T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATMAN ŞARTLARINDA FOTOVOLTAİK PANELLERDE VERİM ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

CİHAD FİDAN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

NİSAN 2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Cihad FİDAN tarafından hazırlanan "Batman Şartlarında Fotovoltaik Panellerde Verim Arttırma Yöntemleri" adlı tez çalışması 25/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Aydın DURMUŞ	……..
Danışman Prof. Dr. Aydın DURMUŞ	……..
İkinci Danışman	…….....
Üye Doç. Dr. Lütfü NAMLI	…….....
Üye Doç. Dr. Abdullah AKBULUT	…….....
Üye Doç. Dr. Hakan KARAKAYA	…….....
Üye Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ	…….....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
FBE Müdürü

*Bu tez çalışması BTÜ-BAP tarafından BTÜ-BAP.18.017'nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Cihad FİDAN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BATMAN ŞARTLARINDA FOTOVOLTAİK PANELLERDE VERİM ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

CİHAD FİDAN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ
2021, 190 Sayfa
Jüri
Danışman: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ
İkinci Danışman:
Doç. Dr. Hakan KARAKAYA
Doç. Dr. Lütfü NAMLI
Doç. Dr. Abdullah AKBULUT
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Bu çalışmada hibrit fotovoltaik sistemleri için araştırma, geliştirme ve uygulama yöntemleri hakkında genel bir bakış sunulmuştur. Batman şartlarında hibrit polikristal güneş panelinin elektriksel verimleri, termal verimleri, ekserji analizleri, ampirik bağıntıları, hata analizleri, farklı debi ve kanal yüksekliğindeki Reynolds sayısı değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan hibrit sistem, su ve hava ile soğutulmuştur. Sonuçlar farklı debi ve farklı kanal yükseklikleri baz alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en verimli sistem sırasıyla; PVT/Su, PV/T-Hava, PV çıkmıştır. Yapılan çalışmada elektriksel verimde %20 artış sağlanmıştır. Termal verim de ise %88,8 artış elde edilmiştir. Termodinamik yasalarına uygunluğu matematiksel olarak formüle edilmiştir. Kanal yüksekliği 3mm, debi ise 0,016m/s en uygun görülmüştür. 5mm kanal yüksekliğinde termal etki görülmüş ve elektriksel verim düşüşü olmuştur. Hava ile yapılan soğutma işleminde, hava rahat bir şekilde dışarı ortama çıkamadığı durumda, sistemde termal etki gözüküp elektriksel verim de düşüş oluşmuştur. Sistemde dolaşan havanın rahat bir şekilde dış ortama çıkarılmasını sağladığımızda ise, elektriksel verimde artış termal verimde azalış görülmüştür. Ampirik bağıntılar ve formüller Batman ili ve çevresinde bulunan iller için deneysel olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektriksel Verimlilik, Ampirik Bağıntı, Ekserji Analizi, Hibrit Fotovoltaik Panel, Fotovoltaik Panel, PV, PV / T-Hava, PVT / Su, Termal Verimlilik

ABSTRACT

Ph.D THESIS

EFFICIENCY INCREASING METHODS IN PHOTOVOLTAIC PANELS UNDER BATMAN CONDITIONS

Cihad FİDAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ
2021, 190 Pages
Jury
Advisor: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ
Second Advisor.
Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA
Assoc. Prof. Dr. Lütfü NAMLI
Assoc. Prof. Dr. Abdullah AKBULUT
Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

In this study, an overview of research, development and application methods for hybrid photovoltaic systems is presented. The electrical efficiency, thermal efficiency, exergy analysis, empirical correlations, error analysis, and Reynolds number changes at different flow rates and channel heights were calculated under Batman conditions. The hybrid system built was cooled with water and air. Results are calculated based on different flow rates and different duct heights. According to the results obtained, the most efficient system is; PVT / Water, PV / T-Air, PV is released. In the study, an increase of 20% has been achieved in electrical efficiency. On the other hand, thermal efficiency increased by 88.8%. Mathematically formulated to comply with the laws of thermodynamics. The channel height is 3mm and the flow rate is 0.016m / sec. Thermal effect was seen at 5mm channel height and electrical efficiency decreased. In the cooling process with air, when the air cannot come out easily, there was a thermal effect in the system and a decrease in electrical efficiency. When we ensured that the air circulating in the system was brought out comfortably, there was an increase in electrical efficiency and a decrease in thermal efficiency. Thermal effect is undesirable in hybrid photovoltaic panels. Empirical correlations and formulas have been found experimentally for Batman province and surrounding provinces.

Keywords: Electrical Efficiency, Empirical Correlation, Exergy Analysis, Hybrid Photovoltaic Panel, Photovoltaic Panel, PV, PV / T-Air, PVT / Water, Thermal Efficiency

TEŞEKKÜR

Bu tezimin şekillenmesinde; yönlendirme, bilgi ve tecrübeleriyle destek aldığım çok değerli danışman hocam Batman Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Aydın Durmuş'a, yüksek lisans hocam Sayın Dr. Fevzi GÜLÇİMEN'e en içten teşekkürlerimi sunar, kalem tutan ellere yemin eden Rabbim'e hamdu senalar olsun.

Yaptığım bu çalışmaya maddi destek sunan Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BTÜBAP) Koordinatörlüğü çalışanlarına ve proje yürütücüm Batman Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Aydın Durmuş'a teşekkür ederim.

Doç. Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARAKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ hocalarıma deneylerin yapılışından ve sonuçlanmasına kadar ki tüm yardım ve gayretlerinden dolayı şükranlarımı sunarım.

Her daim yardımlarını esirgemeyen çok değerli Arş. Gör. Dr. Ali Serkan AVCI'ya, Arş. Gör. Dr. M. Ali KALLİOĞLU'na, Arş. Gör. Dr. Umut ERCAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN'e, Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KARHAN'a ve adını yazamadığım tüm kadim dostlarıma teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan anneme, babama, neneme ve tüm kardeşlerime minnet, şükran ve sevgilerimi sunarım.

Sevgili eşime, oğluma ve kızıma armağan olsun.

Cihad FİDAN

BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TEŞEKKÜR ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **x**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xii**

SİMGELER ..... **xviii**

KISALTMALAR ..... **xix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Literatür Çalışmaları 5

2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ **17**

2.1. Düz plaka kollektörleri 17

2.2. Vakumlu Tüplü Kollektörler 18

2.3. Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Kollektörler (CPC) 19

2.4. Güneş Takip Sistemli Kollektörler 20

2.5. Parabolik Oluklu Güneş Enerji Kollektörleri 20

2.6. Silindirik Oluklu Kollektörler 21

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER **22**

3.1. Güneş Pil Çeşitleri 25

3.1.1. Kristal Silisyum Pilleri 25

3.1.2. Tek-kristal (Monokristal) Silisyum Güneş Pilleri 25

3.1.3. Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Pilleri 25

3.1.4. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri 25

3.1.5. Çok kristal Silisyum ve İnce Film Güneş Pilleri 25

3.2. Fotovoltaik Panel ve Prensibi 27

3.2.1. Cam 28

3.2.2. Etilen Vinil Asetat (EVA) 29

3.2.3. Tpt (Tedlar Polyester Tedlar) 30

3.2.4. Emici bağlantı yöntemleri 30

3.2.5. N Tipi Yarıiletken 32

3.2.6. P Tipi Yarıiletken 32

3.2.7. P-N Kavşağı 33

3.3. Fotovoltaik–Termal (PVT) Sistemler 35

3.4. PV / T ve Akış Kanalları Tasarımı 45

3.5. Fotovoltaik Alan Potansiyeli ve Parametreleri 48

4. MATERYAL VE YÖNTEM 52
4.1. Deneysel Çalışmalar 52
4.1.1. Literatüre Uygunluğu 54
4.1.2 PVT Sistemlerinin Karşılaştırılması 64
4.2. Deney Öncesi İşlemler 65
4.2.1. Malzeme ve Ölçüm Aletleri 65
4.2.1.1. Deney Parametreleri ve Tasarımı 65
4.2.1.1.1. Nominal Güç (Pmax)(W) 67
4.2.1.1.2. Nominal Güç Voltajı (Vmpp)(V) 67
4.2.1.1.3. Nominal Güç Akımı (Impp)(A) 68
4.2.1.1.4. Açık Devre Voltajı (Voc)(V) 68
4.2.1.1.5. Kısa Devre Akımı (Isc)(A) 68
4.2.1.1.6. STC- Standart test koşulları 68
4.2.1.1.7. NOCT- Nominal test koşulları 68
4.2.1.2. MPPT T30 68
4.2.1.3. Solar Meter SM206 69
4.2.1.4. Extech EN 300 Anemometre 69
4.2.2. Malzemelerin Deneye Hazırlanması 74
4.3. Matematiksel Hesaplamalar ve Fotovoltaik Alan Hesabı Çalışması 78
4.3.1. Deney Düzeneğinin Referans Noktaları 93
Yapılan hibrit sistemin yandan kesit profili şekil 4.35 ile gösterilmiştir. 95
4.3.2. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi 95
4.4. Sistemlerin Denklemleri ve Termodinamik Analizi 97

5. DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ 104
5.1. Fotovoltaik Panel Deneysel Elektriksel Verim Hesabı 104
5.1.1. Farklı debi Hesaplamaları 104
5.1.2. Farklı Kanal Yüksekliği ve Debi Hesaplamaları 111
5.1.3. Ağustos Ayı Ekserji Analizi 116
5.1.4. Ağustos Ayı İçin Termal Verim Hesaplamaları 121
5.1.5. Ağustos Ayı İçin Verim Karşılaştırması 121
5.2. Eylül Ayı İçin Elektriksel Verim Hesaplamaları 122
5.2.1. Eylül Ayı İçin Ekserji Hesabı 124
5.2.2. Eylül Ayı için Termal Verim Hesabı 125
5.2.3. Eylül Ayı İçin Verim Karşılaştırması 125
5.3. PVT Sistemlerinin Ampirik Bağıntıları 126
5.3.1. Debinin 0,016 ve Kanal yüksekliğinin 5mm Olduğu Andaki Bağıntılar 126
5.3.2. Debinin 0,32 ve Kanal yüksekliğinin 5mm Olduğu Andaki Bağıntılar 132
5.3.3. Debinin 0,16 ve Kanal yüksekliğinin 3mm Olduğu Andaki Bağıntılar 138
5.3.4. Debinin 0,032 ve Kanal yüksekliğinin 3mm Olduğu Andaki Bağıntılar 144
5.4. Reynolds Sayısı Sonuçları 148
5.5. Hata Analizi 151

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 153
6.1. Genel Sonuçlar 153
6.2. Öneriler 156

KAYNAKLAR **158**

ÖZGEÇMİŞ **170**

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo Sayfa

Tablo 3.1. Periyodik Tablo 24

Tablo 3.2. Yarımetaller 24

Tablo 3.3. Ülkemizin enerji bazında aylık ortalama güneş potansiyeli 51

Tablo 3.4. Ülkemizin enerji bazında güneş potansiyeli (Anonim, 2018 b) 51

Tablo 4.1. Hibrit modelde kullanılan malzeme özellikleri 53

Tablo 4.2. Yapısal modelde kullanılan malzeme özellikleri 53

Tablo 4.3. Su ile soğutmada verim karşılaştırması 54

Tablo 4.4. Hava tipi PVT sistemlerinin deneysel karşılaştırılması 58

Tablo 4.5. Panelin sayısal verileri 65

Tablo 4.6. Kompresör özellikleri 72

Tablo 4.7. Aylara göre global radyasyon hesaplaması 84

Tablo 4.8. Aylara göre difüz radyasyon değeri 85

Tablo 4.9. Aylara göre Difüz radyasyon değeri Ocak-Ağustos 85

Tablo 4.10. Aylara göre Difüz radyasyon değeri Eylül-Aralık 86

Tablo 4.11. Modelin İstatistik kıyaslaması 86

Tablo 4.12. Kolerasyon eğrileri için S/So ve H/Ho 87

Tablo 4.13. Aylık Optimum açı hesabı 90

Tablo 4.14. Verim çıktıları 100

Tablo 4.15. Su için C_p değerleri 100

Tablo 4.16. sıcaklığa bağlı olarak hava yoğunluğu 101

Tablo 4.17. Hava için Cp değerleri 102

Tablo 5.1. Koşul 1 için dış etkenler 114
Tablo 5.2. Koşul 2 için dış etkenler 115
Tablo 5.3. Koşul 3 için dış etkenler 116
Tablo 5.4. Koşul 4 için dış etkenler 117
Tablo 5.5. Ekserji Sonuçları 118
Tablo 5.6. Termal ve elektriksel verim karşılaştırması 119
Tablo 5.7. Tüm sistemin verim karşılaştırması 119
Tablo 5.8. Dış Etkenler 121
Tablo 5.9. Eylül ayı ekserji çıktısı 122
Tablo 5.10. Eylül ayı termal verim 122
Tablo 5.11. Eylül ayı termal verim hesabı 122

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Sayfa

Şekil 1.1. Güneş enerjisinin dönüşümleri (Rakesh,2011). 3

Şekil 1.2. Çeşitli PV teknolojileri (Rakesh,2011). 4

Şekil 1.3. Çeşitli güneş teknolojileri şemaları (Anil,2015). 5

Şekil 1.4. Yüzgeç kullanımı (Kumar,2015). 6

Şekil 1.5. PV/T örneği (Ahmed,2018). 7

Şekil 1.6. Hava toplayıcı kesit görünümü 8

Şekil 1.7. Çift geçişli CPC ve kanallı termal güneş kollektörü (Othman,2005). 9

Sekil 1.8. PV modülünün arka yüzüne bağlı ısı değiştiricisi (Khelife,2016). 10

Şekil 1.9. PV hibrit tasarımı (Rahman,2017). 11

Şekil 1.10.Su ısıtıcılı fotovoltaik–termal kollektörün şematik diyagramı (Shan,2013). 12

Şekil 2.1. Düz plaka kollektörü (Ghazi,2014). 18

Şekil 2.2. Vakumlu tüp (Price,2002). 18

Şekil 2.3. Bileşik parabolik kollektör (Price,2002). 19

Şekil 2.4. Parabolik oluklu güneş enerji kollektörleri (Price,2002). 20

Şekil 2.5. Silindir Oluklu Kollektörler(Price,2002). 21

Şekil 3.1. Czochralski Monokristal ve Polikristal Silisyum Üretimi (Boz,2011). 25

Şekil 3.2. PV sistemin parçaları (Anonim,b) 26

Şekil 3.3. Panel katmanları 28

Şekil 3.4. EVA polimerlerinin yapısı. 29

Şekil 3.5. Bir n tipi yarıiletken (Karamanav,2007). 32

Şekil 3.6. P Tipi Yarı İletken (Karamanav,2007). 33

Şekil 3.7. P – N Kavşağının Oluşumu (Karamanav,2007). 33

Şekil 3.8. PV hücre kavşak sıcaklığı ile açık devre voltajı değişimi(B.J. Huang,2011). 36

Şekil 3.9. (a) Farklı çalışma sıcaklıklarında tek kristalli silikon PV hücrelerinin çıkış gücü(b) maksimum çıkış gücünün sıcaklıkla olan ilişkisi. 36

Şekil 3.10. Volt Amper ilişkisi 37

Şekil 3.11. hava soğutmalı kollektör. 38

Şekil 3.12. PV/t hava toplayıcı 39

Şekil 3.13. PV/t su toplayıcı şematik diyagramı (V.V.Tyagi,2012). 40

Şekil 3.14. Hibrid fotovoltaik-termal kollektör. 42

Şekil 3.15. Bir HP-PV/t güneş kollektör şematik diyagramı (Pei,2012). 42

Şekil 3.16. HP-PV/t sisteminin şematik diyagramı (Pei,2012)..... 43

Şekil 3.17. Entegre PV/T sistemleri oluşturmak için havalandırmalı PV sırlama işlemi (a) soğutma modu. (B) ısıtma modu 44

Şekil 3.18. Güneş kollektörü ve çatı tipi BİPVT (H Wei,2014)..... 44

Şekil 3.19. Yoğunlaştırıcı PV/T kolektörü (Tyagi,2012). 45

Şekil 3.20. Çeşitli toplayıcı kavramları: (A), tabaka-ve-borulu PV / T, (B), bir kanal PV / T, (C) serbest akış PV / T, (D), iki emici PV / T (yalıtımlı tip)..... 46

Şekil 3.21. PV modülünün arkasında kurulu petek fotoğrafı 47

Şekil 3.22. Her iki toplayıcının da termal verimliliği 48

Şekil 3.23. Dünya geneli PV sistemler ile elde edilen elektrik enerjisi artışı..... 48

Şekil 3.24. Dünya geneli PV sistem ile elektrik üreten ilk on ülke 49

Şekil 3.25. Dünya geneli PV kapasitesi 49

Şekil 3.26. Dünya geneli güneş kollektörleriyle sıcak su elde eden ilk 12 ülkenin kollektör kapasitesi 50

Şekil 3.27. Dünya geneli Güneş enerjisinden sıcak su elde eden ilk 20 ülke 50

Şekil 4.1. Deneyde kullanılan panelin teknik resim çizimi 67

Şekil 4.2. Solar Meter SM206 ışınım ölçer 68

Şekil 4.3. Rüzgâr, sıcaklık, nem ölçen alet Anemometre 70

Şekil 4.4. Datalogger Teknik çizimi 70
Şekil 4.5. Sistemde kullanılan Datalogger 70
Şekil 4.6. İskele örneği 71
Şekil 4.7. Ayarlanabilen iskele tasarımı 71
Şekil 4.8. Setkom kompresör 73
Şekil 4.9. Deney Sahası seçimi 73
Şekil 4.10. Termokuplların dataloggera bağlantısı 74
Şekil 4.11. MPPT30 cihazının bağlantısı 75
Şekil 4.12. Hibrit sistem yapımı 75
Şekil 4.13. Hava soğutmalı sistem 76
Şekil 4.14. Su soğutmalı sistem 76
Şekil 4.15. Deney sahası 77
Şekil 4.16. Düzeneğin bilgisayar bağlantısı 77
Şekil 4.17. Merkez Global Radyasyon Değerleri (KWh/m^2-gün) (Anonim d,2018 78
Şekil 4.18. Merkez Güneşlenme Süreleri (Saat) (Anonim d,2018). 78
Şekil 4.19. Merkez PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) (Anonim d,2018). 79
Şekil 4.20. Açı konumları (Anonim,2018e) 80
Şekil 4.21. Zenit açısının gösterimi (Anonim,2018e). 80
Şekil 4.22. Enlem açısı ve eğim açısı arasındaki ilişki (Anonim,2018e) 81
Şekil 4.23. Doğrusal gösterimi 88
Şekil 4.24. Polinom gösterimi 88
Şekil 4.25. Logaritmik gösterimi 89
Şekil 4.26. Üssel gösterimi 89
Şekil 4.27. Üstel gösterimi 90
Şekil 4.28. Batman şartlarında aylara göre β (Eğim Açısı) 91

Şekil 4.29. Batman İlimizin eğim açısı yıllık grafiği 92
Şekil 4.30. Batman İli Yıllık panel açı ışınım değişim grafiği 92
Şekil 4.31. Ağustos ve eylül Ayları optimum açı ışınım ilişkisi 93
Şekil 4.32. Hibrit fotovoltaik panelin kanal yapısı 93
Şekil 4.33. Panelin katı modellemesinin çizimi..... 94
Şekil 4.34. Sistemin sıcaklık noktaları..... 92
Şekil 4.35. Sistemin yandan görünümü 93
Şekil 4.36. Deney düzeneğinin şematik görünümü 93
Şekil 4.37. Deney düzeneğinin teknik resmi. 94
Şekil 5.1. Debi 0,16 l/s.,Kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Güç gr..... 94
Şekil 5.2. Debi 0,16 l/s, kanal yükseliği 5mm'de elektriksel verim grafiği 106
Şekil 5.3. Debi 0,16 l/s, kanal yükseliği 5mm'de Gerilim-Akım grafiği 107
Şekil 5.4. Debi 0,16 l/s, kanal yükseliği 5mm'de Işınım-Yüzey sıcaklıkları 107
Şekil 5.5. Debi 0,16 l/s, kanal yükseliği 5mm'de Güç-Yüzey Sıcaklığı 108
Şekil 5.6. Debi 0,16 l/s., kanal yüksekliği 5mm'de nem, rüzgâr, sıcaklık etkisi..... 108
Şekil 5.7. Debi 0,32 l/s, kanal yükseliği 5mm'de Işınım-Güç grafiği 109
Şekil 5.8. Debi 0,32 l/s, kanal yükseliği 5mm'de elektriksel verim grafiği 109
Şekil 5.9. Debi 0,32 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Gerilim-Güç grafiği 110
Şekil 5.10. Debi 0,32 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Yüzey sıcaklığı grafiği.... 110
Şekil 5.11. Debi 0,32 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Güç- Işınım grafiği 111
Şekil 5.12. Debi 0,32 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de nem, sıcaklık, rüzgâr, etkisi..... 111
Şekil 5.13. 0,16l/s, 3mm kalınlıkta Işınım-Güç grafiği 112
Şekil 5.14. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta Işınım-Elektriksel Verim grafiği 112
Şekil 5.15. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta güç-yüzey sıcaklığı grafiği 113
Şekil 5.16. 0,16 l/s, 3mm kalınlıkta ışınım-güç grafiği 114

Şekil 5.17. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta ışınım-elektriksel verim grafiği 114
Şekil 5.18. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta güç-akım grafiği 115
Şekil 5.19. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta ışınım-yüzey sıcaklığı grafiği 115
Şekil 5.20. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta güç-yüzey sıcaklığı grafiği 116
Şekil 5.21. 0,16 l/s,3mm kalınlıkta ışınım, sıcaklık, nem, rüzgâr etkisi 116
Şekil 5.22. Farklı Işınım altında ekserji analizi 121
Şekil 5.23. Işınım-güç grafiği 123
Şekil 5.24. Işınım-Elektriksel verim grafiği 124
Şekil 5.25. Işınım-Akım grafiği 124
Şekil 5.26. PV için güç-ışınım ilişkisi. 127
Şekil 5.27. PV/T-Hava için güç-ışınım ilişkisi 128
Şekil 5.28. PV/T-Su için güç-ışınım ilişkisi 129
Şekil 5.29. PV için güç-yüzey sıcaklığı 130
Şekil 5.30. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı 131
Şekil 5.31. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı 132
Şekil 5.32. PV için verim-yüzey sıcaklığı 133
Şekil 5.33. PV/T-Hava için verim-yüzey sıcaklığı. 134
Şekil 5.34. PV/T-Su için verim-yüzey sıcaklığı 135
Şekil 5.35. PV için güç-yüzey sıcaklığı 136
Şekil 5.36. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı 136
Şekil 5.37. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı 137
Şekil 5.38. PV için güç-ışınım 139
Şekil 5.39. PV/T-Hava için güç-ışınım 140
Şekil 5.40. PV/T-Su için güç-ışınım 141
Şekil 5.41. PV için güç-yüzey sıcaklığı 142

Şekil 5.42. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı 139

Şekil 5.43. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı 140

Şekil 5.44. PV için güç-ışınım 145

Şekil 5.45. PV/T-Hava için güç-ışınım 146

Şekil 5.46. PV/T-Su için güç-ışınım 147

Şekil 5.47. Hava soğutmalı sistemde Reynolds sayısı verim karşılaştırması 148

Şekil 5.48. Hava soğutmalı sistemde Reynolds sayısı verim karşılaştırması 149

Şekil 5.49. 5mm kalınlıktaki su soğutmalı sistemin Reynolds sayısı ve verim karşılaştırması 150

Şekil 5.50. 3mm kalınlıktaki su soğutmalı sistemin Reynolds sayısı ve verim karşılaştırması 151

SİMGELER

δ	: Deklinasyon açısı
m	: Hava kütlesi
θ	: Geliş açısı
α	: Yükseklik açısı
β	: Azimut açısı
ال	: Yüzey azimut açısı
Θz	: Zenit açısı
Akol	: Kollektör Alanı (m^2)
I	: Akım (Amper)
Iış	: Işınım Şiddeti (W/m^2)
m	:Debi (kg/s)
ηp	: PV panel verimi
ηPV/T	:PV/T panel verimi
T	: Sıcaklık(°C)
V	: Gerilim (Volt)
W	: Güç (Watt)

KISALTMALAR

Pmax : Nominal Güç (W)

Vmpp : Nominal Güç Voltajı (V)

Impp : Nominal Güç Akımı (A)

Voc : Açık Devre Voltajı (V)

Isc : Kısa Devre Akımı (A)

GPa **:** Elastisite Modülü

NOCT **:** Nominal test koşulları

1. GİRİŞ

Dünyada küresel düzeyde fosil atıklarında meydana gelen çevre kirliliği ve baş gösteren iklim değişiklikleri neticesinde, yeni enerji kaynaklarına yönelmemiz gerektiği aşikârdır. En önemli görevimizin bu olması gerekir. Fosil atıklarından elde edilen petrol ve yan ürünlerinin gelecekte tükeneceği öngörüldüğünden, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yoğun araştırmalar içerisine girilmiştir. Bu bağlamda geleceğin enerji sistemlerinin baş aktörü konumunda olabilecek güneş ön plana çıkmaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerde panellerin ısınmasından kaynaklı verim kayıpları gözlemlenmiştir. Ele alınan sistem geliştirilerek hibrit sistemlere geçiş sağlanmıştır. Hibrit sistemlerde aynı anda hem termal hem de elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Yaşam kalitesindeki gelişmeler ve hızlı sanayileşme, enerji talebinin önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, enerji teknolojilerinin artmasına sebep oldu. Güneş enerjisi teknolojilerinin uygulamaları ile ilgili araştırmalar güneş enerjisinin bol, ucuz, serbest ve çevre dostu olması nedeniyle hızla gelişmektedir. Kurulum maliyetlerinin yüksek olması, verimliliklerinin düşük olması, güvenilirlik ve kullanılabilirlik gibi faktörler sistemin önündeki en büyük sorunlardır. Bunun da çözümü rekabetçi birçok firmanın bu sahaya el atarak, sistemi daha ucuz daha verimli hale getirmesi olur. Bu bağlamda birçok ülke çeşitli teşvikler ile bu sahayı daha ucuz hale getirmeye çalışmaktadır.

Ancak, tek kristal silikon bazlı modülün verimliliği hala yaklaşık %20 civarında olması ve PV kurulum maliyeti önemli ölçüde elde edilen güç maliyetinden daha yüksektir (H.M. Liou, 2010).

Fotovoltaik hücrelerin veya modüllerin verimlilikleri kontrollü koşullar altında ölçülür. Şartlar ışınım 1000 W/m^2 olup hücre sıcaklığı 25 °C kabul edilir. Bu çalışma sıcaklığı gerçek uygulamalarda çok daha yüksek olmasından kaynaklı olarak elektriksel güç ve verim azalmasına neden olmaktadır. Fotovoltaik modüllerin verimlerini artırmak için modülde üretilen ısı, modülün altında ve/veya üzerinde bir ısı geri kazanım sıvısı (su, yağ, glikol, hava) geçirerek elde edilebilir. Termal ve elektrik enerjisinin aynı anda üretildiği bu entegre yaklaşım fotovoltaik-termal (PV / t) kollektörlerin temelidir (J.K., 2007).

PV/ t kollektörlerinin potansiyeli 1970 yılından beri tanınmakta ve son on yılda daha fazla dikkat çekmektedir. Isı ve elektrik için ayrı güneş teknolojileri kullanılarak karşılaştırıldığında, ısı ve elektrik aynı kolektör yüzeyinden üretimi genellikle daha uygun maliyetli, daha az alan gerektirir ve önemli ölçüde daha düşük sistem dengesi maliyeti sergiler. PV/t kollektörlerinin potansiyeli büyüktür, çünkü birçok potansiyel kullanıcı ısı ve elektrik için eşzamanlı gereksinimleri vardır (H.A. Zoondag, 2002).

Verim arttırma yöntemlerini geliştirmek için bilim insanları son 30 yıl içerisinde birçok deney yapmışlardır. Bu deneyler neticesinde değişik malzemeler ve değişik sistemler hazırlanmıştır. Panelde oluşan yüksek sıcaklıklarda verim düşüşünü engellemek için panelin soğutulması gerektiği bulunmuştur. Fotovoltaik (PV) modülünün genel elektrik verimliliği, PV modülünden termal enerji çekilerek PV modülü sıcaklığını azaltarak artabilir. Bunun neticesinde normal PV Sistemlerine ek aparat bağlanıp, sistemden tabii veya zorunlu olarak su veya hava geçirilerek fotovoltaik/termal (PVT) hibrit sistemler oluşturulmuştur. Yani hibrit sistemlerinin amacı, fotovoltaik sistemden ısı alarak panelin uygun sıcaklıkta verimli çalışmasını sağlamaktır.

PV hücrelerinin çalışma sıcaklığı fotovoltaik performansında önemli bir rol oynar. Ortam sıcaklığı, yerel rüzgâr hızı, güneş radyasyonu ve malzemenin parametreleri verim üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Swapnil, 2013).

Güneş enerjisi yenilenebilir bir çevre dostu ve herkesin sahip olabileceği bir enerji kaynağıdır. Bundan dolayı kullanımını arttırırsak geleneksel enerji kaynaklarının korunmasını sağlayacak ve aynı zamanda çevreye zarar vermesini önleyecektir. Şu an itibari ile mevcut yenilenebilir enerji seçenekleri arasında, güneş enerjisi daha umut verici, sürdürülebilir enerji kaynağı gibi görünüyor. Sebebi ise güneş radyasyonunu ya termal enerjiye ya da elektrik enerjisine ya da her ikisine dönüştürebilmemizdir (A Tiwari, 2009).

Güneş enerjisi kollektörleri, güneş radyasyonunu hareketli bir sıvı veya hava aracılığıyla termal enerjiye dönüştüren ısı eşanjörlerinin özel bir türüdür. Sisteminin en önemli bileşeni olan güneş kollektörü, gelen güneş radyasyonunu emerek ısı enerjisine dönüştürür. Bu ısı enerjisi değişik uygulamalar için kullanılabilir. Bu ısı enerjisi bir sıvı (genellikle hava, su veya yağ) yardımıyla transfer edilerek, tarımsal ürünlerin kurutulması veya binaların ısıtma/soğutma uygulamaları ile klima sistemlerinde kullanılır(VVTyagi,2012).

PV hücrelerinin çalışma sıcaklığı fotovoltaik performansında önemli bir rol oynar. Ortam sıcaklığı, yerel rüzgâr hızı, güneş radyasyonu ve malzemenin parametreleri verim üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Swapnil,2013).

Fotovoltaik (PV) sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik dönüştüren bir sistemdir. Fotoelektrik etkisi kullanılarak güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için kullanılan enerji dönüşüm cihazlarına güneş pilleri denir. Fotovoltaik sistemler güneş hücrelerinden ve yardımcı bileşenlerden meydana gelir. Güneş radyasyonunu doğrudan elektriğe dönüştürür. Bilim insanları ilk olarak 1954 yılında p–n kavşak tipi güneş pili ile güneş radyasyonunun elektrik enerjisini 6% verimlilik ile sağlamıştır (Zondag, 2006).

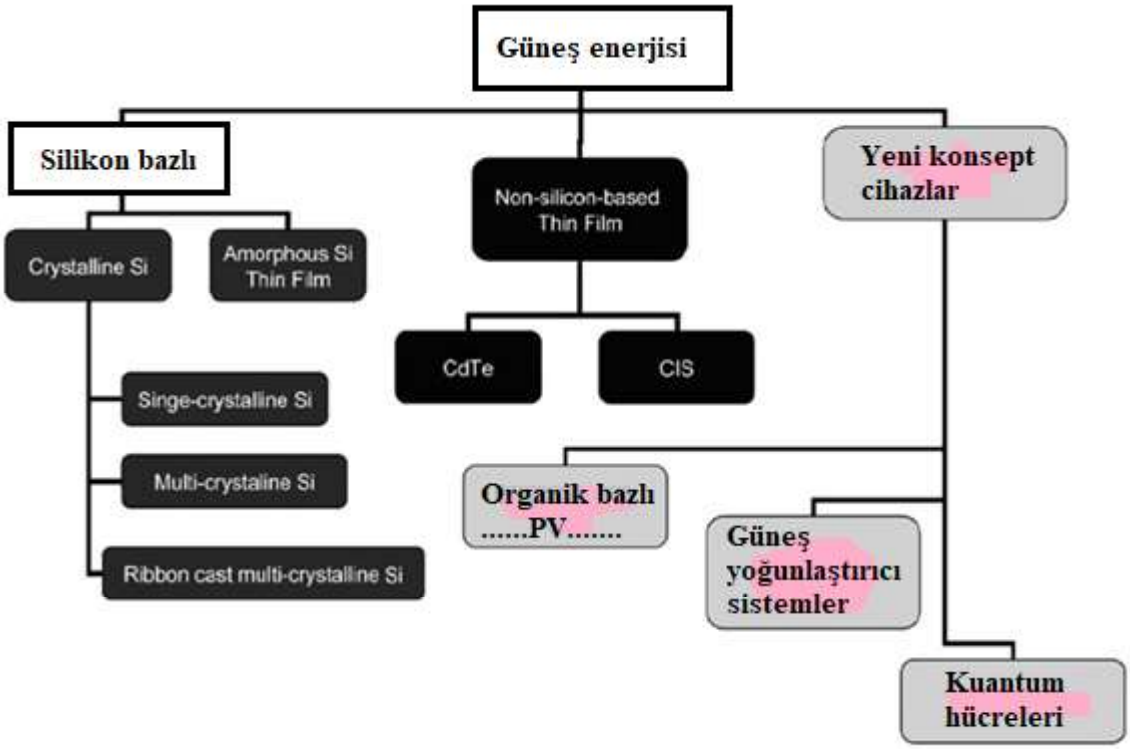
Uzay programıyla beraber yarıiletken silikondan yapılmış fotovoltaik hücreler uzay cihazlarının güç kaynağı olmuştur. Verimlilikleri %15 ve %20 arasındadır (DM Chapin, 1954).

Güneş ışınları dünyamıza ulaştıktan sonra ağaçların yapraklarındaki klorofil sayesinde şeker, selüloz ve albimun gibi yüksek enerji içerikli kimyasal enerjiye dönüşerek fotosentez gerçekleşir. Güneş kollektörleri ışığın ısıya dönüşümüne yardımcı olan aparatlardır. Güneş paneli ise ışığın DC'ına (doğru akım) dönüştüren aparatlardır. PVT hibrit sistemler ise hem ısı hem elektrik yapan aparatlardır.



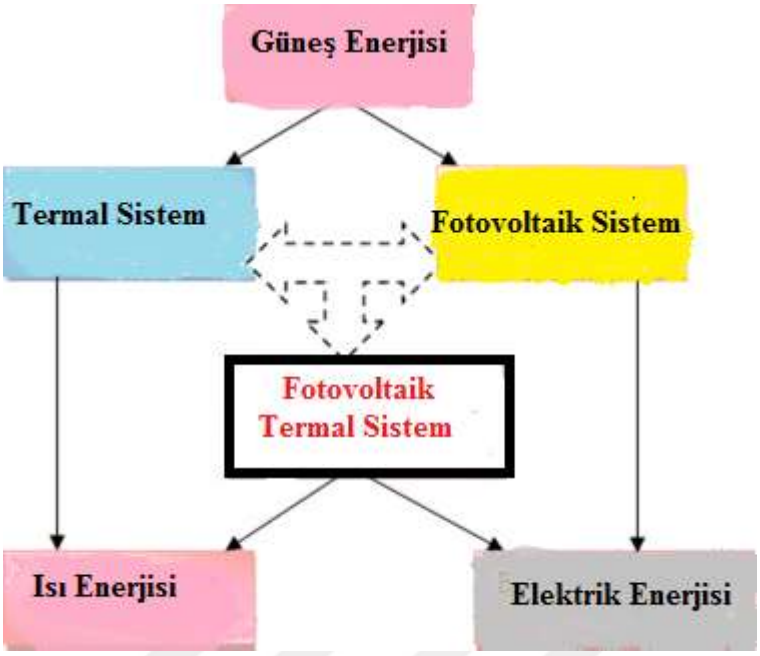
Şekil 1.1. Güneş enerjisinin dönüşümleri (Rakesh,2011)

Fotovoltaik sistemlerin önemli bir özelliği ise karmaşık mekanik parçalar olmadan güneş enerjisini doğrudan ve anlık elektriğe dönüştürebilmesidir. Fotovoltaik sistemler güneş pili teknolojisine dayalı olarak daha da ayırt edilebilir. Silikon (si) tabanlı teknolojiler kristal ve amorf veya ince film olarak kategorize edilebilir. Burada Kristal silikon hücrelerinin farklı kristal yapıları vardır; tek kristal silikon, multi-kristalin silikon ve şerit döküm multi-kristalin silikon (Rakesh, 2011).



Şekil 1.2. Çeşitli PV teknolojileri (Rakesh,2011)

Güneşten elektrik elde etmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. En önemli yöntemler yukarıda açık bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çeşitli güneş teknolojileri şemaları (Anil,2015)

Güneş enerjisinin kullanım alanının farklılıkları yukarıda da görüldüğü gibi değişiklik göstermektedir. Termal veya elektrik enerjisi oluşturma veyahut her ikisini beraber oluşturma.

1.1. Literatür Çalışmaları

Hendrie, düz plaka PVT güneş kollektörleri için teorik bir model geliştirerek hava ve sıvı bazlı ünitelerin elektrik verimliliklerini sırasıyla %40.4 ve %32.9 arttırmayı başarmıştır (Hendrie, 1980).

Cox ve Raghuraman, bilgisayar simülasyonu yardımıyla yapmış oldukları düz plaka PVT kollektörlerinin verimliliğini ölçmüşlerdir. Hava bazlı PVT kollektörlerinin normal kollektöre daha verimli olduğunu simüle edip, yüksek kızıl ötesi ışıkla çalışmalar yapmışlardır (Cox, 1985).

Tiwari ve arkadaşları, PV/T hava toplayıcı sistem üzerinde yaptıkları çalışmada, sistemde bulunan tedları çıkartarak, tedlarsız ve tedlarlı iki sistemi karşılaştırmışlardır. Çalışmada tedlarsız sistemin termal sıcaklığında artış elde edilmiştir. Ama buna bağlı olarak sistemin toplam verimliliğinde (termal + elektrik) te düşüş görmüştür. Artan modül sıcaklığının etkisiyle azalan verim hava kütlesinin artışıyla artış göstermiştir (Tiwari, 2007).

Tonui ve arkadaşları, doğal hava akışlı PV/t sistemleri ile ilgili yaptıkları çalışmada hava kanalındaki ısı transferinin arttırılması gerektiğini ve buna karşılık olarakta değişik sistemler tasarlamışlardır (Tonui, 2008).

Kumar ve Rosen, alt hava kanalında dikey yüzgeçler kullanarak PV panelin üstünden havayı verip altından da havayı çıkaran bir PV/T hava toplayıcı geliştirdi. Yaptıkları çalışmada hücre sıcaklığı yüzgeçlerin etkisiyle 88 °C den 66 °C ye düştüğünü görmüşlerdir. Bununda verim üzerinde etkisini incelemişlerdir.



Şekil 1.4. Yüzgeç kullanımı (Kumar,2015)

Bambrook ve arkadaşları, Sydney'de PV panelinin altını kapatıp altından hava geçirerek sistemi incelemişlerdir. Elde ettikleri verilerle Termal (%12-55) ve elektrik (%10.6–%12.2) verimliliğinin hava kütlesi debi oranını artırarak artabileceği sonucuna varmışlardır (Bambrook, 2012).

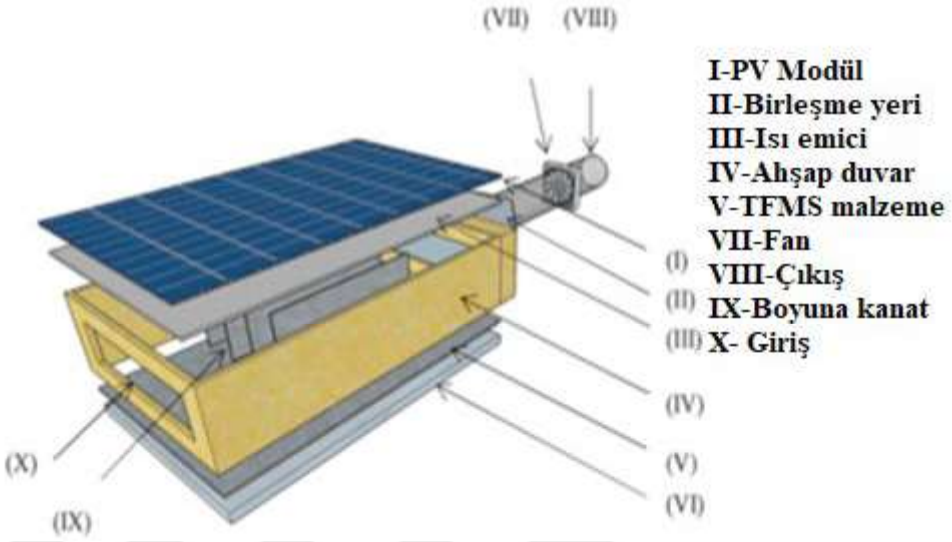
Sarhaddi 2010 tarihinde bir PV/t hava toplayıcı termal modeli geliştirmek için ısı kaybı katsayılarıyla beraber açık devre gerilimini, kısa devre akımını, max güç noktası gerilimini ve akımını tahmin etmek için bir elektrik modeli geliştirerek sayısal simülasyon ve deneysel ölçümlerinin sonuçları arasında büyük oranda bir uyum elde etmiştir. Bu çalışmasından elektrik, termal ve sistem verimliliğiyle ilgili sonuçları paylaşmıştır (Sarhaddi, 2010).

Sarhaddi ve arkadaşları Fotovoltaik termal (PV/t) hava kolektörünün Ekserji performansının değerleri ile alakalı araştırmalar yapmıştır (Sarhaddi, 2010).

Kamthania ve arkadaşları ortamı ısıtmak için hibrit fotovoltaik termal performansı ile alakalı, normal şartlar altında enerji denklemlerini kullanarak bir ısıl modelleme yapmıştır. Elde ettiği sayısal ifadeleri analiz ederek yıllık elektrik ve termal enerji değerlerini bulmuştur (Kamthania, 2011).

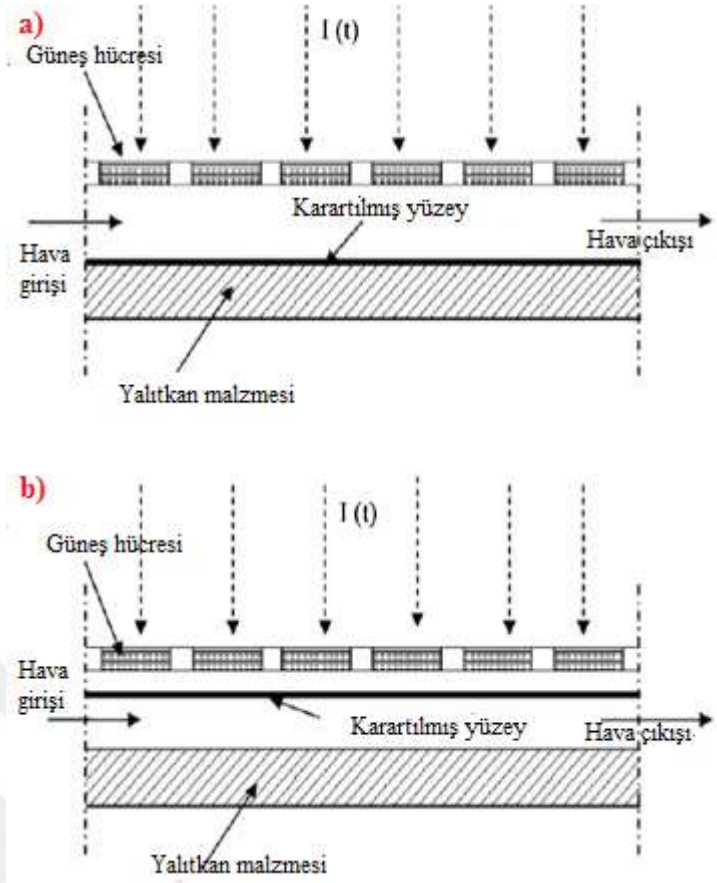
Jin ve ekibi dikdörtgen kanallar yardımıyla fotovoltaik/termal hava kolektörünün performans değerlendirmesini yapmıştır. Bu çalışmasında dikdörtgen kanallar ile makul bir hava akış hızı yardımıyla PV hücrelerinden ısı çıkarılmasını sağlayan düzeneğini deneysel olarak incelemiştir (Jin, 2010).

Ahmed ve arkadaşları yayınladıkları makalelerinde aşağıdaki şekilde gösterilen hava soğutmalı hibrid PV / T sisteminin performansını arttırmak için panelin alt tarafına ince dikdörtgen yüzgeçler ekleyerek farklı debilerde verim hesaplaması yapılan çalışmayı ele almışlardır.



Şekil 1.5. PV/T örneği (Ahmed, 2018)

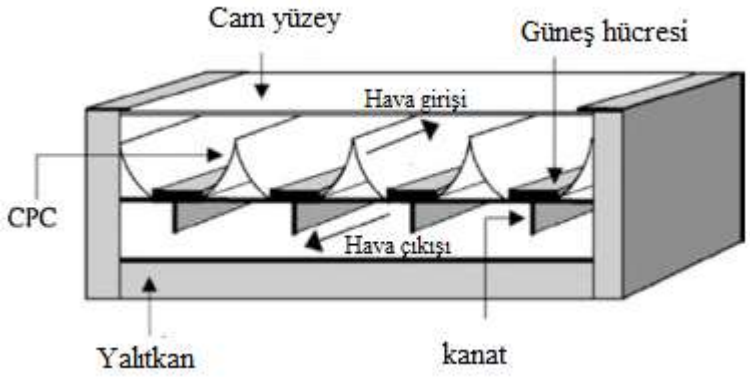
Alfegi ve arkadaşları, hibrid fotovoltaik/termal (PV/t) hava kolektörleri için analitik ifadeler türeterek, sistemin enerji, ekserji ve elektrik enerjisi analizinin kolektör sayısı ve hava hızının değişmesiyle kaynaklı olduğunu deneysel olarak bulmuşlardır. Termal enerji, elektrik enerjisi ve ekserji kazancını hesaplamak için sistemin PV sisteminin altına emici bir plaka yerleştirip sisteme hava vermişlerdir. Daha sonra başka bir sistem yapıp, havayı sistem ile emici plaka arasında dolaştırmışlardır. Her iki sisteminde emici plaka olmayan sistemden daha iyi sonuç elde ettiğini görmüşlerdir (Alfegi, 2009).



Şekil 1.6. (a) hava toplayıcı kesit görünümü, hava karartılmış yüzey üzerinde akar. (b) hava toplayıcı kesit görünümü, karartılmış yüzeyin altında hava akımları (Alfegi, 2009)

Shahsavar ve arkadaşları, yapmış oldukları deneysel çalışmada PV sisteminin altından hava geçecek şekilde bir kanal yapmışlardır. Bu kanalın tam ortasından bir alüminyum levha geçirmişlerdir. Deneysel ve teorik incelediklerinde elde ettiği sonuçlar verim üzerinde iyileştirme göstermiştir. (Shahsavar, 2010)

Çift geçişli PV/t toplayıcı ile bileşik parabolik yoğunlaştırıcı kollektörler (CPC) arasında şekilde görüldüğü gibi bir çalışma yapmışlardır. Sistemde dolaşan hava akış sıcaklığı arttıkça hibrit fotovoltaik/termal sistemlerde elektrik üretiminin azaldığını göstermiştir (Othman, 2005).



Şekil 1.7. Çift geçişli CPC ve kanallı termal güneş kollektörü (Othman, 2005).

Patrick ve arkadaşları, yapmış oldukları hibrit çalışmada tek camlı bir PV/t sisteminden su geçirerek, ortamın termal ve elektriksel performansını incelemişlerdir. Suyun havaya oranla daha iyi bir soğutucu etkisine sahip olduğunu göstermişlerdir (Patrick, 2011).

Chow ve arkadaşları, Fotovoltaik/termal (PV/t) su ile çalışan sistemin ekserji ve enerji analizi çalışmalarını yapmıştır. PV hücrelerinin verimliliğini rüzgâr hızı, kollektör alanı, sistemden geçen su miktarı ve debisi ile ilişkilendirerek deneysel çalışmalar yapmışlardır (Chow, 2009).

Dubey ve arkadaşları, bir dizi seri bağlı PV/T su toplayıcı hibrit sistem tasarlayıp elektrik, termal ve ekserji analizlerini hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçlarla n sayıda kollektör için matematiksel bir denklem bulmuşlardır (Dubey, 2009).

Sakhr ve arkadaşları, Malezya şartlarında güneşli ve bulutlu günlerin farklı iklim koşulları altında PV/T sisteminin çıkış suyu sıcaklığı, termal sıcaklık, elektrik verimliliği ve sistem verimliliği parametrelerini deneysel olarak incelemişlerdir. Güneşli ve bulutlu havalarda elde edilen sonuçları analiz ederek, güneşli günlerin bulutlu günlere oranla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Sakhr, 2013).

Hazi ve arkadaşları, Romanya şartlarında PVT sistemlerinin ekonomik ve teknik parametrelerini hesaplayarak sanayide uygunluğunu araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre analitik bir model geliştirmişlerdir. Bu matematiksel model yardımıyla yapılan simülasyonla endüstriyel alandaki PVT sistemiyle elde edilensıcak su ısıtmasının ekonomik olarak cazip olduğuna işaret etmişlerdir (Hazi, 2014).

Sakellariou ve arkadaşları, standart bir PV paneli ile beraber hibrit sistem tasarlayarak iki panelin verimlerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmaya ek olarak bir de

simülasyon yaparak hem elektrik veriminde hem de termal verimlilikte olumlu sonuçlar almışlardır (Sakellariou, 2017).

Panel açısının Pvt sistemlerine olan etkisini araştıran Sun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elde ettikleri veriler ışığında verim karşılaştırması yapmışlardır (Sun, 2016).

Khelife ve arkadaşları, normal PV sisteminin altından geçirdikleri kanallar ile hücrelerin soğutulmasını sağlayarak elektrik ve termal verimliliklerini hesaplamışlardır. Yapmış oldukları çalışmadaANSYS14 yazılımı kullanarak model oluşturmuşlardır. Yaptıkları modellemede PV hücreleri ile su arasındaki ısı transferi etkisini incelemişlerdir (Khelife,2016).



Şekil 1.8. PV modülünün arka yüzüne bağlı ısı değiştiricisi (Khelife, 2016).

