

T. C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T) BİR SİSTEMİN ÇORUM
İLİ İKLİM ŞARTLARINDA PERFORMANS ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

İsmail Burak SOYDAN

Çorum 2019

**FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T) BİR SİSTEMİN ÇORUM
İLİ İKLİM ŞARTLARINDA PERFORMANS ANALİZİ**

İsmail Burak SOYDAN

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Sinan ÇALIŞKAN**

Çorum 2019

İsmail Burak SOYDAN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Termal (PV/T) Bir Sistemin Çorum İli İklim Şartlarında Performans Analizi” adlı tez çalışması 06/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İrfan KURTBAŞ

Doç. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN

Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03.01.2020 tarihli ve 2020/07... sayılı kararı ile İsmail Burak SOYDAN'ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

İsmail Burak SOYDAN



FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T) BİR SİSTEMİN ÇORUM İLİ İKLİM ŞARTLARINDA PERFORMANS ANALİZİ

İsmail Burak SOYDAN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Fotovoltaik modüllerde sıcaklık artışının neden olduğu verim kaybının önüne geçilerek modül yüzey sıcaklığını düşürmek için tek modülden hem ısı enerjisi hem elektrik enerjisi üretimi yapabilen fotovoltaik termal modüller geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında elektriksel verim artışı ile birlikte sıcak su ihtiyacının karşılanabileceği, düşük maliyetli, basit bir yapıya sahip fotovoltaik termal (PV/T) bir sistemin tasarımı yapılarak montaj yapılan fotovoltaik termal modül verileri referans fotovoltaik modül verileri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Modül ön ve arka yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, soğutucu akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, modül akım ve gerilim değerleri, ışınım, rüzgâr hızı parametreleri ölçülerek elektriksel ve ısıl verim hesaplamaları yapılmıştır. Deneyler 03 Ağustos 2019 ve 07 Ağustos 2019 tarihleri arasında sırasıyla 0,83-1,25-1,67-2,08-2,50 l/dk debide, her gün saat 09.30 ile 16.30 zaman aralığında yapılmıştır. PV modül ön yüzey sıcaklığı 61,80 °C ile 31,70 °C arasında, PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 50,50 °C ile 27,30 °C arasında değişmiştir. En yüksek ısıl verim %74,15, en yüksek elektriksel verim referans PV modül için %13,41 ve PV/T modül için %14,36 olarak 1,25 l/dk debide belirlenmiştir. Soğutma sistemi sayesinde modül yüzey ısısının düşürülmesiyle 1,25 l/dk debide elektriksel verimde %7,11 artış sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik ısıl modül, performans analizi, ekserji verimliliği

**PERFORMANCE ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC/THERMAL (PV/T)
SYSTEM UNDER CLIMATE CONDITIONS OF ÇORUM**

İsmail Burak SOYDAN

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Photovoltaic thermal modules have been developed which can produce both heat energy and electrical energy from a single module to reduce the module surface temperature by preventing the loss of efficiency caused by temperature increase photovoltaic modules. In this thesis, photovoltaic thermal module having low cost and simple structure which can meet the need of hot water in conjunction with the increase of electrical efficiency has been designed and the module data which was designed has been examined to compare with reference photovoltaic module data. Electrical and thermal efficiency calculations were made by measuring module front and back surface temperatures, ambient temperature, refrigerant inlet and outlet temperatures, module current and voltage values, radiation, wind speed parameters. The experiments were carried out on August 03, 2019 and 07 August 2019 between 09.30-16.30 at a flow rate of 0.83-1.25-1.67-2.08-2.50 liters/minute. PV module front surface temperature ranged from 61.80 °C to 31.70 °C, and PV/T module front surface temperature ranged from 50.50 °C to 27.30 °C. The highest thermal efficiency was determined as 74.15%, the highest electrical efficiency was determined as 13.41% for reference PV module and 14.36% for PV / T module at 1.25 liter / minute flow rate. Thank by means of the cooling system, the module surface temperature was reduced and the electrical efficiency was increased by 7.11% at 1.25 liters / minute flow rate.

Keywords: Photovoltaic thermal module, performance analysis, exergy efficiency

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın konu seiminden tamamlanmasına kadar olan srete değerli bilgi ve dőncelerini paylaőarak sağladığı katkılarından dolayı danıőmanım Do. Dr. Sinan ALIŐKAN'a, hoőgrl tutumları ve desteklerinden dolayı babam Hakkı SOYDAN, eőim Aslı SOYDAN, ocuklarım Tuana ve Talha SOYDAN, kardeőlerim Bilge ve Burin SOYDAN olmak zere aileme ayrıca Meteoroloji Mdrlęne teőekkrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
1.GİRİŞ	1
1.1. Güneş Sistemi	2
1.2. Dünya için Güneş Enerjisi	3
1.3. Türkiye'nin Güneş Kapasitesi ve Uygulanabilirliği	4
1.4. Çorum İli Güneş Enerjisi	5
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	9
2.1. PV Sistemler	9
2.1.1. PV hücre tipleri ve yapıları	9
2.1.2. Tek diyot modeli ve hesaplamaları	15
2.2. PV/T Sistemler	18
2.3. Ekserji Analizi.....	25
2.4. Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Etmenler	27
2.4.1. Güneş ışınımı	28
2.4.2. Gölgeleme	28

2.4.3. Fotovoltaik hücre malzemesi	29
2.4.4. Yerleşim şekli.....	29
2.4.5. Sistem ekipmanlarının etkileri	30
2.4.6. Uyumsuzluk etkileri	30
2.4.7. Toz, nem ve rüzgâr hızının etkisi.....	30
2.4.8. Kar ve buz oluşumunun etkisi.....	31
2.4.9. Çatlak oluşumunun etkisi.....	31
2.4.10. Cam hasarı.....	31
2.4.11. Modül sıcaklığı	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1. Deney Seti ve Kullanılan Materyaller.....	36
3.1.1. Fotovoltaik modül	38
3.1.2. Alüminyum kanal.....	39
3.1.3. Polistren levha.....	40
3.1.4. Debimetre	40
3.1.5. Piranometre	41
3.1.6. Sıcaklık kayıt cihazı	42
3.1.7. Akım/gerilim multimetre	42
3.1.8. Reosta.....	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	46
4.1. PV, PV/T Sistemlerin Elektriksel Verileri ve Verimlerinin Karşılaştırılması	46
4.1.1. 03.08.2019 günü 0,83 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma.....	46
4.1.2. 04.08.2019 günü 1,25 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma.....	52

Sayfa

4.1.3. 05.08.2019 günü 1,67 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma.....	57
4.1.4. 06.08.2019 günü 2,08 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma.....	63
4.1.5. 07.08.2019 günü 2,50 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma.....	68
4.2. PV ve PV/T Modül Soğutucu Sıcaklık Değişimi, Ortalama Güç ve Verimlerinin Karşılaştırılması.....	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	78
EKLER.....	83
EK-1. Belirsizlik Analizi.....	84
EK-2. 03.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller.	87
EK-3. 04.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller.....	89
EK-4. 05.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller.	91
EK-5. 06.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller.....	93
EK-6. 07.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller.	95
ÖZ GEÇMİŞ	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Çorum ilinde üretilecek elektrik enerjisinin 1 W başına alım fiyatı ve maliyeti.....	7
Çizelge 3.1. Fotovoltaik modül hesaplamalarında kullanılan sabit değerler.....	35
Çizelge 3.2. Modül teknik özellikleri.....	39
Çizelge 3.3. Polistren ısı yalıtım levhası teknik özellikleri.....	40
Çizelge 3.4. Güneş ışığı kayıt cihazı teknik özellikleri.....	41
Çizelge 3.5. 4 Kanallı sıcaklık kayıt cihazı teknik özellikleri.....	42
Çizelge 3.6. TT-Technic VC10C, VC70C Akım/Gerilim multimetre teknik özellikleri	43
Çizelge E2.1. 03.08.2019 tarihine ait veriler.....	87
Çizelge E3.1. 04.08.2019 tarihine ait veriler.....	89
Çizelge E4.1. 05.08.2019 tarihine ait veriler.....	91
Çizelge E5.1. 06.08.2019 tarihine ait veriler.....	93
Çizelge E6.1. 07.08.2019 tarihine ait veriler.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2009 yılı sonlu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırması.....	2
Şekil 1.2. Solar fotovoltaik kapasite.....	3
Şekil 1.3. Türkiye global radyasyon değerleri	4
Şekil 1.4. Türkiye güneşlenme süreleri.....	5
Şekil 1.5. Çorum ili yıllık ortalama sıcaklık değerleri.....	6
Şekil 1.6. Çorum ili günlük ortalama güneşlenme süresi.....	6
Şekil 1.7. Çorum il merkezi düz ve 32° açı ile yerleştirilmiş 1m ² düzleme düşen aylık güneşlenme miktarı.....	7
Şekil 1.8. Çorum ili için 2004-2018 yılları arası global güneş radyasyonu uzun yıllar ortalaması.....	8
Şekil 2.1. Silisyum atomu bağ yapısı.....	9
Şekil 2.2. Bor ve Fosfor atom yapıları	10
Şekil 2.3. Güneş hücresinin p tipi ve n tip katmanları şematik görseli	10
Şekil 2.4. Monokristal fotovoltaik hücre, polikristal fotovoltaik hücre ve ince film silikon hücreler.....	12
Şekil 2.5. Fotovoltaik panel yapısı.....	13
Şekil 2.6. Yıllara göre fotovoltaik hücre teknolojileri ve verim değerlerinin değişimi.....	14
Şekil 2.7. Türkiye PV tipi-alan-üretebilecek enerji.....	15
Şekil 2.8. PV modül tek diyotlu eşdeğer devresi	16
Şekil 2.9. Düz plaka PV/T sınıflandırması.....	18
Şekil 2.10. PV/T su toplayıcı çeşitleri.....	19
Şekil 2.11. PV/T hava toplayıcıları için farklı akış tasarımları.....	19
Şekil 2.12. PV/T kombine levha toplayıcı.....	20

Şekil	Sayfa
Şekil 2.13. Fotovoltaik panellerde kayıplar.....	28
Şekil 2.14. Cam hasarı görselleri	32
Şekil 2.15. 1000 W/m ² ışınımında hücre sıcaklığının Güç-Akım-Gerilim üzerindeki etkileri.....	33
Şekil 3.1. PV sistem tasarım görseli	36
Şekil 3.2. PV/T sistem tasarım görseli.	37
Şekil 3.3. PV ve PV/T modül sehpa ölçüleri	37
Şekil 3.4. Tasarımı yapılan soğutucu.....	39
Şekil 4.1. 0,83 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi.....	47
Şekil 4.2. 0,83 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi.....	48
Şekil 4.3. 0,83 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi	49
Şekil 4.4. 0,83 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişim.....	50
Şekil 4.5. 0,83 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimleri.....	51
Şekil 4.6. 0,83 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri.....	52
Şekil 4.7. 1,25 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi	53
Şekil 4.8. 1,25 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi.....	54
Şekil 4.9. 1,25 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi.....	55
Şekil 4.10. 1,25 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi.....	55
Şekil 4.11. 1,25 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi.....	56
Şekil 4.12. 1,25 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri.....	57
Şekil 4.13. 1,67 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi	58
Şekil 4.14. 1,67 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. 1,67 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi.....	60
Şekil 4.16. 1,67 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi.....	61
Şekil 4.17. 1,67 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi.....	62
Şekil 4.18. 1,67 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri.....	62
Şekil 4.19. 2,08 l/dk zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi	63
Şekil 4.20. 2,08 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışıınım değişimi.....	64
Şekil 4.21. 2,08 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi.....	65
Şekil 4.22. 2,08 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi.....	66
Şekil 4.23. 2,08 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi.....	67
Şekil 4.24. 2,08 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri.....	68
Şekil 4.25. 2,50 l/dk zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi	69
Şekil 4.26. 2,50 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışıınım değişimi.....	70
Şekil 4.27. 2,50 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi.....	71
Şekil 4.28. 2,50 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi.....	71
Şekil 4.29. 2,50 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi.....	72
Şekil 4.30. 2,50 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri.....	73
Şekil 4.31. Tüm günlere ait zamana göre ışıınım değişimi.....	74
Şekil 4.32. Tüm günlere ait zamana göre soğutucu sıcaklık farkı değişimi.....	74
Şekil 4.33. 5 günlük ortalama güç ve verim değişimleri.....	75
Şekil E1.1. Günlere ait Fotovoltaik Modül Elektriksel Verim Belirsizlik Analizi grafiği.....	85
Şekil E1.2. Günlere ait Fotovoltaik Isıl Modül Elektriksel Verim Belirsizlik Analizi grafiği.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil E1.3. Günlere ait Fotovoltaik Isıl Modül Isıl Verim Belirsizlik Analizi grafiği.....	86
Şekil E2.1. 03.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	88
Şekil E2.2. 0,83 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri.....	88
Şekil E3.1. 04.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	90
Şekil E3.2. 1,25 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri.....	90
Şekil E4.1. 05.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	92
Şekil E4.2. 1,67 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri.....	92
Şekil E5.1. 06.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	94
Şekil E5.2. 2,08 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri.....	94
Şekil E6.1. 07.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	96
Şekil E6.2. 2,50 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri.....	96

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Profil sehpa kurulum aşamaları.....	38
Resim 3.2. Debimetre görseli.....	40
Resim 3.3. Güneş Işığı Kayıt Cihazı.....	41
Resim 3.4. KIMO KTT310 sıcaklık kayıt cihazı.....	42
Resim 3.5. TT-Technic VC10C, VC70C Akım/Gerilim multimetre.....	43
Resim 3.6. 5Ω, 10 amper değerinde ayarlı Reosta.....	44
Resim 3.7. Fotovoltaik modül arka yüzeyine soğutma sisteminin montaj aşamaları...44	
Resim 3.8. Fotovoltaik ısıl modül arka yüzeyinin polistren levha ile kapatılarak izolasyon işleminin yapılması.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
C_1, C_2	Katsayı
c_p	Sabit basınçta sıvının özgül iç enerjisi
dk	Dakika
$\dot{E}_{n\text{çıkış}}$	Enerji çıkışı
$\dot{E}_{n\text{elekt.}}$	Elektrik enerjisi
$\dot{E}_{n\text{ısı}}$	Isıl enerji
$\dot{E}_{x\text{çıkış}}$	Ekserji çıkışı
$\dot{E}_{x\text{d}}$	Ekserji imhası
$\dot{E}_{x\text{elekt.}}$	Elektriksel ekserji
$\dot{E}_{x\text{giriş}}$	Ekserji girişi
$\dot{E}_{x\text{ısı}}$	Isıl ekserji
$\dot{E}_{x,\text{sun}}$	Güneş ışınımı kaynaklı ekserji girişi
FF	Dolum faktörü
G	Ölçülen güneş ışınımı
G_s	Standart test koşullarında ışınım
h	Saat
I'	Sistem ekserji imhası
I_{MPP}	Maksimum güç noktası akımı
I_{MPPS}	Üretici kataloğu maksimum güç noktası akımı
I_p	Modül akımı
I_{SC}	Kısa devre akımı
I_{SCS}	Üretici kataloğu kısa devre akımı
I_t	G ışınımındaki kısa devre akımı
m	Metre
\dot{m}	Soğutucu sıvı debisi
N_c	Toplayıcı sayısı
P	Fotovoltaik modül çıkış gücü
\dot{Q}	Faydalı ısı

Simgeler	Açıklama
T	Sıcaklık
T _a	Ortam sıcaklığı
T _g	Soğutucu sıvı modül giriş sıcaklığı
T _m	Fotovoltaik modül sıcaklığı
T _ç	Soğutucu sıvı modül çıkış sıcaklığı
T _S	Standart test koşullarında sıcaklık
T _{sun}	Güneş sıcaklığı
v	Rüzgâr hızı
V _{MPP}	Maksimum güç noktası gerilimi
V _{MPPS}	Üretici katalog maksimum güç noktası gerilimi
V _{OC}	Açık devre gerilimi
V _{OCM}	Stc den G ışınımına çevrilmiş IV eğrisinin açık devre gerilimi
V _{OCS}	Üretici katalog açık devre gerilimi
V _P	Modül gerilimi
α	Akım sıcaklık katsayısı
β	Gerilim sıcaklık katsayısı
$\Delta V(G)$	Düzeltilme terimi
η_{cell}	Hücresel Verim
η_{ex}	Ekserji verimliliği
$\eta_{ex_{elektrik}}$	Elektriksel ekserji verimi
$\eta_{ex_{ısı}}$	Isıl ekserji verimi
$\eta_{ex_{toplam}}$	Toplam ekserji verimi
η_o	Katalog verim değeri
η_{pv}	Fotovoltaik verimi
$\eta_{ısı}$	Isıl verim
η_{toplam}	PV/T toplam verimi

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
EVA	Etilen Vinil Asetat
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GW	Gigawatt
KW	Kilowatt
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OKA	Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı
MAT	İzin verilen en yüksek sıcaklık
MW	Megawatt
MİLGES	Milli Güneş Enerjisi Santrali Projesi
MPP	Maksimum Güç Noktası
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PAYG	Kullandıkça öde modeli
PCM	Faz deđiştiren materyal
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PV/T	Photovoltaic Thermal (Fotovoltaik Isıl)
TEP	Ton eşdeğer petrol
TİGEM	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TW	Terawatt
W	Watt

1.GİRİŞ

20/02/2012 tarihli Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde, sürdürülebilir kalkınmanın öneminin gün geçtikçe anlaşılmakta olup enerji verimliliğine yönelik çabaların değerinin de beraberinde arttığı belirtilmiştir. Bilinçsiz kullanımın ve israfın önlenmesi, enerji yoğunluğunun gerek sektörler gerek makro düzeyde azaltılmasının ulusal enerji politikamızın öncelikli ve önemli bileşeni olduğu strateji belgesinde belirtilmektedir. 1998-2008 döneminde ülkemizin nihai enerji tüketimi yıllık ortalama artışı %3,81 olarak belirtilmiştir. Kalkınma ve nüfus artışı kaynaklı yüksek talep artışından ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün toplam kurulu güçteki oranının sınırlı olmasından bahsedilmiştir. Bireysel araç kullanımının artması ve hizmet sektöründeki yatırımlar nedeni ile ulaştırma sektöründe %4,07 ve hizmet sektöründe %7,44 olarak on yıllık enerji tüketimi ortalama artışı en çok bu iki sektörde olmuştur. A sınıfı enerji tüketimi olan cihazların, verimsiz cihazların yerine verimli cihazların teşviklerle değiştirilmesi, daha düşük enerji tüketimi olan lambaların kullanımı gibi çözümlerden bahsedilmiştir (Anonim, 2012).

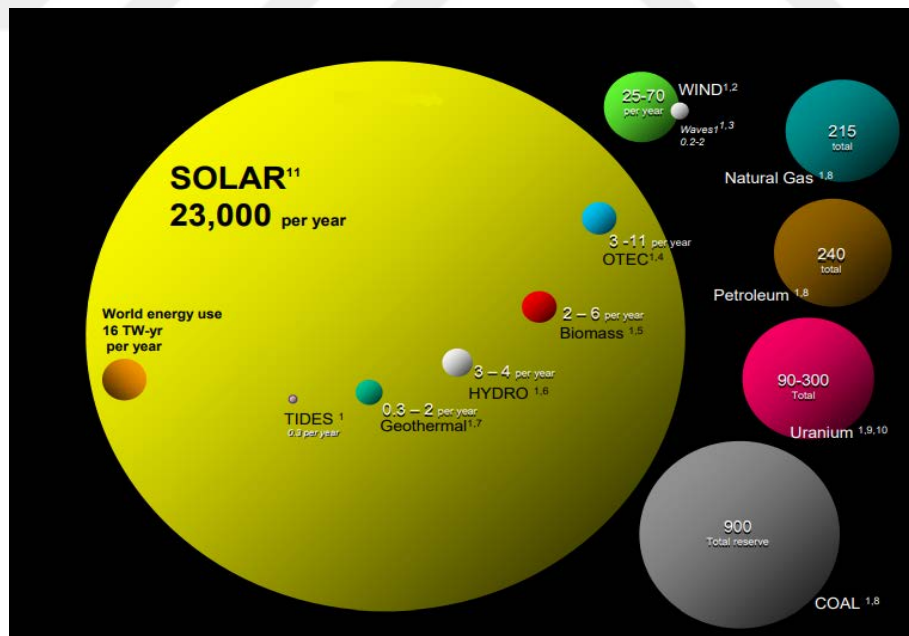
Enerji ihtiyacının karşılanmasında oluşan karbondioksit salınımının çevresel ve iklimsel sonuçları olduğu bilinmekle birlikte Yenilenebilir enerji yaklaşımı ile bu sonuçların en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Günümüzde elektrik ihtiyacı barajlar üzerinde kurulu Hidroelektrik santralleri, doğal gaz, taş kömürü, motorin gibi kaynakların yakılması ile çalışan Termik Santraller, Nükleer Santraller ve Yenilenebilir kaynaklar olmak üzere farklı yöntemler kullanılarak karşılanmaktadır.

Yenilenebilir kaynakları genel olarak: rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, hidrojen, dalga enerjisi olmak üzere sayabiliriz. PV modüller bir araya getirilerek oluşturulan güneş enerji santralleri sayesinde elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanması sağlanmaktadır. Bu tez çalışmasında her geçen gün elektrik ihtiyaçlarının karşılanması konusunda dikkatleri üzerine çeken PV teknolojisinde sıcaklık etkisi altında oluşan verim kaybının önüne geçilmesi amacıyla modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanala olan ısı transferi sonucu elektriksel güç ve verim artışının belirlenerek faydalı ısının hesaplanması amaçlanmıştır. Literatür taraması sonucunda,

laboratuvar koşullarında ya da açık ortam şartlarında bulunan modüllerin elektriksel yük altında veya inverter kullanılarak akım ve gerilim değerlerinin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

1.1 Güneş Sistemi

Nükleer enerji dışındaki enerjilerin doğrudan ya da dolaylı kaynağı olan Güneş enerjisi, çekirdeğinde yer alan füzyon süreci yani hidrojen gazının helyuma dönüşme süreci sonucu açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş ile Dünya arası uzaklık 150 milyon km olup dünyaya ulaşan enerji yıllık kullanılanın 20 bin katıdır. Dünya atmosferinin dışında enerji şiddeti 1370 W/m^2 olup yeryüzüne atmosfer kayıpları nedeni ile $0-1100 \text{ W/m}^2$ aralığında ulaşmaktadır. Kayıpların %30'u atmosferden geri yansıtılıp, %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur, %50'si yeryüzüne ulaşmaktadır. Rüzgâr hareketlerinin ve okyanus dalgalanmalarının nedeni, ulaşan enerji sonucu olan ısınmadır (Anonim, 2019).



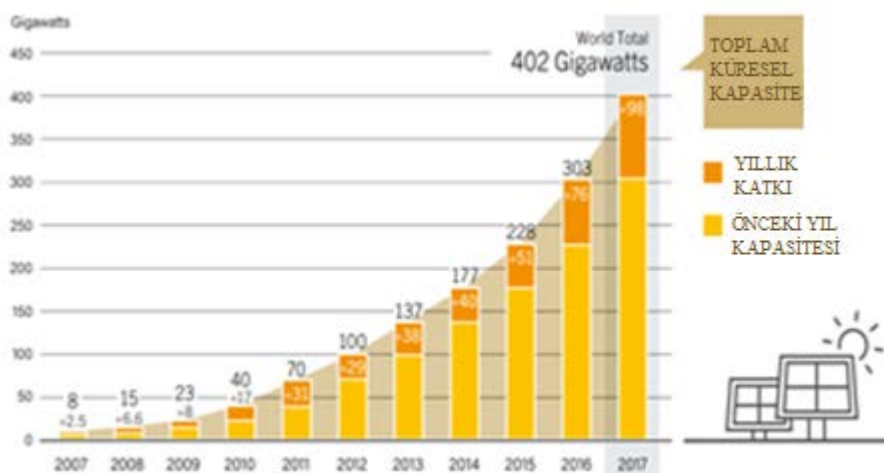
Şekil 1.1. 2009 yılı sonlu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırılması (Terawatt.yıl) (Perez ve Perez, 2009)

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında diğer enerji kaynaklarının toplam 1000 katından daha fazla potansiyelle, dünya enerji ihtiyacının yıllık ihtiyacının 1340 katını

karşılayabilme potansiyeli olan güneş enerjisidir. Kurulu olan 155 GW sisteme rağmen güneş potansiyelinin 23000 TW olduğu düşünülürse çok küçük bir oranda faydalanılmakta olup 2014 yılı verilerine göre tüketilen elektrik enerjisinin %1'i güneş enerjisi ile karşılanmıştır (Anonim, 2019).

1.2. Dünya için Güneş Enerjisi

2018 yılı küresel durum raporu genel olarak incelendiğinde: 2016 ile 2017 yılları arasında verilere göre fotovoltaik kapasite 303 GW'tan 402 GW'a; güneş enerjisi ile sıcak su kapasitesi 456 GW_{th}'den 472 GW_{th}'e yükselmiş olup elektrik ve ısı enerji ihtiyacının güneş enerjisi kaynaklı olarak kullanımının arttığını göstermektedir. Verimliliğin artırılması, enerji maliyetlerinin azaltılması talepleri ürün kalitesini ve performansının artırılmasını gerekli hale getirmiştir. Rüzgâr çiftlikleri ve güneş parkları gibi yenilenebilir hizmet ölçekli projelerin varlık finansmanları 2017 yılı boyunca 216,1 milyar \$ olmuştur. 1 MW'tan az solar fotovoltaik kurulumları %15 yatırım artışı ile 49,4 milyar \$'a ulaşmıştır. 360 milyondan fazla kişinin şebeke dışı güneş enerji sistemleri ve kullandıkça öde (PAYG) modeli ile elektrik enerjisi sağlanmaktadır. Küresel oranlara bakıldığında maliyet düşüşü 2016 yılına göre yavaş olsa da 2017 yılı modül fiyatları %6 düşüş göstererek 0,39 \$/W olarak belirtilmiştir. Dünya geneli 2007-2017 yılı fotovoltaik kapasite değişimi doğru akım'a (DC) göre belirlenen veriler Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Zervos, 2018).

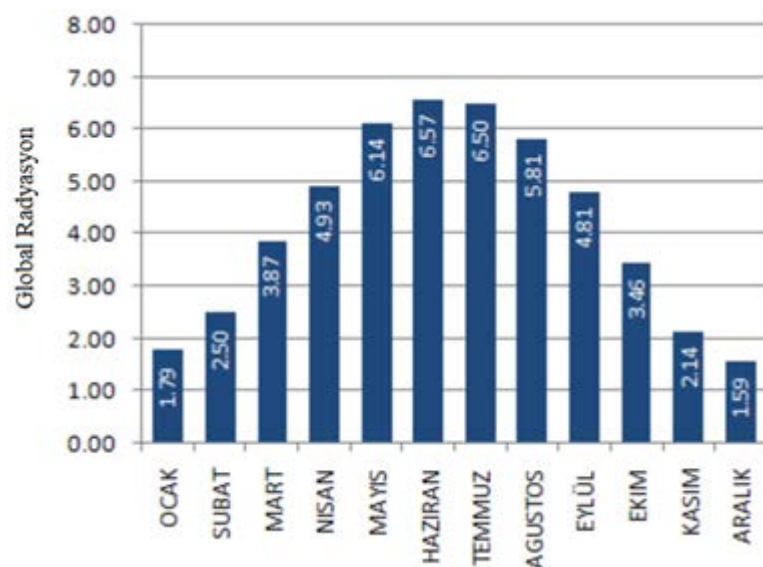


Şekil 1.2. Solar fotovoltaik kapasite (Zervos, 2018)

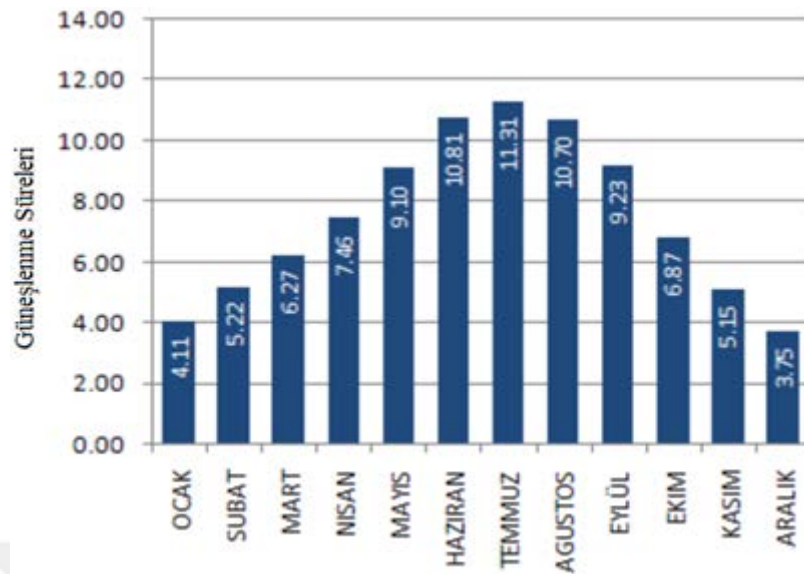
1.3. Türkiye'nin Güneş Kapasitesi ve Uygulanabilirliği

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi internet sitesinde bulunan bilgilere göre, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri incelenmiş (Şekil 1.3, Şekil 1.4) ve yıllık güneşlenme süresinin 2741 saat, günlük ortalama 7,5 saat olduğu; yıllık gelen güneş enerjisinin 1527 kW h/m^2 yıl, günlük $4,18 \text{ kW h/m}^2$ olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli ısınma ve elektrikli üretim amaçlı kullanılmakta olup 2018 yılı toplam güneş modülü $20\,200\,000 \text{ m}^2$ olup $876\,720 \text{ TEP}$ değerine ulaşmaktadır. $4981,2 \text{ MW}$ 'ı lisanssız; $81,8 \text{ MW}$ lisanslı olmak üzere 2018 yılında toplam 5063 MW güneş enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Ülke de toplam elektrik üretiminin içerisindeki payı %2,5'e yükselmiştir (Anonim, 2019).

Jäger-Waldau (2018), tarafından hazırlanan Avrupa komisyonu 2018 yılı Fotovoltaik durum raporunda Türkiye'de kurulu 1 MW altında üretim kapasitesi olan sistemleri lisanslı olmayan tesisler kategorisine dahil edilerek veriler incelendiğinde 2014 yılında 40 MW , 2015 yılında 208 MW , 2016 yılında 580 MW ve 2017 yılında yaklaşık $2,5 \text{ GW}$ değerine ve 2018 yılının mart ayı sonunda yaklaşık olarak $4,6 \text{ GW}$ değerine ulaşmıştır.



Şekil 1.3. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m^2) (Anonim, 2019)



Şekil 1.4. Türkiye güneşlenme süreleri (h) (Anonim, 2019)

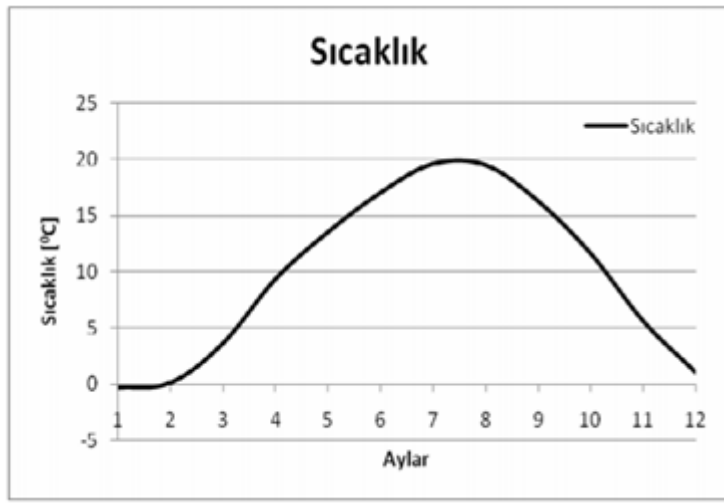
Türkiye'nin fotovoltaik temelli kendi teknolojisini üreterek dünyaya ihraç eder hale getirilmesi için gerekli altyapının oluşturulması amacı ile MİLGES kapsamında yürütücü kuruluşlar olarak TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, ODTÜ Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi ve Bereket Enerji Üretim A. Ş. beraberinde çalışılmaktadır. Pilot uygulamada Şanlıurfa ili Ceylanpınar ilçesinde TİGEM işletmelerinde 10 MW kapasiteli bir Güneş Enerji Santrali kurulması, santral kurulumu yanında hücre geliştirme, hücre üretimi, panel üretimi, merkezi evirici geliştirilerek üretilmesi, güneş enerji santrali izleme ve kontrol sistemi proje kapsamında planlanarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında katılımcılarından Bereket Enerji Üretim A. Ş. tarafından 2018 yılında kurulan hücre üretim tesislerinde Multi-AL BSF tipi hücrelerle %18,5 ve üzeri verime ulaşılmış, MİLGES proje kapsamında mono PERC tipi hücre ile yapılan deneme üretiminde %21 civarında verime ulaşıldığı bildirilmektedir (Anonim, 2019).

1.4. Çorum İli Güneş Enerjisi

Coğrafi konum olarak 40° 32' 2" Kuzey enlemi, 34° 57' 20" Doğu boylamı koordinatlarına bulunan Çorum ili 800 metre rakıma sahiptir. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan TR 83 Bölgesi Yenilenebilir Enerji Raporunda,

Çorum ilinin enerji potansiyeli üzerine yapılan çalışmalarda 32° panel yerleşim açısı ile fotovoltaik sistemden alınan verimin en iyi değere sahip olacağı belirtilmiştir. 32° eğimli yüzey sayesinde 720 W/m² maksimum güç üretilebilecektir. Yıl içinde Temmuz ve ağustos aylarında 32° eğimli yüzeye düşen enerji 5800 Wh/m² iken yıllık toplam enerji 1550 kWh/m² olmaktadır. Oka tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Çorum iline ait yıllık ortalama sıcaklık verileri Şekil 1.5'te, yıl boyunca her ay için günlük ortalama güneşlenme süresi Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

Ay	Sıcaklık [°C]
Ocak	-0,3
Şubat	0,1
Mart	3,6
Nisan	9,4
Mayıs	13,6
Haziran	17,1
Temmuz	19,6
Ağustos	19,5
Eylül	16,3
Ekim	11,6
Kasım	5,6
Aralık	1,1



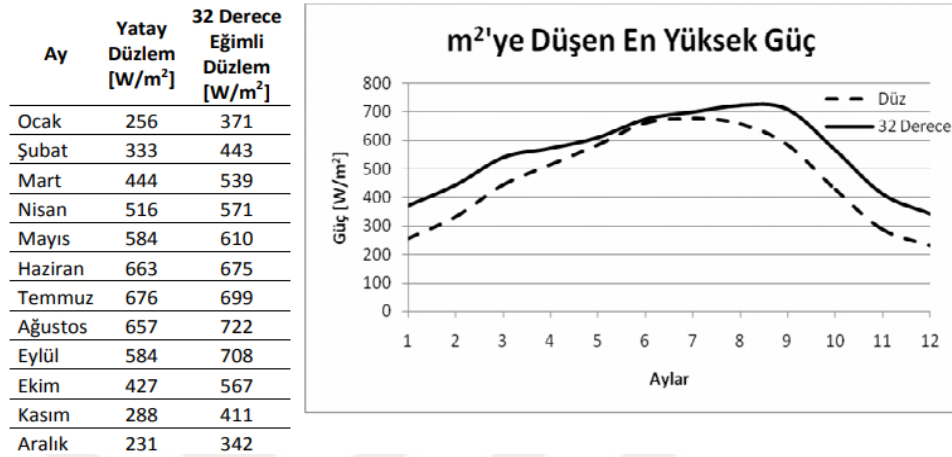
Şekil 1.5. Çorum ili yıllık ortalama sıcaklık değerleri (Anonim, 2010)

Aylar	Güneşlenme Süresi [Saat/gün]
Ocak	3,6
Şubat	4,79
Mart	5,92
Nisan	6,99
Mayıs	8,29
Haziran	9,91
Temmuz	10,66
Ağustos	10,16
Eylül	8,32
Ekim	6,19
Kasım	4,57
Aralık	3,21
Yıllık Top. Süre	2516,75 Saat



Şekil 1.6. Çorum ili günlük ortalama güneşlenme süresi (Anonim, 2010)

Çorum il merkezinde 1 m^2 düzleme yataya paralel ve optimum güneşlenme açısı olarak belirtilen 32° açığa düşen aylık güneşlenme miktarı değerleri Şekil 1.7’de tablo ve grafikler halinde bulunmaktadır (Anonim, 2010).



Şekil 1.7. Çorum il merkezi düz ve 32° açı ile yerleştirilmiş 1 m^2 düzleme düşen aylık güneşlenme miktarı (Anonim, 2010)

2011 yılında kabul edilmiş olan Yenilenebilir Enerji Kanunu doğrultusunda 500 kW altındaki lisanssız ve bu gücün üzerindeki lisansa tabi şekilde elektrik alımı yapılacağı bildirilmiştir. Çorum ili için örnek 1 kW elektrik enerjisi üretimine ait kademeli olarak yerli üretim teşvikli Watt başına alım fiyatı ve sistem maliyet fiyatları aşağıda Çizelge 1.1’de verilmiştir.

