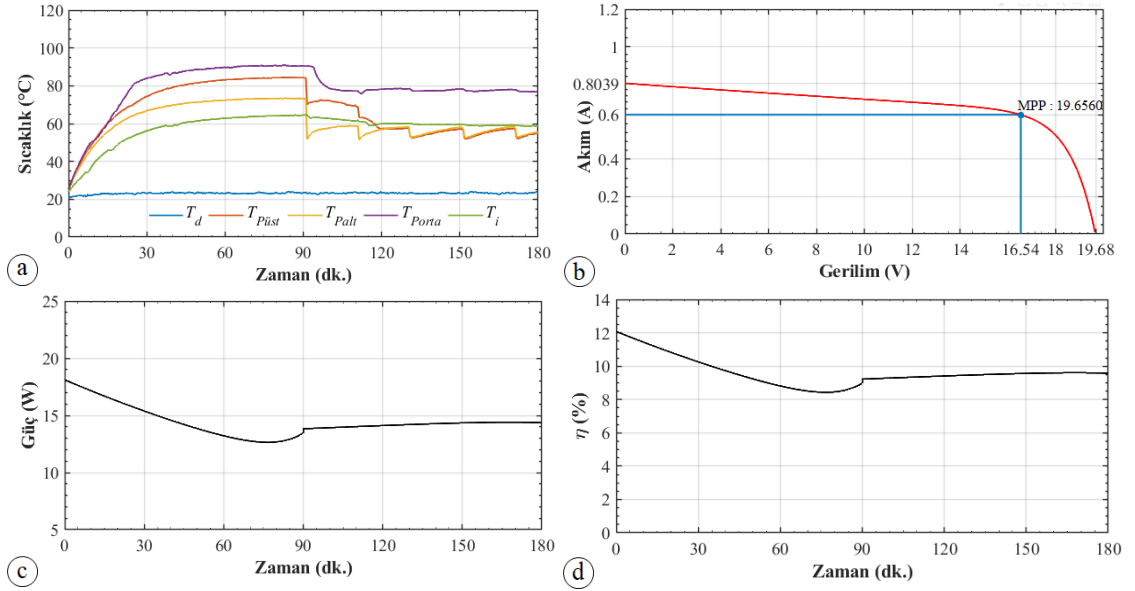


Şekil 5.28. 400 W/m^2 , 7. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.28-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.28-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $65,3 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $59,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,7 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,26 \text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,8720 \text{ W}$, V_{mp} değeri $14,48 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,7119 \text{ A}$, V_{oc} $19,66 \text{ V}$,

I_{sc} değeri ise 0,8771 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,3 W, dolum faktörü ise 0,70 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.29’de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

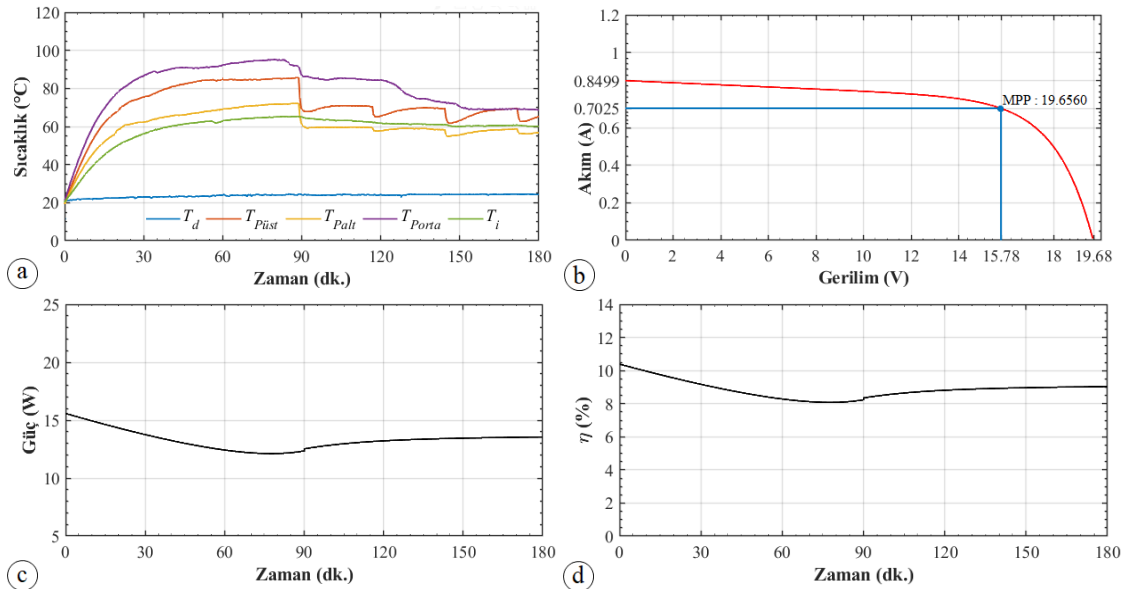


Şekil 5.29. 400 W/m^2 , 8. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.29-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 20 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.29-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde

gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $60,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,21\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,6560\text{ W}$, V_{mp} değeri $16,54\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,6\text{ A}$, V_{oc} $19,68\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,8039\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $10,7\text{ W}$, doluluk faktörü ise $0,63$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.30'da, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



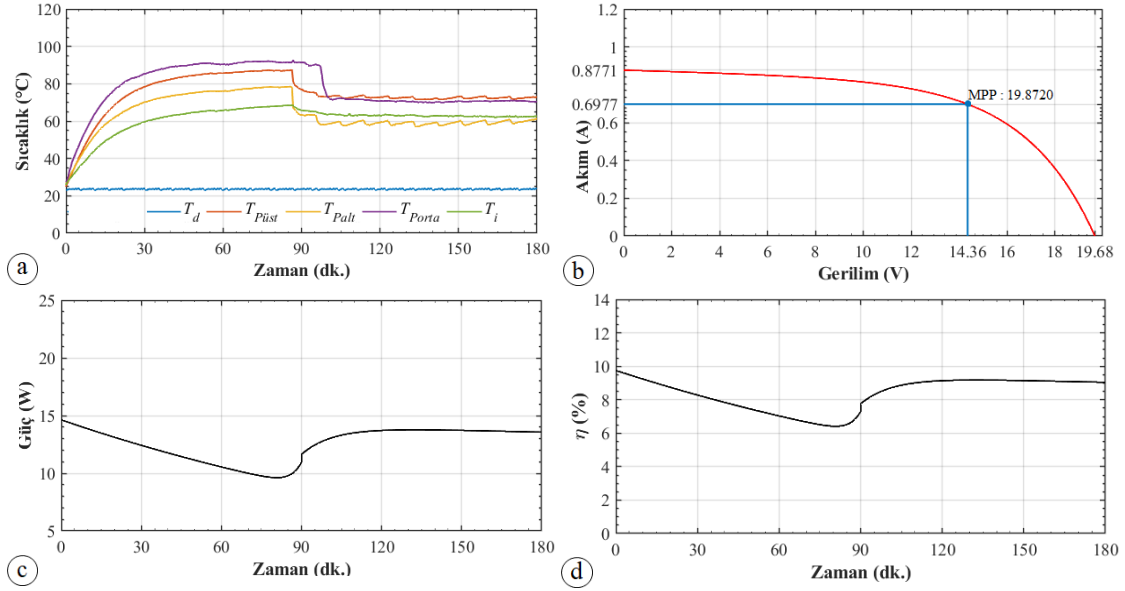
Şekil 5.30. 400 W/m^2 , 9. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.30-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.30-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $67,7 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $61,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,26 \text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,6560 \text{ W}$, V_{mp} değeri $15,78 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,7025 \text{ A}$, V_{oc} $19,68 \text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,8499 \text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $12,6 \text{ W}$, dolun faktörü ise $0,67$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.31'de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar

aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

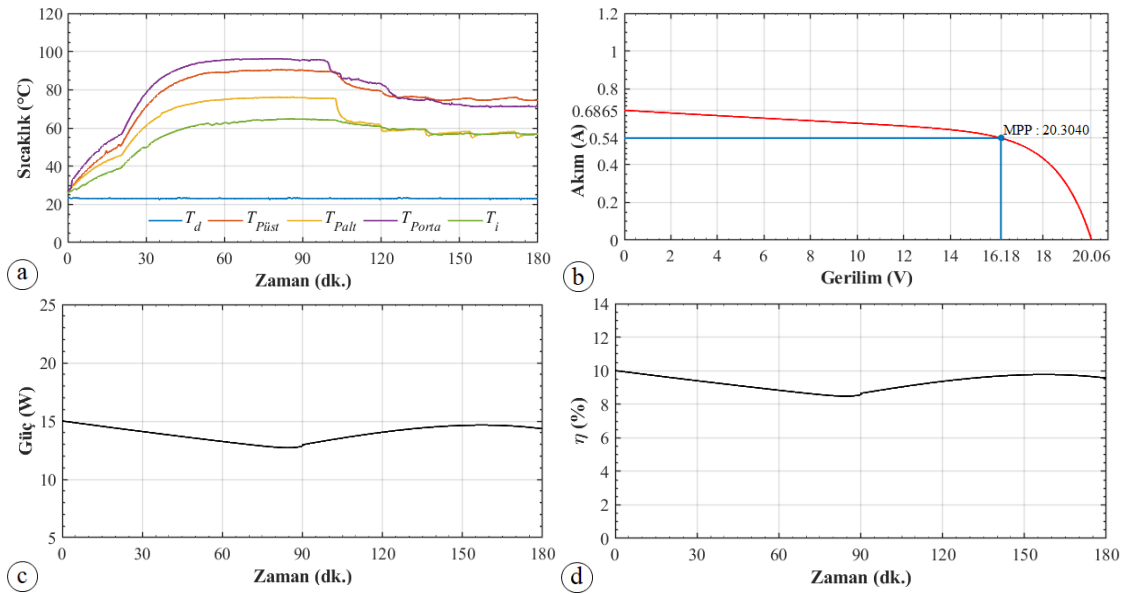


Şekil 5.31. 400 W/m², 10. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.31-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.31-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin T_{p,orta}, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise T_{p,alt} olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 68,3 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 63 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 23,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 14,59 W'dır.

PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,8720 W, V_{mp} değeri 14,36 V, I_{mp} değeri 0,6977 A, V_{oc} 19,68 V, I_{sc} değeri ise 0,8771 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 10,9 W, dolun faktörü ise 0,58 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.32’de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

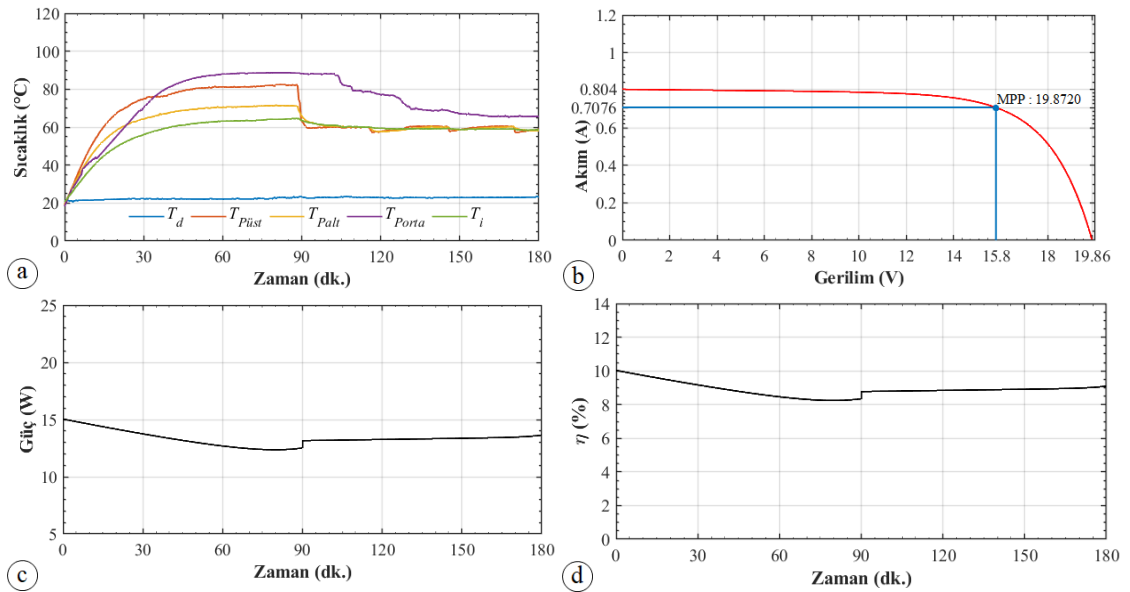


Şekil 5.32. 400 W/m^2 , 11. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.32-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 20 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.32-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan

püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $72,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $59,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $15,16\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $20,3040\text{ W}$, V_{mp} değeri $16,18\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,54\text{ A}$, V_{oc} $20,06\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,6865\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $14,1\text{ W}$, dolun faktörü ise $0,64$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.33'de, ışınım şiddeti değerinin 400 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülözik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.33. 400 W/m^2 , 12. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