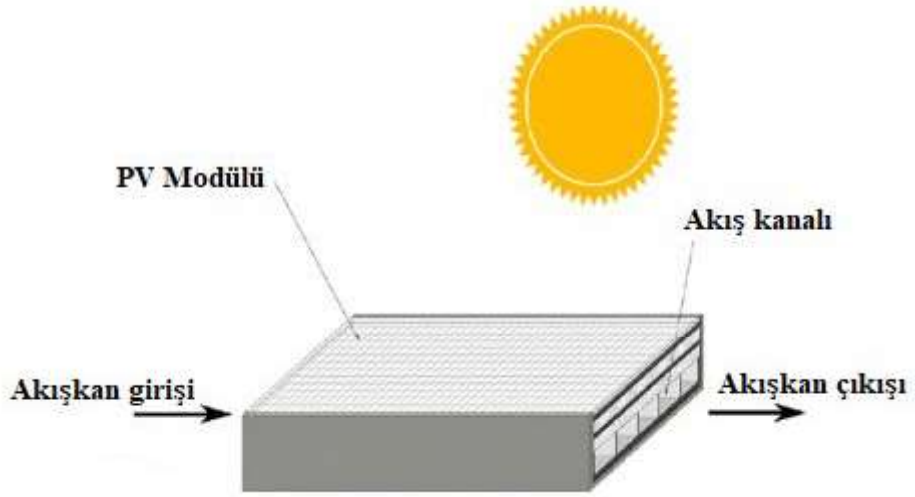
Rahman ve arkadaşları, Malezya'da yaptıkları çalışmayla fotovoltaik modüllerin enerji verimliliği üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Fotovoltaik panelin performansına etki eden PV hücre sıcaklığı, güneş radyasyonu, su kütlesi akışı, nem ve toz gibi çeşitli çalışma parametrelerinin etkileri deneysel incelenmiştir. PV modülünün yüzeyinin altından kanallar yardımıyla su geçirmişlerdir. Çalışmada PV modülünün her bir derece artışında verimde %0.22 oranında bir azalış kaydetmişlerdir. Buna ek olarak her 100 W/m^2 güneş radyasyonu artışında hücre sıcaklığı 3.82 arttığı bulunmuştur (Rahman, 2017).



Şekil 1.9. PV hibrit tasarımı (Rahman,2017)

De Keizera ve arkadaşları, su dolaşımlı PVT sisteminin elektriksel ve termal performansını ölçmek için üç farklı PVT kollektörünün sonuçlarını verim yönünden irdelemişlerdir. Hollanda şartlarında elde ettikleri sonuçları maliyetlerle karşılaştırmışlardır (De Keizera,2015).

Fotovoltaik termal kollektörler yardımıyla verim hesaplaması yapan Shan ve arkadaşları, sisteme etki eden güneş pili çeşidi, giriş/çıkış suyu sıcaklığı, sistemde dolaşan sıvı miktarı ve hızı, seri bağlı PVT modül sayısı gibi etkenleri analiz ederek ısıl ve elektriksel verimler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak daha az seri bağlı PV modülleri, daha düşük giriş suyu sıcaklığı ve daha yüksek su kütleli akış hızı olan sistemlerin yüksek fotovoltaik verimlilik sağladıklarını görmüşlerdir (Shan, 2013).



Şekil 1.10. Su ısıtıcılı fotovoltaik–termal kollektörün şematik diyagramı (Shan, 2013)

Mittelman ve arkadaşları, PVT sisteminin seralarda kullanımını araştırarak deneysel olarak verim ve ekserji analizini çıkartmışlardır (Mittelman,2015).

Tyagi ve arkadaşları, ortam hava ısıtma sistemleri için çalışmalar yapmışlardır. Çeşitli tarım ürünlerinin kurutulması için sistemler tasarlamışlardır. Ayrıca hibrit fotovoltaik/termal (PV/T) sistemlerin elektrik verimliliğini incelemiş, faz değişim malzemeleri kullanarak bitki kurutma uygulamaları yapmışlardır (Tyagi, 2012).

Kumar ve ekibi, PV/T hava ile ısıtma ve kurutma uygulamalarının umut verici bir teknoloji olabileceğini önerdi. Hibrid PV/t kollektörlerinin güneş termal sistemlerinden daha verimli olduğunu yaptıkları çalışmalarla göstermişlerdir. Buna bağlı olarak verimlilik yönünden halen eksiklerimizin olduğunu ifade etmektedirler (Kumar, 2011).

İbrahim ve arkadaşları, PV/T kollektörleri üzerinde farklı tip ve tasarımlar geliştirerek deneyler sonuçlarını verimlilikleriyle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda sistemin binalara uygulanabilirliğine dikkat çekmişlerdir. Bununda yapılabilmesi için verim arttırmaya yönelik çalışmaların ilerlemesi gerekliliğini dile getirmişlerdir (İbrahim, 2011).

PV/T sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik yapılan çalışmalardan bir tanesi de nano akışkanlardır. Bu çalışmayı Sardarabadi ve arkadaşları nano akışkan olan silika/su kullanmışlardır yaptıkları deneyle sistem veriminde artış tespit etmişlerdir. Ancak yüksek maliyetli olması, bu sistemin en büyük dezavantajı olarak gösterilmiştir (Sardarabadi, 2014).

Q. Zhu ve ark., su soğutmalı PV modülü üzerinde deneysel bir çalışma yaparak su soğutmalı PV modülünün sıcaklığının hava soğutmalı PV modülünün sıcaklığından

daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu sebeple hava soğutmalı modül daha düşük elektrik gücü üretir. Akış hızının, su soğutmalı PV modüllerinin elektrik verimliliği üzerinde önemsiz bir etkiye neden olduğu fakat su soğutmalı modüllerin termal verimliliği, akış hızıyla önemli ölçüde artar (Q. Zhu, 2012).

K.A. Moharram ve arkadaşları, PV panellerinin izin verilen maksimum sıcaklığa yani 45°C'ye ulaştığında, PV hücrelerin soğutulması üzerine deneysel ve sayısal bir çalışma yapmışlardır. Günde bir defa PV panellerine su püskürtülmesi esasına dayanan bir soğutma sistemi geliştirerek ısıtma ve soğutma modellerini deneysel olarak doğrulamışlardır. Sıcak ve tozlu bölgelerde önerilen bu soğutma sistemi ile PV panellerinin soğuması ve aynı zamanda temizlenmesi mümkün olduğunu göstermişlerdir (K.A. Moharram, 2013).

Tripanagnostopoulos, normal PV sisteminde yaptığı değişiklik ile hem su hem de hava soğutma ile PV sisteminde ısıl verimliliği ölçerek normal sisteme göre daha fazla ısı verimliliği elde etmeye çalışmıştır (Tripanagnostopoulos, 2007).

Shahsavar ve arkadaşları, İran şartlarında yapmış oldukları çalışmalarında PV/T Sisteminde cam kapak olmadan deney yapmışlardır. Camın sistem için önemine değinmek için oluşturulan sistemden elde edilen sonuçlara göre, fotovoltaik panellerde cam kaplamanın ısı verimliliğinin artmasına ve sistemin elektrik verimliliğinin azalmasına neden olduğu sonucuna vardılar (Shahsavar, 2010).

Tonui ve Tripanagnostopoulos, maliyetlerinin düşük olmasından kaynaklı olarak verim arttırmaya yönelik hava soğutmalı PV/T güneş kollektörleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Deneysel ve simülasyonla yaptıkları çalışmalarda sonuçlar birbirine paralel çıktı. Çalışmalarında kanal derinliği, kanal uzunluğu, kütle debisinin elektrik ve termal verimliliğine olan etkisi karşılaştırılmıştır (Tonui, 2007).

Sarhaddi ve arkadaşları, bir PV/T hava toplayıcı sistemde ortaya çıkan termal verimlilik, elektriksel verimlilik ve genel enerji verimliliğiyle alakalı çalışma yapmışlardır. Yaptıkları PV/t hava kollektörünün, termal ve elektriksel parametreleri baz alınarak, güneş pili sıcaklığı, arka yüzey sıcaklığı, çıkış hava sıcaklığı, Voc,Isc, max güç noktası gerilimi, max güç noktası akımı ve genel enerji verimliliğiyle ilgili analitik bir çalışma yapmışlardır. PV/T hava toplayıcı termal verimlilik, elektrik verimliliği ve genel enerji verimliliği yaklaşık 17.18%, 10.01% ve 45% bulmuşlardır (Sarhaddi, 2010).

Aste ve arkadaşları, İtalya'da bir PV/T hava toplayıcı sistemiyle yaptıkları çalışmada panel gücünü hesaplamışlardır. Çalışmada panel gücünü 72 (W/m^2) bulmuşlardır (Aste, 2002).

Termal ve elektrik verimliliği karşılaştırmasını bir hibrid PV/T güneş kollektörüyle yapan Saitoh ve arkadaşları elektrik verimliliğinin %10'dan %13'e arttığını, termal verimliliğin %40'tan %50'ye çıktığını bulmuşlardır (Saitoh, 2003).

Agwaral, yaptığı çalışmada bir binanın çatısında sabit bir PV termal (BİPVT) sisteminin verimini, aynı boyuttaki normal bir PV ile karşılaştırarak deney yapmıştır. Yaptığı hibrit sistemden elde edilen verimler normal PV sisteminden daha yüksek çıktığını bulmuştur. Hibrit sistemin elektriksel ve termal verimliliği sırasıyla %7.13 ve %33.54 olarak bulmuştur (Agwaral,2014).

Hussain ve ekibi, hava ile çalışan PV/t sistemlerinin çalışma prensiplerini, bina çatılarında kullanımını ve gelecekteki durumunu kaleme almışlardır (Hussain, 2013).

Michael ve ekibi, hibrit PVT sistemlerinin teknolojilerini, sistemin avantaj ve dezavantajlarını, uygulamalarını, mevcut durumlarını ve verimliliklerini ele alan makale hazırlamışlardır (Michael, 2015).

Rounis ve arkadaşları, yaptıkları hibrit çalışmayla deneysel analizler bulmuşlardır. Elektrik verimliliğinin, sistemin gücünün ve termal verimliliğin arttığını sayısal ve deneysel olarak kanıtlamışlardır (Rounis, 2016).

Hazami ve ekibi, Tunus şartlarında 2014'ün temmuz ayında PVT sisteminin binalarda kullanılmasını incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada elektrik ve termal verimlilikleri bulunmuş olup ekserji analizi yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre elektriksel ve termal verimlilikle beraber ekserjisinin de arttığı görülmüştür (Hazami, 2016).

Mojumder ve arkadaşları, hava ile çalışan bir hibrit PV/t sisteminin termal ve elektriksel enerji verimliliğini deneysel olarak ele alıp elde ettiği sonuçları matematiksel denklemler yardımıyla analitik bir şablon oluşturmuştur. Elektrik ve termal verimlilik sırasıyla %13.75 ve %56.19 olarak bulmuşlardır (Mojumder, 2016).

Kiran ve Devadiga, su ile soğutulan bir PV/t sisteminin uygulamasını analiz ettiler. Sistemin elektrik verimliliğini ve termal verimliliğini normal bir PV ile karşılaştırdıklarında yüksek çıktığını göstermişlerdir (Kiran, 2014).

Jahromi ve arkadaşları, İran'ın Tebriz, Şiraz ve Esfahan şehirleri için su soğutmalı bir PVT sistemi tasarlamış ve bu şehirlerde deneysel çalışmayla beraber MATLAB simülasyon programıyla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar birbiriyle uyumlu çıkmıştır. Sonuçlar sırasıyla Tebriz, Şiraz ve Esfahan için %9.7, %9.6, %9.6

elde edilen maksimum ekserji değerleri vermiştir. Sistemin ekonomik olarak uygun olduğunu deneysel bir şekilde ispatlamışlardır (Jahromi, 2015).

Alzaabi ve ekibi, su ile soğutmalı bir hibrid PV/T sistemi kullanarak PV panellerinin verimliliklerini artırmak için yaptığı deneysel çalışmasında elektrik gücünün normal bir PV sistemine göre %15'ten %20'ye çıktığını sistemin ısıl verimliliğinin de arttığını gözlemlemiştir (Alzaabi, 2014).

Palaskar ve Deshmukh, Hindistan'nın Mumbai şehrinde su soğutmalı bir PV/T sisteminin daha avantajlı olduğunu deneysel olarak elde etmiş olup termal verimliliği %68.2 ve elektrik verimliliği %12.9 bulmuşlardır (Palaskar, 2015).

Rosa ve arkadaşları, İtalya'nın Sicilya ve Pisa şehirlerinde normal bir PV sistem ile su soğutmalı bir hibrit PV/T sistemi kullanarak deneysel olarak karşılaştırmışlardır. PV ve PV/t sisteminin elektrik verimliliği sırasıyla %8.77 ve %13.19 olarak bulunmuştur. PV/t sistemi için elde edilen maksimum termal verimi %62 bulmuşlardır (Rosa, 2016).

Tse ve ekibi, normal bir PV sistem ile su soğutmalı bir PV/t sisteminin karşılaştırılmasını simüle etmişlerdir. Simülasyon neticesinde Hong Kong şartlarında PV/T sistemlerinin avantajlarını ekonomik olarak analiz edip elektrik verimliliklerini karşılaştırmışlardır. Hibrit sistemin daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir (Tse, 2016).

Yazdanifard ve arkadaşları, su soğutmalı ve cam kapaklı bir PV/t sisteminin simülasyonunu yapmışlardır. Çalışmalarında sisteme etki eden unsurları ve bunların verim üzerindeki sonuçlarını incelemişlerdir. Güneş radyasyonu, sistemdeki boru sayısı, Reynolds sayısı, boru çapı, iklim koşulları ve kollektör uzunluğu incelenmiştir. Sonuç olarak enerji verimliliği PV/t sistemi için daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Elektrik verimliliği %17 termal verimliliği ise %70 çıkmıştır (Yazdanifard, 2016).

Saitoh ve ekibi, su soğutmalı bir hibrit PV/t sistemi ile normal bir PV sisteminin elektriksel ve termal verimliliklerini deneysel olarak karşılaştırarak elektrik verimliliğinin %10'dan %13'e termal verimliliğin %40'tan %50'ye kadar arttığını görmüşlerdir. Bu sonuçlar neticesinde hibrit sistemin daha yüksek bir ekserji verimliliğini elde etmişlerdir (Saitoh,2003).

Khanjari ve arkadaşları, su soğutmalı PV/T sisteminde kullanılan suya termal iletkenliği arttırmak için nano akışkan ekleyerek sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlar eşliğinde nano akışkan katkılı hibrit sistemin daha iyi sonuç verdiğini bularak bu teknolojinin ilerlemesini teşvik etmişlerdir (Khanjari, 2016).

Othman ve arkadaşları, su-hava ile soğutulan bir PV/t sistemini normal bir PV sistemiyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçları, maksimum elektrik verimliliği ve termal verimlilik sırasıyla %17 ve %76 çıkmıştır (Othman, 2016).

Su ve ekibi, PV/T güneş kollektör sistemini su ve hava ile karşılaştırmıştır. Su-su soğutmalı hibrit PV/T sisteminin su-hava ile çalışan hibrit PV/T sistemine oranla daha iyi sonuç bulunmuştur. Su–su ile soğutulan PV/t sisteminin en yüksek elektrik ve termal verimliliğe sahip olduğu görülmüş (Su, 2016).

Hasan ve arkadaşları, PV sistemlerinin verimliliğini artırmak ve kaybolan ısıdan yararlanmak için faz değiştiren malzemeler (FDM) kullanarak sistemi incelemişlerdir. Beş çeşit faz değiştiren malzeme kullanılarak yapmış oldukları çalışmada en yüksek düşüşün 18 °C olduğu görülmüştür (Hasan, 2010).

Tripanagnostopoulos, yaptığı çalışmada hibrid PV/t sisteminde polikristal ve amorf silikon PV modülleri kullanarak yapmış olduğu testlerde fazla ısıyı modüllerden almak için çeşitli akışkan, cam ve reflektörler denemiştir. Her defasında en iyi sonucun suyun verdiğini görmüştür. Havayla yapmış olduğu kıyaslamalarda suyun elektrik verimliliği üzerinde daha iyi sonuç verdiğini görmüştür (Tripanagnostopoulos, 2002).

İbrahim ve arkadaşları, normal bir PV sistemi ile su soğutmalı bir hibrit PVT sistemin termal ve elektriksel yönden karşılaştırmasını yapmıştır. Yaptığı verim çalışmasında su soğutmalı hibrit sistemin termal enerji verimliliğinde yaklaşık %55-62 bir iyileşme, maksimum elektrik verimliliğinide11.4% bulmuştur (Ibrahim,2009).

Mojumder ve ekibi, fotovoltaik sistemi dört farklı kanal geometrisiyle incelemiş. Kanallar ince metal levha, testere dişli, geriye dönük dişli ve yamuk dişli şeklinde kullanarak içeriden hava geçirmiştir. Düz kanallı sistem en az verimli çıkarken dişlilerden ise geriye dönük testere dişli sistem maksimum verimi göstermiştir (Mojumder, 2013).

Daghigh ve ekibi, Malezya şartlarında 7 m^2 kollektör alanına sahip su soğutmalı bir hibrit PV/T sistemini Mart ve temmuz ayları için verim karşılaştırmasını değerlendirmek amacıyla bir simülasyon programı (TRNSYS) kullanmıştır. Elde ettikleri verileri termal verim bazında değerlendirmişlerdir (Daghigh, 2015).

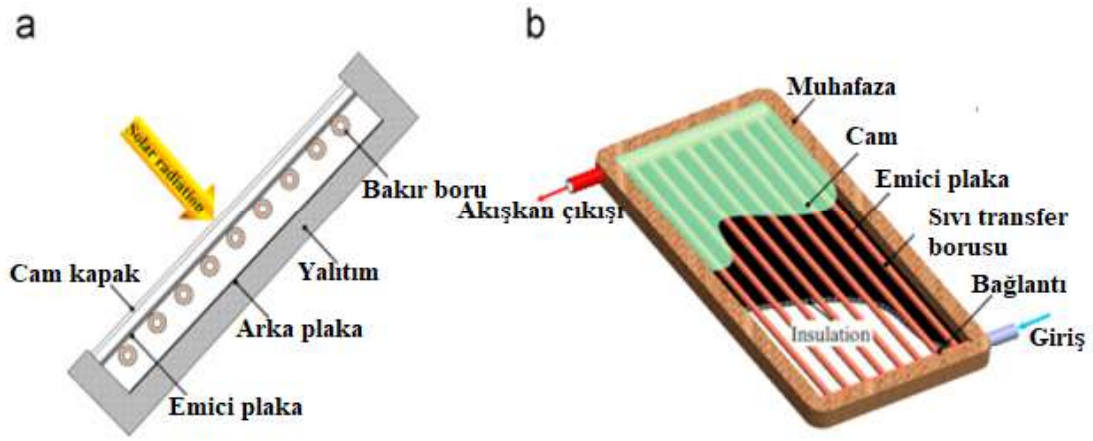
Fudholi ve arkadaşları, su soğutmalı bir hibrit PV/T sistemini 500-800 W/M^2 arasında değişiklik gösteren güneş radyasyonu altında termal ve elektrik verimliliğini hesaplamıştır. Yapılan çalışmada termal verimliliğin %68.4 ve elektrik verimliliğinin de %13.8 olduğu gözükmüştür (Fudholi, 2014).

2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kollektörü, Güneş'in ısıl enerjisini toplayan bir cihazdır. Bu bağlamda sıcaklık ve ısı terimlerinin iyi irdelenmesi gerekmektedir. Birbirinden ayrılmayan bu iki unsuru teşkil eden sıcaklık ve ısıyı kısaca özetlemek gerekirse, maddelerin soğukluk ve ılıklık göstergesine sıcaklık, birbirleriyle etkileşim halinde olan farklı sıcaklıktaki iki sistemin arasında cereyan eden enerji transferine ise ısı adı verilir. Isı iş gibi bir enerji aktarımı sağlar. Enerji aktarımı İş'te makroskopik boyutlarda, ısıda ise mikroskopik boyutlarda oluşur. Bu ise atom ve moleküllerin birbirleriyle etkileşimi ve çarpışması sonucu oluşur. Sistemin iç enerjisini, sıcaklığını ve faz halini ısı yardımıyla değiştirebiliriz. Kısaca ifade etmek gerekirse çarpışan iki sistemin arasında geçen enerji iletimine ısı adı verilir. Sıcaklığı yüksek olan sistemlerin enerjileri yüksektir. Yön tayini ise yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur. Sıcaklığın eşit olduğu durumlarda ısı iletimi meydana gelemeyeceğinden ısıl denge adını alır. Bu bilgiler ışığında fotovoltaik sistemlerle çalışmalar yaparız. Güneş takip sistemli kolektörler ve takip sistemli olmayan kollektörler olarak ikiye ayırabiliriz. Güneş takip sistemli kollektörler ise tek eksenli ve çift eksenli takip sistemi olarak ikiye ayrılır (Ghazi, 2014).

2.1. Düz plaka kollektörleri

Şeffaf cam bir kapak, birbirine paralel arka plaka ile bir emici plakadan oluşur. Akışkan türüne bağlı olarak, hava veya su ile çalışır. Akışkan hava ise emici plaka ile arka plaka arasındaki boşluktan hava geçişi olur. Akışkan sıvı ise emici plakaya birleştirilmiş bakır borulardan sıvı geçişi olur. Isı kaybını azaltmak için yanlardan ve alttan yalıtımlıdır. Üstte bulunan cam ise içerde bir termal etki yapmak ve aynı zamanda verim üzerinde etkisi olan toz partiküllerinin içeriye girmesini engellemek için konulmuştur.

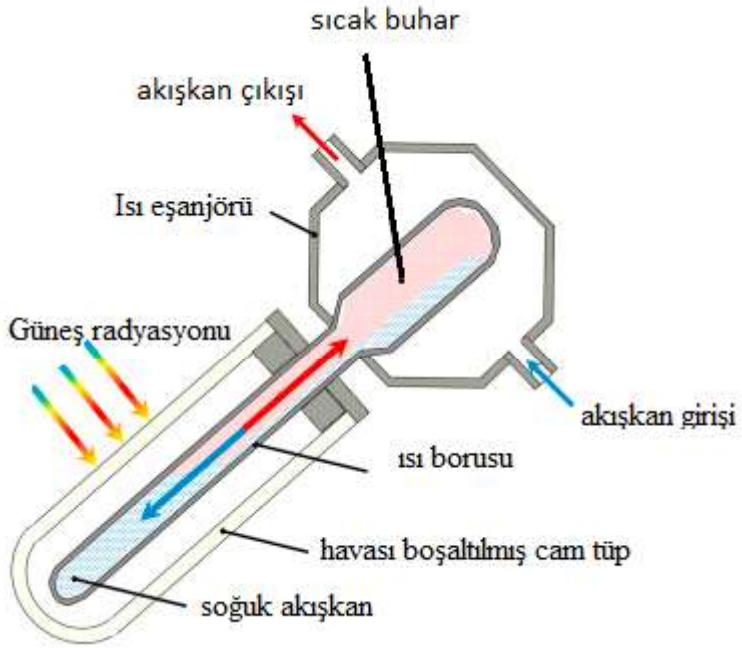


Şekil 2.1. Düz plaka kollektörü: (a) kesit (b) 3B görünüm (Ghazi, 2014)

Kollektör boyutları (uzunluk ve genişlik) uygulama türüne göre önem teşkil eder. Kollektör verimliliği kollektör boy oranındaki artışla artma gösterir (Yeh, 1995).

2.2. Vakumlu Tüplü Kollektörler

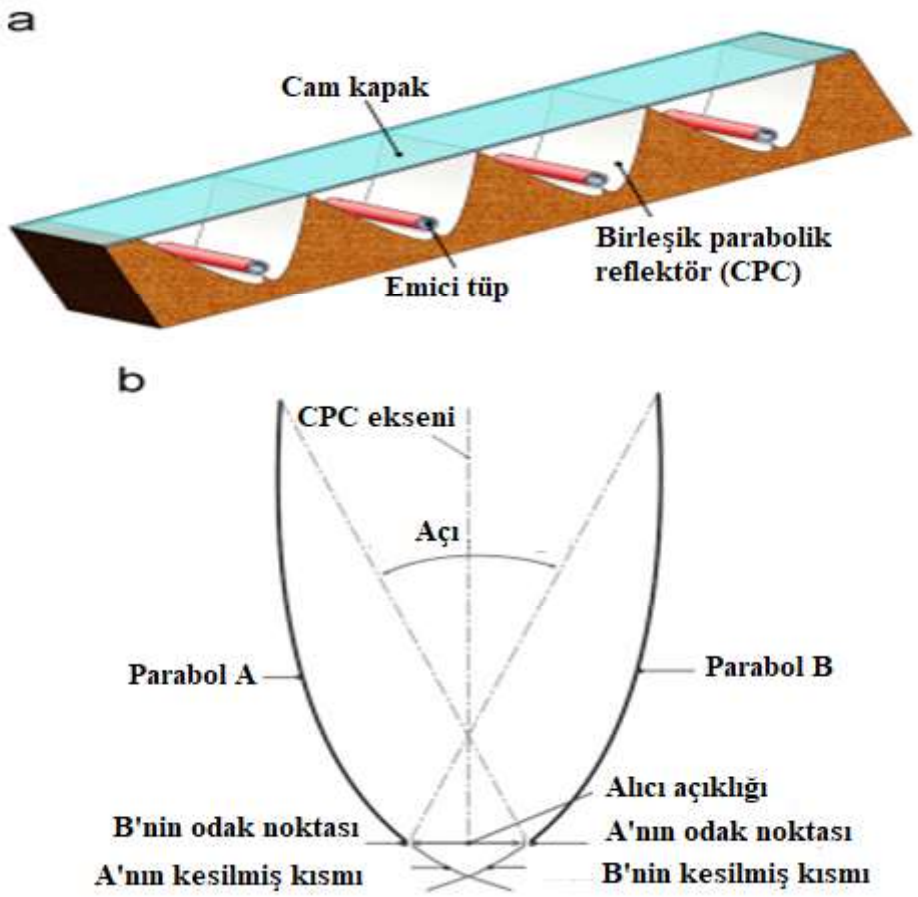
Vakum tüplü kollektörler diğer kollektörlere nazaran verimleri yüksektir. Sistemin tasarımında, borcam adı verilen borosilicate cam ile iki tabaka oluşturulur. Arada tabakalar arası oluşturulan vakum yardımıyla termal enerji %93 korunur (Price, 2002).



Şekil 2.2. Vakumlu tüp (Price, 2002)

2.3. Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Kollektörler (CPC)

Birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kolektörler parabol, involüt ve alıcıdan oluşur. Kollektöre gelen ışınlar yansımayla alıcı üzerine düşer. Bu sayede yüksek sıcaklıklara çıkmamıza olanak sağlar. Sistemin tasarımından kaynaklı olarak güneş takip sistemine gerek duyulmadan elde edilen verimlilik çok önemli bir sonuç olarak diğer sistemlerle arasındaki farkı ortaya koymaktadır (Price, 2002).



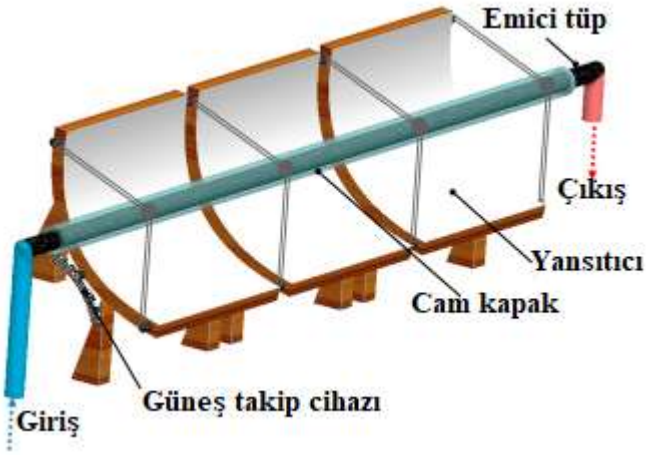
Şekil 2.3. Bileşik parabolik kollektör: (a) 3D görünümü ve (b) 2D şematik (Price, 2002)

2.4. Güneş Takip Sistemli Kollektörler

Güneş'in konumu, gelen güneş radyasyonunun maksimum kullanımı için izlenmelidir. Güneş radyasyonu yoğunluğu gün boyunca ve her mevsim değişmektedir. Güneş takip sistemli kollektörler bir eksenli izleme ve iki eksenli izleme kolektörleri olarak ikiye ayrılır.

2.5. Parabolik Oluklu Güneş Enerji Kollektörleri

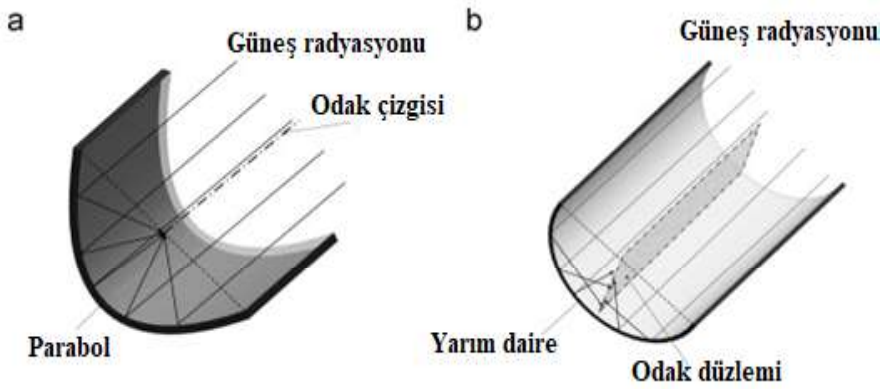
Bu kollektörler, iç kısmında bulunan yansıtıcı yüzeyler yardımıyla gelen güneş ışınlarını sistemin ortasından geçen boruya yansıtırlar. Güneş takip sistemli olan bu sistemler 350-400 derecelik sıcaklıklara kadar çıkabilirler. Bu borulardan geçen akışkan yağdır. Bu ısınan yağ ısıyı santrallere göndererek elektrik enerjisi elde etmeyi sağlar (Price, 2002).



Şekil 2.4. Parabolik oluklu güneş enerji kollektörleri (Price, 2002)

2.6. Silindirik Oluklu Kollektörler

Parabolik oluk kollektörlere benzemesine rağmen, ışınlar odak çizgisinden ziyade odak düzlemine düşer. Uygulama alanı sınırlıdır.



Şekil 2.5. Silindir Oluklu Kollektörler (Price, 2002)

Güneşten elde edilen enerjinin soğutmada kullanılması için yapılan çalışmaları, güneş enerjisi kaynaklı olan fotovoltaik sistemler yardımıyla konvansiyonel buhar sıkıştırmalı, termo-mekanik, absorbsiyon, adsorbsiyon, desikant soğutma çevrimi olarak sıralayabiliriz.

Güneşten elde edilen enerjiyle sıcak su, buhar, sera ve ortamların ısıtılması, soğutulması, buz, tuz, saf su vb. elde edilmekle beraber elektrik elde etmek için de PV sistemleri geliştirilmiştir (Price, 2002).

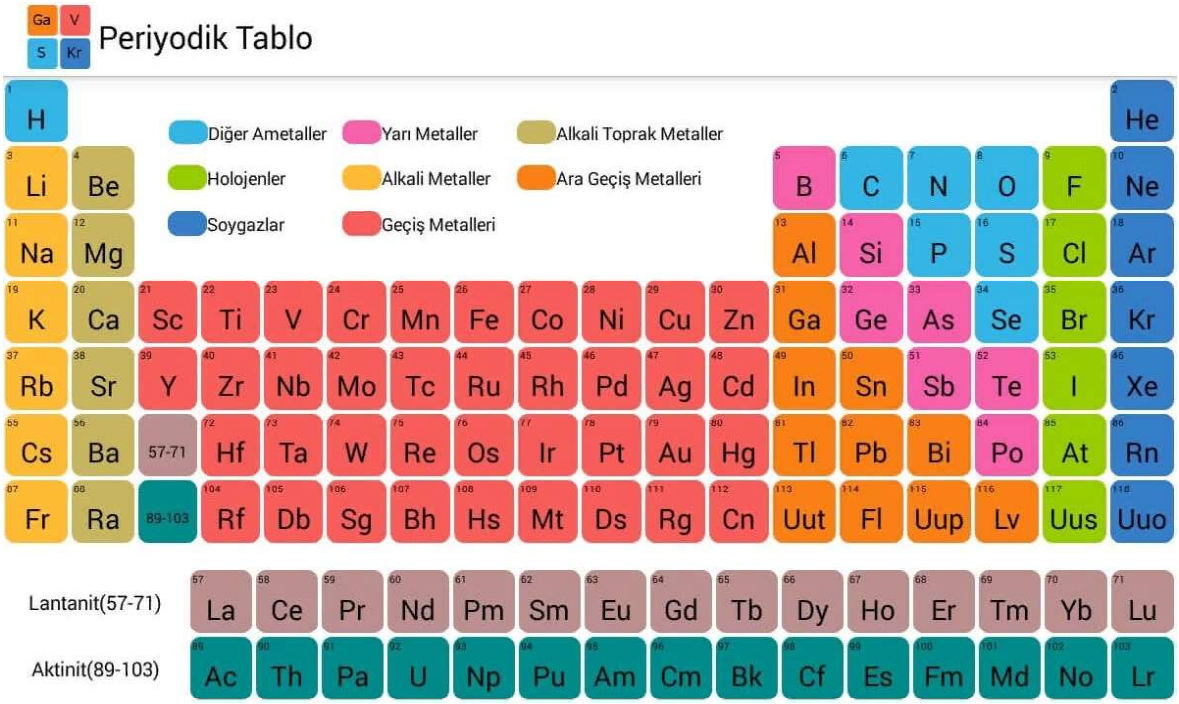
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler kısaca, PV hücrelerinin güneş ışınımını yakaladığı ve ardından fotovoltaik etki altında elektriğe dönüştürdüğü bir süreçtir. Son yıllarda çeşitli PV hücreleri tanıtılmış ve geliştirilmiştir (örneğin, kristalli güneş hücreleri, polimer güneş pilleri , perovskit güneş hücreleri ve boya duyarlı güneş pilleri). Yine de, PV hücrelerinin bant boşluklarından daha fazla enerjiye sahip olan fotonlar , elektron deliği çiftlerini indükleyebilir ve kısmen akıma dönüştürülebilir. Güneşin radyasyonun neredeyse %99'u 0.2 ila 3 ranm arasındadır. Yaygın PV modülleri PV hücresi olarak kristal silikon uygulanır ve sadece kısmi güneş ışınımını 0.2-1.1 μm aralığında elektriğe dönüştürebilir. Güneş enerjisinin yaklaşık %85'i ısıya dönüşür ve bu da PV verimliliği üzerinde büyük bir rol oynar. Kristalli silikon PV hücresinin sıcaklığındaki her 1°C'lik bir artış, yaklaşık %0.5'lik verim düşüşüne neden olabilir. Bu verimlilik düşüşü, PV teknolojisinin türüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bu verim, termal ve elektriksel olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektriksel verimin arttırılması için PV panellerinin aktif soğutma teknikleri kullanılmalıdır. Konvansiyonel PV hücrelerinin sınırlı fotoelektrik dönüşüm bandı göz önüne alındığında, çok sayıda araştırmacı yeni tip güneş hücrelerinin spektral tepki aralığını genişleterek PV hücrelerinin dönüşüm verimliliğini artırmaya odaklanmıştır.

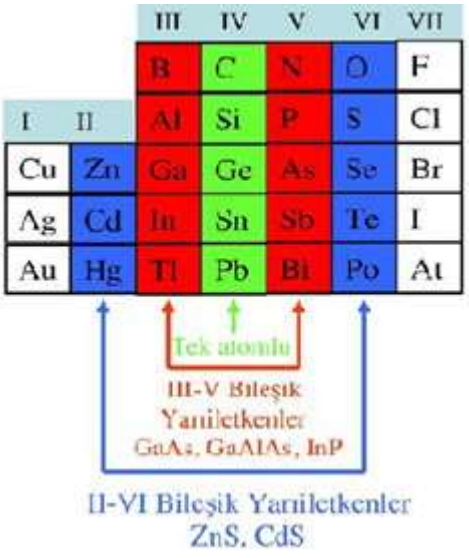
Güneş modülünün fotovoltaik dönüşümü sırasında, hücrenin sıcaklığını arttıran ve elektrik çıkışında düşüşe neden olacak bir kalorifik enerji üretilir. Bu fenomen, bir yandan, hücrenin ısınmasının kaynağını oluşturan kısmi emilemeyen güneş radyasyonu nedeniyle ve diğer taraftan, dışta üretilen elektriksel akımın geçişinin neden olduğu Joule etkisinden dolayıdır. Fotovoltaik hücre çıkışı için zararlı olan bu ısıtma, mevcut ısıyı boşaltarak etkilerini sınırlamak için birçok araştırma çalışması yapıldı. Ayrıca fotovoltaik modülün bir termal sistemle birleşmesiyle fotovoltaik termal (PVT) hibrit toplayıcıyı oluşturmak için bu fenomeni sömürme fikri de oluştu. Bu, aynı zamanda elektrik ve ısı üretecek. Bu çalışmada, PVT toplayıcının yeni bir türünün tasarımı deneysel çalışma ile tarif edilmiştir. Bu yeni tasarım, geleneksel hibrit toplayıcılara kıyasla daha düşük maliyetle toplam dönüşüm çıktısını maksimize etmek için yeni bir teknik yaklaşım oluşturmaktadır.

Bulunabilirliği en fazla elementlerden biri olan silisyuma bor katılarak ısıtılır. Isıtılan bu numunenin her 1 mm'sinden 0.1 mm kalınlığa sahip 2 adet silisyum levha alınır. Levhanın absorbsiyon özelliği kimyasallarla %10'na düşürülür. Sıcaklığı yüksek olan fosfor levha kimyasallar yardımıyla daha da düşük absorbsiyon seviyesini indirilir ki, buna güneş hücresi deriz. Alttan ve üstten EVA ile kaplanır. Hücrelerde birleştirilerek panel oluşumuna geçilir.

Tablo 3.1. Periyodik Tablo (Anonim,2020a)



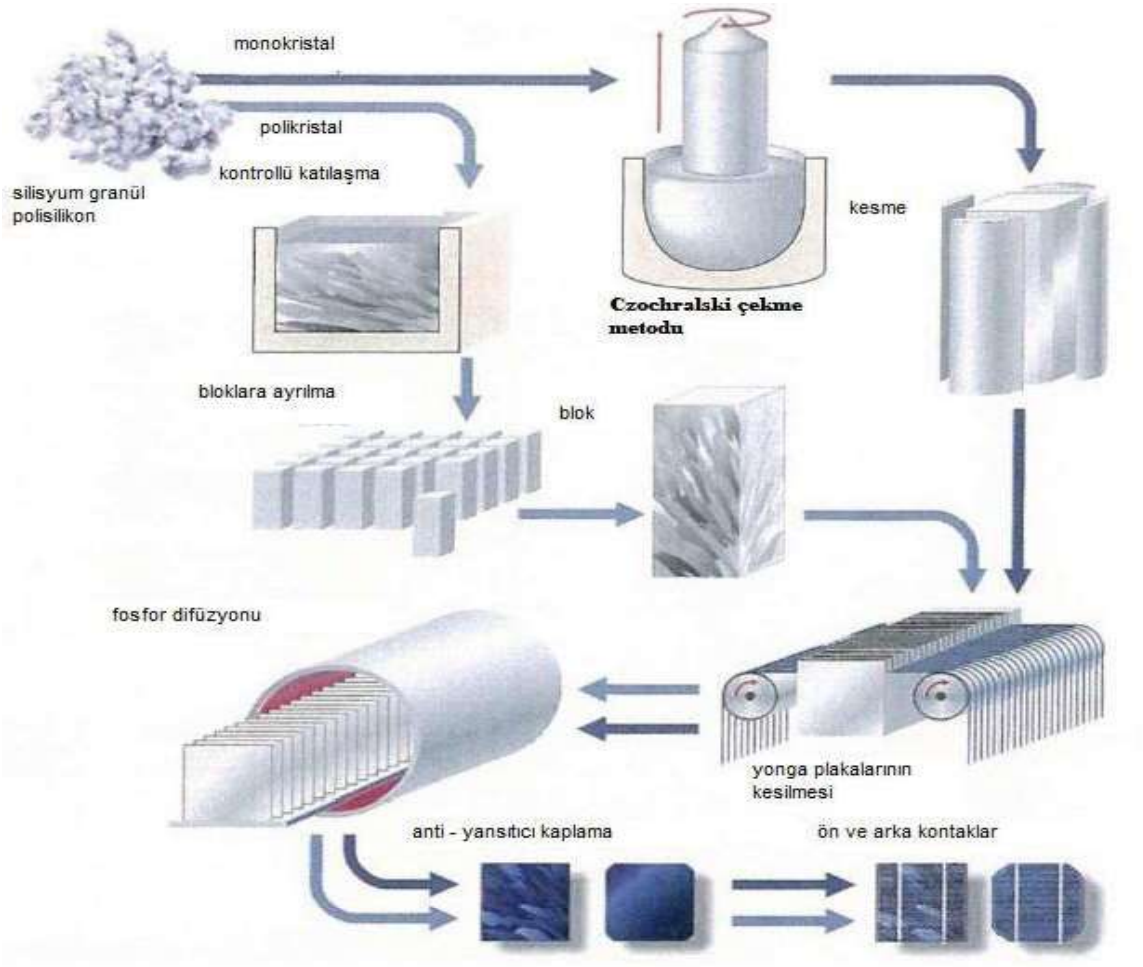
Tablo 3.2. Yarımetaller(Anonim,2020a)



Fotovoltaik sistemlerde element olarak genelde Silisyum ve germanyum kullanılır. Silisyum silikon olarakta adlandırılmakla birlikte tabiatta oksijenden sonra en çok bulunan elementtir. Bileşik olarak ise genelde;

Galyum arseniği	GaAs
Kadmiyum Tellürü	CdTe
Bakır İndiyum Diselenidi	CulnSe2
Kadmiyum Diarseniyi	CdAs2
İndiyum Fosforu	InP
Kurşun Sülfürü	PbS kullanırız

Tek atomlu yarı iletkenlerde en çok kullanılan Silisyum, germanyum ve karbondur.



Şekil 3.1. Czochralski Monokristal ve Polikristal Silisyum Üretimi (Boz, 2011)

Bir fotovoltaik sistemde başlangıç aşamasından panel oluşumuna kadarki süreç, yukarıda net bir şekilde gösterilmiştir.

3.1. Güneş Pil Çeşitleri

3.1.1. Kristal Silisyum Pilleri

Yarıiletken olan silisyum güneş pillerinin temelini oluşturduğu gibi en çok kullanılan maddedir. Hammadde bulunabilirliği ve ucuz olması en önemli etkendir. Tek-kristal, yarı-kristal, şerit ve çok-kristal gibi değişik türleri vardır.

3.1.2. Tek-kristal (Monokristal) Silisyum Güneş Pilleri

Son yıllarda üretilen güneş pillerinin %90 kristal silikondan yapılır ve bununda yaklaşık %40'ı monokristal silikondan oluşmaktadır. Kristal yapılarının arasındaki düzene bağlı olarak %15-18 arasında verimlilikle çalışan bu piller saf kristalden oluşması ve imalatı aşamasında malzeme kaybından dolayı diğer pillere oranla pahalıdır (C.W.Lan, 2019).

3.1.3. Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Pilleri

%14 verimle çalışırlar. Eritilen silisyumu soğutarak kümeleşme yapan silisyum kristalleri yardımıyla elde edilir (Demir, 2002).

3.1.4. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

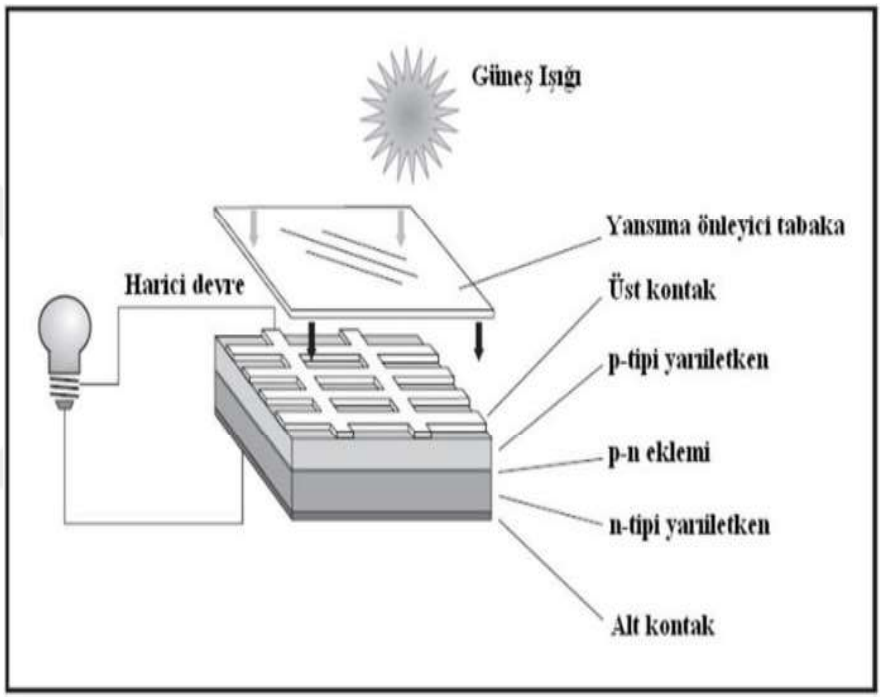
Kullanılan malzemeden en az atıkla yararlanmak amacıyla levha halindeki silisyum tabakalarından yapılmakta olup, verimlilikleri üzerinde halen çalışılmaktadır. Verimleri %13-14 arasında değişmektedir (Demir, 2002).

3.1.5. Çok kristal Silisyum ve İnce Film Güneş Pilleri

Bu pillerin yapıları verim üzerinde etkilidir. Kristal yapıları arasındaki düzensizlikten kaynaklı olarak tek kristalli güneş pillerine göre daha düşük verimle çalışmasına rağmen üretim aşamasındaki zaman, atık malzeme, maliyet ve kolaylık gibi faktörlerden ötürü piyasada en çok kullanılan pil olarak karşımıza çıkmaktadır. Verimleri ise %12–15 arasındadır (Demir, 2002).

Kristalin silikon (c-Si) bazlı PV teknolojisi, 2016 yılında toplam üretimin yaklaşık% 94'ünü oluştururken tüm ince film teknolojilerinin pazar payı yıllık toplam üretimin yaklaşık%6'sını oluşturmuştur (Fraunhofer,2017).

PV modül maliyetindeki azalma üretim artışına sebep olmaktadır. Hammadde ve ucuzluk gibi kriterler başta olmak üzere küresel pazara açılmak için daha az miktarda materyal, ekonomik olarak daha ucuz ve daha az işlemlere tabi tutulan malzemeler PV teknolojisinde araştırılan unsurlardır. Operasyon esnasında, PV tesisler tarafından karbondioksit salınımı üretilir. Bunun yanı sıra üretim aşamasında karbondioksit salınımıyla beraber enerji tüketimi de söz konusudur. Enerji geri kazanım süresi, güneş enerjisi modüllerinin ve PV kurulumlarının gelecekteki ekolojik bilançosu dikkate alınması gereken önemli konulardır.



Şekil 3.2. PV sistemin parçaları (Anonim,2008b)

PV panellerini seri olarak bağlarsak gerilimi arttırırız. Şayet PV panellerini paralel bağlarsak akımı artırırız. Birlikte montajı ise seri veya paralel yapılarak gerekli olan volt ve amper miktarına çıkmamızı sağlar.

İletkenlerde sıcaklık artışında direnç artışı gözükmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak birim hacimde elektron yoğunluğunda bir değişim gözükmemektedir. Bundan dolayı elektronların çarpışmaları ve hareketlerinin kısıtlanması sebebiyle direnç artışı oluşur. Metaller iletkendir. Yarıiletkenler de ise sıcaklık artışında özdirenç azalır. Normal sıcaklık koşullarında, yarıiletkenlerin özdirençleri 10^{-2}–10^{9} Ωcm arasında değişir. Bu değer iletkenlerin öz dirençleri ile yalıtkanların öz dirençleri arasında bir değerdir. Öz direncin üzerine etki eden diğer bir hususta madde yoğunluğudur (Küpeli, 2005).

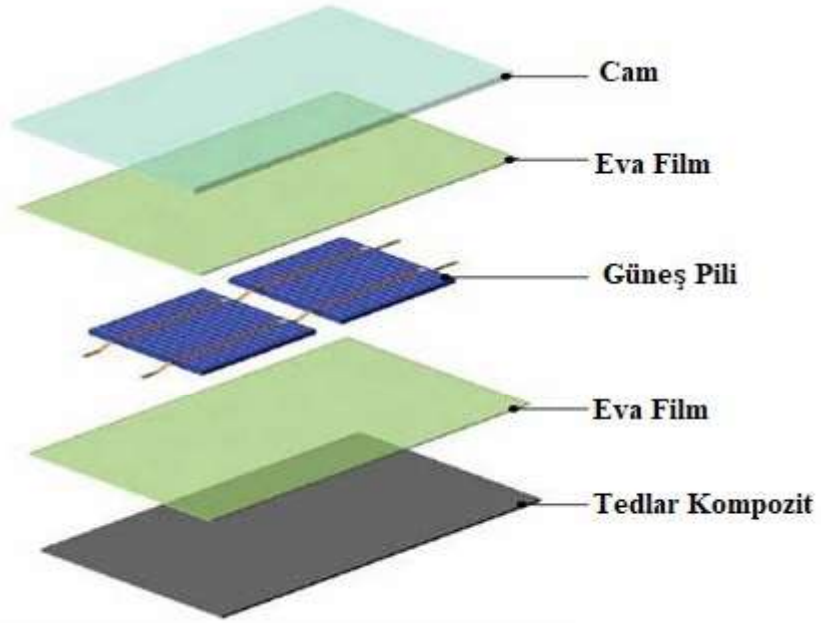
3.2. Fotovoltaik Panel Çalışma Prensibi

Fotovoltaik sistemler PV hücrelerinin güneş ışınımını yakaladığı ve ardından fotovoltaik etki altında elektriğe dönüştürdüğü bir süreçtir. Son yıllarda çeşitli PV hücreleri tanıtılmış ve geliştirilmiştir (örneğin, kristalli güneş hücreleri, polimer güneş pilleri , perovskit güneş hücreleri ve boya duyarlı güneş pilleri). Yine de, PV hücrelerinin bant boşluklarından daha fazla enerjiye sahip olan fotonlar , elektron deliği çiftlerini indükleyebilir ve kısmen akıma dönüştürülebilir. Güneşin radyasyonun neredeyse%99'u 0.2 ila 3 ranm arasındadır. Yaygın PV modülleri PV hücresi olarak kristal silikon uygulanır ve sadece kısmi güneş ışınımını 0.2-1.1 μm aralığında elektriğe dönüştürebilir. Güneş enerjisinin yaklaşık %85'i ısıya dönüşür ve bu da PV verimliliği üzerinde büyük bir rol oynar. Kristalli silikon PV hücresinin sıcaklığındaki her 1°C'lik bir artış, yaklaşık %0.5'lik verim düşüşüne neden olabilir. Bu verimlilik düşüşü, PV teknolojisinin türüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bu verim, termal ve elektriksel olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektriksel verimin arttırılması için PV panellerinin aktif soğutma teknikleri kullanılmalıdır. Konvansiyonel PV hücrelerinin sınırlı fotoelektrik dönüşüm bandı göz önüne alındığında, çok sayıda araştırmacı yeni tip güneş hücrelerinin spektral tepki aralığını genişleterek PV hücrelerinin dönüşüm verimliliğini artırmaya odaklanmıştır.