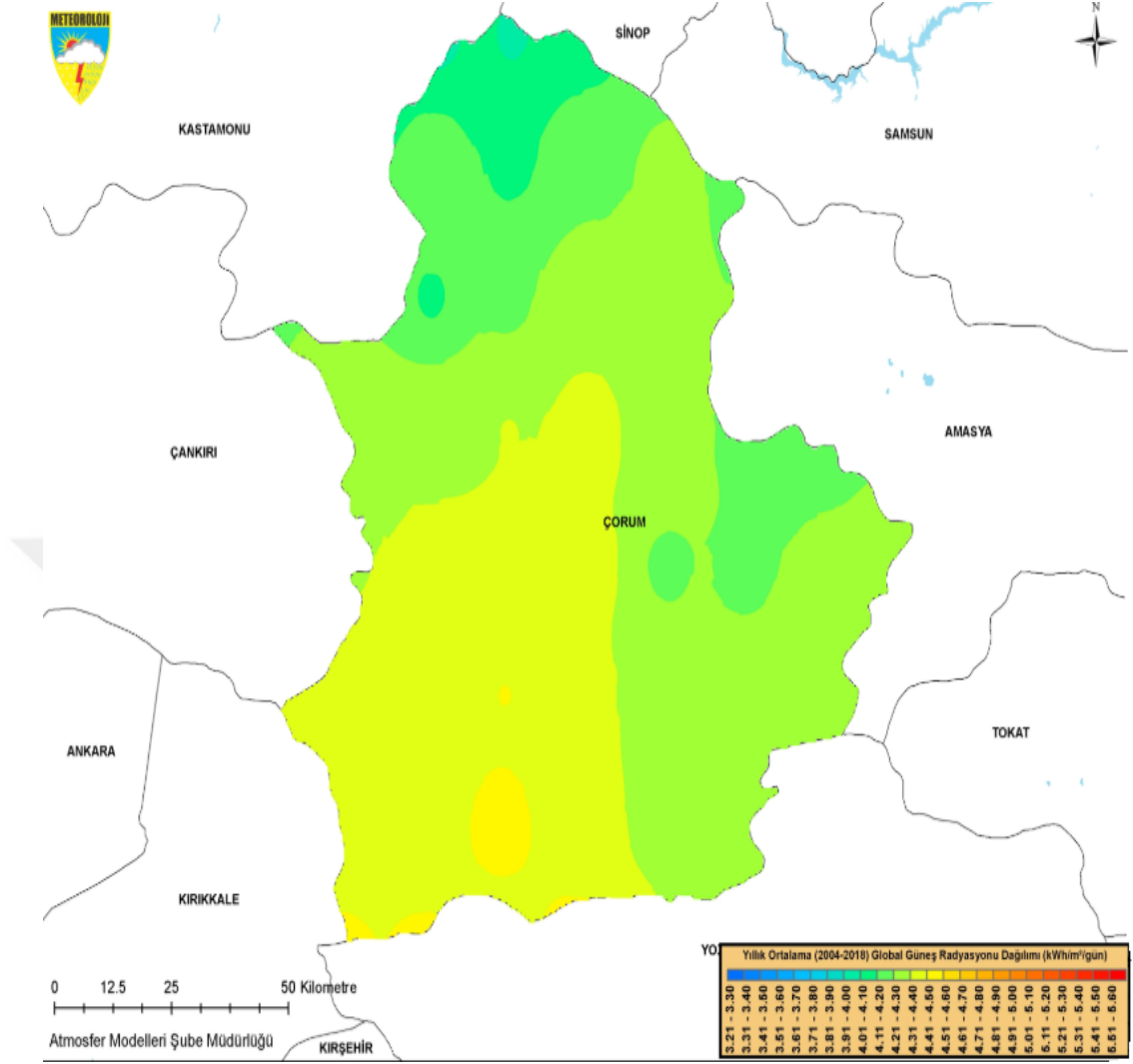
Çizelge 1.1. Çorum ilinde üretilecek elektrik enerjisinin 1 Watt başına alım fiyatı ve maliyeti (Anonim, 2010) (a) Yerli üretim oranına göre Watt başına alım fiyatı (b) Çorum ili için 1 kW sistem maliyeti

Ürün	Yabancı Ürün [\$/Watt]	Yabancı Göze Yerli Panel [\$/Watt]	Yerli Göze Yerli Panel [\$/Watt]	Yerli Göze+Panel Yerli İnvörtör [\$/Watt]
Birim Fiyat	0,133	0,154	0,189	0,195

(a)

Ürün	Yabancı Ürün [Yıl]	Yabancı Göze Yerli Panel [Yıl]	Yerli Göze Yerli Panel [Yıl]	Yerli Göze+Panel Yerli İnvörtör [Yıl]
Çorum	11,00	9,50	7,75	7,51

(b)



Şekil 1.8. Çorum ili için 2004-2018 yılları arası global güneş radyasyonu uzun yıllar ortalaması (Anonim, 2018)

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

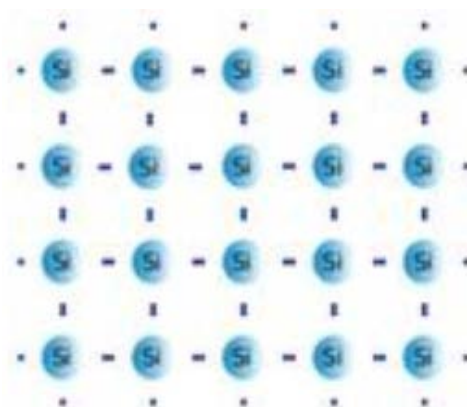
Literatür taramasında tez konusu ile ilgili olarak, PV sistemlerin yapısı, fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen etkenler, PV ve PV/T hakkında teorik ve deneysel çalışmalar bulunmakta olup bazılarında aşağıda bahsedilmiştir.

2.1. PV Sistemler

PV diziler, modüllerin birleşmesi ile modüller ise hücrelerin paralel ve seri olarak birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Kullanılmakta olan hücre tipleri, yapıları ve elektrik üretiminin gerçekleşme aşaması şekiller yardımı ile açıklanmıştır.

2.1.1. PV hücre tipleri ve yapıları

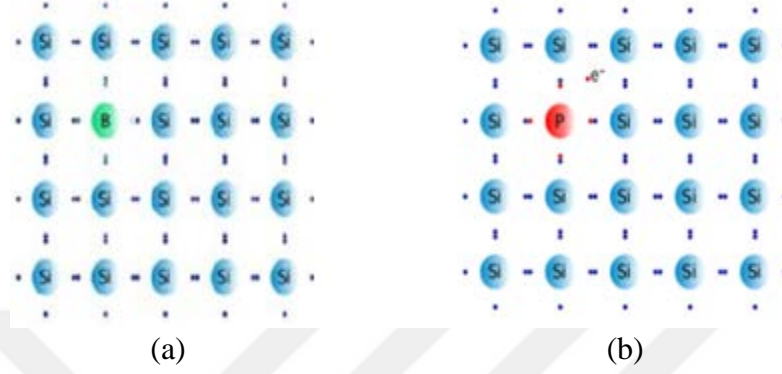
Güneş pilleri n tipi ve p tipi materyallerin birleşim prensibi ile çalışmakta olup kütle kristal yapıya başka bir atomun eklenmesi sürecidir. Silisyum atomunun değerlik bandında dört elektron bulunur. Diğer bir silisyum atomu ile bağ yapması neticesinde tüm silikon atomlarının mükemmel hizalanması sonucu kristal yapı oluşur. P ve n tipi yapıyı oluşturulması farklı atomların karıştırılması sonucu olur (Anonim, 2015).



Şekil 2.1. Silisyum atomu bağ yapısı (Anonim, 2015)

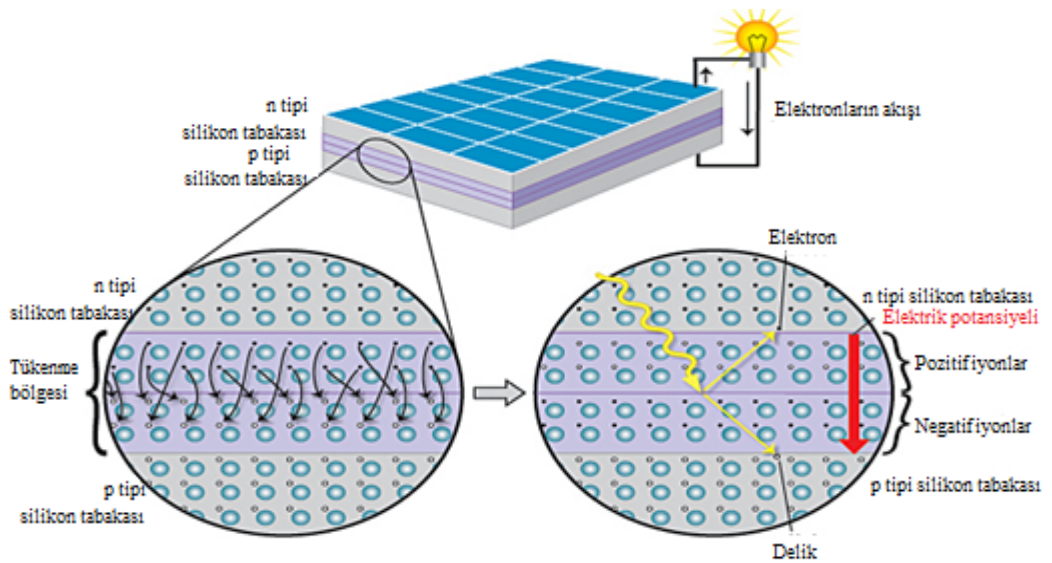
Bor atomunun değerlik bandında üç elektron bulunmaktadır. Bir silisyum atomunun bor atomu ile yer değişimi sonucu oluşacak bağın birisi çok zayıf olacaktır. Yapı

içerisindeki bu eksikliğin tamamlanması için harici bir elektronun yakalanması hedeflenecektir. Delik olarak adlandırılan eksik bağ yapısı pozitif yüklü bir parçacık olarak işlem görebilir. Bu malzemeye de p tipi malzeme denilir.



Şekil 2.2. Bor ve Fosfor atom yapıları (a) Bor atomu eklenmiş silisyum yapı (b) Fosfor atomu eklenmiş silisyum yapı (Anonim, 2015)

Benzer olarak bor atomu yerine fosfor atomu silisyum kafesine yerleşmiş olursa 5 değerlik elektronuna sahip fosfor dört elektron bağı yapmış olup boşta bir elektron bağlantısı kalacaktır. Neredeyse serbest elektron fosfor atomunu küçük bir termal enerji ile terk edebilir. Oluşan yeni yapıda fazla olan elektron bulunup n tipi malzeme olarak adlandırılır. P tip malzeme, elektron alma eğiliminde olup, n tipi elektron verme eğilimindedir.

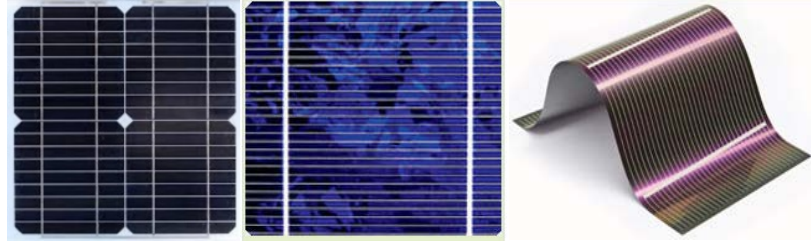


Şekil 2.3. Güneş hücresinin p tipi ve n tip katmanları şematik görseli (Anonim, 2019)

P ve n tip silikon tabakalarının birleştirilmesi sonucu pn birleşimi oluşacaktır. Katmanların birleşme noktasında elektronlar (n tipi katman) bağlantının diğer tarafındaki deliklere (boşluk olarak da adlandırılmakta) (p tipi katman) hareket etmektedir. Çevresinde elektronların boşlukları doldurduğu tükenme bölgesi adlı alan oluşur. Tükenme bölgesindeki boşluklar elektronlarla doldurulduğunda yani başlangıçta boşlukların mevcut olduğu alan negatif yüklü iyonları, elektronların bulunduğu alan ise pozitif yüklü iyonları içerir. Bu karşılıklı yüklü iyon bulunması n tipi katmanda bulunan elektronların p tipi katmandaki boşlukları doldurmasını engelleyen elektrik alanı oluşturur. Güneş ışığının hücreye çarpması sonucu silikondaki elektronlar dışarı çıkarak boşlukların oluşumuna sebep olur. Alan elektronları n tipi katmana ve boşluklar p tipi katmana hareket edecektir. N tipi ve p tipi katmanlarına metal bir bağlantı yapılması ile elektronlar n tipi katmandan p tipi katmana hareket ederek tükenme bölgesini geçip n tipi katmanın dış telinden geçerek elektrik akımının oluşmasını sağlar (Anonim, 2015; Anonim, 2019).

Pn bileşimi ışık ile oluşan elektron deliği çiftlerini hücreden 0,5 Volt harici bir potansiyel üreterek ayırdığı bilinmektedir. Elektrik üretimi için hücreler gün ışığına ihtiyaç duymakta olup bulutlu günlerde bile üretim olmaktadır. Standart silikon fotovoltajik hücre verimi %8 ile %25 arasında olup konsantre ayna, mercek kullanımı gibi yöntemlerle %40'lara yükselir. Hücre oluşumunda yer kabuğunda oksijenden sonra en çok bulunan silikon elementinden imal edilmektedir. Üretim aşaması için %99,99'a varan saflıkta rafine işleme sonrası geçen işlemler sonucu mavi renkli fotovoltajik hücre üretimi gerçekleştirilmiş olur. Ticari pazarın %95'ini oluşturan Silikondan üretilen üç genel hücre tipi: monokristal silikon (tek kristalli silikon), polikristal silikon (çok kristalli silikon) ve ince film silikon olarak bilinmektedir.

Kristal silikon (c-Si); günümüzde pazarın %90'ına hitap eder. Eritilmiş silikonun külçe veya döküm halinde kristalleştirilmesi sonrası gofret adı verilen ince dilimler haline getirilir. Tek tek silikon kristalinden monokristalin, bir tekli silikon kristal bloğundan polikristalin olmak üzere hücrelerin yapılması için kesilir. Bu işlemler sonrası %10~20 arası verim ile çalışabilmektedir.



Şekil 2.4. Monokristal fotovoltaik hücre, polikristal fotovoltaik hücre ve ince film silikon hücreler (Anonim, 2019)

Tek kristalli silikon tohumu, erimiş silisyum içine batırılıp yavaşça sıvıdan çıkarılarak kesilir. Külçe cilalanmış, kaplanmış, katlanmış, birbirine bağlı modüller ve diziler halinde çok ince gofretler ya da dilimler halindedir. Bu üniform moleküler yapı gevşek elektronların malzemeden aktarılması için ideal olup yüksek enerji dönüşüm verimliliği sayesinde %15 ile %20 arasında dönüşüm verimliliğine monokristal hücrelerde ulaşılmaktadır.

Polikristal silikon hücreler de ise, silikon moleküler yapı aralarında birkaç küçük gruptan veya kristal tanesinden oluşup monokristal silikon hücrelere göre negatif elektronları hücrenin güç çıkışını azaltan pozitif deliklerle yeniden birleşmeye yönlendirerek elektron akışını azaltması sonucu %10 ile %14 arası verime ulaşabilmektedir. Monokristal silikon hücreye göre daha düşük maliyetle üretilmektedir.

İnce film güneş pilleri kristal silikonlara kıyasla güç-boyut-ağılık oranı olarak daha iyi özelliklere sahip olup uzay uygulamaları için geliştirilen hücre tiplerindedir. Püskürtme yöntemi ile üretilmesi: cam, metal veya plastik folyo malzeme üzerine yapılarak gerçekleşir. Üretim süreci daha kısa olup kalınlığı daha düşüktür. Daha yüksek ışık emilimine sahip olsalar da tek boyutlu kristal yapıları nedeni ile zayıf hücre dönüşüm verimliliğine sahiptir. İnce film fotovoltaik hücre tipleri kadmiyum telluride, amorf silikon, bakır indiyum diselenide ve CIS olmak üzere yarı iletken malzemeler kullanılır.

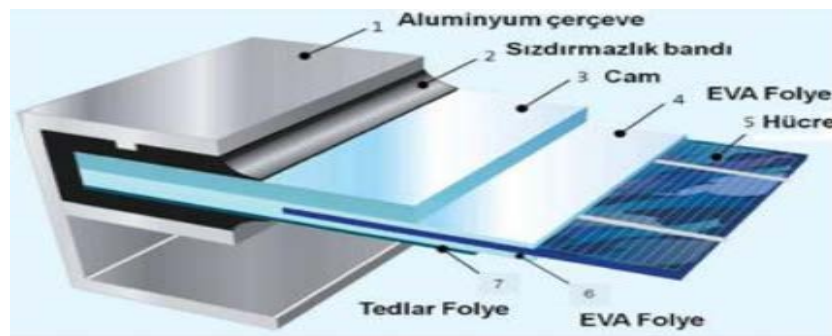
Kadmiyum telluride (CdTe): kadmiyum ve tellürümden imal edilen çok kristalli yarı iletken üründür. Yüksek ışık emilimine sahip olup güneş emilimi için bir mikron kadar

CdTe kullanılmaktadır. Hücrenin zarar görmesi Kadmiyumun ağır metal olması nedeni ile çevreye zararlı olabilir.

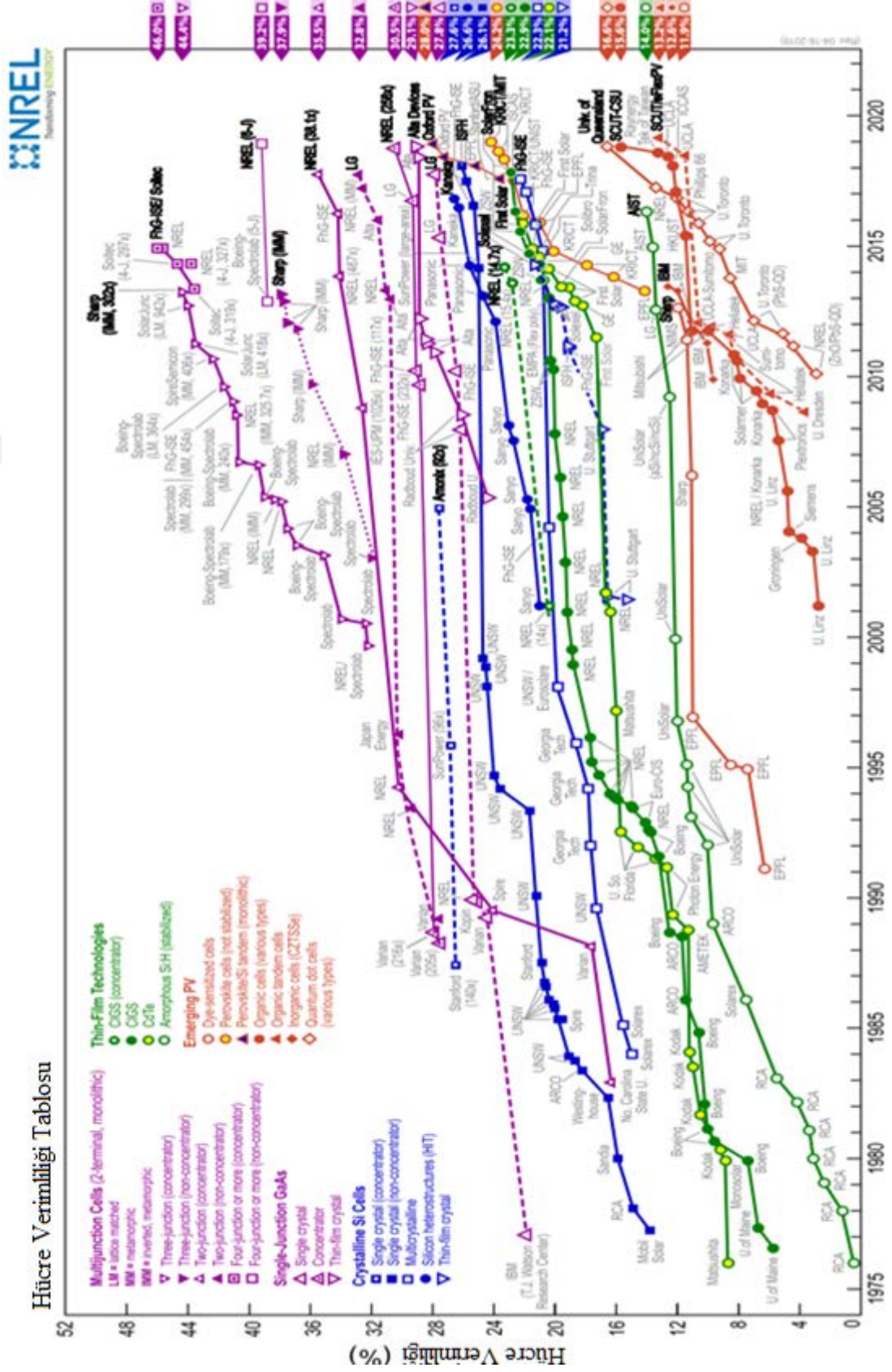
Amorf silisyum (a-Si): mevcut fotovoltaik hücre tiplerine göre amorf silikon kristalli silikondan kırk kat daha yüksek ışık emilimine sahip olan kristalimsi olmayan bir silikon şeklidir. Esnek ve sert yüzeylere, bina entegrasyonlarında ince metaller, plastikler ve renkli camlara uygulanabilmektedir. %7 ile %9 arasında dönüşüm verimliliği bulunur. Günümüzde hesap makineleri, tüketici elektroniği, düşük voltaj ve akım gerektiren solar bahçe ürünleri gibi kullanım alanları vardır.

Copper İndium diSelenide (CIS) $CuInSe_2$ kristalli yarı iletken malzemelerdendir. Amorf silikon malzemelere göre daha kalın filmleri nedeni ile iki katına kadar dönüşüm verimine sahip olmasının yanında %90 güneş spektrumu emiciliği ile en iyi ışık emici yarı iletkenler arasındadır. Karmaşık bileşen formülasyonu üretimini daha pahalı ve zor hale getirmektedir.

Bakır indiyum galyum diSelenide (CIGS): p tipi polikristalimsi ince film malzemedir. Bakır indiyum diselenide küçük miktarda gallium (Ga) eklenmesi sayesinde 0,7 Volt civarında açık devre gerilimi ile aynı ışığa altında %12 civarında daha yüksek dönüşüm verimliliğine sahip hücre tipidir. Hücrenin ışık emici boşluğunu artırması sayesinde bant boşluğunu artırması, elektronların hücre içerisinde elektrotlara serbestçe hareket etmesini sağlaması ile gallium önemlidir. Kullanımı daha düşük olan diğer fotovoltaik hücre çeşitleri: çok işlevli fotovoltaik hücreler, boyaya duyarlı fotovoltaik hücreler, 3B fotovoltaik hücrelerdir (Anonim, 2019).

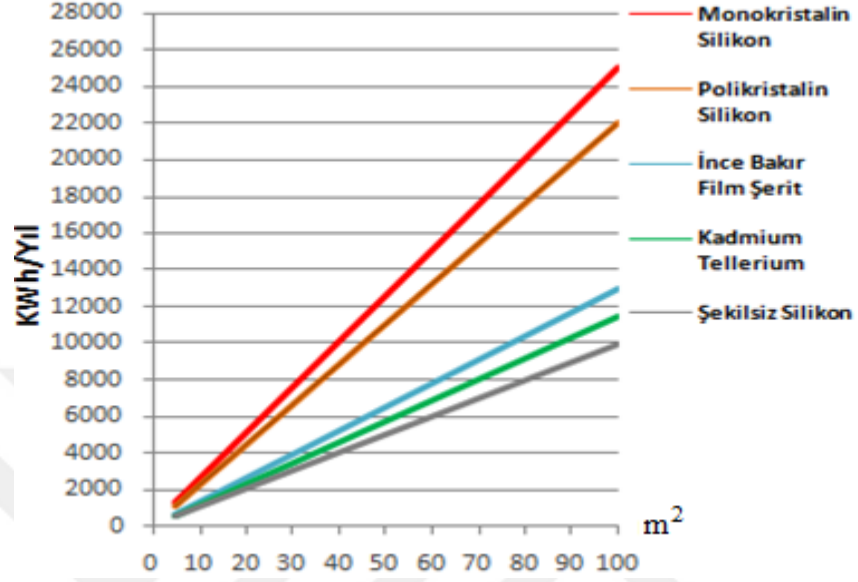


Şekil 2.5. Fotovoltaik panel (PV) yapısı (Anonim, 2019)



Şekil 2.6. Yıllara göre fotovoltaik hücre teknolojileri ve verim değerlerinin değişimi (Anonim, 2019)

NREL tarafından 1976 yılından itibaren fotovoltaik hücre verimlerinin referans sıcaklığı 25 °C de en yüksek verim değerleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

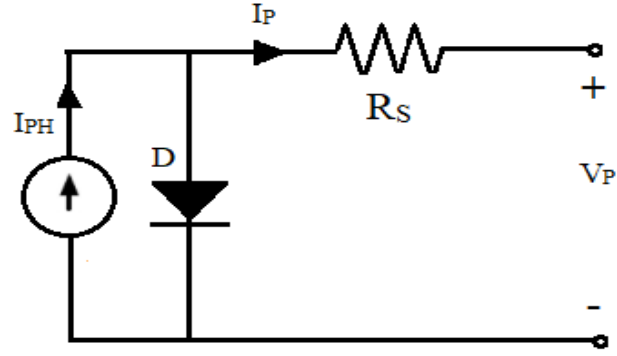


Şekil 2.7. Türkiye PV tipi-alan-üretebilecek enerji (kWh-Yıl) (Anonim, 2019)

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Şekil 2.7'de m² alana göre yıllık üretebilecek güç miktarı kW saat olarak verilmiştir.

2.1.2. Tek diyot modeli ve hesaplamaları

Fotovoltaik hücre gerilim ve akım değerlerinin hesaplanmasında farklı denklemler geliştirilerek kullanılmaktadır. Xiao ve ark. (2004), yapmış oldukları çalışmalarında şönt direnci ihmal ederek hesaplamaları kolaylaştırmışlardır. Akım hesaplamalarda gerilimin bir fonksiyonu olarak verilmiş olup Bellini ve ark. (2009) hesaplamalarında PV modülünün tek diyot eşdeğer devresini modellemelerinde sıcaklığın ve ışınımında etkisini PV modülün akım-gerilim değerlerinin belirlemede kullanmışlardır. Basitleştirilmiş olarak gerilim akımın fonksiyonu olarak tek diyot modeli ile Eş. 2.1'de olup tek diyot modeline ait eşdeğer devre görseli Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. PV modül tek diyotlu eşdeğer devresi

$$I_P = I_{SC} \left\{ 1 - C_1 \left[e^{\left(\frac{V_P}{C_2 V_{OC}} \right)} - 1 \right] \right\} \quad (2.1)$$

C_1 ve C_2 aşağıdaki denklemler yardımı ile belirlenerek modül akımının belirlenmesinde kullanılabilirler. Kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası voltajı ve maksimum güç noktası akımı yardımı ile hesaplanırlar.

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_{MPP}}{I_{SC}} \right) e^{\left(\frac{-V_{MPP}}{C_2 V_{OC}} \right)} \quad (2.2)$$

$$C_2 = \frac{\left(\frac{V_{MPP}}{V_{OC}} - 1 \right)}{\ln \left(1 - \frac{I_{MPP}}{I_{SC}} \right)} \quad (2.3)$$

PV modül üreticilerinin standart test koşullarında G_s güneş ışınımı 1000 W/m^2 ve T_s hücre sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $1,5$ hava kütlesi değerleri üreticiler tarafından yapılan testler için dış şartlardır. Tüm PV hücre, modül hesaplamalarında kullanılan: I_{SCS} , I_{MPPS} , V_{OCS} ve V_{MPPS} , α akım sıcaklık katsayısı ve β gerilim sıcaklık katsayısı değerleri üretici kataloglarında bulunmaktadır.

$$I_{SC}(G, T) = I_{SCS} \frac{G}{G_s} [1 + \alpha (T - T_s)] \quad (2.4)$$

$$I_{MPP}(G, T) = I_{MPPS} \frac{G}{G_s} [1 + \alpha (T - T_s)] \quad (2.5)$$

$$V_{OC}(T) = V_{OCS} + \beta (T - T_S) \quad (2.6)$$

$$V_{MPP}(T) = V_{MPPS} + \beta (T - T_S) \quad (2.7)$$

Verilen eşitlikler incelendiğinde akım değerinin ışınım ve sıcaklık ile değişim gösterdiği, gerilimin ise sıcaklık ile değişim göstermekte olduğu görülmektedir. Deneysel modelin doğruluğunun artırılması için eşitlikler üzerinde güneş ışınımının fonksiyonu olarak voltaj değişiminin katılması ile düzenlenmiş yeni eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$\Delta V(G) = V_{OCS} - V_{OCM} \quad (2.8)$$

Düzeltilme terimi $\Delta V(G)$ hesaplamasında kullanılan V_{OCM} değeri STC de G ışınımına göre çevrilen açık devre voltajı ayrıca verilen eşitliklerde kullanılan I_t , G ışınımında kısa devre akımını temsil etmektedir.

$$V_{OCM} = C_2 V_{OCS} \ln \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{I_t}{I_{SCS}}\right)}{C_1} \right] \quad (2.9)$$

$$I_t(G) = I_{SCS} \frac{G}{G_S} \quad (2.10)$$

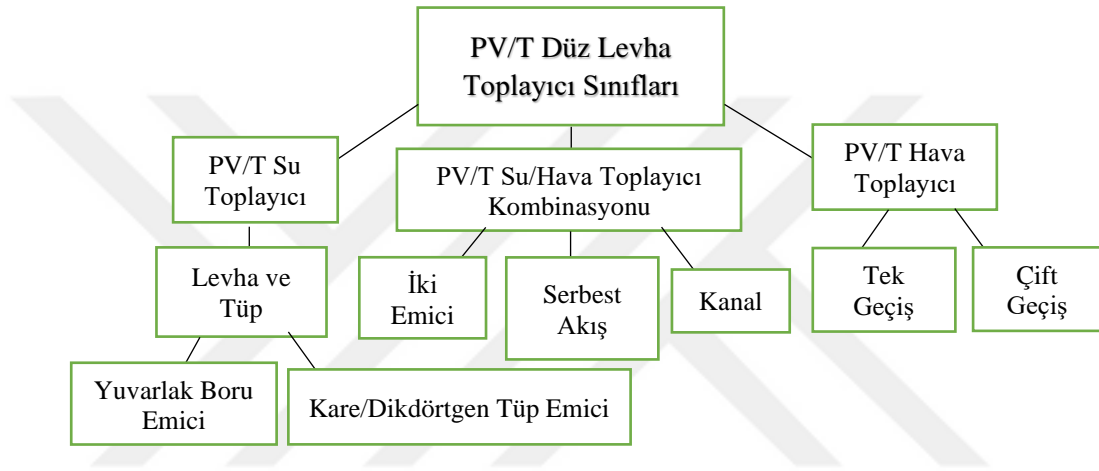
Modül voltajının akımın fonksiyonu olarak belirlenmesinde verilen Eş. 2.11 Bellini ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmalarında belirtilmiştir.

$$V_P = C_2 V_{OC} \ln \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{I_P}{I_{SC}}\right)}{C_1} \right] \quad (2.11)$$

Gow ve Manning (1999), yapmış oldukları çalışmalarında güç elektroniği uygulamaları için dizi modelinin geliştirilmesi için araştırma yapmışlar PV dizisinin devre tabanlı simülasyon modelini geliştirmişler, PV sistemlerin simülasyon çalışmalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

2.2. PV/T Sistemler

Düz plaka fotovoltaik ısı toplayıcıları akışkan türüne göre su toplayıcılar, su/hava toplayıcı, hava toplayıcı olmak üzere üç ayrı gruba ayrılabilir. PV hücre veya modülün soğuması ile birlikte sıcak hava veya su şeklinde ısı enerjisi toplayarak verim artışı sağlar (İbrahim ve ark., 2011). Su dolaşımı yapılan çalışmalarda zorla veya doğal dolaşım yolu ile tasarlanmaktadır.



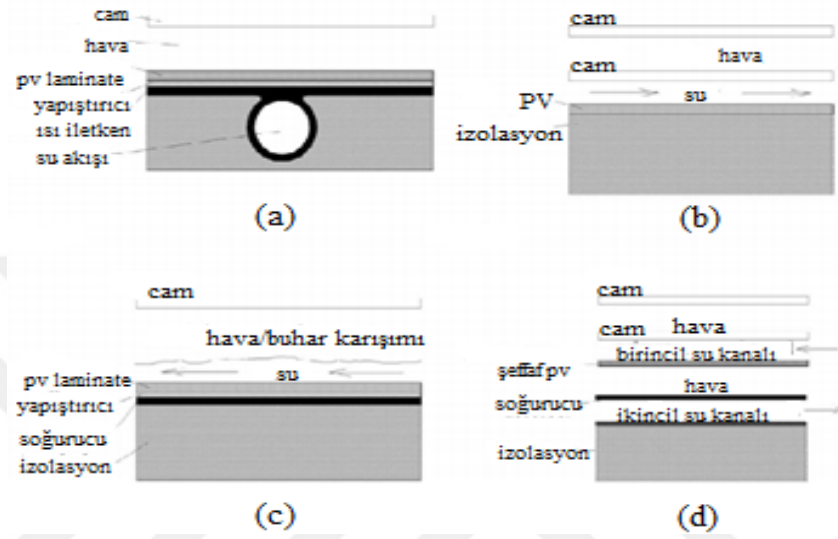
Şekil 2.9. Düz plaka PV/T sınıflandırması (İbrahim ve ark., 2011)

PV/T modüllerin standart PV modül üzerinde termal kolektör ilave edilerek Şekil 2.10 (a) hazırlanabilir. Üst kapak sayısının ısı yalıtımını iyileştirmesinin yanında kapakların artması ile de ek yansımalar sayesinde elektrik verimi azalır. Sıfır, bir ve iki kapaklı tasarımların yanında ikiden fazla cam kapakların elektrik verimliliğinin çok azaltması nedeninden dolayı pratik uygulamalarda görülmemektedir (Zondag ve ark., 2003).

Şekil 2.10 (b) tasarımında su elektrik performansının %4 düşmesine neden olabilmekte ayrıca su geçirmez bir yapıya sahip olması gerekmektedir.

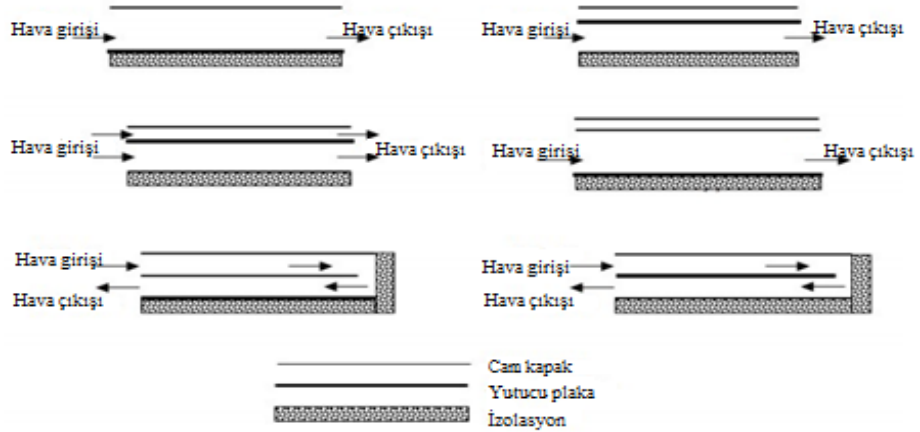
Şekil 2.10 (c) soğutma amaçlı sıvı emici üzerinden akar, ayrıca bir cam katmanı olmamasından dolayı yansıma ve malzeme maliyeti daha azdır. Su doğal seçim olarak düşünülse de buharlaşmanın daha yüksek sıcaklıklarda problem oluşturacağından bahsedilmektedir.

Şekil 2.10 (d) tasarımında üst üste iki su kanalı bulunmakta, su üst kanaldan içeri akarak alt kanaldan geri dönmektedir. Şeffaf yalıtım katmanının iki kanal arasında yerleştirilmesi gibi farklı tasarımlar geliştirilebileceğinden bahsedilmiştir (Zondag ve ark., 2003).