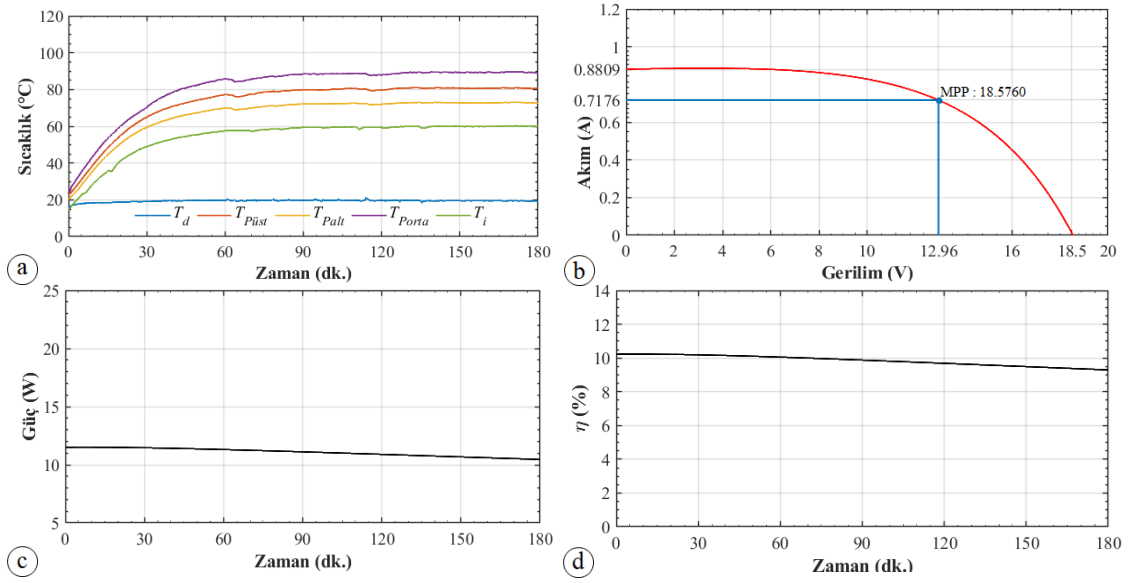
Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 400 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

Şekil 5.33-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 30 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.33-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $64,3 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $59,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $14,56 \text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,8720 \text{ W}$, V_{mp} değeri $15,8 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,7076 \text{ A}$, V_{oc} $19,86 \text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,804 \text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $11,9 \text{ W}$, dolun faktörü ise $0,70$ olarak bulunmuştur.

6.3. 300 W/m^2 IŞINIM ŞİDDETİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

300 W/m^2 ışınım şiddetinde farklı parametreler ile toplam 12 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları ve bu sonuçlara göre yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 5.34’de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

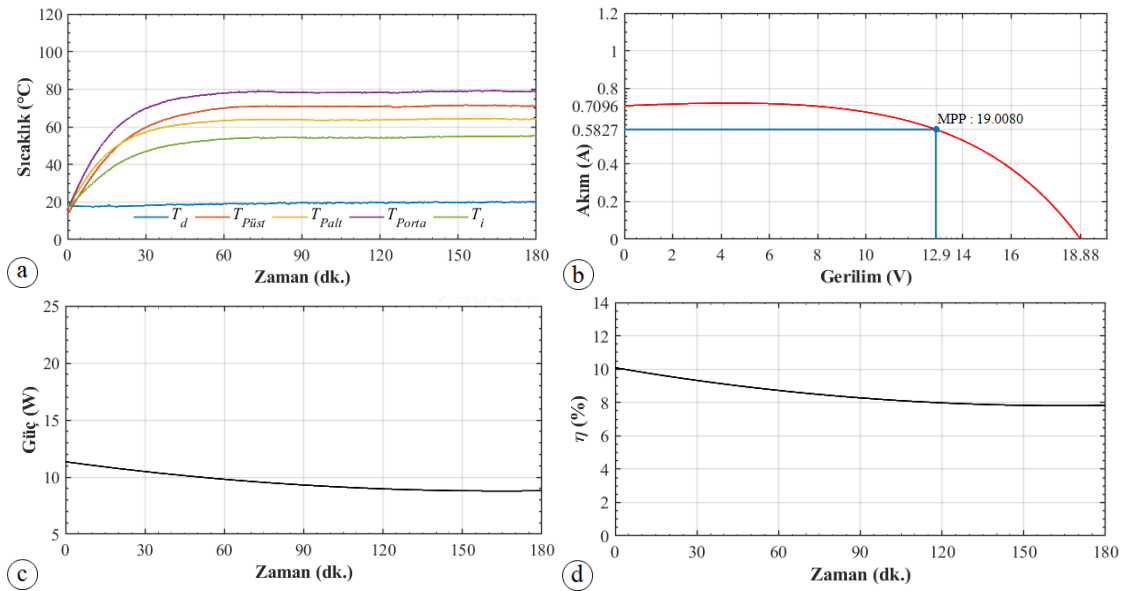


Şekil 5.34. 300 W/m^2 , 1. deney grafikleri(a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.34-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $80,6 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $59,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk’dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $9,91 \text{ W}$ ’dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $18,5760 \text{ W}$, V_{mp} değeri $12,96 \text{ V}$, I_{mp} değeri $0,7176 \text{ A}$, V_{oc}

18,5 V, I_{sc} değeri ise 0,8809 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 9,3 W, dolun faktörü ise 0,57 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.35’de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

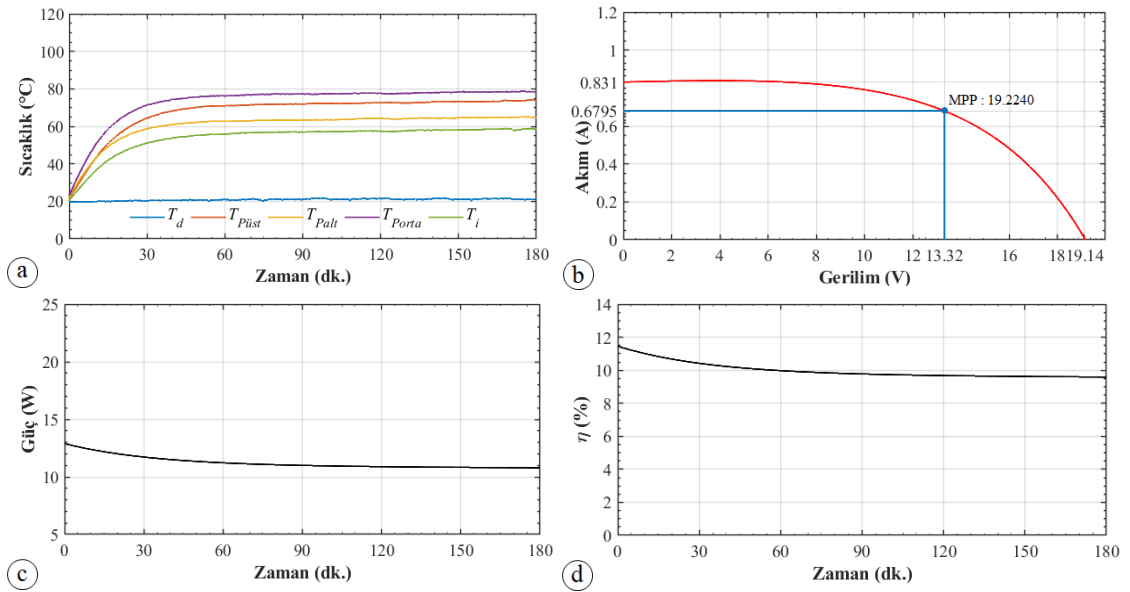


Şekil 5.35. 300 W/m^2 , 2. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.35-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $71,2 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $54,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı

gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 9,8 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,0080 W, V_{mp} değeri 12,9 V, I_{mp} değeri 0,5827 A, V_{oc} 18,88 V, I_{sc} değeri ise 0,7096 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 7,6 W, dolun faktörü ise 0,57 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.36'da, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılan soğutmasız panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiş olmasına rağmen su püskürtme işlemi yapılmamış ve bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

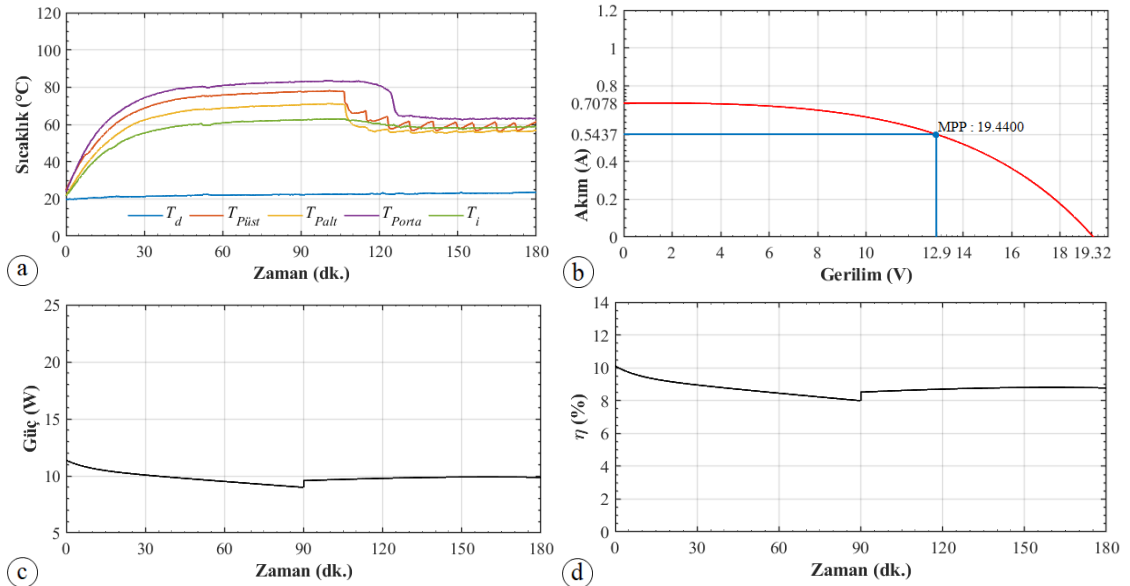


Şekil 5.36. 300 W/m^2 , 3. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.36-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş, geriye kalan zaman zarfı içerisinde de kayda değer bir değişim göstermemiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 60 dk sonrasında panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $71,7 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı

57,8 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 21,3 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, sonraki zaman diliminde kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. 60. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 9,93 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,2240 W, V_{mp} değeri 13,32 V, I_{mp} değeri 0,6795 A, V_{oc} 19,14 V, I_{sc} değeri ise 0,831 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 9,1 W, dolun faktörü ise 0,57 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.37'de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