Güneş modülünün fotovoltaik dönüşümü sırasında, hücrenin sıcaklığını arttıran ve elektrik çıkışında düşüşe neden olacak bir kalorifik enerji üretilir. Bu fenomen, bir yandan, hücrenin ısınmasının kaynağını oluşturan kısmi emilemeyen güneş radyasyonu nedeniyle ve diğer taraftan, dışta üretilen elektriksel akımın geçişinin neden olduğu Joule etkisinden dolayıdır. Fotovoltaik hücre çıkışı için zararlı olan bu ısıtma, mevcut ısıyı boşaltarak etkilerini sınırlamak için birçok araştırma çalışması yapıldı. Ayrıca fotovoltaik modülün bir termal sistemle birleşmesiyle fotovoltaik termal (PVT) hibrit toplayıcıyı oluşturmak için bu fenomeni sömürme fikri de oluştu. Bu, aynı zamanda elektrik ve ısı üretecek. Bu çalışmada, PVT toplayıcının yeni bir türünün tasarımı deneysel çalışma ile tarif edilmiştir. Bu yeni tasarım, geleneksel hibrit toplayıcılara kıyasla daha düşük maliyetle toplam dönüşüm çıktısını maksimize etmek için yeni bir teknik yaklaşım oluşturmaktadır.

Bulunabilirliği en fazla elementlerden biri olan silisyuma bor katılarak ısıtılır. Isıtılan bu numunenin her 1 mm'sinden 0.1 mm kalınlığa sahip 2 adet silisyum levha alınır. Levhanın absorbsiyon özelliği kimyasallarla %10'na düşürülür. Sıcaklığı yüksek

olan fosfor levha kimyasallar yardımıyla daha da düşük absorbsiyon seviyesini indirilir ki, buna güneş hücresi deriz. Alttan ve üstten EVA ile kaplanır. Hücrelerde birleştirilerek panel oluşumuna geçilir.



Şekil 3.3. Panel katmanları

3.2.1. Cam

Camlar, panellerin çeşitli çevresel etkilerden korunmasına yardımcı olan herhangi bir PV tabanlı sistemin çok önemli bir bileşenidir. Buna karşın, camlar güneş ışınımının bir kısmını yansıtarak PV hücrelerinin yüzeyine ulaşmasını engelleyebilir.

Kullanılan camın, özellikle PV'nin soğutulması üst kısımdan olacaksa, PV panelinin önünde birçok cam tabakası kullanılabilir. Bu şart altında, cam tabakaları soğutma sıvısı için bir kanal olarak davranır. Soğutma ile birçok tabakanın kullanılması PV hücrelerinin soğumasına hizmet ederken, güneş ışınımının PV'ye ulaşmasını engeller. Cam tabakalarının sayısının optimizasyonu deneylerle hesaplanmıştır.

En iyi enerji performansının tek cam kullanılarak elde edilebileceği söylenebilir, en iyi ekserji herhangi bir camlama yapılmadan elde edilebilir. Isıl enerji miktarını maksimize etmek için camlama normalde önemlidir. Aksine, yüksek elektrik enerjisi kullanıldığında camlama tercih edilmez. Bu nedenle, üstte bir kapak eklemenin termal kayıpları önlemek için önemli olduğu söylenebilir, ancak bu kapak aynı zamanda olası güneş ışınları radyasyonunun mümkün olan en düşük kırılmalarıyla birlikte son

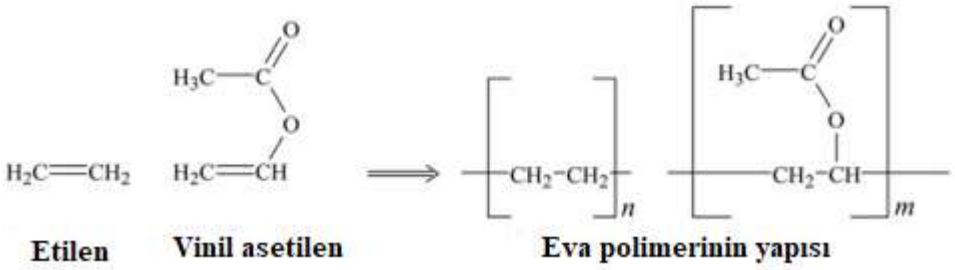
derece şeffaf olmalıdır. Cam için PV ve PV / T güneş kollektörleri üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. PV / T'deki camın kullanılmasının termal ve genel enerji çıkışını en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olduğunu görülmüştür.

Buna karşılık, camsız çıplak PV / T'nin kullanılması, ışınlamanın dağılmaması nedeniyle camla karşılaştırıldığında elektrik verimliliğinin arttırılmasına yardımcı olduğu bulunmuştur. Artan cam kaplamalarının daha yüksek termal enerjilere ulaşması gerektiği iddia edilebilir. Ancak üçten fazla cam kullanımı düşük geçirgenlik sağladığından tavsiye edilmez. PV/T sistemlerinde güneş ışınımına bağlı olarak termal verimliliği artırmak için üç cam sınırı vardır. Çift cam kapak, genel enerji performansı açısından tek cam kapaktan daha iyi kabul edilir.

Camın, güneş ışınlarının emilimiyle ilgili bazı dezavantajları olmasına rağmen, çevresel etkilerden PV hücreleri için ekstra koruma sağladığından önemi büyüktür. Hibrit PV/T sistemlerinde farklı soğutma sıvıları kullanılarak toplanan daha fazla termal enerjiye izin verir. Üç cam kaplama, PV/T sistemlerinin verimli olması beklenmeyen sınırdır.

3.2.2. Etilen Vinil Asetat (EVA)

EVA bir etilen ve değişen miktarlardaki vinil asetatın (VA) rastgele bir kopolimeridir. VA komonomeri, zincirleme ile etkileşime girerek, kristalliliği azaltarak, sıcaklığı düşürüp, saydamlığı arttırır. VA içeriği arttıkça, kristallik azalır, %50'ye kadar EVA tamamen amorf olur. Düşük sıcaklıklarda esneklik ve tokluk barındırarak donmuş gıda torbaları ve PV sektörü için iyi bir seçim haline getirilerek iyileştirilmiştir. Isı yapıştırma tabakası olarak ve sıcak eriyik yapıştırıcılarda kullanımıyla ticarileşerek geniş bir sızdırmazlık sıcaklık aralığına sahiptir.



Şekil 3.4. EVA polimerlerinin yapısı (Laurence, 2014)

- ✓ EVA özellikleri vinil asetat içeriğine bağlı olarak değişir.
- ✓ Daha yüksek vinil asetat içeriği eklenmesi durumunda:
- ✓ Artan gaz geçirgenliği
- ✓ Artırılmış darbe mukavemeti- tokluk
- ✓ Geliştirilmiş optik özellikler- netlik
- ✓ Artan esneklik- çatlama direnci
- ✓ Artan sarılma
- ✓ Artan çözünürlük
- ✓ Artan sürtünme katsayısı
- ✓ Azaltılmış sızdırmazlık sıcaklığı- yumuşama noktası
- ✓ Artan kristallik
- ✓ Azaltılmış sertlik
- ✓ Azaltılmış yüzey sertliği gibi özellikler beklenir.

3.2.3. Tpt (Tedlar Polyester Tedlar)

Tedlar Polyester Tedlar malzeme kombinasyonu, Tedlar'ın malzeme özelliklerini güçlendirir ve bu nedenle panellerin ömrünü uzatmak için güneş panellerinin arka tabakası olarak kullanılır.

TPT, güneş panelleri için uygulanan çok sayıda polimerden biridir. Geleneksel güneş paneli üretimi ile ilgili olarak, TPT, ön yüzdeki cam tabakası PV sisteminin en önemli aparatlarından biridir. Çevresel etkilerden kaynaklanan su, buhar ve kirden paneli koruyan malzemedir. Tedlar, oldukça pahalı bir malzeme olduğundan üreticiler, alternatif malzemelere yönelerek hatta TPT gerektirmeyen yeni panel tiplerini tasarlayarak maliyette azalmaya gitmişlerdir. TPT'ye karşı ortak alternatifler, başka bir kompozit katman filmi ve PET tabanlı arka tabakalar olan TPE'dir (Tedlar / Polietilen tereftalat (PET) / EVA).

3.2.4. Emici bağlantı yöntemleri

PV / T'nin konstrüksiyonu , ticari olarak temin edilebilen bir PV tabakasının bir termal emiciye bağlanmasıyla yapılır . Emici levha ve bağlama kriterleri kolektörün termal verimini etkileyen en önemli unsurdur.

Bu bağlantı, mekanik veya kimyasal entegrasyon yöntemleri kullanılarak yapılabilir. PV paneli ile termik soğurucu arasında bir boşluk dolgu maddesi bulunmalı ve PV / T'deki farklı parçaların ısıl genleşmesini telafi etmelidir. Bu boşluk dolgu maddesi yüksek güneş emilimini ve düşük ısı direncini kolaylaştırmalı, böylece ısı çıkarma faktörünü arttırmalıdır. PV panelinden ısı transferi için direnç, yüksek sıcaklıklara neden olabilir. PV ile altta yer alan emici arasında yüksek iletken malzemeler kullanılarak özdirencin önlenebileceğini bulunmuştur. Ayrıca, PV ve absorber arasındaki doğrudan bağlantı, termal verimliliği %50'den fazla arttırabileceği ön görülmesine rağmen hava boşlukları sebebiyle bunun elde edilmesi kolay bir konu değildir.

Aşırı büyük ısı giderme direncine sahip olmamak için iki kat arasında hava boşluklarına ve hava kabarcıklarına izin verilmemelidir. Termal emiciler ve bunlara karşılık gelen entegrasyon yöntemleri üzerine yapılan bir incelemede, mikro kanallı ısı borusu dizisi / ısı matı, ekstrüde ısı eşanjörü , rulolu ısı eşanjörü ve pamuk fitili yapısı, tabaka ve boru yapısı, yüzgeçler / oluklar ve düz levhalı dikdörtgen kanallar gibi geleneksel emicilerle karşılaştırıldığında ümit vericidir. Etilen vinil asetat (EVA) laminasyon metot, doğrudan temas, termal yapıştırıcı ve mekanik sabitleme gibi diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, düz plaka absorberinin PV panellerine entegrasyon amaçları için en uygun olduğu bulunmuştur.

PV / T sistemlerinin verimliliğinin artırılmasında emici kanalların PV'ye bağlanması çok önemli bir rol oynadığından bunun için farklı yöntemler vardır. Bağlama yönteminin seçiminde farklı parçaların termal genleşmesi dikkate alınmalıdır. Ek olarak, ısı transferi direnci arttırdığı için PV ve soğurucu arasında hava boşluklarının ve kabarcıklarının bulunmasına izin verilmemelidir. EVA, düz plaka absorberinin PV panellerine entegrasyon amaçları için en uygun olduğu bulunmuştur.

PV panellerini seri olarak bağlarsak gerilimi arttırırız. Şayet PV panellerini paralel bağlarsak akımı artırırız. Birlikte montajı ise seri veya paralel yapılarak gerekli olan volt ve amper miktarına çıkmamızı sağlar.

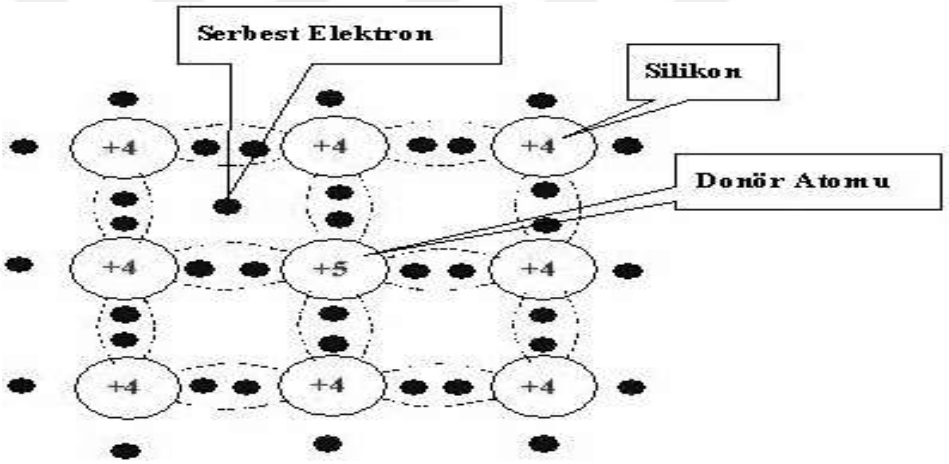
İletkenlerde sıcaklık artışında direnç artışı gözükmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak birim hacimde elektron yoğunluğunda bir değişim gözükmemektedir. Bundan dolayı elektronların çarpışmaları ve hareketlerinin kısıtlanması sebebiyle direnç artışı oluşur. Metaller iletkendir.

Yarıiletkenler de ise sıcaklık artışında özdirenç azalır. Normal sıcaklık koşullarında, yarıiletkenlerin özdirençleri 10^{-2}–10^{9} Ωcm arasında değişir. Bu değer

iletkenlerin öz dirençleri ile yalıtkanların öz dirençleri arasında bir değerdir. Öz direncin üzerine etki eden diğer bir hususta madde yoğunluğudur (Küpeli, 2005).

3.2.5. N Tipi Yarıiletken

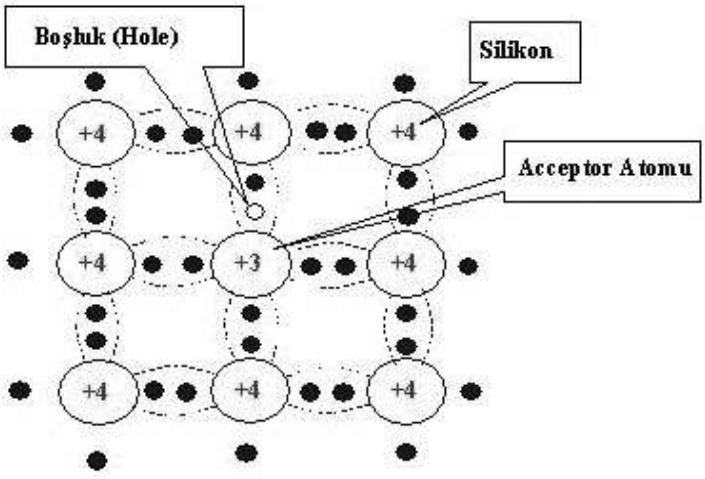
Silisyum ve Germanyum elementlerine periyodik cetvelde bulunan üçüncü ve beşinci grup elementleri eklenirse N tipi yarıiletken elde edilir. N tipi yarı iletken diye adlandırmamızın sebebi (-) yüklü olduğu içindir. (+) yük olursa P tipi yarı iletken adı verilir. Arsenik, Bor, Fosfor, Antimuan gibi elementler örnek verilebilir. Germanyuma arsenik kattığımızı düşünürsek arsenik atomları germanyum atomlarının yerini alarak kovalent bağ oluşturur. Bu kovalent bağ sonucu iletkenliği serbest kalan elektron sağlar. Beşinci valans elektronu adı verilen bu elektron banda geçer, bu banda da iletkenlik bandı denilir Karamanav,2007).



Şekil 3.5. Bir n tipi yarıiletken (Karamanav, 2007)

3.2.6. P Tipi Yarıiletken

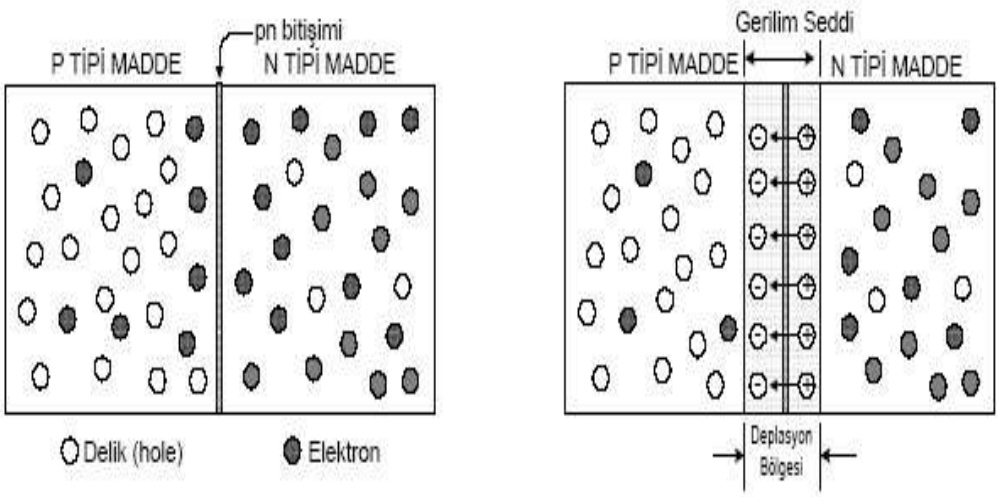
Valans elektron sayısı üç olan üçüncü grup elementlerinin Ge elementine katkılanması sonucu meydana getirilir. Buna da P tipi yarı iletkendenir. Örnek olarak İndium, Galyum, vb. elementlerini verebiliriz. Eriyik halden katı forma geçerken indium atomları germanyum atomlarının yerini alır. Kovalent bağın meydana gelmesi için mevcut üç elektronun bir elektrona daha ihtiyacı vardır. Bu işlem içinde komşu atomdan yardım alınır. Bir elektron koparılarak bağ oluşumu sağlanmış olur. Komşu atomda meydana gelen boşluk yüzünden elektron akışı olur. Yarı iletkenlerin çıkabileceği en yüksek sıcaklık aktivasyon ile, frekansta hareketle çıkar (Çıtıroğlu, 2007; Karamanav, 2007).



Şekil 3.6. P Tipi Yarı İletken (Karamanav,2007)

3.2.7. P-N Kavşağı

P-N kavşağında oluşan elektriksel alan yardımıyla etraftaki elektron P'den N'ye gönderilir.



Şekil 3.7. P – N Kavşağının Oluşumu (Karamanav,2007)

Enerji fotonla beraber oluşur. Fotonlar elektron fazlalığı olan n tipi bölgedeki elektronları, elektrona ihtiyacı olan p tipi bölgeye gönderir. Elektron hol çiftleri bu şekilde oluşur. Elektronun hareketiyle oluşan elektriksel alan fotovoltaik panelde elektron hol çiftlerini birbirinden ayırarak panelimizin kontak uçları arasında güç çıkışı oluşturur. Her iki tarafta da elektriksel alan oluşmasını sağlar. Elektriksel alan sayesinde holler bir güç çıkışı oluşturur. 25-30 cm^2'lik bir alana sahip olan hücreler ortalama 1

KW güç üretebilir. Panelin seri ve paralel bağlanması yardımıyla elde edilen gücü artırabiliriz.

Yüksüz nötron + yüklü proton çekirdeği, çekirdek ve elektronlarda atomu oluşturur. Valans elektronları en uzak orbitaldeki elektronlardır. Atoma özelliğini verende bu elektronlardır. Atomların son yörüngeleri maksimum 8 elektron alabilecek kapasitededir. Şayet son yörüngede 8 elektron varsa bunlara soygaz denilir. Soygazların elektriksel özelliği yoktur. Elektronlar daima bir yörüngede çekirdekten uzaklaşmak isterler. Ve her defasında bir sonraki orbitale geçmek için dönerler. Bunu yapabilmeleri için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu enerjilerini de ya ısı enerjisinden yâda atoma gelen fotonları emerek elde edip bir üst orbitale yükselirler. Gelen enerji yeterli olduğu zaman valans elektronları dediğimiz elektronlar atomdan koparak serbest kalırlar. Serbest kalan bu elektronlar PV sistemlerinin temelini oluşturarak elektriksel bağlamda akım üretilmesini sağlarlar. Elektronların hareketiyle sistemde akım meydana gelir. Bu akım elektronların hareketinin tersi yönünde oluşarak elektrik enerjisi meydana gelir. Bunu bir PV sisteminde ele alırsak fotonlar yardımıyla serbest kalan elektronların eklemde dolaşmasıyla elektrik enerjisi ortaya çıkar. PV sistemleri foton yardımıyla hareket eden elektronların oluşturduğu elektrik akımı şeklinde çalıştığı için yarıiletken malzemeleri bilmemiz gerekmektedir.

Fotovoltaik sistemler alternatif akım üretmezler, doğru akım meydana getirir.

Hibrit fotovoltaik sistemler ikiye ayrılır.

a) Fotovoltaik Termal Kollektörler (PV/T)

b) Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik/Termal Kollektörler (CPV/T)

3.3. Fotovoltaik–Termal (PVT) Sistemler

Fotovoltaik (PV) hücreler güneş radyasyonunu %80 absorbe etmesine rağmen güneş bandından elde edilen elektrik verimliliği düşük kalmaktadır. Absorbe ettiği bu enerjinin büyük kısmını sıcaklığa dönüştürdüğünden, PV hücrelerinin yüksek sıcaklıklarda ve yüksek radyasyonda hücre verimi, gücü ve ömrünü olumsuz etkilenmektedir.

Bir PV–termal (Pvt) kollektör sadece elektrik üreten değil aynı zamanda bir termal emici olarak hizmet veren bir modüldür. Bu şekilde hem ısı hem de güç aynı anda üretilmektedir.

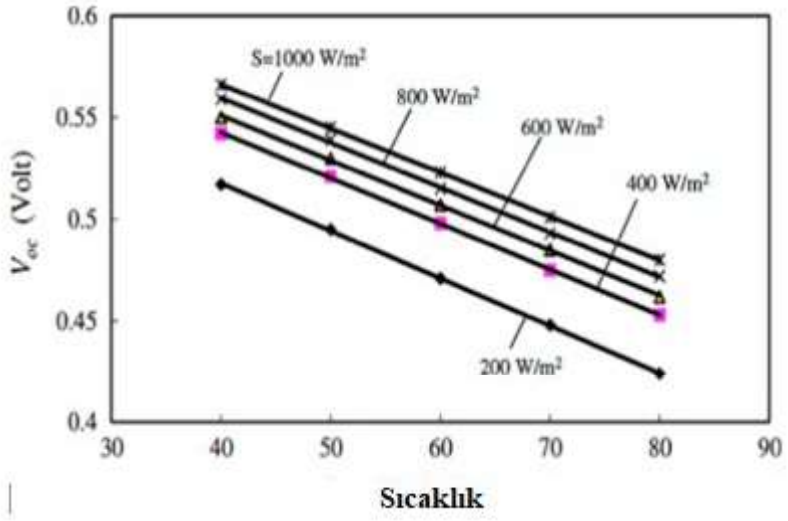
Fotovoltaik (PV) hücreler elektrik üretmek için güneş radyasyonu kullanır. Foton hareketinden kaynaklı olarak elde edilen elektrik modül sıcaklığının ısınmasına yol açar. Bu ısı elde edilen elektrik veriminde azalmaya sebebiyet verdiğinden hibrit sistem sayesinde sistemin dengeli bir sıcaklığa ulaşmasını sağlayarak fazla ısı bir akışkan veya değişik bir tasarımla ortamdan uzaklaştırılarak sıcaklık düşürülüp verim artırılır.

PV hücreler üzerlerine gelen radyasyonun küçük bir kısmını elektrik enerjisine çevirip geri kalanını da ısıya dönüştürüp sıcaklığın artmasına sebep olmaktadırlar. Hücre sıcaklığının 40°C'ye çıkması ışığın belirli dalga boyundaki ışık dalga boyu aralığını elektriğe çevirmesi ve geri kalan güneş ışığını da ısıya dönüştürmesi olayına fotovoltaik sistem denir.

Güneş pilleri için kullanılan malzeme, çevresel etkiler, düşük ışınlanma, panel üzerinde toz birikimi, yüksek çalışma sıcaklıkları, fotovoltaik sistemlerin verimliliği ve teknik ömrü üzerinde etkilidir.

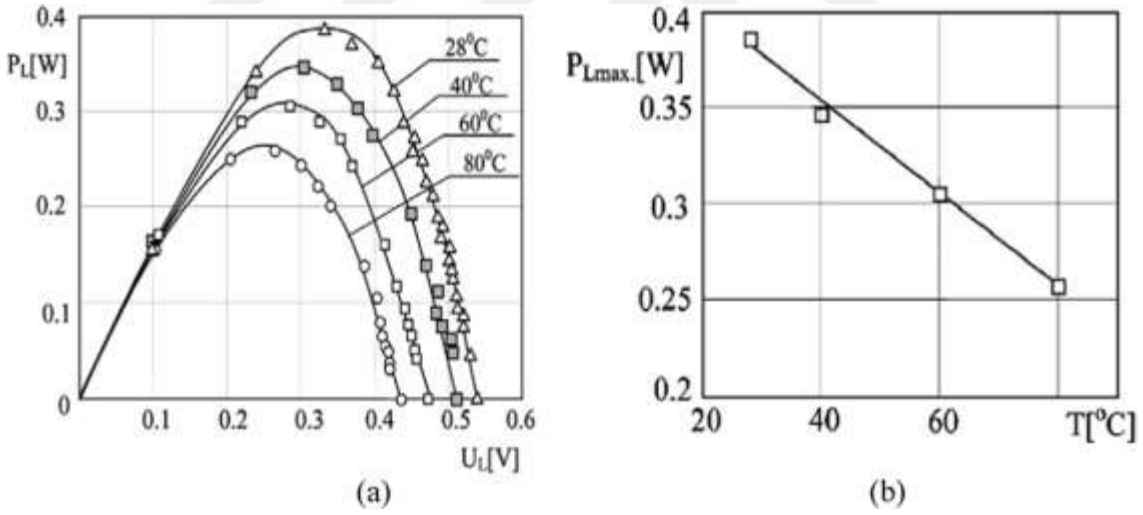
Sıcaklık verim üzerinde en etkili unsurdur. Fotovoltaik panellerde 25^0C den sonra her 1^0C artış %0.4 – 0.5 enerjinin eksilmesine sebebiyet verir (Thomas, 2001).

Fotovoltaik panellerin hücre verimi için yapılan çalışmalarda Hrang ve arkadaşları güneş ışınım şiddeti, kavşak sıcaklığı ve açık devre voltajı üzerine deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deney neticesine göre güneş hücresinin sıcaklıkla olan etkisini literatüre kazandırmışlardır (B.J. Huang, 2011).



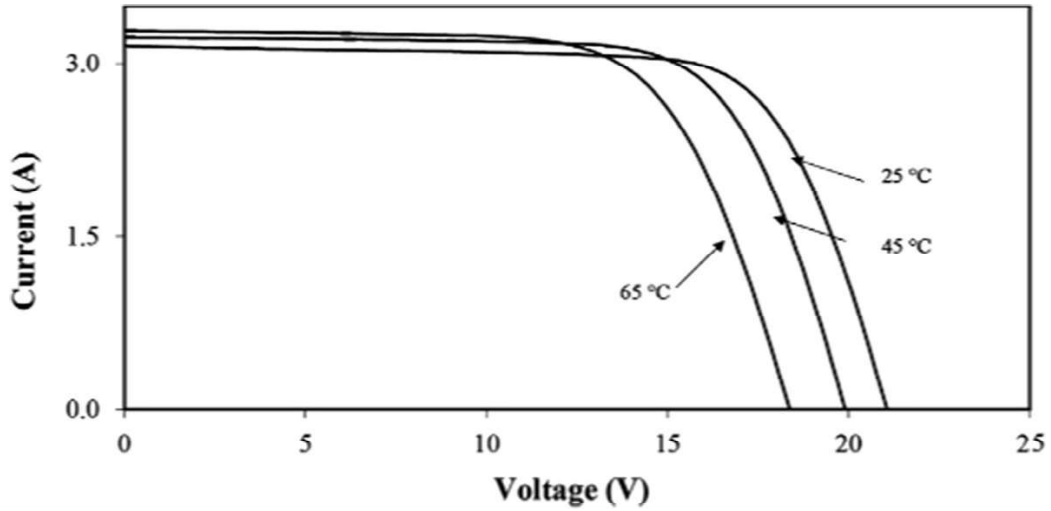
Şekil 3.8. PV hücre kavşak sıcaklığı ile açık devre voltajı değişimi(B.J. Huang,2011)

E. Radziemska yaptığı deneyler sonucunda farklı sıcaklıklar için gerilim ile güç çıkışının değişimini göstererek, kısa devre akımının, bant boşluğu enerjisindeki düşüş nedeniyle bir dereceye kadar artacağını bulmuştur.



Şekil 3.9. (a) Farklı çalışma sıcaklıklarında tek kristalli silikon PV hücrelerinin çıkış gücü(b) maksimum çıkış gücünün sıcaklıkla olan ilişkisi (E. Radziemska,2003)

Andreev ve ekibi ise farklı sıcaklıklar altında volt amper ilişkisini deneysel olarak yapmışlardır.



Şekil 3.10. Volt Amper ilişkisi (Andreev,2003)

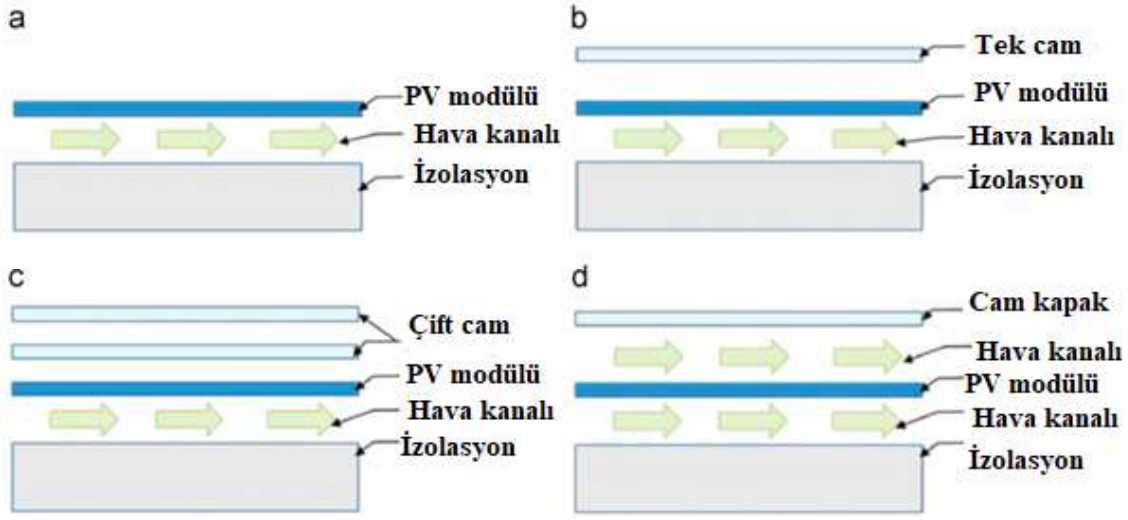
3.3.1. Hava Soğutmalı Sistemler

Hava ve su PVT güneş kollektörlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Isı transferi ve verim üzerinde etkili olan bu akışkanlar Pvt/hava ve Pvt/su ısıtma sistemlerinin ana hattını teşkil eder. Pvt/su sistemleri, hava ile karşılaştırıldığında suyun yüksek termo-fiziksel özellikleri nedeniyle PVT/hava sistemlerinden daha etkili olduğu bulunmuştur. Ancak Pvt/hava sistemleri, düşük maliyetlere sahip olduğundan uygulama alanı daha geniştir. Hava, PV/t sisteminde çalışan bir sıvı olarak hareket eder. PV modülünün sıcaklığını uygun bir seviyede tutarak yüksek güç üretimi elde edilmesini sağlar. Ayrıca, ısıtma sistemi kurutma, yer ısıtma ve havalandırma, vb. için kullanılır.

PV/T hava kolektörleri kullanım alanını genişletmek amacıyla birçok deneysel ve simülasyon çalışmaları yapılmaya devam etmektedir. Isı transferi ve kanaldaki hava akışı ile ilgili olarak pasif soğutmalı PV/T hava sistemlerinin analizi ve modellenmesi yapılmıştır

Hava sistemleri için en önemli dezavantaj, havanın düşük termal kütlesi nedeniyle düşük ısı kaldırma etkinliğidir. Hava sıcaklığı 20 °C üzerine çıktığı anda, PV soğutma için etkinlik çok düşük olacaktır (Kalogirou, 2006).

Aşağıda hava PV/t sistemlerinin farklı türlerde değişik çalışmalarından bir örnekler sunulmuştur.



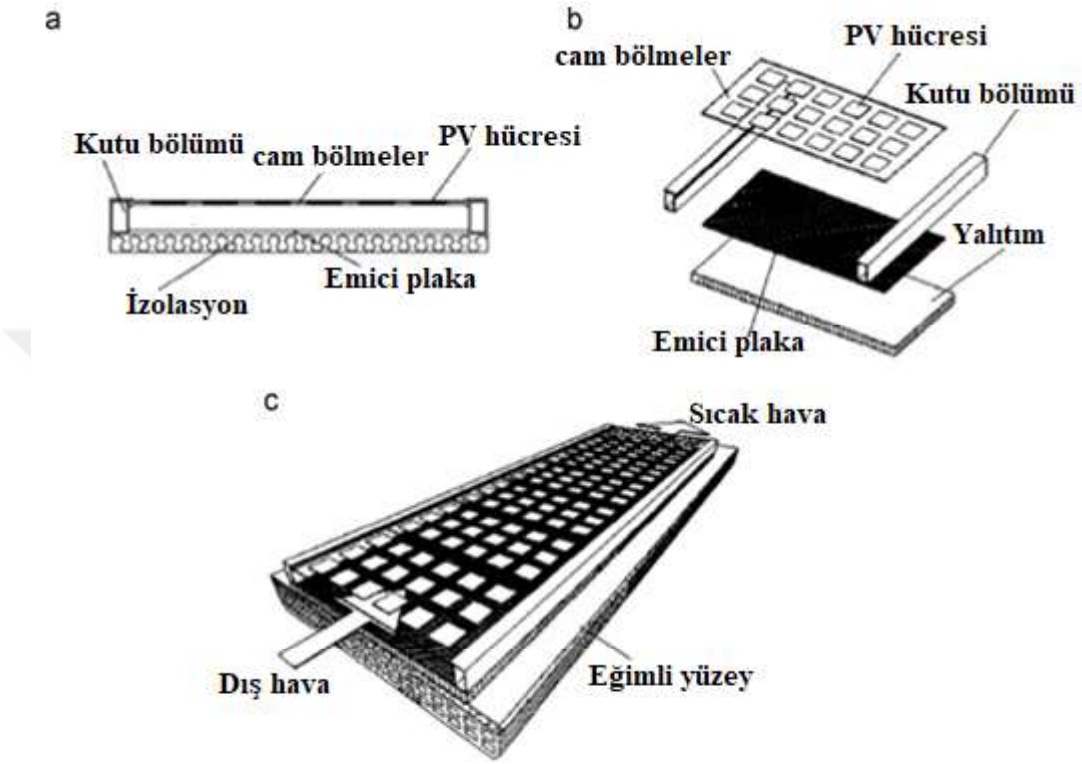
Şekil 3.11. (a) hava PV/t kollektör. (b) tek camlı hava PV/t kollektör. (c) çift camlı hava PV/t kollektör. (d) çift geçişli camlı hava PV/t kollektör (Kalogirou,2006)

3.3.2. Doğal Hava Dolaşımlı Sistemler

Yığın etkisi nedeniyle doğal bir akışla hava soğutması, pahalı olmayan ve basit bir PV soğutma yöntemini temsil eder. Doğal hava soğutmasında, PV panellerini soğutmak için ekstra bir düzenleme gerekmez. Bununla birlikte, doğal hava sirkülasyonu ile ısı ekstraksiyonu olan sistemler, düşük yoğunluklu, düşük hacimsel ısı kapasitesi ve havanın ısı iletkenliği baz alınır.

3.3.3. Zorlanmış Hava Dolaşımlı Sistemler

Doğal hava dolaşımlı sistemin soğutulması yönteminden farklı olarak düzensiz ve kontrolsüz olan hava sirkülasyonunu zorlanmış sistem ile düzenlenmiş haline denir. PV dizisinin hazırlanması, arkasında bir soğutma kanalı takılarak elde edilir.

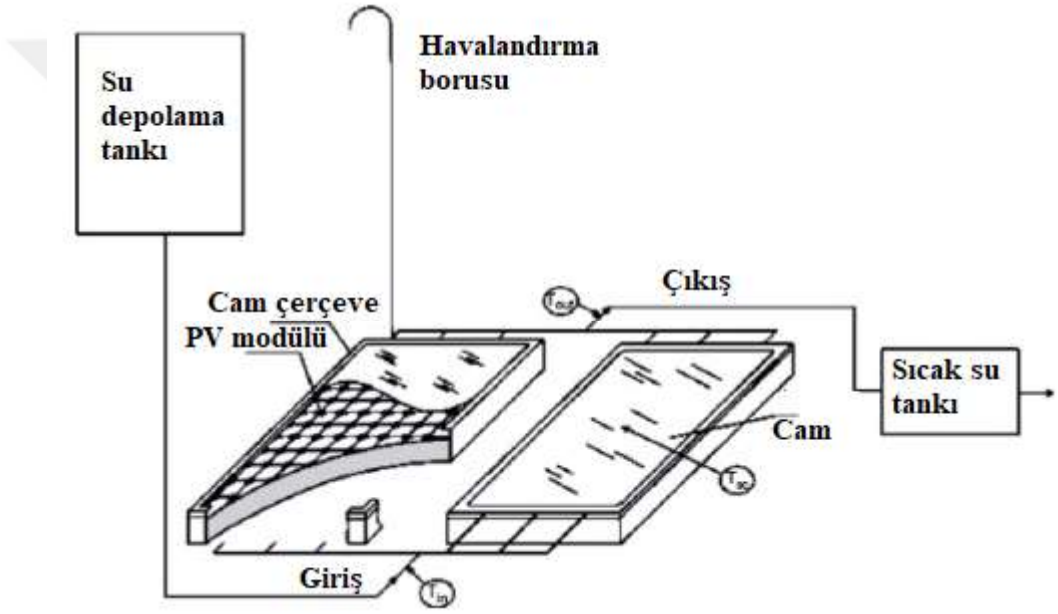


Şekil 3.12. PV/t hava toplayıcı (a) kesit görünümü. (B) montaj görünümü. (C) dizi görünümü (V.V.Tyagi,2012)

3.3.4. Sıvı Soğutmalı Kollektörler

Düz plaka kollektörlü su ısıtma sistemlerine benzer şekilde, sıvı fotovoltaik termal (PVT) kollektörler aynı anda hem suyu ısıtmak için kullanılır ve hem de çeşitli yerli ve endüstriyel uygulamalar için elektrik üretilir (Erdil, 2008).

Evsel su ısıtıcı sistemler genellikle paralel bağlantıda düz plaka kollektörleri kullanılarak termosifon yardımıyla otomatik olarak çalışır. Endüstriyel su ısıtma sistemlerinde ise düz plaka kollektörleri bir dizi oluşturarak kollektör içinde su akışını korumak için fotovoltaik su pompası ilave edilir. Bir PV/t su kolektörünün şematik diyagramı gösterilir (V. V. Tyagi, 2012).

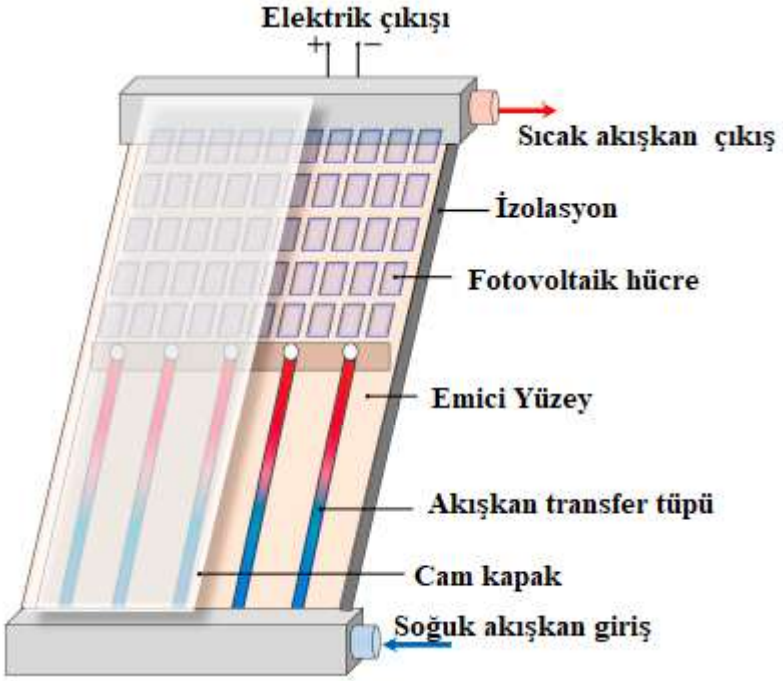


Şekil 3.13. PV/t su toplayıcı şematik diyagramı (V.V.Tyagi,2012)

Evlerde sıcak su elde etmek için düz plaka kollektörleri kullanılır. Sistem termosifon yardımıyla otomatik olarak çalışır. Endüstriyel kullanıma gelindiği zaman ise ısıtma sistemi düz plaka kolektörlerine ilave edilen bir dizi seri PV hücreleriyle sağlanır. Sistemden su akışını devamlı bir şekilde geçirmek için bir pompa entegre edilir.

Son yıllarda Hibrid PV/T güneş sistemleri olarak bilinen yeni nesil güneş kollektörleri, sıcak su ve elektrik elde etmek için kullanılır. Çalışma prensibi normal kollektörlerle aynıdır. PV hücrelerinin verimliliğinin yüksek sıcaklıklarda azalmasından kaynaklı olarak içerde dolaştırılan akışkan sıcaklığı düşürmeye yardımcı olur. Chow, yaptığı hassas çalışmalarla bu teknolojide gelinen son durumu bizlere göstermiştir.

Çalışma sıvıları veya soğutucular (hava veya su), kollektör tipleri, fotovoltaik hücre materyali (monokistalline, polycrystalline ve amorf silikon), cam sayısı (tek veya çift) ve sıvı akışı üzerinde değişiklikler yaparak PV/T sistemlerinde çeşitli örnekler sunmuştur.



Şekil 3.14. Hibrid fotovoltaik-termal kollektör (Chow, 2010)

Güneşe maruz kalan PV modülünün aynı anda soğutularak tatmin edici bir elektrik verimliliğine ulaştırmasını sağlayan PVT kollektörler güneş enerjisi kullanımını daha etkili bir şekilde uygulamaktadır. Bu hibrit tasarımlar ile alakalı birçok alternatif çözümler ve deneyler yapılmıştır. Hava, su veya buharlaştırıcı kollektörler, monokristalline, polikristalline, amorf silikon (c-si/PC-Si/a-si) veya ince film Güneş hücreleri, düz plaka veya konsantratör tipleri, sırlı veya camsız paneller, doğal veya zorlanmış sıvı akışı, bağımsız veya bina-entegre özellikleri vb. gösterebiliriz.

Pvt sisteminin çekici özellikleri şu şekilde ifade edebiliriz.

- Çift amaçlı olması: Aynı sistem elektrik ve ısı çıkışı üretmek için kullanılabilir.
- Verimli ve esnektir: her zaman iki bağımsız sisteminden daha yüksek verime sahiptir. Çatılarda panel aralığı sınırlı olduğundan binalarda çekici bir konuma sahiptir.
- Geniş bir uygulama vardır: ısı çıkışı hem ısıtma hem de soğutma (desicant soğutma) uygulamalarında mevsime bağlı olarak kullanılabilir ve evsel uygulamalar için pratik olarak uygundur.

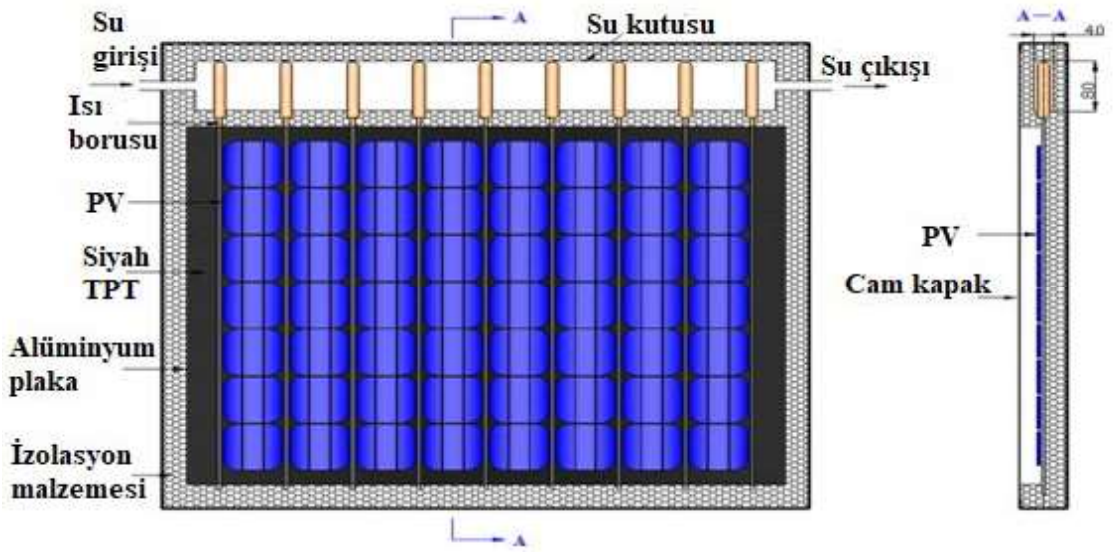
- Ucuz ve pratik: kolayca güçlendirme ve önemli bir değişiklik yapılmadan binalara uygulanabilir olması geri ödeme süresini azaltır (Arif, 2010).

PV termal kollektörün farklı tipleri şu anda, PVT/hava, Pvt/su ve Pvt konsantre kollektördür (Chow, 2010).

PV/t modülünün uygulama alanı değişiklik gösterir. Hava veya su ısıtmak amacıyla, ev ve endüstriyel alanda kullanılabilir. Pvt/hava sistemleri bina cepheleri ve çatıları ile elektrik yükünün yanı sıra hava havalandırma ve ısıtma ihtiyacını da karşılayabilmektedir. Diğer taraftan, Pvt / su sistemlerinin arka tarafı ile termal temas eden sıvı, yer ısıtma ve su ısıtma için uygun bir su eşanjöründen oluşmaktadır (Tripanagnostopoulos, 2007).

3.3.5. Isı Borusu Soğutma Sistemi (Heat Pipe Cooling) (HP-PV/t)

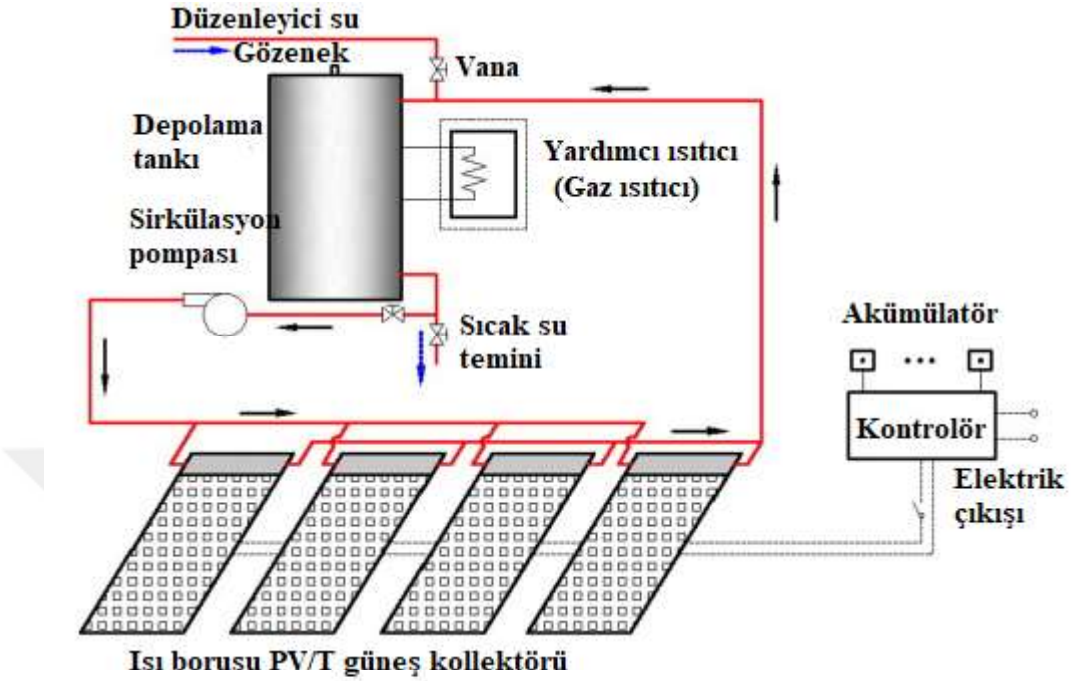
Isı borusu fotovoltaik/termal (HP-PV/t) sistemleri aynı anda hem elektrik hemde termal enerji sağlar. Su tipi fotovoltaik/termal sistemlerle karşılaştırdığımızda, HP-PV/T sistemleri soğuk bölgeler için vazgeçilmez bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İçinde dolaşan sıvının donmamasını sağlayan ısı boruları yardımıyla sistem tamamlanır.



Şekil 3.15. Bir HP-PV/t güneş kollektör şematik diyagramı (Pei, 2012)

Sistem bir depolama tankı, bir gaz ısıtıcı (HP-PV/t sistemi için), bir dolaşım pompası ve HP-PV/T güneş kollektörleri bir dizi içerir. Kollektörler su sirkülasyonu döngüsünde birbirlerine paralel olarak düzenlenirler. Su pompası, su depolama tankı

yardımıyla kollektörlerin ısı enerjisi, dolaşan su tarafından depolama tankına kaldırılarak kollektörler arasındaki suyu sirküle eder.