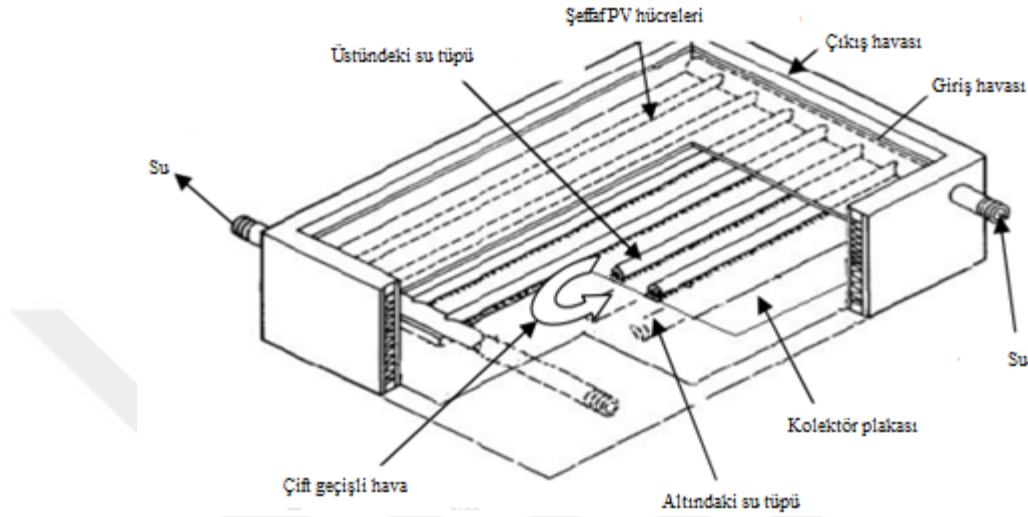
Şekil 2.10. PV/T su toplayıcı çeşitleri (Zondag ve ark., 2003) (a) Sac-Tüp PV/T Toplayıcı (b) Kanal PV/T Toplayıcı (c) Serbest Akış PV/T Toplayıcı (d) İki Emici PV/T Toplayıcı

Emici yüzey ile hava akışı arasındaki ısı transferi ana parametredir. Oluklu, Kanatlı ve çok geçişli olmak üzere hava hareketlerinde değişiklik yapabilecek çeşitli tasarımlar uygulamalarda bulunmaktadır (Fudholi ve ark., 2019).



Şekil 2.11. PV/T hava toplayıcıları için farklı akış tasarımları (Fudholi ve ark., 2019)

Şekil 2.12’de bulunan tasarımda Şeffaf PV hücreden oluşan bir kapak ile oluşturulan PV/T kombinasyonu hava akışının yanında üst ve alt kanallarda bakır su tüplerinde su akışı olarak tasarlanmıştır (Tabook ve ark., 2014).



Şekil 2.12. PV/T kombine levha toplayıcı (Tabook ve ark., 2014)

Tina ve ark. (2019), soğutucu cihaz ve elektronik yük ile enerji talebi değiştirilebilen kojeneratif PV/T sistemi ile ilgili araştırmalarında TRNSYS modeli geliştirilmiş, sayısal veriler ile ölçümlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Termal enerji mukayesesinde ortalama hata %12,04 ve elektrik enerjisi için %5,29 çıkmış olup çok kısa bir süre ile sınırlı olan bu çalışmada izleme süresinin bir yıla çıkarılarak model hassasiyetinin farklı hava koşullarında da yapılması gerektiği tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Kusakana ve ark. (2017) tarafından PV sistemlerin farklı yöntemlerle soğutulması üzerine çalışmalarının sonucunda genel verimliliğin artırılması kapsamında termal ve elektriksel verimliliğin artırılarak hücre degradasyon oranını azalttığı ayrıca PV modülünün ömrünü en üst düzeye doğru soğutma yöntemi kullanılarak çıkarılacağını belirtmişlerdir. Yapılması planlanan araştırmalarda PV modül yüzeyinden ısıyı verimli bir şekilde toplanarak daha kontrollü ve istikrarlı bir şekilde soğutma yapılması üzerine odaklanılması gerekliliğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında 9 farklı soğutma yönteminin avantaj ve dezavantajlarından bahsetmişlerdir.

Fudholi ve ark. (2014) tarafından üç farklı su toplayıcı performansları incelenmiş ve PV modül verimliliği sıcaklık düşüşü ile artmakta olup PV/T sistemlerinde araştırılan farklı kütle debilerinden 0,024 kg/s değerinde sıcaklık artışının önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Sıcaklık değerinin düşmesinin kütle akış hızı ile doğrusal olmadığı, PV/T su modülünün sıcaklığının artışını etkilediğini belirlemiştir.

Bhushan ve ark. (2017), PV panel ile ilgili olarak su bazlı PV/T ve su bazlı PV/T-PCM sistemleri inceleyerek elektriksel verimliliğin artırılması için yapıları çalışmalarında: PV modül sıcaklığının 85 °C olduğunu, PV panel sıcaklığına göre tasarımlarının sıcaklığının daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. 0,031 kg/s debide PV/T ile %47, su bazlı PV/T-PCM'in %53 sıcaklığın azaldığını ayrıca su bazlı PV/T-PCM ve su bazlı PV/T'nin açık devre voltajının konveksiyon PV panelinkinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Scarpa ve ark. (2013), su soğutmalı hibrit paneller ile ilgili olarak yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışmalarında özdeş üç prototipin deneysel analizini yapmışlar, bu prototiplerden termal plakayı PV panele daha iyi bir temas sağlamasından dolayı ahşap kaburga yapısı ile en iyi performansı verdiğini ve uygulama kolaylığından dolayı PV panel uygulamalarında cazip olduğunu ayrıca termal macun kullanımı ile oluşacak olası değişikliği sayısal analiz yolu ile incelenmiş sonuç olarak sistem performansını iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Kazem (2019) çalışmasında; Umman dış hava şartlarında su bazlı PV/T tasarımının performansını araştırmış olup PV modüllere göre elektrik verimliliğinde tutarlı artış gözlemlemiş, PV/T modülün PV modüle oranla ortalama %6 daha fazla güç ürettiğini belirtmiştir. PV/T sistemden elde edilmesi planlanan toplam verim ısı verim ve elektriksel verim toplamları olarak Eş. 2.12'de görüldüğü gibi bulunmaktadır.

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{PV}} + \eta_{\text{ısı}} \quad (2.12)$$

Burada; $\eta_{\text{ısı}}$ sistemden elde edilen ısı verim, η_{PV} sistemden elde edilen elektriksel verimdir. Termal verim hesaplamalarında kullanılacak olan yararlı toplanan ısı:

soğutma sistemde kullanılan sıvının kütleli debisi, sabit basınçta sıvının özgül iç enerjisi, soğutucu sistemden çıkan sıvı sıcaklığı ve soğutucu sisteme giren sıvı sıcaklığı farkı yardımı ile Eş. 2.13 kullanılarak belirlenir.

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_c - T_g) \quad (2.13)$$

Eş. 2.14'te yararlı toplanan ısının solar radyasyon ve modül yüzey alanına bölünmesi ile $\eta_{\text{ısı}}$ hesaplanır.

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{m} c_p (T_c - T_g)}{G A_c} \quad (2.14)$$

Maksimum çıkış aşağıda P_{eff} olarak ayrıca verilmektedir. η_{pv} verim hesaplamasında aşağıda verilen Eş. 2.15 kullanılacaktır.

$$\eta_{\text{pv}} = \frac{IV}{G A_c} \quad (2.15)$$

Thong ve ark. (2016), sıcaklık etkilerinin fotovoltaik modül verimliliğine etkisi ile ilgili analiz yapmışlardır. Deney fotovoltaik modüllerin 0,45 k Ω yükte ve yüksüz olarak sabit ışınım ve ortam sıcaklığı altında gerçekleştirilmiştir. Modül üzerinde biriken fazla ısı nedeni ile silikon katmandaki bant aralığı azalmaktadır. Her 1 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışı yaklaşık %0,27~0,77 azalmaya neden olmakta, 34 $^{\circ}\text{C}$ den 54 $^{\circ}\text{C}$ yükselme ile %10 verim kaybı yaşanmaktadır. Verim kaybının engellenmesi için soğutma teknolojilerinin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Thong ve ark. (2016) çalışmalarında PV panelin akım-gerilim karakteristiği oranı olan dolun faktörünün belirlenmesi için Eş. 2.16 verilmiştir.

$$FF = \frac{I_{\text{mpp}} V_{\text{mpp}}}{I_{\text{sc}} V_{\text{oc}}} \quad (2.16)$$

Panel etkin gücü kısa devre akımı ve açık devre geriliminin dolun faktörü ile çarpımı ya da maksimum güç noktası gerilimi ile maksimum güç noktası akımının çarpımı ile Eş. 2.17'de olduğu gibi hesaplanabilir.

$$P_{\text{eff}} = FF I_{\text{sc}} V_{\text{oc}} \text{ ya da } P_{\text{eff}} = I_m V_m \quad (2.17)$$

Aish (2015), üç farklı tip PV modülü 100-1000 W/m² güneş radyasyonu ve 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıklarında güneş paneli analizörü yardımı ile verim değişimlerini incelemiştir. Çalışma sıcaklığı ve ortam sıcaklığı değişimlerinden dolayı sıcaklık artışı ile güç düşüşü olduğu, bunun sıcaklık başına güç düşüşü yüzdesi olarak sıralanmak istenildiğinde: monokristal modül> polikristal modül> bakır indium gallium (di) selenide (CIGS) olduğunu deneysel çalışmalarında belirlemiştir.

Ibrahim ve ark. (2009), PV/T modüller ile ilgili olarak yapmış oldukları çalışmalarında modül soğutulmasında 7 farklı deseni incelemişler, yapılan incelemelerinde değişkenlere bağlı olarak her desen tasarımı için eşitlikler belirlemiştir. Çalışmalarında iyi bir sonuç alabilmek için ilk aşama olarak tasarımın simülasyonu yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Modül arkasının tasarım ile tamamen kaplanmasının iyi sonuçları olduğunu ve modülün soğutulması ile PV verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir. Serpantin desen soğutuculu soğutma sistemleri kullanılarak tasarlanan desen için hücre verimi ve termal verim hesaplanmasında aşağıda belirtilen eşitlikler termal ve hücresel verim için sırası ile Eş. 2.18 ve Eş. 2.19'da verilmiştir.

$$\eta_{\text{ısı}} = 22,57 - 32,35 \frac{T_i - T_o}{G} \quad (2.18)$$

$$\eta_{\text{cell}} = 11,57 - 11,89 \frac{T_i - T_o}{G} \quad (2.19)$$

TamizhMani ve ark. (2003), çalışmalarında modül sıcaklığının gerçek verilere dayanarak tahmin edilmesi için matematiksel model sunmuşlardır. Çalışmalarında 3 parametrelili modelin 5 parametrelili modele göre daha üstün olduğunu belirlemiştir. Burada belirttikleri 3 parametrelili modelin modül sıcaklığını belirlemede kullanılabileceğini, w₁ için 0,926; w₂ için 0,030; w₃ için -1,666 ve polikristal modül için sabit değer 5,1 olarak kullanılmıştır. Modül sıcaklığı ile ortam sıcaklığı, ışıınım, nem, rüzgâr hızı ve yönü arasında basit doğrusal ilişki olduğundan bahsedilmiş olup çalışmalarında verilen matematiksel model Eş. 2.20'de bulunmaktadır.

$$T_m = 0,943 T_a + 0,028 G - 1,528 v + 4,3 \quad (2.20)$$

Tripanagnostopoulos ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmalarında ticari tip mc-Si PV ile birlikte laboratuvar tipi bir su ısı geri kazanım ünitesi kullanmışlardır. PV/T sistemi camlı ve camsız olmak üzere iki tasarımda çalışılmıştır. Modül ile birlikte emici bakır plaka, düz ısı eşanjörü ve bakır borular kullanmış, termal kayıpların önlenmesi için ısı yalıtımı kullanılmıştır. Yatay çatı montajlarında ise PV/T sistemlerinin gölgelenme gibi kayıplarının önlenmesi yıl boyunca verimin yüksek tutulabilmesi için difüzör reflektörlerin kullanılması tavsiye edilmiş böylece yer tasarrufu da sağlanacağı bildirilmiştir.

PV sistem tarafından absorbe edilen güneş ışınımının elektrik enerjisine çevrilen bölümünün yanında modül sıcaklığının yükselmesi nedeni ile verim düşümü olmaktadır. Doğal veya zorunlu akışkan sirkülasyonu ile modülden ısı çekilerek sıcaklığın düşürülebileceği belirtilmiştir. Silikon yapıli fotovoltaiik piller ve modüllerin malzeme özelliklerine göre belirli sıcaklık değerlerinde örneğin 298 K iyi çalışmakta fakat yüksek sıcaklıklarda verim kaybına uğrayacağı belirtilmektedir. Modülün çalışması sırasında oluşan sıcaklığın fonksiyonu olarak verim belirlenmek istendiğinde Radziemska (2003) tarafından aşağıda verilen eşitlik yardımı ile belirlenebilmektedir. Hesaplamaların yapılması esnasında standart test koşullarında (1000 W/m², 25 °C) verilen verim değeri η_o , 298 K standart test koşullarında ölçüm sıcaklığı, sıcaklık verim katsayısı β değeri ise -0,0045 K⁻¹ veya -0,0064 K⁻¹ olarak verilmiştir.

$$\eta_{el} = \eta_o (1 - \beta (T_{cell} - 298K)) \quad (2.21)$$

Hossain ve ark (2019), PV/T sistemin dış hava koşullarında sistem performansının hesaplamalarını konvansiyonel su bazlı PV/T modülün performans analizini incelemelerinde dakikada 0,5; 1; 2; 3; 4 litre akış debisinde yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda maksimum ısıl verimi dakikada iki litre ile olan akışta %78,58 bulmuşlardır. Ortalama fotovoltaiik termal hücre sıcaklığını 58,23 °C olarak tespit

etmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde hücre sıcaklığının her 1 °C düşüş için fotovoltaik termal çıkış gücünün 3,49 W, verimliliğin %0,23 arttığını belirtmişlerdir.

2.3. Ekserji Analizi

Sarhaddi ve ark. (2010) tarafından PV/T hava modülünün enerji ve ekserji analizi yapılmış; PV/T hava modülünün termal modeli üzerinde yapılan çalışmalarında sisteme gönderilen havanın hızı ya da güneş ışınması artırıldığında ekserji verimliliğinin arttığı sistemdeki bu değişkenlerin maksimum değerlere ulaşmasının ardından azalma olduğunu ayrıca sıkıştırılmayan akışkan kullanılması ile ekserji verimliliğinin yükselebileceğini, modifiye ekserji verimliliğini toplayıcı sistemlerde sıkıştırılmayan akışkanların kullanıldığında artırılabilirliğini çalışmalarından elde etmişlerdir.

Hazami ve ark. (2016), Tunus iklim koşulları dikkate alınarak konutlara yönelik enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. TRNYS simülasyonu yardımı ile yaptıkları çalışmalarında PV/T hibrit modülün aktif modda (su kütle akışı) belirgin avantajlar sağladığını, atık ısının PV modüllerden uzaklaştırılması ile hücrelerin elektrik verimliliğinin artırılabilirliği, 100 kg/h debide Tunus yerleşim yerlerinde yaşayanların yıllık elektrik ihtiyacını %14,60 ve sıcak su ihtiyacının %5,33 üretimini yapabileceğini değerlendirmişlerdir.

Petela (2003), enerji analizinin ve kalitesinin ekserji karşısında duyarsızlığının enerji analizinin dezavantajlarından biri olduğunu vurgulamış, ekserjinin radyasyonun absorpsiyon ve emisyon süreçlerinde enerjinin bozulmasını ortaya kayduğunu belirtmiştir. Sistemin ekserji analizi, fotovoltaik termal modülün (PV/T) enerji kapasitesi ve kalitesini içermektedir.

Fotovoltaik hücreler fotovoltaik etki ile elektrik üretimini sağlasa da termal enerji nedeniyle ısınmaktadır. Elektriksel ekserji tamamen kullanılabilir faydalı enerjidir. Fotovoltaik yüzeyden çevreye gerçekleşen ısı kaybının faydalı olacak şekilde

kullanılmadığı bildirilmiştir (Joshi ve ark., 2012). Yaptıkları çalışmalarında enerji ve ekserji çıkışı hesaplamalarında kullanılmak üzere aşağıdaki eşitlikler verilmiştir.

$$\dot{E}n_{\text{çıkış}} = \dot{E}n_{\text{elektrik}} + \dot{E}n_{\text{ısı}} \quad (2.22)$$

$$\dot{E}n_{\text{çıkış}} = V_{oc} I_{sc} + \dot{Q} \quad (2.23)$$

$$\dot{E}x_{\text{çıkış}} = \dot{E}x_{\text{elektrik}} + \dot{E}x_{\text{ısı}} + \dot{E}x_d \quad (2.24)$$

PV yüzeyden ortama olan ısı kaybı için ekserji değeri Eş. 2.27 ile bulunmaktadır. Bu denklem içerisindeki ısı kaybının hesaplanmasında taşınım ve radyasyon ile oluşan kayıplar rüzgâr hızının değeri, hava yoğunluğu ve çevre şartları dikkate alınarak hesaplandığında, ısı kayıp katsayısı Eş. 2.25'ten bulunmaktadır. Burada \dot{Q} fotovoltaik yüzeyden ısı enerjisinden elde edilebilecek maksimum işi ya da tersinir işi göstermektedir.

$$h_{ca} = 5,7 + 3,8 v \quad (2.25)$$

$$\dot{Q} = h_{ca} A (T_{\text{hücre}} - T_{\text{ortam}}) \quad (2.26)$$

$$\dot{E}x_{\text{ısı}} = \left(1 - \frac{T_{\text{ortam}}}{T_{\text{hücre}}}\right) \dot{Q} \quad (2.27)$$

I' simgesi sistemin iç kayıp olarak ekserji imhasını, dış kayıp olarak sistemden ısı kaybını içerir (Joshi ve ark. 2012). Sistemin elektriksel ekserji hesaplanmasında PV alıcı yüzeyinin aldığı elektriksel ekserji'nin tamamının elektriksel enerji ürettiği varsayıp, Ekserji tahribatı ($V_{oc} I_{sc} - V_m I_m$), elektrik enerjisi değeri ile birlikte yerlerine konulduğunda, elektriksel ekserji'nin maksimum güce eşit olduğu bulunacaktır. Hossain ve ark. (2019) da yaptıkları çalışmalarında fotovoltaik modül elektrik çıkışının elektrik ekserjisine eşit olduğunu belirtmiştir.

$$I' = \sum \dot{E}x_{\text{des}} = \dot{E}x_{\text{ısı}} + \dot{E}x_d \quad (2.28)$$

$$\dot{E}_{\text{elekt.}} = \dot{E}_{\text{n.elekt.}} - I' = (V_{\text{oc}} I_{\text{sc}}) - (V_{\text{oc}} I_{\text{sc}} - V_{\text{m}} I_{\text{m}}) \quad (2.29)$$

$$\dot{E}_{\text{elekt.}} = V_{\text{m}} I_{\text{m}} \quad (2.30)$$

Sudhakar ve Srivastava (2014), çalışmalarında güneş radyasyonunun yoğunluğunun artışı ile fotovoltaik modülün ekserji verimliliğinin arttığını en yüksek noktaya ulaştıktan sonra düştüğünü, hücre sıcaklığı ve geri dönüşümsüzlük nedenlerinden ortam sıcaklığında ekserji verimliliğinin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir.

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{E_{\text{xoutput}}}{E_{\text{xinput}}} \quad (2.31)$$

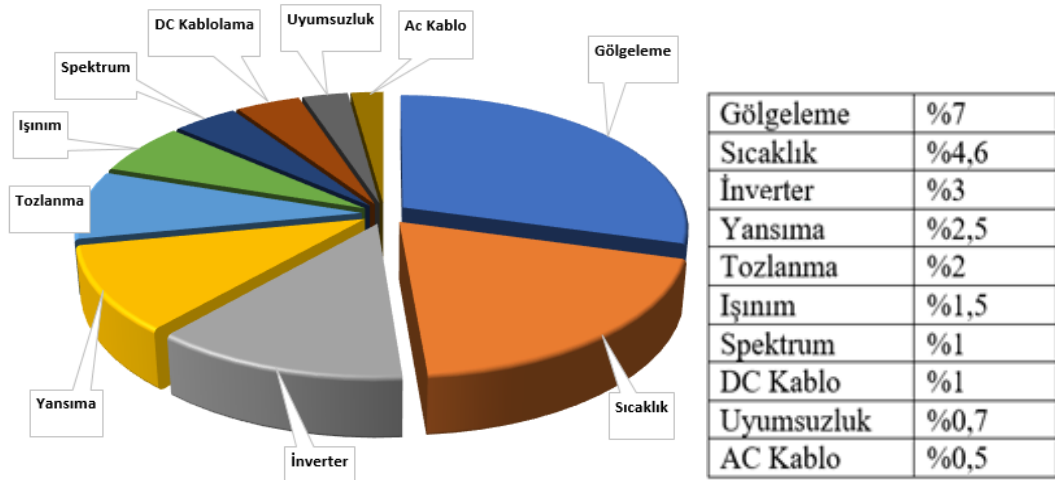
Petela (2003; 2008)'nin teoremine göre; giren ekserji Eş. 2.33'te olduğu gibi modül yüzeyine güneş ışınımı ile gelen ekserji miktarı olup T_a ortam sıcaklığı, T_{sun} ise güneş sıcaklığıdır (Sudhakar ve Srivastava 2014).

$$E_{\text{xin}} = A G \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_{\text{sun}}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{\text{sun}}} \right)^4 \right] \quad (2.32)$$

PV modül çıkış gücünü güneş ışınımı yoğunluğu, ortam sıcaklığı, nem ve rüzgâr hızı gibi faktörler etkilemekte olup güneş ışınlarının yoğunluğu sürekli değişmektedir. Güneş ışınlarının yoğunluğu pil sıcaklığını artırmakla beraber çıkış gücünü etkiler. Hücre sıcaklığı PV modül verimi ile doğrudan ilişkilidir (Hasanuzzaman ve ark. 2017).

2.4. Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Etmenler

Fotovoltaik sistemlerin çalışmaları esnasında kurulum, fiziki koşullar ve atmosfer kaynaklı olmak üzere çeşitli nedenlerle kayıplara uğramaktadır. Kayıplar grafik halinde Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Fotovoltaik panellerde kayıplar (Alçı ve Çarkıt, 2019)

2.4.1. Güneş ışınımı

Fouad ve ark. (2017), yapmış oldukları çalışmalarında fotovoltaik panellerin performansını etkileyen etkenleri araştırmışlardır. Fotovoltaik hücrelerin ve sistem performansı, kurulum ve sistem üzerinde direk etki oluşturan çevresel ve yapısal etkilerden etkilenmektedir. Dolayısı ile hücre üzerinde oluşan değişiklikler elektriksel ve ısı çıktısını etkilemektedir. Birim alana düşen güneş kaynağının güç miktarı ışınım olarak bilinmektedir. Fotovoltaik yüzeye çarpan doğrudan, dağınık ve yansıyan ışınımlardan doğrudan ışınım fotovoltaik etkinin oluşmasını sağlayan en yüksek etkili olanıdır. Güneşin konumuna göre gün içinde güneşin dik geliş açısı değişmektedir. Güneş takip sistemleri ile açısız kayıpların azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bilindiği gibi ışınım ile akım doğrusal olarak artış göstermektedir.

2.4.2. Gölgeleme

Ortam odaklı etkilerden dolayı hücrelerin modül bağlantısında seri ve paralel bağlı olmalarından dolayı tüm modül verimini etkilemektedir. Kurulum kaynaklı gölgeleme komşu bina, ağaç, bacalardan kaynaklanabileceği gibi kurulan PV sistemlerin yakınlığı nedeni ile olabilmektedir. Modüller arası bağlantı, hücre malzemesi, gölgelenen hücrelerin yüzdesine göre %59 ile %73 arasında kayıplar oluşmaktadır (Fouad ve ark., 2017).

2.4.3. Fotovoltaik hücre malzemesi

Meral ve ark. (2011), dünya çapında yoğunluklu olarak kullanılmakta olan fotovoltaik hücre türlerinden monokristal hücre, çok kristalli hücre, amorf silikon hücrelerin etkilerinden bahsetmişlerdir.

Monokristal hücreler yaklaşık 20 yıllık ömre sahip olup %15 verimle çalışmaktadırlar. Tek ve sürekli kristal yapısına sahip saf monokristal silikondan yapılmış olmalarına karşın karmaşık üretim işlemi olması üretim maliyetinin yüksek olması da olumsuz yönü olarak bahsedilebilir.

Çok Kristalli silikon hücreler, çok sayıda monokristal hücre taneleri kullanılarak üretilmekte olup üretim maliyeti monokristal hücre üretimine göre kolay ve daha düşük maliyetlidirler. Verim olarak %12 civarındadırlar.

Amorf silikon hücreler diğer hücre yapılarına göre farkı amorf silikon yapılarının kristal hücrelerinin yerini alarak ince homojen bir tabakadaki silikon atomlarından oluşmasıdır. İnce film güneş enerjisi olarak bahsedilmekte olup verimleri %6 civarındadır.

Diğer tipte hücreler CdTe ve CuInSe₂ gibi malzemelerde mevcuttur. Polimer ve organik hücre tiplerine olan ilgi artmakta olup düşük üretim maliyeti ve hızlı üretime karşı %4 gibi diğer hücrelere göre düşük verimlerle çalışmaktadırlar.

2.4.4. Yerleşim şekli

Işınım şiddetinden en üst düzeyde faydalanabilmek için dik açı ile panel yerleştirilmesi gerekir. Yıllık üretimin üst düzeyde tutulması için optimum eğim açısının tespit edilmesi gerekir. Yıllık optimum eğim açısının belirlenmesi yıl içinde Kasım-Ocak, Şubat, Mart, Nisan-Ağustos, Eylül, Ekim olmak üzere altı kez ayarlanması önerilmektedir. Yapılan ayarlama ile aylık %7,35 enerji artışı olabilecektir (Kaddoura ve ark. 2016).

2.4.5. Sistem ekipmanlarının etkileri

Sistemin çıktıları olan açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum akım ve gerilim noktaları ve maksimum güç noktası değişiklikleri sistem performansını değiştirecektir. Sistemi oluşturan inverter ve batarya verimliliği de genel performansı etkileyecektir.

2.4.6. Uyumsuzluk etkileri

Verma ve ark. (2015), uyumsuzluğun modül ve tesisat kabloları kaynaklı olduğunu araştırma sonuçlarında bildirmiştir. Sistem tasarımında iki farklı modül tipinin seri olarak bağlanmasının üretim kayıplarına yol açtığı, yanlış kablo seçiminin ve uzunluğun kayıpları artırmakta olup daha büyük enine kesit kullanılması ile kayıpların engellenebileceği bildirilmiştir.

2.4.7. Toz, nem ve rüzgâr hızının etkisi

Mekhilef ve ark. (2012), tarafından fotovoltaik hücre üzerinde gerçekleşen üç ayrı dış şart incelenmiştir. Hücre üzerini örterek ışınım şiddetini düşüren doğal ya da yapay olarak oluşmuş farklı büyüklüklerde toz parçacıklarının etkilerinden bahsedilmiştir. Küçük toz parçacıklarının büyük olanlara göre verimi daha olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Ayrıca su buharı partiküllerinin ışınım üzerindeki etkisi ve hücre muhafazası içerisine girişi ile performansın olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Sıcak ve nemli hava arızalanmalara sebep olabilir. Fotovoltaik hücre tipi ile performansının bağlantılı olduğu vurgulanmakta olsa da rüzgâr hızının artışı ile artan hücre veriminden bahsedilmektedir. Ayrıca Mani ve ark. (2018), PV modül malzeme ve yüzey özelliklerine, ortam meteorolojik koşullarına göre enerji transferi gerçekleştiğini doğal ve suni toz ile ilgili teorik ve modelleme çalışmaları üzerine yapmış oldukları araştırmalarında modül yüzeyindeki toz birikmesi sonucu modülün termal iletkenliğinin değiştirdiğini belirtmişlerdir.

2.4.8. Kar ve buz oluşumunun etkisi

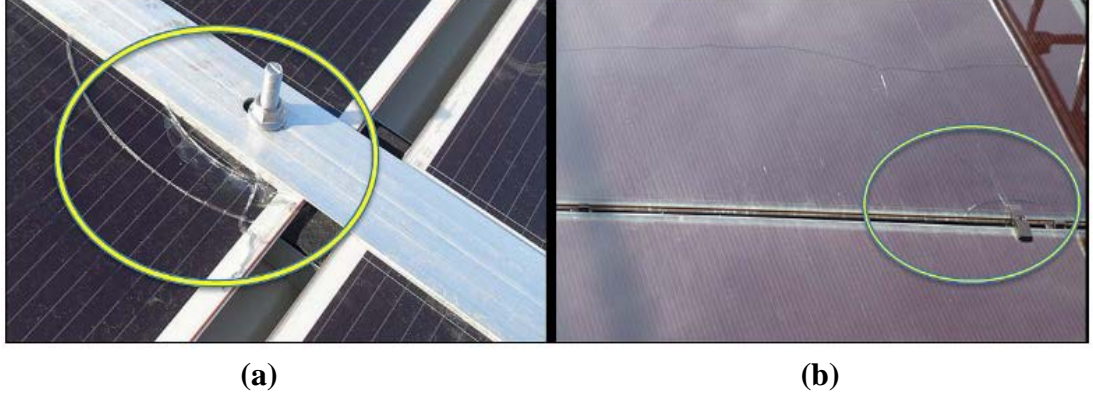
Meteorolojik olaylar arasında yer alan kar yağıışı sonucunda buz oluşumu gerçekleşecektir. Kar yansıtıcı özelliği ile üzerini kapladığı hücrelerin ışınım ile aralarında ulaşımında engel oluşturacaktır. Andenæs ve ark. (2018), tarafından yapılan araştırmalarında 2 santimetre kar ışınım azaltmak için yeterli olduğunu belirtmişlerdir. 10 santimetre yükseklik elektrik üretimini engelleyeceğinden bahsedilmiş panel yüzeylerinde buz ve kar tutunmasını engelleyici kaplamaların şeffaf olmaması ışınım için engel olacağı belirtilmiştir.

2.4.9. Çatlak oluşumunun etkisi

Çapraz çatlak (+45° ve -45°), bara çatlağına paralel, baralara dik ve çok yönlü çatlaklar olmak üzere tüm bu hasarların PV modül çıkış gücü üzerindeki etkisinin aynı olup olmadığı araştırılmıştır. Kısa çatlak modülde bulunan tek hücreyi etkilerken uzun çatlak oluşumunun iki veya daha fazla hücreyi etkilemektedir. Oluşan verim düşüşleri çatlak tipine göre değişir (Dhimish ve ark., 2017).

2.4.10. Cam hasarı

Kurulan sistemde kusurlu olan hücre, modül arızalanarak maliyet artışına sebep olur. Sahada fotovoltaik sistemlerin kullanımı esnasında en çok karşılaşılan sorunlardan birisi fotovoltaik panel camının kırılmasıdır. Arıza istatistiklerinde cam hasarı %10 olarak önemli bir yer tutmaktadır. Çerçevesiz panel, saha montajında hatalı kelepçe bağlantıları ve aşırı sıkıştırılmış vidalar hasar nedenleri arasındadır. Kırılma sonucunda zamanla performans kaybı, oksijen ve su buharının hücreye teması ve aşırı sıcaklık artışı gibi sonuçlarla karşılaşılabilmektedir (Köntges ve ark., 2014).



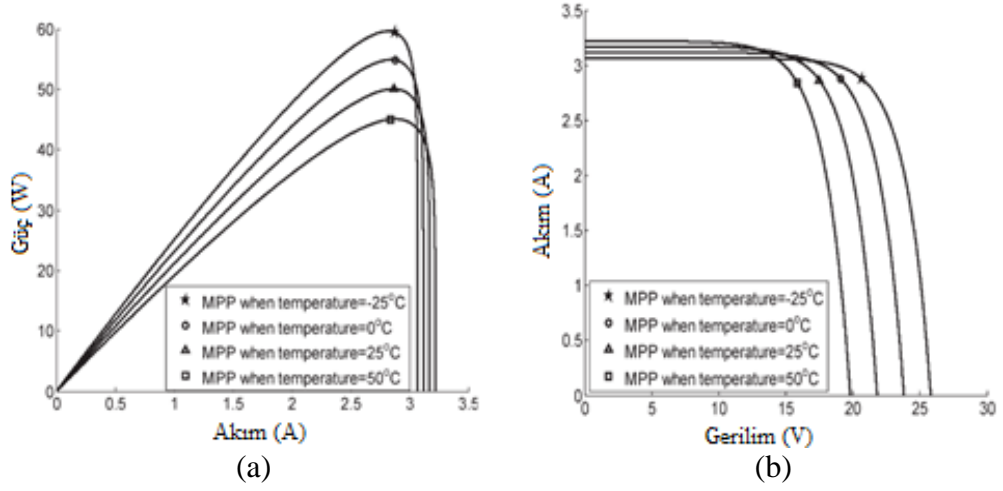
Şekil 2.14. Cam hasarı görselleri (Köntges ve ark., 2014) (a) Çok sıkı vida nedeniyle cam hasarı (b) Kelepçe tasarımı nedeniyle cam hasarı

2.4.11. Modül sıcaklığı

TamizhMani ve ark. (2003), PV modül akım ve gerilim değerlerini etkileyen modül sıcaklığı ile ilgili olarak uzun süren çalışmalarının sonucunda ortam sıcaklığı, ışınım, nem ve rüzgâr hızı ile yönü değişimlerinin modül sıcaklığını etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında farklı modüller için sabitler belirterek bu sabitler kullanılarak değişkenler yardımı ile modül sıcaklığının tespit edilmesi için verilen Eş. 2.20'de bulunmaktadır.

Yapılan çalışmaların bazıları maksimum verime ulaşılan sıcaklığın belirlenmesi üzerine olup Moharram ve ark. (2013), Mısır'daki çöl bölgeleri gibi sıcak kurak bölgelerdeki çalışmalarında izin verilen en yüksek sıcaklığı (MAT) olarak belirtmişler, 45 °C ye ulaşılarak soğutma işleminin uygulanması ile en yüksek çıkış enerjisine ulaşılacağını bildirmişlerdir. Soğutma işlemi için soğutma hız modeli geliştirmişlerdir.

Panel sıcaklığının 273-523 K aralığında performans değişimi üzerine yapılan çalışmalarında: artan sıcaklık nedeni ile ters doygunluk akım yoğunluğunun artması, açık devre geriliminin ve doldurma faktörünün azalmasına neden olmakta olup sonuç olarak verim azalacaktır (Singh ve ark., 2012).



Şekil 2.15. 1000 W/m² ışınımında hücre sıcaklığının Güç-Akım-Gerilim üzerindeki etkileri (Xiao ve ark., 2007) (a) Güç-Akım üzerindeki etkisi (b) Akım-Gerilim üzerindeki etkisi

Xiao ve ark. (2007), yalıtım ve sıcaklık değişiminin fotovoltaik sistemde alınan maksimum güç noktasında güç ve gerilim, akım ve gerilim değerlerinin üzerindeki etkisi grafiklerinden de anlaşılmaktadır.

Sıcaklık artışının 1 °C de verim üzerindeki etkisi %0,5'e karşılık gelmekte olduğunu bildiren Abd-Elhady ve ark. (2016), panel verimini artırmak için Labovac yağı ile kaplama işlemi yapmışlar, işlemin fotovoltaik panelin güneş geçirgenliğini artırmasının yanında panel ısınmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Tripanagnostopoulos ve ark. (2005), 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda yapmış oldukları çalışmalarında sıcaklık artışının yükseldikçe belirli bir değerden sonra elektrik ve termal enerjinin azalmasına neden olduğu ve ek cam uygulamasının sera etkisi neden olacağından elektriksel çıkışı azaltırken termal çıkışı artıracığını belirtmişlerdir. Çalışmalarından ortam sıcaklığı ve güneş ışınımına bağlı olan hücre sıcaklığı kayıplarında eklenerek hesaplanmasında kullanılabilir Eş. 2.33'te verilmektedir.

$$T_{pv} = 30 + 0,0175 (G - 150) + 1,14 (T_a - 15) \quad (2.33)$$

Burada PV/T sistemlerde elektriksel verimlilik sadece ışınım ve sıcaklığa bağlı değil soğutucu sisteme de bağlı olduğunu belirten çalışmalarında yatay çatılar için kullanılabilir eşitlikler geliştirmişler, bunlar camlı ve camsız PV/T sistemler içindir. Camsız sistemler için geliştirilen Eş. 2.34, Eş. 2.35, Eş. 2.36'da bulunmaktadır.

$$\eta_e = 0,1659 - 0,00094 T_{pv,eff} \quad (2.34)$$

$$T_{pv,eff} = T_{pv} + (T_{pvt} - T_a) \quad (2.35)$$

$$\eta_{th} = 0,54 - 10,77 \left(\frac{\Delta T}{G}\right) \quad (2.36)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilen iki adet polikristal PV modülden bir tanesinin arka yüzeyine tasarımı yapılan alüminyum kanal tesisatı, alüminyum bant ve folyo ile sabitlenmiştir. Polistren levha ile tesisat üzeri ve çevresi ortama olabilecek ısı kaybının engellenmesi için kapatılmıştır. Profiller yardımıyla izolasyon levhası modül çerçevesine sabitlenerek PV/T modül olarak kullanılmıştır. Diğer PV modül sonuçların karşılaştırılabilmesi için referans modül olarak kullanılmıştır.