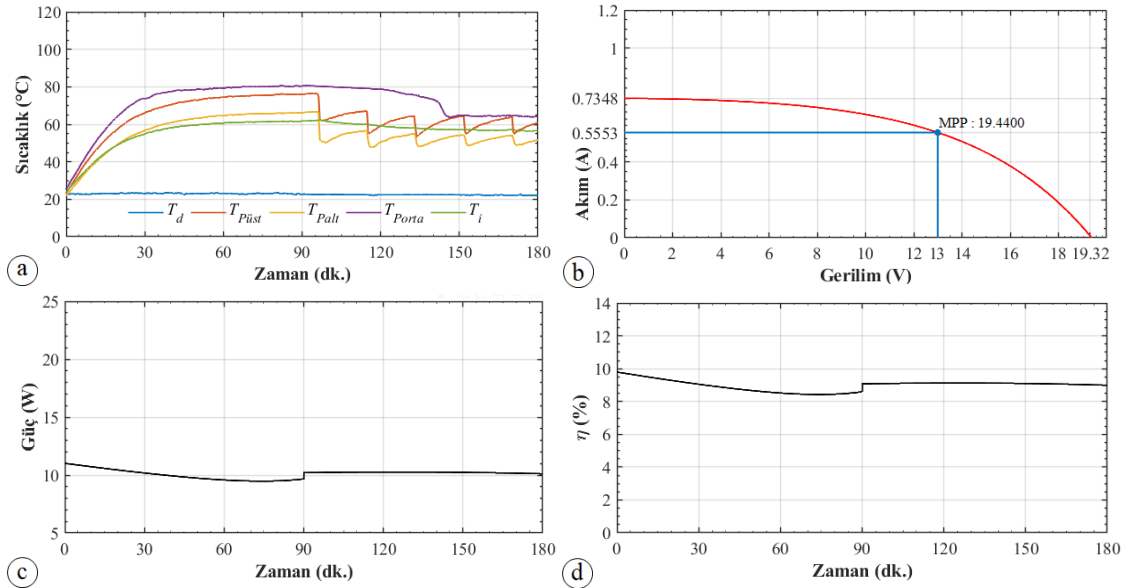
Şekil 5.37. 300 W/m^2 , 4. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.37-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.37-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 64,5 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 59,7 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,9 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,8 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,4400 W, V_{mp} değeri 12,9 V, I_{mp} değeri 0,5437 A, V_{oc} 19,32 V, I_{sc} değeri ise 0,7078 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 7,8 W, dolum faktörü ise 0,52 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.38'de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m², panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

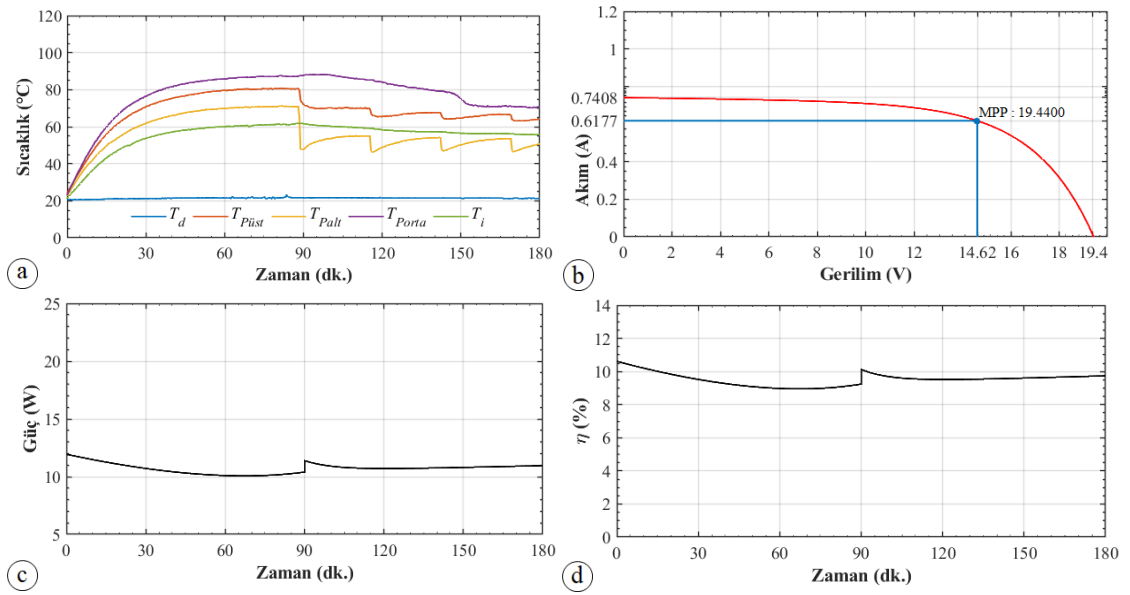
Şekil 5.38-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su

püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.38-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $62,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $58,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $10,33\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $19,4400\text{ W}$, V_{mp} değeri 13 V , I_{mp} değeri $0,5553\text{ A}$, V_{oc} $19,32\text{ V}$, I_{sc} değeri ise $0,7348\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı $7,9\text{ W}$, dolun faktörü ise $0,50$ olarak bulunmuştur.



Şekil 5.38. 300 W/m^2 , 5. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.39’da, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 0° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 0° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

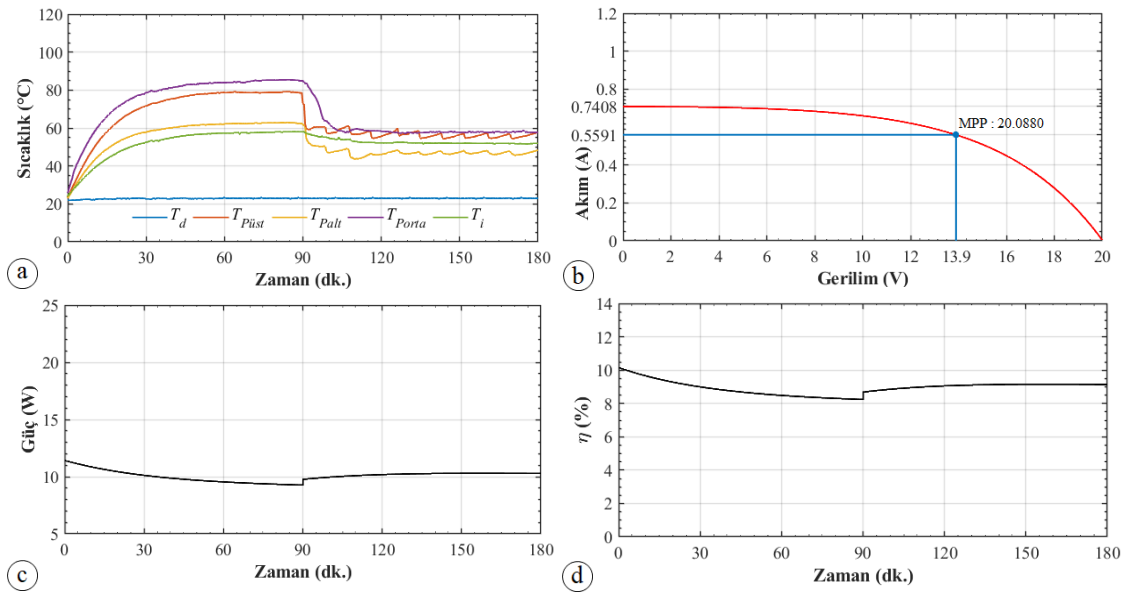


Şekil 5.39. 300 W/m^2 , 6. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.39-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 30 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.39-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk’dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $66,1 \text{ }^\circ\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $57,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dış

ortam ortalama sıcaklığı ise 21,5 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,79 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 19,4400 W, V_{mp} değeri 14,62 V, I_{mp} değeri 0,6177 A, V_{oc} 19,4 V, I_{sc} değeri ise 0,7408 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,3 W, dolun faktörü ise 0,63 olarak bulunmuştur.

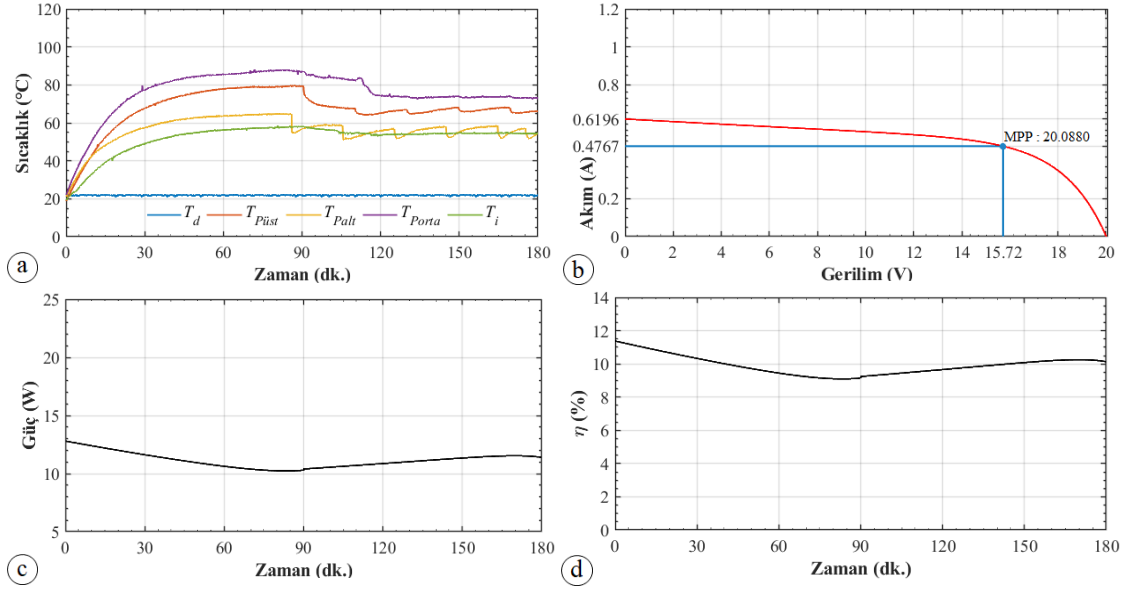
Şekil 5.40'da, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.40. 300 W/m^2 , 7. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.40-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.40-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı $60,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, iç ortam ortalama sıcaklığı $52,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı $10,18\text{ W}$ 'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri $20,0880\text{ W}$, V_{mp} değeri $13,9\text{ V}$, I_{mp} değeri $0,5591\text{ A}$, V_{oc} 20 V , I_{sc} değeri ise $0,7408\text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 8 W , dolum faktörü ise $0,53$ olarak bulunmuştur.

Şekil 5.41'da, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla $0,5$ litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

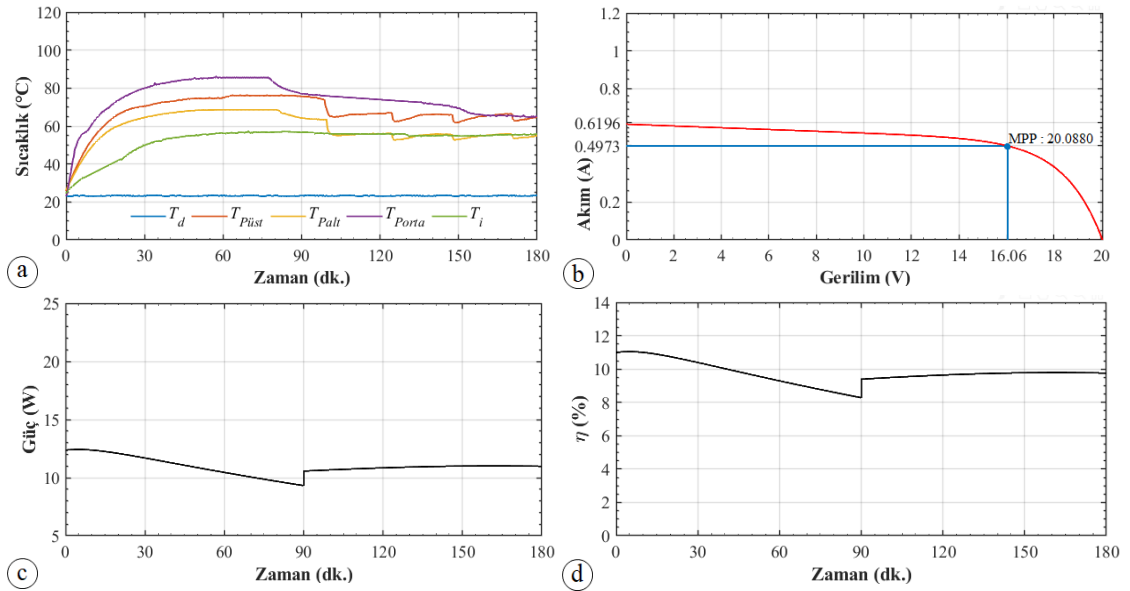


Şekil 5.41. 300 W/m², 8. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.41-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 20 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. 6.41-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 66,4 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 54,8 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 21,9 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 11,06 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 15,72 V, I_{mp} değeri 0,4767 A, V_{oc} 20 V, I_{sc}

değeri ise 0,6196 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,9 W, dolum faktörü ise 0,6 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.42’de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 25° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 25° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.42. 300 W/m^2 , 9. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