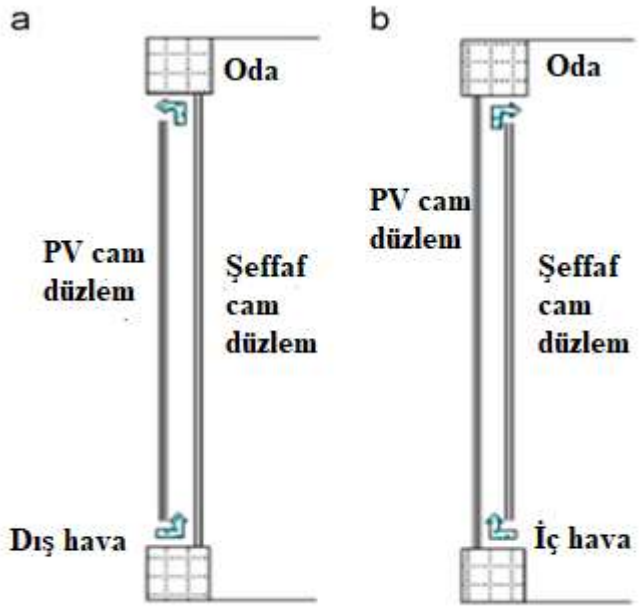
Şekil 3.16. HP-PV/T sisteminin şematik diyagramı (Pei, 2012)

3.3.6. Faz Değiştiren Malzemeler ile Soğutma (FDM)

Panellerin arka tarafına yerleştirilerek, panelin dış yüzey sıcaklığını kendine çekip, paneli soğutan malzemelerdir.

3.3.7. Bina-Entegre Hava Pvt (BİPVT) Building-İntegrated Air PVT

Çok fonksiyonlu dış cephe veya çatılarda aynı anda ısı, ışık ve elektrik üreten PVT sistemlerinin montajı kullanılabilirlik açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Hava akışının dışında ışık iletimi için uygulanabilen bu sistem ile aydınlatmaya yönelik giderlerden de tasarruf edilmektedir.



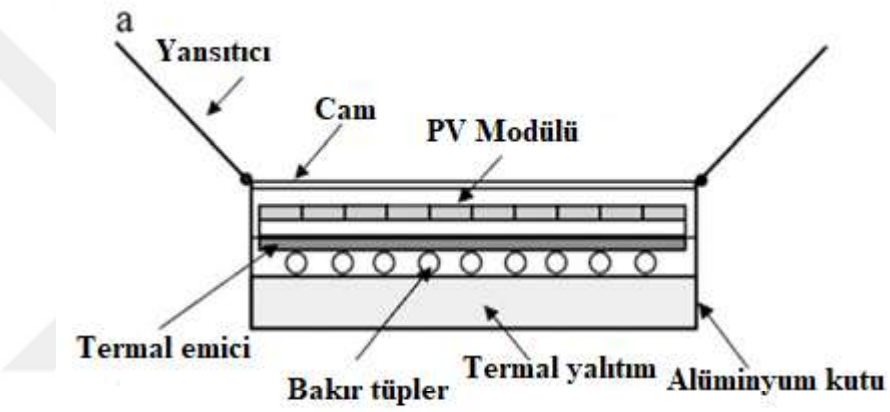
Şekil 3.17. Entegre PV/T sistemleri oluşturmak için havalandırmalı PV sırlama işlemi (a) soğutma modu. (B) ısıtma modu (H Wei,2014)



Şekil 3.18. Güneş kollektörü ve çatı tipi BİPVT (H Wei,2014)

3.3.8. Yoğunlaştırıcı PVT Sistemi (CPV/T)

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sistemler, düz plaka toplayıcılarından daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Fazla ısıyı bir CPV sisteminden aldığımız zaman, orta sıcaklıklarda hem elektrik hem de ısı sağlayan bir CPV termal (CPVT) sistemi meydana getirir ki bu da hibrit sisteme önemli bir katkı sunmaktadır. Bu yaklaşım, reflektörlerin güneş hücrelerine göre önemli ölçüde daha düşük maliyeti nedeniyle umut vericidir. Şekil'de Cpv'nin şematik bir diyagramı gösterilmektedir. Cpvt'nin yoğunlaştırılmış reflektörlerle birlikte kullanılması, belirli bir güneş pili alanından güç üretimini artırmak için önemli bir potansiyele sahiptir.



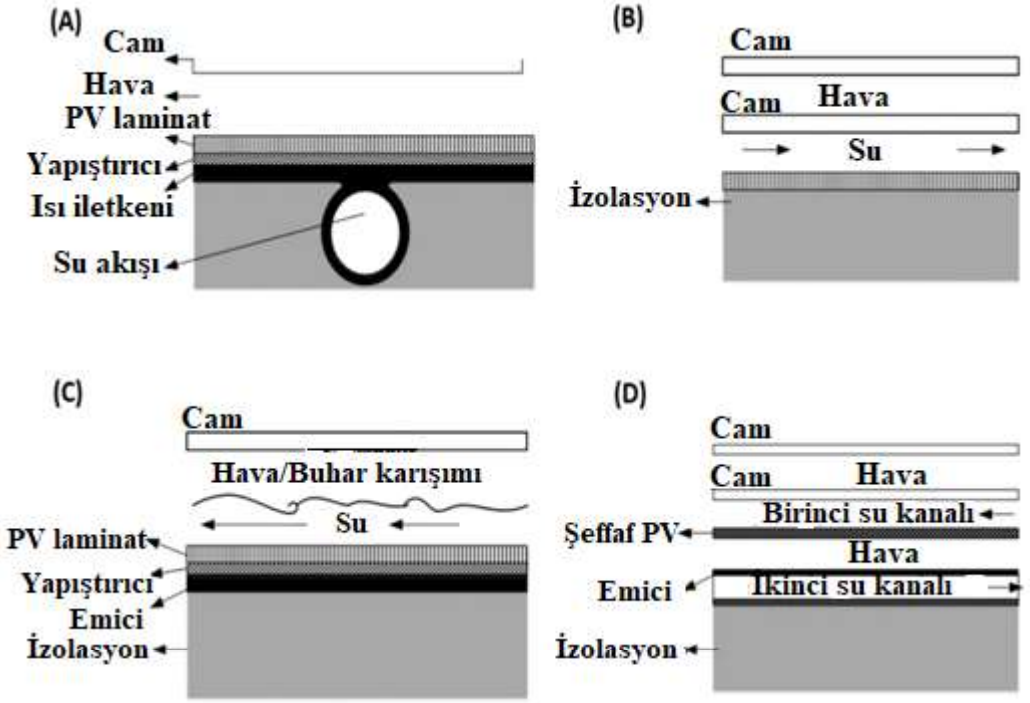
Şekil 3.19. Yoğunlaştırıcı PV/T kolektörü (Tyagi,2012)

3.4. PV / T ve Akış Kanalları Tasarımı

Yapılan tasarım çalışmalarında, kollektör uzunluğu, kütle akış hızı ve hücre yoğunluğundaki artışla sistemin etkinliğinin arttığı, kanal derinliğindeki artışla azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak, akış kanallarının şekli, boyutu, konumu ve düzenlemelerinin, toplayıcı performansına yansıyan PVT'nin muhtemel ısı transferi veya soğutulmasını arttırmak veya azaltmak için oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Akan sıvıya bağlı olarak birçok kanal şekli incelenmiştir. Basit kanallardan veya hava kanallarından başlayarak, yüzgeçleri kullanarak ısı transferini ve soğutmada suyun kullanımını ve kanallar yerine farklı boyutlarda ve aralıklarla borular kullanabilme kabiliyetini arttırmak mümkündür. Çalışmalar ayrıca, bu boruların mümkün olan en yüksek soğutmayı ve sonuç olarak termal verimliliği elde etmek için nasıl düzenlenebileceğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmalarda direk borular, serpantin, spiral… vb. boru kesitlerini dairesel kesitlerden, yarım daire veya üçgen

şeklinde değiştirmeye yönelik iyileştirmeler de tartışılmıştır. Bu kanalların PV modülünün üstünde ve altında yer alması ve kanalların kontak uzunluğunun PV modülü ile ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Zondag ve arkadaşları, enerji verimliliğinin değerlendirilmesini dikkate alarak dokuz farklı PVT tasarımını inceledi. Bu dokuz farklı tasarım dört grupta sınıflandırıldı; levha ve tüp, kanal, serbest akış ve iki emici PV / T toplayıcıları olarak. Her grup, cam, yalıtım ve ilgili kanalın konumu dikkate alınarak farklı konfigürasyonlardan oluşturdular. İki emici PV / T toplayıcının yalıtımlı tipini kullanarak, bir yıl içinde en yüksek ortalama termal verim, diğer tasarımlara göre önemli ölçüde düşük elektrik verimliliği ile elde edildi. Buna karşılık, açılmamış levha ve tüp PV / T toplayıcı kullanılarak, bir yıl içindeki en yüksek ortalama elektrik verimine, yüksek ısı kayıplarından dolayı en düşük termal verimlilikle ulaşılmıştır. Genel olarak Zondag ve arkadaşları, iki kanallı levha ve boru tasarımı ve yalıtılmış iki emiciden oluşan kanal üzeri PV tasarımının, camlama nedeniyle daha düşük elektriksel çıkışa sahip en yüksek termal sağladığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, verimlilik açısından bakıldığında; kanal-altında-şeffaf-PV en iyi seçenek olarak gözükmektedir. Bizde Batman şartlarında bu bilgiler üzerine Panel altından soğutma işlemi gerçekleştirdik.



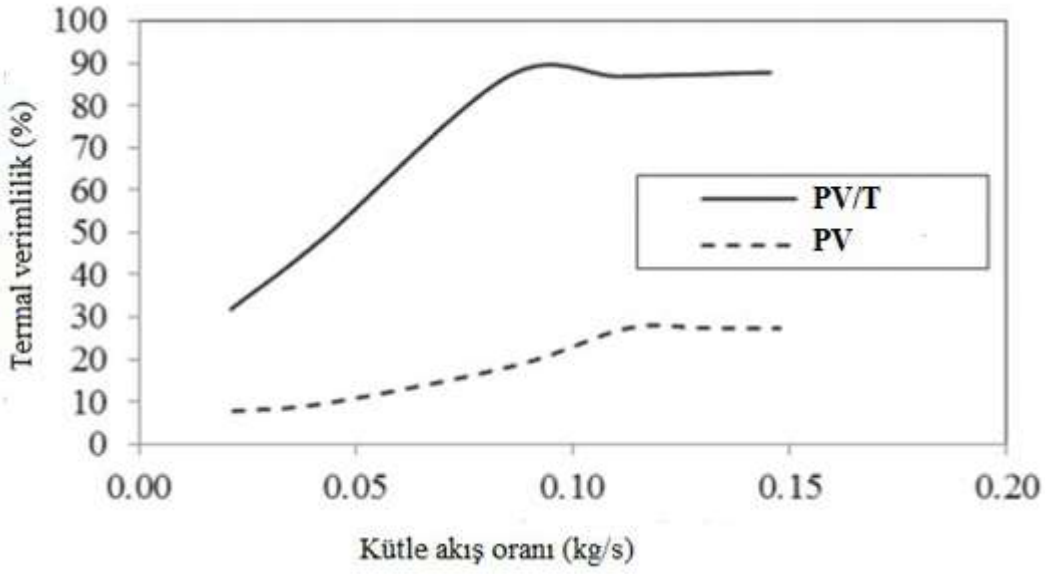
Şekil 3.20. Çeşitli toplayıcı kavramları: (A), tabaka-ve-borulu PV / T, (B), bir kanal PV / T, (C) serbest akış PV / T, (D), iki emici PV / T (yalıtımlı tip)(Zondag, 2003)

Fudholi ve arkadaşları, farklı kütle akış oranları ve güneş ışınımı seviyeleri altında su soğutmalı PV / T'nin farklı konfigürasyonlarını araştırmışlardır. Emici kanallar için üç farklı yeni tasarım önerdiler; katlamalı akış emicisi, direkt akış emicisi ve spiral akış emicisi. Kütle akış hızı arttıkça, PV sıcaklığı azaldı ve elektriksel verimlilik arttı. Ayrıca, güneş radyasyonu seviyesinin arttırılması ile PV sıcaklığı ve üretilen elektrik verimliliği de arttı. Doğrudan akış ve spiral akış emicilerinin davranışlarının karşılaştırılabilir olduğunu bildirmişlerdir. Daha yüksek termal verim, doğrudan akış emicisi kullanılarak elde edilebilirken, spiral akış emicisi kullanılarak daha yüksek elektriksel verim elde edilebilir. Spiral akış emicisi, 800 W/m^2'lik solar olay radyasyonunda en yüksek toplam performansı sunarken, sırasıyla %68.4, %54.6 ve %13.8'lik genel, termal ve elektriksel verimliliğe sahipti.

Hussain ve arkadaşları, alüminyum petek kullanım verimliliğini incelediler. Hava ile soğutulan hibrid PV/T toplayıcının termal verimliliğini arttırmak için PV'nin altında farklı akış hızları incelediler. Petek kanalları kullanılarak, termal verim 0.11 kg / s'lik hava kütle akış hızında %27'den% 87'ye yükselmiştir. Elektriksel verimliliğin artması, düşük termo-fiziksel özelliklere sahip olan soğutmada hava kullanımına atfedilebilecek neredeyse göz ardı edilebilir (%0.1) idi. Bu inovasyon, üretim süreci ve kompakt için kolaydı, bu da bina entegrasyonu için kolayca uygulanmasını mümkün kıldı.



Şekil 3.21. PV modülünün arkasında kurulu petek fotoğrafı (Hussain,2013)

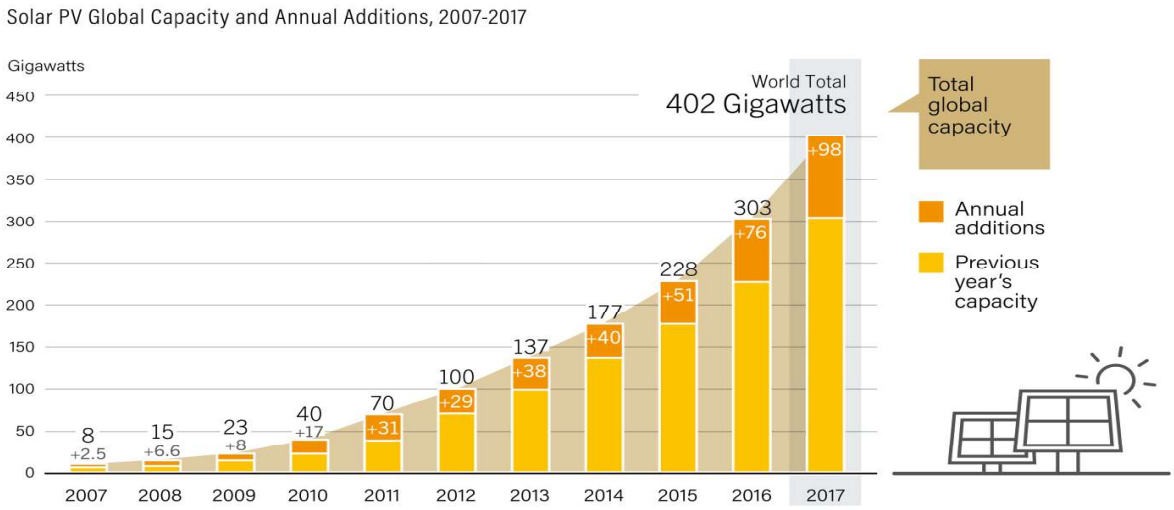


Şekil 3.22. Her iki toplayıcının da termal verimliliği (F. Hussain,2013)

3.5. Fotovoltaik Alan Potansiyeli ve Parametreleri

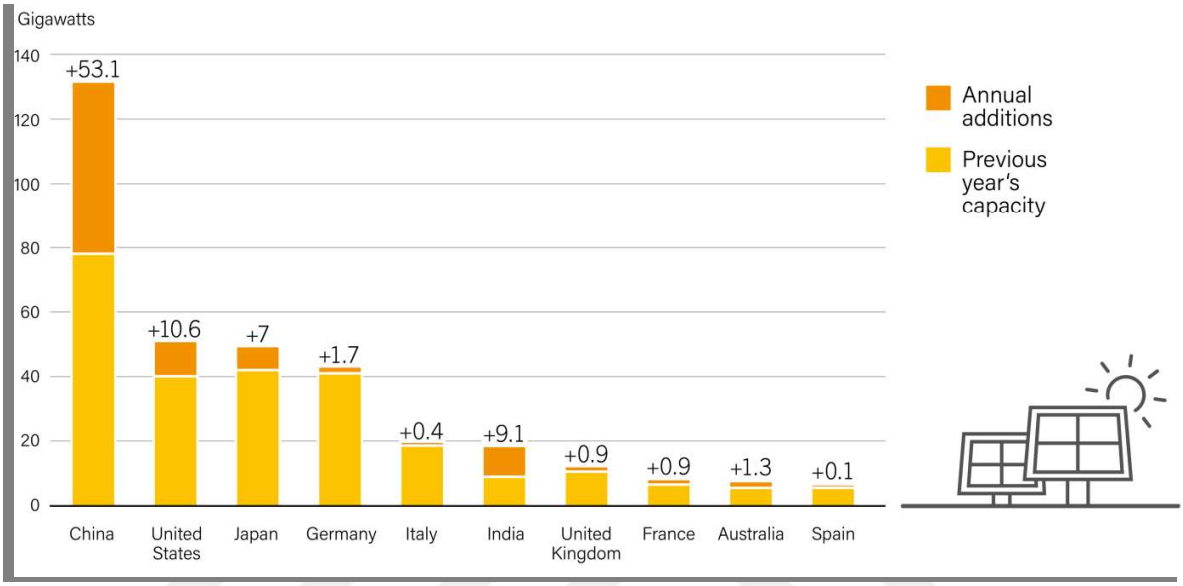
Güneş enerjisinin kullanım alanının farklılıkları yukarıda da görüldüğü gibi değişiklik göstermektedir. Termal veya elektrik enerjisi oluşturma veyahut her ikisini beraber oluşturma şeklinde görülmektedir. Bu bağlamda elde edilen veriler önem arz etmektedir.

Güneşlenme süresi, nem,rüzgar,ortam sıcaklığı, hesaplanmanın yapılacağı yerin eğimi gibi etkiler, elektrik kapasitesini ve termal özelliklerini ortaya çıkarmaktadır.



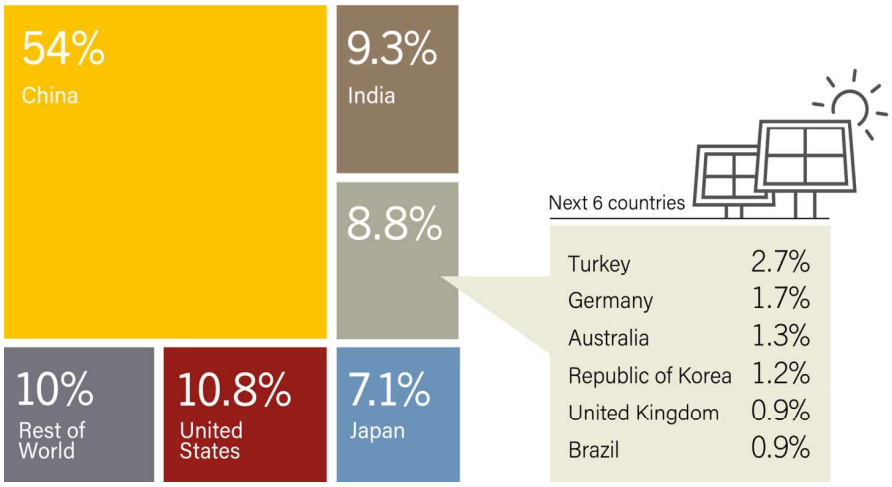
Şekil 3.23. Dünya geneli PV sistemler ile elde edilen elektrik enerjisi artışı (Anonim, 2018 c)

Dünya geneli PV sistemlere olan bakış her geçen gün artmaktadır. Son on sene içinde bu sistem ile elde edilen elektrik enerjisinin 50 katına çıkması bunun en büyük göstergesidir. 2018 yenilenebilir Küresel Durum Raporu'nun verdiği sonuçlar bize bunu gözler önüne sermektedir. Ülkeler bazında ele alırsak aşağıdaki veriler önümüze çıkmaktadır.



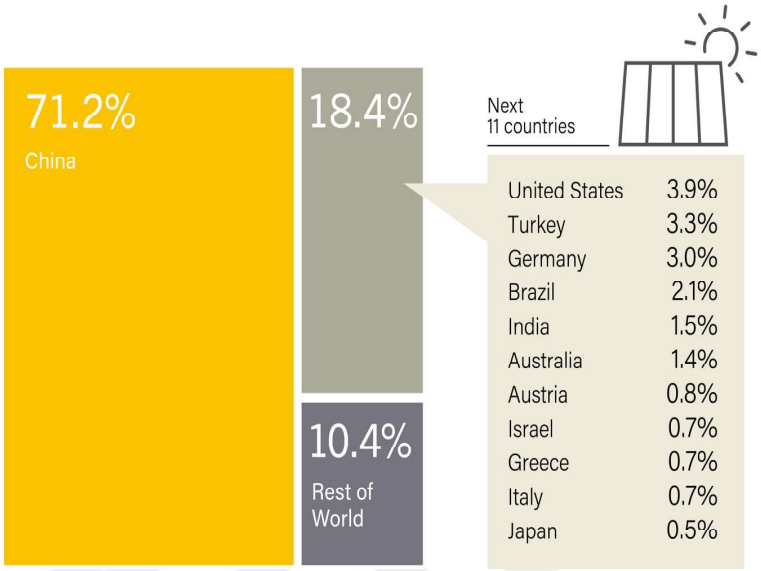
Şekil 3.24. Dünya geneli PV sistem ile elektrik üreten ilk on ülke (Anonim,2018 c)

Dünya geneli PV sistem kapasitesine sahip ilk on ülkeyi gösterdiğimiz zaman ise karşımıza aşağıdaki sonuçlar gelmektedir.



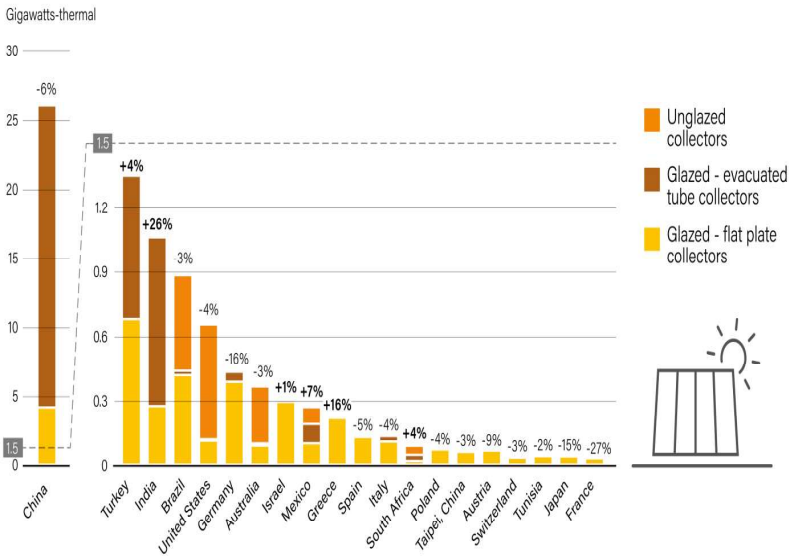
Şekil 3.25. Dünya geneli PV kapasitesi (Anonim, 2018 c)

Güneşten yararlanma bağlamında ülkemiz coğrafi konum olarak çok büyük bir şansa sahip olmasına rağmen hak ettiği yerde bulunmamaktadır. Güneşten sıcak su elde eden sistemleri üreten ülkeler arasında dünyada üçüncü sıradayız.



Şekil 3.26. Dünya geneli güneş kolektörleriyle sıcak su elde eden ilk 12 ülkenin kollektör kapasitesi (Anonim, 2018 c)

Güneşten sıcak su elde etme kapasitesi olarak Dünya genelinde ise ikinci sıradayız.



Şekil 3.27. Dünya geneli Güneş enerjisinden sıcak su elde eden ilk 20 ülke (Anonim,2018 c)

Bu veriler ile ülkemizin aşağıdaki güneş enerjisi verilerini karşılaştırdığımız zaman çok daha yüksek bir konuma sahip olmamız gerekmekteydi.

Tablo 3.3. Ülkemizin enerji bazında aylık ortalama güneş potansiyeli (Anonim, 2018d)

Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi		Güneşlenme süresi (Saat/ay)
	Kcal/cm^2-ay	kWh/m^2-ay	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm^2-gün	3,6 kWh/m^2-gün	7,2 saat/gün

Enerji Bakanlığının verilerine göre ülkemizde şu an güneş kolektör alanının 20.10^6 m² olduğu ve bununda 823.10^3 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi ürettiği açıklanmıştır. 2017 itibariyle güneş kaynaklı enerjiden 3 milyar kWh'a yakın elektrik elde edilmiştir. 2018 yılına gelindiğinde temmuz başında lisanssız 4.700 MW ve lisanslı 23 MW olarak toplamda 4.726 MW olarak açıklanmıştır.

Tablo 3.4. Ülkemizin enerji bazında güneş potansiyeli (Anonim, 2018 d)

Bölge	Toplam güneş enerjisi kWh/m^2-yıl	Güneşlenme süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada ele alınan konular bir düzen halinde aşağıda sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmanın yapılış biçimi termodinamik yasalarına uygun bir şekilde irdelenmiş ve literatüre aktarılmıştır. Batman şartlarında ele alınan hibrit fotovoltaik termal sistemlerinin elektrik ve termal verileri incelenmiş olup ekserji analizi yapılmıştır. Farklı ışınım ve yüzey sıcaklıkları göz önüne alınarak debi ve kanal yüksekliğinde değişikliğe geçilerek sonuçlar irdelenmiştir. Bunları yapmak için önce deney setimizde kullanılan aparatlar ve tesisat işlemleri bitirilmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmalar

Fotovoltaik panellerin yapım aşamasından önce, kullanılan malzemelerin özellikleri ve birbirleriyle olan ilişkilerinin yanında çevresel faktörlerde göz önüne alınarak simülasyon programları geliştirilerek, güneş pillerinin ve panellerinin verimliliği konusunda önceden bilgi sahibi olma noktasına varmış bulunmaktayız.

Fotovoltaik modülün elektriksel verimliliğinin sıcaklığı arttıkça azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle fotovoltaik sistemin termal yönetimi büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmanın amacı, sıcak hava ya da alternatif olarak sıcak su üretebilen bir enerji geri kazanım sistemi için girdi olarak kullanılan fazla ısının termal potansiyelini ve buna ek olarak elektriksel verimlerinin karşılaştırılması hesaplanmıştır. Soğutulan hücrelerin elektriksel üretimi, daha düşük ve sabit bir sıcaklıkta çalışmasına bağlı olarak artar. Bir fotovoltaik modül için bir başka önemli özellik, yaygın olarak çalışılan montaj pozisyonudur. Panelin eğiminden ve güneşe yönelmesine gerek duyulan açılar Batman İli için hesaplanmıştır. Batman İli için fotovoltaik panel açıları on iki ay baz alınarak yıllık değerleri bulunmuştur.

Yapılacak çalışmada sistemin parametrelerine ait malzeme bilgileri Tablo 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Hibrit modelde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Tabaka	Isı iletkenliği W/m K	Özgül ısı kapasitesi J/kg K	Yoğunluk (kg / m ^{3})	Kalınlık (mm)
Polikristal Silikon	Güneş pili tabakası	130	677	2330	0,18
Temperli cam	Üst kapak	2	500	2450	3,2
Polyester	Alt kapak	0.15	1250	1200	1
Epoxy Glass	Alt kasa	0,35	1470	1350	3
Etil vinil asetat	Enkapsülant	0.311	2090	950	0,46
Tedlar / PET / Tedlar	Arka tabaka tabakası	0,15	1250	1200	0,18
Alüminyum	Isı değiştirici yan kaplama	237	903	2702	3

Tablo 4.2. Yapısal modelde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Tabaka	ElastisiteModülü (GPa)	Poisson oranı	Termal genleşme katsayısı (K^{-1})
Silikon	Güneş pili	150	0.17	2.616×10^{-6}
Temperli cam	Üst kapak	70	0.22	9×10^{-6}
Polyester	Alt kapak	4	0.37	60×10^{-6}
EVA	Enkapsülant	7.8	0.3	90×10^{-6}
Alüminyum	Isı değiştirici	72	0.32	22×10^{-6}

4.1.1. Mevcut Çalışmalar/Literatür Kıyaslaması

Yapılan çalışma öncesinde ve sonrasında, yapılmış literatürler incelenmiş ve uygunluğu karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.3. Su ile soğutmada verim karşılaştırması

SN	Sistem türü	Elektriksel verimlilik (%)	Isıl verim (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
1	PVT-Su	%9	%44	Oluklu sac emicinin kullanımı	2001	Huang ve diğ.
2	PVT-Su	%7.2	%54	PVT analizi için 1-D kararlı durum modeli önerilmiştir	2002	Zondang
3	PVT-Su	%9.7	%66	PVT sistemlerinin dokuz farklı tasarımı tartışıldı.	2003	Zondang
4	PVT su	-	-	Çatı boyutunda bir PVT'nin performans ve maliyeti simüle edildi	2005	Bakker
				Evsel ısıtma ve soğutma için PVT'nin teorik performans araştırması		
5	PVT-Su	-	-	PV / T toplayıcı, geleneksel güneş kollektörünün veriminden yaklaşık%9 daha düşük termal verimliliğe sahiptir.	2006	Vokas ve diğ.
				4.6 yıllık geri ödeme süresi		
6	PVT-Su	-	-	Polycrystalline Si güneş pili PVT'nin elektrik verimi, Mono kristaline kıyasla daha fazladır.	2006	Kalogirou ve diğ.
				Sistemin geri ödeme süresi 20 ila 25 yıl arasındadır.		

7	PVT- Su + Hava	%11-12	%80	Cebri hava havalandırma + laminer su akışı (iki akışkan sistemi)	2007	Assoa ve diğ. Al
8	PVT-Su	% 11-16	% 30-70	Uçların, oluklu levhaların ve güçlendirici aynaların kullanımı PV'de su sirkülasyonu için kullanılan DC pompası	2007	Tripanagnostopoulos et.al
9	PVT-Su + hava	% 11- 12	%40-55	Kısmen kapalı PVT sistemleri tamamen kapalı sistemlerden daha iyi performans gösterir	2008	Dubey ve Tiwari
10	PVT su	% 9-10	-	Seri bağlı kısmen düz plaka su toplayıcıları	2009	Dubey ve diğ.
11	PVT-Su	% 11	% 50	PVT'nin spiral akış tasarımı en yüksek ısı kazancı verir	2009	İbrahim ve diğ.
12	PVT-Su	%14-15	% 50-70	Kolektörün eğim açısı sistemin genel verimliliği ile ters orantılıdır Su ve hava (İki akışkan) PVT sistemi		Boubekri ve diğ.
13	PVT-su + hava	%9-10	%30-50	PVT'de vakumlu veya asil gazların kullanıldığı simüle edilmiş bir model gerçekleştirilir.	2010	da Silva ve diğ.
14	PVT-Su	-	-	Sırlı PVT kolektör tipinin performansı analiz edilir. Daha iyi performans için önerilen anti reflektif kaplama.	2010	Santbergen ve diğ.
15	PVT su	-	-	Suyun doğal dolaşımında PVT sistemi.	2011	He ve diğ.

16	PVT-su	%6-9	%40-75	Seçmeli kaplamalı emicili tek camlı düz plaka PVT sistemi, 2-D modeli kullanılarak analiz edilir. Tek paketli cam ve PV laminasyon tavsiye edilir.	2011	Rommel ve diğ.
17	PVT-su + Isı borusu	%9.4	%41.9	Isı borusu destekli PVT sistemi	2011	Gang ve diğ.
18	PVT-Su + PCM	-	-	Parafin mumu PCM olarak kullanılır PCM havuzu kombine PVT'nin verimliliğini%9 artırır.	2011	Malvi ve arkadaşları
19	PVT-Su	-	-	Serpantin absorber plaka PVT sistemi önerilmektedir	2011	Charalambous ve diğ.
20	PVT-Su	% 4-5	% 23-27	PV modülünün üst yüzeyindeki su spreyi	2011	Hosseini ve diğ.
21	PVT-Su	% 13	% 58	Bakır absorbe tüplü sırlı tip PVT	2012	Bhattarai ve diğ.
22	PVT su	% 4-5	% 40 - 60	A-Si PVT için geri ödeme süresi 7 ve çok kristalli Si için 14 yıldır.	2012	Nualboonrueng ve diğ.
23	PVT-Su	-	-	Elektrik kazancı kısmi kapalı sistem için daha fazladır	2013	Mishra ve diğ.
24	PVT su	% 12	% 35	Sırsız düz plaka PVT sistemi	2013	Huang ve diğ. al
25	PVT-Su	-	% 44	Cam emici olarak kullanılır	2013	Jaiganesh ve diğ.
26	PVT-Su	11.7-12.4%	% 26 - 28	TRNSYS kullanarak simülasyon	2014	Huang ve diğ.
27	PVT su	% 11.5	% 39.5	Su soğutmalı yarı saydam PVT sistemi.	2014	Li ve diğ.
28	PVT-Su	% 11-12	-	Çok amaçlı bir algoritma ile sistem optimizasyonu Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)	2014	Tamayo Vera ve diğ.

29	PVT-su	% 10	% 60-70	Kullanım sıcak suyu için çatı üstü PVT sistemi	2014	Rahou ve diğ.
30	PVT-su (BIPVT)	% 14-15	% 65-75	Bina entegre fotovoltaik-termal (BIPVT) çatı paneli	2016	Chen ve diğ.
31	PVT su	% 10-12	% 20-25	Kaplanmamış su tipi PVT, seri bağlanmış alüminyum emiciye bağlı seri bağlı güneş hücreleri.	2016	Aste ve diğ.
32	PVT su	-	% 60-90	PV modül sistemine bağlı galvanizli demir emici yüzey ve su tüpleri ANSYS ile simülasyon	2016	Khelifa ve diğ.
33	PVT su	% 10-12	% 50-70	Seçmeli kaplama ile sırlı düz su tipi PVT sistemi. Seçmeli kaplama sistemin termal performansını artırır	2016	La¨mmle ve diğ.
34	PVT su	-	-	Tamamen kapalı ve kısmen kapalı kollektörler Tamamen kapalı toplayıcılar daha iyi elektrik verimi sağlar. Yarı saydam PV modülleri ile tek camlı, kısmen kapalı kollektörler.	2016	Mishra ve diğ.
35	PVT-Su	% 5-6	-	Genel termik enerji ve ekserji temelinde yıllıklandırılmış tekdüze maliyetin sırasıyla 1.53 Rs / kWh ve 14.45 Rs / kWh olduğu tahmin edilmektedir.	2016	Shyam ve diğ.
36	PVT su	%7-15	%75	PVT sistemi aktif güneş damıtma sistemi için kullanılır	2016	Singh ve diğ.
37	PVT-Su + hava	%17	%76	Yarı saydam PV + çift geçiş akışı	2016	Othman ve diğ.

38	PVT-Su	%10	%50-60	Absorbsiyon plakasız paralel plakalı termal kolektör tasarlanmıştır	2017	Nahar ve diğ.
39	PVT-Su	% 12.7	%36	Absorbe tüpleri ile PVT ve muhafazalı	2017	El Hocine ve diğ.
40	PVT-Su	% 10-11	-	Pan kek şekli akış kanalı ile PVT analiz edilir. Emici plaka elimine edilir; Bu, sistem ağırlığını ve maliyetini azaltabilir.	2017	Nahar ve diğ.
41	PVT-Su + PCM	% 16-20	% 55	Gizli sıcaklığı saklamak için PCM (OM37) kullanılır.	2017	Gaur ve diğ.
42	PVT-Su + PCM	% 10-15	% 60-80	Gizli ısıyı depolamak için Parafin vaksı RT- 30 PCM olarak kullanılır.	2017	Preet ve diğ.
43	PVT-Su	% 10	% 35	Isı borusu destekli PVT sistemi.	2017	Hui

Kısaltmalar: PVT-Su: Su tipi PVT sistemi, PVT-Su + Hava: İki akışkan PVT, PVT-Su + PCM: su tipi PVT'de PCM kullanımı, Sim: Simülasyon çalışması, BIPVT: Bina entegre PVT sistemleri.

Tablo 4.4. Hava tipi PVT sistemlerinin deneysel karşılaştırılması

SN	Sistem türü	Isıl verim (%)	Elektrik verimliliği (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
1	PVT –Air-Sırlı + Sırsız	% 50-60	% 11-12	Yüzgeçler ve ince metal sac ve cam kullanımı PVT performansını artırır.	2008	Tonui ve diğ.
2	PVT-Hava Sırlı	% 50-60	% 9-10	Akış kanalındaki ince saclar PVT performansını artırır	2010	Shahsavar ve diğ.
3	BIPVT	% 57	-	Çatı üst BIPVT Sabit hava kütle akış hızı için, seri bağlı BIPVT, tavana monte sistemler için en iyisidir.	2010	Agrawal ve diğ.
4	PVT-Hava Sırsız	28-55	10.6-12.2	Havadaki kütle akış hızlarında maksimum termal verim elde edildi. 0.03-0.05 kg / s m^2 aralığı. Gelişmiş kontrol sistemi, hava kütle akış oranını optimize etmek için tavsiye edilir	2012	Bambrook ve diğ.
5	BIPVT	-	-	BIPVT için YSA modeli	2012	Ghani ve diğ.
6	PVT-Hava Sırlı	-	-	75Wp, 1200 × 550 × 35 mm PVT sistemi 3 PV modülleri 30 yıllık PVT'nin geri	2013	Agrawal ve diğ.

SN	Sistem türü	Isıl verim (%)	Elektrik verimliliği (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
				ödemesi 1.8sene		
7	BIPVT	-	-	PVT'deki çoklu hava girişleri performansı arttırır. Tel örgü toplayıcıları BIPVT'de daha iyi performans gösterir.	2014	Yang
8	PVT –Air – Sırlı	-	-	Kurulu sistem için 76.50 ton karbondioksit emisyonu azaltılacak	2015	Agrawal ve diğ. al
9	PVT-Air	% 50-70	% 10-12	Solar radyasyon şiddeti, hava akış hızı ve optimum kanal derinliği, hava tipi PVT'deki en etkili parametrelerdir. Cam kapak sistemin termal performansını iyileştirir, ancak elektrik performansını azaltır.	2015	Gholampour ve diğ. al
10	BIPVT	-	-	BIPVT'nin hava kanalı dağıtım sistemi, fanı çalıştırmak için gereken enerjinin yaklaşık% 23.4'ünü oluşturur, sistemi tasarlarken göz önünde bulundurulmalıdır.	2015	Farshchimonfared ve diğ.

SN	Sistem türü	Isıl verim (%)	Elektrik verimliliği (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
11	PVT-hava	% 14	% 11	Genetik algoritma kullanarak çok objektif optimizasyon	2015	Singh ve diğ.
				Üç parametre; Akan sıvının hızı, giriş sıvısının sıcaklığı ve üst cam kapağın kalınlığı verimde radikal değişime neden olur.		
12	BIPVT	-	-	Yarı saydam ve iki giriş BIPVT iyi performans gösterir	2015	Yang ve diğ.
13	PVT-Air	-	-	PVT performansını analiz etmek için çözülebilir bir elektrik devresi geliştirildi.	2016	Bambrook ve diğ.al
				PVT sistemi biyogaz ısıtma için kullanılır	2016	Tiwari ve diğ.
14	PVT-Hava Sırlı	-	-	Sera oda sıcaklığı maksimum 47 ° C'ye ulaşır.11.18kWh / gün enerji kazanımı sağlandı.		
				Çift geçişin ve camın etkisi analiz edilir.	2016	El Amine Slimani ve diğ.
15	PVT-Hava	% 44	10.65%	Camlı çift geçiş sistemi daha iyi performans gösterir.		
16	PVT –Air	Toplam enerji çıkışı% 51–67 (hem termal hem		Farklı kombinasyonlarda,	2016	Ooshaksaraei ve diğ.

SN	Sistem türü	Isıl verim (%)	Elektrik verimliliği (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
		de elektriksel olarak dikkate alınarak)		çift geçişli paralel akış tipi bifisyel PVT hava sistemi daha iyi performans gösterir		
17	BIPVT	-	-	BIPVT sistemleri, aynı boyutta bir BIPV çatısından üretilen% 16 daha fazla eşdeğer elektrik enerjisi üretir.	2016	Delisle ve diğ. Ark.
18	BIPVT	-	-	Tipik bir konut binasının mekanik hava dağıtım sistemine bağlı sabit uzunlukta ve genişlikte (L = 5 m. W = 3.6 m) PV / T hava toplayıcı.	2016	Farshchimonfared ve diğ.
				Son kullanımın, alan ısıtması olduğu bir PV / T hava sisteminin tasarımı için ekserji yöntemi önerilmez.		
19	BIPVT	-	-	Kısmen şeffaf PV modülü + doğal hava akımı Opak PV modülü daha iyi elektrik çıkışı sağlar.	2016	Christophe ve diğ.
20	PVT-Air	% 45-55	-	Düz transpired toplayıcı ile PVT hava sistemi	2016	Gholampour ve diğ.

SN	Sistem türü	Isıl verim (%)	Elektrik verimliliği (%)	Önemli noktalar / önemli noktalar / öneriler	Yıl	Yazar / ref
				ETFE çatı entegre PVT.	2016	Hu ve diğ.
21	BIPVT	-	-	Üç katmanlı ETFE minderde a-Si Pv modülü sandviç.Sistem iyi termal performans gösterir.		
22	PVT-Air	% 45 - 63	% 8-9	Sistem performansı için dinamik bir model tartışıldı.	2017	Fan et. ark.

Kısaltmalar: PVT- Hava: Hava tipi PVT sistemi, PVT-Hava + Sırlı: Camlı hava tipi PVT, Sim: Simülasyon çalışması.

Literatür taramasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirildi. Bu sonuca göre:

PV modülünün arka yüzeyinden ısı çıkarmak için, PV modüllerinin altındaki su kanalı en etkili bulundu.

Su tipi PVT sistemleri, geleneksel düz tabakalı ev tipi su ısıtma sistemlerine, su arıtmada suyun ön ısıtılmasına, endüstriyel proseslerde su ön ısıtmasına uygulanabilir. Bununla birlikte, suyun donması (soğuk bölgede) kullanımları için sınırlamaya neden olabilir.

PVT sistemlerinin hava tipi, soğuk bölgelerdeki alan ısıtma uygulamaları için en uygun olanlardır. Çoğunlukla, hava tipi PVT sistemleri binalarla (BIPVT) entegre edilmiştir.

Pompa tipi güç gereksinimleri, hava tipi sistemlere kıyasla su tipi PVT sistemleri için daha fazladır.

Doğal sirkülasyonlu su tipi PVT sistemleri, zorlamalı sirkülasyon sistemlerine kıyasla daha ekonomiktir. Ancak, ikincisi daha verimli.

Suyun mevcudiyeti, su tipi PVT sistemlerinin kullanımını kısıtlamakta, hava ise hava tipi PVT sistemi için serbestçe kullanılabilmektedir. Ortam seçimi, PVT sisteminin son uygulamasına büyük ölçüde bağlıdır.

PV hücreleri ve arka yüzey veya absorber plaka arasındaki iletken yapıştırıcıların kullanımı, ısı transferi ve sistem performansı oranını artıracaktır.

Hava tipi PVT sistemlerinde, sistemdeki çoklu hava girişleri avantajlı bulundu.

PV modülleri tarafından tamamen kapalı emici plaka yerine, kısmen kapalı sistemler daha iyi termal performans sağlar.

PVT'deki camlar sistemin termal performansını iyileştirir, ancak sistemin elektrik performansı azalır.

Emici plaka, ince metal levhalar, oluklu yüzeyler, kaburgalar gibi pasif ısı transfer büyütme yöntemleri termal performansı artırır. Bununla birlikte, bu, artan basınç düşüşüne ve pompalama gücü gereksinimlerine yol açar.

Düz plaka PVT'nin eğim açısı ve kolektör uzunluğu sistemin genel verimliliği ile ters orantılıdır.

Entegre PVT sistemlerinin (BIPVT) kurulması, yeşil binalar için en uygun olanı olabilir. Bu sistem, tek bir aile konutunun ısı ve elektrik gereksinimlerini karşılayabilir. Düz plaka su tipi PVT ile aktif hava havalandırma en başarılı bulundu.

4.1.2 PVT Sistemlerinin Karşılaştırılması

Sistem türü	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
Su Tipi PVT Sistemleri	•İyi gelişmiş teknoloji •Operasyonlarda basit •Son kullanım çeşitliliği için uygun •Diğer birçok ısı transfer sıvısı kullanılabilir	•Çalışma ortamının kullanılabilirliği (su) •Soğuk iklim koşullarında suyun donması •Sürekli kullanım ile tedlar / absorber paslanma •Su soğutma kanallarını temizlemede zorluk •Yardımcı pompalarda güç tüketimi •Daha az sistem ömrü •Ağırlık / yüzey alanı daha fazla •Güneş izleme zorluk •Sızıntı ve korozyon riski

Sistem türü	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
Hava Tipi PVT Sistemleri	•İyi gelişmiş teknoloji •Daha az hacimli sistemler •Hava (çalışma ortamı) serbest ve bol miktarda mevcuttur •BIPVT sistemleri için uygun •Korozyon riski yok	•Hava sirkülasyonu için üfleyiciler / fanlar gereklidir •Hava düşük ısı kapasitesi •Birçok uygulama için kullanışlı değil

4.2. Deney Öncesi İşlemler

Deney öncesi malzemelerin tedarik safhasında Batman Üniversitesi BAP birimi tarafından verilen destekle gerekli alımlar yapıldı. Deneyin yapılacağı Batman Üniversitesi Raman Kampüsü'nde incelemelerde bulunuldu. Deney sahası deney yapılacak hale getirildi. Su ve hava soğutmalı sistemler için tesisat ekipmanları hazırlandı. Elektrik ve su tesisatlarının yapımı için hizmet alımı yapılmayıp bizzat kurulumu yapıldı.

4.2.1. Malzeme ve Ölçüm Aletleri

Deneylerin yapılabilmesi amacıyla panellerimiz hibrit sisteme çevrildi. Bu sistemin elektrik ve su tesisatı yapıldı. Panellerin uygun açıda durmasını sağlamak amacıyla iskele tasarımı gerçekleştirildi. Ölçümlerin yapılabilmesi için gerekli olan tüm cihazlar kuruldu. Batman ili için fotovoltaik açı hesabı yapıldı. Bu çalışmada kullanılan ekipmanlar aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

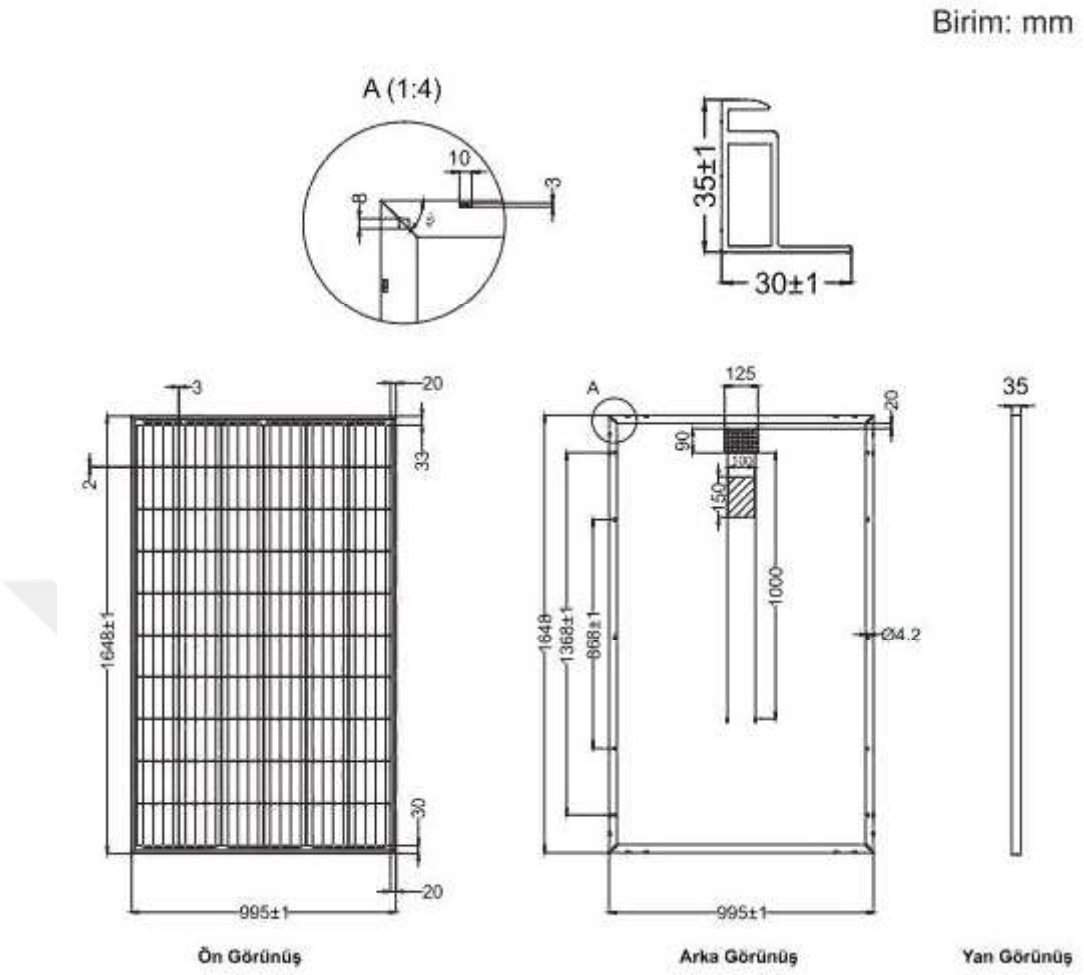
4.2.1.1. Deney Parametreleri ve Tasarımı

Deneylerde Polikristal Güneş paneli kullanılmıştır. Bu panelimize sayısal veriler aşağıdaki tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Panelin sayısal verileri

Malzeme	Tabaka	Isı iletkenliği W/m K	Özgül ısı kapasitesi J/kg K	Yoğunluk (kg / m ^{3})	Kalınlık (**mm**)
Polikristal Silikon	PV tabakası	130	677	2330	0,18

Güneş Hücresi : POLY
Nominal Güç (Pmax)(W) :250W
Nominal Güç Voltajı (Vmpp)(V) :30.78V
Nominal Güç Akımı (Impp)(A) :8.13A
Açık Devre Voltajı (Voc)(V) :37.44V
Kısa Devre Akımı (Isc)(A) :8.9A
Max System Voltage :1000V
Hücre ölçüleri (mm) :156x156
Modul Ölçüleri (mm) :1650x992x40
Ağırlık (Kg) :19.6Kg
Nominal güç Toleransı (W) :0/+5%
Çalışma Aralığı : -40°C~+85°C
Standart Test şartları : Işınım,1000W/m², AM1.5, Modül 25°C



Şekil 4.1. Deneyde kullanılan panelin teknik resim çizimi

Fotovoltaik panele ait teknik resim çizimi Şekil4.1'de gösterilmiştir.