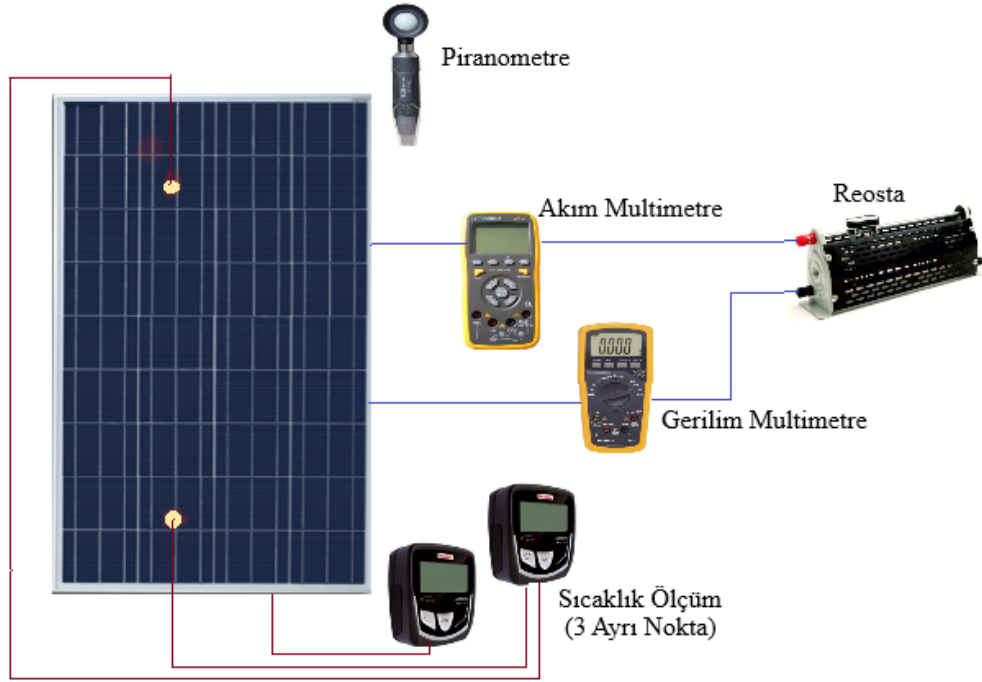
Analiz yapılmak üzere 40,58 enlem, 34,98 boylam koordinatlarında modüllerin 32° sabit açıda, güney yönü doğrultusunda montajları yapılmıştır. Şebekeden sağlanan su soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. 03.08.2019 günü 0,83 l/dk sabit debi, 04.08.2019 günü 1,25 l/dk sabit debi, 05.08.2019 günü 1,67 l/dk sabit debi, 06.08.2019 günü 2,08 l/dk sabit debi ve son olarak 07.08.2019 günü 2,50 l/dk sabit debi olmak üzere beş gün saat 09.30 ile 16.30 arasında referans PV ve PV/T modül performansları ölçülen veriler kullanılarak incelenmiştir. Çalışma süresinde modüllerin ön yüzeyinde iki adet, modüllerin arka yüzeyinde bir, soğutucu giriş ve çıkışında birer adet olmak üzere sekiz noktadan sıcaklık değerleri 10 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Ayarlı Reosta ile 1 Ohm’dan başlanılarak 10 Ohm’a kadar her 30 dakika zaman aralığında referans PV ve PV/T modüllerin akım ve gerilim değerleri multimetreler yardımı ile ölçülerek kayıt edilmiştir. Modül sehpasına 32° açıda sabitlenen piranometre ile ışınım değerleri W/m^2 biriminde ölçülmüştür. Deney sonuçlarının tez kapsamında analizinde kullanılan sabit değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Fotovoltaik modül hesaplamalarında kullanılan sabit değerler

$T_{güneş}$ (Güneş Sıcaklığı)	5762 ±50 K (Anonim, 2019)
Stefan Boltzmann Sabiti (σ)	$5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K$
C_p	4180 J/kg K

3.1. Deney Seti ve Kullanılan Materyaller

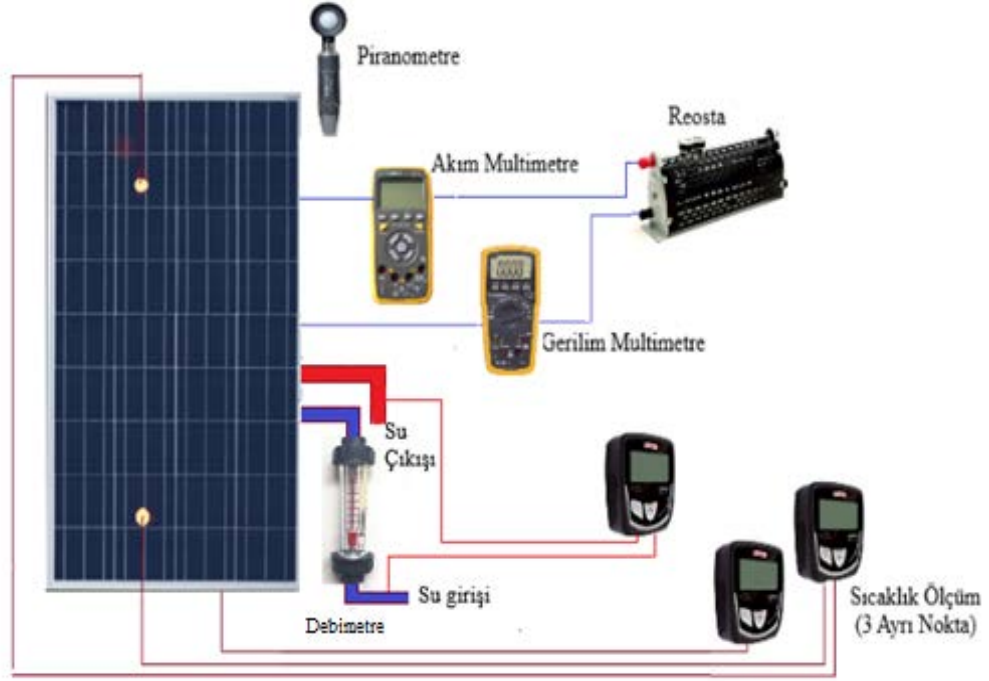
Yapılan çalışmada elektriksel ve ısısal güç üretilmesinde bağımlı ve bağımsız değişkenler olan dış hava sıcaklığı, modül yüzey sıcaklığı, solar ışınım değişimi, rüzgâr hızı, modüle entegre edilen soğutucu giriş ve çıkış sıcaklığı, yük altında akım ve gerilim değerleri ölçülerek nasıl etkilendikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Referans PV modül bağlantı şeması Şekil 3.1’de görüldüğü gibi her iki modül bağlantılarında elektriksel verilerin ölçümünde akım değeri devreye seri bağlanan multimetre ile, gerilim değeri devreye paralel bağlanan multimetre ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Elektriksel yük ise devreye seri bağlı Reosta ile uygulanmıştır. Her iki modül yüzey sıcaklıkları eşit noktalardan ölçülmüştür. Modül üzerindeki hücrelerin bulunduğu alan $0,901 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.1. PV sistem tasarım görseli

Çalışmalar esnasında test cihazlarının PV/T modül bağlantı şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Referans modülden farklı olarak sistemde debimetre bulunmaktadır. Soğutma sistemi girişinde bulunan debimetre yardımı ile sistemde dolaşan soğutma

suyunun debi değeri ölçülerek gün boyunca sabit kalması sağlanmıştır. Debimetreden önce ve modül çıkışında su sıcaklık değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.2. PV/T sistem tasarım görseli

Test düzeneği üzerinden elde edilen veriler Excel tabloları oluşturularak mukayese edilmiş, modül üzerinde oluşan sıcaklık değişiminin elde edilen akım-gerilim değerlerini nasıl etkilediği grafikler ve tablolar yardımı ile ortaya konulmuştur. Test düzeneğinde kullanılan materyaller hakkında bilgiler aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.3. PV ve PV/T modül sehpa ölçüleri

Raf profili olarak adlandırılan profiller ile Şekil 3.3'te gösterildiği ölçülerde 32° açı oluşturularak montaj yapılmıştır. Su terazisi yardımıyla profil bağlantıları zemin ile paralel olacak şekilde ayarlanmıştır. Profil sehpa kurulumu tamamlanmış, referans PV ve PV/T modül yerleştirilerek sabitlenmiştir (Resim 3.1).



Resim 3.1 Profil sehpa kurulum aşamaları

3.1.1. Fotovoltaik modül

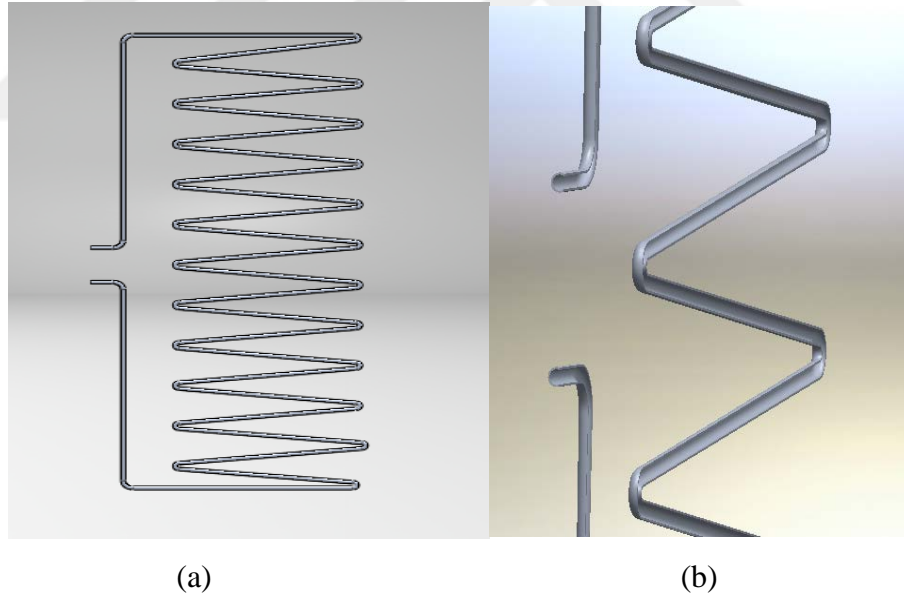
Test esnasında kullanılan polikristal fotovoltaik modüller $156 \times 156 \text{ mm}^2$, 36 adet (4*9) PV hücreden oluşmaktadır. Eva ve TPT filmlerin lamine edilmiş, alüminyum profiller

ile çerçeve oluşturularak üretilmiştir. 1000 W/m^2 ışık şiddeti $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hücre sıcaklığı 1,5 hava kütlesi şartlarında test edilen modüllerde 3,2 mm Temperlenmiş anti reflektif Güneş Camı kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Modül teknik özellikleri

Maksimum Güç (Pmax)	150 W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	18,79 V
Açık Devre Gerilimi (Voc)	22,36 V
Maksimum Güç Akımı (Imp)	7,98 A
Kısa Devre Akımı (Isc)	8,52 A
Çalışma Sıcaklığı	$-40 \text{ }^\circ\text{C} + 85 \text{ }^\circ\text{C}$
Güç Toleransı	$\pm \%3$
NOCT	$45 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
Boyutlar	1480 x 680 x 35 mm

3.1.2. Alüminyum kanal



Şekil 3.4. Tasarımı yapılan soğutucu (a) Alüminyum kanal tesisatı (b) Soğutucu kanal kesit görüntüsü

Çalışma esnasında 13 metre uzunluğunda 8 milimetre dış çap, 1 milimetre iç çap ölçüsünde alüminyum soğutucu kanal 18° açı ile zikzak olacak şekilde fotovoltaik modül arka yüzeyine yerleştirilmiş olup modül arka yüzeyine alüminyum folyo ve bantlar vasıtası ile sabitlenmiş ve polistren levha yardımı ile modül arkası ve yan

yüzeyler kapatılarak izolasyonu tamamlanmıştır. Kanal bağlantılarından kelepçe yardımı ile sıvı kaçağı önlenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan alüminyum soğutucu kanal Şekil 3.4’te görüldüğü gibi tasarlanmıştır.

3.1.3. Polistren levha

XPS olarak bilinen pürüzlü oluksuz polistren ısı yalıtım levhası düşük su emme özelliği nedeni ile ısı iletkenlik değerini uzun süre muhafaza etmektedir. PV modülümüzün arkasına yerleştirilen alüminyum soğutucu tesisatın dış ortamla ısı alışverişinin önlenmesi için kullanılmıştır. Sert yapısı sayesinde modül çerçevesi ile arasına sıkıştırılan 1 cm ölçüsünde 3 adet profil sayesinde kanalın modül arka yüzeyine temasının fazla olması sağlanmıştır.

Çizelge 3.3. Polistren ısı yalıtım levhası teknik özellikleri

Kalınlık	20 mm
Boyut (En x Boy)	600 mm x 1200 mm
RD (Isıl İletkenlik Direnci)	0,60 m ² K/W
λ_d (Isı iletkenlik katsayısı)	0,033 W/m K
Belirli sıcaklık ve nem şartları altında boyut kararlılığı ($\Delta\epsilon_l$, $\Delta\epsilon_b$, $\Delta\epsilon_d$)	DS (70,90)
Belirli basınç yükü ve sıcaklık şartları altında deformasyon (et)	DLT (2)5

3.1.4. Debimetre



Resim 3.2. Debimetre görseli

LZS-15 model soğutma hattı üzerine bağlanan debimetre sayesinde sıvı akış oranı ölçülerek l/dk birimine çevrilmiştir. Şebeke sisteminden sağlanan su girişi sabit debi değerine ayarlanarak günlük ölçümler tamamlanmıştır. 6 bar basınca dayanıklı debi metre 0 ile 60 °C sıcaklık aralığında çalışmakta olup ½” bağlantı özelliğine sahiptir.

3.1.5. Piranometre

Test düzeneğinde kullanılan Cem DT 185 solar datalogger: metre kareye düşen güneş ışınımı şiddetinin kayıt altına alınarak bilgisayar ortamına aktarılması için kullanılmaktadır. Toplamda 32000 kayıt kapasiteli cihazımız, 30 saniye aralıkla ölçüm yapmak üzere ayarlanmıştır. Bilgisayar ortamına ürün beraberinde gönderilen program ile kayıtlar alınarak güç ve verim hesaplamalarında kullanılmıştır.



Resim 3.3. Güneş Işığı Kayıt Cihazı

Modül sehpasına 32° açıda montajı yapılarak alınan kayıtlar günlük olarak bilgisayar ortamına aktarılmış olup, modül üzerine düşen güneş ışınımının tespit edilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Güneş ışığı kayıt cihazı teknik özellikleri

Güneş Işığı Kayıt Cihazı	Ölçüm Aralığı	0--1999 W/m ²
	Kararlılık	1 W/m ²
	Doğruluk	±5% ~ +10 W/m ²
Günlük	Seçilebilir örnekleme aralığı: 1-3600 s	
Pil türü	3,6 lithium	
Çalışma sıcaklığı	0~50 °C (32~122 °F)	
Depolama sıcaklığı	-10~60 °C (-4~140 °F)	
Bağıl nem	10%~90% RH çalışma, <80%RH depolama	

3.1.6. Sıcaklık kayıt cihazı



Resim 3.4. KIMO KTT310 sıcaklık kayıt cihazı

Yapılan çalışmalar süresince PV ve PV/T modüllerin ön yüzeyi, arka yüzeyi, sıvı sıcaklıklarının ölçülmesinde kullanılan Kimo KTT310 model datalogger özellikli ısı çifti kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. 4 Kanallı sıcaklık kayıt cihazı teknik özellikleri

K Tipi Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-200 °C ...+400 °C
J Tipi Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-100 °C ...+750 °C
T Tipi Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-200 °C ...+400 °C
Doğruluk	0,1 °C, 0,1 °F
Sensor Girişi	2
Hafıza Kapasitesi	Termokupl başına 100000 kayıt
Güç Kaynağı	1 Adet lithium 3,6 V ½AA

Sıcaklık kayıt cihazlarının sensor bağlantıları modül yüzeylerine geçici olarak ısıya dayanıklı bantlar yardımı ile bağlanılmış olup doğru ölçüm alınması amaçlanmıştır.

3.1.7. Akım/gerilim multimetre

Çalışmalar esnasında fotovoltaik modül ve fotovoltaik ısı modül çıkışlarına TT-Technic marka multimetrelerden VC-10C devreye seri bağlanmış akım ölçümünde kullanılmıştır. VC-70C model olanı devreye paralel olarak bağlanmış gerilim ölçümünde kullanılmıştır (Resim 3.5).



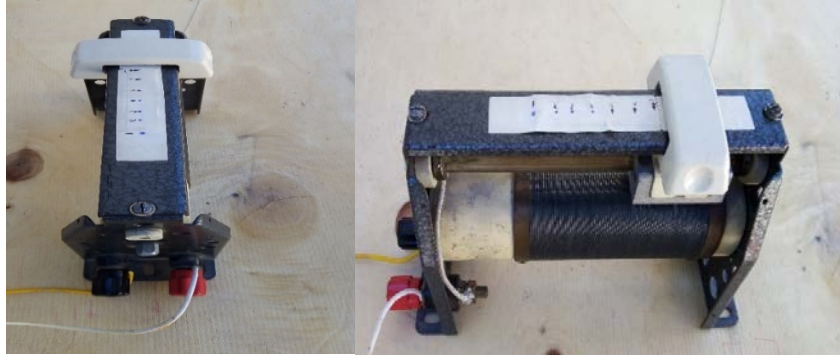
Resim 3.5. TT-Technic VC10C, VC70C Akım/Gerilim multimetre

Çizelge 3.6. TT-Technic VC10C, VC70C Akım/Gerilim Multimetre teknik özellikleri

	VC-10C	VC-70C
Okuma Miktarı	3999	3999
Çözünürlük	3 ³ / ₄ Dijit	3 ³ / ₄ Dijit
DC Voltaj Kademe	400mV, 4V, 40V, 400V, 1000V... [$\pm 1\% + 4$]	400mV, 4V, 40V, 400V, 1000V.... $\pm(0.5\%+4)$
AC Voltaj Kademe	4V, 40V, 400V, 750V... [$\pm 1\% + 6$]	400mV, 4V, 40V, 400V, 750V.... $\pm(0.8\%+10)$
DC Akım Kademe	400 μ A, 4000 μ A, 400mA, 10A... [$\pm 2\% + 6$]	30mA, 300mA, 10A.... $\pm(1.5\%+10)$
AC Akım Kademe	400 μ A, 4000 μ A, 400mA, 10A... [$\pm 2\% + 15$]	30mA, 300mA, 10A.... $\pm(1.5\%+10)$
Direnç Kademe	400 Ω , 4k Ω , 40k Ω , 400k Ω , 4M Ω , 40M Ω ... [$\pm 1.2\% + 5$]	400 Ω , 4k Ω , 40k Ω , 400k Ω , 4M Ω , 40M Ω $\pm(0.8\%+4)$
Kapasite Kademe	400nF, 4 μ F, 40 μ F, 200 μ F... [$\pm 5\% + 8$]	4nF, 40nF, 400nF, 4 μ F, 40 μ F, 200 μ F... $\pm(2.5\%+20)$
Frekans Kademe	100Hz, 1000Hz, 10kHz, 100kHz, 1MHz, 30MHz... [$\pm 0.5\% + 4$]	100Hz, 1000Hz, 10kHz, 100kHz, 1MHz, 30MHz.... $\pm(0.5\%+10)$
Boyut	155 X 90 X 48mm	200 x 90 x 45
Pil	9V	3V

3.1.8. Reosta

Çalışmalarda sistem akım ve gerilimlerinin yük altında belirlenmesi için ayarlı reosta ölçüm tesisatında seri bağlı olarak kullanılmıştır. Reosta 5 Ohm, 10 Amper özelliklerindedir. 1 ile 10 Ohm direnç aralığı arasında 1 Ohm artırılarak 09.30 ile 16.30 saatleri arasında 10 dakikalık aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Test süresinde grafiklerden de anlaşılacağı gibi 2 Ohm elektriksel yük ile en yüksek güç elde edilmektedir.



Resim 3.6. 5Ω, 10 amper değerinde ayarlı Reosta



Resim 3.7. Fotovoltaik modül arka yüzeyine soğutma sisteminin montaj aşamaları

PV/T modül üretim aşamaları montaj sırası Resim 3.7 ve Resim 3.8’de görüldüğü gibi tamamlanmıştır. Tesisatta meydana gelebilecek su kaçaqları sistemin geçici olarak şebeke ile bağlantısı yapılarak kontrol edilmiş, herhangi bir su sızıntısı bulunmadığı görüldükten sonra montaj işlemimiz tamamlanmıştır.



Resim 3.8. Fotovoltaik ısıl modül arka yüzeyinin polistren levha ile kapatılarak izolasyon işleminin yapılması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Referans PV ve PV/T modül elektriksel güç, elektriksel verim, PV/T modülünden elde edilen ısı verim değerlerinin belirlenmesi için beş gün sonunda deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler aşağıda grafikler halinde mukayese edilmiştir.

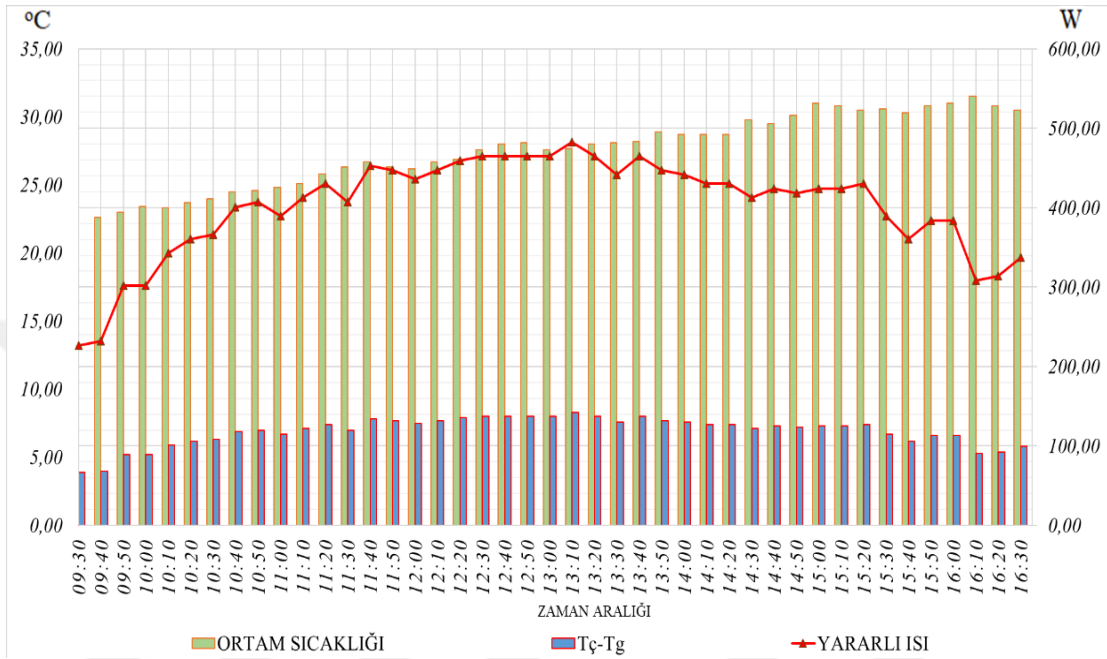
4.1. PV, PV/T Sistemlerin Elektriksel Verileri ve Verimlerinin Karşılaştırılması

Çorum ilinde 03.08.2019 ile 07.08.2019 günleri arasında 32° açıda gerçekleştirilen çalışmada, sabah 09.30 ile 16.30 arasında 10 dakika aralıkla referans PV ve PV/T modül ön ve arka yüzey sıcaklıkları, soğutucu suyun sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş olup ayrıca her 30 dakika ara ile PV ve PV/T modüllerin elektrik çıkışlarına seri bağlanan reosta ile 1 Ohm dan 10 Ohm'a kadar 1 Ohm artırılarak elektriksel yük altında akım ve gerilim değerleri ölçülmüş, elektriksel güç ve elektriksel verim değerleri hesaplanmıştır. Piranometre, modül ile aynı açıda profil sehpaye sabitlenmiş olup 30 saniyelik aralıklarla ışınım değerleri kayıt altına alınmıştır. Ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tüm günlerde sistemin dengeli hale gelmesi ve doğru verilerin elde edilebilmesi için 30 dakika öncesinde saat 09.00'da modül yüzeyleri temizlenerek soğutma sistemi devreye alınmıştır. Yorumlar esnasında grafiklerde soğutma suyu sıcaklık farkı $T_c - T_g$ olarak gösterilecektir.

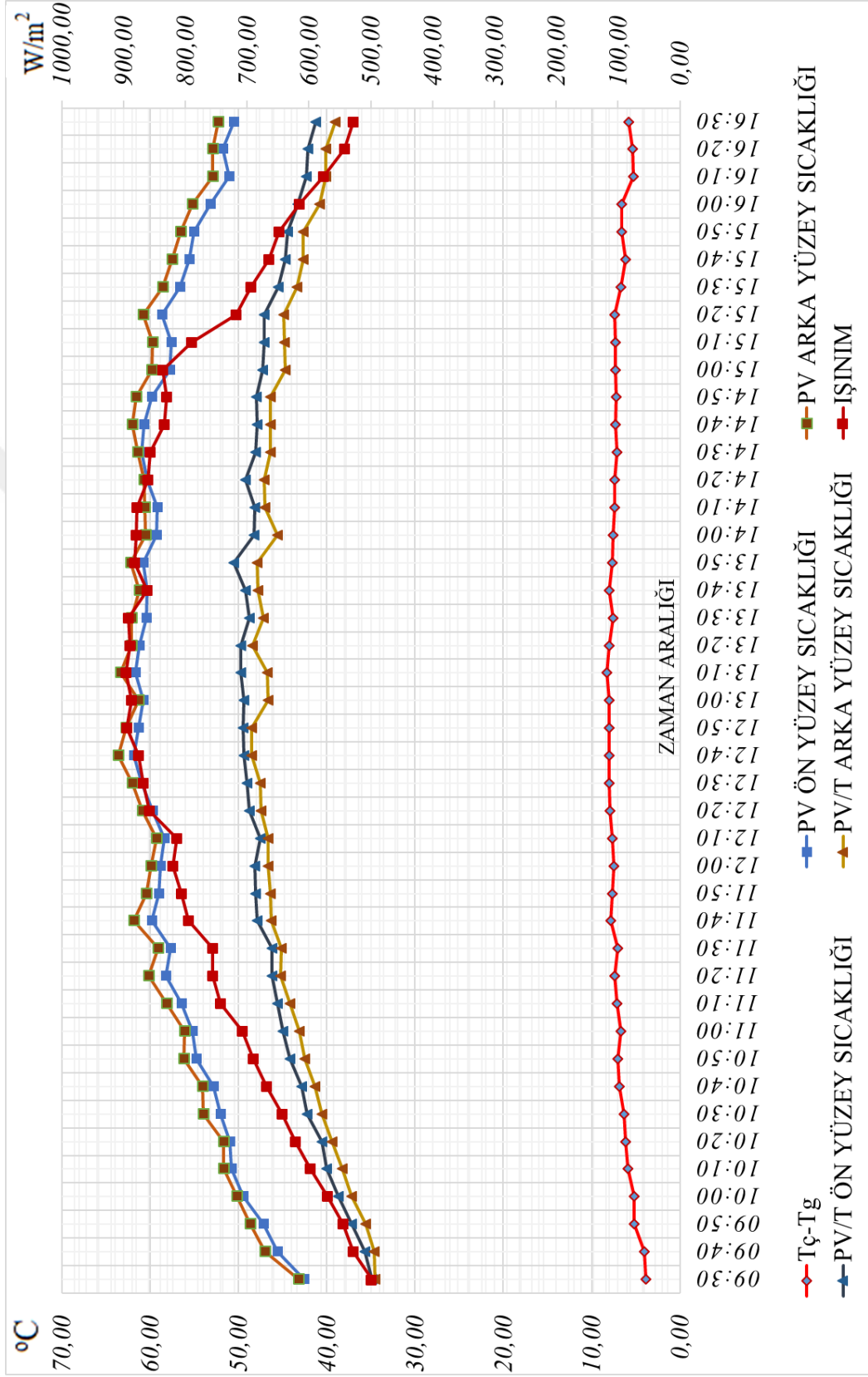
4.1.1. 03.08.2019 günü 0,83 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma

Hazırlanan deney düzeneğinde su akışı 0,83 l/dk sabit debide yapılan ölçümlerde soğutma amaçlı olarak kullanılan şebeke suyu sıcaklığı test süresi boyunca 19,10 °C ile 22,80 °C sıcaklıkları arasında değişmekte olup ortalama olarak soğutucu girişi su sıcaklığı 21,64 °C değerindedir. Çalışmanın yapıldığı sürede rüzgâr hızı en düşük 0,20 m/s en yüksek 2,20 m/s hızları arasında değişmiştir. Işınım değerlerinde saat 15.00'ten sonra azalma görülmekte olup ortam sıcaklığının saat 16.30'a kadar yükselmekte olduğu belirlenmiştir. Soğutma sisteminde sabit debide sisteme girişi sağlanan şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark testin gerçekleştirildiği süre içerisinde 3,90 °C ile 8,30 °C arasında değişmektedir. Yararlı ısı enerjisi saat 13.10'da 896,30

W/m^2 ışınlım da en yüksek değere ulaşmıştır. Ortam sıcaklığı ise en düşük $22,50\text{ }^{\circ}C$ en yüksek $31,50\text{ }^{\circ}C$ sıcaklık değeri arasında değişmiş olup ortalama ortam sıcaklığı $27,49\text{ }^{\circ}C$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



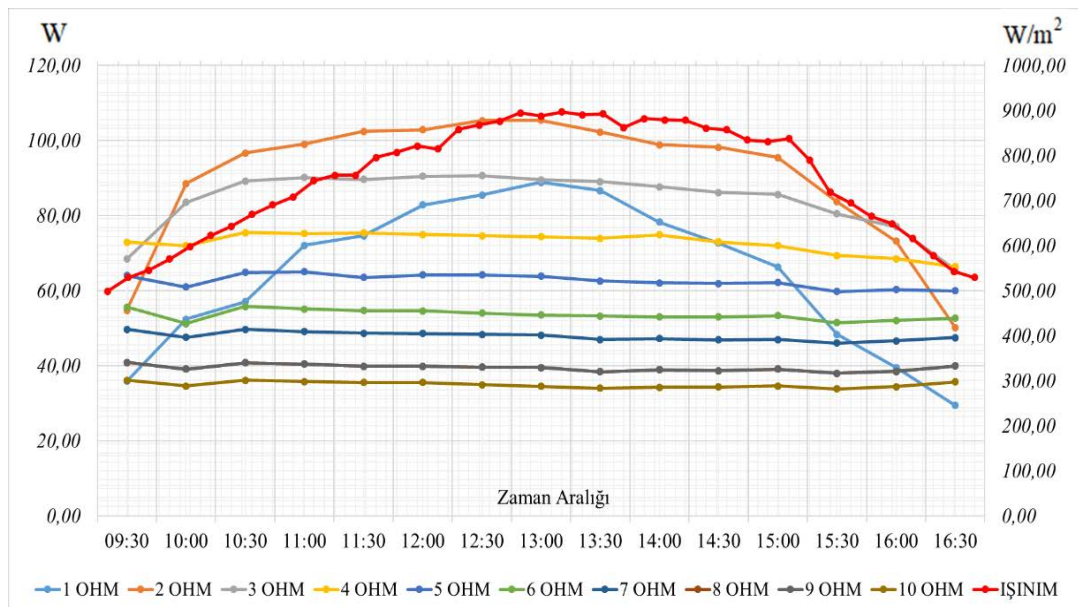
Şekil 4.1. 0,83 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi (03.08.2019)



Şekil 4.2. 0,83 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi (03.08.2019)

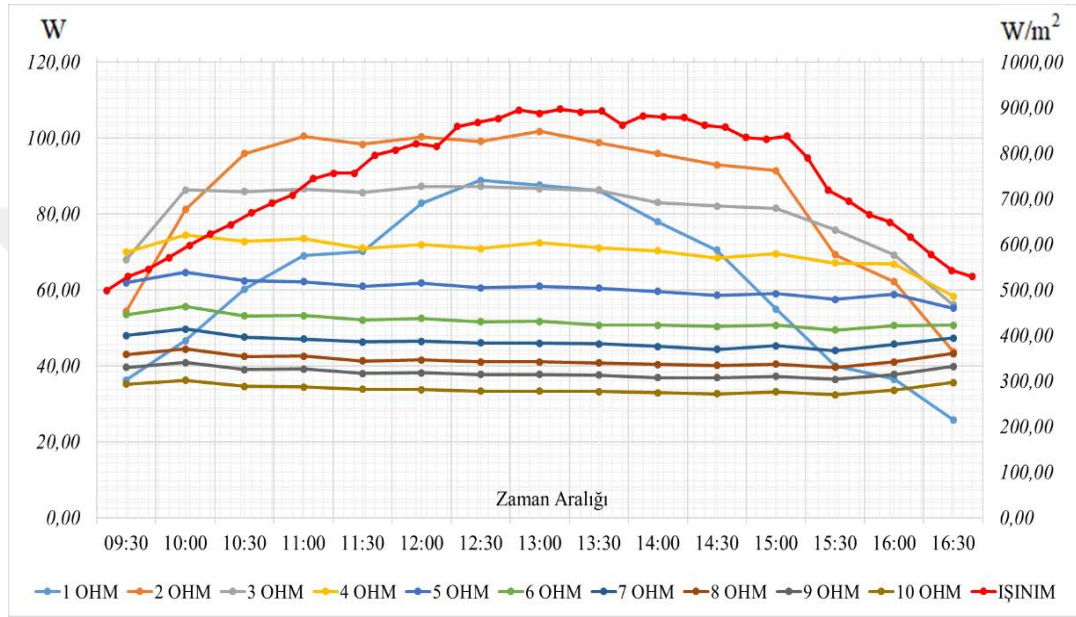
Modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanal tesisatından çıkan su sıcaklığı 23,60 °C ile 30,30 °C aralığında değişerek en yüksek çıkış sıcaklığı saat 13.50'de 881,70 W/m² ışınlımda elde edilmiştir. PV modül ön yüzey sıcaklığı 42,55 °C ile 61,80 °C arasında, arka yüzey sıcaklığı 43,20 °C ile 63,60 °C arasında değişmiştir. PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 34,90 °C ile 50,50 °C arasında, arka yüzey sıcaklığı 34,50 °C ile 48,50 °C arasında değişmekte olup PV modül saat 12.40'da, PV/T modülün öğlen saat 12.40 ve 12.50'de en yüksek arka yüzey değerine ulaştıkları tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

PV ve PV/T modül ön yüzey ve arka yüzeylerinden ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde: PV modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 1,38 °C olup arka yüzey sıcaklığı daha yüksektir. PV/T modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 1,71 °C olup ön yüzey sıcaklığının arka yüzeyden yüksek olduğu belirlenmiştir. PV modül yüzey sıcaklığı ile PV/T modül yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı soğutma tesisatı sayesinde yararlı ısı olarak soğutucu akışkana aktarılmıştır. Şekil 4.2'de modül yüzey sıcaklıklarının değişimi, ışınlım, soğutucu su sıcaklık farkının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3. 0,83 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi (03.08.2019)

Şekil 4.3 numaralı grafiğe göre PV/T modülün yük değişimleri incelendiğinde 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde saat 13.00'te 105,36 W olduğu belirlenmiştir. 2 Ohm yük değerinde güç artışının ışıınım değeri ile yaklaşık olarak aynı oranda değiştiği görülmektedir.

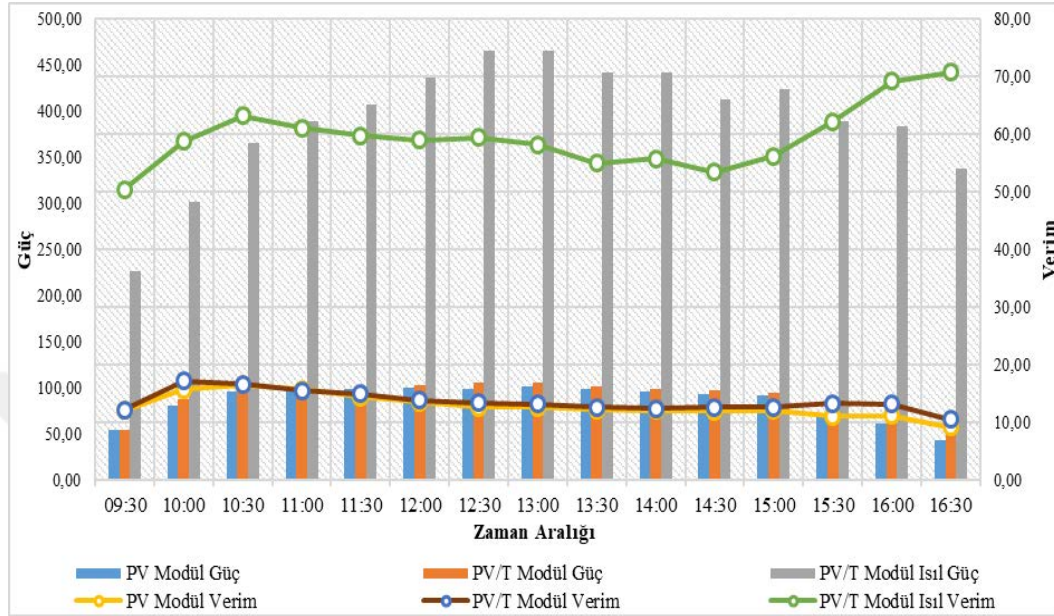


Şekil 4.4. 0,83 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi (03.08.2019)

PV modülün yük değişimleri grafiğinde: PV/T modül güç değişim grafiğinde olduğu gibi 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün değişmediği ve düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde ışıınımla orantılı olarak saat 13.00'te 101,71 W olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4). PV/T ve PV güç ölçümleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4, mukayese edilirse her modül için en yüksek güç çıkışının elde edildiği 2 Ohm yük değerinde, modül sıcaklığının düşürülmesi ile %5,54 güç artışı elde edildiği belirlenmiştir.