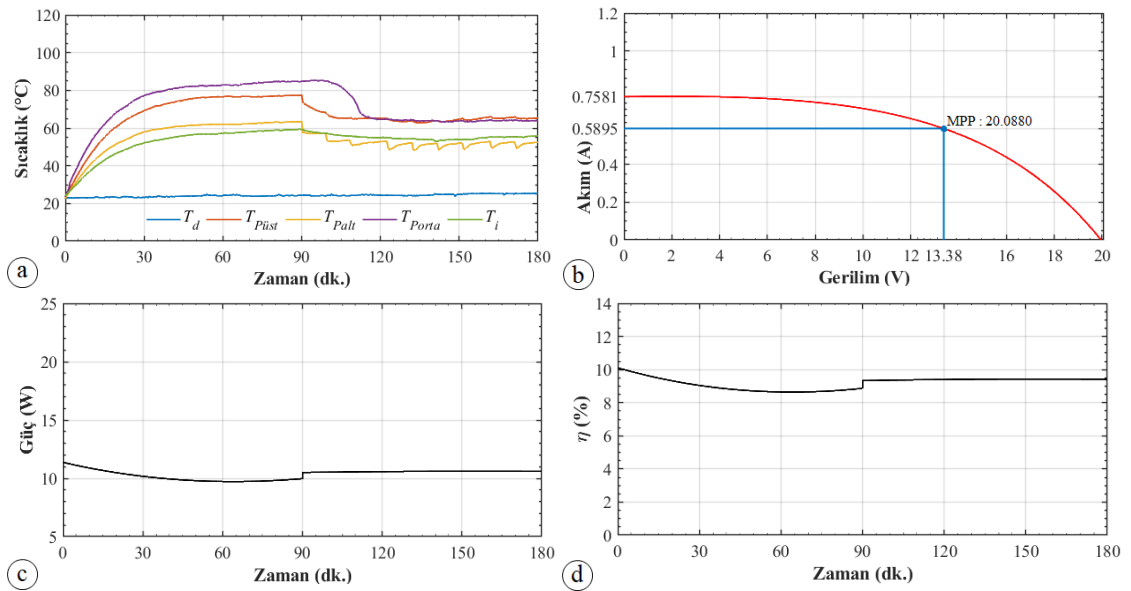
Şekil 5.42-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 30 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.42-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde

gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 66,4 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 55,5 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 23,2 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,88 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 16,06 V, I_{mp} değeri 0,4973 A, V_{oc} 20 V, I_{sc} değeri ise 0,6196 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 11,9 W, dolun faktörü ise 0,65 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.43'de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m², panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 10 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 10 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

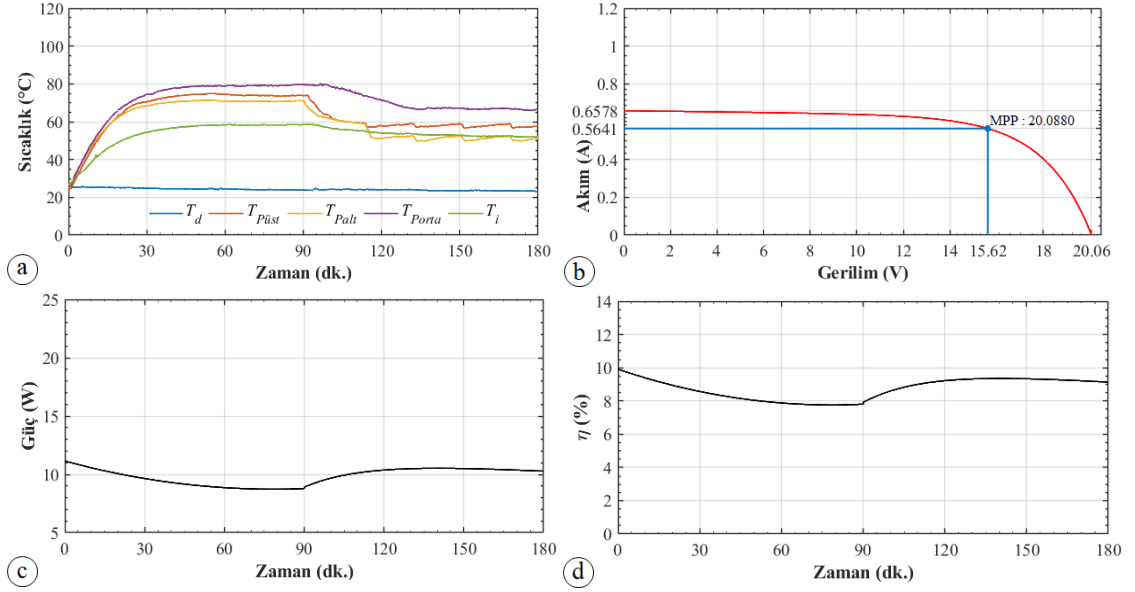
Şekil 5.43-a'da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk'dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk'ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk'dan başlamak üzere her 10 dk'da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.43-a'da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 62,3 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 55,2 °C ve dış

ortam ortalama sıcaklığı ise 24,7 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,55 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 13,38 V, I_{mp} değeri 0,5895 A, V_{oc} 20 V, I_{sc} değeri ise 0,7581 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 9,62 W, dolun faktörü ise 0,52 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.43. 300 W/m², 10. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.44'de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m², panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 20 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk'dır. PV panel yüzeyine 300 W/m² ışınım şiddeti gönderilmiştir PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 20 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.

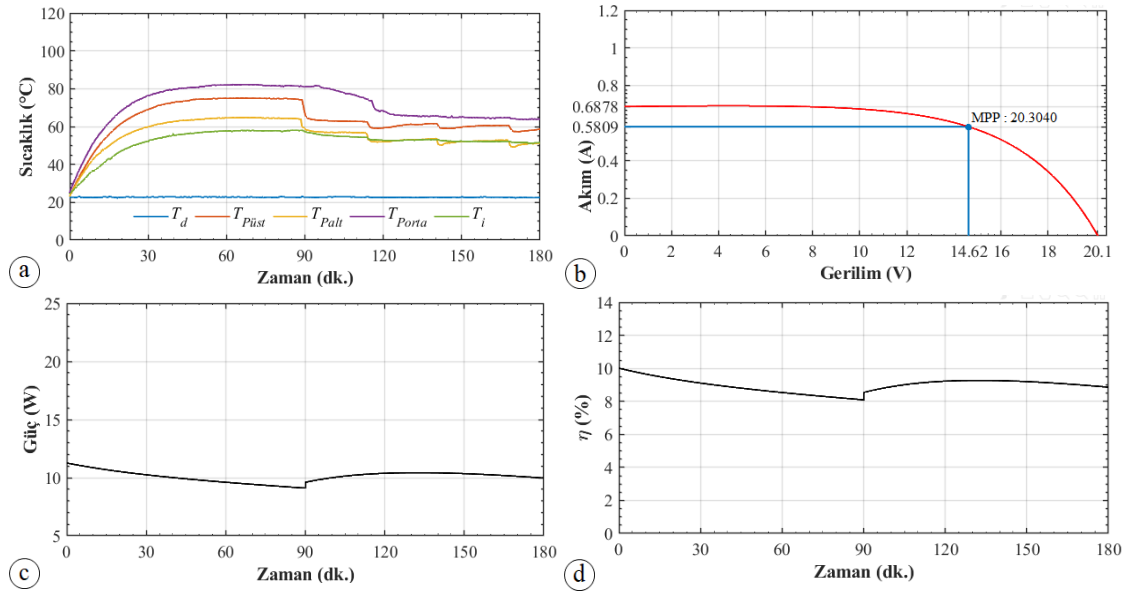


Şekil 5.44. 300 W/m², 11. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.44-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 20 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.44-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk’dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 61,4 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 54 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 23,8 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk’ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk’dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk’dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,24 W’dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,0880 W, V_{mp} değeri 15,62 V, I_{mp} değeri 0,5641 A, V_{oc} 20,06 V,

I_{sc} değeri ise 0,6578 A olarak belirlenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin elektrik ekserji miktarı 10,7 W, dolun faktörü ise 0,67 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.45’de, ışınım şiddeti değerinin 300 W/m^2 , panel eğim açısının 35° olduğu, selülozik sünger kullanılarak 30 dk aralıklarla soğutma işlemi uygulanan panel şartlarında yapılan çalışmalara ait deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir. Bu parametrelerdeki toplam çalışma süresi 180 dk’dır. PV panel yüzeyine 300 W/m^2 ışınım şiddeti gönderilmiştir. PV panelin 35° eğim açısı ile yerleştirildiği bu çalışmada, PV panele selülozik sünger yerleştirilmiştir ve selülozik süngere nozullar aracılığı ile 30 dk aralıklarla 0,5 litrelik su püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum diğer yapılan deneyler ile bir kıyaslama imkânı sağlamıştır.



Şekil 5.45. 300 W/m^2 , 12. deney grafikleri (a- Sıcaklık zaman grafiği, b- I – V eğrisi, c- Güç zaman eğrisi, d- Verim zaman eğrisi).

Şekil 5.45-a’da verilen sıcaklık grafiğine göre hücre sıcaklıkları 60 dk’dan sonra denge durumuna gelmiş ve 90. dk’ya kadar geçen zaman zarfı içinde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. 90. dk’dan başlamak üzere her 30 dk’da bir su püskürtme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.45-a’da görüldüğü üzere su püskürtmesine doğrudan maruz kalan bölgelerde ani bir sıcaklık düşüşü yaşanırken, doğrudan püskürtmeye maruz kalmayan bölgede parabolik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu parabolik düşüş süngerin suyu muhafaza ederek bünyesinde iletmesi sayesinde

gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerine sahip bölgenin $T_{p,orta}$, en düşük sıcaklık değerine sahip bölgenin ise $T_{p,alt}$ olduğu gözlemlenmektedir. 90. dk'dan sonra panel hücrelerinin ortalama sıcaklığı 61 °C, iç ortam ortalama sıcaklığı 53,2 °C ve dış ortam ortalama sıcaklığı ise 22,6 °C olduğu görülmektedir. Güç ve verim eğrileri incelendiği zaman ise yine 60 dk içerisinde ciddi bir güç ve verim düşüşü olmasına rağmen, 90. dk'ya kadar geçen zaman diliminde kayda değer bir değişim yaşanmadığı görülmektedir. 90. dk'dan başlamak üzere yapılan soğutma çalışması ile güç ve verimde, soğutmasız duruma kıyasla kayda değer oranda bir artış sağlanmıştır. 90. dk'dan sonra panelden elde edilen ortalama güç çıktısı 10,21 W'dır. PV panel, ideal koşullar ile paralel bir I-V eğrisi ortaya çıkarmıştır. Bu I-V eğrisine göre MPP değeri 20,3040 W, V_{mp} değeri 14,62 V, I_{mp} değeri 0,5809 A, V_{oc} 20,01 V, I_{sc} değeri ise 0,6878 A olarak belirlenmiştir. Yukarıda yapılan hesaplamalar ile sistemin elektrik ekserji miktarı 10,7 W, dolun faktörü ise 0,62 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM 6

DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

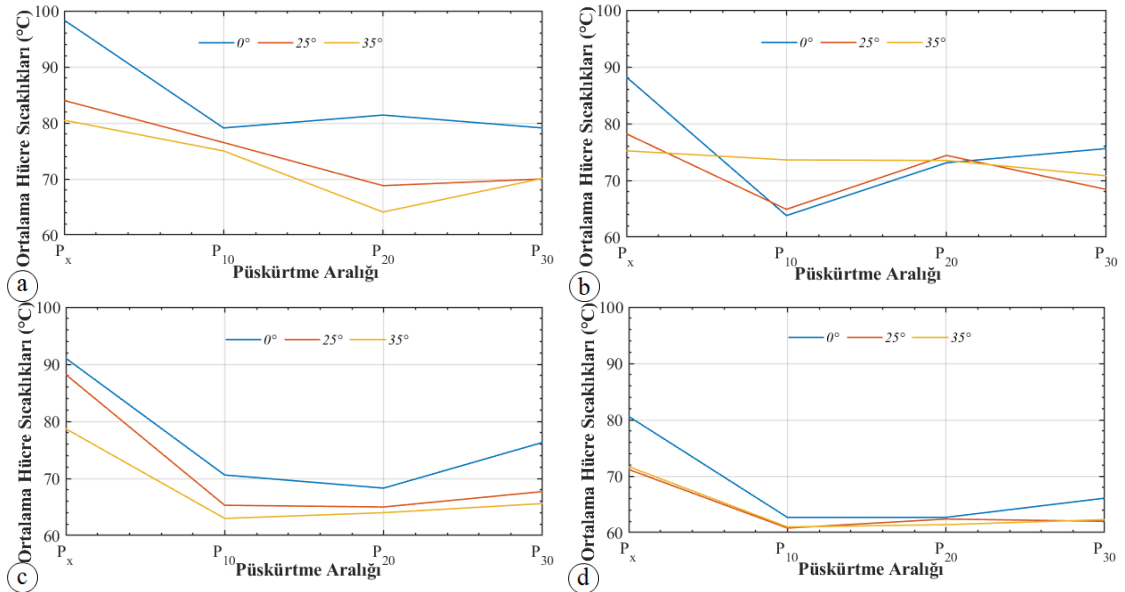
Çalışmanın bütün sonuçları ortak olarak göz önüne alındığı zaman ortaya çıkan genel değerlendirmeler aşağıda sıralandığı gibidir;

- Panel hücre sıcaklıkları yaklaşık olarak 60 dk içerisinde denge noktasına ulaşarak sonraki süreç içerisinde, dış etkenlere maruz kalmadıkça, kayda değer bir değişim yaşamamakta ve benzer şekilde PV panel gücü ve verimi de ilk 60 dk'da ciddi oranda düşerken 60. dk'dan sonra, dış etkenlere maruz kalmadıkça, kayda değer bir değişim yaşamamaktadır.
- Işınım şiddetindeki artışa bağlı olarak PV panel hücre sıcaklıkları da artış göstermiştir.
- Işınım şiddetindeki artışa bağlı olarak PV panel aracılığı ile üretilen elektrik gücü de artmıştır.
- Elde edilen veriler ışığında herhangi bir ışınım şiddetinde hücre sıcaklıklarındaki her bir derecelik sıcaklık artışı panel verimliliğini yaklaşık olarak %0,4 ila %0,7 arasında bir oranda düşürdüğü gözlemlenmektedir.
- Panel eğimi ile hücre sıcaklıkları arasında ters orantı vardır. Panel eğimi azaldıkça panel sıcaklığı artmaktadır. Bu artış özellikle yüksek ışınım şiddeti altında daha da yükselmektedir. Örneğin, 500 W/m² ışınım şiddeti altındaki entegre panelde, 0° eğim ile oluşan sıcaklığın, 35° eğim ile oluşan sıcaklıktan yaklaşık %25 oranında daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir.
- Entegre sistem PV panellerdeki soğutma işleminin etkinliği, eğim açısı arttıkça artmaktadır. Bu artış özellikle yüksek ışınım şiddeti altında daha da yükselmektedir. Örneğin, 500 W/m² ışınım şiddeti altındaki entegre panele 20 dakika aralıklarla soğutma işlemi uygulandığında, 35° eğime sahip olan panelin ortalama sıcaklığı 65 °C iken 0° eğime sahip olan panelin ortalama sıcaklığı aynı koşullar altında 83 °C olduğu tespit edilmiştir.

- Entegreli özgün sisteme su püskürtülmesi sonucunda selülozik süngerin kuruma süresi, geleneksel sistemin alt yüzeyinin kuruma süresine oranla çok daha uzun sürmektedir. Çalışma süresince yapılan gözlemler sonucunda, 0° panel eğimine sahip panelin arkasına entegre edilmiş olan selülozik süngerin tamamen kuruma süresinin, 18-23 °C arasındaki bir ortam sıcaklığında ve panele herhangi bir ışınlam gönderilmediği durumda, yaklaşık olarak 12 saat olduğu tespit edilmiştir. 0° panel eğimine sahip, 500 W/m² ışınlam şiddetine maruz kalan bir panele entegre olan selülozik süngerin ise yaklaşık 6 saat içerisinde tamamen kuruduğu gözlemlenmiştir. Aynı kuruma süreci geleneksel bir sistem için, suyun sistemi kolayca terketmesine olanak sağlayan bir alt yüzey yapısına sahip olmasından dolayı, sadece 15-20 dk aralığında gerçekleşmektedir.
- Hücre sıcaklıkları panel eğimi yüksek olan entegreli sistemlerde soğutma işlemi yapıldığı zaman, düşük eğimli olan duruma kıyasla, daha hızlı bir düşüş gösterme eğilimindedir. Özellikle, T_{P5} noktası gibi doğrudan nozul püskürtmesine maruz kalmayan noktalarda bu durum daha dikkat çekici olmaktadır. 0° eğim açısına sahip entegre bir panelde T_{P5} noktasındaki kayda değer düşüş yaklaşık olarak 130. dakikadan sonra gerçekleşirken, 0° eğim açısına sahip entegre bir paneldeki bu düşüş yaklaşık olarak 100. dakikadan sonra gerçekleşmektedir.
- Elde edilen veriler ışığında ortaya çıkan grafikler doğrultusunda selülozik sünger entegreli özgün sistemde gerçekleştirilen soğutma işlemi, geleneksel sistemde gerçekleştirilen soğutma işlemine nazaran panel üzerinde çok daha homojen bir sıcaklık gradyanı oluşmasını sağlamıştır.
- Geleneksel sistemlerde doğrudan su ile temas eden yüzeylerde ani bir sıcaklık düşüşü olurken yeniden ilk sıcaklık noktasına hızla yükselme eğilimi göstermektedir, su ile temas etmeyen noktalardaki sıcaklık düşüşü ise entegre sisteme oranla çok daha düşük oranlardadır ve hızlıca ilk sıcaklık noktasına yakın bir sıcaklık değerine ulaşma eğilimindedir.
- Entegreli özgün sistem ile gerçekleştirilen soğutma işleminde panel üzerinde doğrudan su püskürtmesi yapılan noktalarda ani bir sıcaklık düşüşü olurken, doğrudan su ile temas etmeyen noktalar ise selülozik süngerin suyu emme ve dağıtma yeteneği sayesinde parabolik bir sıcaklık düşüş trendi yakalama eğilimi göstermiştir.

- Entegre sistemde yapılan soğutma işlemi sayesinde kaybedilen verimin yaklaşık olarak %40 ila %50 arasında bir oranı geri kazanılabilmektedir.
- Geleneksel sistemlerde gerçekleştirilen soğutma işleminde en yüksek verim artışı ve sıcaklık düşüşü 20 dakikalık püskürtme aralığına sahip olunan parametrelerde sağlanırken, entegreli sistemde ise 10, 20 ve 30 dk'lık parametreler arasında kayda değer bir değişim oluşmadığı görülmektedir. Bu durumda 30 dk'lık püskürtme süresi ile soğutma yapılması durumunda enerji ve su tasarrufu noktasında ciddi bir kazanç sağlanırken verim artışı ve sıcaklık düşüşü sağlanması noktasında diğer parametrelere kıyasla herhangi bir kayıp yaşanmamaktadır.

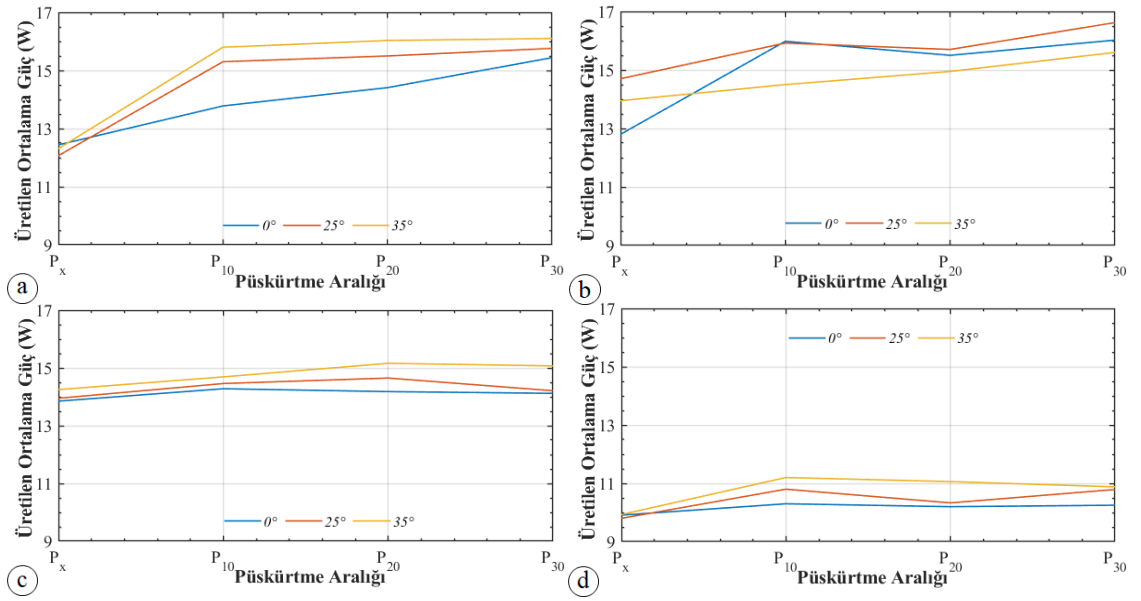
Hücre sıcaklıklarının ışınım şiddetlerine ve püskürtme aralıklarına bağlı olarak değişimleri Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Ortaya çıkan sıcaklık değişim eğrileri incelendiği zaman, sünger entegreli sistemlerde beklenildiği gibi panel açısının artması ve soğutmanın gerçekleştirilmesi ile birlikte daha düşük sıcaklıklara ulaşıldığı gözlemlenmektedir. Ancak, geleneksel sistemde soğutma neticesinde homojen olmayan ısı dağılımlarının oluşması neticesinde düzenli bir sıcaklık düşüş trendi olduğu yorumlaması yapılamamaktadır. Bu iki farkın en temel nedeni, geleneksel sistemlerde su ile soğutma işlemi esnasında panel yüzeyinde oluşan homojen olmayan sıcaklık gradyanlarıdır.



Şekil 6.1. Hücre sıcaklıklarının ortalama değişim grafikleri (a- 500 W/m²-Süngerli, b- 500 W/m²-Süngerlessiz, c- 400 W/m²-Süngerli, d- 300 W/m²-Süngerli).

Gerçekleştirilen çalışmanın en büyük dezavantajı panel arkasına entegre edilen selülozik süngerin ısı transfer oranını düşürerek geleneksel sisteme oranla panel hücrelerinde daha fazla ısınmaya neden olmasıdır. Bundan dolayı, sünger entegreli ve soğutmanın olmadığı parametrelerle gerçekleştirilen deneylerde panel sıcaklıkları geleneksel panelden daha üst seviyelere çıkmaktadır. Bu sebeple, entegreli sistemlerde kesinlikle daima su püskürtme işlemi (soğutma işlemi) gerçekleştirilmelidir. Yapılan çalışma gelecek çalışmalara yeni sistem tasarımları ile süngerin bu dezavantajının giderilmesi noktasında yeni çalışma kapıları açmaktadır.

PV sistemin yüzey sıcaklıkları denge noktasına geldikten sonra, üretilen ortalama gücün ışınım şiddetlerine ve püskürtme aralıklarına bağlı olarak değişimleri Şekil 6.2'de gösterilmektedir.