4.2.1.1.1. Nominal Güç (Pmax)(W)

Panelimizin 1000W/m^2 ve 20° C gün ışığında yani standart test koşullarında elde edeceği max. enerjidir. Watt ile gösterilir. Tolerans aralığı -5W ile +5W +10W arasındadır. Basitçe her hücrenin üreteceği enerji miktarını hücre sayısıyla çarparak elde edilir.

4.2.1.1.2. Nominal Güç Voltajı (Vmpp)(V)

Panelin kendisine ait olan akımı ve gerilimi bulunarak max güçteki gerilimini ifade eder. Panelimizde 250 W güce ulaşabilmek için elde edilecek maksimum güçteki voltaj ile maksimum güçteki akımın bulunması gerekmektedir. Güç, akım ve gerilimin çarpımıyla elde edilir. P=I.V. Akım ve gerilim değerlerinin çarpımlarının en yüksek

değere ulaşmasını sağlayan, akım ve gerilim değerlerine Maksimum Güç deki gerilim ve akım değerleri denir.

4.2.1.1.3. Nominal Güç Akımı (Impp)(A)

Akım- gerilim grafiğindeki max güçteki akımı ifade eder.

4.2.1.1.4. Açık Devre Voltajı (Voc)(V)

Işınım,1000W/m², AM1.5, Modül 25°C olan şartlarda yüksüz şekilde ölçülen gerilimdir. Voc değeri ne kadar yüksekse panel o kadar verimli ve kalitelidir diyebiliriz.

4.2.1.1.5. Kısa Devre Akımı (Isc)(A)

Fotovoltaik panelin (+) ve (-) uçlarının yük verilmeden kısa devre yapılırken sistemden geçen akımdır.

4.2.1.1.6. STC- Standart test koşulları

Fotovoltaik panellerde elde edilen akım ve gerilim değerlerinin 1.000 W/m² ışınımda, 25°C hücre sıcaklığında ve AM 1,5 güneş spektrumunda elde edilmesine denir.

4.2.1.1.7. NOCT- Nominal test koşulları

Fotovoltaik panellerde elde edilen akım ve gerilim değerlerinin, 800-600-400 ve 200 W/m² ışınım, 20°C ortam sıcaklığı, 1m/s rüzgâr hızı ve AM 1,5 güneş spektrumunda ölçülmesidir.

4.2.1.2. MPPT T30

MPPT30 teknik özellikleri şunlardır. Normal solar şarj kontrol cihazı ile karşılaştırıldığında, bu MPPT kontrol cihazı verimliliği% 10-% 30 oranında artırabilir. LCD ekran, kolay ara yüz sağlanmıştır. MPPT Maksimum güç noktası izleme işlevi, parametre kullanıcısı sıfırlayabilir, yükün açılması ve kapatılması için bir düğme mevcuttur. A düğmesi, varsayılan fabrika ayarlarını geri yükler, akü ters deşarj koruması, akü ters polaritesi, akü düşük voltaj koruması, aşırı yük, kısa devre koruması, otomatik sıcaklık telafisi, aynı anda şarj edebilir ve deşarj edebilir.

4.2.1.3. Solar Meter SM206

Güneş radyasyonunun ölçümü Şekil 4.2'de gösterildiği gibi SM206 model tipi cihaz kullanılmıştır. Teknik detaylar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Solar Meter SM206 ışınım ölçer

Solar Meter SM206 cihazına ait teknik özellikler:

Işınım aralığı	0.1~399.9, 1~3999 W/m^2
Çözünürlük	±10W/m^2
Hassasiyet	veya ±5% okumada (25°C ±0.38W/m^2 /°C
Hata payı	±0.12 Btu/(ft2-h)/°C
Yanıt zamanı	0.25 s
Ölçüler	60x132x38 mm

4.2.1.4. Extech EN 300 Anemometre

Extech EN 300 modeli 5 adet çevresel parametre (sıcaklık, nem, hava hızı, ışık ve gürültü) ölçümünü yapabilir bu cihaz ile ortama dair minimum ve maksimum verileri görüntüleyebilir, otomatik kapatabilir ve düşük batarya uyarılarını alabilirsiniz.

EN 300; Ft/min, MPH, m/s, km/h, knots birimlerinde hava hızı ölçümü, kapasitif sensör ile nem ölçümü, thermistör ile ortam-K tipi termokapl girişi sayesinde 1300 °C' ye kadar sıcaklık ölçümü yaparken Photo diyod ile ışık şiddeti ölçümü ve Tip 2 standartlarında gürültü ölçümü yapabilmektedir. Cihazı dilerseniz tripodu ile

kullanabilir, RS232 Bağlantısı ile bilgisayarınıza rahatça bağlayabilirsiniz. Deneyde anemometreye ait görüntü Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Hava Hızı Ölçüm Aralığı	: 0.4- 30 m/s Hassasiyet: 0.1 m/s ± 3 %
Işık Ölçüm Aralığı	: 0 ... 1860 Fc
Lux Ölçüm Aralığı	: 0 ... 20.000 Lux
Sıcaklık (Termistör) Ölçüm Aralığı	: 0 °C... +50 °C Hassasiyet : 0.1 °C- ± 1.2 °C
Bağıl Nem Ölçüm Aralığı	: 10- 95% RH Hassasiyet : 0.1 %- 4% RH
T (K Tipi) Ölçüm Aralığı	: -100 °C... 1300 °C Hassasiyet: 0.1 °C
Gürültü Ölçüm Aralığı	: 35 dB- 130 dB Hassasiyet: 0.1 dB ± 1.4 dB
Frekans	: 31.5 Hz- 8.00 Hz
Besleme	: 6 x AAA Batarya
Cihaz Boyutları	: 248 x 70 x 34 mm
Pervane Boyutu	: 31 mm
Ağırlık	: 335 gr



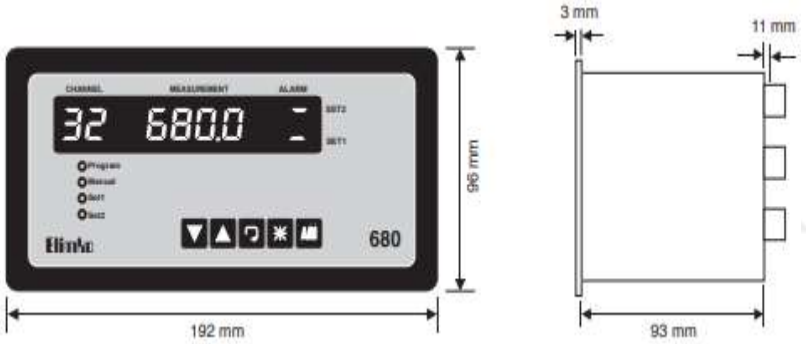
Şekil 4.3. Rüzgâr, sıcaklık, nem ölçen alet Anemometre

4.2.1.5. Elimko E680 Datalogger

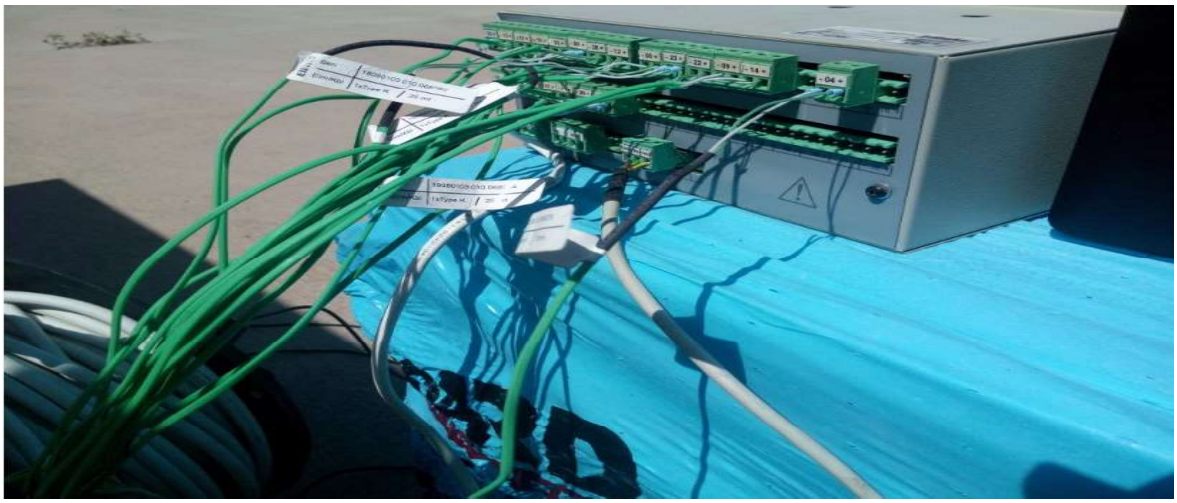
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ile gösterilen E-680 Serisi üniversal girişli-gelişmiş tarayıcı cihazları, 32 girişe kadar değişik noktalardan alınan bilgilerin gösterimi, her nokta için girilen set değerleri ile karşılaştırılarak ortak alarm rölelerinde alarm alınması, bir bilgisayara bilgilerin aktarımı ve kaydı ile her kanala ait 1 veya 2 bağımsız röle çıkışı alınmasına olanak verir. E-680 Serisi, yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak tasarımlanmış, 96 x 192 mm ebatlarında, IEC/TR 60668 normlarına uygun, üniversal giriş ve çıkışların kullanıcı tarafından kolaylıkla programlanabildiği endüstriyel cihazlardır.

Çalışma Gerilimi 85–265 V AC ,85–375 V DC ,20–60 V AC,20–85 V DC

Kontak Kapasitesi NA Kontak 250 V AC 5 amp.



Şekil 4.4. Datalogger Teknik çizimi



Şekil 4.5. Sistemde kullanılan Datalogger

4.2.1.6. İskele Tasarımı

Paneli üzerine oturtacağımız destek aparatı sanayide yapılarak deney düzeneğine aktarıldı. Bu yapılan iskele yardımıyla 300 derece dönebilen ve her açıya konumlandırılabilen prototip ile açılara uygun ölçüm alındı. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de deney düzeneğinde kullanılan iskele tasarımı verilmiştir.



Şekil 4.6. İskele örneği



Şekil 4.7. Ayarlanabilen iskele tasarımı

4.2.1.7. K Tipi Termokupl

Birbirinden farklı iki iletkenin uçları birleştirilerek ısıya maruz bırakılırsa elektron akımı sağlanır. Bu elektron akımı her iletken için ayrı ayrı olduğundan arada bir potansiyel fark oluşur. Bu potansiyel fark bize sıcaklık değerini verir. Bu aparat yardımıyla datalogger bağlantısı yapılıp veriler alındı.

4.2.1.8. Kompresör

Kurulan deney sisteminde hava soğutmalı hibrit sistem için gerekli olan kompresör kullanılmıştır. Tablo 4.6 da deneysel çalışmada kullanılan Hava soğutmalı kompresörün teknik özelikleri verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 4.8 de sistem ile bütünleşmiş haliyle gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Kompresör özellikleri

Çalışma Basıncı	9 Bar - 130 PSI	
Debi- Hava Üretimi	373 lt/dk.	22.38 m^3/sa.
Hava Üreteci	Abac (İtalya)	3900 Pump
Hava Tankı	200 lt.	
Elektrik Motoru	2.2 kW	3 Hp
Elektrik Otomasyon Grubu	Schneider	Siemens
Manometre	Setkom (Yerli)	
Voltaj	400 V.	
Devir Hızı- RPM	1272	
Silindir	2	
Faz	3	
Boya	Elektrostatik Toz Boya	
Renkler	Turuncu	Füme
Ölçüler (en x boy x yükseklik)	1370 x 610 x 1030 mm	
Ağırlık	105 kg	

Kompresör üzerinde bulunan ekipmanlar, Manometre Basınç Göstergesi, Çek Valf, Basınç Şalteri, Yüksek Basınç Emniyet Valfi, Yüksek Gerilim Devre Kesici, Ana Motor Sigortaları, Faz Sırası ve Kontrol Rölesi, Hava Üreteç Yağ Haznesi, Motor ve Hava Üreteç Koruma Kabini olarak sınıflandırabiliriz.



Şekil 4.8. Setkom kompresör

4.2.2. Malzemelerin Deneye Hazırlanması

Batman Üniversitesi Raman Kampüsünde gerekli saha çalışmaları yapılıp, en uygun yer tespit edilerek deney düzeneği ve malzemeler sahaya indirilmiştir. Şekil 4.9'da deney düzeneğinde ölçüm alanındaki düzeneği verilmiştir.



Şekil 4.9. Deney Sahası seçimi

Termokuplların Dataolggera bağlantısı yapılarak ölçümler bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 4.10'da yapılan bağlantının görüntüsü verilmişir.



Şekil 4.10. Termokuplların dataloggera bağlantısı

Deney düzeneğinden güç çekilerek MPPT 30 cihazıyla panelde oluşan akım ve volt değerleri kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.11 ile gösterilen MPPT30 deneysel çalışmada gösterilmiştir.



Şekil 4.11. MPPT30 cihazının bağlantısı

Fotovoltaik panellerin hibrit sistemle tasarlanması için, Şekil 4.12 de gösterildiği gibi panellerin alt kısmına şeffaf Epoxyglass malzeme tedarik edilerek 3mm Kalınlığında 3 kanallı sistem tasarlandı.



Şekil 4.12. Hibrit sistem yapımı

Şekil 4.13'te gösterildiği gibi hava ve su soğutmalı hibrit sistemlerinin ara ekipmanlarının bağlantısı yapıldı.



Şekil 4.13. Hava soğutmalı sistem

Su soğutmalı hibrit sistem için tesisat bağlantısı yapılıp düzenekten dakikada bir litre su geçecek şekilde debi ayarları yapılıp hazır hale getirildi. Su ile soğutmalı hibrit sistemin kurulumu Şekil 4.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Su soğutmalı sistem

Şekil 4.15'te gösterildiği gibi deney sahasına indirilen ekipmanlar hazır hale getirildi.



Şekil 4.15. Deney sahası

Şekil 4.16'da gösterildiği gibi sistemin tüm ekipmanlarının ve ölçüm aletlerinin bağlantısı yapılıp, elde edilen sonuçların depolanması ve kayıt altına alınması için bilgisayar ve bilgisayar ara cihazı entegre edildi.



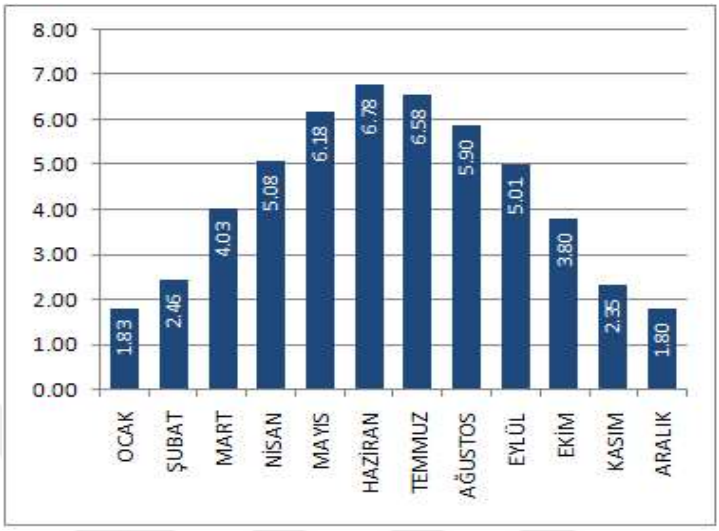
Şekil 4.16. Düzeneğin bilgisayar bağlantısı

4.3. Matematiksel Hesaplamalar ve Fotovoltaik Alan Hesabı Çalışması

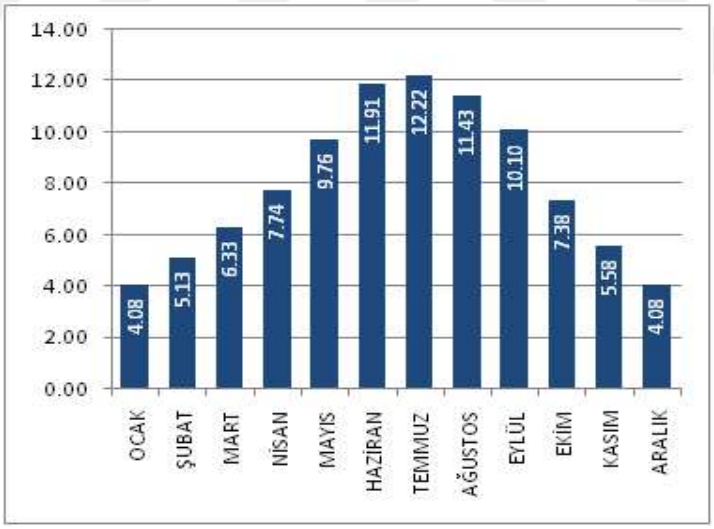
Sistemimizin tasarımından sonra alınan ölçümler aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ölçülmüştür. Panelimiz 250W olduğundan sistemden 250W değerinde yük çekilmiştir. Bunun için sisteme bağladığımız bu yük yardımıyla Ağustos ve Eylül ayları arasında sabah saat 06:00'dan akşam saat 18:00'e kadar akım ve volt değerleri ölçülmüştür. Yarım saat aralıklarla sistemin akımı, voltu, ışınımı, rüzgâr hızı hesaplanmıştır. Her saniyede bir veri almak üzere sıcaklık değerleri Datalogger yardımıyla ölçülmüştür. Panelin üstünden, altından, panel altı gölge, dış ortam, giriş ve çıkış sıcaklıkları saniyede bir ölçülmüştür. Panelimizin altı komple 5mm kalınlığında 3 kanallı Epoxyglass ile kaplanmış olup, değişken debiler uygulanarak, akım ve vol değerleri, güç değerleri, termal verim ve elektriksel verim karşılaştırılması yapılmıştır. Kanal kalınlığı daha sonra 3mm'ye düşürülerek, kanal kalınlığının verim ve güç üzerine etkisi, debiler değiştirilerek debinin verim ve güç üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Batman ilinin güneş ve radyasyon değerleri incelendiğinde fotovoltaik alan bakımından önemli bir şehir olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda yıllık ölçülen meteorolojik veriler incelenerek hibrit fotovoltaik sistemin ilk aşaması olan bölge

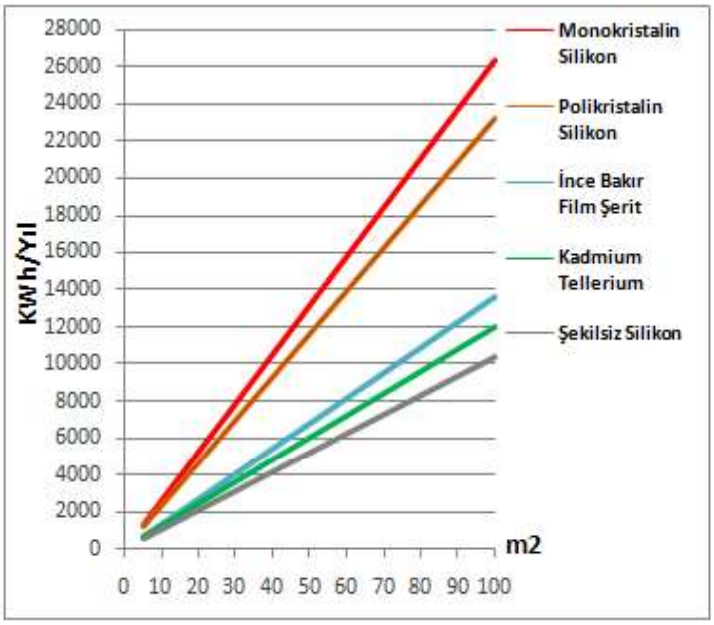
seçimi yapılarak sistemin kurulumuna geçilmiştir. Aşağıda Batman iline ait ışınım, metrekareye düşen yıllık enerji miktarı, güneşlenme süresi grafikleri sırsıyla aşağıda Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 ile verilmiştir.



Şekil 4.17. Merkez Global Radyasyon Değerleri (KWh/m^2-gün) (Anonim,2018d)



Şekil 4.18. Merkez Güneşlenme Süreleri (Saat) (Anonim,2018d)



Şekil 4.19. Merkez PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) (Anonim,2018d)

Çalışmaya başlarken güneş açılarının irdelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda güneş açılarına ayrı bir parantez açmak gerekmektedir. Açıların gösterimi Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Yükseklik açısı (α): Işınım ile yatay yüzey arasındaki açıdır.

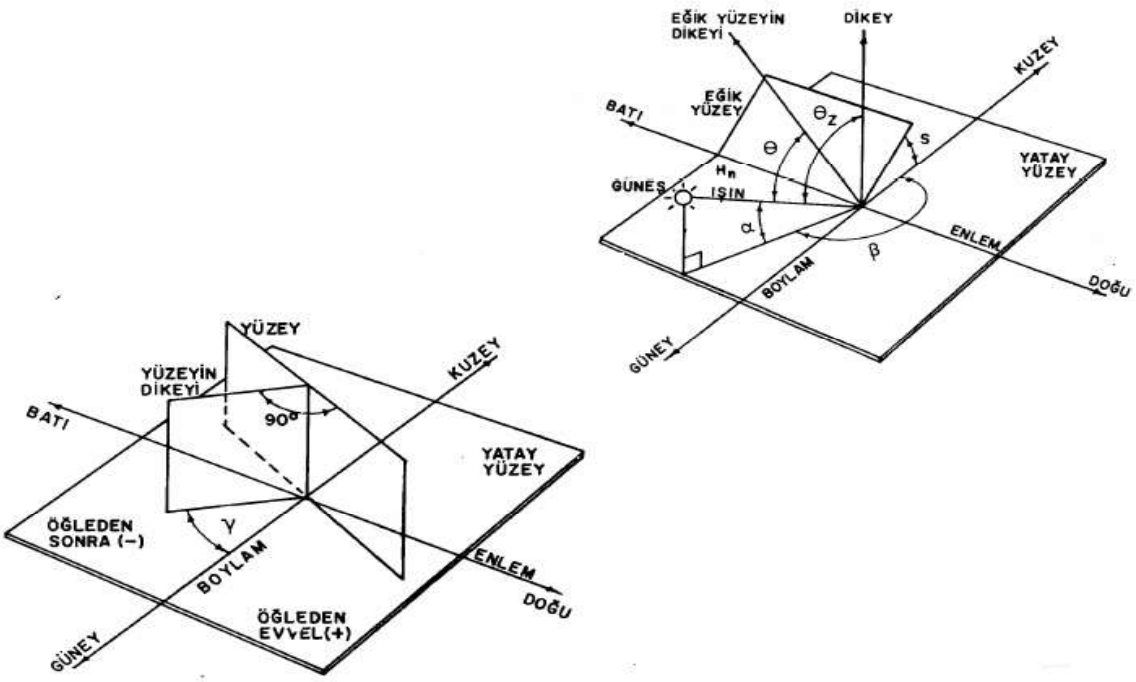
Azimut açısı (β): Işınlarının kuzeye göre, saat yönündeki sapmadır.

Yüzey azimut açısı (ال): yüzey dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. -180º ile 180º arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde ise eksi değer alır.

Deklinasyon açısı (δ): Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi yaptığı açıdır. Kuzey yarım küre için artı değerlidir. Deklinasyon açısı – 23,45º (21 Aralık kış gün dönümünde) ile + 23.45º (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir.

İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur. 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere;

$\delta = 23.45 \sin [360 . ((284 + n) / 365)]$ ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.



Şekil 4.20. Açı konumları (Anonim,2018e)

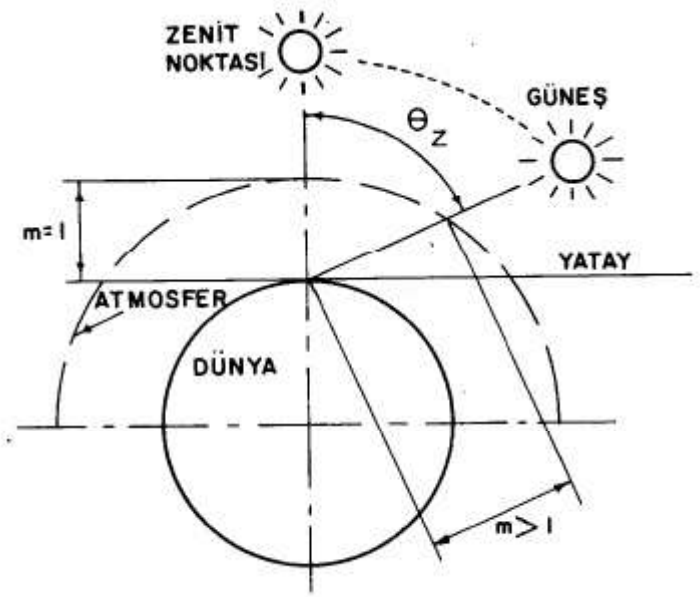
Geliş açısı (θ) ***:*** eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır.

Hava kütlesi (m) ***:*** ışın radyasyonun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır.

Zenit açısı (θz) ***:*** yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açıdır.

$m = 1 / \cos \theta z$

Geliş açısı ve zenit açısı Şekil 4.21 ile gösterilmiştir.

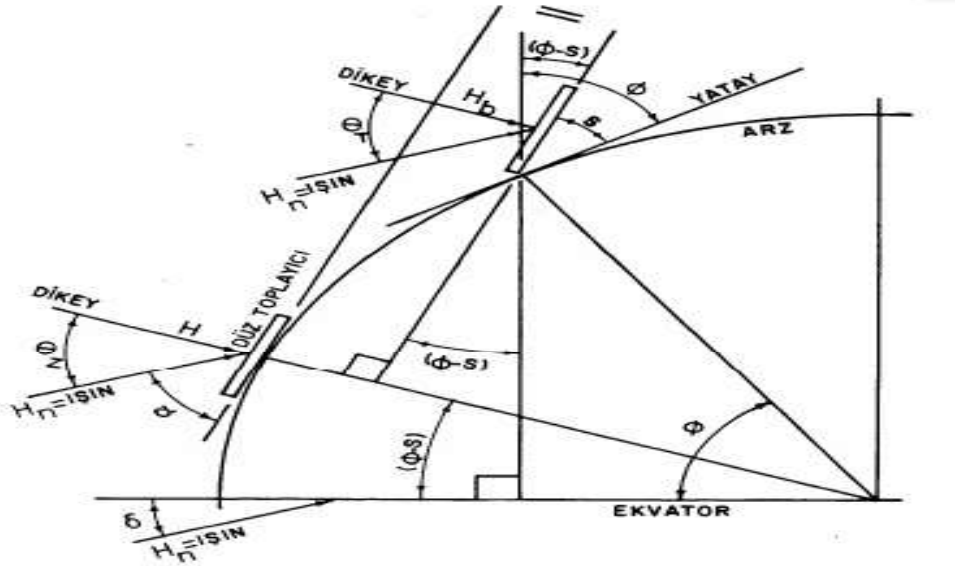


Şekil 4.21. Zenit açısının gösterimi (Anonim,2018e)

Enlem açısı (Φ) **:** Ekvatorun düzlemi ile yerkürenin merkezine inen radyal çizgi arasındaki açıyı ifade eder. Dünyamızın kuzey yarım küresinde Enlem artı kabul edilip aralık ise- 90º ile 90º arasında değişir.

Saat açısı (w) **:** Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15º boylama eşittir. Öğlenden önce açımız artı, öğlenden sonra eksi değerli olur. Örneğin saat 09.00 için açı +45º ve saat 14.00 için- 30º diye ifade edebiliriz.

Eğim açısı (S) **:** Yatay ile eğik yüzeyler arasındaki açıya denilir. Yüzey ekvatora yöneliyorsa artı değerlidir. Bu ifadelere ait gösterim Şekil 4.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Enlem açısı ve eğim açısı arasındaki ilişki (Anonim,2018e)

Genel açı ifadesini şu şekilde gösterebiliriz:

Geliş açısı **(θ)** için geliştirilen genel ifade;

cosθ = sinδ sinΦ cosS- sinδ cosΦ sinS cos ال+ cosδ cosΦ cosS cosw +

cosδ sinΦ sinS cos ال cosw + cosδ sinS sin ال sinw

Yatay yüzey için

cosθZ = sinΦ sinδ + cosδ cosΦ cosw

Güneye bakan eğik yüzey için

cosθT = sinδ sinΦ cosS - sinδ cosΦ sinS + cosδ cosΦ cosS cosw +cosδ sinΦ sinS cosw

Güneye bakan dik yüzey için

cosθ = - sinδ cosΦ + cosδ sinΦ cosw (Anonim,2018c).

Bu çalışmayı yapabilmek için ilk olarak Batman şartlarında açı hesabı yapmamız gerekmektedir. Bu bağlamda ilk olan bu çalışma literatüre aktarılmıştır. Güneş ışınımı ile alakalı ölçümlerde genel olarak yatay bir düzlem baz alınarak veriler toplanıp, işlemlerde ona göre yapılmaktadır. Bu ise istenen değerlerin doğruluğunu sorgulamamıza sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda yapacağım bu çalışmada Batman ili için Fotovoltaik panellerin eğim açısı tayinini ortaya çıkararak matematiksel modelleme yardımıyla en uygun açı hesaplanacaktır. Literatüre kazandırdığım bu çalışmanın Batman İli için örnek teşkil edeceğini görebilmekteyiz. Yapılacak olan çalışmada açılı yüzeylerin üzerine gelen ışınımın ay olarak alınan ortalamasının bir günlük değerine H_T, direkt $H_{B,\ yasıma}$ H_R, yayılı H_S verilerinin toplamıdır (Benghanem, 2011).

$$H_T = H_B + H_R + H_S \tag{1}$$

Aylık toplam ışınım H olup yayılı haldeki ışınımda $H_{d\ ise}$,

$$H_B = (H - H_d)R_b \tag{2}$$

Açılı bir düzleme gelen ışınımın yatay bir düzleme gelen ışınıma oranına (R_b) dersek enlemi Ø ile gösterip sapma açısını da δ , doğuş açımızı da ortalama olarak ωs, ve açılı düzlemde ise ω'$_s$ diye adlandırırsak(Bakırcı 2012).

$$R_b = \frac{cos\,(Ø-\beta)\,cos\ (\delta)\ sin\ (\omega_s')+\omega_s'\left(\frac{\pi}{180}\right)sin(Ø-\beta)\ sin\ (\delta)}{cos\,(Ø)\,cos(\delta)\,sin\ (\omega_s)+\omega_s\ (\pi/180)\ \ sin(Ø)\ sin\ (\delta)} \tag{3}$$

H_R Değerine ulaşabilmemiz için formülde bulunan ρ değerini bilmemiz gerekmektedir. Bu değer coğrafik ve mevsimlik değişebilen bir veridir. Bu tez çalışmamızda Batman İlimizin coğrafik yapısı ve mevsimlerden yaz oluşu itibari ile katsayımızı 0,2 aldık. Panel açımıza da β dersek,

$$H_R = H\rho(1-cos\,\beta)/2 \tag{4}$$

Yayılı ışınımında,

$$H_S = H_d\, R_d \tag{5}$$

Işınımın açısız yüzeye gelen değeri H_d (Liu ve Jordan 1962).

$$H_d = H(1 - 1{,}13\, H/H_0) \tag{6}$$

Eğimsiz yüzeye düşen radyasyon miktarına günlük $H_{0\ eğimli}$ olmayan düzlemlere düşen gün bazındaki güneş radyasyonu olup, güneşe ait olan sabitimize de (G_{sb}), düzeltme faktörümüze (k_d), sapmaya (δ_s), lokal enleme ($\emptyset$) olup son olarak doğma açısına da (ω_s) dersek(Kallioğlu,2014).

$$H_o = (24/\pi).Gsb\ .k_d.[\cos\emptyset.\cos\delta s.\sin\omega_s + (\pi/180).\sin\emptyset.\sin\delta s.\omega_s] \tag{7}$$

G_{sb} 1367 W/m^2 olarak alınır. Ama sabit olmayan k_d değerini de şu şekilde buluruz. Aşağıdaki formülde g yıl içindeki gün sayısını ifade ediyorsa;

$$k_d = 1 + 0{,}033\cos(360\ g/360) \tag{8}$$

Sapma açısının hesaplanması formülünde bulunan g, açı hesabının yapılacağı güne kadar geçen gün sayısını ifade eder (Duffie ve Beckman, 1991).

$$\delta s = 23{,}45^{\circ}\sin(360\ (g + 284)/365) \tag{9}$$

Güneşin yatay (ω_s) ve eğimli (ω'_s) yüzeylere doğuş açısı sırasıyla 5 ve 6'nolu denklemlerle hesaplanmaktadır. Bu bağıntılar eğimli yüzeye, enleme ve güneş sapmasına bağlı olarak değişmektedir.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\emptyset.\tan\delta s) \tag{10}$$

$$\omega'_s = min\left[\frac{\omega = \cos^{-1}(-\tan\emptyset\tan\delta s)}{\cos^{-1}(-\tan(\emptyset-\beta)\tan\delta s}\right] \tag{11}$$

5'nolu denklemde geçen R_d ortalama günlük eğimli ve yatay yüzeyler arasındaki kalibre katsayısı olup,

$$R_d = (1 + cos\,\beta)/2 \qquad (12)$$

Yapılan çalışmada Batman şartlarında panelimizin eğim açısını bulmak için açı hesaplamaları yapılmıştır. Açı hesaplaması matematiksel modelleme yapılarak hesaplanmıştır.

Batman için enlem boylam verileri

BATMAN	**37.87**	**41.12**
Beşiri	37.92	41.30
Gercüş	37.57	41.38
Hasankeyf	37.72	41.42
Kozluk	38.18	41.48
Sason	38.33	41.42

Tablo 4.7. Aylara göre global radyasyon hesaplaması

			H calculated (GLOBAL RADYASYON DEĞERİ)											
	a	*b*	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZIRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKIM	KASIM	ARALIK
Model 1	0,307992	0,337410	2314,971174	3058,752	3988,479	5032,463	6018,391	6713,773	6714,602	6146,156	5161,19	3740,946	2723,039	2166,985
Model 2	0,230000	0,480000	2209,04239	2989,193	3961,888	5090,945	6247,25	7138,25	7193,261	6585,8	5506,716	3860,904	2726,461	2076,707
Model 3	0,177000	0,692000	2379,488293	3297,782	4440,202	5803,455	7287,563	8499,121	8618,408	7892,082	6575,632	4481,141	3078,572	2246,772
Model 4	0,228000	0,527000	2297,617038	3121,413	4148,127	5345,786	6586,3	7552,97	7619,709	6976,471	5829,674	4066,843	2858,266	2161,535
Model 5	0,278600	0,416000	2327,398293	3109,378	4085,641	5199,771	6295,689	7105,304	7132,481	6529,391	5471,512	3902,477	2799,857	2182,931
Model 6	0,174000	0,615000	2201,682258	3040,09	4083,458	5323,583	6662,304	7746,931	7848,627	7186,982	5991,178	4099,697	2828,039	2077,463
Model 7	0,228100	0,509300	2260,857771	3067,345	4072,617	5243,324	6451,352	7389,216	7451,708	6822,575	5702,289	3984,703	2805,028	2126,432
Model 8	0,140000	0,570000	1929,798409	2678,458	3609,727	4722,724	5938,326	6933,55	7033,306	6440,633	5365,242	3650,441	2503,877	1822,657
Model 9	0,226200	0,418000	2058,662564	2772,64	3663,252	4690,798	5728,401	6516,543	6557,748	6003,706	5023,908	3544,051	2517,102	1933,688
Model 10	0,217000	0,545300	2278,862652	3106,004	4136,567	5343,45	6604,658	7595,965	7669,915	7022,628	5865,284	4075,287	2853,246	2145,161
Model 11	0,335000	0,367000	2517,977243	3326,983	4338,241	5473,776	6546,165	7302,529	7303,431	6685,136	5613,794	4069,002	2961,831	2357,014
Model 12	0,222300	0,652900	2533,099684	3473,353	4644,194	6025,032	7490,714	8659,919	8758,164	8019,42	6691,77	4616,093	3209,448	2387,109
Model 13	0,215000	0,527000	2229,900887	3036,337	4041,196	5216,614	6441,747	7402,28	7472,382	6841,71	5715,032	3975,598	2786,609	2098,702
Model 14	0,242400	0,501400	2318,706369	3136,504	4156,172	5339,238	6549,634	7481,37	7538,279	6901,662	5771,147	4048,098	2859,844	2179,665
Model 15	0,364700	0,350500	2637,929911	3470,336	4511,38	5672,443	6749,578	7493,066	7482,351	6848,585	5756,138	4200,236	3075,397	2467,389
Model 16	0,133200	0,647100	2056,767507	2872,326	3886,292	5105,805	6455,382	7573,075	7692,98	7045,019	5863,997	3963,568	2700,696	1944,802
Model 17	0,267100	0,475400	2392,605237	3217,764	4247,214	5432,695	6624,423	7525,437	7569,756	6930,123	5800,553	4099,774	2916,98	2246,773
Model 18	0,307800	0,416600	2480,76292	3302,326	4328,412	5493,419	6624,99	7449,367	7469,135	6837,337	5733,364	4110,236	2962,633	2325,27
Model 19	0,318000	0,449000	2602,135704	3469,248	4552,039	5784,147	6987,468	7869,474	7894,332	7226,678	6058,108	4333,471	3117,317	2439,71
Model 20	0,180000	0,620000	2243,466985	3094,814	4154,373	5412,426	6767,456	7863,065	7964,402	7292,946	6080,324	4165,212	2876,306	2116,515
Model 21			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 22			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 23			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 24			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 25			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 26			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 27			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 28			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 29			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Model 30			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.7 ile global radyasyon değerleri aylara göre matematiksel modelleme yapılarak hesaplandı. İşlemin yapılabilmesi için 20 matematiksel model seçildi. Aylara göre difüz radyasyon değeri Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Aylara göre difüz radyasyon değeri

Modeller	a	B	c	d	e
Model 1	1.0000	1.1300			
Model 2	1.0492	1.3246			
Model 3	1.0212	1.1672			
Model 4	0.5830	0.9985	5.2400	5.3220	
Model 5	1.6932	8.2262	25.5532	37.8070	19.8178
Model 6	1.0300	1.1700			
Model 7	0.6603	0.5272			
Model 8	0.2930	0.1350		0.2930	0.1350
Model 9	0.6492	0.4323	0.0512	0.6492	0.4323
Model 10	0.6595	0.7841	0.2579	0.6595	0.7841

Tablo 4.9. Aylara göre Difüz radyasyon değeri Ocak-Ağustos

H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)
0,463818449	0,467736	0,573949454	0,538730396	0,613967	0,646421	0,633995	0,60234
OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZIRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS
1149,73853	1443,133	1659,134629	2094,279093	2090,549	2019,698	2037,564	1994,056
1050,539816	1315,118	1364,116678	1796,454579	1610,762	1445,783	1504,614	1569,368
1159,271954	1454,766	1658,422138	2100,484447	2079,356	1998,366	2020,43	1986,519
1086,920186	1372,07	2059,134859	2313,78722	3089,308	3569,729	3348,603	2786,998
1255,623865	1578,628	1850,023145	2332,781182	2328,266	2258,539	2272,273	2221,2
1177,395115	1477,694	1692,380014	2139,51614	2127,697	2050,742	2070,904	2030,936
1080,260249	1258,799	1812,353963	1874,50268	2019,712	1772,431	1550,367	1343,282
576,0057647	701,6507	1049,101794	1143,331817	1363,169	1382,377	1287,347	1117,712
1125,926462	1426,515	2200,123686	2494,654118	3181,581	3491,957	3348,42	2909,886
725,4873506	919,1709	1417,643122	1607,422925	2050,042	2250,032	2157,544	1874,976

Tablo 4.10. Aylara göre Difüz radyasyon değeri Eylül-Aralık

H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)	H/H0 (KT)
0,604287424	0,548096215	0,519223	0,435107
EYLÜL	EKIM	KASIM	ARALIK
1690,120118	1464,365463	1182,801	1069,016
1325,646719	1243,318677	1034,432	994,4182
1683,301705	1467,484691	1188,195	1079,56
2383,64542	1663,493953	1241,38	975,4131
1882,535983	1632,286588	1313,964	1151,608
1721,180211	1495,434418	1209,22	1095,504
1210,076163	1187,755594	1057,921	927,4207
970,2182397	780,8574599	625,5523	498,0821
2483,469418	1792,814196	1333,775	980,0593
1600,216097	1155,194469	859,4142	631,4983

Tablo 4.11. Modelin İstatistik kıyaslaması

R	R^2	MPE %	MAPE	SSRE	RSE	MBE	RMSE	t-stat
0,985301535	0,970819115	7,857592	7,857592	0,111281	0,096298	419,1037	559,5073	3,749934

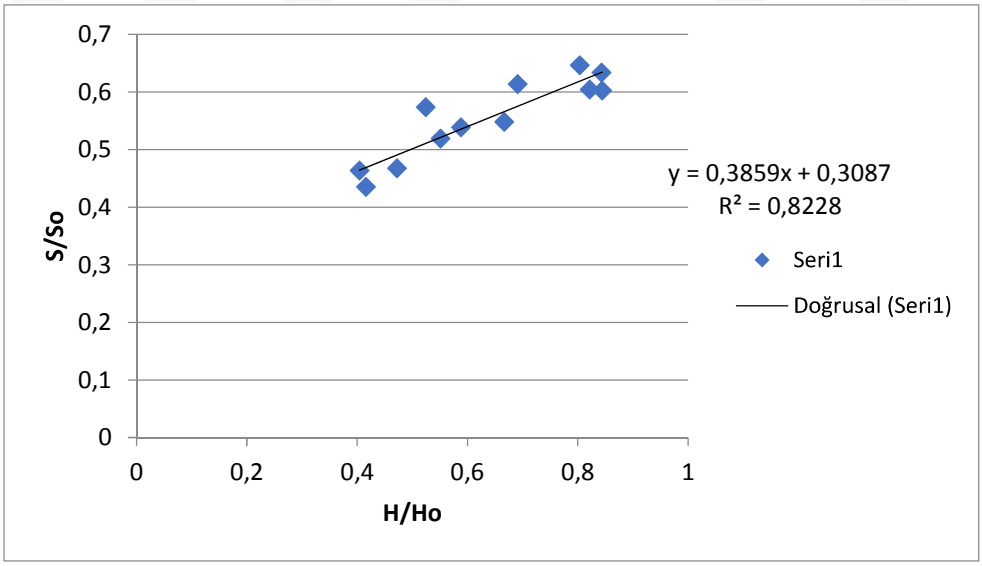
		Hm	Hc	Hc-Hm	$(Hc-Hm)^2$	e % Bağıl Hata Yüzdesi	MUTLAK(E)	E/100 KARE
	ocak	2416	2235,238	180,7618	32674,82	7,481861921	7,48186192	0,00559783
	şubat	3061	2943,552	117,4477	13793,97	3,836906893	3,83690689	0,00147219
	mart	4721	3840,244	880,7563	775731,7	18,65613948	18,6561395	0,03480515
	nisan	5353	4748,481	604,5194	365443,7	11,29309561	11,2930956	0,0127534
	mayıs	6827	5696,555	1130,445	1277906	16,55844775	16,5584478	0,02741822
	haziran	7493	6519,848	973,152	947024,7	12,98748108	12,9874811	0,01686747
	temmuz	7185	6697,301	487,699	237850,4	6,787739012	6,78773901	0,00460734
	ağustos	6244	6125,232	118,7681	14105,85	1,902115086	1,90211509	0,0003618
	eylül	5329	5147,021	181,9794	33116,51	3,414888778	3,41488878	0,00116615
	ekim	3847	3711,816	135,1836	18274,6	3,513999584	3,51399958	0,00123482
	kasım	2862	2661,136	200,8642	40346,41	7,018314116	7,01831412	0,00492567
	aralık	2103	2085,332	17,6677	312,1478	0,840119116	0,84011912	7,058E-05

Modelleme matematiksel olarak tespit edilip doğrulanmıştır. Çıktılar Tablo 4.11 ile gösterilmiştir.

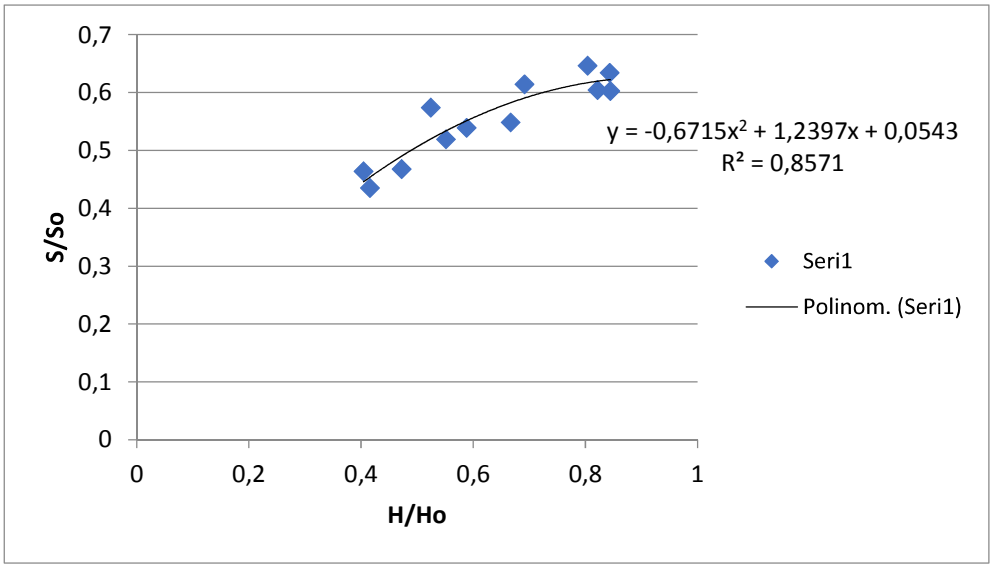
Tablo 4.12. Kolerasyon eğrileri için S/So ve H/Ho

AYLAR	S/So	H/Ho
Ocak	0,404348281	0,463818449
Şubat	0,472424417	0,467736224
Mart	0,524294453	0,573949454
Nisan	0,588243605	0,538730396
Mayıs	0,6913091	0,613966523
Haziran	0,803784223	0,646420713
Temmuz	0,843174706	0,633994883
Ağustos	0,844401404	0,602340195
Eylül	0,821749283	0,604287424
Ekim	0,666827523	0,548096215
Kasım	0,551320595	0,51922335
Aralık	0,415973269	0,435107213

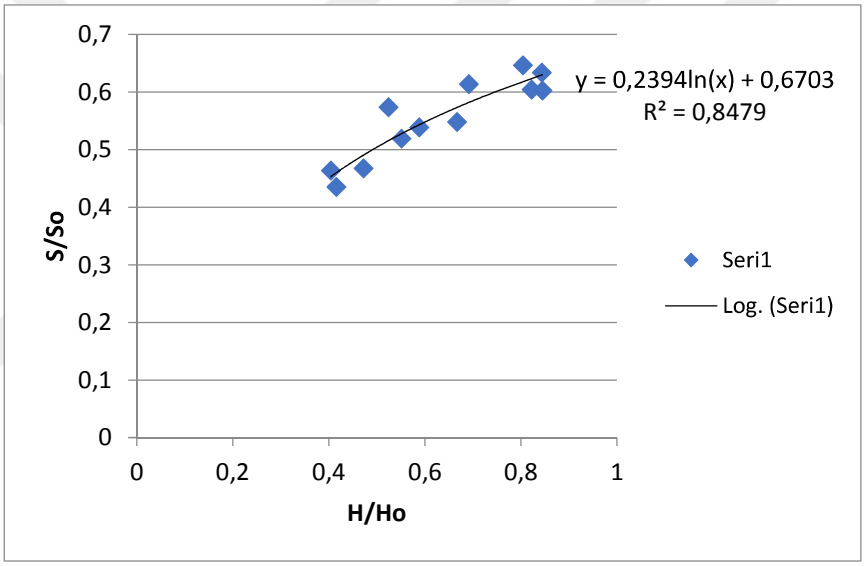
R^2 değerinin doğrusal-polinom-logaritmik-üs-üstel olarak grafiksel gösterimleri Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.28 ile gösterilmiştir.