Soğutma suyunun tesisata düşük sıcaklık değerinde girmesi sonucu PV/T modül arka yüzeyinden ısı transferi gerçekleşmiş olduğu su sıcaklık farkından anlaşılmaktadır. Debi değeri ve su sıcaklık farkı yardımıyla yararlı ısı 10 dakika aralıkla hesaplanmış

olup Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yararlı ısının modül alanı ve ışınım şiddetine oranı ile ısı verim hesaplanmıştır.



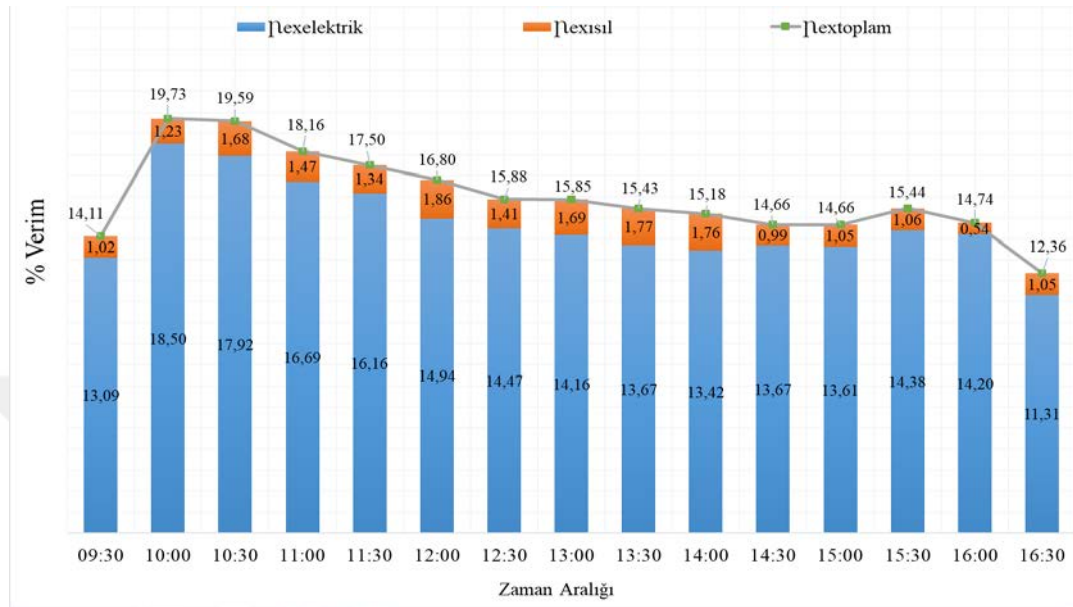
Şekil 4.5. 0,83 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimleri (03.08.2019)

03.08.2019 günü saat 09.30 ile 16.30 aralığında yapılan kontroller ve hesaplamalar sonunda 32° açı ve en yüksek elektriksel güç elde edilen 2 Ohm yük verilerine göre verim ve güç değerleri hesaplanarak grafik halinde zamana göre değişimi Şekil 4.5’te gösterilmektedir.

Öğlen saatlerinde her iki modül için elektriksel güç artmaktadır. Referans PV modül ortalama verimi %12,91; PV/T modül verimi ortalama %13,66; ısı verim ortalama %59,47 çıkmıştır (Şekil 4.5). PV ve PV/T modüllerin elektriksel verimleri arasında gün boyunca ortalama %5,83 fark bulunmuştur. Modül sıcaklığının düşürülmesi sonucu verim artışının gerçekleştiği grafikten anlaşılmakta olup PV/T modül ortalama toplam verimi %73,13 bulunmuştur.

PV/T modül elektriksel ekserji ortalaması %14,68 olup saat 10.00’da en yüksek değerine ulaşmaktadır. Isıl ekserji ortalama değeri %1,33 olup saat 12.00’de en yüksek

değere ulaşmakta ve toplam ekserji ortalaması %16,01 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.6).

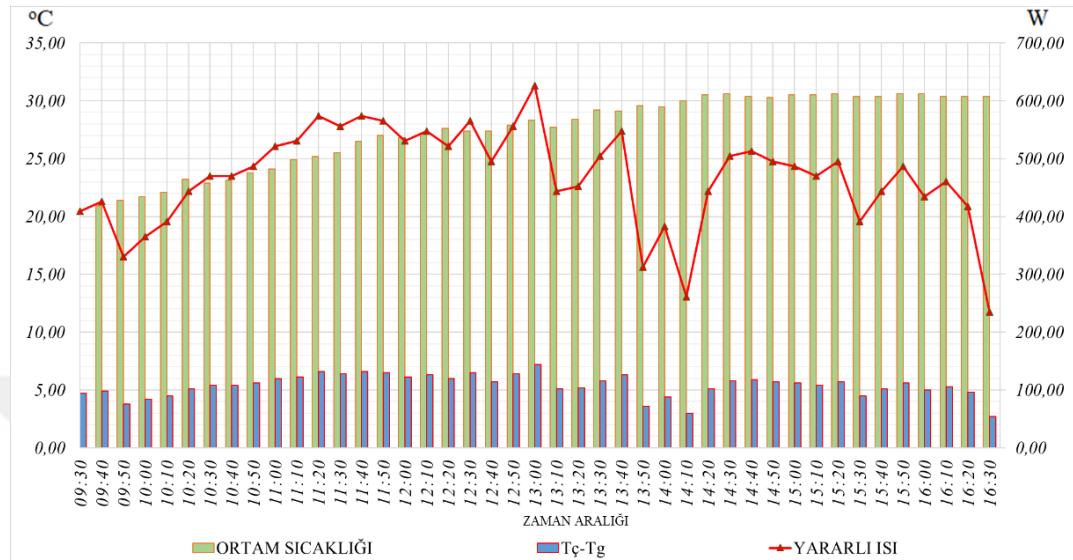


Şekil 4.6. 0,83 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri (03.08.2019)

4.1.2. 04.08.2019 günü 1,25 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma

Hazırlanan deney düzeneğinde 1,25 l/dk sabit debide gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde soğutma amaçlı olarak kullanılan şebeke suyu sıcaklığı test süresi boyunca 18,40 °C ile 21,70 °C sıcaklıkları arasında değişmekte, ortalama olarak soğutucu girişi su sıcaklığı 20,59 °C değerindedir. Çalışmanın yapıldığı sürede rüzgâr hızı en düşük 0 m/s en yüksek 4,90 m/s hızları arasında değişmiştir. Ortam sıcaklığı ise en düşük 20,50 °C en yüksek 30,60 °C sıcaklık değeri arasında değişmiş, ortalama ortam sıcaklığı 27,33 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma sisteminde sabit debide sisteme girişi sağlanan şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark testin gerçekleştirildiği süre içerisinde 2,70 °C ile 7,20 °C arasında değişmektedir. Işınım değerlerinde saat 12.10 ile 14.20 arasında 1026,22 W/m² ile 428,00 W/m² aralığında değişmiştir. Ortam sıcaklığının saat 16.30'a kadar yükselmekte olduğu Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Yararlı ısı enerjisi saat 13.00'te 796,44 W/m² ışınım da en yüksek değerine ulaşmıştır. Şekil 4.7'de ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve sisteme sabit debide gönderilen şebeke

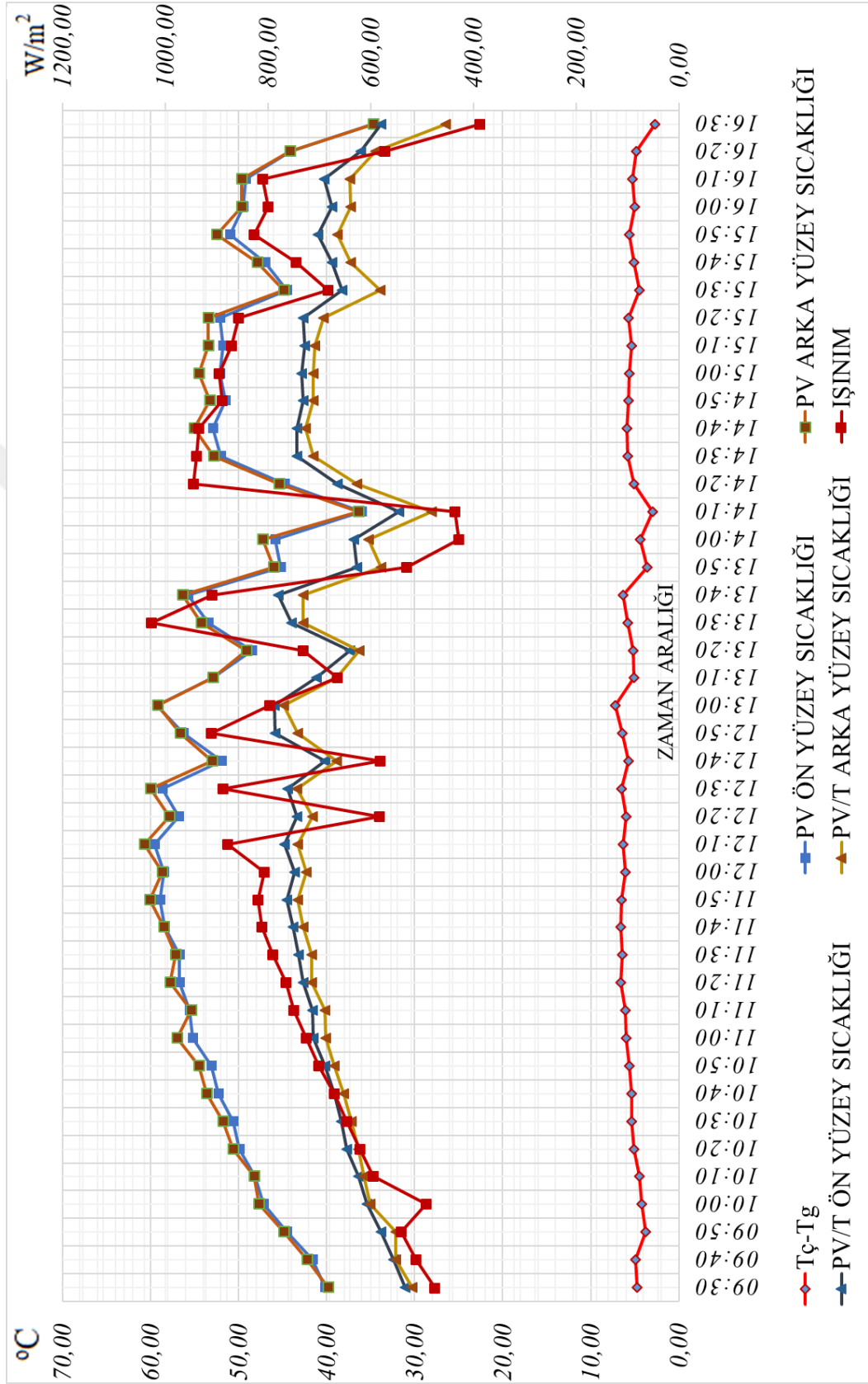
suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın ($T_{\text{ç}}-T_{\text{g}}$) zamana göre değişimi görülmektedir.



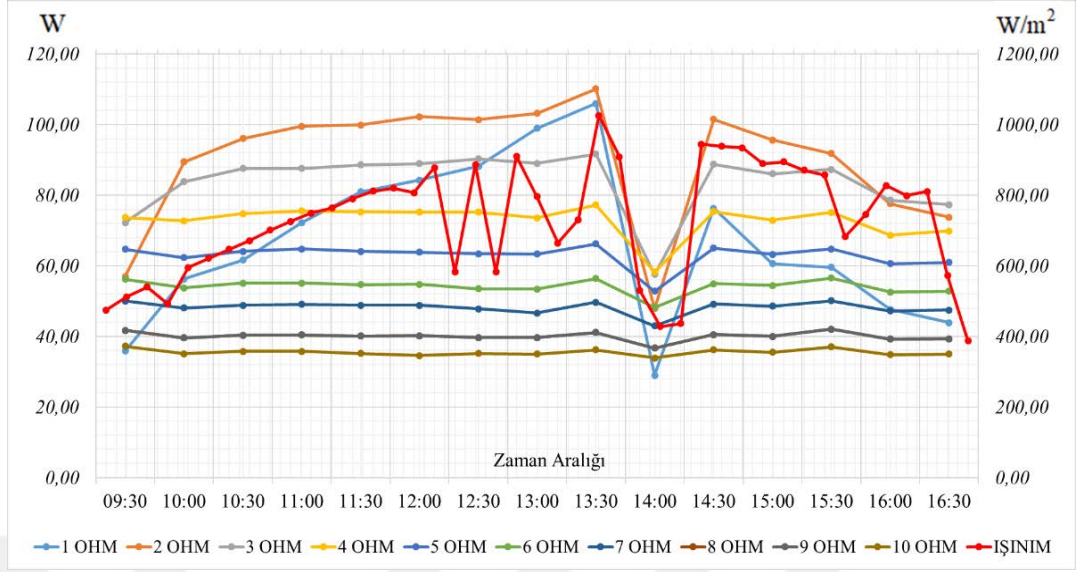
Şekil 4.7. 1,25 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi (04.08.2019)

Modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanal tesisatından çıkan su sıcaklığı 22,20 °C ile 28,50 °C aralığında değişerek en yüksek çıkış sıcaklığı saat 13.00'te 796,44 W/m² ışıнімda elde edilmiştir. PV modül ön yüzey sıcaklığı 34,75 °C ile 59,55 °C arasında olup arka yüzey sıcaklığı 34,70 °C ile 60,70 °C arasında değişmiştir. PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 31,10 °C ile 45,90 °C arasında olup arka yüzey sıcaklığı 26,50 °C ile 44,90 °C arasında değişmektedir. PV modül öğlen saat 12.10'da PV/T modül saat 13.00'te en yüksek arka yüzey sıcaklığı değerlerine ulaşmışlardır (Şekil 4.8).

PV ve PV/T modül ön yüzey ve arka yüzeylerinden ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde: PV modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 0,79 °C olup arka yüzey sıcaklığı daha yüksektir. PV/T modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 1,76 °C olup ön yüzey sıcaklığının arka yüzeyden yüksek olduğu belirlenmiştir. PV modül yüzey sıcaklığı ile PV/T modül yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı soğutma tesisatı sayesinde yararlı ısı olarak soğutucu akışkana aktarılmıştır. Şekil 4.8'de modül yüzey sıcaklıklarının değişimi, ışıнім, soğutucu su sıcaklık farkının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.

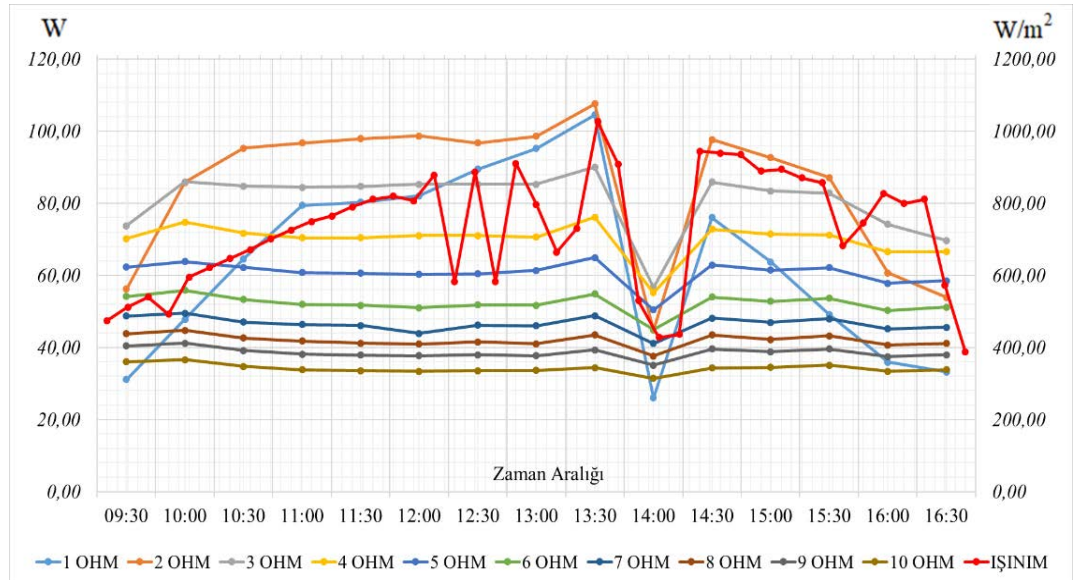


Şekil 4.8. 1,25 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi (04.08.2019)



Şekil 4.9. 1,25 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi (04.08.2019)

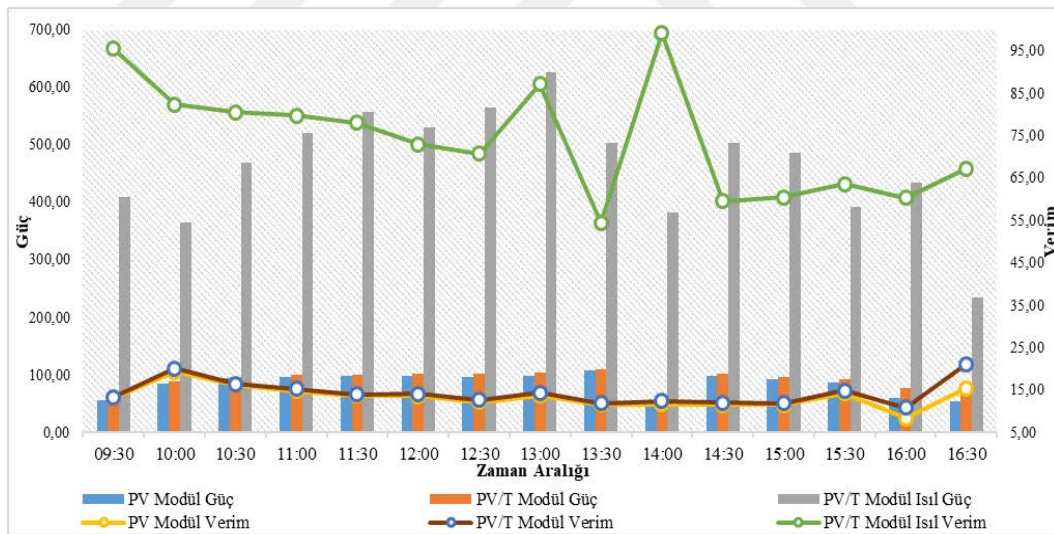
Şekil 4.9'dan PV/T modülün yük değişimleri incelendiğinde saat 14.00'de ışınımına bağlı ani güç azalması olduğu, 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile elde edilen gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde saat 13.30'da 110,14 W olduğu belirlenmiştir. 2 Ohm yük değerinde güç düşüşünün ışınım değeri ile aynı oranda değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.10. 1,25 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi (04.08.2019)

PV modülün yük değişimleri Şekil 4.10'da verilmekte olup; PV/T modül güç değişim grafiğinde olduğu gibi 14.00'da ışıma bağlı güç azalması olduğu, 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde ışımla orantılı olarak saat 13.30'da 107,55 W olduğu belirlenmiştir. PV/T ve PV güç ölçümleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'dan mukayese edilirse her modül için en yüksek güç çıkışının elde edildiği 2 Ohm yük değerinde, modül sıcaklığının düşürülmesi ile %6,06 güç artışı elde edildiği belirlenmiştir. 4 Ohm ve üzerindeki yük değerlerinde gün içinde alınan değerlerin ışıma şiddetinin düşmesi nedeni ile saat 14.00'te ani düşüşü dışında çok değişmediği görülmektedir.

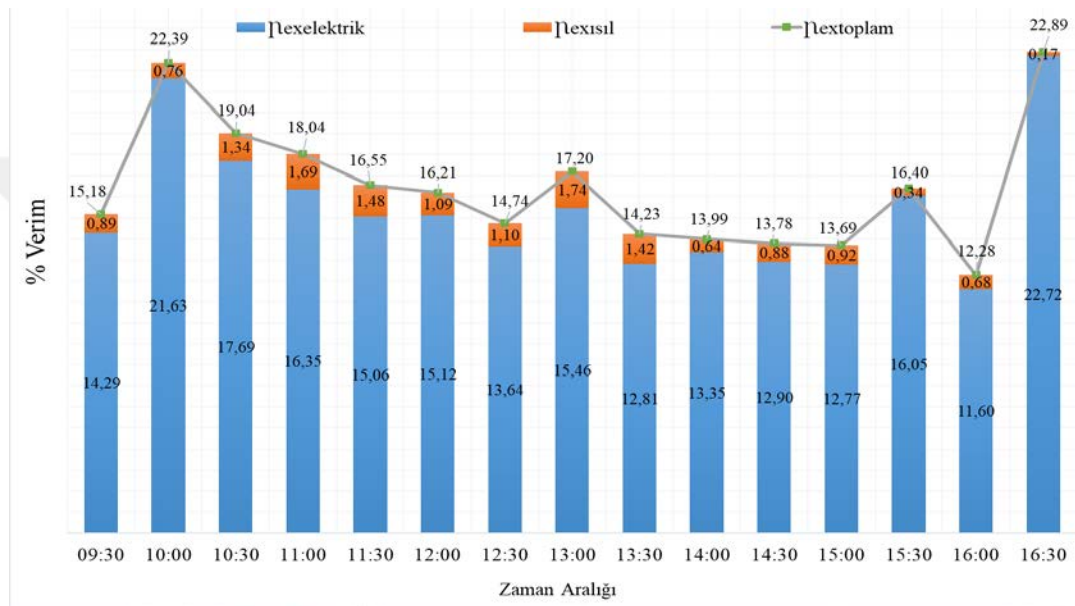
Soğutma suyunun tesisata düşük sıcaklık değerinde girmesi sonucu PV/T modül arka yüzeyinden ısı transferi gerçekleşmiş olup su sıcaklık farkı, debi değerleri yardımıyla yararlı ısı hesaplanarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Yararlı ısının modül alanı ve ışıma şiddetine oranı ile ısı verim hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. 1,25 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi (04.08.2019)

04.08.2019 günü saat 09.30 ile 16.30 aralığında yapılan kontroller ve hesaplamalar sonunda 32° açı ve en yüksek elektriksel güç elde edilen 2 Ohm yük verilerine göre verim ve güç değerleri hesaplanarak grafik halinde zamana göre değişimi Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Saat 14.00 dışında öğlen saatlerinde her iki modül için elektriksel güç artmaktadır. Referans PV modül ortalama verimi %13,41; PV/T modül verimi ortalama %14,36; ısı verim ortalama %74,15 çıkmıştır. PV ve PV/T modüllerin elektriksel verimleri arasında gün boyunca ortalama %7,11 sistemden ısı çekilmesi ile verim artışı gerçekleşmiştir. Fotovoltaik ısı modül ortalama toplam verimi %88,51 bulunmuştur (Şekil 4.11).



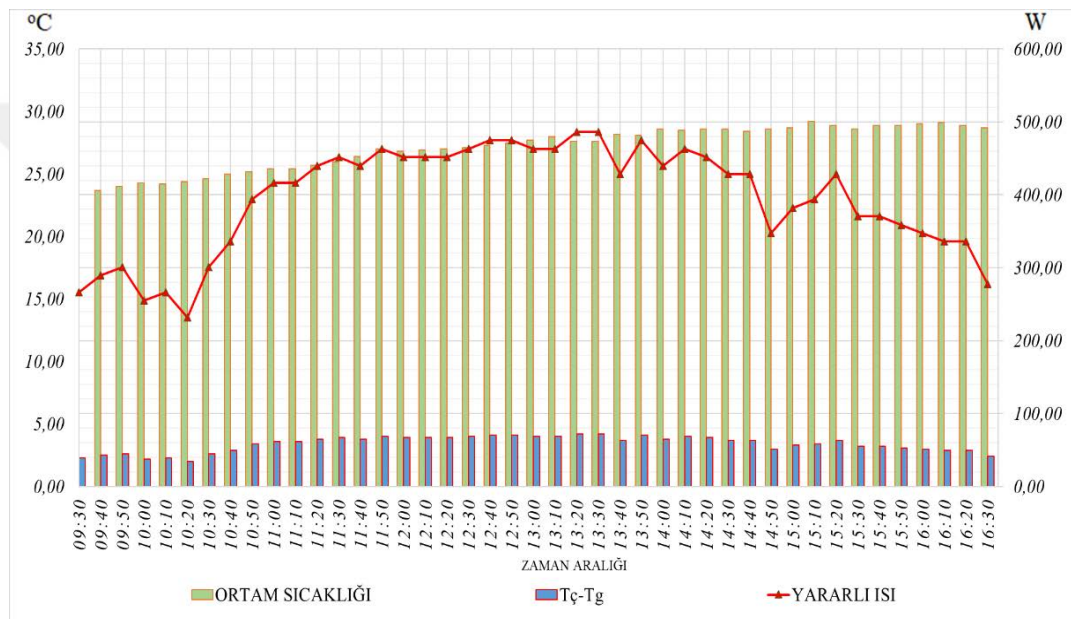
Şekil 4.12. 1,25 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri (04.08.2019)

PV/T modül elektriksel ekserji ortalaması %15,43 olup saat 16.30'da en yüksek değerine ulaşmakta, ısı ekserji ortalama değeri %1,01 olup saat 13.00'te en yüksek değere ulaşmaktadır. Toplam ekserji ortalaması %16,44 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.12).

4.1.3. 05.08.2019 günü 1,67 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma

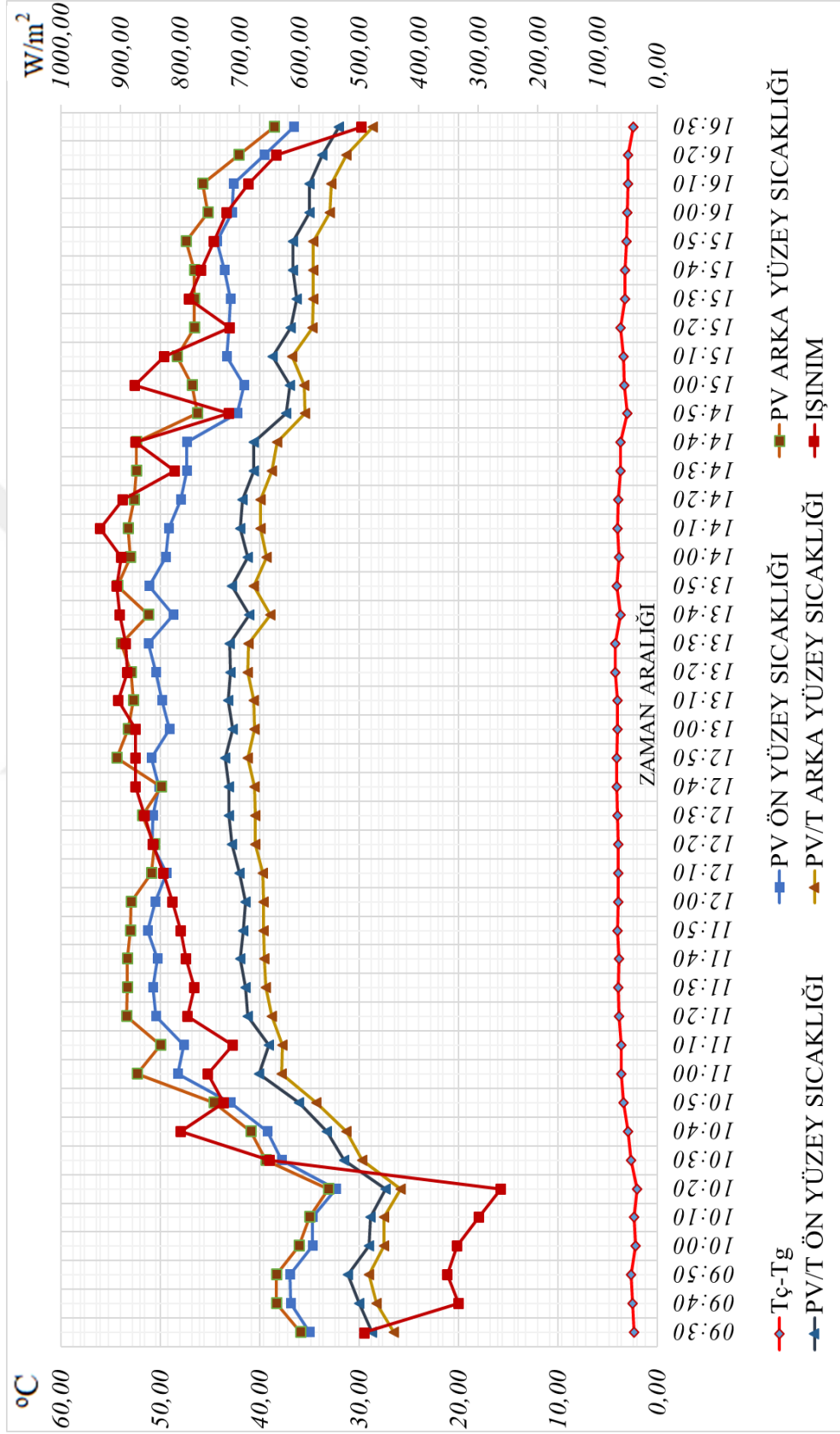
Hazırlanan deney düzeneğinde su akışı 1,67 l/dk sabit debide gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde soğutma amaçlı olarak kullanılan şebeke suyu sıcaklığı test süresi boyunca 18,80 °C ile 20,20 °C sıcaklıkları arasında değişmekte, ortalama olarak soğutucu girişi su sıcaklığı 19,57 °C değerindedir. Çalışmanın yapıldığı sürede rüzgâr hızı en düşük 1,40 m/s en yüksek 6,40 m/s hızları arasında değişmiştir. Ortam sıcaklığı

ise en düşük 23,40 °C en yüksek 29,20 °C sıcaklık değeri arasında değişmiş, ortalama ortam sıcaklığı 27,09 °C dir. Soğutma sisteminde sabit debide sisteme girişi sağlanan şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark testin gerçekleştirildiği süre içerisinde 2,00 °C ile 4,20 °C arasında değişmektedir. Yararlı ısı enerjisi saat 13.20 ve 13.30'da sırasıyla 888,70; 890,90 W/m² ışınlım değerlerinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Işınlım değerlerinde saat 14.10'dan sonra azalma görülmekte olup ortam sıcaklığının saat 16.30'a kadar yükselmekte olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13).



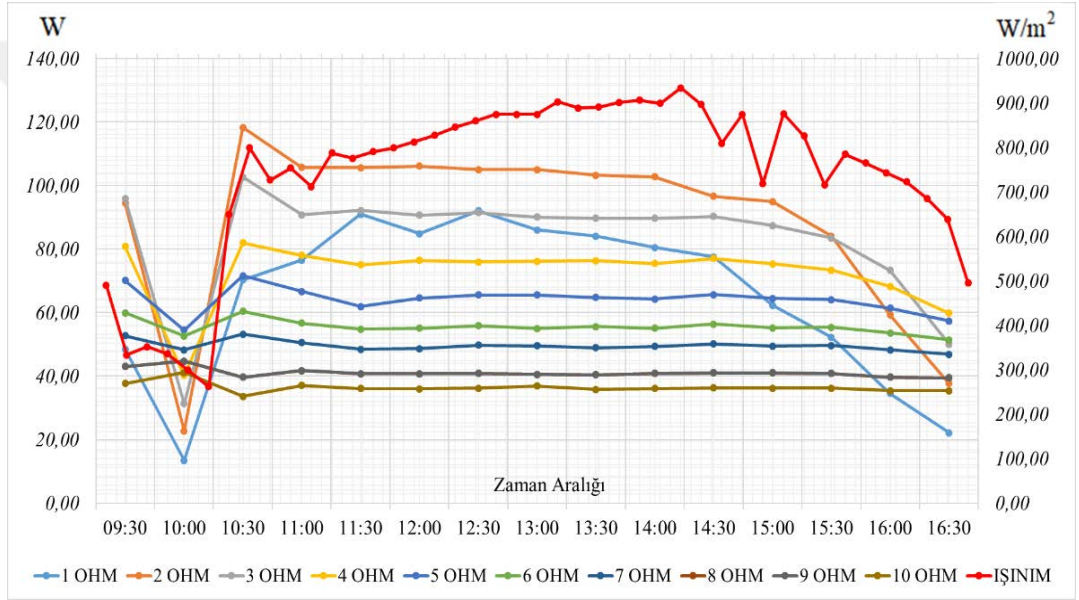
Şekil 4.13. 1,67 l/dk debide zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi (05.08.2019)

Modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanal tesisatından çıkan su sıcaklığı 20,90 °C ile 24,20 °C aralığında değişerek en yüksek çıkış sıcaklığı saat 13.20, 13.30 ve 13.50'de sırasıyla 888,70; 890,90 ve 906,50 W/m² ışınlım değerlerinde elde edilmiştir. PV modül ön yüzey sıcaklığı 32,35 °C ile 51,30 °C arasında olup en yüksek değerine 11.50'de, arka yüzey sıcaklığı 33,10 °C ile 54,40 °C arasında değişmiş olup en yüksek değerine 12.50'de ulaşmıştır. PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 27,30 °C ile 43,45 °C arasında, arka yüzey sıcaklığı 25,80 °C ile 41,20 °C arasında ve en yüksek değerlerine 12.50 ve 13.20'de ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. 1,67 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi (05.08.2019)

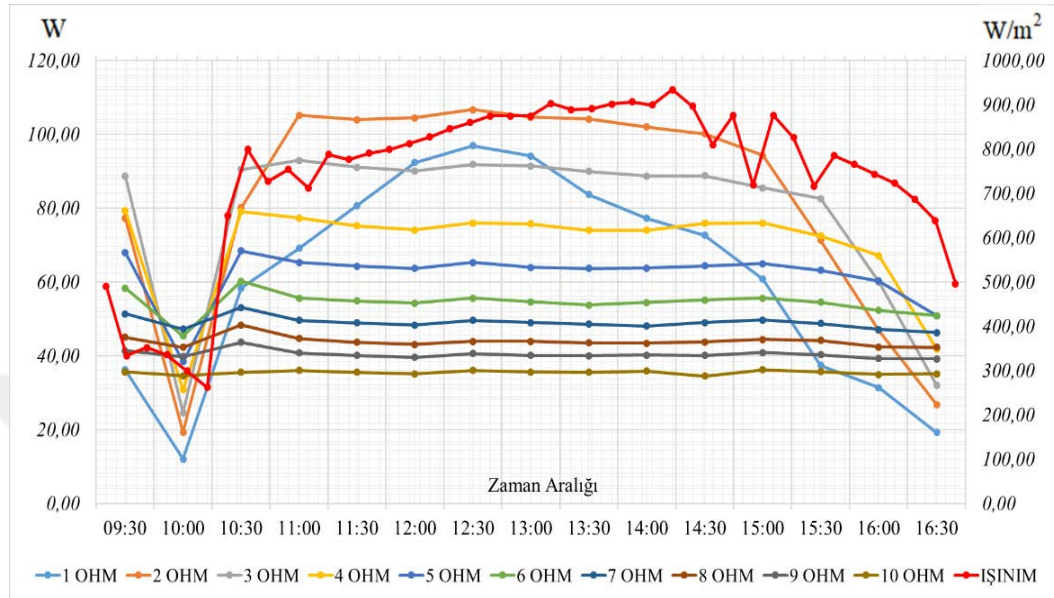
Referans PV ve PV/T modül ön yüzey ve arka yüzeylerinden ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde: PV modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 2,65 °C olup arka yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu, PV/T modül yüzeyleri arasında ön yüzeyin 2,06 °C ortalama sıcaklık farkı ile arka yüzeyden yüksek olduğu belirlenmiştir. PV modül yüzey sıcaklığı ile PV/T modül yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı soğutma tesisatı sayesinde yararlı ısı olarak soğutucu akışkana aktarılmıştır. Şekil 4.14'te modül yüzey sıcaklıklarının değişimi, ışınım, soğutucu su sıcaklık farkının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.15. 1,67 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi (05.08.2019)

Şekil 4.15'te bulunan grafiğe göre PV/T modülün yük değişimleri incelendiğinde saat 10.00'da ışınımına bağlı olup bulut etkisi nedeniyle ani güç azalması olduğu, 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile elde edilen gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde saat 10:30'da 118,25 W olduğu belirlenmiştir. 2 Ohm yük değerinde güç artışının ışınım değeri ile aynı oranda değiştiği görülmektedir. Şekil 4.16'da ise PV modülün yük değişimleri grafiği verilmekte olup: PV/T modülde olduğu gibi 10.00 da güç azalması olduğu, 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün değişmediği ve düştüğü, en yüksek güç

üretiminin 2 Ohm değerinde ışınlama orantılı olarak saat 12.30'da 106,67 W olduğu belirlenmiştir.