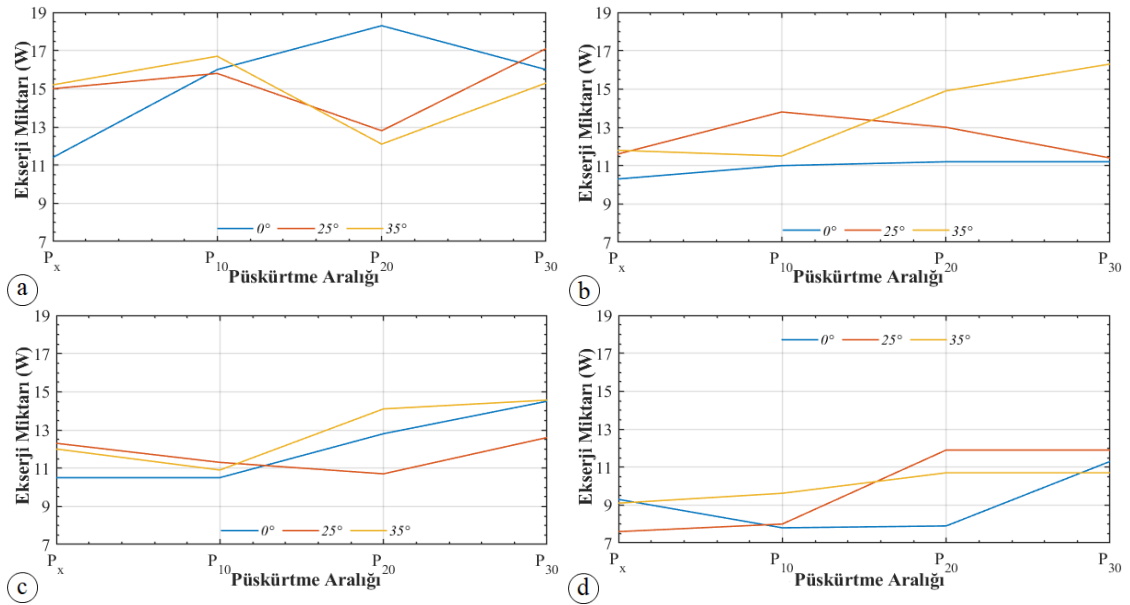


Şekil 6.2. Üretilen gücün ortalama değişim grafikleri (a- 500 W/m²-Süngerli, b- 500 W/m²-Süngerli, c- 400 W/m²-Süngerli, d- 300 W/m²-Süngerli).

Ortaya çıkan güç değişim eğrileri incelendiğinde, sünger entegreli sistemlerde beklenildiği gibi PV panel tarafından üretilen ortalama güç, hücrelerin ortalama sıcaklıkları ile ters orantılı olarak biçimde arttığı ortaya çıkmaktadır. Hücre sıcaklıklarının yüksek olduğu durumlarda üretilen ortalama güç, sıcaklıkların düşük olduğu durumlara kıyasla daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu nedenle sünger entegreli tüm durumlarda en düşük sıcaklığa sahip olan 35° panel eğimindeki

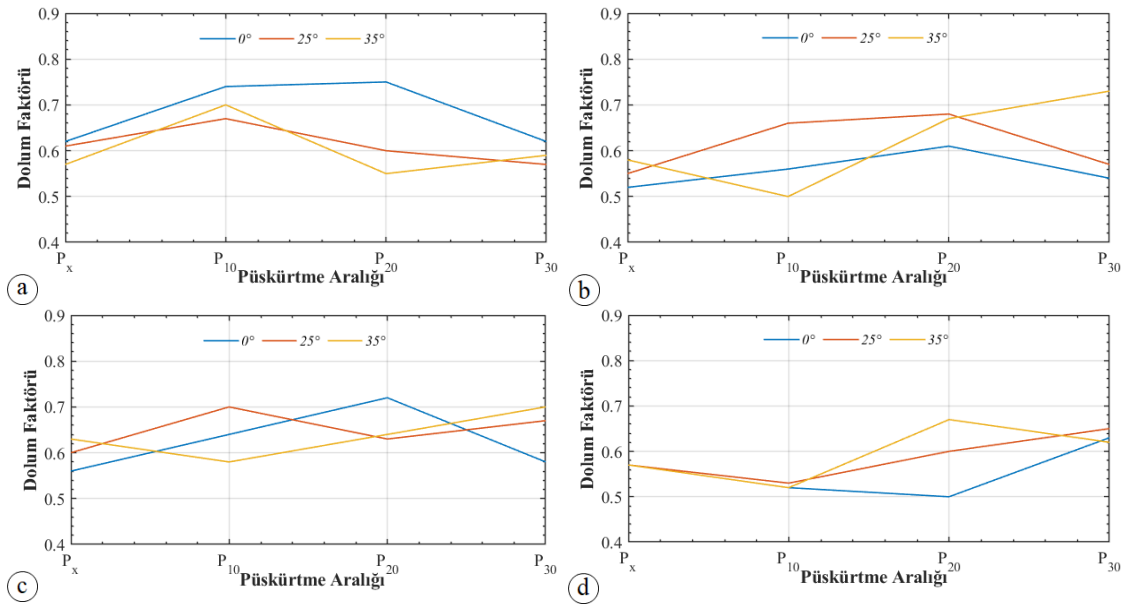
parametreler en yüksek güç çıktısını verirken, en yüksek sıcaklığa sahip olan 0° panel eğimindeki parametreler en düşük güç çıktısını vermektedir. Ancak, geleneksel sistemde soğutma neticesinde homojen olmayan ısı dağılımlarının oluşması neticesinde düzenli bir ortalama güç çıktı trendi olduğu yorumlaması yapılamamaktadır. Bu iki farkın en temel nedeni, geleneksel sistemlerde su ile soğutma işlemi esnasında panel yüzeyinde oluşan homojen olmayan sıcaklık gradyanlarıdır.

Ekserji miktarının ışınım şiddetlerine ve püskürtme aralıklarına bağlı olarak değişimleri Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Ekserjinin tanımı, kullanılanılamaz hale gelen enerji ile birlikte elde edilebilecek ve teorik olarak oluşabilecek olan maksimum faydalı ıştır. Bu tanım ve Eşitlik 4.7'de verilmiş olan ekserji hesabı birlikte göz önüne alındığında, sistem ile çevre arasındaki sıcaklık farkından dolayı bir enerji kaybı oluştuğu ve bu durumda elde edilebilecek en yüksek ekserji oranının çevre ve PV hücre sıcaklıkları arasındaki farkın maksimum olduğu durumlarda ortaya çıkması beklenmektedir. Bu açıklamalar ışığında Şekil 6.3 incelendiği zaman elde edilen grafiklerin bu bilgiler doğrultusunda oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.3. Ekserji miktarının değişim grafikleri (a- 500 W/m^2 -Süngerli, b- 500 W/m^2 -Süngerlessiz, c- 400 W/m^2 -Süngerli, d- 300 W/m^2 -Süngerli).

Dolum faktörünün ışınım şiddetlerine ve püskürtme aralıklarına bağlı olarak değişimleri Şekil 6.4'te gösterilmektedir. Dolum Faktörü (FF) PV panelin kalitesinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir. İdeal bir PV panelin FF değeri 1'dir. Ancak, gerçek şartlarda 1 FF değerine sahip panel bulmak olanaksızdır. Piyasada aktif olarak çalışan bir PV panelin anlık ortam şartlarına göre ortalama FF değeri 0,5 ila 0,85 arasında değişiklik göstermektedir. Panelin FF oranının 0,5'ten düşük olmasından panelin o andaki çalışma koşulu için yetersiz bir panel olduğu anlamı çıkarılabilir [72]. Şekil 6.4'ten görüldüğü üzere entegre sistem ile soğutmanın gerçekleştirildiği durumlarda geleneksel sistemlere kıyasla her alanda daha üstün bir performans elde edilmiştir. Parametre açılımları Ek Açıklamalar J'de verilmiştir.



Şekil 6.4. Dolum faktörü değişim grafikleri (a- 500 W/m²-Süngerli, b- 500 W/m²-Süngerli, c- 400 W/m²-Süngerli, d- 300 W/m²-Süngerli).

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar ışığında, PV sistemlerde selülozik sünger kullanılarak verim ve enerji üretimin artırılması ile ilgili olarak yapılacak yeni çalışmalarda:

- Selülozik süngerin kalınlığının değiştirilerek ayrı bir parametre olarak ele alınması,
- Farklı nozul püskürtme çaplarında ve farklı nozul tiplerinde çalışarak ayrı bir parametre olarak ele alınması,

- Nozulların püskürtme mesafeleri değiştirilerek ayrı bir parametre olarak ele alınması,
- Hücre sıcaklıkları artan noktaların tespiti yapılarak selenoid vana yardımıyla sadece kritik sıcaklığa ulaşan noktalara püskürtme işlemi yapılması,
- Süngerin panel arka yüzeyine farklı metotlar kullanılarak entegre edilmesi ile sünger panel temas alanının artırılması
- Selülozik sünger entegreli panelde, süngerin hücre sıcaklıklarının artışına sebep olma durumunun giderilmesine yönelik ek araştırmalar gibi yöntemler ile çalışma genişletilebilir.

KAYNAKLAR

1. Yan, C., Zhenga, M., Guofeng, S., Cheng, Y., Shexia, M., Sun, J., Cui, M., Zhang, M., Han, Y. ve Chen, Y., “Characterization of carbon fractions in carbonaceous aerosols from typical fossil fuel combustion sources,” *Fuel*, 254 (5): 115620 (2019).
2. Rajput, U. J. ve Yang, J., “Comparison of heat sink and water type PV/T collector for polycrystalline photovoltaic panel cooling”, *Renew. Energy*, 116: 479–491 (2018).
3. Annabi, M., Slama, N. B., Ksouri, M., ve Perard, J., “Optimization of the Power of an Array of Photovoltaic Solar Cells”, *IFAC Proceedings Volumes*, 13 (11): 297–301 (1980).
4. Sathe, T. M., and Dhoble, A. S., “A review on recent advancements in photovoltaic thermal techniques”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 76 (Oct): 645–672 (2017).
5. Byrne, J., Shen, B., ve Wallace W., “The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural China”, *Energy Policy*, 26 (1): 45–54 (1998).
6. Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., ve Ossenbrink, H. A., “Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries”, *Sol. Energy*, 81 (10): 1295–1305 (2007).
7. Routhier, A. F. ve Honsberg, C., “Using pv and thermal energy storage to decrease carbon dioxide emissions”, *2018 IEEE 7th World Conf. Photovolt. Energy Conversion*, Waikoloa (HI), 1477–1480 (2018).
8. Bigorajski, J., ve Chwieduk, D., “Analysis of a micro photovoltaic/thermal – PV/T system operation in moderate climate”, *Renew. Energy*, 137: 127–136 (2019).
9. Piotrowski, K., Geers, M. P. A., Garrido, D., Chen, J., Peralta, J. J., Casaca, A., Gerards, M. E. T., “Balancing energy production and consumption in energy efficient neighborhoods”, *IEEE Int. Energy Conf.*, Limassol, 1–6 (2018).
10. Jordan, D. C., Kurtz, S. R., Vansant, K. Ve Newmiller, J., “Compendium of photovoltaic degradation rates”, *Progress In Photovoltaics: Research And Applications*, 24 (2): 978–989 (2016).
11. Farret, F. A. ve Simões, M. G., “Integration of renewable sources of energy”, *Wiley–Blackwell*, New Jersey, 688 (2017).