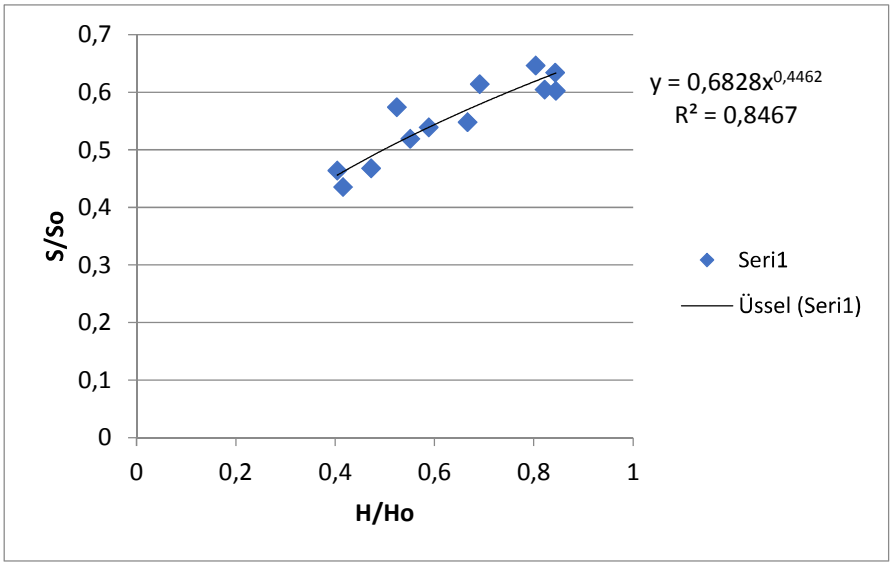
Şekil 4.23. Doğrusal gösterimi



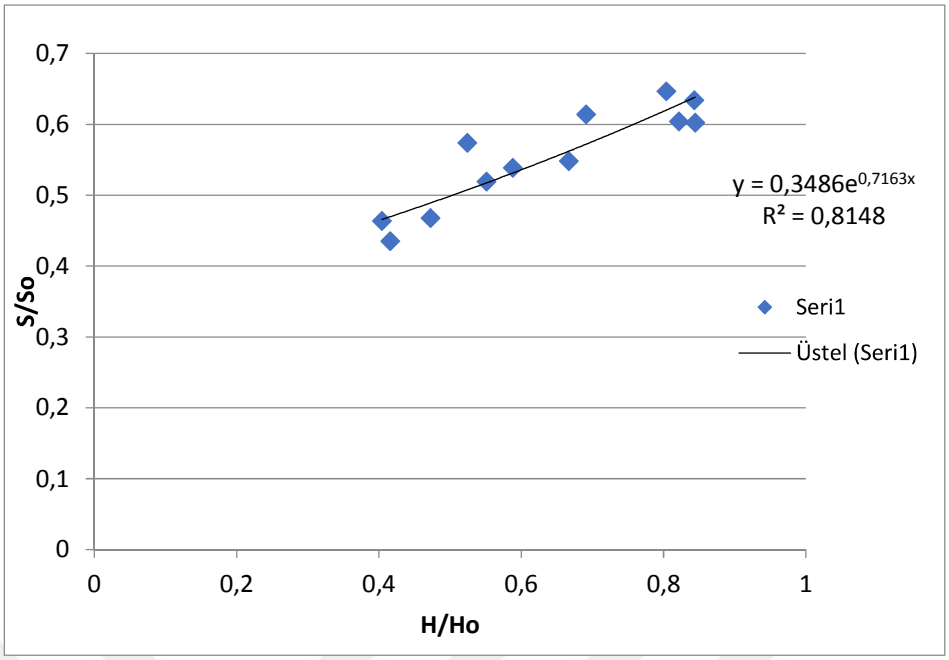
Şekil 4.24. Polinom gösterimi



Şekil 4.25. Logaritmik gösterimi



Şekil 4.26. Üssel gösterimi

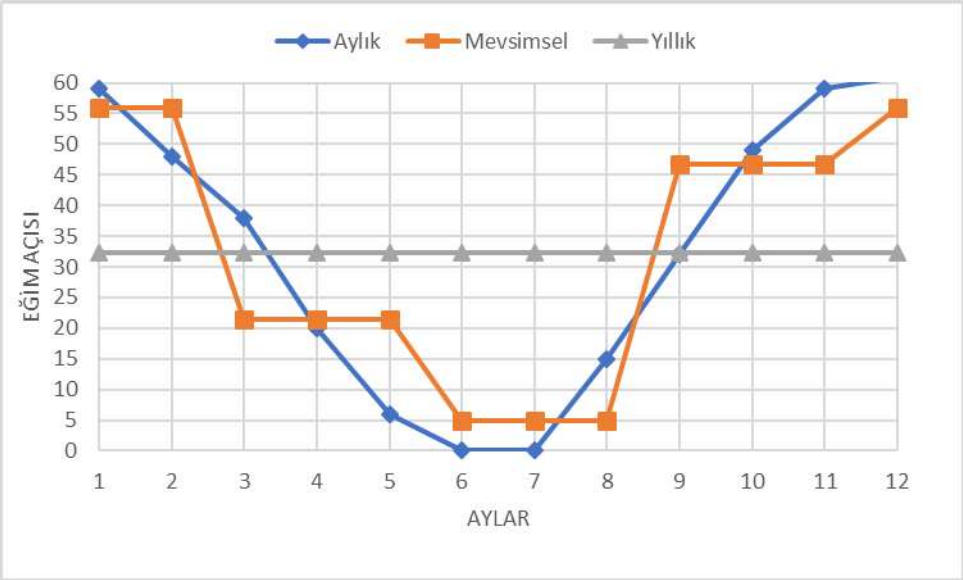


Şekil 4.27. Üstel gösterimi

Tablo 4.13. Aylık Optimum açı hesabı

	Aylık Optimum Açı	Deklinasyon	Ho	H	Hd	S	Kt	So	Optimum	Horizontal
1	59	-20,91696257	5209	2706	1150	3,92	0,46	9,694613	3946	2416
2	48	-12,95460809	6544	3514	1443	5,02	0,47	10,62604	4069	3061
3	38	-2,417734805	8225	4981	1659	6,16	0,57	11,74912	5669	4721
4	20	9,414893347	9936	5889	2094	7,64	0,54	12,98782	5585	5353
5	6	18,79191752	11119	7108	2091	9,71	0,61	14,04582	6846	6827
6	0	23,085911	11592	7801	2020	11,72	0,65	14,58103	7493	7493
7	0	21,18369356	11333	7507	2038	12,09	0,63	14,33867	7185	7185
8	15	13,45495968	10366	6688	1994	11,34	0,60	13,42963	6400	6244
9	32	2,216886783	8819	5473	1690	10,05	0,60	12,23001	6046	5329
10	49	-9,599397234	7019	4101	1464	7,33	0,55	10,99235	5372	3847
11	59	-18,91195474	5512	3031	1183	5,48	0,52	9,93977	4687	2862
12	61	-23,04962764	4833	2350	1069	3,92	0,44	9,423682	3528	2103

Aylık optimum açı hesabı Tablo 4.13 ile gösterilmiştir.

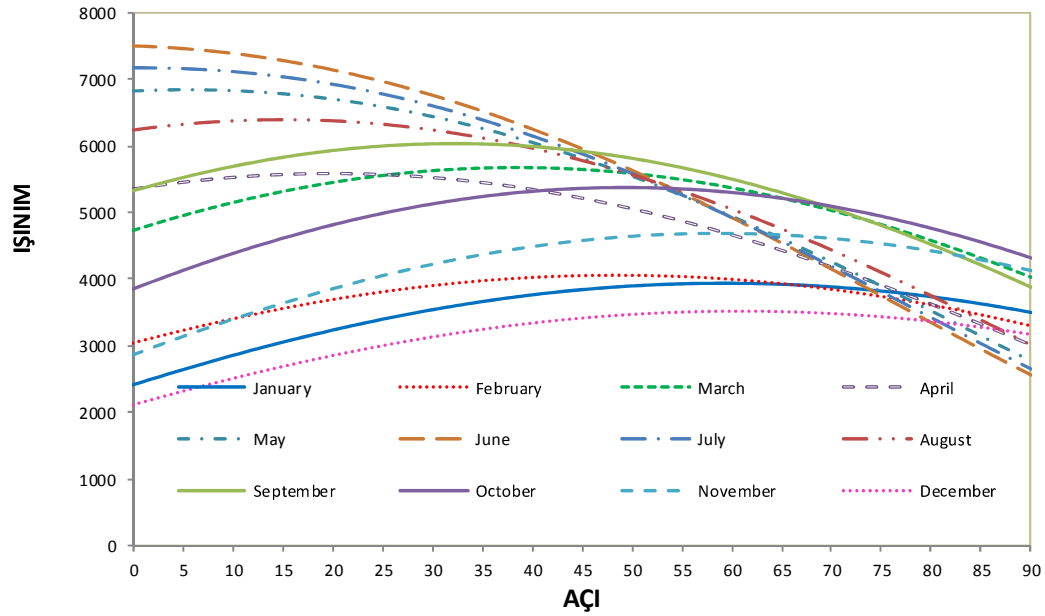


Şekil 4.28. Batman şartlarında aylara göre β (Eğim Açısı)

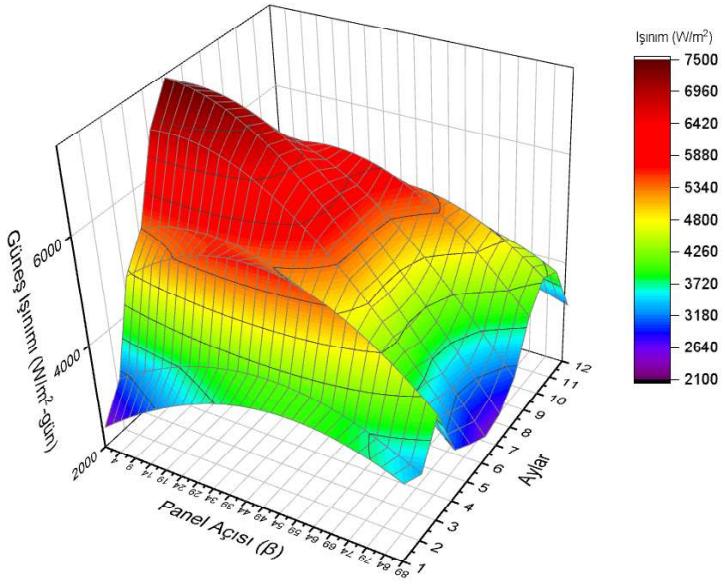
Tüm aylar Batman şartlarına göre baz alınarak aylık, mevsimsel ve yıllık eğim açıları hesaplandı.

		Opt	
	İlk	Son	Verim
1	2416	3946	63,33
2	3061	4069	32,93
3	4721	5669	20,08
4	5353	5585	4,33
5	6827	6846	0,28
6	7493	7493	0,00
7	7185	7185	0,00
8	6244	6400	2,50
9	5329	6046	13,45
10	3847	5372	39,64
11	2862	4687	63,77
12	2103	3528	67,76
	57441	66826	16,34

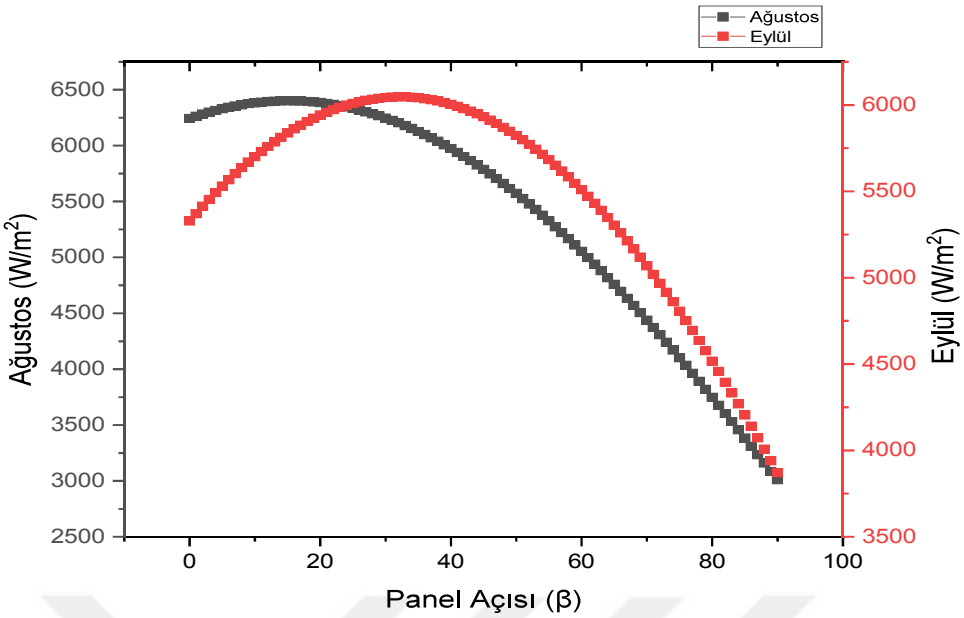
Verim hesabı yapıldı.



Şekil 4.29. Batman İli için eğim açısı yıllık grafiği



Şekil 4.30. Batman İli Yıllık panel açı ışınım değişim grafiği

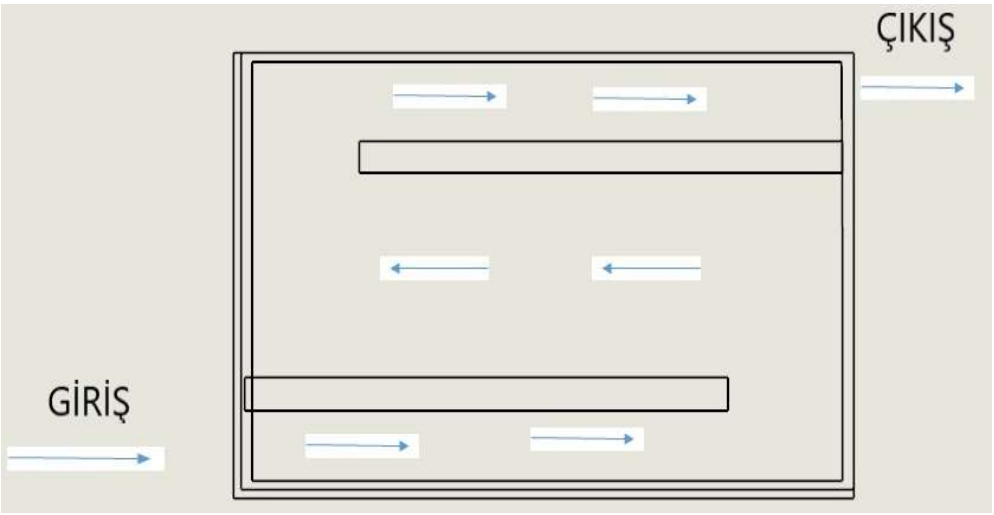


Şekil 4.31. Ağustos ve eylül Ayları optimum açı ışınım ilişkisi

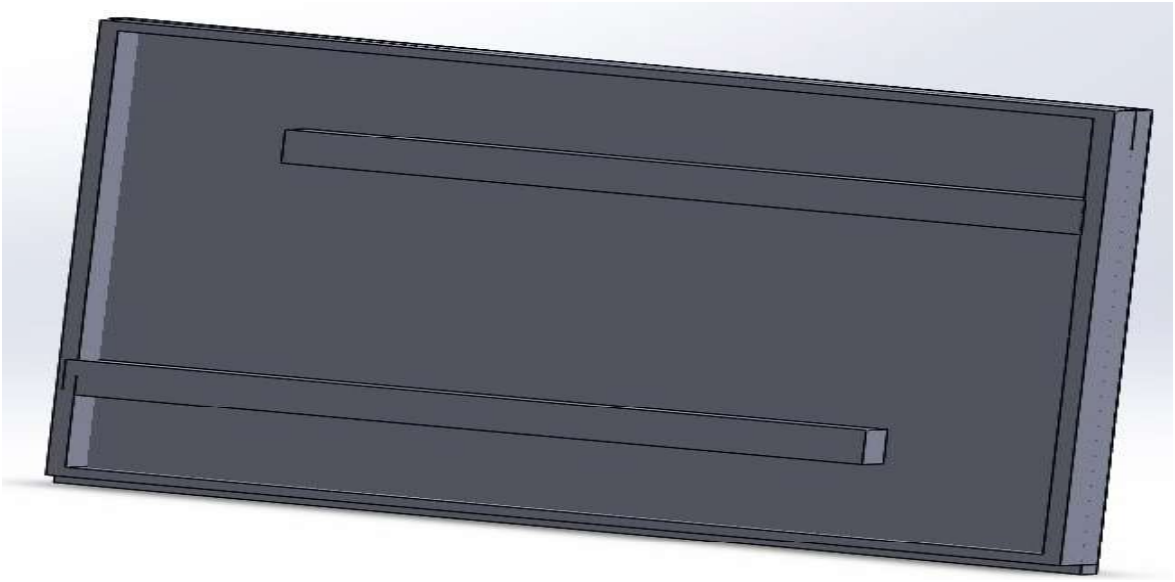
Bu hesaplamalardan sonra ışınım, sıcaklık, radyasyon, nem, rüzgâr hesaplamaları yapılarak sistemin elektriksel ve termal verimleri hesaplanmıştır.

4.3.1. Deney Düzeneğinin Referans Noktaları

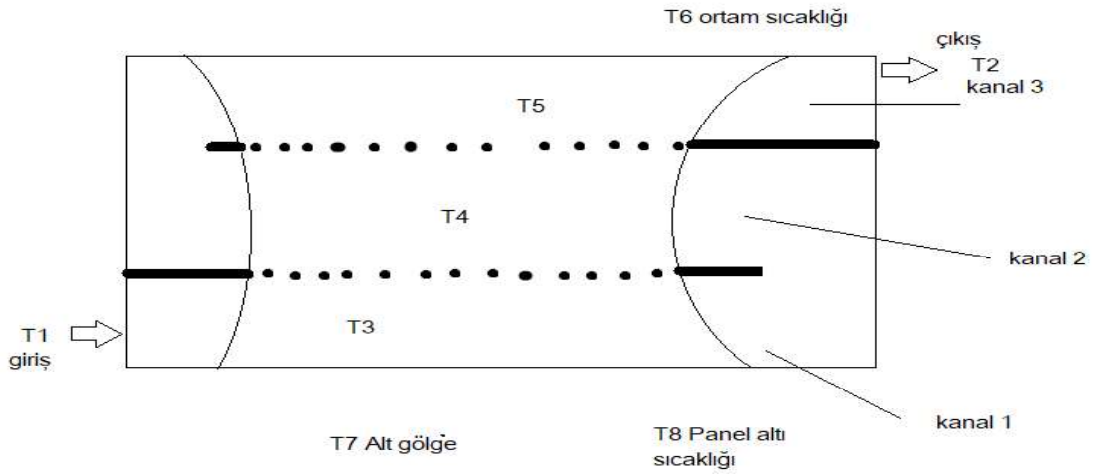
Hibrit Fotovoltaik panelimizin altından üç kanal geçirilerek 5mm ve 3mm kanal yüksekliği yapılmıştır. Kanallar Solid yardımıyla aşağıda Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 ile gösterilmiştir. Yapılan hibrit sistemin yandan gösterimi ise Şekil 4.35 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Hibrit fotovoltaik panelin kanal yapısı

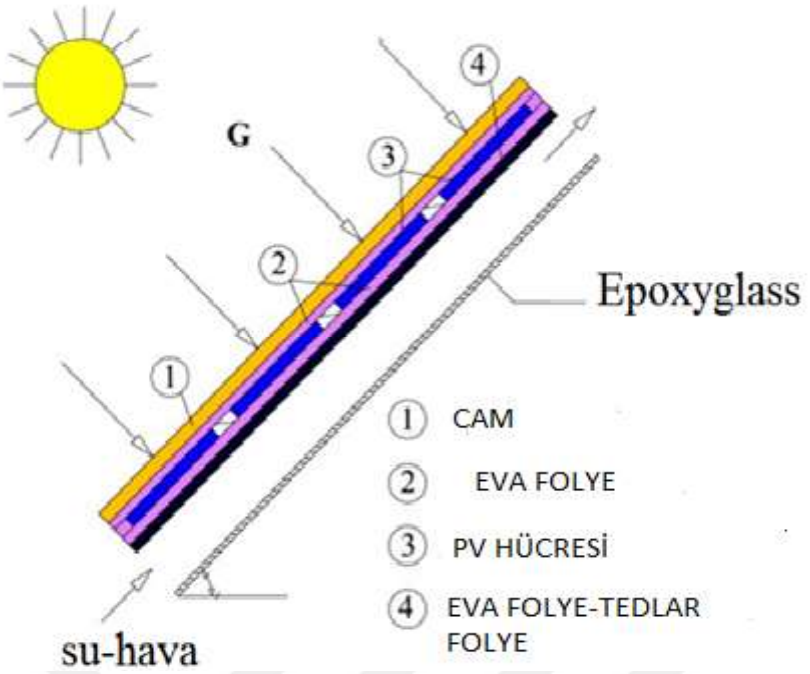


Şekil 4.33. Panelin katı modellemesinin çizimi



Şekil 4.34. Sistemin sıcaklık noktaları

Sistemde dolaştırılacak olan soğutucunun giriş sıcaklık değeri T1, çıkış sıcaklık değeri T2, üst yüzeyden alınan sıcaklık değerleri T3,T4,T5, ortam sıcaklık değeri T6, fotovoltaik panelin altında yaptığı gölgelenmenin sıcaklığı T7, panelin tam altındaki sıcaklık değeri T8 olarak gösterilmiştir. Bu sıcaklık noktalarından yaz ve sonbahar mevsimlerinde datalogger yardımıyla ölçümler kayıt altına alındı.

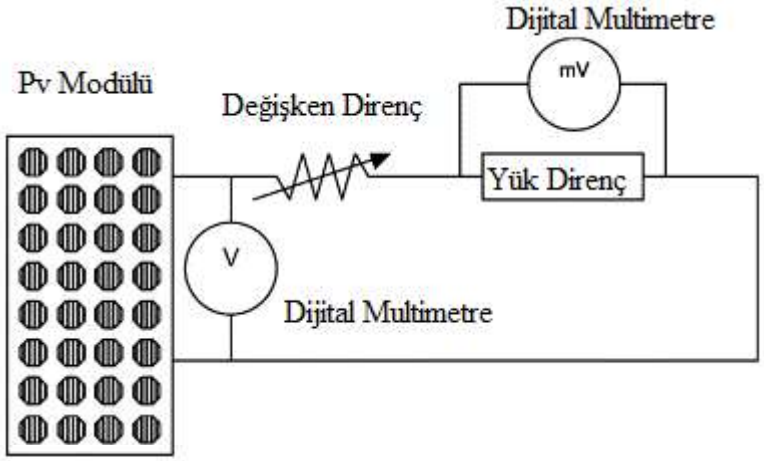


Şekil 4.35. Sistemin yandan görünümü

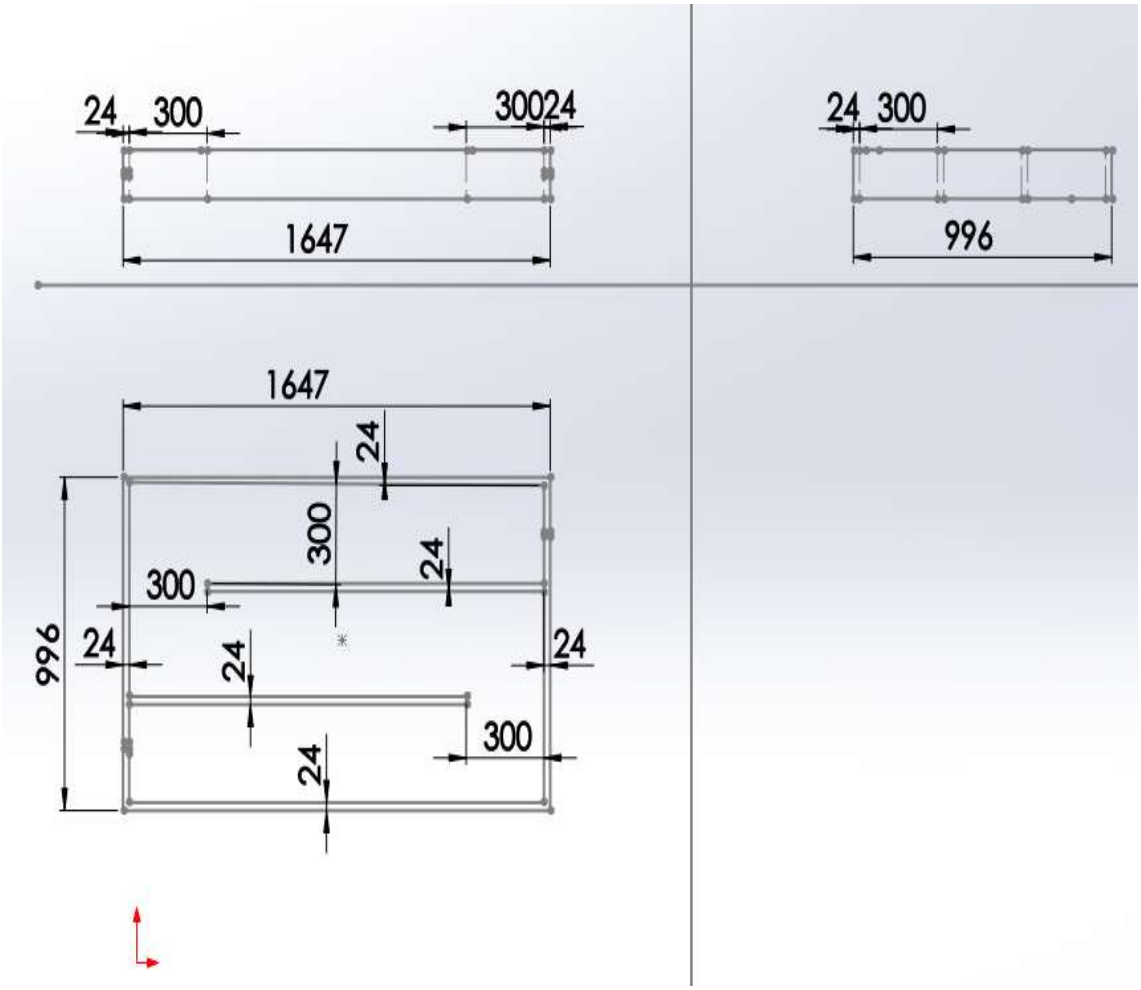
Yapılan hibrit sistemin yandan kesit profili Şekil 4.35 ile gösterilmiştir.

4.3.2. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi

Sistemimizin tasarımından sonra alınan ölçümler Şekil 4.36 ile gösterilmiştir. Panelimiz 250W olduğundan sistemden de 250W değerinde yük çekilmiştir. Bunun için sisteme bağladığımız bu yük yardımıyla Ağustos ve Eylül ayları arasında sabah saat 06:00'dan akşam saat 18:00'e kadar akım ve volt değerleri ölçülmüştür. Yarım saat aralıklarla sistemin akımı, voltu, ışınımı, rüzgâr hızı hesaplanmıştır. Her saniyede bir veri almak üzere sıcaklık değerleri Datalogger yardımıyla ölçülmüştür. Panelin üstünden, altından, panel altı gölge, dış ortam, giriş ve çıkış sıcaklıkları saniyede bir ölçülmüştür. Panelimizin altı komple 5mm kalınlığında 3 kanallı Epoxyglass ile kaplanmış olup, değişken debiler uygulanarak, akım ve volt değerleri, güç değerleri, termal verim ve elektriksel verim karşılaştırılması yapılmıştır. Kanal kalınlığı daha sonra 3mm'ye düşürülerek, kanal kalınlığının verim ve güç üzerine etkisi, debiler değiştirilerek debinin verim ve güç üzerindeki etkisi incelenmiştir. sisteme ait teknik resim çizimi şekil 4.37 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 4.37. Deney düzeneğinin teknik resmi

4.4. Sistemlerin Denklemleri ve Termodinamik Analizi

Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası göz önüne alınarak sistem tasarlandı. Birinci yasaya göre verim denklemimiz:

$$Q=\dot{m}.C_{p.}(T_{çıkış}-T_{giriş})$$

Kütle akış hızıyla, sistemde dolaşan akışkanın ısı kapasitesinin, sistemden çıkan ve giren akışkanın sıcaklık farkına çarpımıyla Q değerini elde ederiz.

Hibrit fotovoltaik sistemlerde sistemde dolaşan suyu sirküle etmek için pompa kullanırsak, tüketilen elektrik gücü;

$$Èp=\Delta P/\eta_P$$

ΔP: PVT kollektöründeki basınç düşüşü, ρ yoğunluğu, η_P ise pompa verimini ifade eder.

PVT su toplayıcının elektriksel verimliliği, gerçek elektrik çıkış gücünün PVT yüzeyinde meydana gelen güneş enerjisi oranını aşağıdaki gibi girmeye oranı olarak tanımlanır:

$$\eta_{elektrik}=(Vm.Im- Èp)/IsA$$

Sistemdeki basınçları ihmal edersek, elde edeceğimiz formül aşağıda 13 numara ile gösterilmiştir. Yaptığımız çalışmada sistemdeki basınç kayıplarını ihmal ettik.

Qmax= Alınabilecek ışınımX kollektör alanı

$Q_{alınan=}$ Sistemden çekilen akımX volt'tur.

$$\eta_{elektriksel}=Q_{alınan}/Q_{max}$$

$$\eta_1 = \frac{V_m \times I_m}{I_s \times A} \qquad (13)$$

Bu formülde yük altında elde edilen akım ve volt değerlerinin çarpımıyla gücü elde ederiz. Bu gücün sisteme gelen ışınım ve sistemin alanına bölümüyle verimi bulmuş oluruz.

Sisteme gelen ışınım miktarı devamlı değiştiğinden doldurma faktörü yani fi faktörünü hesaplamamız gerekmektedir. Fi faktörü birden küçük herşeyi ufaltır. Yani düzeltme katsayısıdır. Bunun içinde elde edilen formülümüz:

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (14)$$

Fi faktörünü yerine koyarsak düzeltilmiş verim 15 nolu denklemde gösterildiği gibi olur.

$$\eta_1 = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{I_s \times A} \quad (15)$$

Bu denklem bize verim denklemini vermektedir.

Ekserji Analizi:

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektriğin, enerji kalitesi veya kapasitesi bize sistemin ekserjisini verir.

Deney düzeneğimizdeki ekserji kaybı, sıcaklık farkından dolayı sistemin aşırı ısınmasından oluşan farktır.

Genel ekserji dengesini denklem 16'da ifade ederiz.

$\sum \dot{E}_{\text{giren ekserji:}}$ Üretilebilecek enerji

$\sum \dot{E}_{\text{çıkan ekserji:}}$ Elde ettiğimiz enerji

$$\sum \dot{E}_{\text{Alınan ekserji}} - \sum \dot{E}_{\text{elde edilen ekserji}} = \sum \dot{E}_{\text{ekserji kaybı}} \quad (16)$$

Enerji kalitesindeki bozulmaya ekserji kaybı denir. Buna ayrıca geri dönülmezlikte denilir. Fotovoltaik panellerin ekserji verimliliği, toplam çıkan ekserji miktarının giren ekserji miktarına oranına denir.Bunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

$$\eta_{ekserji} = \frac{\dot{E}x_{çıkış}}{\dot{E}x_{giriş}}$$

$$\eta ekserji = 1 - \sum \dot{E}_{\text{ekserji kaybı}} / \sum \dot{E}_{\text{giren ekserji}} \quad (17)$$

Sisteme giren ekserji miktarını, denklem 18 ve denklem 19'daki gibi göstermişlerdir. En çok kullanılan denklem ise, denklem 18'dir.

1-Tç/Ts: Sistemin verimini verir.

$$\dot{E}x_{giriş} = \left(1 - \frac{T_ç}{T_s}\right) \times I_s \times A \quad (18)$$

$$Ex_{giriş} = I_s \times A \times \left[1 - \frac{4}{3} \times \left(\frac{T_ç}{T_s}\right) + \frac{1}{3} \times \left(\frac{T_ç}{T_s}\right)^4\right] \quad (19)$$

Deney düzeneğimizden elde edilen veriler ve sonuçlar denklem 18'e göre hesaplanmıştır.

Çıkış ekserjisini aşağıdaki gibi gösterirsek,

$$\dot{E}x_{çıkış} = \dot{E}x_{elek} - \dot{E}x_{k,termal} - \dot{E}x_{k,elektrik} \quad (20)$$

Elektriksel ekserji ise;

$$\dot{E}x_{elek} = V_{oc} \times I_{se} - (V_{oc} \times I_{se} - V_m \times I_m) \quad (21)$$

İşlem hesaplanırsa elektriksel ekserji,

$$\dot{E}x_{elek} = V_m \times I_m \quad (22)$$

Termal ekserji ise;

$$\dot{E}x_{termal} = \left(1 - \frac{T_ç}{T_h}\right) \times Q \quad (23)$$

Şeklinde ifade edilir. Q değerini hesaplayabilmemiz için,

$$Q = h_{ca} \times A \times (T_h - T_ç) \quad (24)$$

Formülde bulunan h_{ca} bize ısı transfer katsayısını ifade etmektedir. Buda sisteme gelen rüzgâr hızına bağlıdır. V burada rüzgar hızını temsil etmektedir.

$$h_{ca} = 5,7 + 3,8V \quad (25)$$

Yerine yazılırsa,

$$\dot{E}x_{çıkış} = V_m \times I_m - \left(1 - \frac{T_ç}{T_h}\right) \times h_{ca} \times A \times (T_h - T_ç) \quad (26)$$

$$\eta_{ekserji,pv} = \frac{V_m \times I_m - \left(1 - \frac{T_ç}{T_h}\right) \times h_{ca} \times A \times (T_h - T_ç)}{\left(1 - \frac{T_ç}{T_s}\right) \times I_s \times A} \quad (27)$$

I_s = Işınım

A = Alan

$T_ç$ = Çevre sıcaklığı

T_h = Hücre sıcaklığı

T_s = Güneşin sıcaklığı 5777 Kelvin

Elektriksel güç: Voc×Isc (28)

Termal güç: Ptermal= ṁ×Cp×ΔT (29)

Hava debisi : Hava hızı x hava kanalı kesit alanı x yoğunluk (30)

Su hattı kütlesel debi : Hesaplanan toplam ısı kazancı/(Cpx(Ts-Ti) (31)

Termal verim hesabımızda kullanılan denklemimiz:

$$\eta_{pv} = \frac{\dot{m} \times C_p \times \Delta T}{A_{kol} \times I_{ış}} \quad (32)$$

Akışkanın kütle akış hızını, ısı kapasitesini ve sistemin giriş çıkış sıcaklık farklarını çarpıp, elde edilen sonucu kollektörün alanıyla sisteme gelen ışınımın çarpımına böldüğümüzde termal verimi elde ederiz.

Bu sistemden elde edilen volt ve amperin çarpımyla gücü buluruz. Gücün ışınım ve panelin alanına bölünmesiyle elde edilen sonucu 32'deki denklemle toplarsak, denklem 33'te gösterildiği gibi toplam verimi elde etmiş oluruz.

$$\eta_{Toplamverim} = \frac{m_w \times C_{pwater} \times (T_0 - T_i)}{I \times A} + \frac{IV}{I \times A} \quad (33)$$

$$\Delta T = T_{kol.giriş} - T_{kol.çıkış} \quad (34)$$

Deneyde kullanılan kanalın genişliği : 30mm

Kanalın yüksekliği :3-5mm

Kanalın kesit alanı :300x3mm-300x5mm

Kanalın uzunluğu :1,64m (3 kanal birleşik)

Hidrolik Çap (Dh) :4x Kesit Alanı/Çevre

$$\text{Prandtl} = C_p \times \mu/k \quad (35)$$

$$\text{Reynolds} = \rho \times V \times \Delta h/\mu \quad (36)$$

$$N_u = 0{,}023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \quad (37)$$

n=0.4 ısıtma durumunda ($T_s > T_m$)

n=0.3 soğutma durumunda ($T_s < T_m$)

$$0{,}7 \leq Pr \leq 160 \quad (38)$$

$L/D \geq 10$

Reynold: yoğunluk x V x Hidrolik çap/hız

μhava:0.000018kg/ms

ısı iletim katsayısı(k): 0.0271W/m. K

Cp (sabit basınçta): 1kg/kgK

Hibrit fotovoltaik panelin altından geçen akışkana ait yoğunluk ve C_p değerleri Tablo 4.14, Tablo 4.15, Tablo 4.16 ve Tablo 4.17 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Su için **C_p** değerleri (Anonim,2018f)

Sıcaklık	Cp değerleri su için		
[°C]	[J/ (mol K)]	[kJ/(kg K)]	[KWh/ (kg K)]
0.01	76.026	42.199	0.001172
10	75.586	41.955	0.001165
20	75.386	41.844	0.001162
25	75.336	41.816	0.001162
30	75.309	41.801	0.001161
40	75.300	41.796	0.001161
50	75.334	41.815	0.001162
60	75.399	41.851	0.001163
70	75.491	41.902	0.001164
80	75.611	41.969	0.001166
90	75.763	42.053	0.001168
100	75.950	42.157	0.001171

Tablo 4.15. Sıcaklığa bağlı olarak suyun yoğunluğu (Anonim,2018f)

Sıcaklık	Yoğunluk		Sıcaklık	Yoğunluk	
[°C]	[g/cm3]	[kg/m3]	[°C]	[g/cm3]	[kg/m3]
0.1	0.9998495	999.85	55	0.98569	985.69
1	0.9999017	999.90	60	0.98320	983.20
4	0.9999749	999.97	65	0.98055	980.55
10	0.9997000	999.70	70	0.97776	977.76
15	0.9991026	999.10	75	0.97484	974.84
20	0.9982067	998.21	80	0.97179	971.79
25	0.9970470	997.05	85	0.96861	968.61
30	0.9956488	995.65	90	0.96531	965.31
35	0.9940326	994.03	95	0.96189	961.89
40	0.9922152	992.22	100	0.95835	958.35
45	0.99021	990.21	110	0.95095	950.95
50	0.98804	988.04	120	0.94311	943.11

Tablo 4.16. sıcaklığa bağlı olarak hava yoğunluğu(Anonim, 2018f)

Sıcaklık	Yoğunluk	Sıcaklık	Yoğunluk
[°C]	[kg/m^3]	[°C]	[kg/m^3]
-5	1.316	30	1.164
0	1.292	40	1.127
5	1.268	50	1.093
10	1.246	60	1.060
15	1.225	80	1.000
20	1.204	100	0.9467
25	1.184	125	0.8868

Tablo 4.17. Hava için C_p değerleri (Anonim, 2018f)

Sıcaklık		**(Cp)**		
K	**°C**	**kJ/mol K**	**kJ/kg K**	**(kW h)/(kg K)**
240	-33.2	0.02914	1.006	0.000279
260	-13.2	0.02914	1.006	0.000279
273.2	0.0	0.02914	1.006	0.000279
280	6.9	0.02914	1.006	0.000279
288.7	15.6	0.02914	1.006	0.000279
300	26.9	0.02915	1.006	0.000280
320	46.9	0.02917	1.007	0.000280
340	66.9	0.02923	1.009	0.000280
360	86.9	0.02926	1.010	0.000281
380	107	0.02931	1.012	0.000281

5. DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ

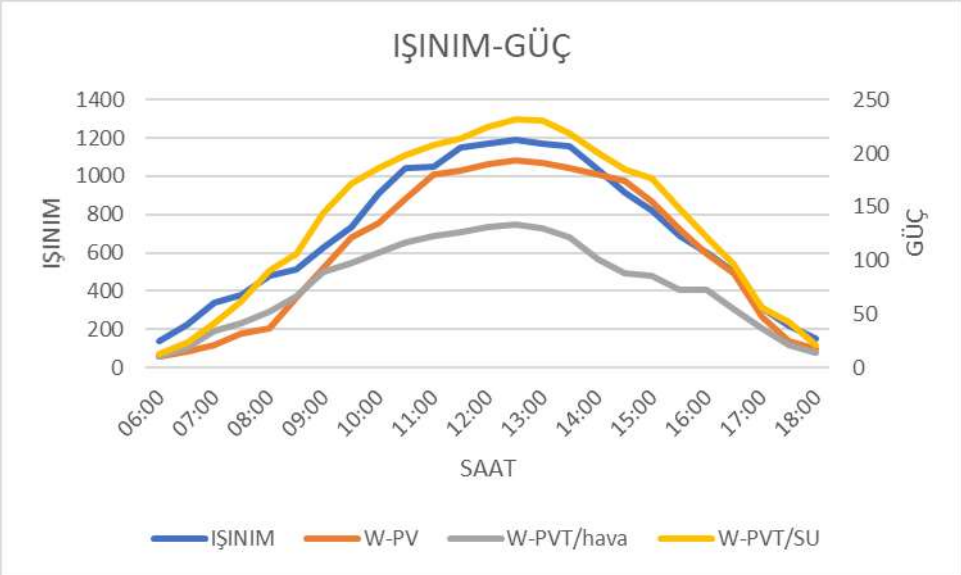
5.1. Fotovoltaik Panel Deneysel Elektriksel Verim Hesabı

Sistemimizde ele alınan konu başlıklarından biri olan elektriksel verim hesaplamasına başlamadan evvel, malzeme seçimi, malzemelerin alımı, tesisat bağlantısı, ölçüm aletlerinin tedariki, fotovoltaik alan açısı hesaplaması, sistem kurulumu, bilgisayar bağlantıları, alınan verilerin depolanması ve işlenmesi süreçleriyle birlikte verim hesapları yapılmıştır. Bu bağlamda farklı kanal yükseklikleri ve farklı debi miktarları kullanılarak elektriksel verimler karşılaştırılmıştır. Soğutma işlemlerinde sistemden şebeke suyu ve hava dolaştırılmıştır.

5.1.1. Farklı debi Hesaplamaları

Debi miktarının 0.016 l/s ile hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin 5mm olduğu şartlara göre elde edilen sonuçlara baktığımızda, hiç soğutma yapmadığımız panelin gücünün hava ile soğutma yaptığımız panele göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni termal etkiden kaynaklanmıştır. Bu istenmeyen bir durumdur. Sistemde dolaşan havanın rahat dışarı çıkamamasından kaynaklanan sonuç neticesinde, termal etki meydana gelmiş ve güçte düşüş görülmüştür.

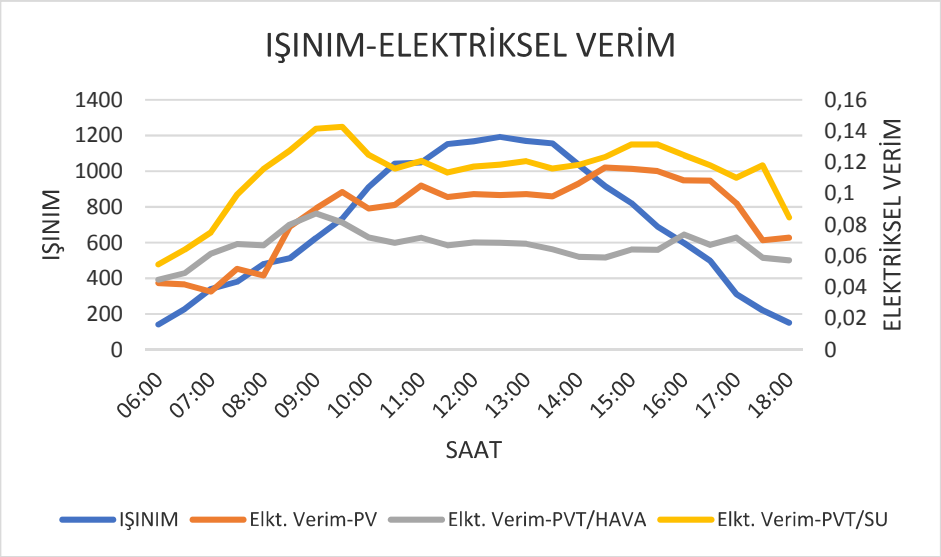
Şekil 5.1 ile gösterilen grafikte en yüksek güç,su ile soğutulan hibrit sistemden,en düşük güç hava ile soğutulan sistemden elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Güç grafiği

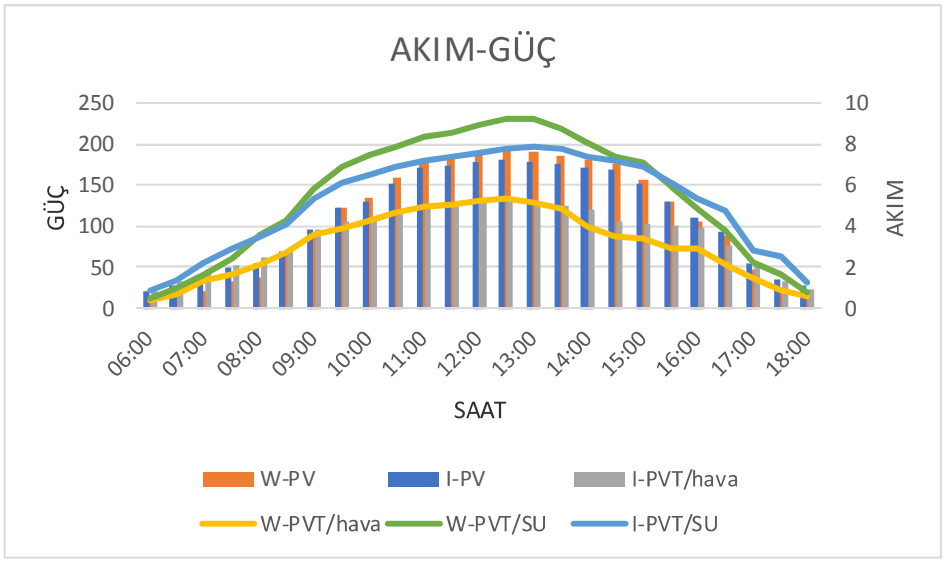
Debi miktarının 0.016 l/s ile hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin 5mm olduğu şartlara göre elektriksel verim hesaplaması yapıldığında elde edilen sonuç, ışınım güç grafiğindeki gibi hiçbir işlem yapılmayan panelin elektriksel veriminin hava ile soğutma yapılan hibrit sistemin elektriksel veriminden yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi termal etki olup, havanın kolay dışarı atılamaması olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 5.2'de gösterildiği üzere ışınımın artmasıyla elektriksel verimde de bir artış oluşmuştur. Saat 11 ile13 arasında elektriksel verimde düşüş gözlenmiştir.



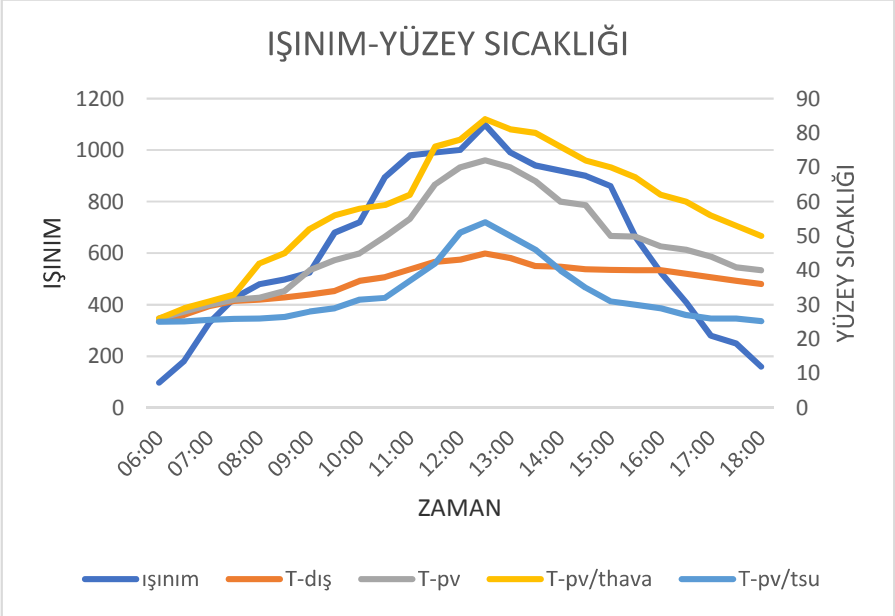
Şekil 5.2. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de elektriksel verim grafiği

Debi miktarının 0.016 l/s ile hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin 5mm olduğu şartlara göre sistemin akım güç grafiği incelendi ve pik noktaları bulundu. Şekil 5.3'te saat 06:00 ile 18:00 arasında akım ve güç grafiğinde en yüksek güç, su ile soğutma yapılan hibrit sistemden elde edilmiştir. Hava ile soğutulan hibrit sisteminin gücü, soğutma yapılmayan sistemden daha düşük olduğu gözükmüştür. Bu sonuç yapılan sistemde bir sorun olduğunu göstermektedir. Termal etkinin olduğu düşünülerek debi miktarı artırımına gidilmeye karar verilmiştir.



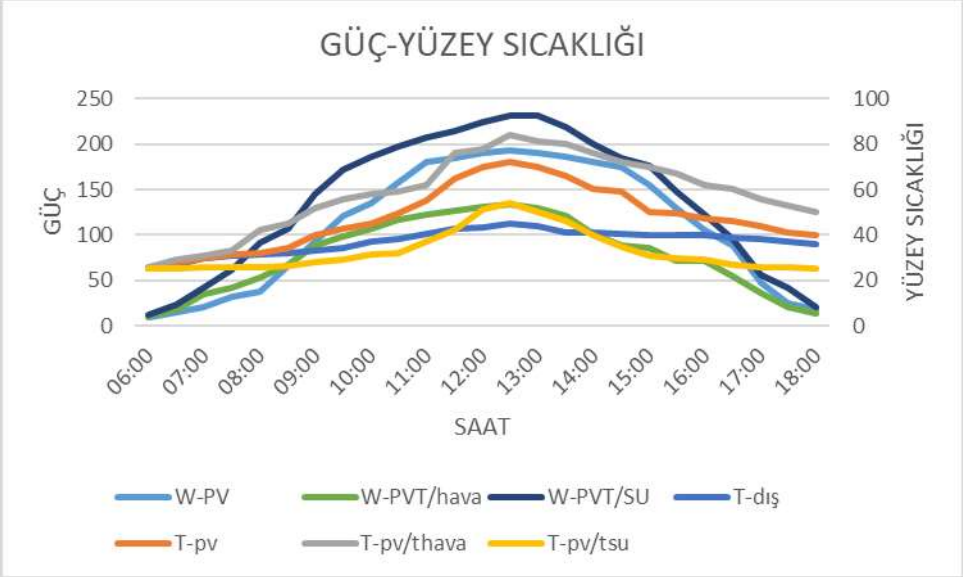
Şekil 5.3. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Güç-Akım grafiği

Şekil 5.4 'te sistemin sabah altı ile akşam altı arasındaki ışınım yüzey sıcaklığını incelediğimiz zaman, normal fotovoltaik panelimizin yüzey sıcaklığı, hava ile soğutma yapılan panelimizin yüzey sıcaklığından daha düşük çıktı. Buda bize termal etkiden kurtulamadığımızı göstermiştir.



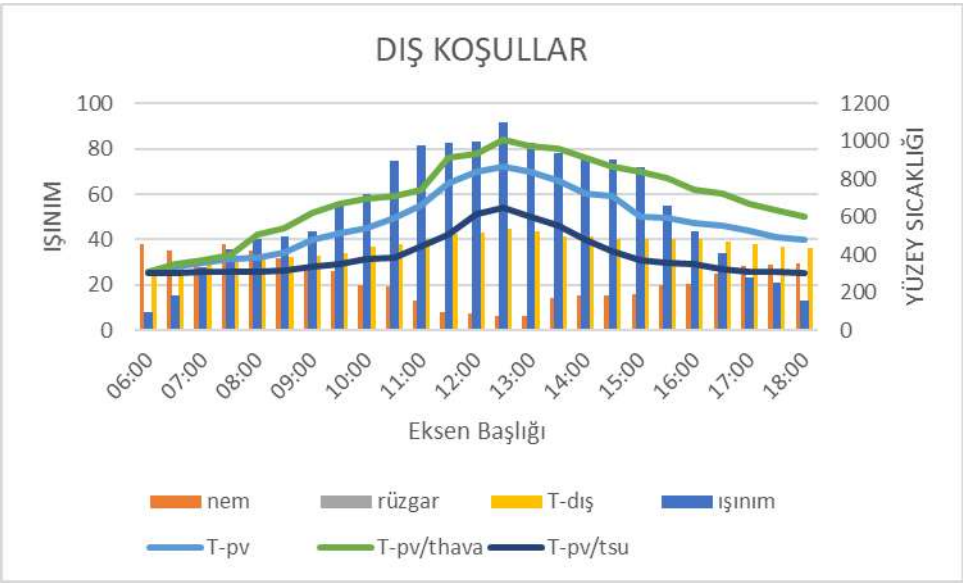
Şekil 5.4. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Yüzey sıcaklıkları

Şekil 5.5'te sistemin yüzey sıcaklığı ile güç ilişkisi arasındaki grafikte hava ile soğutma yapılan panelin değerleri soğutma yapılmayan panelden düşük çıktı. Termal etkinin bu parametrelerde etkili olduğu gözükmektedir.