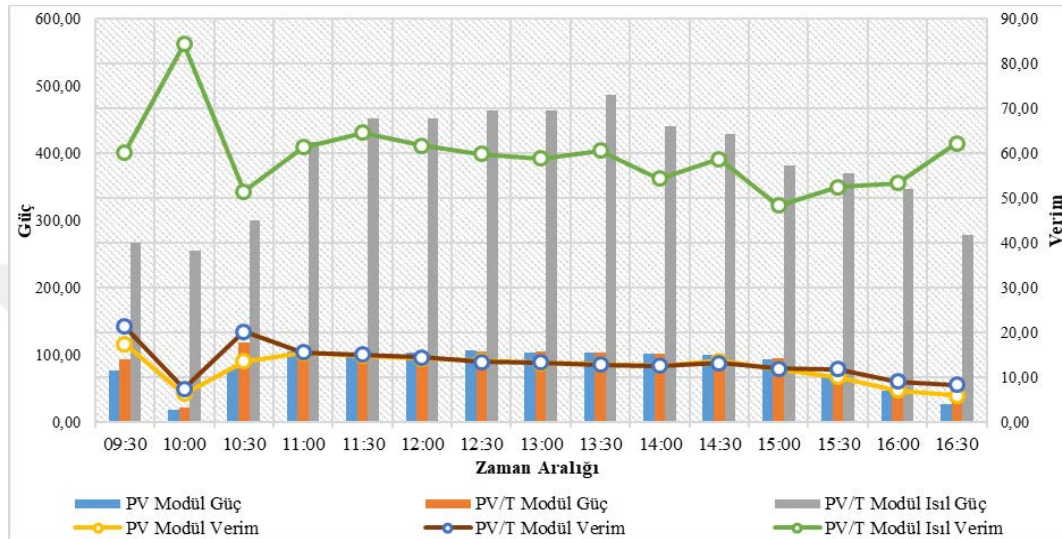
Şekil 4.16. 1,67 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi (05.08.2019)

PV/T ve PV güç ölçümleri sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'dan mukayese edilirse her modül için en yüksek güç çıkışının elde edildiği 2 Ohm yük değerinde, modül sıcaklığının düşürülmesi ile %7,61 güç artışı elde edildiği belirlenmiştir. 4 Ohm ve üzerindeki yük değerlerinde gün içinde alınan değerlerin saat 10.00 dışında çok değişmediği görülmektedir.

Soğutma suyunun tesisata düşük sıcaklık değerinde girmesi sonucu PV/T modül arka yüzeyinden ısı transferi gerçekleşmiş olup su sıcaklık farkı, debi değerleri yardımıyla yararlı ısı hesaplanarak Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Yararlı ısının modül alanı ve ışınlama şiddetine oranı ile ısı verim hesaplanmıştır.

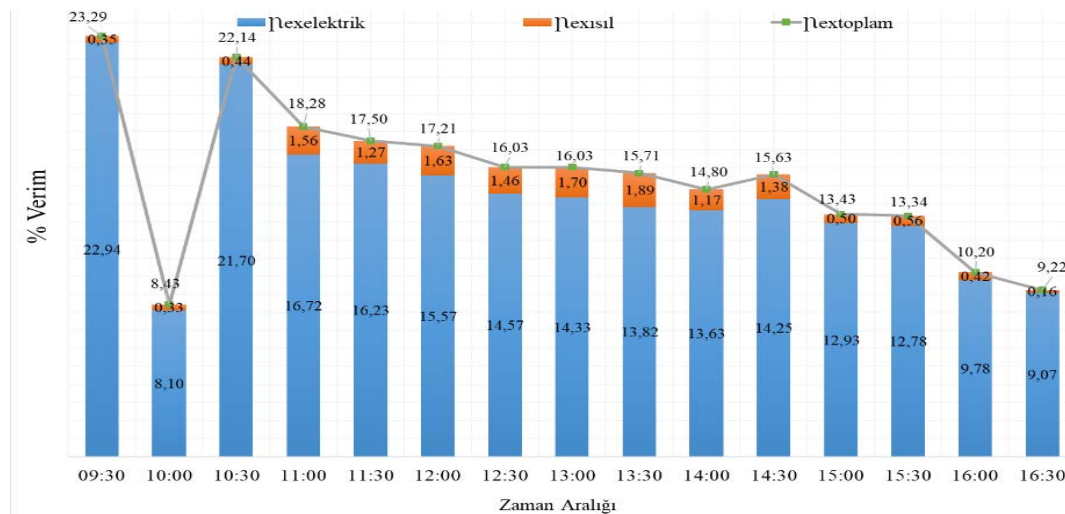
05.08.2019 günü saat 09.30 ile 16.30 aralığında yapılan kontroller ve hesaplamalar sonunda 32° açı ve en yüksek elektriksel güç elde edilen 2 Ohm yük verilerine göre hesaplanarak grafik halinde zamana göre değişimi Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi öğlen saatlerinde her iki modül için elektriksel güç artmaktadır. PV

modül ortalama verimi %12,25; PV/T modül verimi ortalama %13,43; ısıl verim ortalama %59,48 çıkmıştır. PV ve PV/T modüllerin elektriksel verimleri arasında gün boyunca ortalama %9,64 olarak sistemden ısı çekilmesi ile verim artışı gerçekleşmiştir. Fotovoltaik ısıl modül ortalama toplam verimi %72,91 bulunmuştur.



Şekil 4.17. 1,67 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi (05.08.2019)

PV/T modül elektriksel ekserji ortalaması %14,43 saat 09.30'da en yüksek değerine ulaşmakta, ısıl ekserji ortalama değeri %0,99 olup saat 13.30'da en yüksek değere ulaşmaktadır. Toplam ekserji ortalaması %15,42 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.18).

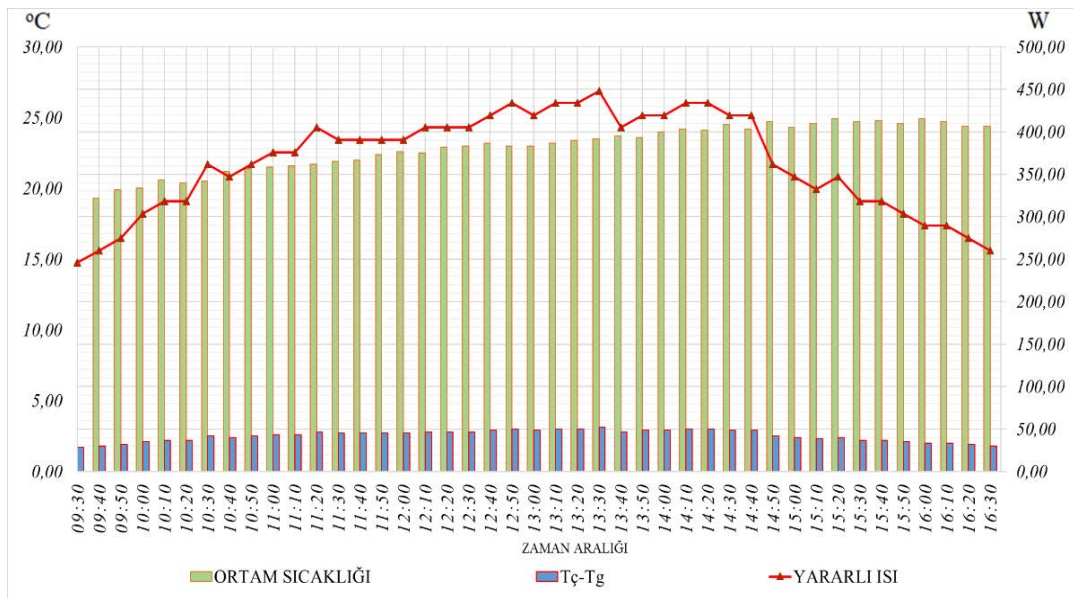


Şekil 4.18. 1,67 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri (05.08.2019)

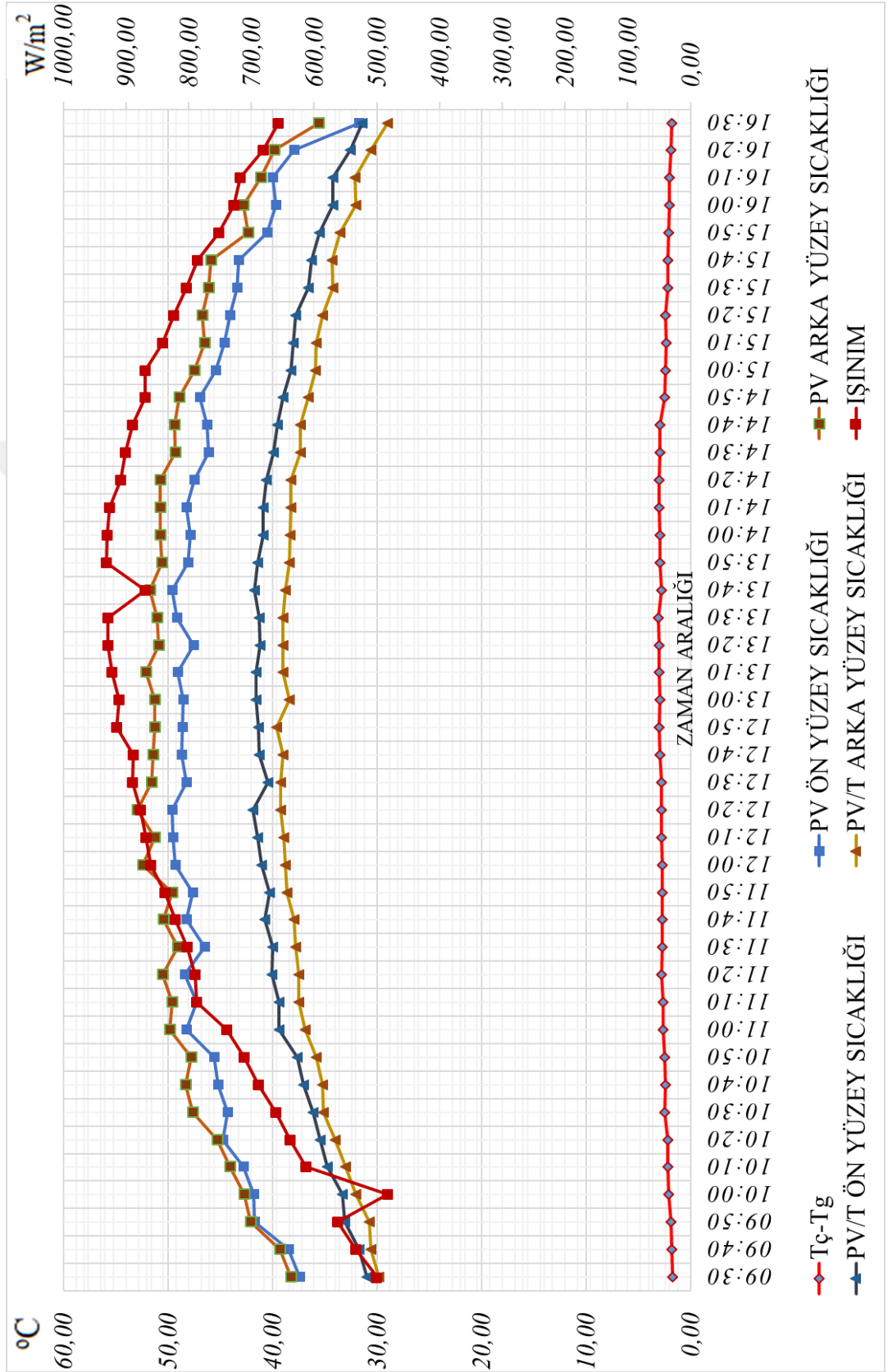
4.1.4. 06.08.2019 günü 2,08 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma

Hazırlanan deney düzeneğinde su akışı 2,08 l/dk sabit debide gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde soğutma amaçlı olarak kullanılan şebeke suyu sıcaklığı test süresi boyunca 16,70 °C ile 18,20 °C sıcaklıkları arasında değişmekte olup, ortalama olarak soğutucu girişi su sıcaklığı 17,78 °C değerindedir. Çalışmanın yapıldığı sürede rüzgâr hızı en düşük 1,30 m/s en yüksek 6,00 m/s hızları arasında değişmiştir. Ortam sıcaklığı ise en düşük 19,20 °C en yüksek 24,90 °C sıcaklık değeri arasında değişmiş olup ortalama ortam sıcaklığı 22,87 °C olarak ölçülmüştür. Soğutma sisteminde sabit debide sisteme girişi sağlanan şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark testin gerçekleştirildiği süre içerisinde 1,70 °C ile 3,10 °C arasında değişmektedir. Yararlı ısı enerjisi saat 13.30'da 928,40 W/m² ışıınım değerlerinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Işıınım değerlerinde saat 13.50'den sonra azalma görülmekte olup ortam sıcaklığının saat 16.30'a kadar yükselmekte olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19).

Şekil 4.19'da ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve sisteme sabit debide gönderilen şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın zamana göre değişimi görülmektedir.



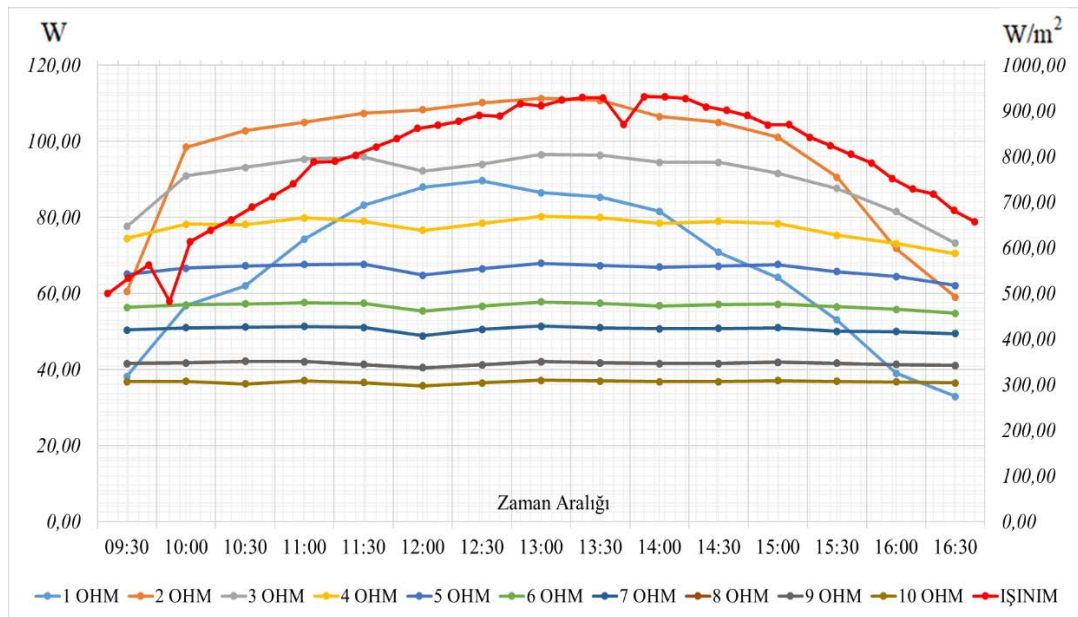
Şekil 4.19. 2,08 l/dk zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi (06.08.2019)



Şekil 4.20. 2,08 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi (06.08.2019)

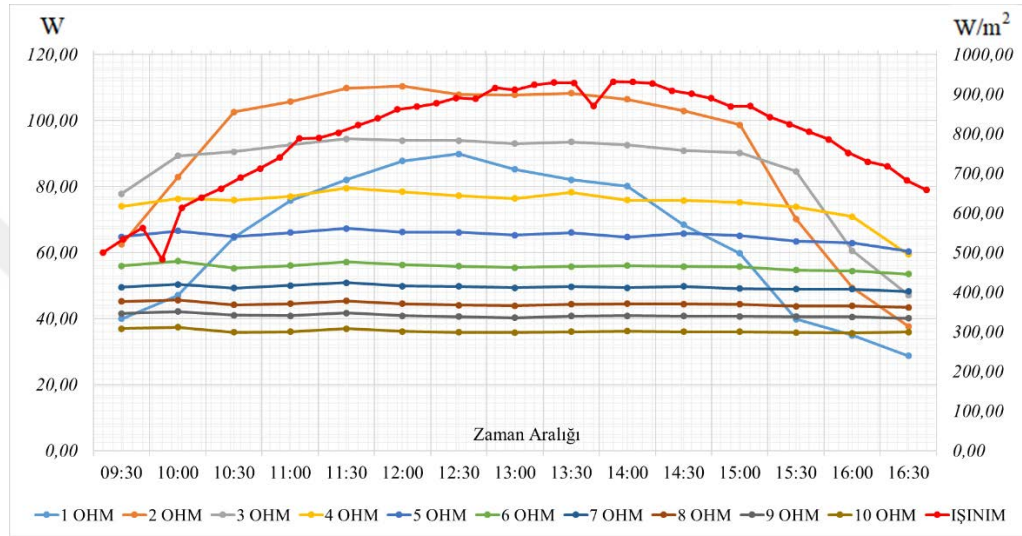
Modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanal tesisatından çıkan su sıcaklığı 18,50 °C ile 21,10 °C aralığında değişerek en yüksek çıkış sıcaklığına saat 12.50, 14.10, 14.20, 14.30 ve 14.40'da sırasıyla 915,50; 926,70; 908,60; 900,50 ve 889,60 W/m² ışıınım değerlerinde elde edilmiştir. PV modül ön yüzey sıcaklığı 31,70 °C ile 49,60 °C arasında olup arka yüzey sıcaklığı 35,60 °C ile 52,90 °C arasında değişmekte ve en yüksek değerine saat 12.20'de ulaşmıştır. PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 30,95 °C ile 41,90 °C arasında en yüksek sıcaklığa 12.20'de ulaşmakta, arka yüzey sıcaklığı 29,00 °C ile 39,60 °C arasında saat 12.50'de en yüksek değerine ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.20).

PV ve PV/T modül ön yüzey ve arka yüzeylerinden ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde: PV modül ön ve arka yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 2,31 °C olup arka yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu, PV/T modül yüzeyleri arasında ön yüzeyin 2,17 °C ortalama sıcaklık farkı ile arka yüzeyden yüksek olduğu belirlenmiştir. PV/T modül için ön yüzeyin arka yüzey sıcaklığı arasındaki farkı soğutma tesisatı sayesinde yararlı ısı olarak soğutucu akışkana aktarılmıştır. Şekil 4.20'de modül yüzey sıcaklıklarının değişimi, ışıınım, soğutucu su sıcaklık farkının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.21. 2,08 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi (06.08.2019)

Şekil 4.21'den PV/T modülün yük değişimleri incelendiğinde 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde saat 13.00'te 111,27 W olduğu belirlenmiştir. 2 Ohm yük değerinde güç artışının ışınım değeri ile yaklaşık aynı oranda değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.22. 2,08 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi (06.08.2019)

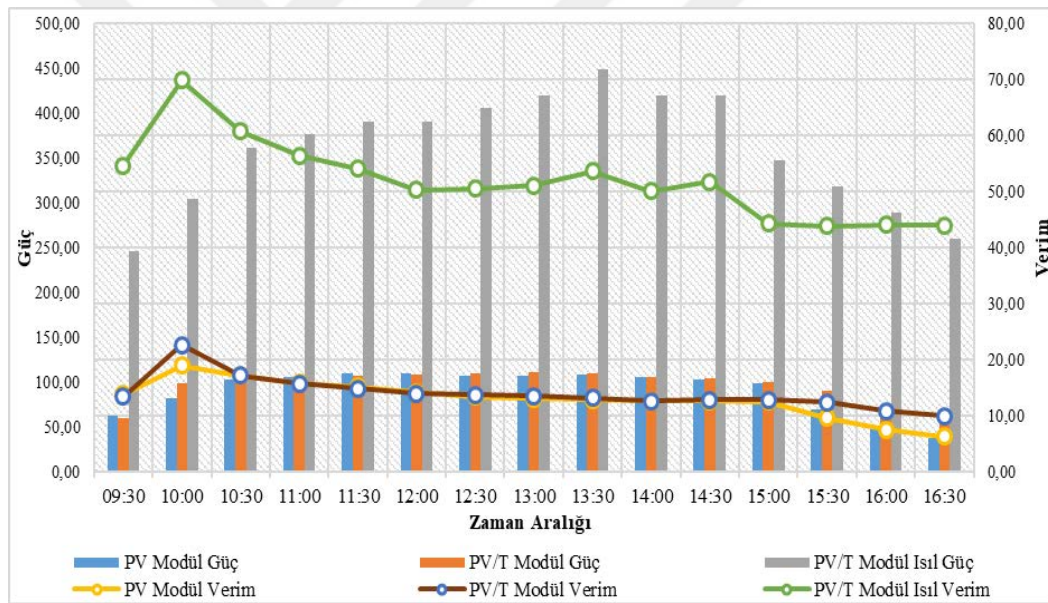
PV modülün yük değişimleri Şekil 4.22'de verilmekte olup: PV/T modül güç değişim grafiğinde olduğu gibi 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün değişmediği ve düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde ışınım ile orantılı olarak saat 12.00'de 110,34 W olduğu belirlenmiştir.

PV/T ve PV güç ölçümleri sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'den mukayese edilirse her modül için en yüksek güç çıkışının elde edildiği 2 Ohm yük değerinde, modül sıcaklığının düşürülmesi ile %6,27 güç artışı elde edildiği belirlenmiştir. 4 Ohm ve üzerindeki yük değerlerinde gün içinde alınan değerlerin çok değişmediği görülmektedir.

06.08.2019 günü saat 09.30 ile 16.30 aralığında yapılan kontroller ve hesaplamalar sonunda 32° açı ve en yüksek elektriksel güç elde edilen 2 Ohm yük verilerine göre

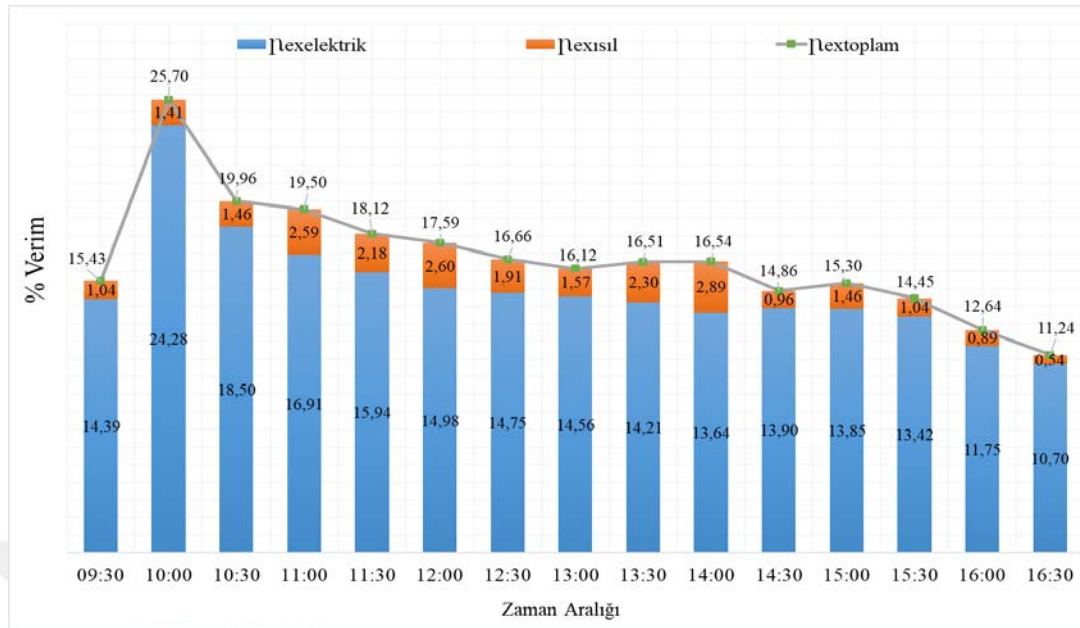
hesaplanarak grafik halinde zamana göre değişimi Şekil 4.23'te bulunmaktadır. Görüldüğü gibi öğlen saatlerinde her iki modül için elektriksel güç artmaktadır. PV modül ortalama verimi %13,10; PV/T modül verimi ortalama %14,02; ısıl verim ortalama %51,94 çıkmıştır. PV ve PV/T modüllerin elektriksel verimleri arasında gün boyunca ortalama %7,05 olarak sistemden ısı çekilmesi ile verim artışının gerçekleştiği ve fotovoltaik ısıl modül ortalama toplam verimi %65,96 bulunmuştur.

Soğutma suyunun tesisata düşük sıcaklık değerinde girmesi sonucu PV/T modül arka yüzeyinden ısı transferi gerçekleşmiş olup su sıcaklık farkı, debi değerleri yardımıyla yararlı ısı hesaplanarak Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Yararlı ısının modül alanı ve ışınım şiddetine oranı ile ısıl verim hesaplanmıştır.



Şekil 4.23. 2,08 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi (06.08.2019)

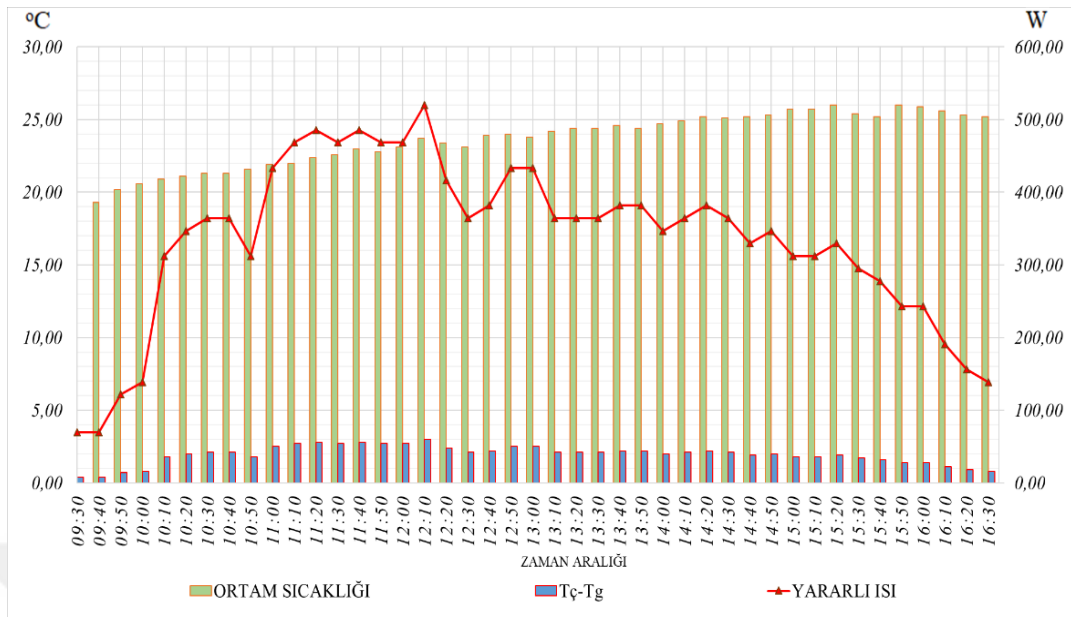
PV/T modül elektriksel ekserji ortalaması %15,05 olup saat 10.00'da en yüksek değerine ulaşmakta, ısıl ekserji ortalama değeri %1,66 olup saat 14.00'te en yüksek değere ulaşmaktadır. Toplam ekserji ortalaması %16,71 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. 2,08 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri (06.08.2019)

4.1.5. 07.08.2019 günü 2,50 l/dk debi ile gerçekleştirilen çalışma

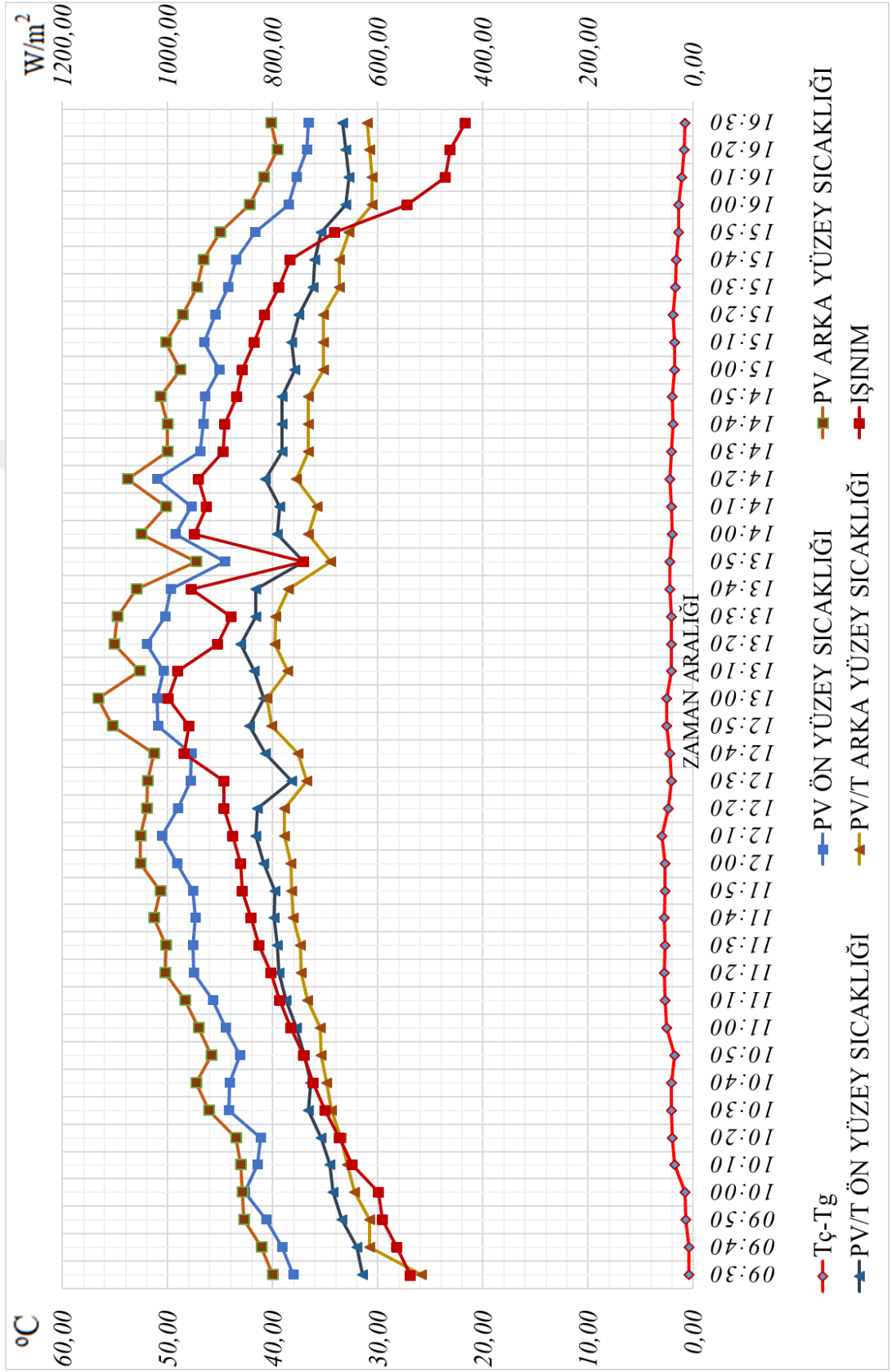
Hazırlanan deney düzeneğinde su akışı 2,50 l/dk sabit debide olup, ışınlım, modül ön ve arka yüzey sıcaklıkları, şebeke suyunun sisteme giriş debisi, sıcaklığı ve sistemden çıkış sıcaklığı, modüllerin elektrik çıkışlarından akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde soğutma amaçlı olarak kullanılan şebeke suyu sıcaklığı test süresi boyunca 17,20 °C ile 18,40 °C sıcaklıkları arasında değişmekte, ortalama olarak soğutucu girişi su sıcaklığı 17,56 °C değerindedir. Çalışmanın yapıldığı sürede rüzgâr hızı en düşük 0,10 m/s en yüksek 4,80 m/s hızları arasında değişmiştir. Ortam sıcaklığı ise en düşük 19,00 °C en yüksek 26,00 °C sıcaklık değeri arasında değişmiş olup ortalama ortam sıcaklığı 23,57 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma sisteminde sabit debide sisteme girişi sağlanan şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark testin gerçekleştirildiği süre içerisinde 0,40 °C ile 3,00 °C arasında değişmektedir. Yararlı ısı enerjisi saat 12.10'da 876,60 W/m² ışınlım da en yüksek değerine ulaşmıştır. Işınlım değerlerinde saat 13.00'ten sonra azalma görülmekte olup ortam sıcaklığının saat 16.30'a kadar yükselmekte olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.25'te ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve sisteme sabit debide gönderilen şebeke suyunun giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın zamana göre değişimi görülmektedir.



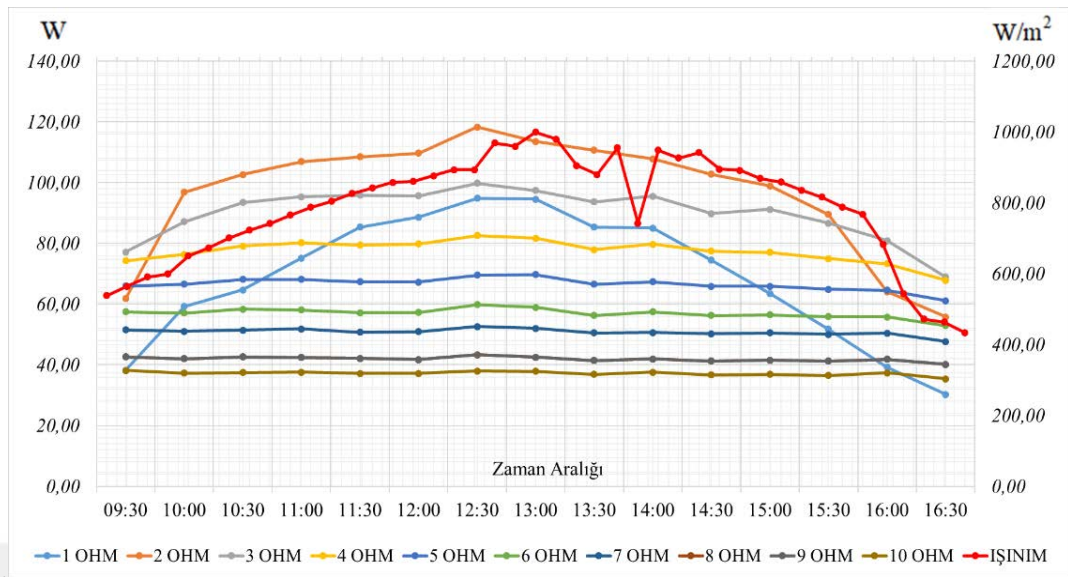
Şekil 4.25. 2,50 l/dk zaman aralığına göre ortam sıcaklığı, yararlı ısı ve soğutma sıvısı sıcaklık farkı değişimi (07.08.2019)

Modül arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanal tesisatından çıkan su sıcaklığı 18,20 °C ile 20,60 °C aralığında değişerek en yüksek çıkış sıcaklığına saat 11.40'da 841,80 W/m² ışıınım değerlerinde elde edilmiştir. PV modül ön yüzey sıcaklığı 36,60 °C ile 52,00 °C arasında ve en yüksek değere saat 13:20'de, arka yüzey sıcaklığı 39,60 °C ile 56,60 °C arasında olup en yüksek değerine saat 13.00'te ulaşmıştır. PV/T modül ön yüzey sıcaklığı 31,45 °C ile 43,05 °C arasında değişmekte, en yüksek değerine saat 13.20'de, arka yüzey sıcaklığı 25,90 °C ile 40,60 °C arasında değişmekte ve saat 13.00'te en yüksek değerine ulaşmıştır (Şekil 4.26).

PV ve PV/T modül ön yüzey ve arka yüzeylerinden ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde: PV modül ortalama sıcaklık farkı 3,02 °C olup arka yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu, PV/T modül yüzeyleri arasında ön yüzeyin 2,40 °C ortalama sıcaklık farkı ile arka yüzeyden yüksek olduğu belirlenmiştir. PV modül yüzey sıcaklığı ile PV/T modül yüzey sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı soğutma tesisatı sayesinde yararlı ısı olarak soğutucu akışkana aktarılmıştır. Şekil 4.26'da modül yüzey sıcaklıklarının değişimi, ışıınım ve ortam sıcaklığının zamana göre değişim grafiği verilmiştir.

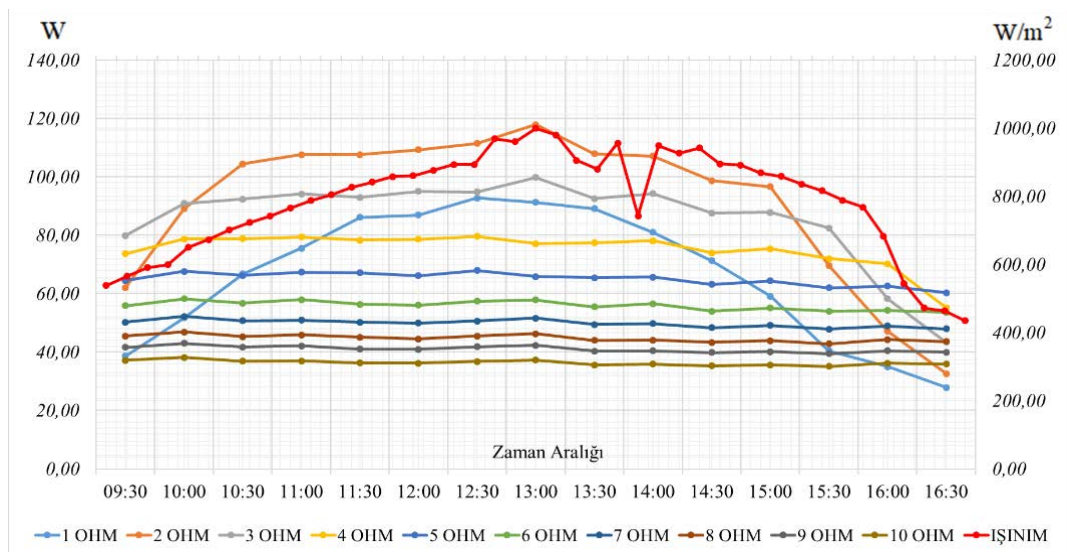


Şekil 4.26. 2,50 l/dk debide zamana göre modüllerin sıcaklık ve ışınım değişimi (07.08.2019)



Şekil 4.27. 2,50 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV/T güç değişimi (07.08.2019)

Şekil 4.27'den PV/T modülün yük değişimleri incelendiğinde 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün değişmediği ve yükün artması ile elde edilen gücün düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde saat 12.30'da 118,29 W olduğu belirlenmiştir. 2 Ohm yük değerinde güç artışının ışınlama değeri ile aynı oranda değiştiği görülmektedir.