12. Coventry, J. S., “Performance of a concentrating photovoltaic / thermal solar collector”, *Solar Energy*, 78 (2): 211–222 (2005).
13. Aydoğdu, Ç., “Yenilenebilir Enerji Sektöründe ve Enerji Verimliliğinde Kamusal Destekler ve Türkiye’de Yansımaları”, *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 6 (1): 52–74 (2021).
14. Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. ve Dunlop, E. D., “Solar cell efficiency tables (version 40)”, *Ieee Trans Fuzzy Syst*, 20 (6): 1114–1129 (2012).
15. Rabie, R., Emam, M., Ookawara, S. ve Ahmed, M., “Thermal management of concentrator photovoltaic systems using new configurations of phase change material heat sinks”, *Sol. Energy*, 183 (11): 632–652 (2019).
16. Bayrak, F., Oztop, H. F. ve Selimefendigil, F., “Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels”, *Energy Convers. Manag.*, 212 (4): 112789 (2020).
17. Tripanagnostopoulos, Y., “Photovoltaic/thermal solar collectors”, *Comprehensive Renewable Energy*, 3: 255-300 (2012).
18. Tripanagnostopoulos, Y., Nousia T., Souliotis, M. Ve Yianoulis, P., “Hybrid photovoltaic/thermal solar systems”, *Sol. Energy*, 72 (3): 217–234 (2002).
19. Tan , W. C., Saw, L. H., Thiam, H. S., Garg, A. ve Pambudi, N. A., “Numerical study of the geometrically graded metal foam for concentrated photovoltaic solar cell cooling”, *Energy Procedia*, 158: 61–766 (2019).
20. Abu, T., Alshare, A. ve El-khalil, H., “Passive cooling of building-integrated photovoltaics in desert conditions : Experiment and modeling”, *Energy*, 170: 131–138 (2019).
21. Prakash, J., “Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water”, *Energy Convers. Manag.*, 35 (11): 967–972 (1994).
22. Abdolzadeh, M. ve Ameri, M., “Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells”, *Renew. Energy*, 34 (1): 91–96 (2009).
23. Kordzadeh, A., “The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water”, *Renew. Energy*, 35 (5): 1098–1102 (2010).
24. Habibollahi, M., Ameri, M. ve Mansouri, S. H., “Efficiency improvement of photovoltaic water pumping systems by means of water flow beneath photovoltaic cells surface”, *J. Sol. Energy Eng. Trans.*, 137 (4): 1–8 (2015).

25. Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Ibrahim A. ve Kazem, H. A., “Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors”, *Energy Convers. Manag.*, 78: 641–651 (2014).
26. Xia, H. T., Dong, J. H., Yang, T., Zeng, J. P. Ve Liang, B., “Extrahepatic cyst excision and partial hepatectomy for Todani type IV-A cysts”, *Dig. Liver Dis.*, 46 (11): 1025–1030 (2014).
27. Mohanraj, M., Chandramohan P. ve Kamaruzzaman S., “Performance of photovoltaic water pumping systems under the influence of panel cooling”, *Renew. Energy Focus*, 31 (12): 31–44 (2019).
28. Fakouriyan, S., Saboohi, Y. ve Fathi, A., “Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels”, efficiency and its preheating water production”, *Renew. Energy*, 134: 1362–1368 (2019).
29. Das, D., Kalita, P., Dewan, A. ve Tanweer, S., “Development of a novel thermal model for a PV / T collector and its experimental analysis”, *Sol. Energy*, 188 (5): 631–643 (2019).
30. Jordan, D. C., Silverman, T. J., Wohlgemuth, J. H., Kurtz S. R. ve Vansant, K. T., “Photovoltaic failure and degradation modes”, *Progress In Photovoltaics: Research And Applications*, 25 (4): 318-326 (2017).
31. Krauter, S., “Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 82 (5): 131–137 (2004).
32. Odeh, S. ve Behnia, M., “Improving Photovoltaic Module Efficiency Using Water Cooling”, *Heat Transfer Engineering*, 30 (6): 499-505 (2010).
33. Castanheira, A. F. A., Fernandes, J. F. P. Ve Branco, P. J. C., “Demonstration project of a cooling system for existing PV power plants in Portugal”, *Appl. Energy*, 211 (8): 1297–1307 (2018).
34. Royne, A. ve Dey C. J., “Design of a jet impingement cooling device for densely packed PV cells under high concentration”, *Solar Energy*, 81: 1014–1024 (2007).
35. Bahaidarah, H. M. S., “Experimental performance evaluation and modeling of jet impingement cooling for thermal management of photovoltaics”, *Solar Energy*, 135: 605–617 (2016).
36. Nižetić, S., Čoko, D., Yadav A. ve Grubišić-Čabo F., “Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response”, *Energy Convers. Manag.*, 108: 287–296 (2016).
37. Hadipour, A., Zargarabadi, M. R. ve Rashidi, S., “An efficient pulsed-spray

- water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis”, *Renew. Energy*, 164: 867-875 (2020).
38. Javidan, M. ve Moghadam A. J., “Experimental investigation on thermal management of a photovoltaic module using water-jet impingement cooling”, *Energy Convers. Manag.*, 228 (1): 113686 (2021).
 39. Siddiqui, M. U., Siddiqui, O. K., Al-sarkhi, A., Arif, A. F. M. ve Zubair S. M., “A novel heat exchanger design procedure for photovoltaic panel cooling application : An analytical and experimental evaluation”, *Appl. Energy*, 239 (2): 41–56 (2019).
 40. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi”, *MEB Yayınları*, Ankara, 43 (2012).
 41. Kaya, K. ve Koç, E., “Enerji üretim santralleri maliyet analizi”, *Mühendis ve Makine*, 56 (660): 61-68 (2014).
 42. Newell, R., Raimi, D., Villanueva, S. ve Prest, B., “Global Energy Outlook 2021: Pathways from Paris”, *Resources for the Future Report*, Paris, 11-21 (2021).
 43. Murray, R. L. ve Holbert, K. E., “Nükleer Enerji: Nükleer Süreçlerin Kavramları, Sistemleri ve Uygulamalarına Giriş”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 427 – 458 (2015).
 44. Pekmezci, Z., “Nükleer santrallere yönelik yerel halkın bakışı: Sinop ili örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Samsun, 173 (2020).
 45. Yak, Z. D., “Yenilenebilir enerji ve toplum sağlığı”, *Renewable Energy And Public Health*, 5 (1): 43–55 (2017).
 46. Rahmanov, T., “Fotovoltaik panellerde performans artırma yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 98 (2019).
 47. Soylu, B. N., “Yenilenebilir enerji kaynakları ve Konya ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, 109 (2019).
 48. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Enerji Raporu 2012”, *World Energy Council Reports*, Ankara, 288 (2012).
 49. Kılıç, F. Ç., “Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri”, *Mühendis ve Makina*, 56(671): 28-40 (2015).

50. Kızılkıran, Ö., “Arkadan su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt, 57 (2017).
51. Alkış, M., “Farklı akışkanlar ile pasif soğutmanın fotovoltaik (FV) panellerin parametrelerine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 65 (2020).
52. İnternet: PV Education, “Properties of Sunlight”, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/properties-of-light> (2012).
53. İnternet: CW - Enerji, “Dünya Elektrik İhtiyacını Güneş Karşılacak”, <https://cw-enerji.com/dunyanin-elektrik-ihtiyacini-gunes-karsilayacak/> (2017).
54. Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B., “Türkiye’nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi”, *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 3–6 (2013).
55. İnternet: Global Solar Atlas, “Global Solar Atlas in July 2021”, <https://globalsolaratlas.info/> (2021).
56. Girgin, M. H., “Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 202 (2011).
57. İnternet: Enerji Atlası, “Ülkelere Göre Güneş Enerjisi”, <https://www.enerjiatlas.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (2021).
58. Karagöl, E. T. ve KAVAZ İ., “Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji”, *SETA: Analiz*, 197: 32 (2017).
59. Kaynar, N. K., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli”, *Bilge Int. Jour.of Sci. and Tec. Res.*, 4 (2): 48–54 (2020).
60. E.C.A. Elmor A.Ş., “E.C.A. Güneş Enerjisi Sistemleri”, *Sistem Katalogları*, İstanbul, 12 (2019).
61. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Enerji Raporu 2009”, *World Energy Council Reports*, Ankara, 98 (2012).
62. Kodak, O., “Hareketli güneş enerji modülünün yapısal tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 88 (2020).
63. Albayrak, G., “Fotovoltaik panellerin (PV) verimliliğinin su soğutma ile artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 43 (2019).

64. Erkul, A., “Monokristal, polikristal ve amorf-silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 71 (2010).
65. Akman, Ö., “Fotovoltaik panellerde sıcaklığın elektriksel verime etkileri ve termal güç eldesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 69 (2019).
66. Köprü, M. A., “Fotovoltaik sistemlerde kablo kayıplarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 79 (2016).
67. İnternet: Nexten, “Ges Santrallerinde Güneş Takip Sistemi (Solar Tracker) Uygulamaları”, <https://nexten.com.tr/tr/ges-santrallerinde-gunes-takip-sistemi-solar-tracker-uygulamaları/> (2019).
68. İnternet: Suvic, “Cellulose Overview”, <https://www.suvic.co.uk/cellulose-overview/> (2015).
69. Bayat, M., “Silikon tabanlı polikristal bir güneş panelinin Karabük iklim koşullarında enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 142 (2016).
70. Ceylan, İ. ve Gürel, A. E., “Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı”, *Dora Yayıncılık*, Bursa, 261 (2017).
71. Öztürk, H. H., “Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler”, *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, İzmir, 1-14 (2017).
72. İnternet: PV Education, “Solar Cell Parameters”, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-parameters> (2012).

EK AÇIKLAMALAR A.

HALOJEN PROJEKTÖR

Çizelge Ek A. Halojen projektör teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Marka ve Model	Doğan / GT – 500 W
Boyut	220 x 310 x 150 (mm)
Duy Tipi	R7s
Güç	500 W
Volt	230 V
Frekans	50/60 Hz
Akım Türü	Alternatif Akım

EK AÇIKLAMALAR B.

PV PANEL

Çizelge Ek B. PV panel teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Marka ve Model	LEXRON - LXR-42P
Boyut	870 x 670 x 25 (mm)
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	22,1 V
Maks. Gerilimi (V_{mp})	18 V
Kısa Devre Akımı	2,58 A
Maks. Akım (I_{mp})	2,22
Maks. Sistem Gerilimi (V)	1000

EK AÇIKLAMALAR C.

PİRANOMETRE

Çizelge Ek C. Piranometre teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Dönüştürücü	Silikon fotovoltaik hücre
Dalga boyu Aralığı	0,25-1,15 mikron
Ölçüm Aralığı	0-1500 W/m ²
Duyarlık	~70 µV/W/m ² (50 mV/ly/min)
Doğruluk	±%0,3
Direnç	1 ohm
Zaman Sabiti	<1 milisaniye
Sıcaklık Kompanzasyonu	40~140 °F (4~60 °C)
Ağırlık	0,5 kg/0,7 kg

EK AÇIKLAMALAR D.

SU DEPOSU

Çizelge Ek D. Su deposu teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Hacim	500 L
Genişlik x Yükseklik x Uzunluk	80x85x129 cm
Ağırlık	17 kg

EK AÇIKLAMALAR E.

WATTMETRE

Çizelge Ek E. Wattmetre teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Marka	AGT
Maksimum Ölçülebilen Güç	3500 W (Doğruluk: ± 2)
Ölçülebilen Gerilim Aralđı	200-276 V (Doğruluk: $\pm 1,5$)
Ölçülebilen Akım Aralđı	0.005-16 A (Doğruluk: ± 2)
Ölçülebilen Frekans Aralđı	45-65 Hz
Akım Türü	Alternatif Akım
Tüketilen Enerji	<0.5W
Çalışma Sıcaklığı Aralđı	0°C/40°C

EK AÇIKLAMALAR F.

SİRKÜLASYON POMPASI

Çizelge Ek F. Sirkülasyon pompası teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Marka / Model	DAB / Evoplus 80/180 XM
Pompa Motor Güç Aralığı	8-135 W
Çalışma Gerilimi	220 V (A sınıfı enerji verimi)
Pompa Basma Yüksekliği	0,6 – 10,2 mSS
Pompa Basma Kapasitesi Aralığı	0,3-8,2 m ³ /h
Pompa Maksimum Debisi	10 Bar
Akışkan Sıcaklığı Aralığı	-10°C / 110°C
Devir Aralığı	1400-2800 dev/dak
Pompa Bağlantı Tipi	Rakorlu
Pompa Bağlantı Çapı	2"

EK AÇIKLAMALAR G.

DİMMER

Çizelge Ek G. Dimmer teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Giriş Gerilimi	220 V
Ayarlanabilir Güç Aralığı	0 / 2000 W
Ayarlanabilir Gerilim Aralığı	50 / 220 V
Genişlik x Yükseklik x Uzunluk	4,8 x 5,5 x 2,7 cm
Akım Türü	Alternatif Akım

EK AÇIKLAMALAR H.