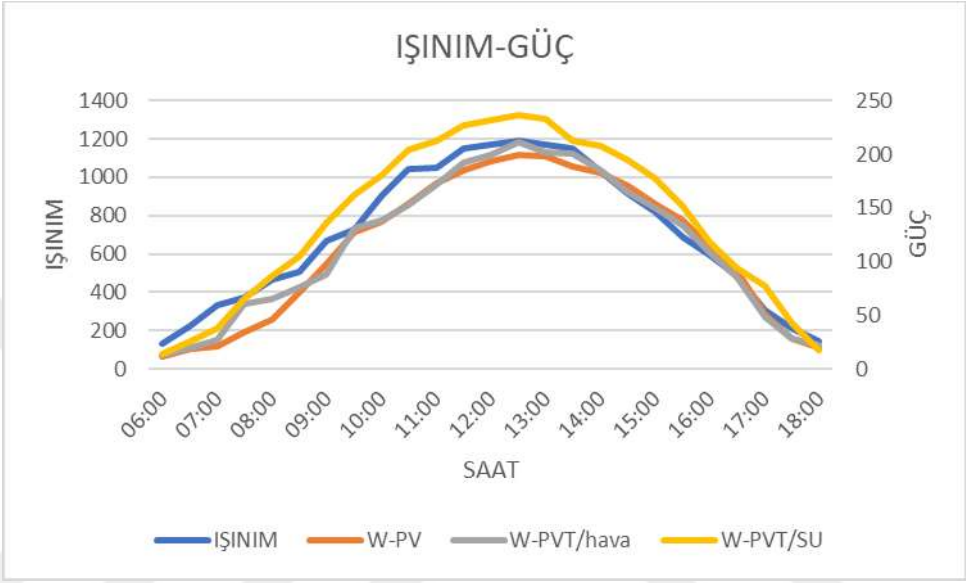
Şekil 5.5. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Güç-Yüzey Sıcaklığı

Şekil 5.6'da debi miktarının 0.016 l/s ile hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin 5mm olduğu şartlara göre sabah 06:00'dan akşam 18:00'a kadar olan sürede dış ortamdaki hava değişiminde meydana gelen sıcaklık, nem, rüzgâr, ışınım ve bulutlanma, hibrit sistemimizde çok etkili olduğu görüldü.



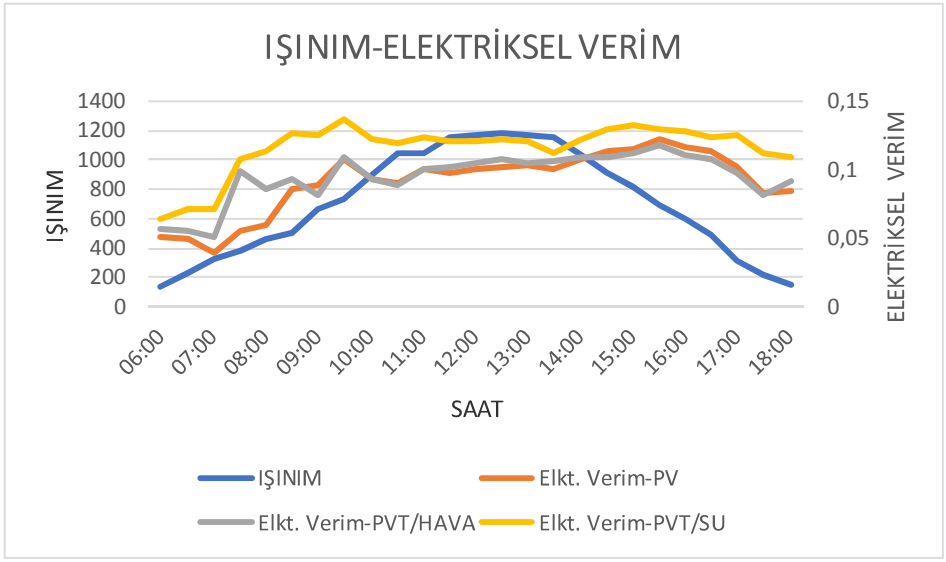
Şekil 5.6. Debi 0.016 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de nem, rüzgâr, sıcaklık etkisi

Kanal yüksekliğini sabit tutup, 5mm kanal yüksekliği ile debi miktarını 0.016'dan 0.032 l/s'ye, hava hızınıda 3m/s'ye çıkardığımız zaman elde ettiğimiz sistemlerin güç karşılaştırılmasında sonuçlarda az da olsa bir iyileşme olmasına rağmen, hava soğutmalı hibrit sistem ile hibrit olmayan PV arasında tam bir kırılma noktası oluşmadı. Sebebi ise hala termal etkiyi atamamızdan kaynaklanmıştır. Şekil 5.7'de açık olarak gözükmüştür.



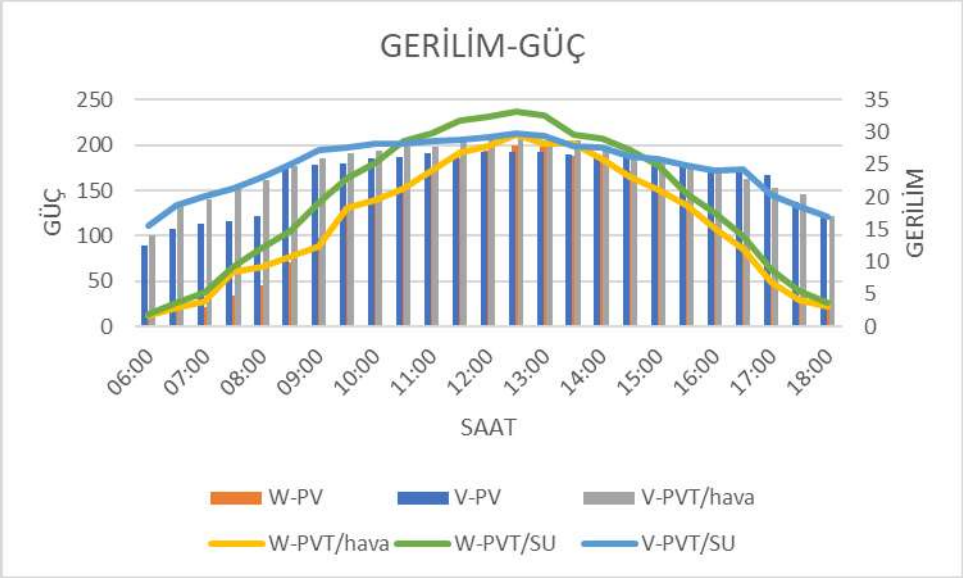
Şekil 5.7. Debi 0.032 l/s., kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Güç grafiği

Şekil 5.8'deki sistemin 0.032 l/s'de elektriksel verim karşılaştırmasında sonuçlar tatmin edici düzeyde olmadığı görüldü. Termal etki azalmasına rağmen, tam istenen düzeyde olmadığı görüldü.



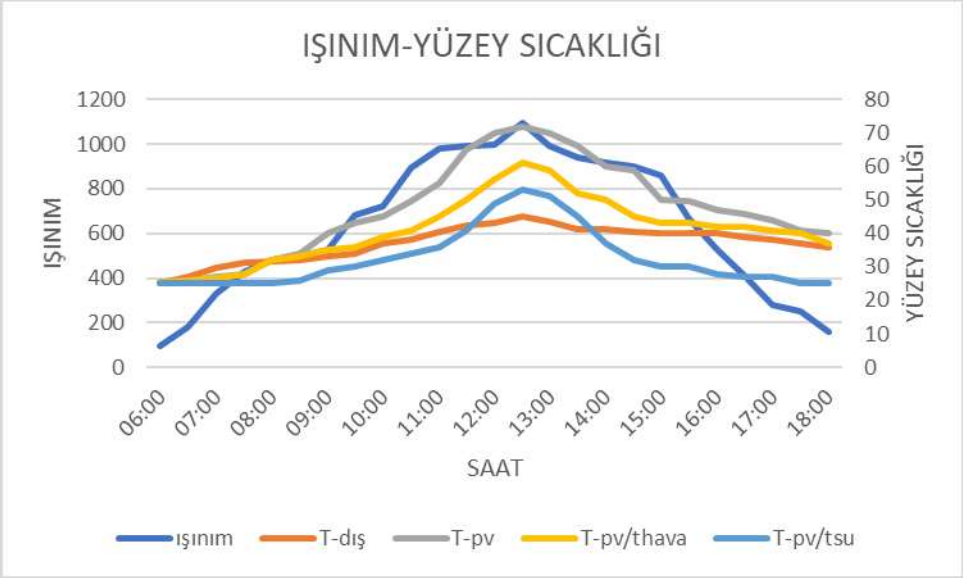
Şekil 5.8. Debi 0.032 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de elektriksel verim grafiği

Şekil 5.9'da güç ve gerilim arasındaki ilişki öğle vaktinde en yüksek değere ulaşmıştır.



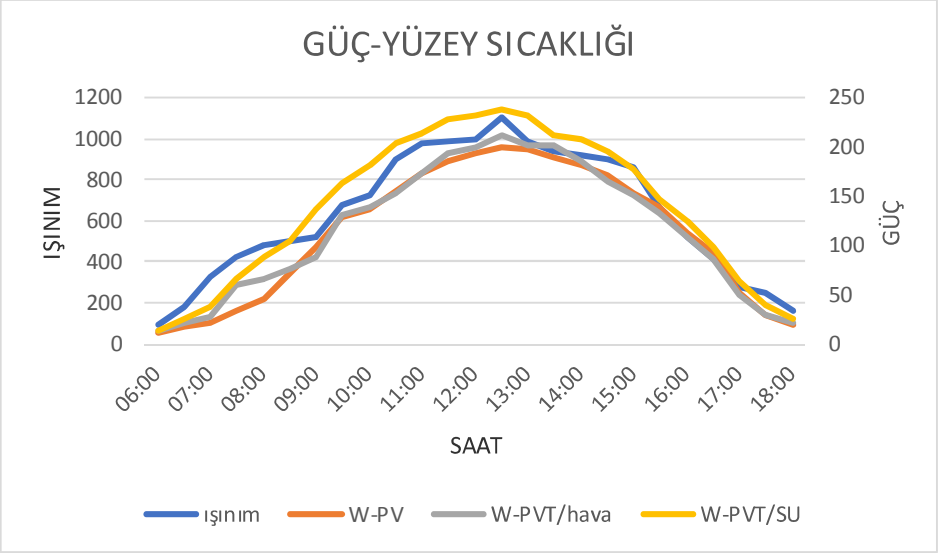
Şekil 5.9. Debi 0.032 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Gerilim-Güç grafiği

Şekil 5.10'da ışınıma bağlı olarak yüzey sıcaklıklarında artış gözükmektedir. En yüksek yüzey sıcaklığı soğutma yapılmayan panelde, en düşük sıcaklık ise su ile soğutulan sistemin yüzeyinde gözükmüştür.



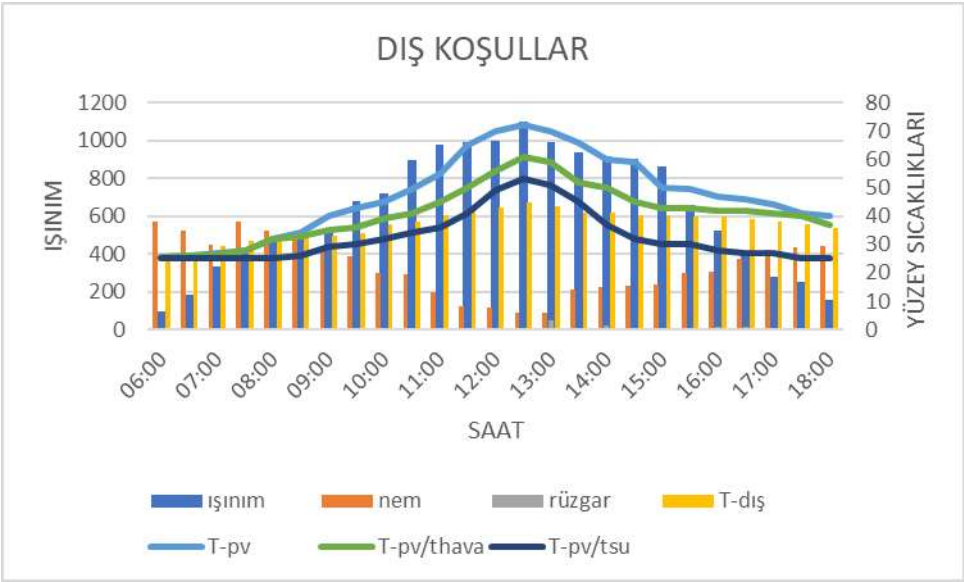
Şekil 5.10. Debi 0.032 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Işınım-Yüzey sıcaklığı grafiği

Şekil 5.11'de ışınıma bağlı olarak güçte artış olduğu gözükmektedir. Bu artış öğle vaktinde maksimum değere ulaşmıştır. En yüksek güç su ile soğutma yapılan sistemde gözükmüştür.



Şekil 5.11. Debi 0.032 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de Güç- Işınım grafiği

5mm kanal yüksekliği ile debi miktarını 0.016'dan 0.032 l/s'ye, hava hızınıda 3m/s'ye çıkardığımız zaman, sabah 06:00'dan akşam 18:00'a kadar olan sürede dış ortamdaki hava değişiminde meydana gelen sıcaklık, nem, rüzgâr, ışınım ve bulutlanma, hibrit sistemimizde çok etkili olduğu görüldü. Şekil 5.12'de bu etkileri görebiliyoruz.

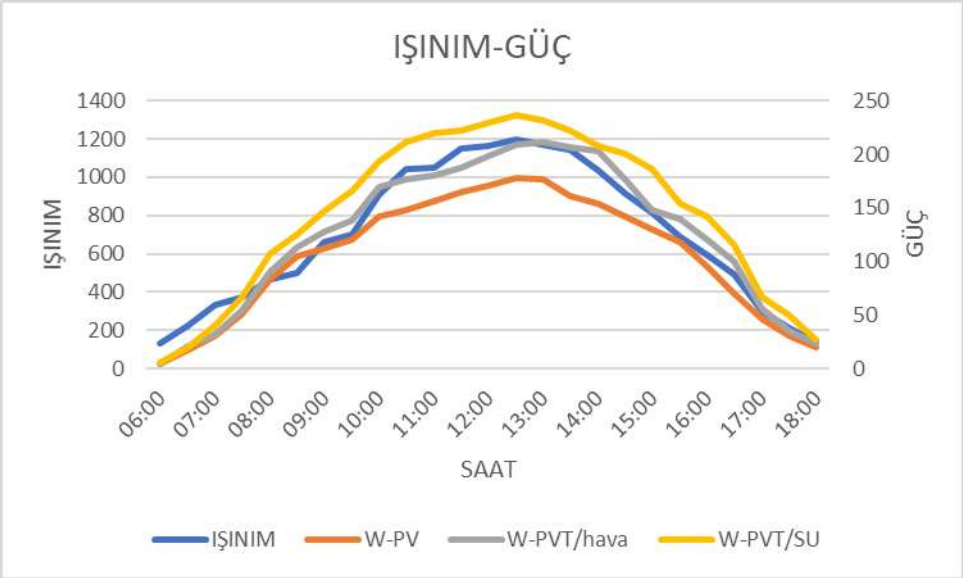


Şekil 5.12. Debi 0.032 l/s, kanal yüksekliği 5mm'de nem, sıcaklık, rüzgâr, etkisi

5.1.2. Farklı Kanal Yüksekliği ve Debi Hesaplamaları

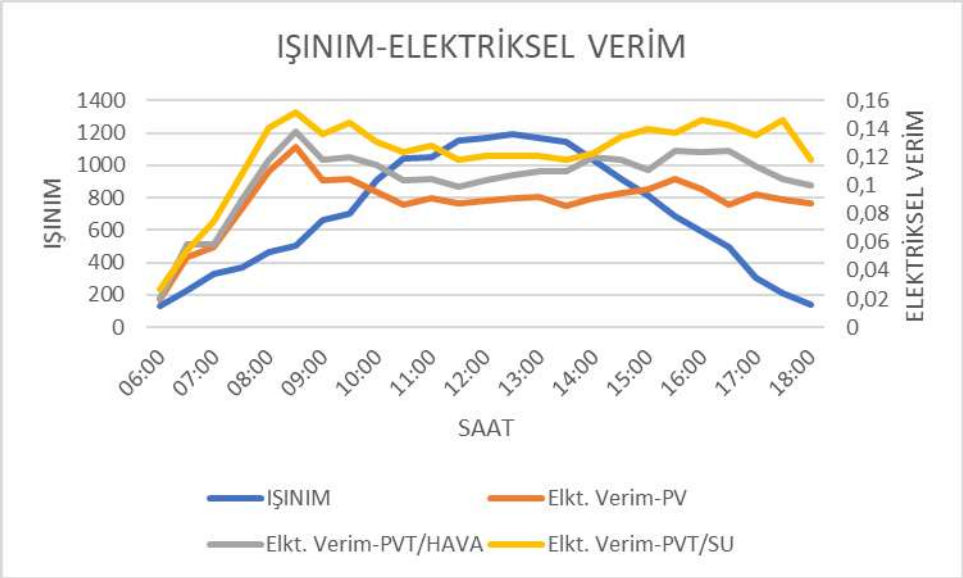
Kanal yüksekliğini 3mm'ye kadar düşürüp debi miktarını 0.016 l/s, hava hızınıda 1.8m/s olarak yaptığımızda elde edilen veriler incelenmiştir.

Şekil 5.13'te gösterildiği gibi soğutma yapılan sistemlerden elde edilen güç miktarları soğutma yapılmayan fotovoltaik panelden yüksek çıkmıştır. En yüksek güç artışı, su ile soğutma yapılan sistemden elde edilmiştir.



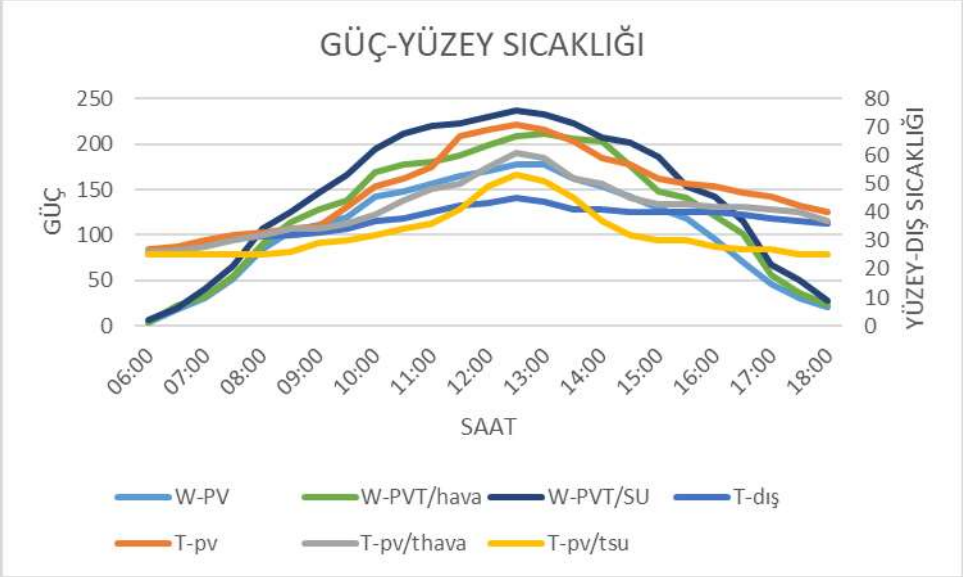
Şekil 5.13. 0.016l/s, 3mm kalınlıkta Işınım-Güç grafiği

Şekil 5.14'te ışınıma bağlı olarak elektriksel verimdede artış olmaktadır. En yüksek değer su ile soğutma yapılan hibrit sistemde gerçekleşmiştir. En düşük değerin ise soğutma yapılmayan fotovoltaik panelde eldeedildiği görülmektedir.



Şekil 5.14. 0.016 l/s,3mm kalınlıkta Işınım-Elektriksel Verim grafiği

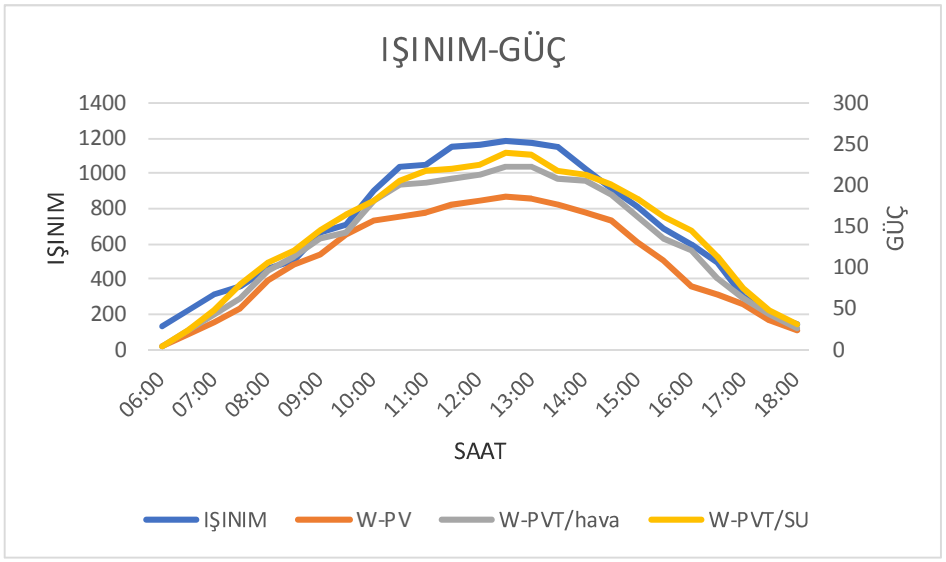
Şekil 5.15'te sistemin güç-yüzey sıcaklığı incelendiğinde fotovoltaik panelin değerleri hibrit sistemli panellerin değerlerinden düşük çıkmıştır. Su ile soğutulan sistemin gücü en yüksek, yüzey sıcaklığıda en düşük olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.15. 0.016 l/s, 3mm kalınlıkta güç-yüzey sıcaklığı grafiği

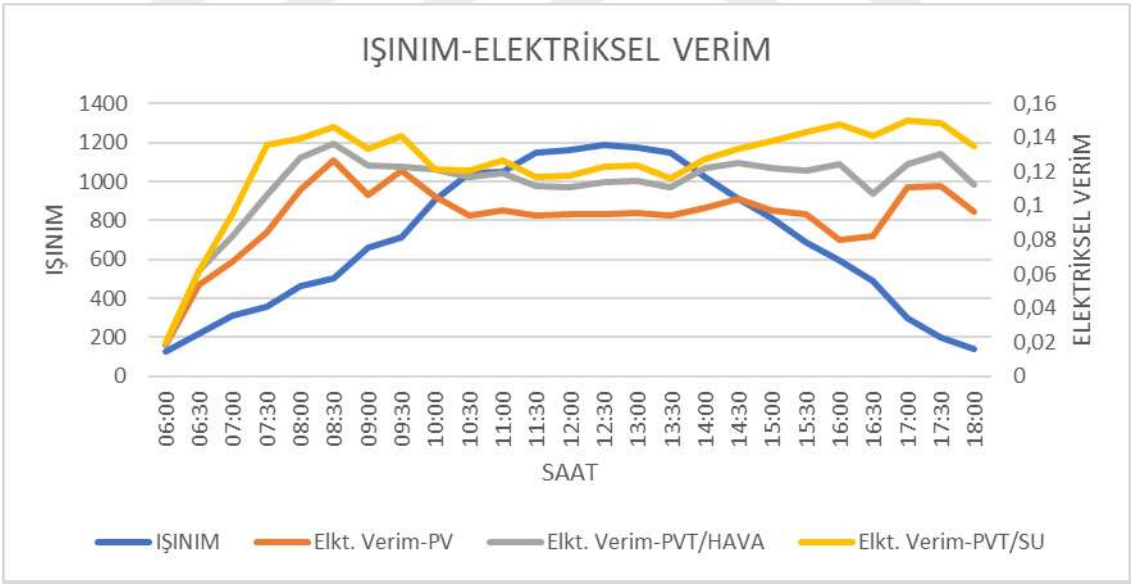
Debi miktarını 0.032 l/s. ve hava hızınıda 3m/s. olarak düzenleyip kanal yüksekliği 3mm olarak yaptığımızda ise hibrit panellerimizin orta kesimi basınçtan dolayı şişme göstermiş ve buna bağlı olarak termal etki gözükmüştür. Havanın rahat çıkışını sağlamak için çıkış noktasına bir çıkış daha verilmiştir. Böylece istenen düzeye çıkılmıştır. Buna ait grafikler aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

Şekil 5.16'da Işınım-Güç grafiğinde en yüksek güç değeri su ile soğutma yapılan sistemde olup, en düşük güç artışıda soğutma yapılmayan sistemden elde edilmiştir.



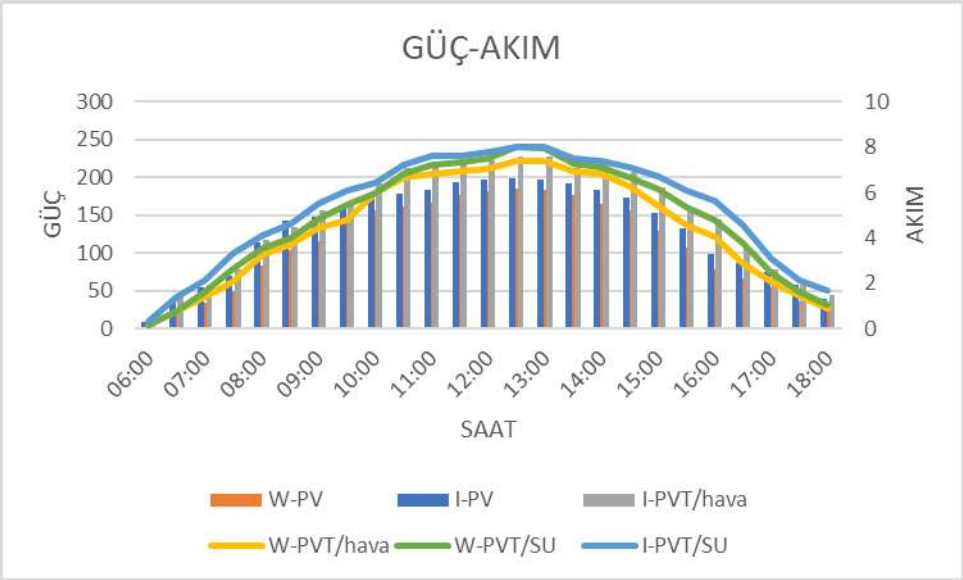
Şekil 5.16. 0.032 l/s, 3mm kalınlıkta ışınım-güç grafiği

Şekil 5.17'de 0.032 l/s debi ile 3m/s hava hızı ve 3mm kanal yüksekliğinde, ışınıma bağlı olarak elde edilen elektriksel verim sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuca göre en yüksek değer su ile soğutma yapılan hibrit sistemde gerçekleşmiştir. En düşük değerin ise soğutma yapılmayan fotovoltaik panelden elde edildiği görülmektedir.



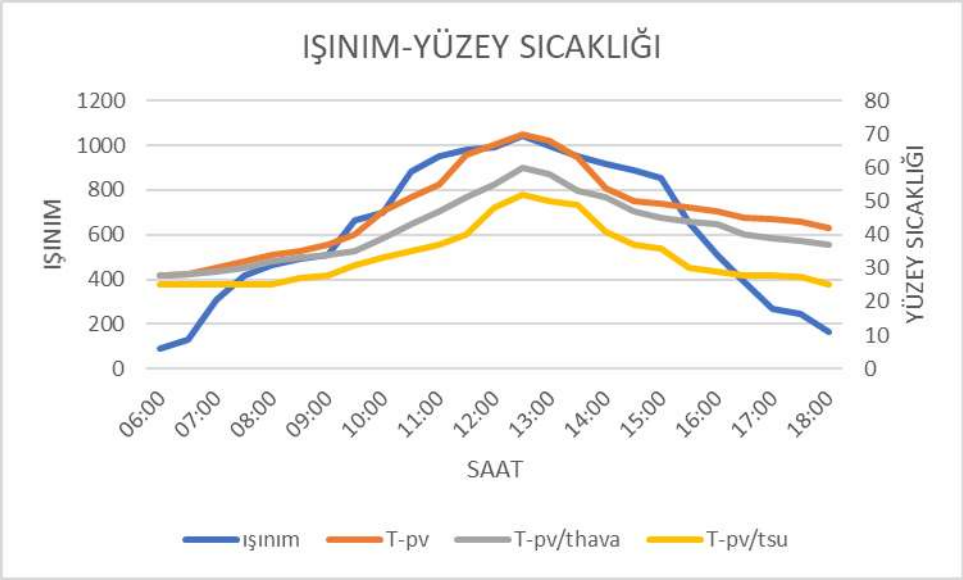
Şekil 5.17. 0.032 l/s,3mm kalınlıkta ışınım-elektriksel verim grafiği

Şekil 5.18'de akım güç garfiği gözükmektedir. Işınımın artmasına bağlı olarak sistemdede bir artış oluşmaktadır. En yüksek değer su ile soğutma yapılan hibrit sistemde gerçekleşmiştir. En düşük değerin ise soğutma yapılmayan fotovoltaik panelden elde edildiği görülmektedir. Öğle vakti en yüksek değerler elde edilmiştir.



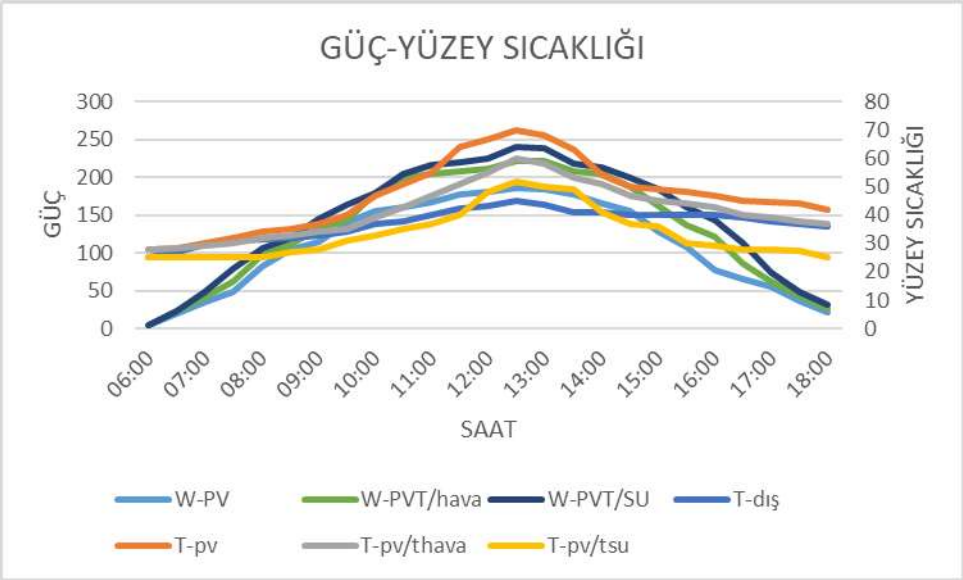
Şekil 5.18. 0.032 l/s,3mm kalınlıkta güç-akım grafiği

Işınım-yüzey sıcaklığına ait veriler ise Şekil 5.19'da gösterilmiştir. En yüksek yüzey sıcaklığı, soğutma yapılmayan sistemden elde edilmiştir. En düşük yüzey sıcaklığı ise su ile soğutma yapılan hibrit sistemde görülmüştür.



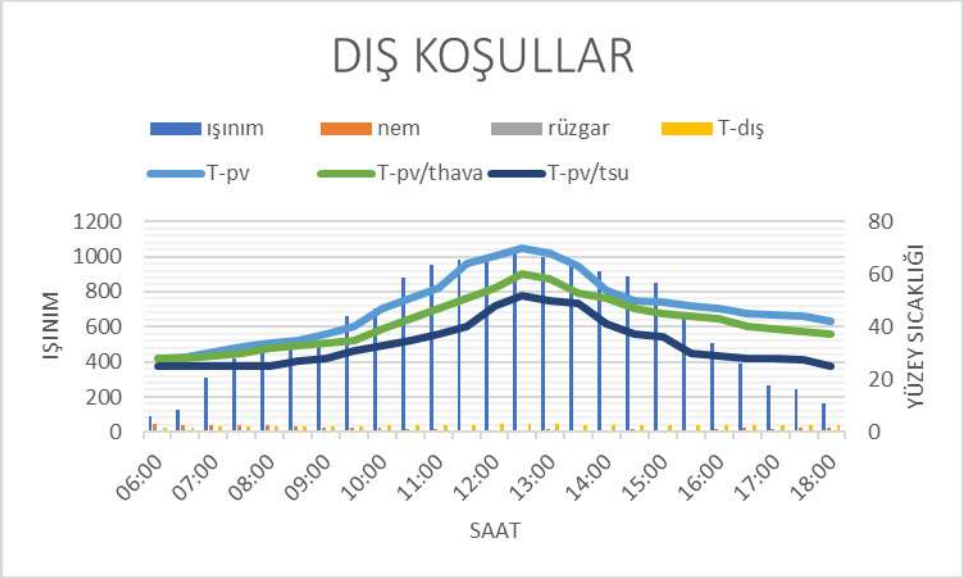
Şekil 5.19. 0.032 l/s, 3mm kalınlıkta ışınım-yüzey sıcaklığı grafiği

Şekil 5.20'de ise güç-yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntı görülmektedir. Burada En yüksek güç değeri su ile soğutma yapılan hibrit sistemde gerçekleşmiştir. En düşük güç değeri ise soğutma yapılmayan fotovoltaik panelden elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.20. 0.032 l/s, 3mm kalınlıkta güç-yüzey sıcaklığı grafiği

Şekil 5.21, dış koşulların sistemler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Dış koşullar panellerin yüzey sıcaklıkları üzerinde etkili olmuştur. En yüksek yüzey sıcaklığı, soğutmayapılmayan fotovoltaik panelden elde edilmiştir.



Şekil 5.21. 0.032 l/s, 3mm kalınlıkta ışınım, sıcaklık, nem, rüzgâr etkisi

5.1.3. Ağustos Ayı Ekserji Analizi

Ağustos ayı için ekserji analizi yapılmış olup veriler Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Koşul 1 için dış etkenler

Koşul-1: Debi:0.016l/s, hava hızı 1.8m/s ve kanal yüksekliği:5mm							
Saat	Işınım	Nem	Rüzgâr	T-dış	T-pv	T-pv/thava	T-pv/tsu
06:00	141	38	0	25,3	26	26	25
06:30	227	35	0	27	28	29	25,1
07:00	340	30	0	29,6	30	31	25,6
07:30	380	38	0,3	31,1	31,5	33	25,9
08:00	480	35	0,2	31,5	32	42	26
08:30	511	32	0,2	32,1	34	45	26,4
09:00	625	28	0	33	40	52	28
09:30	735	26	0	34	43	56	29
10:00	910	20	0,4	37	45	58	31,5
10:30	1042	19,5	0,1	38	49,8	59	32
11:00	1049	13,2	0,2	40,3	55	62	37
11:30	1152	8	0,2	42,5	65	76	42
12:00	1168	7,6	0,2	43,1	70	78	51
12:30	1192	6,1	0,3	44,9	72	84	54
13:00	1169	6,1	3,1	43,6	70	81	50
13:30	1155	14	0,1	41,2	66	80	46
14:00	1035	15,1	1,2	41,1	60	76	40
14:30	916	15,3	0,1	40,3	59	72	35
15:00	821	15,9	0,1	40,1	50	70	31
15:30	689	19,8	0,2	40	49,8	67	30
16:00	598	20,3	0,9	40	47	62	29
16:30	497	25,1	0,8	39	46	60	27
17:00	311	28,2	0,5	38	44	56	26
17:30	220	29,1	0,2	37	40,9	53	26
18:00	150	29,6	0,1	36	40	50	25,2

Tablo 5.2. Koşul 2 için dış etkenler

Koşul 2: Debi:0.032l/s, hava hızı 3m/s ve kanal yüksekliği:5mm							
Saat	Işınım	Nem	Rüzgâr	T-dış	T-pv	T-pv/thava	T-pv/tsu
06:00	134	37	0	25,3	25,52	25,4	25
06:30	226	34	0	27	26	26	25
07:00	330	29	0	29,6	27	26,6	25
07:30	375	37	0,2	31,1	28	27,8	25
08:00	469	33	0,34	31,5	32	32	25
08:30	505	30	0,23	32,1	34	33	26
09:00	665	26	0,1	33	40	35	29
09:30	729	23	0	34	43	36	30
10:00	903	19	0,3	37	45	39	32
10:30	1043	21	0,23	38	49,8	41	34
11:00	1050	12	0,32	40,3	55	45	36
11:30	1153	9	0,31	42,5	65	50	41
12:00	1168	7	0,25	43,1	70	56	49
12:30	1189	5,9	0,5	46	72	61	53
13:00	1170	5,9	3,2	43,6	70	59	51
13:30	1150	13	0,2	41,2	66	52	45
14:00	1032	14,2	1,6	41,1	60	50	37
14:30	916	16	0,3	40,3	59	45	32
15:00	820	16,1	0,3	40,1	50	43	30
15:30	690	20,14	0,1	40	49,8	43	30
16:00	597	19,6	1,1	40	47	42,1	28
16:30	490	26,4	1,2	39	46	42	27
17:00	308	29,1	1,4	38	44	41	27
17:30	212	29,5	0,3	37	40,9	40	25
18:00	148	30	0,2	36	40	37	25

Tablo 5.3. Koşul 3 için dış etkenler

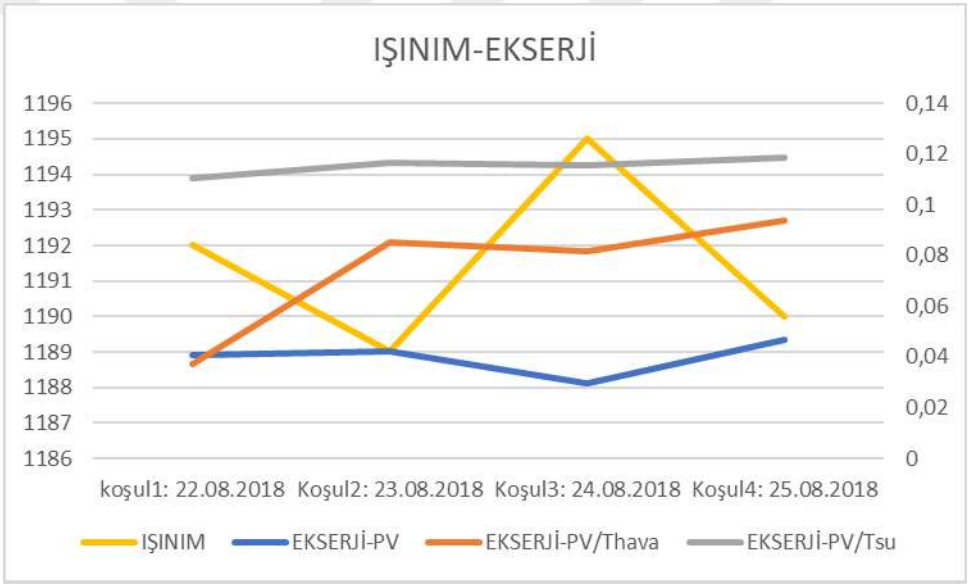
Koşul 3: Debi:0,016l/s, hava hızı 1,8m/s kanal yüksekliği:3mm							
Saat	Işınım	Nem	Rüzgâr	T-dış	T-pv	T-pv/thava	T-pv/tsu
06:00	132	45	0	25,3	27	26	25
06:30	223	42	0	27	28	26,5	25
07:00	330	39	0	29,6	30	28	25
07:30	372	37	0,3	31,1	32	30	25
08:00	465	36,2	0,2	31,5	33	32	25
08:30	502	35	0,2	32,1	34	34	26
09:00	660	30	0	33	35	34	29
09:30	700	25,1	0	34	42	36	30
10:00	906	22,3	0,4	37	49	39	32
10:30	1042	21,6	0,1	38	52	44	34
11:00	1047	12	0,2	40,3	56	48	36
11:30	1152	6,5	0,2	42,5	67	50	41
12:00	1165	6,3	0,2	43,1	69	56	49
12:30	1195	5,9	0,7	46	71	61	53
13:00	1171	8,6	3,1	43,6	69	59	51
13:30	1147	12,3	0,1	41,2	65	52	45
14:00	1034	13,2	1,2	41,1	59	50	37
14:30	913	15,2	0,1	40,3	57	45	32
15:00	815	16,3	0,1	40,1	52	43	30
15:30	688	20,1	0,2	40	50	43	30
16:00	594	21,3	0,9	40	49	42,1	28
16:30	494	27,6	0,8	39	47	42	27
17:00	302	29,3	0,5	38	45,3	41	27
17:30	210	28,2	0,2	37	42,3	40	25
18:00	140	27,6	0,1	36	40,1	37	25

Tablo 5.4. Koşul 4 için dış etkenler

Koşul 4: Debi:0.032l/s, hava hızı 3m/s kanal yüksekliği:3mm çıkış arttırma							
Saat	Işınım	Nem	Rüzgâr	T-dış	T-pv	T-pv/thava	T-pv/tsu
06:00	129	43	0,1	25,3	28	28	25
06:30	221	42	0,3	27	28,32	28,12	25
07:00	310	40,3	0,1	29,6	30,25	29	25
07:30	356	38	0,2	31,1	32,12	30	25
08:00	462	37,2	0,2	31,5	34	32	25
08:30	502	34,6	0,1	32,1	35	33	27
09:00	662	26,4	0,1	33	37	34	28
09:30	710	23,5	0,2	34	40	35	31
10:00	905	21,3	0,4	37	47	39	33
10:30	1042	20,6	0,3	38	51	43	35
11:00	1047	15,3	0,7	40,3	55	47	37
11:30	1145	7,2	0,1	42,5	64	51	40
12:00	1164	7,5	0,1	43,1	67	55	48
12:30	1190	5,6	0,2	44,9	70	60	52
13:00	1175	15,4	2,4	43,6	68	58	50
13:30	1146	10,2	0,3	41,2	63	53	49
14:00	1024	11,2	2,5	41,1	54	51	41
14:30	913	18	0,5	40,3	50	47	37
15:00	811	12,3	0,2	40,1	49,2	45	36
15:30	688	10,2	0,1	40	48	44	30
16:00	594	20,2	1,1	40	47	43	29
16:30	491	25,6	1,2	39	45	40	28
17:00	301	15,6	1,2	38	44,6	39	28
17:30	200	23,6	0,1	37	44	38	27,6
18:00	140	23,2	0,2	36	42	37	25

Tablo 5.5. Ekserji Sonuçları

TARİH	EKSERJİ-PV	EKSERJİ-PV/Thava	EKSERJİ-PV/Tsu	IŞINIM
Koşul1: 22.08.2018	0.0408	0.03726	0.11049	1192
Koşul2: 23.08.2018	0.042	0.085	0.1167	1189
Koşul3: 24.08.2018	0.0294	0.08179	0.1154	1195
Koşul4: 25.08.2018	0.047	0.0939	0.1188	1190



Şekil 5.22. Farklı Işınım altında ekserji analizi

Su soğutmalı sistemin ekserji çıktıları hava soğutmalı sistemin ekserji çıktılarından yüksek çıkmıştır. En düşük ekserji çıktısı, soğutma yapılmayan sistem olmuştur.

5.1.4. Ağustos Ayı İçin Termal Verim Hesaplamaları

Debi miktarının 0.016-0.032 l/s, hava hızının 1.8-3m/s ile kanal yüksekliğinin 3-5mm olduğu, ışınım miktarının 1192-1189-1195 olduğu anda ki su ve hava ile soğutma yapılan sistemlerin termal verimleri hesaplandı.

Tablo 5.6. Termal verim ve elektriksel verim

Işınım	ηPV/T-Ter.SU	ηpv/T-Ter. HAVA
1192	0.007189	0.00345
1189	0.00686	0.00295
1195	0.003413	0.00178

5.1.5. Ağustos Ayı İçin Verim Karşılaştırması

Farklı debi, farklı kanal yüksekliği ve farklı ışınım altında termal ve elektriksel verimler hesaplandı.

Tablo 5.7. Termal verim ve elektriksel verim karşılaştırması

Işınım	ηPV/T-Ter.SU	ηpv/T-Ter.HAVA	ηpv/T-SU	ηpv/T-hava	ηpv
1192	0.007189	0.00345	0.11847257	0.068486715	0.0990722
1189	0.00686	0.00295	0.121717454	0.108338861	0.1024613
1195	0.003413	0.00178	0.120898776	0.106887535	0.0907262

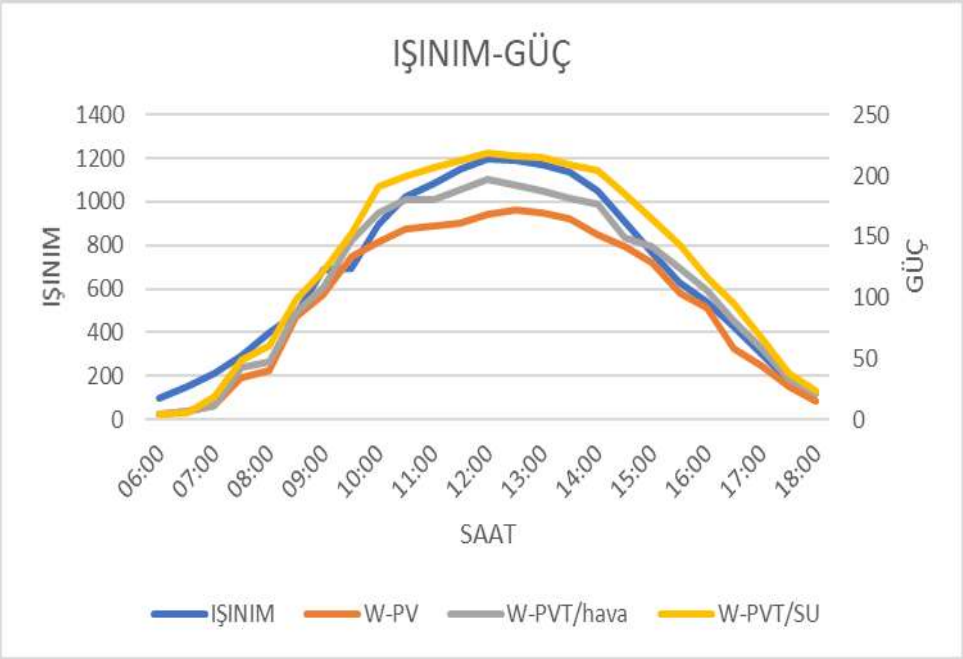
En yüksek ışınım değerlerine ait termal ve elektriksel verim karşılaştırması sonuçlarına göre su ile soğutma yapılan hibrit sistemin termal verimleri, hava ile soğutulan hibrit sistemin termal veriminden yüksek olduğu görülmüştür. Elektriksel verim karşılaştırmasında ise, yine en yüksek değer su ile soğutulan hibrit sistemde görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada en az güç harcayarak en verimli sistem araştırılmış olup, debi 0.016lt/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu hava içinse 3m/s ve 3mm kanal yüksekliği görülmüştür.

5.2. Eylül Ayı İçin Elektriksel Verim Hesaplamaları

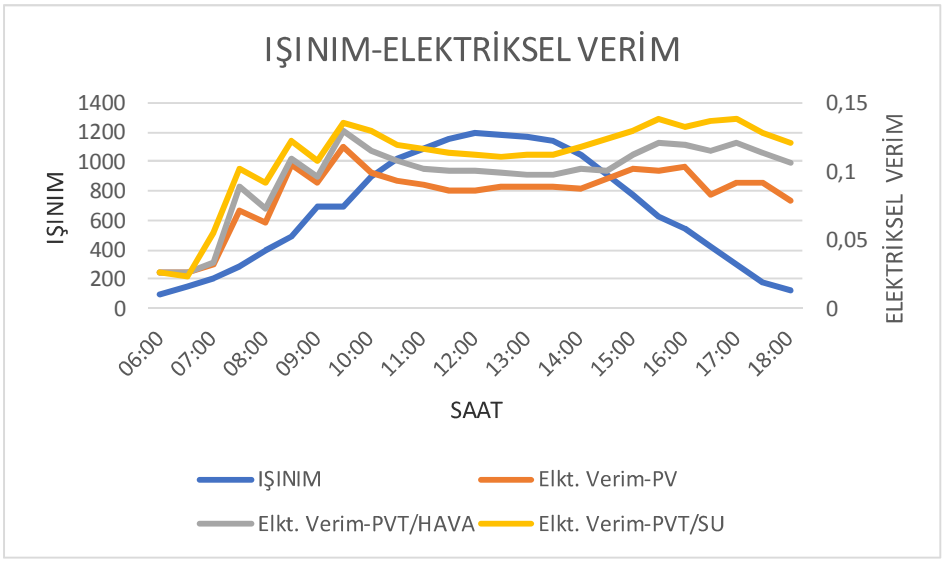
Eylül ayında yapılan deneysel çalışma için fotovoltaik açı hesabı yapılıp, ölçümler ve düzenek bu açıya göre hesaplanmıştır. Yaz mevsiminde bulunan sonuçların Sonbahar mevsimindeki sonuçlarla paralellik sağladığı görülmüştür.

Yaz ayı için en verimli sonuç; su soğutmalı hibrit sistem için 0.016 l/s ve kanal yüksekliği 3mm, hava soğutmalı hibrit fotovoltaik sistem için ise 3m/s hava hızı ve 3mm kanal yüksekliği bulunmuştur. Bu sonuçlar eşliğinde eylül ayı için hesaplamalar yapılmıştır.



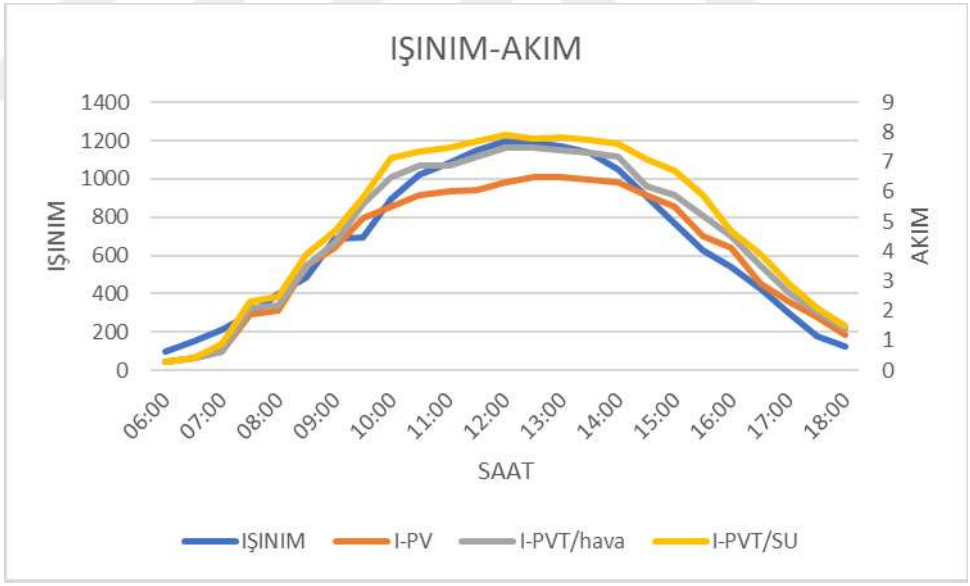
Şekil 5.23. Işınım-güç grafiği

Şekil 5.23'te görüldüğü üzere Işınım-Güç grafiğine göre su ile soğutma yapılan sistemin güç çıktıları en yüksek görülmüştür. Endüşük değer ise, soğutma yapılmayan sistemde gerçekleşmiş olup literatüre uygun çıkmıştır.