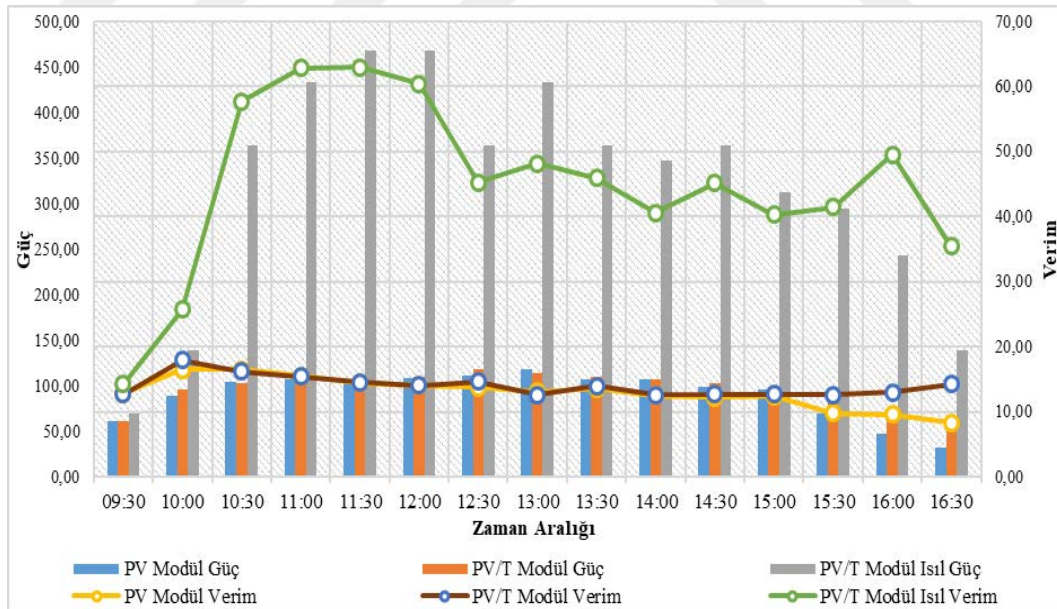


Şekil 4.28. 2,50 l/dk debide zamana göre 1-10 Ω yük arasında PV güç değişimi (07.08.2019)

PV modülün yük değişimleri Şekil 4.28’de verilmekte olup: PV/T modül güç değişim grafiğinde olduğu gibi 4 Ohm ve daha fazla yük altında yükün artması ile birlikte elde edilen gücün değişmediği ve düştüğü, en yüksek güç üretiminin 2 Ohm değerinde ışınım ile orantılı olarak saat 13.00’te 117,92 W olduğu belirlenmiştir.

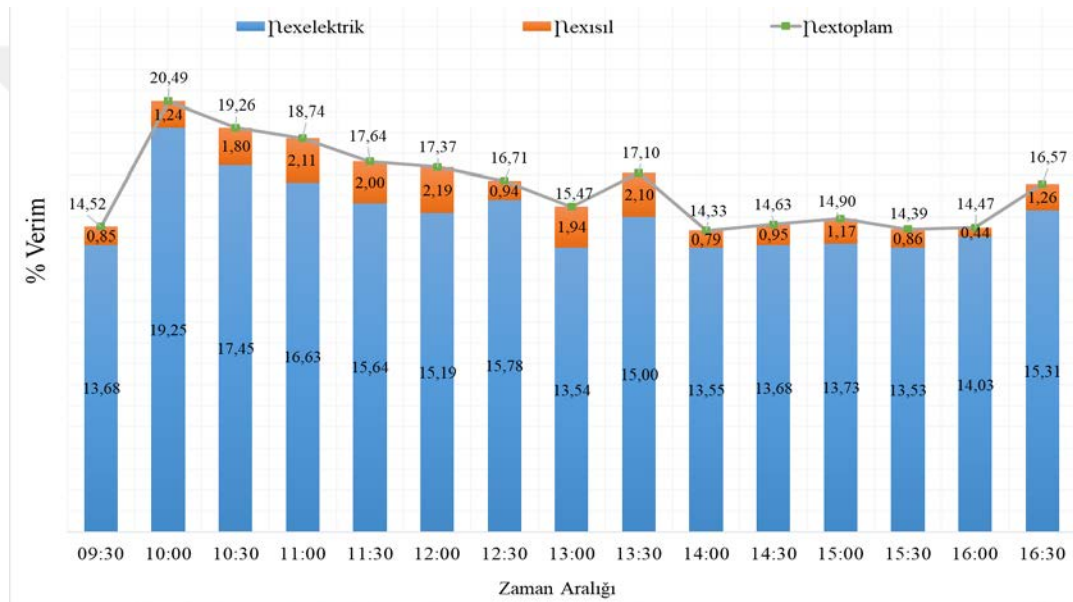
PV/T ve PV güç ölçümleri sırasıyla Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’den mukayese edilirse her modül için en yüksek güç çıkışının elde edildiği 2 Ohm yük değerinde, modül sıcaklığının düşürülmesi ile %5,73 güç artışı elde edildiği belirlenmiştir. 4 Ohm ve üzerindeki yük değerlerinde gün içinde alınan değerlerin çok değişmediği görülmektedir.

Soğutma suyunun tesisata düşük sıcaklık değerinde girmesi sonucu PV/T modül arka yüzeyinden ısı transferi gerçekleşmiş olup su sıcaklık farkı, debi değerleri yardımıyla yararlı ısı hesaplanarak Şekil 4.25’te gösterilmiştir. Yararlı ısının modül alanı ve ışınım şiddetine oranı ile ısıl verim hesaplanmıştır.



Şekil 4.29. 2,50 l/dk debide zamana göre verim ve güç değişimi (07.08.2019)

07.08.2019 günü saat 09.30 ile 16.30 aralığında yapılan kontroller ve hesaplamalar sonunda 32° açı ve en yüksek elektriksel güç elde edilen 2 Ohm yük verilerine göre hesaplanarak grafik halinde zamana göre değişimi Şekil 4.29'da bulunmaktadır. Görüldüğü gibi öğlen saatlerinde her iki modül için elektriksel güç artmaktadır. PV modül ortalama verimi %13,04; PV/T modül verimi ortalama %14,03; ısıl verim ortalama %45,06 çıkmıştır. PV ve PV/T modüllerin elektriksel verimleri arasında gün boyunca ortalama %7,63 olarak sistemden ısı çekilmesi ile verim artışının gerçekleştiği ve PV/T modül ortalama toplam verimi %59,09 bulunmuştur.



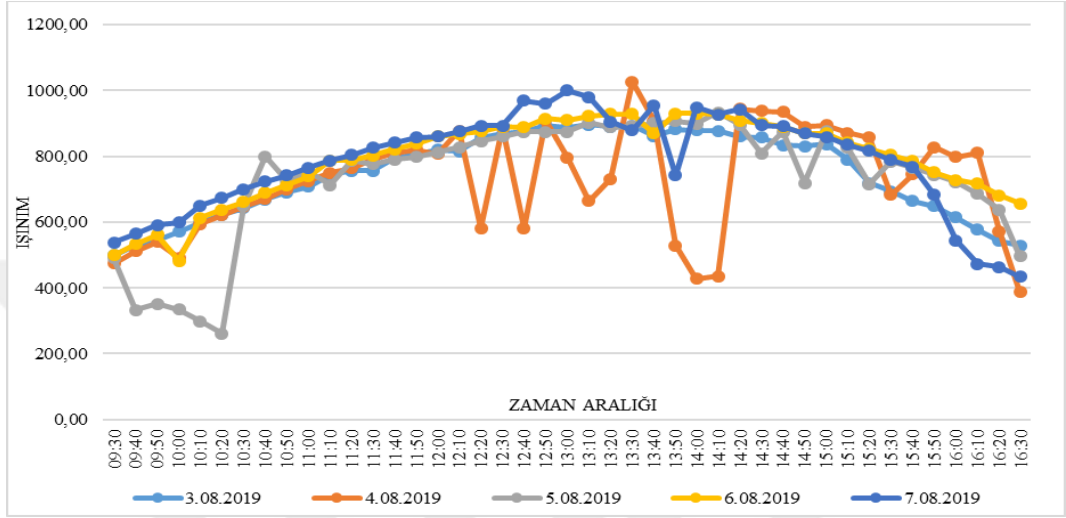
Şekil 4.30. 2,50 l/dk debide PV/T modül Ekserji verimleri (07.08.2019)

Elektriksel ekserji ortalaması %15,07 olup saat 10.00'da en yüksek değerine ulaşmakta, ısıl ekserji ortalama değeri %1,38 olup saat 12.00'de en yüksek değere ulaşmakta ve toplam ekserji ortalaması %16,44 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.30).

4.2. PV ve PV/T Modül Soğutucu Sıcaklık Değişimi, Ortalama Güç ve Verimlerinin Karşılaştırılması

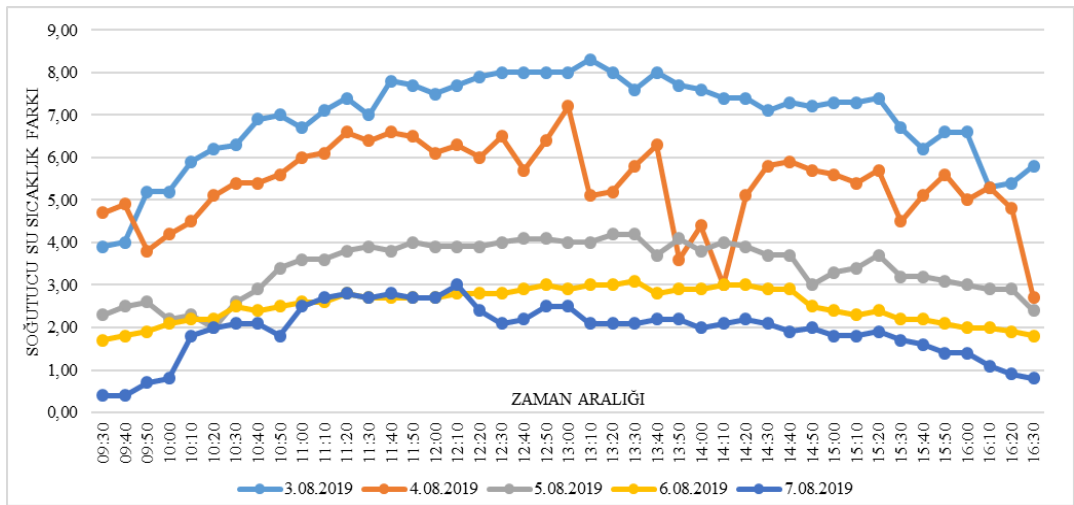
Beş gün boyunca sırası ile 0,83-1,25-1,67-2,08-2,50 l/dk debi değerlerine ait: saat, ışınım, rüzgâr hızı, modüllerin ön yüzey sıcaklık ortalaması, soğutucu amaçlı kullanılan su ile ilgili sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı, ortam sıcaklığı değerleri

10 dakikalık aralıklarla 09.30 ile 16.30 saatleri aralığında ölçülmüştür. Çalışmalar esnasında tüm günlerde ölçüm öncesinde modül yüzeyleri temizlenerek toz gibi kirlilik kaynaklı kayıpların ölçüm sonuçlarını olumsuz bir şekilde engellemesinin önüne geçilmek istenmiştir.



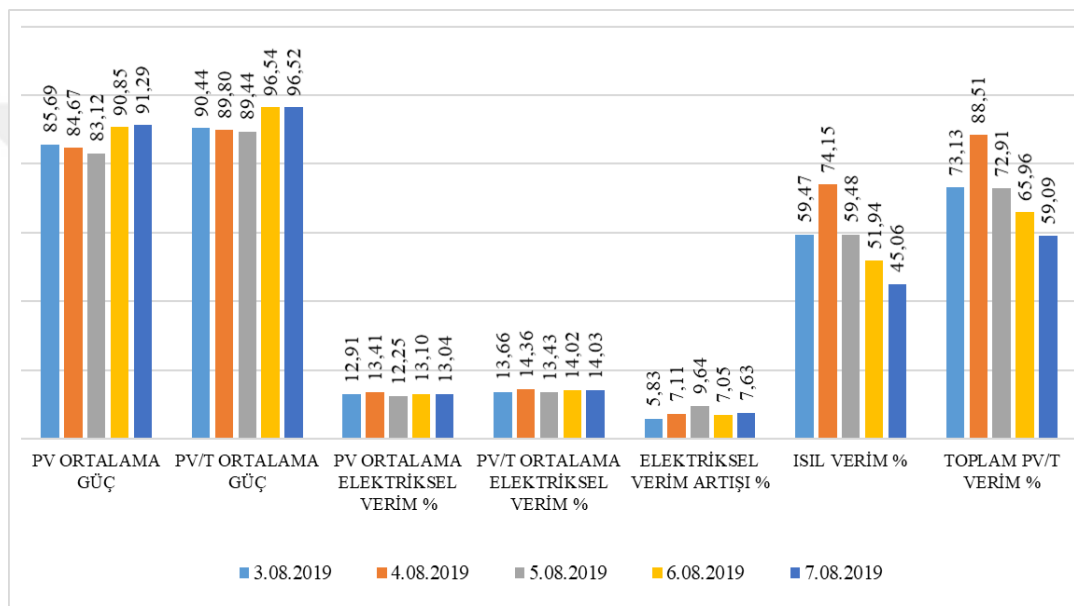
Şekil 4.31. Tüm günlere ait zamana göre ışınlım değişimi

Şekil 4.31’de ışınlım şiddetinin zamana göre değişimi verilmekte olup 10.50’den 12.00’ye kadar ışınlım şiddetinin beş gün boyunca aynı oranda arttığı, bu saat aralığı dışında bazı günlerin ışınlım şiddetinin bulut nedeniyle kayba uğrayarak modül yüzeyine ulaştığı grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.32. Tüm günlere ait zamana göre soğutucu sıcaklık farkı değişimi

Soğutucu su sıcaklık değişimi tesisattan çıkış sıcaklığının tesisata giriş sıcaklığı arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. Sıcaklık farkı: ışınım şiddeti, modül yüzey sıcaklığı, su giriş sıcaklığına doğrudan bağlı olup bulut ve rüzgâr etkisi modül sıcaklığını düşürmesi nedeniyle dolaylı olarak etkilemektedir. Deney süresince şebeke suyunun giriş sıcaklığı günlere göre sırası ile 21,64 °C, 20,59 °C, 19,57 °C, 17,78 °C, 17,56 °C olarak ölçülmüştür. Tç-Tg değeri şebeke suyunun giriş sıcaklığı ile orantılı olarak Şekil 4.32 incelendiğinde öğlen saatlerinde artış göstermektedir.



Şekil 4.33. 5 günlük ortalama güç ve verim değişimleri

Şekil 4.33 incelendiğinde 07.08.2019 günü 2,50 l/dk debide fotovoltaik modül en yüksek ortalama güç değerine ulaşırken fotovoltaik ısı modül 06.08.2019 günü ve 07.08.2019 günlerinde ortalama en yakın yüksek güç değerine ulaşmıştır.

04.08.2019 günü 1,25 l/dk debide fotovoltaik modülün ve fotovoltaik ısı modül ortalama elektriksel verimi en yüksek değerine ulaşmaktadır. Şekil 4.33'ten de görüldüğü gibi fotovoltaik modüllerin sıcaklık değerlerinin düşürülmesi elektriksel verimlerin artmasını sağlamaktadır. 05.08.2019 günü en yüksek elektriksel verim artışı olmakta ve 04.08.2019, 06.08.2019 ve 07.08.2019 günlerinde ortalama %7'nin üzerinde elektriksel verim artışı sağlanmıştır. 04.08.2019 günü 1,25 l/dk debide ısı verim diğer günlere göre daha yüksek değere ulaşmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

PV modüllerin ısı kaynaklı ön yüzey ve arka yüzeylerinde sıcaklık değerlerinin artması sonucu gerçekleşen verim düşüşünün önüne geçilmesi için yapılan çalışmalarla PV/T modüller ön plana çıkmıştır. Bir yıllık süre boyunca optimum derece olarak belirlenen 32° modül açısına göre gerçekleştirilen deneysel çalışma, 03 Ağustos 2019 ve 07 Ağustos 2019 tarihleri arasında sırasıyla 0,83-1,25-1,67-2,08-2,50 l/dk sabit debide, açık alanda gerçekleştirilmiştir. Soğutucu akışkan olarak şehir şebekesinden sağlanan su, soğutma tesisatı girişinde bulunan debimetreye bağlanmıştır.

Tüm günlerde kullanılan şebeke suyu ortalama 19,43 °C sıcaklıkla tesisata girmiş ve ortalama 23,46 °C sıcaklıkta soğutucudan çıkmıştır. Referans PV modül ön yüzey sıcaklık ortalaması 45,22 °C olup en yüksek değeri 61,80 °C en düşük 31,70 °C'dir. Soğutma tesisatı ile ön yüzey sıcaklığı PV/T modülde en yüksek 50,50 °C en düşük 27,30 °C olup ortalama 38,05 °C değerine düşürülmüştür. Beş gün ortalaması hesaplandığında soğutma sistemi sayesinde 7,17 °C modül ön yüzey sıcaklığı düşürülmüştür.

Tüm günlere ait güç, verim, belirsizlik ve ekserji analizi de yapılarak test sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmanın yapıldığı süre boyunca her 30 dakikada, 1 Ohm'dan 10 Ohm'a kadar 1 Ohm artırılarak farklı elektriksel yük karşısında modüllerin akım ve gerilim değişimleri incelenmiştir. Referans PV modül günlük ortalama elektriksel verimi 12,25 ile 13,41 arasında değişmiştir. PV/T modül günlük ortalama elektriksel verimi 13,43 ile 14,36 arasında bulunmuştur. Günlük ortalama Isıl verim %45,06 ile %74,15 arasında değişmiştir. Soğutma sisteminin uygulanması ile genel olarak %7,45 elektriksel verim artışı olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen elektrik ve ısı güçlerinin: ışınım, anlık rüzgâr, ortam sıcaklığı, modül üzerinde oluşturulan yük parametrelerine bağlı olduğu yapılan testler sonucunda görülmektedir. Bulutlanma ve modül yüzeyinde oluşan kirlenme faktörleri akım ve gerilim değerlerinin düşmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Deneyden 30 dakika öncesinde modül yüzeyleri temizlenerek kirlenme etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Referans PV ve PV/T modüllere 2 Ohm elektriksel yük uygulandığında en yüksek çıkış gücü elde edilmektedir. Elektriksel verimlilikleri karşılaştırıldığında. 1,25 l/dk sabit debide PV modül %13,41, PV/T modül %14,36 olup %7,11 verim artışı sağlandığı belirlenmiştir. PV modül üzerine eklenen soğutma sistemi sayesinde modül yüzey sıcaklığı düşürülerek sıcak su üretimi gerçekleştirilmiş ve güç miktarının artmasının sağladığı analizler neticesinde sayısal olarak belirlenmiştir.

Ayarlı reosta ile elektriksel yükün daha hassas ayarlanması ve optimum açı olarak belirlenen 32° açının mevsimsel olarak değiştirilmesi ile elektriksel güç, elektriksel verim ve ısı güç değerleri elde edilen verilere göre artacaktır. Modül açısı, debi, soğutucu kanal malzemesi, soğutucu kanal çapı, soğutucu kanal kalınlık ve uzunluk parametreleri değiştirilerek optimum değerler yapılması planlanan çalışmalarda belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Abd-Elhady, M. S., Fouad, M. M., Khalil, T., 2016. Improving the Efficiency of Photovoltaic (PV) Panels by Oil Coating. Energy Conversion and Management, 115, 1-7.
- Aish, Q. M., 2015. Temperature Effect on Photovoltaic Modules Power Drop. Al-Khwarizmi Engineering Journal, 11(2), 62-73.
- Alçı, M., Çarkıt, T., 2019. PV Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, <http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/sunum2017/8.Bildiriler/PV%20panellerede%20s%C4%B1cakl%C4%B1k%20etkisinin%20incelenmesi.pdf> (23 05 2019).
- Andenæs, E., Jelle, B. P., Ramlo, K., Kolås, T., Selj, J., 2018. The Influence of Snow and Ice Coverage on the Energy Generation From Photovoltaic Solar Cells. Solar Energy, 159, 318-328.
- Anonim, 2010. TR 83 Bölgesi Yenilenebilir Enerji Raporu. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı, <https://www.oka.org.tr/yayinlar-ve-dokumanlar/yayinlar-ve-raporlar/tr83-bolgesi-yenilenebilir-enerji-raporu>, 120 s.
- Anonim, 2012. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023.Yüksek Planlama Kurulu. Resmi Gazete Sayı:28215.
- Anonim, 2015. How Does Pv Cells Work? P-Type and N-Type Materials. Center for Solar Energy Research and Applications, <http://gunam.metu.edu.tr/solar-tech/pv-working-principles/> (23 05 2019).
- Anonim, 2018. Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=corum (23.05.2019).
- Anonim, 2019. Types of Photovoltaic Cell. Alternative Energy Tutorials, <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/photovoltaic-types.html> (23 05 2019).
- Anonim, 2019. How a Solar Cell Works. American Chemical Society, <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html> (23 05 2019).
- Anonim, 2019. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (23.05.2019).
- Anonim, 2019. Milli Güneş Enerjisi Santrali (Milges) Projesi. Milges, http://milges.gov.tr/gunes_enerjisi.html (23 05 2019).

- Anonim, 2019. Milli Güneş Enerjisi Santrali (Milges) Projesi. Milges, http://milges.gov.tr/proje_bilgileri.html (23 05 2019).
- Anonim, 2019. Best Research-Cell Efficiency Chart, National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (23 05 2019).
- Anonim, 2019. Güneş. T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (23 05 2019).
- Anonim, 2019. The Sun. PVEducation, http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/the-sun#footnote2_st0kyhn (07 10 2019).
- Anonim, 2019. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (23 05 2019).
- Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V., Cornaro, C., 2009. Simplified Model of a Photovoltaic Module., IEEE Xplore, 09-10.09.2009, Pilsen, Çek Cumhuriyeti.
- Bhushan, B., Preet, S., Mahajan, T., 2017. Experimental Investigation of Water Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) System with and Without Phase Change Material (PCM). Solar Energy, 155, 1104-1120.
- Bulut, H., 2019. Soğutma ve İklimlendirme Sistemlerinde Ölçme ve Değerlendirme, <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/BOLUM2.pdf> (01 08 2019).
- Çalışkan, S. ve Seyfi , Ş., 2018. Makine Mühendisliği Labaratuarı Ölçme Hataları - Belirsizlik, <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/seyfisevik@hititedutr041020185U2G5P5S.pdf> (01 08 2019).
- Dhimish, M., Holmes, V., Mehrdadi, B., Dales, M., 2017. The Impact of Cracks on Photovoltaic Power Performance. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 2, 199-209.
- Fouad, M. M., Morgan, E. I., Shihata, L. A., 2017. An Integrated Review of Factors Influencing the Performance of Photovoltaic Panels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 1499-1511.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Ibrahim, A., Kazem, H. A., 2014. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal (PV/T) Water Collectors. Energy Conversion and Management, 78, 641-651.
- Fudholi, A., Musthafa, M. F., Ridwan, A., Yendra, R., Hartono, Desvina, A. P., Ali, M. K. B. M., Sopian, K., 2019. Review of Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Air Collector. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 9(1), 126-133.

- Gow, J. A., Manning, C. D., 1999. Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power-Electronics Simulation Studies. *Electric Power Applications*, 146(2), 193-200.
- Hasanuzzaman, M., Rahman, M. M., Rahim, N. A., 2017. Effects of Operational Conditions on the Energy Efficiency of Photovoltaic Modules Operating in Malaysia. *Journal Of Cleaner Production*, 143, 912-924.
- Hazami, M., Riahi, A., Mehdaoui, F., Nouicer, O., Farhat, A., 2016. Energetic And Exergetic Performances Analysis of a PV/T (Photovoltaic Thermal) Solar System Tested and Simulated Under to Tunisian (North Africa) Climatic Conditions. *Energy*, 107, 78-94.
- Holman, J. P., 2011. *Experimental Methods for Engineers*. Eighth Edition, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, New York, 739 s.
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Rivai, A., Tyagi, V. V., 2019. Thermal Performance Analysis of Parallel Serpentine Flow Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) System Under Composite Climate of Malaysia. *Applied Thermal Engineering*, 153, 861-871.
- Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., Yahya, M., Zaharim, A., Sopian, K., 2009. Performance of Photovoltaic Thermal Collector (PV/T) with Different Absorbers Design. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 5(3), 321-330.
- Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Mat, S., Sopian, K., 2011. Recent Advances in Flat Plate Photovoltaic/Thermal (PV/T) Solar Collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 352-365.
- Joshi, A. S., Dincer, I., Reddy, B. V., 2011. Effect of Colors of Light on the PV/T System Performance. *International Journal of Energy Research*, 36, 572-578.
- Jäger-Waldau, A., 2018. *PV Status Report 2018*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Kaddoura, T. O., Ramli, M. A. M., Al-Turki, Y. A., 2016. On the Estimation of the Optimum Tilt Angle of PV Panel in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 626-634.
- Kazem, H. A., 2019. Evaluation and Analysis of Water-Based Photovoltaic/Thermal (PV/T) System. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100401(1-8).
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U., Berger, K. A., Kato, K., Friesen, T., Liu, H., Iseghem, M. V., 2014. Performance and Reliability of Photovoltaic Systems Subtask 3.2: Review on Failures of Photovoltaic Modules, IEA PVPS Task 13 Experimental final report IEA-PVPS. International Energy Agency.

- Kusakana, K., Siecker, J., Numbi, B. P., 2017. A Review of Solar Photovoltaic Systems Cooling Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 192-203.
- Mani, M., Rao, R. R., Ramamurthy, P. C., 2018. An Updated Review on Factors and Their Inter-Linked Influences on Photovoltaic System Performance. *Heliyon*, 4 e00815, 1-34
- Mekhilef, S., Kamalisarvestani, M., Saidur, R., 2012. Effect of Dust, Humidity and Air Velocity on Efficiency of Photovoltaic Cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2920-2925.
- Meral, M. E., Dinçer, F., 2011. A Review of the Factors Affecting Operation and Efficiency of Photovoltaic Based Electricity Generation Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2176-2184.
- Moharram, K. A., Kandil, H. A., El-Sherif, H., Abd-Elhady, M. S., 2013. Enhancing the Performance of Photovoltaic Panels by Water Cooling. *Ain Shams Engineering Journal*, 4, 869-877.
- Perez, R., Perez, M. J. R., 2009. A Fundamental Look at Energy Reserves for the Planet. *The IEA SHC Solar Update*, Cilt 50, pp. 2-3.
- Petela, R., 1964. Exergy of Heat Radiation. *ASME J Heat Transf*, 86, 187-92.
- Petela, R., 2003. Exergy of Undiluted Thermal Radiation. *Solar Energy*, 74, 469-488.
- Petela, R. 2008. An Approach to the Exergy Analysis of Photosynthesis. *Solar Energy* 82, 311–328.
- Radziemska, E., 2003. Thermal Performance of Si And GaAs Based Solar Cells and Modules: A Review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 29, 407-424.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, A., 2010. Exergetic Performance Assessment of a Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector. *Energy and Buildings*, 42, 2184-2199.
- Scarpa, F., Rossi, C., Tagliafico, L. A., Bianco, V., 2013. Experimental and Numerical Results From Hybrid Retrofitted Photovoltaic Panels. *Energy Conversion and Management*, 76, 634-644.
- Singh, P., Ravindra, N. M., 2012. Temperature Dependence of Solar Cell Performance—An Analysis. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 101, 36-45.
- Sudhakar, K., Srivastava, T., 2014. Energy and Exergy Analysis of 36W Solar Photovoltaic Module. *International Journal of Ambient Energy*, 35(1), 51-57.

- Tabook, M. A., Othman, M. Y., Sopian, K., Ruslan, M., 2014. A Review Paper on PV/T Combination Flat Plate Collector System and Design. *World Essays Journal*, 1(1), 1-5.
- TamizhMani, G., Ji, L., Tang, Y., Petacci, L., 2003. Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long - Term Monitoring and Development for Energy Rating. NCPV and Solar Program Review Meeting 2003, NREL/CD-520-33586, 936-939.
- Thong, L. W., Murugan, S., Ng, P. K., Sun, C. C., 2016. Analysis Of Photovoltaic Panel Temperature Effects on its Efficiency. 2nd International Conference on Electrical Engineering and Electronics Communication System 2016, 18-19.11.2016, Ho Chi Minh, Vietnam.
- Tina, G. M., Gagliano, A., Nocera, F., Grasso, A. D., Aneli, S., 2019. Description and Performance Analysis of a Flexible Photovoltaic/Thermal (PV/T) Solar System. *Renewable Energy*, 137, 144-156.
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R., Corrado, A., 2005. Energy, Cost and LCA Results of PV And Hybrid PV/T Solar Systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 13, 235-2350.
- Verma, A., Singhal, S., 2015. Solar PV Performance Parameter and Recommendation for Optimization of Performance in Large Scale Grid Connected Solar PV Plant—Case Study. *Journal of Energy and Power Sources*, 2(1), 40-53.
- Xiao, W., Dunford, W. G., Capel, A., 2004. A Novel Modeling Method for Photovoltaic Cells. 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2004, Aachen, 1950-1956 s.
- Xiao, W., Dunford, W. G., Palmer, P. R., Capel, A., 2007. Regulation of Photovoltaic Voltage. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(3), 1365-1374.
- Zervos, A., 2018. *Renewables 2018 Global Status Report*, Paris: REN21 Secretariat.
- Zondag, H. A., De Vries D. W., Van Steenhoven, A. A., Van Helden, W. G. J., Van Zolingen, R. J. C., 2003. The Yield of Different Combined PV-Thermal Collector Designs. *Solar Energy*, 74, 253-269.

EKLER

EK-1. Belirsizlik Analizi

Bulut (2019), deneysel çalışmalarda ölçen kişiden ve ölçme aracından kaynaklanan, ölçülen özellikten gelen olarak ölçme hatalarının nedenlerini belirtmiştir. Kişilerden kaynaklanan hatalar: yaş, öğrenme durumu, bedensel özür, ruh hali ve o anki durumu olarak belirtilirken özellikten gelen hataları özelliğin tanımının yapılmamış olması, ölçülecek özelliğin tümünün ölçülemeyişi gibi hataya neden olabileceği bildirilmiş, kullanılan aracın basımından oluşan hataları ölçme aracından gelen hatalar olarak belirtilmiştir.

Yapılan deneylere ait sistematik veya sabit hataların belirlenmesi için pratikte geliştirilen yöntemlerden belirsizlik analizi, sonuçların hassasiyeti hakkında yöntemsel yaklaşım sunmaktadır. Olası hatalar için aralık belirlenir ve en büyük hataya neden olan değişkenin belirlenmesi diğer analiz yöntemlerine göre üstünlüğüdür (Çalışkan ve Seyfi, 2018).

Deneysel çalışma kaynaklı hataların bazıları rastgele olabilirken bazıları denemenin brüt hatalarından kaynaklanır. Gözlemin ne kadar belirsiz olduğunun belirlenmesi ve belirsizliği analitik formda belirtmenin tutarlı bir tespiti yapılmalıdır. Deneysel belirsizliği, hatanın sahip olabileceği olası miktar olarak alınabilir ve deney koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Deneysel ölçümde karşılaşılan hatalardan aparat ve kullanılan malzemeleri kaynaklı brüt hatalar, tekrarlanan okumaların yaklaşık yakın değerli olması gibi sistematik ya da önyargı hataları denilebilmektedir. Kişisel nedenler, kullanılan aparat ve cihaz kaynaklı rastgele elektronik dalgalanmalar gibi rastgele hatalardan bahsedilmektedir. Deneysel belirsizliğin belirlenmesinde nihai sonuçtaki maksimum hatayı belirlemek için tüm hataları olumsuz etkileyecek biçimde birleştirilmesidir. Analiz hesaplamalarında bağımsız değişkenlerin fonksiyonu $R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ kullanılmaktadır. W_R Sonuçtaki belirsizlik olup $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ bağımsız değişkenlerdeki belirsizliklerdir. Kline, S. J., ve F. A. McClintock eşitlikleri yardımı ile Eş. 1.1 kurulmaktadır (Holman, 2011).

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.1)$$

Bağımsız değişkenlerdeki belirsizliklerin tümü hesaplamalarda kullanıldığında fotovoltaik modül verimi, fotovoltaik ısı modül verimi ve fotovoltaik ısı modül ısı verimi ile ilgili olarak hazırlanan belirsizlik oranı denklemleri aşağıda verilmiştir.

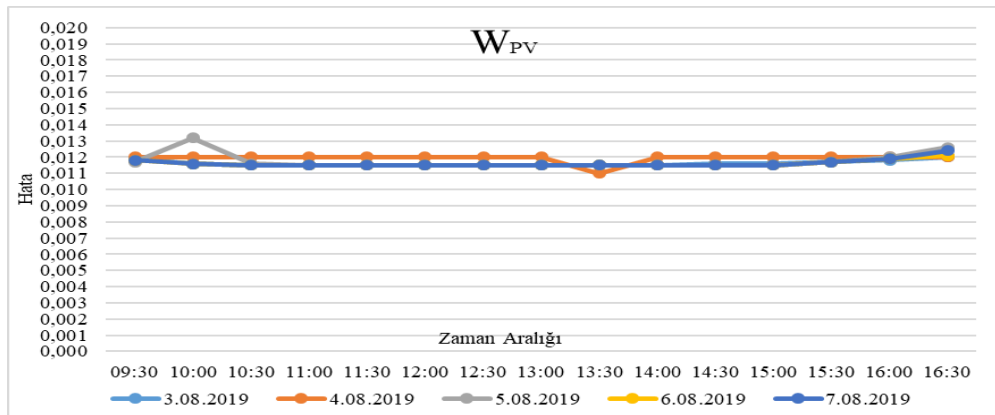
$$w_{\eta_{PV}} = \pm \left[\left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial V_m} w_{V_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_m} w_{I_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial A} w_A \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial G} w_G \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.2)$$

$$w_{\eta_{PVT}} = \pm \left[\left(\frac{\partial \eta_{PVT}}{\partial V_m} w_{V_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PVT}}{\partial I_m} w_{I_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PVT}}{\partial A} w_A \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PVT}}{\partial G} w_G \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.3)$$

$$w_{\eta_{İSİL}} = \pm \left[\left(\frac{\partial \eta_{İSİL}}{\partial \dot{m}} w_{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{İSİL}}{\partial \Delta T} w_{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{İSİL}}{\partial A} w_A \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{İSİL}}{\partial G} w_G \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.4)$$

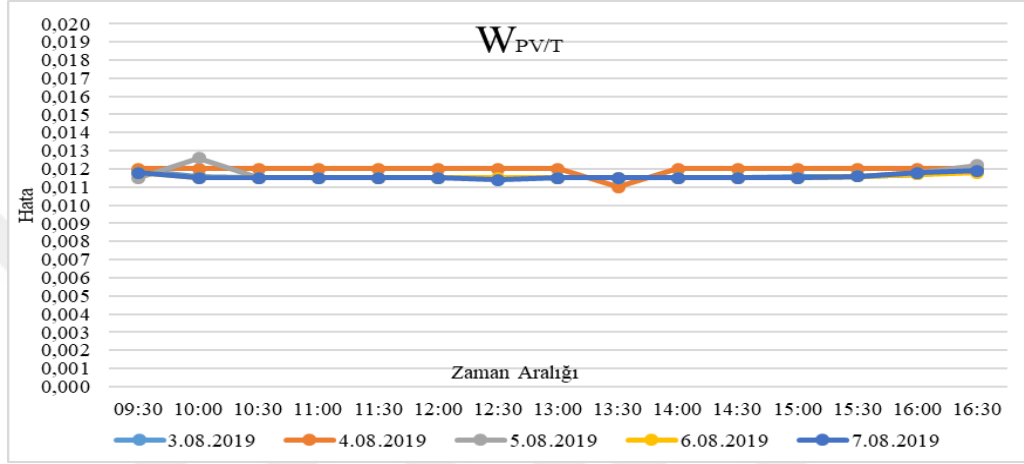
Hesaplamalarda bağımsız değişkenler için doğruluk oranları: debimetre için $\pm\%4$, sıcaklık kayıt cihazı her biri için $\pm\%0,4$ olup $w_{\Delta T}$ değeri $\pm\%0,006$ dır. Ampermetre $\pm\%2$; voltmetre $\pm\%0,5$; piranometre için $\pm\%5$ olup alan ölçümünde $\pm\%1$ olarak katalog değerleri kullanılmıştır. Veriler kullanılarak belirsizlik % olarak Eş. 1.5 yardımı ile her on dakikada yapılan ölçümlere ait analiz bulunmaktadır.

$$\frac{w_{\eta_{PV}}}{\eta_{PV}} 100, \quad \frac{w_{\eta_{PV/T}}}{\eta_{PV/T}} 100, \quad \frac{w_{\eta_{İSİL}}}{\eta_{İSİL}} 100 \quad (1.5)$$

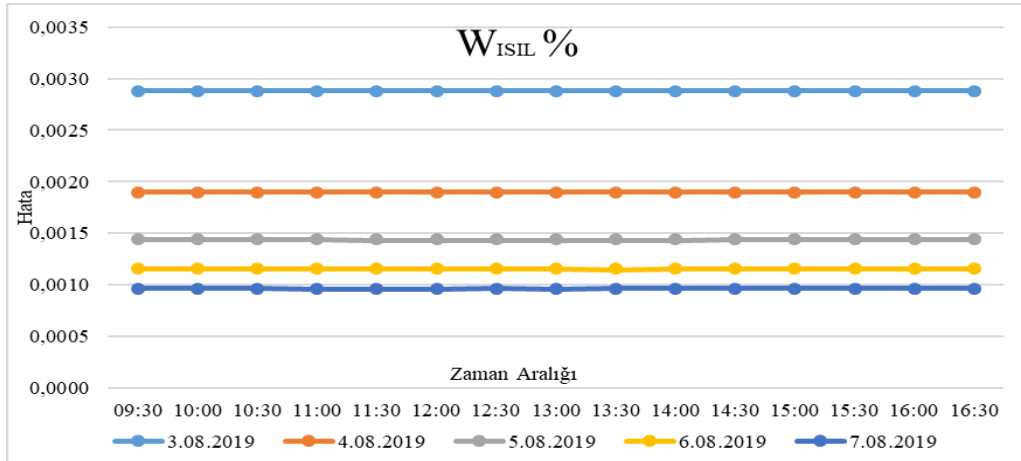


Şekil E1.1. Günlere ait Fotovoltaik Modül Elektriksel Verim Belirsizlik Analizi grafiği

Belirsizlik analizi hesaplamaları yapıldığında ışınlım şiddetinin yükselmesi hata oranını aşağıya çekerken ışınlım şiddetinin düşmesi sonucunda hata yüzdesi artarak sonucu etkilediği Şekil E1.1, Şekil E1.2 ve Şekil E1.3'te görülmektedir. Aynı günlere ait hata yüzdelerinin farklılık sebebi olarak verim değerlerinin çalışma süre ve günlerinde değişkenlik göstermesi olduğu hesaplamalardan anlaşılmaktadır.