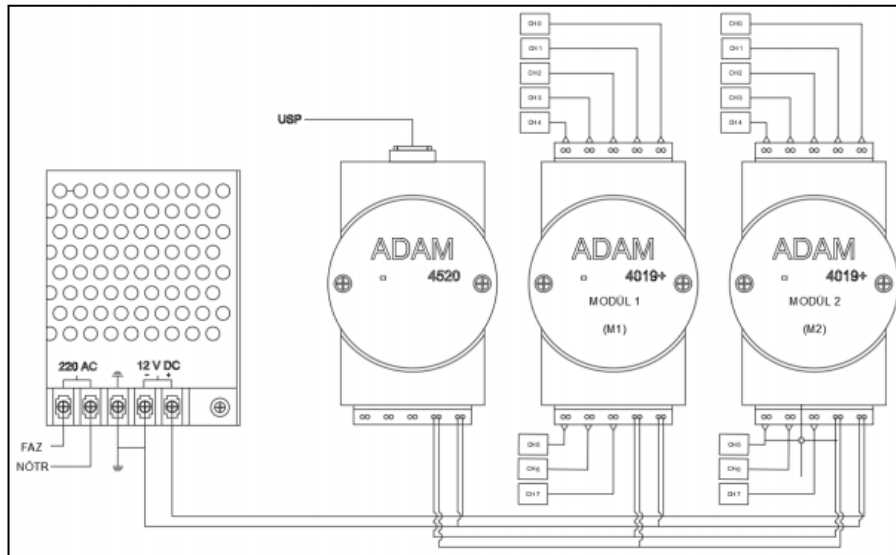
VERİ KAYIT CİHAZI

Çizelge Ek H.1. Adam 4520 teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Güç Tüketimi	10-30 W
Data Bits	5, 6, 7, 8
Max. Uzaklık	15 m
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C (14~158 °F)
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Depolama Sıcaklığı	-25~85 °C(-13~185 °F)

Çizelge Ek H.2. Adam 4019+ teknik özellikleri.

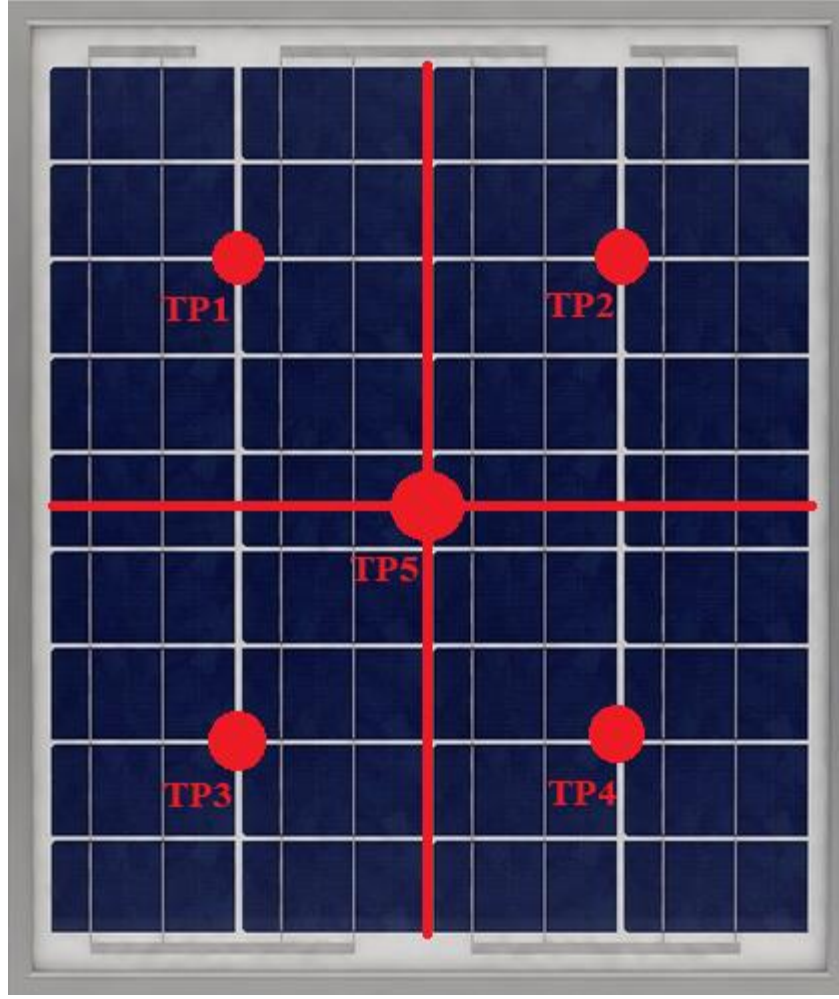
Parametre	Teknik Özelliği
Güç Tüketimi	10-30 W
Doğruluk	±%0,1
Ölçüm Kanalı Sayısı	8
Girdi Tipleri	T/C, mV, V, mA
Boyutlar	70x122x30 mm
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C (14~158 °F)
Ölçüm Aralıkları	J, K, T, E, R, S, B, Tipi Isıl Çiftler. ±1 V, ±2.5 V, ±5V, ±10 V10 V ±100 mV, ±500 mV, ±20 mA, 4~20 mA



Şekil Ek H Adam modüllerinin bağlantı şeması.

EK AÇIKLAMALAR I.

PV PANEL SICAKLIK ÖLÇÜM NOKTALARI



Şekil Ek I PV panel sıcaklık ölçüm noktaları.

T_{P1}: Panel sıcaklığının ölçüldüğü birinci nokta.

T_{P2}: Panel sıcaklığının ölçüldüğü ikinci nokta.

T_{P3}: Panel sıcaklığının ölçüldüğü üçüncü nokta.

T_{P4}: Panel sıcaklığının ölçüldüğü dördüncü nokta.

T_{P5}: Panel sıcaklığının ölçüldüğü beşinci nokta.

EK AÇIKLAMALAR J.

DENEY NUMARALARININ PARAMETRE AÇILIMLARI

Bölüm 7’de belirtilen deney numaralarındaki parametrelerin ve kısaltmaların detaylı açıklanması aşağıda verildiği gibidir.

1. 0° Panel Açısı, Soğutmasız
2. 25° Panel Açısı, Soğutmasız
3. 35° Panel Açısı, Soğutmasız
4. 0° Panel Açısı, 10 dk. Aralıklarla Soğutma
5. 0° Panel Açısı, 20 dk. Aralıklarla Soğutma
6. 0° Panel Açısı, 30 dk. Aralıklarla Soğutma
7. 25° Panel Açısı, 10 dk. Aralıklarla Soğutma
8. 25° Panel Açısı, 20 dk. Aralıklarla Soğutma
9. 25° Panel Açısı, 30 dk. Aralıklarla Soğutma
10. 35° Panel Açısı, 10 dk. Aralıklarla Soğutma
11. 35° Panel Açısı, 20 dk. Aralıklarla Soğutma
12. 35° Panel Açısı, 30 dk. Aralıklarla Soğutma

P_x : Su püskürmesinin gerçekleştirilmediğini ifade eder.

P₁₀ : 10 dk. aralıklarla su püskürtmesinin gerçekleştirildiğini ifade eder.

P₂₀ : 20 dk. aralıklarla su püskürtmesinin gerçekleştirildiğini ifade eder.

P₃₀ : 30 dk. aralıklarla su püskürtmesinin gerçekleştirildiğini ifade eder.

EK AÇIKLAMALAR K.

DENEY SİSTEMİNE AİT ÇEŞİTLİ GÖRÜNTÜLER



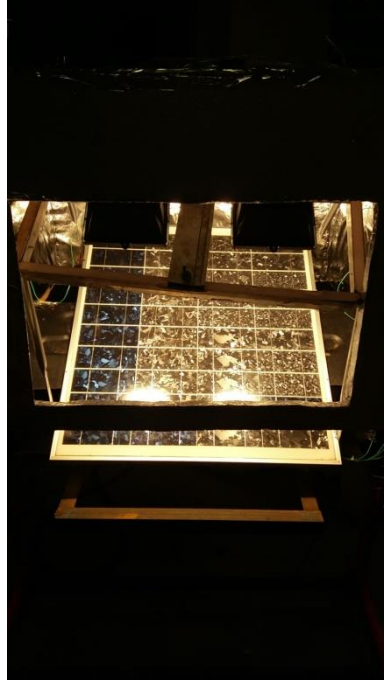
Şekil Ek K.1. Örnek görüntü 1.



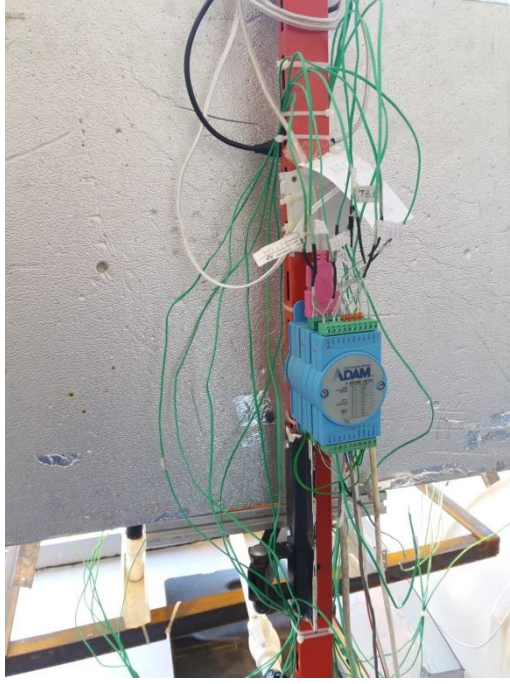
Şekil Ek K.2. Örnek görüntü 2.



Şekil Ek K.3. Örnek görüntü 3.



Şekil Ek K.4. Örnek görüntü 4.



Şekil Ek K.5. Örnek görüntü 5.



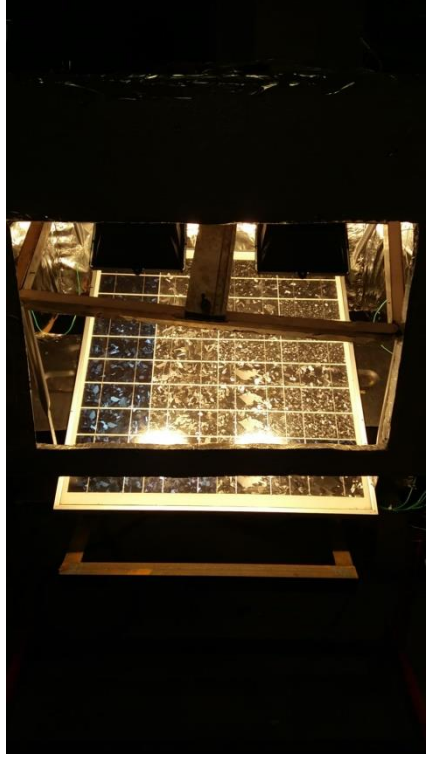
Şekil Ek K.6. Örnek görüntü 6.



Şekil Ek K.7. Örnek görüntü 7.



Şekil Ek K.8. Örnek görüntü 8.



Şekil Ek K.8. Örnek görüntü 9.



Şekil Ek K.8. Örnek görüntü 10.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Mithat DELİBAŞ 2013 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 4. olarak kazanarak öğrenime başlayıp 2017 yılında onur derecesi ile mezun oldu. 2015 yılından beri içinde bulunduğu inşaat sektörüne 2017 yılından itibaren Makine Mühendisi sıfatı ile devam etti. MMO'dan mesleği ile ilgili yetkilendirme belgelerini aldıktan sonra bir süre iş dolayısıyla Bağdat'ta bulundu. 2019 yılının güz döneminde yükseköğrenimini başlatmak amacıyla tekrar Karabük Üniversitesine dönüş yaptı. 2021 yılına kadar yüksek lisans çalışmalarını devam ettirmek amacıyla Karabük'te ikamet etti. 2021 yılının 4. Ayı içerisinde Hasan Kalyoncu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünün araştırma görevlisi alım sınavında başarılı oldu ve Gaziantep'e yerleşerek görevini icra etmeye başladı. Halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.