Şekil E1.2. Günlere ait Fotovoltaik Isıl Modül Elektriksel Verim Belirsizlik Analizi grafiği

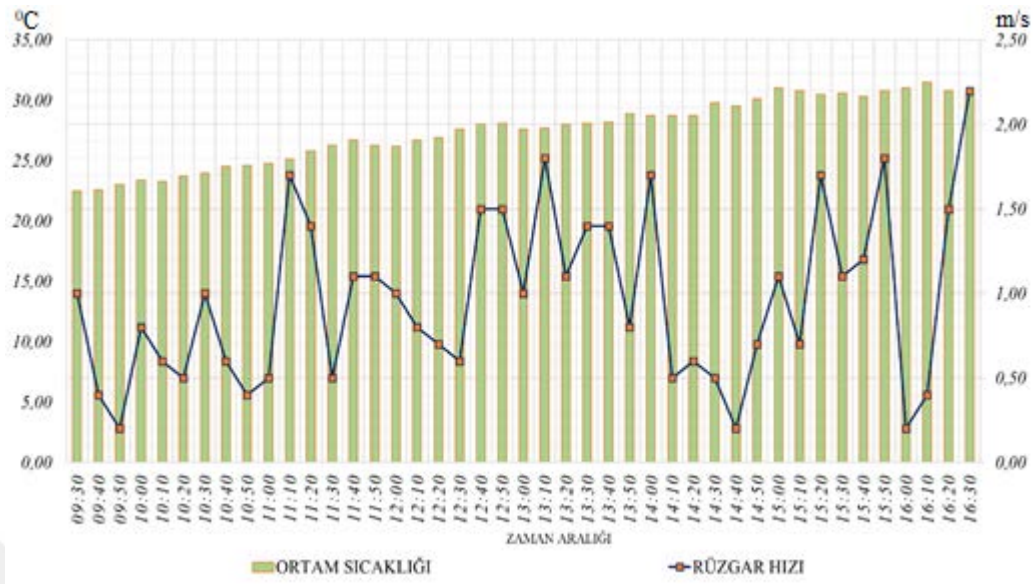


Şekil E1.3. Günlere ait Fotovoltaik Isıl Modül Isıl Verim Belirsizlik Analizi grafiği

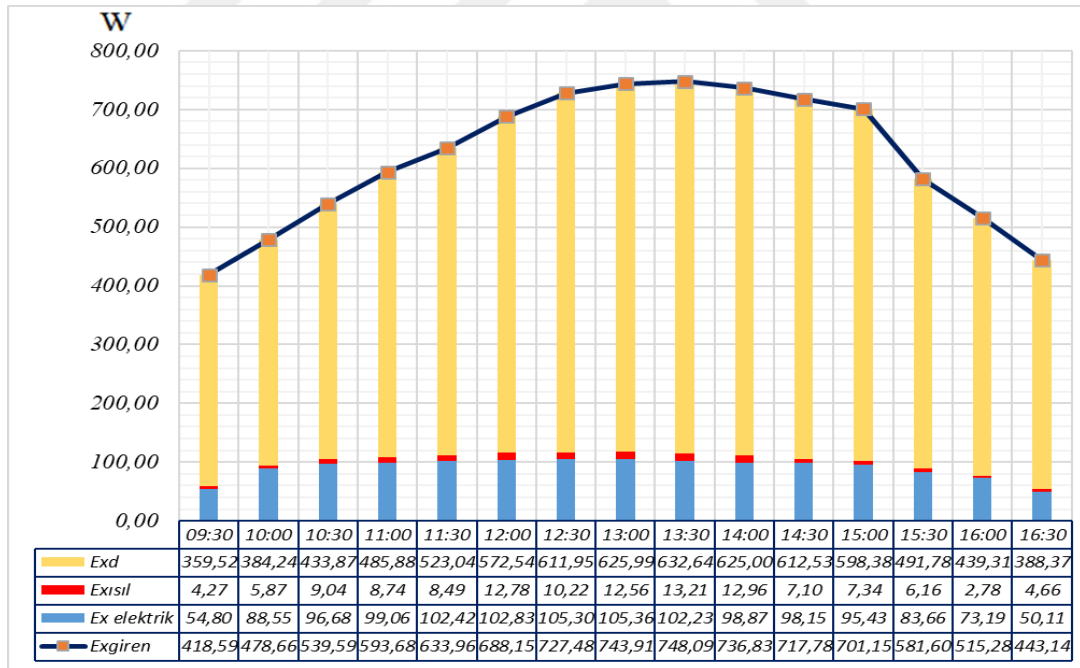
EK-2. 03.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller

Çizelge E2.1. 03.08.2019 tarihine ait veriler

03.08.2019 Günü 0,83 l/dk Debi				
Saat	Su Giriş Sıcaklığı °C	Su Çıkış Sıcaklığı °C	PV Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C	PV/T Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C
09:30	19,80	23,70	42,55	34,90
09:40	19,60	23,60	45,60	35,65
09:50	19,10	24,30	47,20	37,20
10:00	19,60	24,80	49,50	38,65
10:10	19,40	25,30	50,75	40,05
10:20	20,40	26,60	51,00	40,50
10:30	20,40	26,70	52,00	42,25
10:40	20,30	27,20	52,85	42,85
10:50	20,30	27,30	54,75	44,20
11:00	21,00	27,70	55,20	44,95
11:10	21,00	28,10	56,45	45,60
11:20	21,20	28,60	58,25	46,20
11:30	21,20	28,20	57,70	46,20
11:40	21,40	29,20	59,80	47,90
11:50	21,80	29,50	59,00	48,05
12:00	21,80	29,30	58,85	48,10
12:10	21,80	29,50	58,40	47,55
12:20	22,10	30,00	59,75	48,80
12:30	22,00	30,00	60,95	49,00
12:40	22,20	30,20	61,80	49,40
12:50	22,20	30,20	61,35	49,50
13:00	22,00	30,00	60,80	49,35
13:10	21,90	30,20	61,70	49,75
13:20	22,20	30,20	61,20	49,75
13:30	22,10	29,70	60,45	48,80
13:40	22,20	30,20	60,30	49,20
13:50	22,60	30,30	60,75	50,50
14:00	22,60	30,20	59,25	48,20
14:10	22,30	29,70	59,20	48,10
14:20	22,70	30,10	60,30	49,20
14:30	22,50	29,60	60,95	48,05
14:40	22,50	29,80	60,70	47,90
14:50	22,50	29,70	59,80	47,95
15:00	22,60	29,90	57,80	47,25
15:10	22,80	30,10	57,60	47,10
15:20	22,80	30,20	58,65	47,10
15:30	22,30	29,00	56,60	45,45
15:40	22,80	29,00	55,60	44,70
15:50	22,30	28,90	55,00	44,45
16:00	22,00	28,60	53,20	43,30
16:10	22,00	27,30	51,05	42,30
16:20	22,30	27,70	51,75	42,15
16:30	21,90	27,70	50,50	41,25



Şekil E2.1. 03.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi

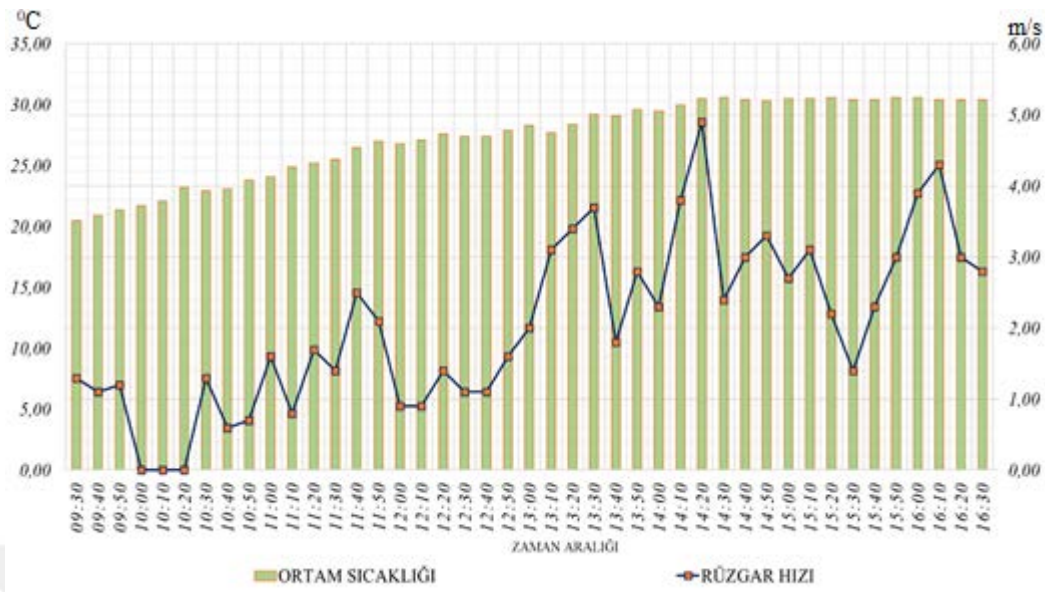


Şekil E2.2. 0,83 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri (03.08.2019)

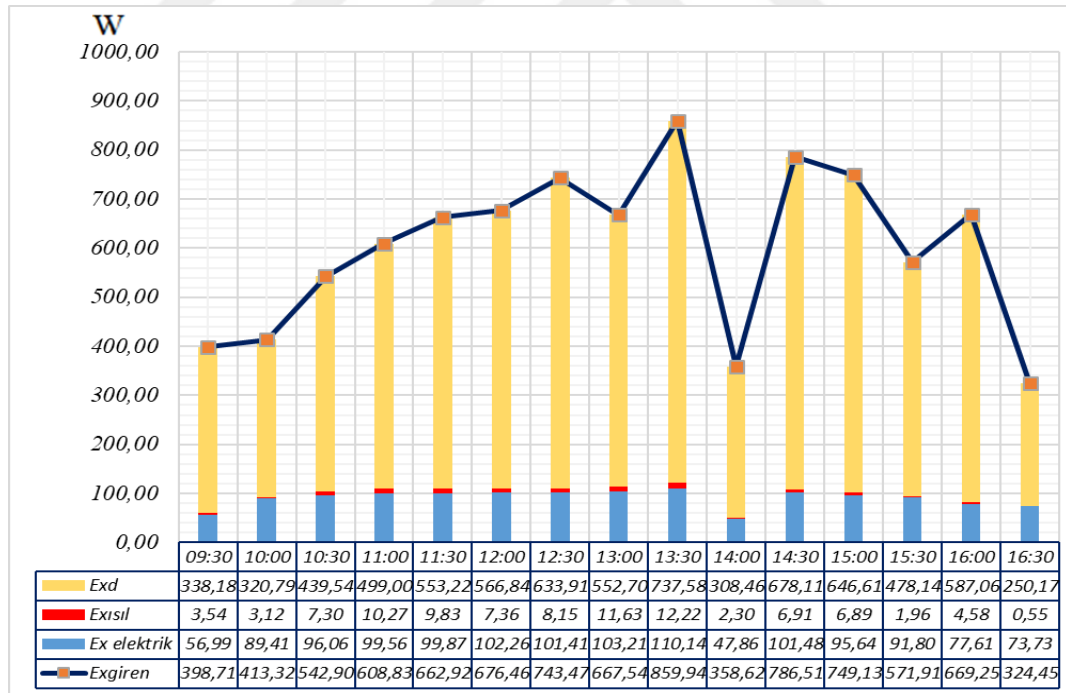
EK-3. 04.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller

Çizelge E3.1. 04.08.2019 tarihine ait veriler

04.08.2019 Günü 1,25 l/dk Debi				
Saat	Su Giriş Sıcaklığı °C	Su Çıkış Sıcaklığı °C	PV Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C	PV/T Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C
09:30	19,20	23,90	40,15	31,10
09:40	19,20	24,10	41,60	32,45
09:50	18,40	22,20	44,55	33,85
10:00	19,40	23,60	47,15	35,40
10:10	19,40	23,90	48,15	36,40
10:20	19,40	24,50	49,90	37,70
10:30	19,40	24,80	50,60	38,30
10:40	19,60	25,00	52,30	39,15
10:50	19,80	25,40	53,10	40,20
11:00	20,00	26,00	55,20	41,55
11:10	20,10	26,20	55,60	41,60
11:20	20,30	26,90	56,75	42,65
11:30	20,30	26,70	56,70	43,20
11:40	20,40	27,00	58,35	43,80
11:50	20,80	27,30	58,95	44,50
12:00	20,80	26,90	58,50	43,65
12:10	20,90	27,20	59,55	44,75
12:20	20,90	26,90	56,80	43,35
12:30	21,00	27,50	58,65	44,45
12:40	20,70	26,40	51,90	40,20
12:50	21,30	27,70	56,30	45,85
13:00	21,30	28,50	59,25	45,90
13:10	20,90	26,00	52,95	41,20
13:20	20,90	26,10	48,45	37,40
13:30	21,40	27,20	53,40	43,95
13:40	21,40	27,70	55,75	45,45
13:50	20,40	24,00	45,25	36,60
14:00	20,90	25,30	45,80	36,90
14:10	20,50	23,50	36,05	31,80
14:20	21,30	26,40	44,80	38,80
14:30	21,40	27,20	52,00	43,40
14:40	21,50	27,40	52,90	43,35
14:50	21,40	27,10	51,50	42,70
15:00	21,60	27,20	52,15	42,80
15:10	21,70	27,10	51,75	42,45
15:20	21,20	26,90	52,15	42,65
15:30	20,70	25,20	44,55	38,25
15:40	21,30	26,40	47,00	39,40
15:50	21,10	26,70	51,00	41,00
16:00	21,10	26,10	49,45	39,40
16:10	20,90	26,20	49,20	40,30
16:20	20,80	25,60	44,05	36,10
16:30	20,20	22,90	34,75	33,80



Şekil E3.1. 04.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi

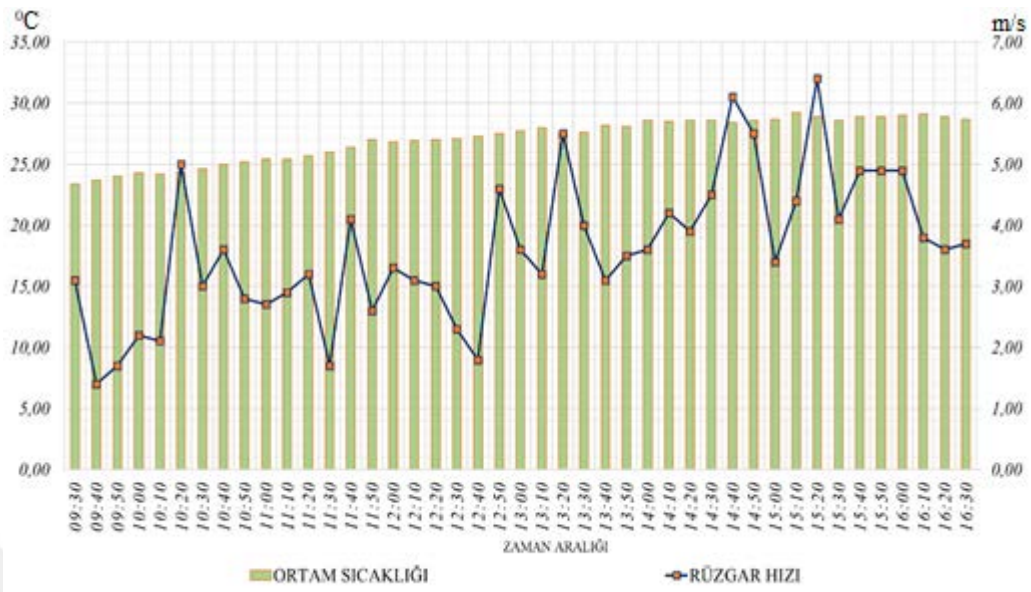


Şekil E3.2. 1,25 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri (04.08.2019)

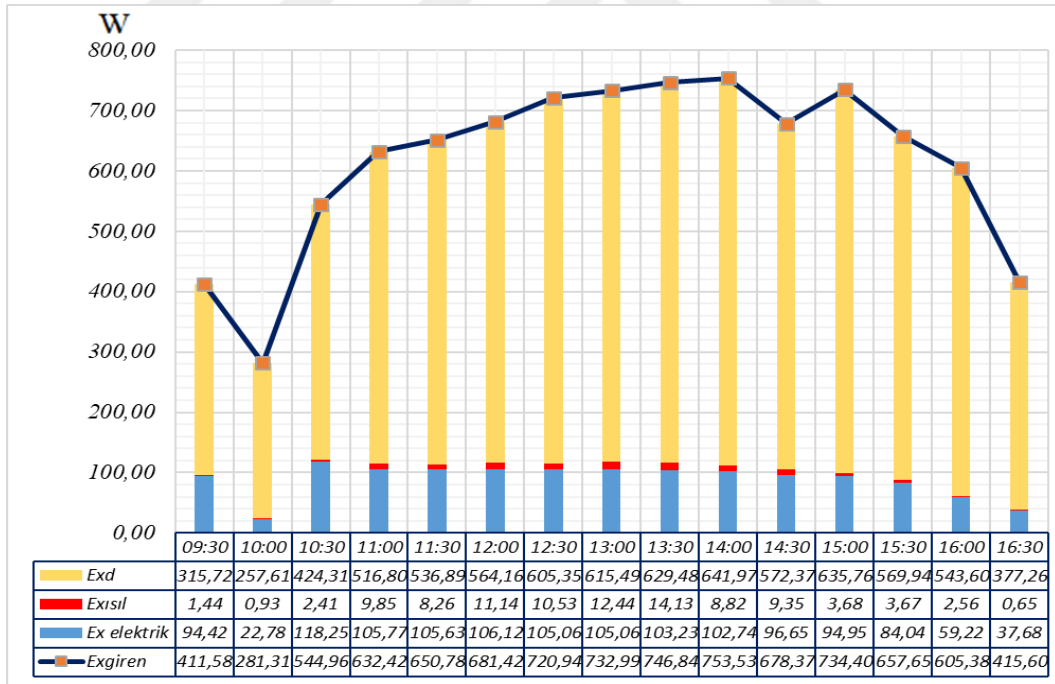
EK-4. 05.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller

Çizelge E4.1. 05.08.2019 tarihine ait veriler

05.08.2019 Günü 1,67 l/dk Debi				
Saat	Su Giriş Sıcaklığı °C	Su Çıkış Sıcaklığı °C	PV Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C	PV/T Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C
09:30	18,80	21,10	34,95	28,65
09:40	18,90	21,40	36,90	29,95
09:50	18,90	21,50	36,95	31,10
10:00	18,80	21,00	34,65	29,00
10:10	18,80	21,10	34,65	28,85
10:20	18,90	20,90	32,35	27,30
10:30	19,00	21,60	37,80	31,50
10:40	18,80	21,70	39,20	33,25
10:50	18,90	22,30	42,90	36,05
11:00	19,20	22,80	48,25	40,05
11:10	19,10	22,70	47,65	39,10
11:20	19,40	23,20	50,40	41,20
11:30	19,40	23,30	50,75	41,40
11:40	19,50	23,30	50,25	41,95
11:50	19,50	23,50	51,30	41,65
12:00	19,60	23,50	50,50	41,40
12:10	19,60	23,50	49,40	42,00
12:20	19,60	23,50	50,80	42,75
12:30	19,70	23,70	50,70	43,10
12:40	19,80	23,90	50,10	43,10
12:50	19,80	23,90	50,90	43,45
13:00	19,80	23,80	49,10	42,70
13:10	19,90	23,90	49,85	43,15
13:20	20,00	24,20	50,45	42,95
13:30	20,00	24,20	51,20	43,00
13:40	19,90	23,60	48,65	41,05
13:50	20,10	24,20	51,10	42,75
14:00	20,00	23,80	49,45	41,20
14:10	20,10	24,10	49,15	41,95
14:20	20,10	24,00	47,95	41,70
14:30	20,00	23,70	47,30	40,55
14:40	20,10	23,80	47,30	40,60
14:50	20,20	23,20	42,25	37,35
15:00	20,00	23,30	41,55	36,95
15:10	19,90	23,30	43,30	38,65
15:20	20,00	23,70	43,05	36,90
15:30	19,80	23,00	42,95	36,30
15:40	19,90	23,10	43,50	36,65
15:50	19,70	22,80	44,30	36,65
16:00	19,50	22,50	42,75	35,00
16:10	19,60	22,50	42,60	35,00
16:20	19,60	22,50	39,50	33,65
16:30	19,30	21,70	36,55	32,05



Şekil E4.1. 05.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi

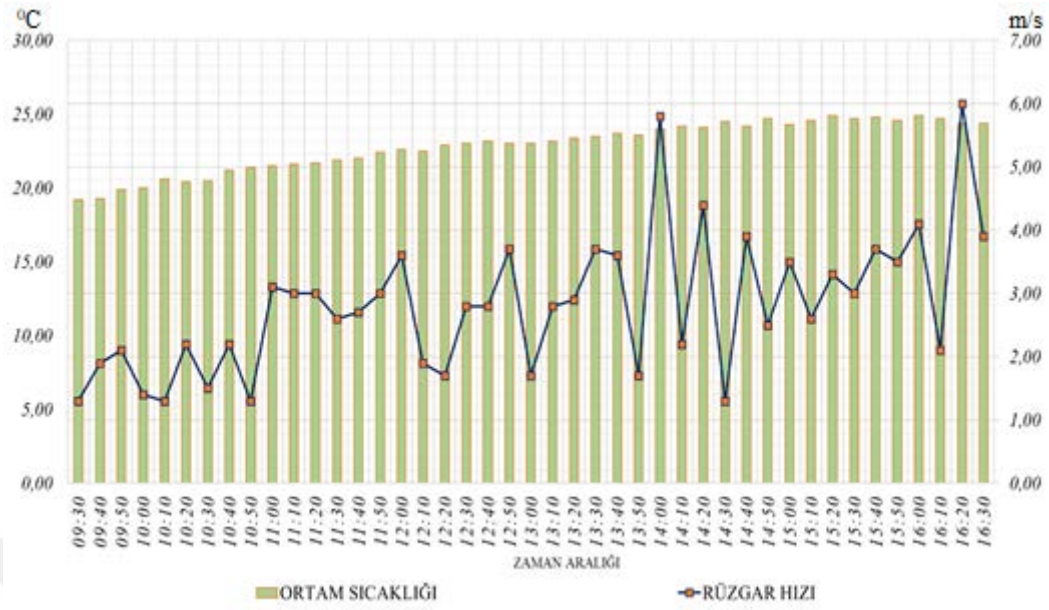


Şekil E4.2. 1,67 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri (05.08.2019)

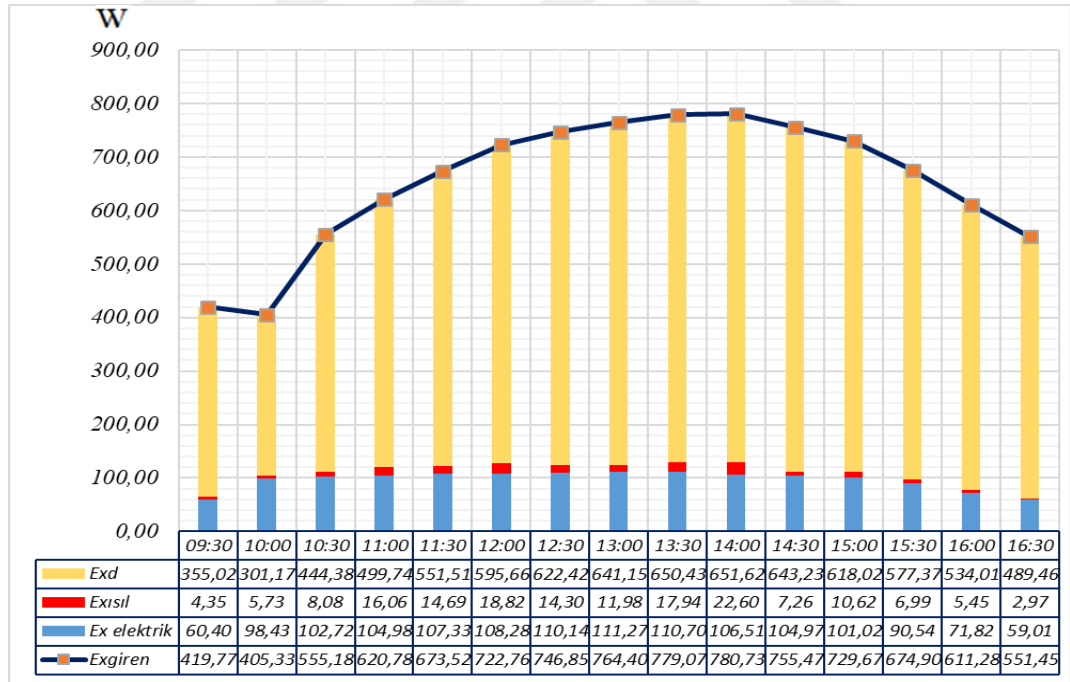
EK-5. 06.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller

Çizelge E5.1. 06.08.2019 tarihine ait veriler

06.08.2019 Günü 2,08 l/dk Debi				
Saat	Su Giriş Sıcaklığı °C	Su Çıkış Sıcaklığı °C	PV Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C	PV/T Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C
09:30	17,00	18,70	37,40	30,95
09:40	16,70	18,50	38,45	31,70
09:50	16,90	18,80	41,75	33,10
10:00	17,00	19,10	41,80	33,30
10:10	17,00	19,20	42,80	34,75
10:20	17,20	19,40	44,75	35,40
10:30	17,20	19,70	44,30	36,10
10:40	17,40	19,80	45,20	37,05
10:50	17,30	19,80	45,55	37,60
11:00	17,60	20,20	48,20	39,35
11:10	17,70	20,30	47,25	39,35
11:20	17,60	20,40	48,40	40,05
11:30	17,80	20,50	46,50	40,00
11:40	17,70	20,40	48,25	40,70
11:50	17,90	20,60	47,65	40,30
12:00	18,10	20,80	49,30	41,00
12:10	18,00	20,80	49,55	41,45
12:20	17,90	20,70	49,60	41,90
12:30	18,10	20,90	48,25	40,45
12:40	18,10	21,00	48,65	41,30
12:50	18,10	21,10	48,60	41,35
13:00	17,80	20,70	48,55	41,55
13:10	17,90	20,90	49,10	41,55
13:20	18,00	21,00	47,55	41,15
13:30	17,90	21,00	49,15	41,30
13:40	18,10	20,90	49,60	41,75
13:50	18,00	20,90	48,05	41,45
14:00	18,00	20,90	47,85	40,85
14:10	18,10	21,10	48,25	40,90
14:20	18,10	21,10	47,45	40,55
14:30	18,20	21,10	46,10	39,90
14:40	18,20	21,10	46,25	39,50
14:50	18,00	20,50	46,95	39,00
15:00	18,20	20,60	45,40	38,20
15:10	18,20	20,50	44,60	38,00
15:20	18,00	20,40	44,05	37,75
15:30	18,00	20,20	43,40	36,55
15:40	18,00	20,20	43,25	36,30
15:50	18,00	20,10	40,50	35,50
16:00	17,90	19,90	39,70	34,25
16:10	17,90	19,90	40,00	34,20
16:20	17,90	19,80	37,95	32,55
16:30	17,80	19,60	31,70	31,40



Şekil E5.1. 06.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi

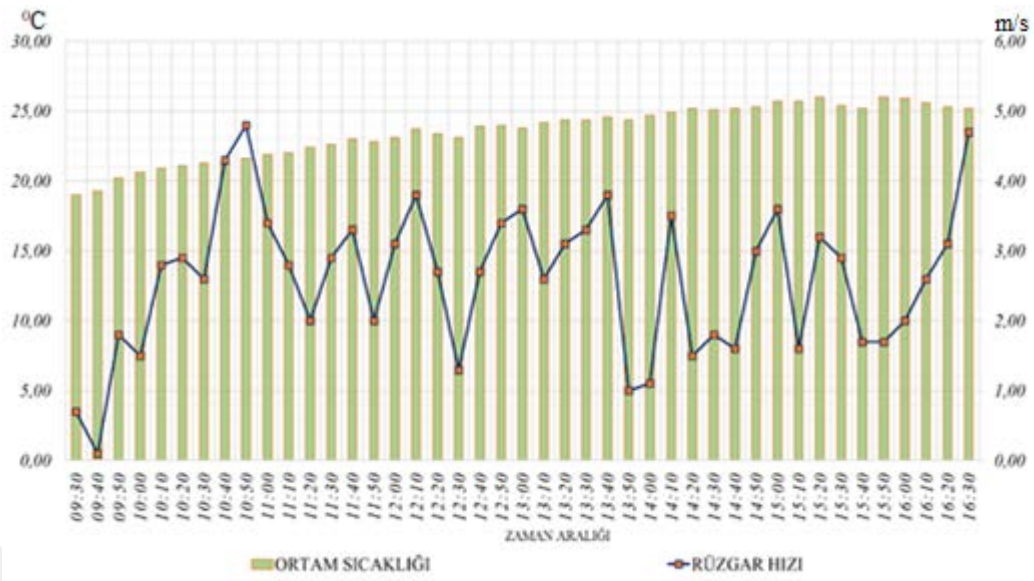


Şekil E5.2. 2,08 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri (06.08.2019)

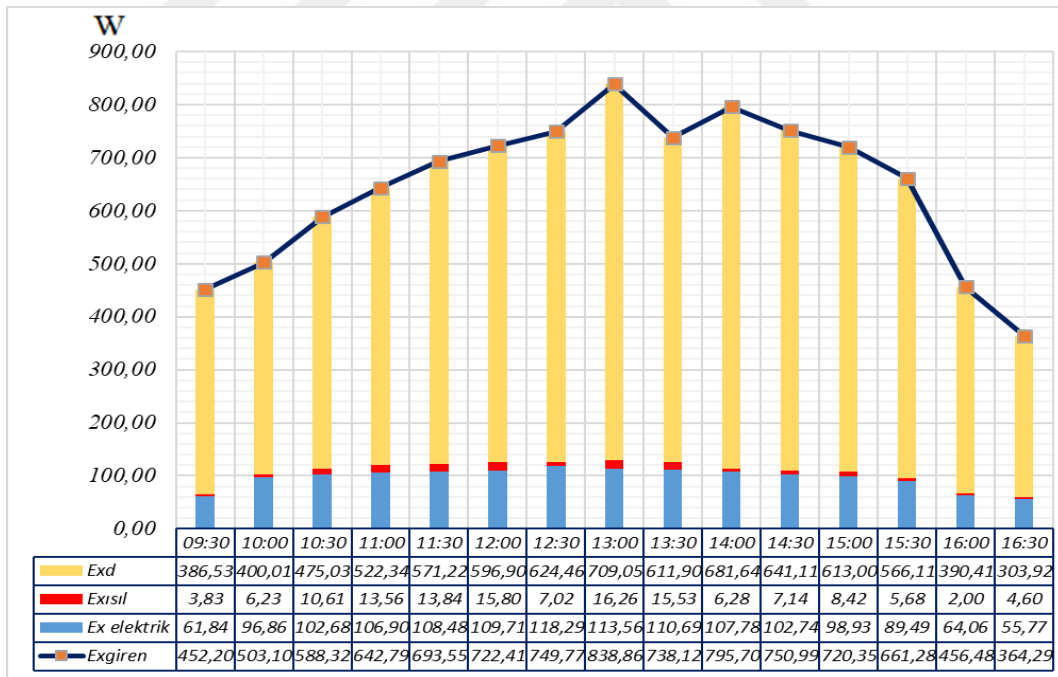
EK-6. 07.08.2019 gününe ait çizelge ve şekiller

Çizelge E6.1. 07.08.2019 tarihine ait veriler

07.08.2019 Günü 2,50 l/dk Debi				
Saat	Su Giriş Sıcaklığı °C	Su Çıkış Sıcaklığı °C	PV Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C	PV/T Modül Yüzey Sıcaklık Ortalaması °C
09:30	18,10	18,50	38,05	31,45
09:40	18,10	18,50	39,10	32,00
09:50	18,40	19,10	40,65	33,45
10:00	18,40	19,20	42,70	34,25
10:10	17,60	19,40	41,50	34,60
10:20	17,40	19,40	41,15	35,40
10:30	17,20	19,30	44,20	36,60
10:40	17,50	19,60	44,10	36,40
10:50	17,80	19,60	43,15	37,00
11:00	17,60	20,10	44,50	37,75
11:10	17,60	20,30	45,75	38,75
11:20	17,60	20,40	47,55	39,40
11:30	17,80	20,50	47,60	39,55
11:40	17,80	20,60	47,40	39,90
11:50	17,70	20,40	47,60	39,80
12:00	17,80	20,50	49,10	40,85
12:10	17,50	20,50	50,55	41,60
12:20	17,80	20,20	49,05	41,50
12:30	17,50	19,60	47,85	38,20
12:40	17,50	19,70	47,75	40,70
12:50	17,40	19,90	50,95	42,25
13:00	17,30	19,80	51,00	40,90
13:10	17,60	19,70	50,45	41,80
13:20	17,90	20,00	52,00	43,05
13:30	17,90	20,00	50,25	41,65
13:40	17,70	19,90	49,70	41,65
13:50	17,40	19,60	44,60	37,10
14:00	17,50	19,50	49,30	39,55
14:10	17,30	19,40	47,80	39,35
14:20	17,20	19,40	51,05	40,70
14:30	17,20	19,30	46,90	39,15
14:40	17,20	19,10	46,60	39,15
14:50	17,40	19,40	46,45	39,10
15:00	17,40	19,20	45,10	37,95
15:10	17,40	19,20	46,55	38,20
15:20	17,40	19,30	45,50	37,55
15:30	17,30	19,00	44,30	36,20
15:40	17,40	19,00	43,55	36,05
15:50	17,20	18,60	41,70	35,45
16:00	17,20	18,60	38,55	33,05
16:10	17,30	18,40	37,80	32,80
16:20	17,40	18,30	36,75	33,10
16:30	17,40	18,20	36,60	33,35



Şekil E6.1. 07.08.2019 gününe ait rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil E6.2. 2,50 l/dk debide hesaplanan PV/T modül Ekserji değerleri (07.08.2019)

ÖZ GEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

SOYADI, Adı : SOYDAN, İsmail Burak
Uyruğu : T.C.
Doğum yeri ve tarihi : Perşembe / 03.03.1980
Medeni hali : Evli, 2 Çocuk
Telefon : 0506 401 0384
E-posta : ismail.brk.sydn@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Makina Mühendisliği	2015
	Otomotiv Öğretmenliği	2001
Lise	Merzifon Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	Karataş Oto. San. Tic. A. Ş.	Servis Danışmanı
2005-2007	Meroto Oto. San. Tic. A. Ş.	Servis Müdürü
2007-	Kamu Kurumu/Amasya	Memur

Yabancı Dil

İngilizce