Şekil 5.24. Işınım-Elektriksel verim grafiği

Şekil 5.24'te ışınımın artmasıyla elektriksel verimde de artış olmuştur.En yüksek, değer su ile soğutma yapılan hibrit sistemde, en düşük değer ise soğutma yapılmayan fotovoltaik sistemde gerçekleşmiş olup literatüre uygun çıkmıştır.



Şekil 5.25. Işınım-Akım grafiği

Şekil 5.25'te ışınıma bağlı olarak akımda da bir artış saptanmıştır. 11:00-14:00 saatleri arasında maksimum değer tespit edilmiş olup literatüre uygun çıkmıştır.

5.2.1. Eylül Ayı İçin Ekserji Hesabı

Tablo 5.8'e göre Eylül ayı için en yüksek ışınım değerine sahip olan gün için yapılan ekserji analiz sonuçları hesaplanmıştır. Bu analiz için Eylül ayı içinde en yüksek ışınım değerine sahip gün ele alınarak işlem yapılmıştır. Tablo 5.9'da ekserji sonuçlarını göstermiştir.

Tablo 5.8. Dış Etkenler

Saat	Işınım	Nem	Rüzgâr	T-dış	T-pv	T-pv/thava	T-pv/tsu
06:00	95	35	0,5	25	25	25	25
06:30	150	35	0,4	25	25	25	25
07:00	210	35,1	0	25	27	26	25
07:30	292	35,3	0	26	28	26	25
08:00	398	35,8	0,5	27,8	38	35	30
08:30	490	25,3	0,2	30,2	41	37	31
09:00	690	15,3	0,1	35,4	47	42	35
09:30	693	18,9	0,2	32,2	52	50	36
10:00	899	17,6	0,3	31,7	56	52	38
10:30	1024	18,2	0,4	33,3	59	53	39
11:00	1082	19,8	0,2	34,2	63	57	44
11:30	1150	17,5	0,2	35,5	64	58	48
12:00	1197	14,6	0,2	37,6	67	60	49
12:30	1189	8,3	1,3	45,01	62	57	51
13:00	1168	14,5	2,5	38,1	60	56	47
13:30	1138	11,1	1,9	38,8	59	54	45
14:00	1053	17,8	1,8	38,6	58	51	44
14:30	910	6,5	1,9	37,6	57	51	43
15:00	770	11,5	1,3	40,3	55	44	42
15:30	630	10,6	1,2	40,5	50	43	42
16:00	542	10,5	1,8	41,1	48	42	42
16:30	428	11,2	3,6	40,8	47	42	41,89
17:00	402	12,3	3,5	35,2	46	40	37
17:30	180	13,1	3,1	35	44	41	36
18:00	122	13,5	2,9	30	37	39	32

Tablo 5.9. Eylül ayı ekserji çıktısı

EKSERJİ-PV	EKSERJİ-PV/Hava	EKSERJİ-PV/Tsu	IŞINIM
0.0473	0.078	0.106	1197

5.2.2. Eylül Ayı için Termal Verim Hesabı

Eylül ayı için en yüksek ışınım değerine sahip olan gün için termal verim hesabı yapıldı. Verim hesaplamasında su ile soğutulan sistemin termal verimi hava ile soğutulan sistemin termal veriminden yüksek çıkmıştır.

Tablo 5.10. Eylül ayı termal verim

Işınım	ηPV/T-Ter.SU	ηpv/T-Ter. HAVA
1197	0.0017049	0.0014034

5.2.3. Eylül Ayı İçin Verim Karşılaştırması

Eylül ayı için elektriksel ve termal verimler yapılıp ekserji analizi hesaplanmıştır. Elektriksel verimin en düşük olduğu hibrit sistemimizin hava ile soğutma işlemi yapılan düzenekte çıkmıştır. En yüksek olduğu hibrit sistem ise su ile soğutma işlemi yapılan sistemde elde edilmiştir.

Tablo 5.11. Eylül ayı termal verim hesabı

Işınım	ηPV/T-Ter.SU	ηpv/T-Ter. HAVA	ηpv/T-SU	ηpv/T-hava	ηpv
1197	0.0017049	0.0014034	0.111677075	0.100281247	0.085843809

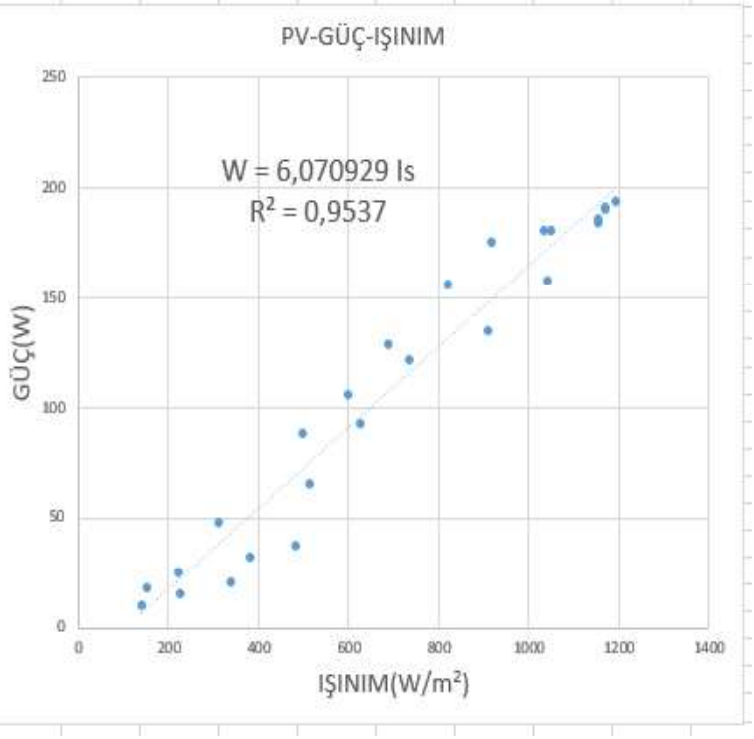
5.3. PVT Sistemlerinin Ampirik Bağıntıları

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen verilerin ampirik bağıntıları, farklı debi ve farklı kanal yüksekliklerine bağlı olarak grafiklere dökülerek literatüre aktarılmıştır.

5.3.1. Debinin 0.016l/s ve Kanal yüksekliğinin 5mm Olduğu Andaki Bağıntılar

Kanal yüksekliğinin 5 mm, debimizinde 0.16 l/s, hava hızının ise 1.8m/s olduğu andaki ampirik bağıntılarımızı aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

SAAT	IŞINIM	T-PV
06:00	141	26
06:30	227	28
07:00	340	30
07:30	380	31,5
08:00	480	32
08:30	511	34
09:00	625	40
09:30	735	43
10:00	910	45
10:30	1042	49,8
11:00	1049	55
11:30	1152	65
12:00	1168	70
12:30	1192	72
13:00	1169	70
13:30	1155	66
14:00	1035	60
14:30	916	55
15:00	821	52
15:30	689	50
16:00	598	47
16:30	497	44
17:00	311	42
17:30	220	40,9
18:00	150	40



Şekil 5.26. PV için güç-ışınım ilişkisi

Şekil 5.26'da soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri:

Çoklu R :0.991377592

R Kare :0.982829529

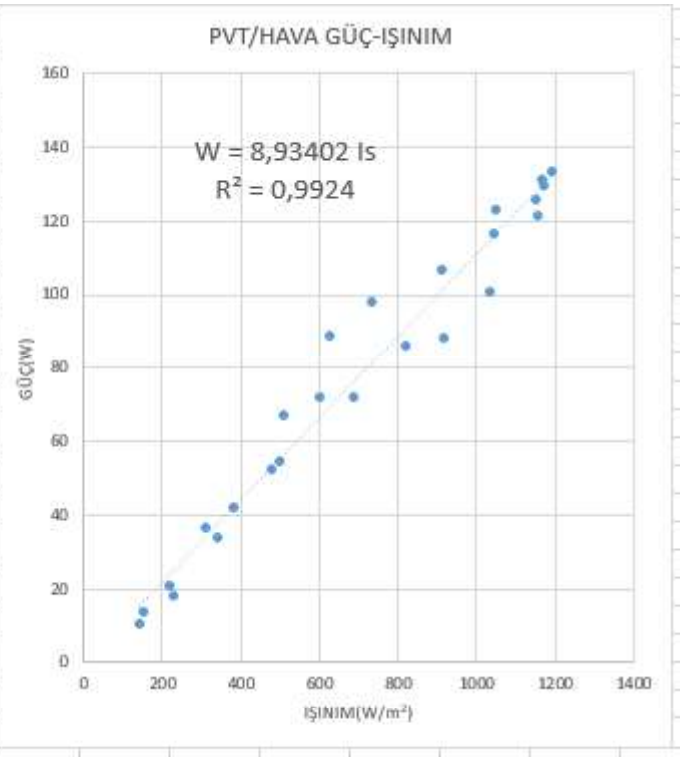
Ayarlı R Kare :0.941162863

Standart Hata :17.14748033

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim 0: X Değişkeni 6.070929

SAAT	IŞINIM	T-pv/thava
06:00	141	26
06:30	227	29
07:00	340	31
07:30	380	33
08:00	480	42
08:30	511	45
09:00	625	52
09:30	735	56
10:00	910	58
10:30	1042	59
11:00	1049	62
11:30	1152	76
12:00	1168	78
12:30	1192	84
13:00	1169	81
13:30	1155	80
14:00	1035	76
14:30	916	72
15:00	821	70
15:30	689	67
16:00	598	62
16:30	497	60
17:00	311	56
17:30	220	53
18:00	150	50



Şekil 5.27. PV/T-Hava için güç-ışınım ilişkisi

Şekil 5.27'de hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.996194719

R Kare :0.992403919

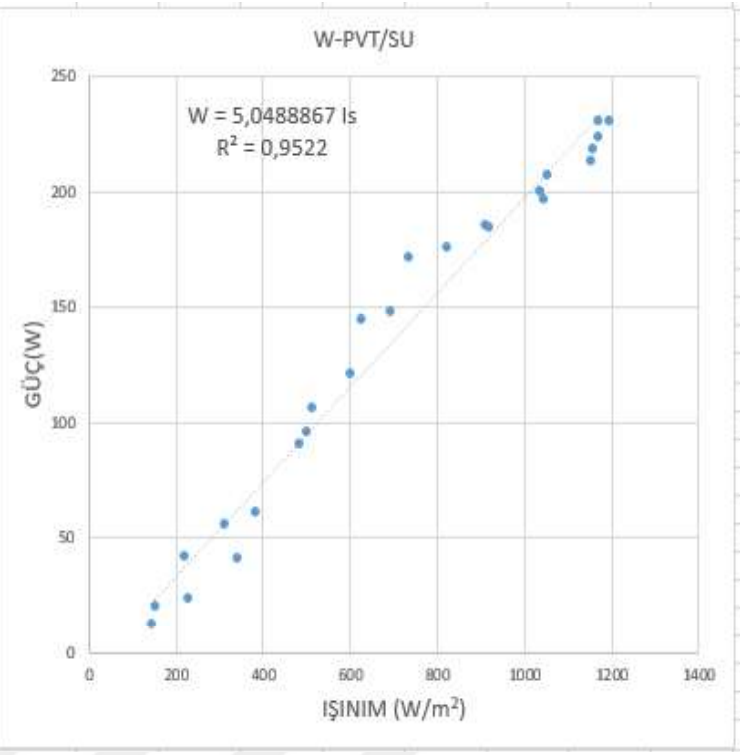
Ayarlı R Kare :0.950737252

Standart Hata :7.787843631

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 8,93402

SAAT	IŞINIM	T-pv/tsu
06:00	141	25
06:30	227	25,1
07:00	340	25,6
07:30	380	25,9
08:00	480	26
08:30	511	26,4
09:00	625	28
09:30	735	29
10:00	910	31,5
10:30	1042	32
11:00	1049	37
11:30	1152	42
12:00	1168	51
12:30	1192	54
13:00	1169	50
13:30	1155	46
14:00	1035	40
14:30	916	35
15:00	821	31
15:30	689	30
16:00	598	29
16:30	497	27
17:00	311	26
17:30	220	26
18:00	150	25,2



Şekil 5.28. PV/T-Su için güç-ışınım ilişkisi

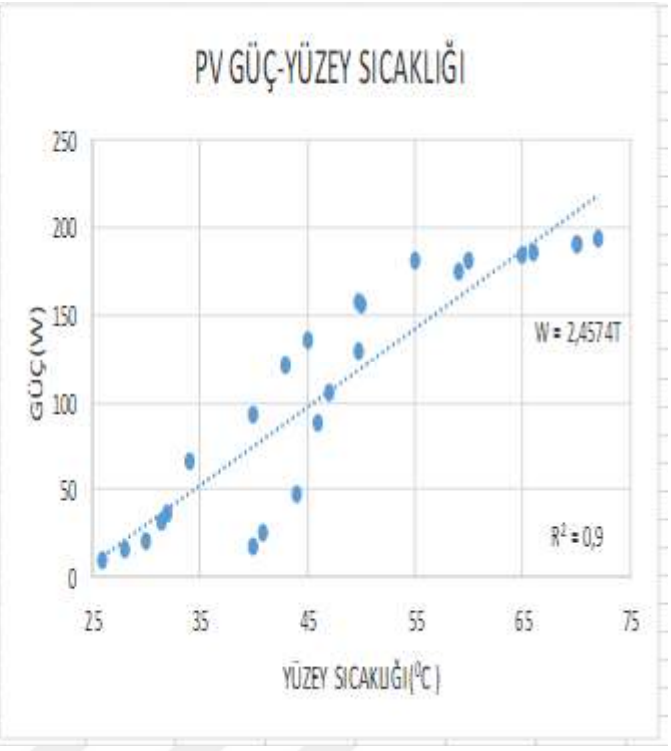
Şekil 5.28'de su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Debinin 0.016l/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri:

Çoklu R	0,996970859
R Kare	0,993950894
Ayarlı R Kare	0,952284228
Standart Hata	12,30715658
Gözlem	25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1: 5,048886725

SAAT	IŞINIM	T-PV
06:00	141	26
06:30	227	28
07:00	340	30
07:30	380	31,5
08:00	480	32
08:30	511	34
09:00	625	40
09:30	735	43
10:00	910	45
10:30	1042	49,8
11:00	1049	55
11:30	1152	65
12:00	1168	70
12:30	1192	72
13:00	1169	70
13:30	1155	66
14:00	1035	60
14:30	916	55
15:00	821	52
15:30	689	50
16:00	598	47
16:30	497	44
17:00	311	42
17:30	220	40,9
18:00	150	40



Şekil 5.29. PV için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.29'da soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait güç- yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığındaki belli bir noktaya kadar ki artış güçte de artış sağlar. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,951922627

R Kare :0,906156688

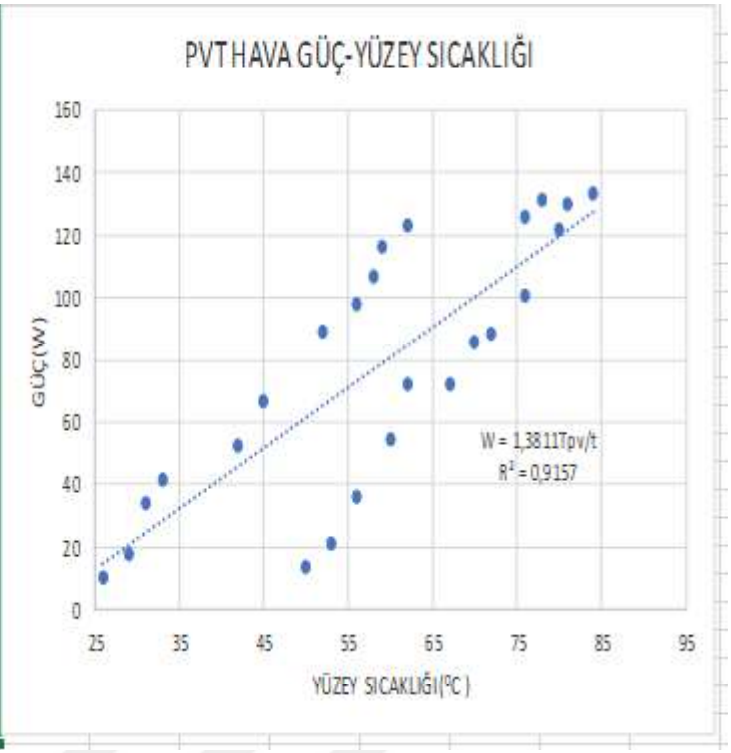
Ayarlı R Kare :0,864490021

Standart Hata :40,08767564

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1: 2,457397966

SAAT	IŞINIM	T-pv/thava
06:00	141	26
06:30	227	29
07:00	340	31
07:30	380	33
08:00	480	42
08:30	511	45
09:00	625	52
09:30	735	56
10:00	910	58
10:30	1042	59
11:00	1049	62
11:30	1152	76
12:00	1168	78
12:30	1192	84
13:00	1169	81
13:30	1155	80
14:00	1035	76
14:30	916	72
15:00	821	70
15:30	689	67
16:00	598	62
16:30	497	60
17:00	311	56
17:30	220	53
18:00	150	50



Şekil 5.30. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.30'da hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığıyla birlikte belli bir noktaya kadar güçte de artış tespit edilmiştir. Güç-yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.9569519

R Kare :0.915756939

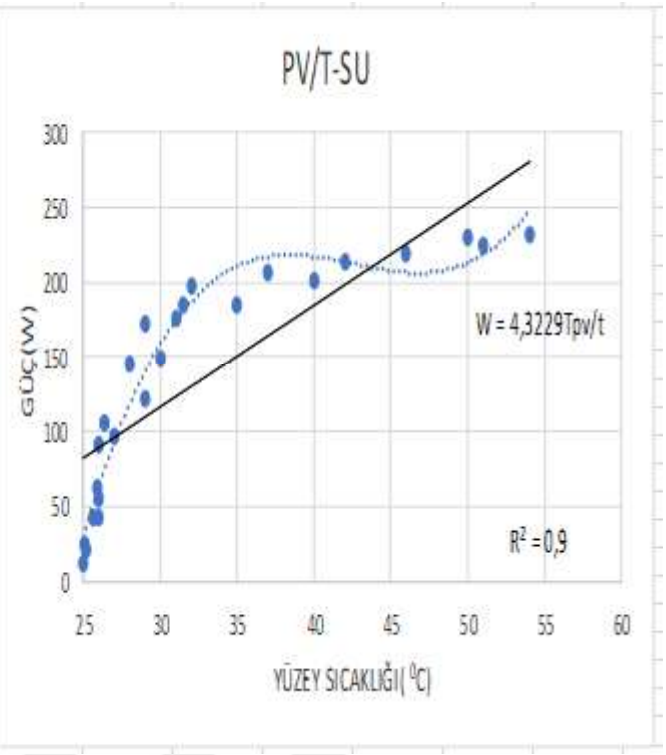
Ayarlı R Kare :0.874090273

Standart Hata :25.93519373

Gözlem 25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1: 1.381097198

SAAT	IŞINIM	T-pv/tsu
06:00	141	25
06:30	227	25,1
07:00	340	25,6
07:30	380	25,9
08:00	480	26
08:30	511	26,4
09:00	625	28
09:30	735	29
10:00	910	31,5
10:30	1042	32
11:00	1049	37
11:30	1152	42
12:00	1168	51
12:30	1192	54
13:00	1169	50
13:30	1155	46
14:00	1035	40
14:30	916	35
15:00	821	31
15:30	689	30
16:00	598	29
16:30	497	27
17:00	311	26
17:30	220	26
18:00	150	25,2



Şekil 5.31. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.31'de su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Debinin 0.016l/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığında belli bir noktaya kadar ki artışla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Daha sonra ise düşme gözükmektedir. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.951342292

R Kare :0.905052157

Ayarlı R Kare :0.86338549

Standart Hata :48.758989

Gözlem :25

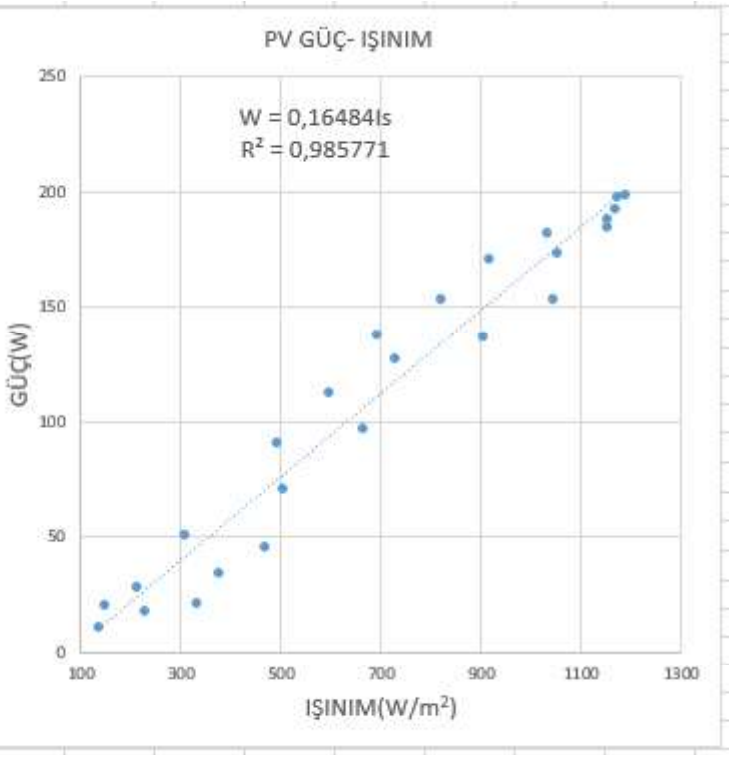
Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1 : 4.322898267

5.3.2. Debinin 0.032l/s ve Kanal yüksekliğinin 5mm Olduğu Andaki Bağıntılar

Kanal yüksekliğini 5mm'de sabit tutup, debi miktarını 0.032 l/s'ye çıkardığımızda elde edilen ampirik bağıntılarımız aşağıdaki gibi oluşmuştur.

Şekil 5.32. PV için güç-ışınım.

SAAT	IŞINIM	T-pv
06:00	134	25,52
06:30	226	26
07:00	330	27
07:30	375	28
08:00	469	32
08:30	505	34
09:00	665	40
09:30	729	43
10:00	903	45
10:30	1043	49,8
11:00	1050	55
11:30	1153	65
12:00	1168	70
12:30	1189	72
13:00	1170	70
13:30	1150	66
14:00	1032	60
14:30	916	59
15:00	820	50
15:30	690	49,8
16:00	597	47
16:30	490	46
17:00	308	44
17:30	212	40,9
18:00	148	40



Şekil 5.32'de soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.992860102

R Kare :0.985771182

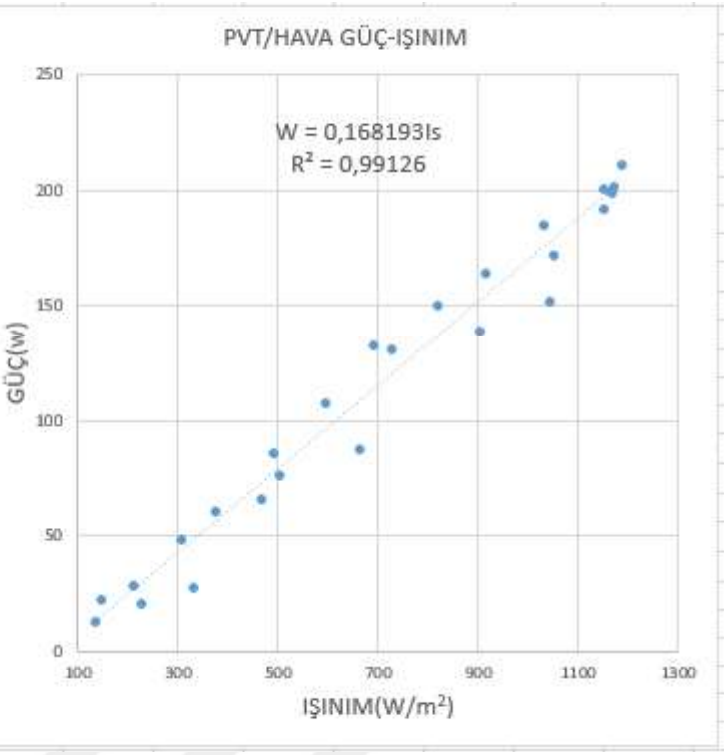
Ayarlı R Kare :0.944104515

Standart Hata :15.85508767

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1 0.164840581

SAAT	IŞINIM	T-pv/thava
06:00	134	25,4
06:30	226	26
07:00	330	26,6
07:30	375	27,8
08:00	469	32
08:30	505	33
09:00	665	35
09:30	729	36
10:00	903	39
10:30	1043	41
11:00	1050	45
11:30	1153	50
12:00	1168	56
12:30	1189	61
13:00	1170	59
13:30	1150	52
14:00	1032	50
14:30	916	45
15:00	820	43
15:30	690	43
16:00	597	42,1
16:30	490	42
17:00	308	41
17:30	212	40
18:00	148	37



Şekil 5.33. PV/T-Hava için güç-ışınım

Şekil 5.33'te hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Hava hızının 3m/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.995620619

R Kare :0.991260417

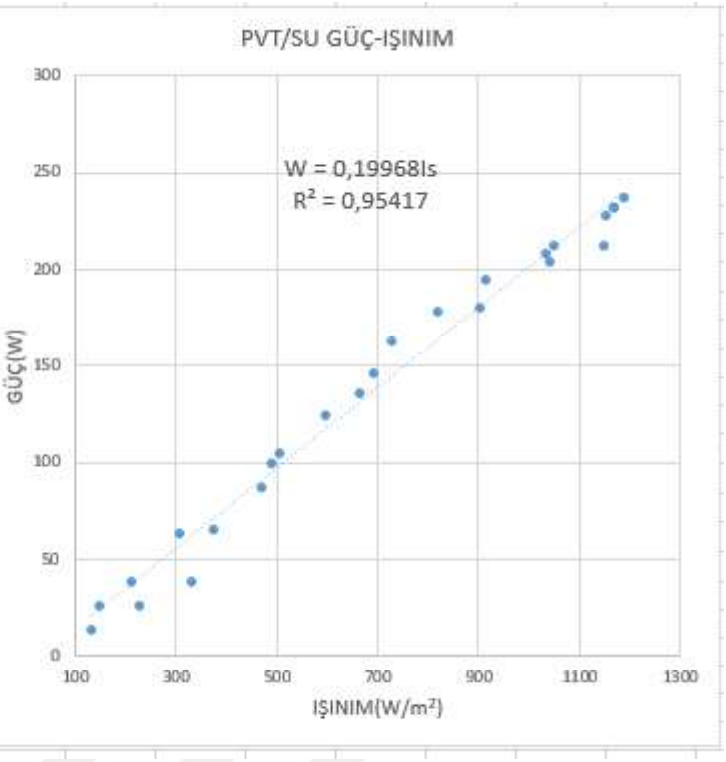
Ayarlı R Kare :0.94959375

Standart Hata :12.64347479

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim 0 X Değişkeni 1 : 0.168192577

SAAT	IŞINIM	T-pv/tsu
06:00	134	25
06:30	226	25
07:00	330	25
07:30	375	25
08:00	469	25
08:30	505	26
09:00	665	29
09:30	729	30
10:00	903	32
10:30	1043	34
11:00	1050	36
11:30	1153	41
12:00	1168	49
12:30	1189	53
13:00	1170	51
13:30	1150	45
14:00	1032	37
14:30	916	32
15:00	820	30
15:30	690	30
16:00	597	28
16:30	490	27
17:00	308	27
17:30	212	25
18:00	148	25



Şekil 5.34. PV/T-Su için güç-ışınım

Şekil 5.34'te su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Debinin 0.032l/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0.99791796

R Kare :0.995840255

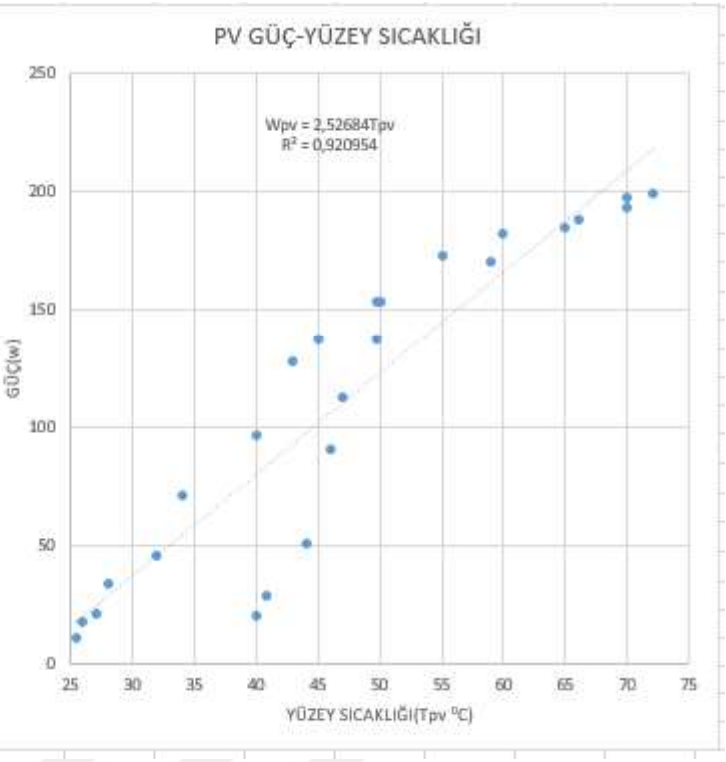
Ayarlı R Kare :0.954173588

Standart Hata :10.33194752

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 : 0.19968043

SAAT	IŞINIM	T-pv
06:00	134	25,52
06:30	226	26
07:00	330	27
07:30	375	28
08:00	469	32
08:30	505	34
09:00	665	40
09:30	729	43
10:00	903	45
10:30	1043	49,8
11:00	1050	55
11:30	1153	65
12:00	1168	70
12:30	1189	72
13:00	1170	70
13:30	1150	66
14:00	1032	60
14:30	916	59
15:00	820	50
15:30	690	49,8
16:00	597	47
16:30	490	46
17:00	308	44
17:30	212	40,9
18:00	148	40



Şekil 5.35. PV için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.35'te soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait güç- yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığındaki belli bir noktaya kadar ki artış güçte de artış sağlar. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,959663448

R Kare :0,920953934

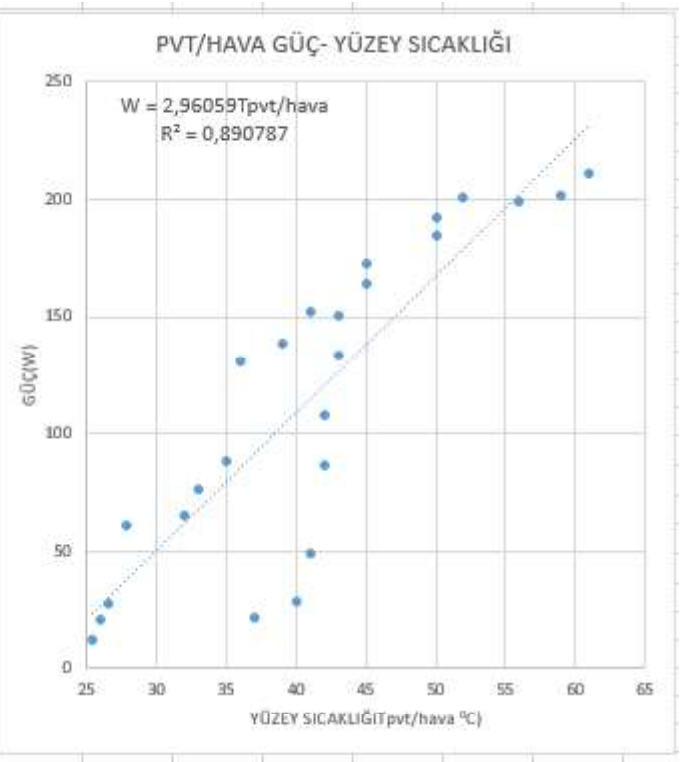
Ayarlı R Kare :0,879287268

Standart Hata :37,37010861

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :2,526841771

SAAT	IŞINIM	T-pv/thava
06:00	134	25,4
06:30	226	26
07:00	330	26,6
07:30	375	27,8
08:00	469	32
08:30	505	33
09:00	665	35
09:30	729	36
10:00	903	39
10:30	1043	41
11:00	1050	45
11:30	1153	50
12:00	1168	56
12:30	1189	61
13:00	1170	59
13:30	1150	52
14:00	1032	50
14:30	916	45
15:00	820	43
15:30	690	43
16:00	597	42,1
16:30	490	42
17:00	308	41
17:30	212	40
18:00	148	37



Şekil 5.36. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.36'da hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Hava hızının 3m/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığıyla birlikte belli bir noktaya kadar güçte de artış tespit edilmiştir. Güç-yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Önceki debi ile yapılan ölçümlerden daha yüksek değer elde edilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,94381531

R Kare :0,890787339

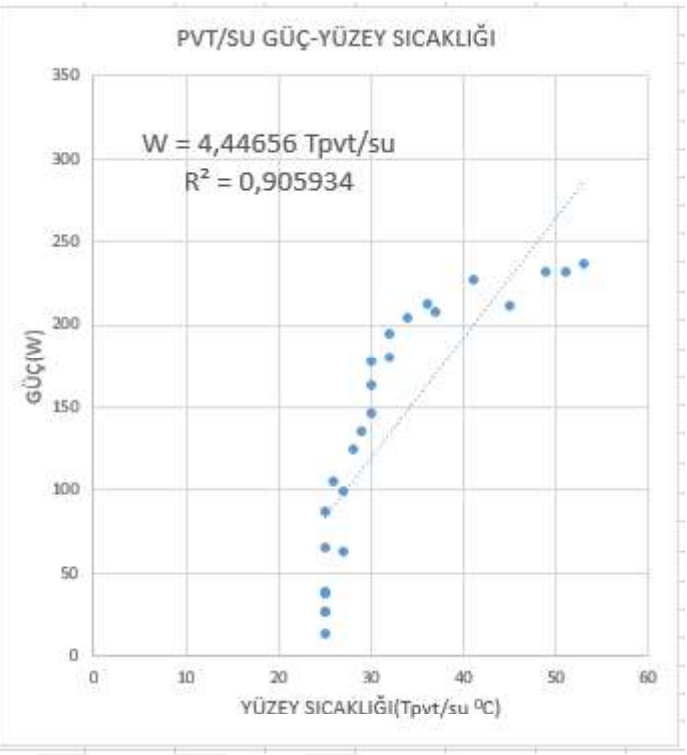
Ayarlı R Kare :0,849120672

Standart Hata :44,69486076

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 : 2,960590196

SAAT	IŞINIM	T-pv/tsu
06:00	134	25
06:30	226	25
07:00	330	25
07:30	375	25
08:00	469	25
08:30	505	26
09:00	665	29
09:30	729	30
10:00	903	32
10:30	1043	34
11:00	1050	36
11:30	1153	41
12:00	1168	49
12:30	1189	53
13:00	1170	51
13:30	1150	45
14:00	1032	37
14:30	916	32
15:00	820	30
15:30	690	30
16:00	597	28
16:30	490	27
17:00	308	27
17:30	212	25
18:00	148	25



Şekil 5.37. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.37'de su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Debinin 0,032l/s ve kanal yüksekliğinin ise 5mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığında belli bir noktaya kadar ki artışla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Daha sonra ise düşme gözükmektedir. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Debi miktarındaki artış güçtede artışa neden olmuştur. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,951805431

R Kare :0,905933579

Ayarlı R Kare :0,864266912

Standart Hata :49,13219042

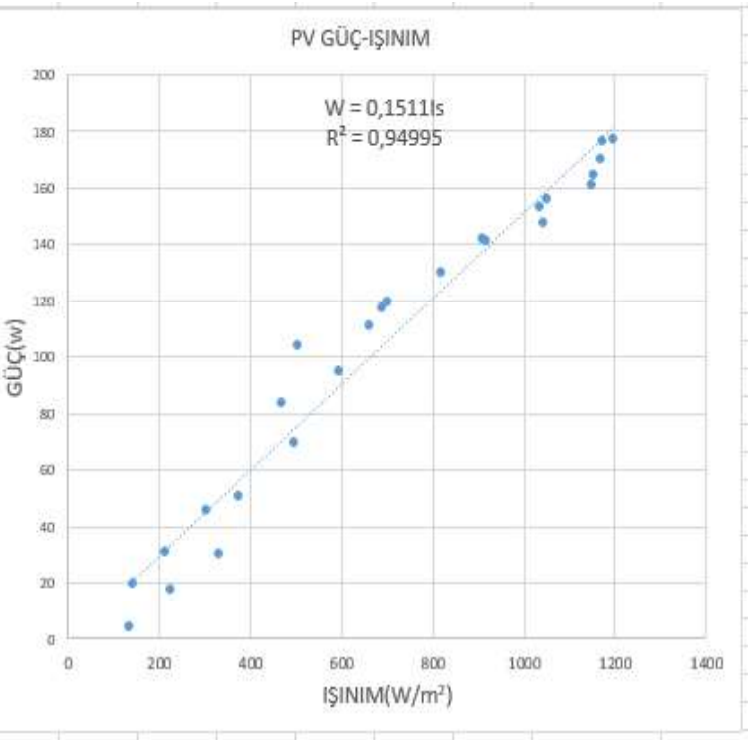
Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 : 4,446559532

5.3.3. Debinin 0.016l/s ve Kanal yüksekliğinin 3mm Olduğu Andaki Bağıntılar

Debimizi 0.016l/s'de sabit tutup kanal yüksekliğini 3mm'ye indirdiğimiz andaki ampirik bağıntılarımız aşağıdaki gibi olmaktadır.

SAAT	IŞINIM	T-PV
06:00	132	27
06:30	223	28
07:00	330	30
07:30	372	32
08:00	465	33
08:30	502	34
09:00	660	35
09:30	700	42
10:00	906	49
10:30	1042	52
11:00	1047	56
11:30	1152	67
12:00	1165	69
12:30	1195	71
13:00	1171	69
13:30	1147	65
14:00	1034	59
14:30	913	57
15:00	815	52
15:30	688	50
16:00	594	49
16:30	494	47
17:00	302	45,3
17:30	210	42,3
18:00	140	40,1



Şekil 5.38. PV için güç-ışınım

Şekil 5.38'de soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,995803653

R Kare :0,991624915

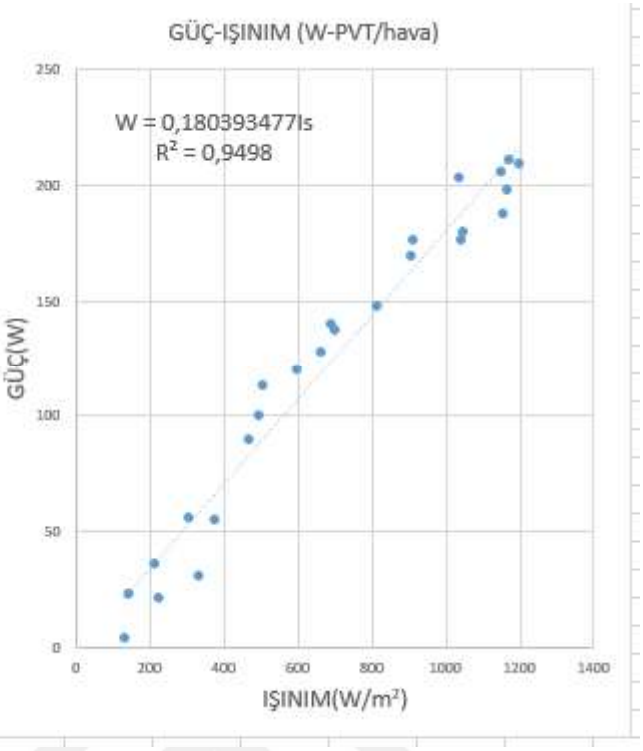
Ayarlı R Kare :0,949958249

Standart Hata :11,08837135

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 : 0,151103123

SAAT	IŞINIM	T-PVT/Hava
06:00	132	26
06:30	223	26,5
07:00	330	28
07:30	372	30
08:00	465	32
08:30	502	34
09:00	660	34
09:30	700	36
10:00	906	39
10:30	1042	44
11:00	1047	48
11:30	1152	50
12:00	1165	56
12:30	1195	61
13:00	1171	59
13:30	1147	52
14:00	1034	50
14:30	913	45
15:00	815	43
15:30	688	43
16:00	594	42,1
16:30	494	42
17:00	302	41
17:30	210	40
18:00	140	37



Şekil 5.39. PV/T-Hava için güç-ışınım

Şekil 5.39'da hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait ışınım-güç grafiği görülmektedir. Hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,995736874

R Kare :0,991491922

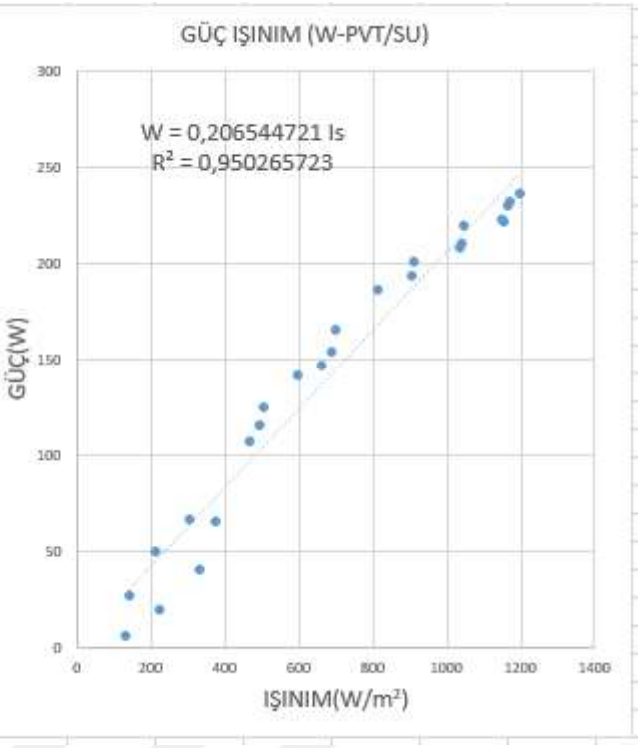
Ayarlı R Kare :0,949825255

Standart Hata :13,34336629

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 : 0,180393477

SAAT	IŞINIM	T-PVT/SU
06:00	132	25
06:30	223	25
07:00	330	25
07:30	372	25
08:00	465	25
08:30	502	26
09:00	660	29
09:30	700	30
10:00	906	32
10:30	1042	34
11:00	1047	36
11:30	1152	41
12:00	1165	49
12:30	1195	53
13:00	1171	51
13:30	1147	45
14:00	1034	37
14:30	913	32
15:00	815	30
15:30	688	30
16:00	594	28
16:30	494	27
17:00	302	27
17:30	210	25
18:00	140	25



Şekil 5.40. PV/T-Su için güç-ışınım

Şekil 5.40'ta su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Debinin 0.016l/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,995958026

R Kare :0,99193239

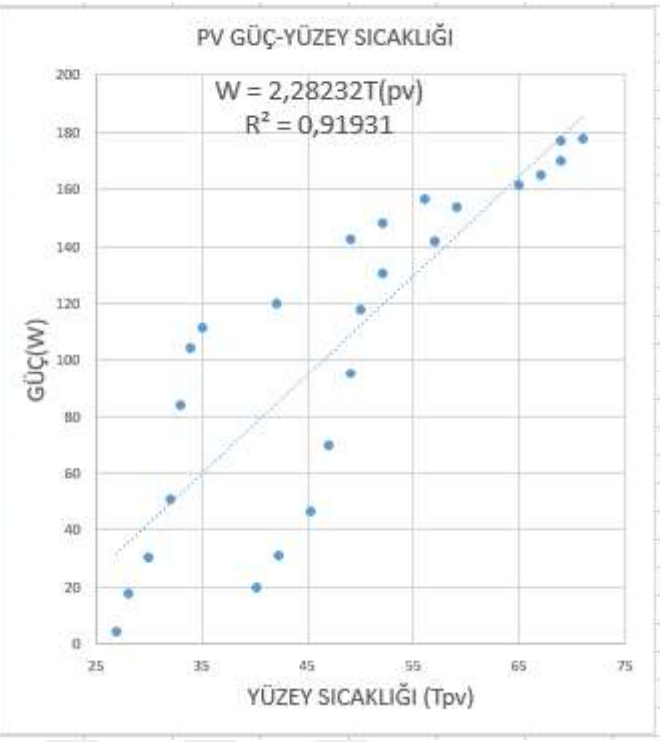
Ayarlı R Kare :0,950265723

Standart Hata :14,87369743

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :0,206544721

SAAT	IŞINIM	T-PV
06:00	132	27
06:30	223	28
07:00	330	30
07:30	372	32
08:00	465	33
08:30	502	34
09:00	660	35
09:30	700	42
10:00	906	49
10:30	1042	52
11:00	1047	56
11:30	1152	67
12:00	1165	69
12:30	1195	71
13:00	1171	69
13:30	1147	65
14:00	1034	59
14:30	913	57
15:00	815	52
15:30	688	50
16:00	594	49
16:30	494	47
17:00	302	45,3
17:30	210	42,3
18:00	140	40,1



Şekil 5.41. PV için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.41'de soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait güç- yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığındaki belli bir noktaya kadar ki artış güçte de artış sağlar. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafiğe konu olan formül ise saat 10:00 ile 14:30 arasındaki verilere göre çıkarılmıştır. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,958808117

R Kare :0,919313006

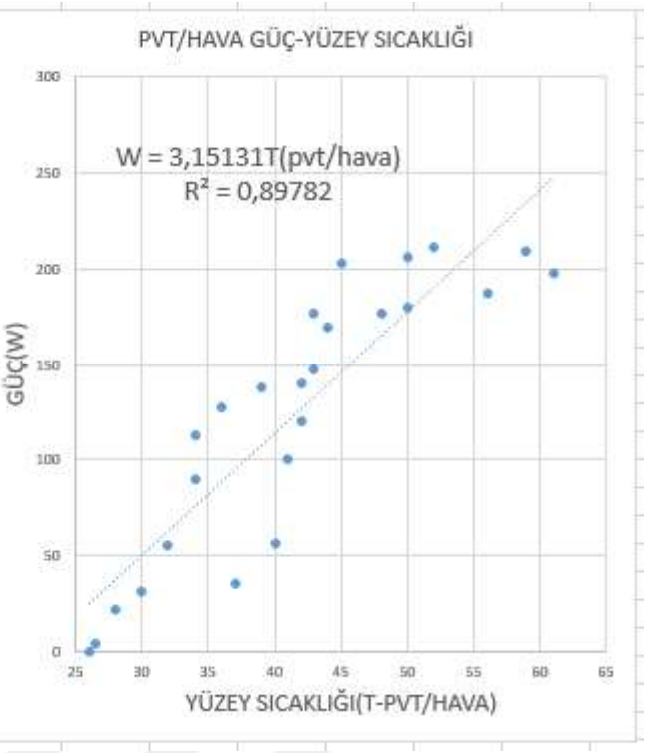
Ayarlı R Kare :0,877646339

Standart Hata :34,4171516

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1: 2,282321247

SAAT	IŞINIM	T-PVT/Hava
06:00	132	26
06:30	223	26,5
07:00	330	28
07:30	372	30
08:00	465	32
08:30	502	34
09:00	660	34
09:30	700	36
10:00	906	39
10:30	1042	44
11:00	1047	48
11:30	1152	50
12:00	1165	56
12:30	1195	61
13:00	1171	59
13:30	1147	52
14:00	1034	50
14:30	913	45
15:00	815	43
15:30	688	43
16:00	594	42,1
16:30	494	42
17:00	302	41
17:30	210	40
18:00	140	37



Şekil 5.42. PV/T-Hava için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.42'de hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Hava hızının 1.8m/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığıyla birlikte belli bir noktaya kadar güçte de artış tespit edilmiştir. Güç-yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,94753828

R Kare : 0,897828792

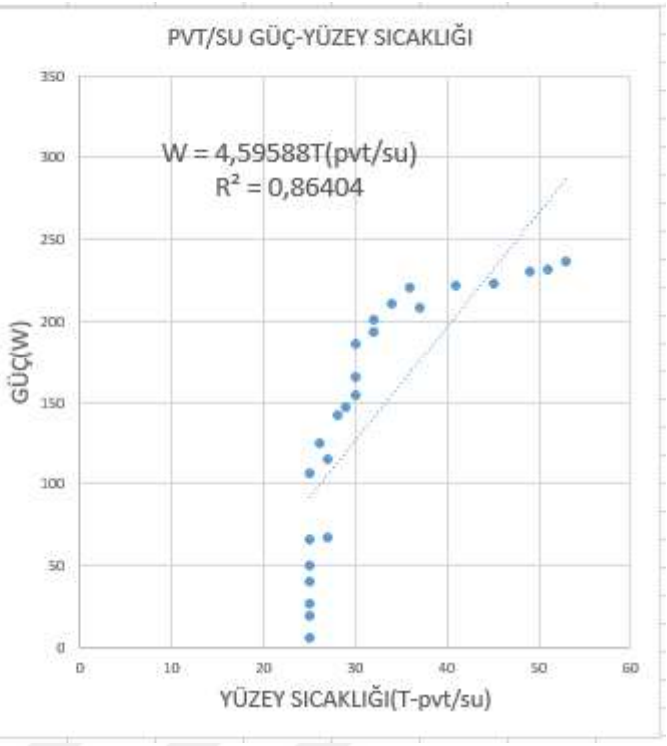
Ayarlı R Kare :0,856162125

Standart Hata :46,23958561

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :3,151318331

SAAT	IŞINIM	T-PVT/SU
06:00	132	25
06:30	223	25
07:00	330	25
07:30	372	25
08:00	465	25
08:30	502	26
09:00	660	29
09:30	700	30
10:00	906	32
10:30	1042	34
11:00	1047	36
11:30	1152	41
12:00	1165	49
12:30	1195	53
13:00	1171	51
13:30	1147	45
14:00	1034	37
14:30	913	32
15:00	815	30
15:30	688	30
16:00	594	28
16:30	494	27
17:00	302	27
17:30	210	25
18:00	140	25



Şekil 5.43. PV/T-Su için güç-yüzey sıcaklığı

Şekil 5.43'te su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-yüzey sıcaklığı grafiği görülmektedir. Debinin 0.016l/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, yüzey sıcaklığında belli bir noktaya kadar ki artışla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Daha sonra ise düşme gözükmektedir. Güç ile yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,951689762

R Kare :0,905713403

Ayarlı R Kare :0,864046737

Standart Hata :50,8477187

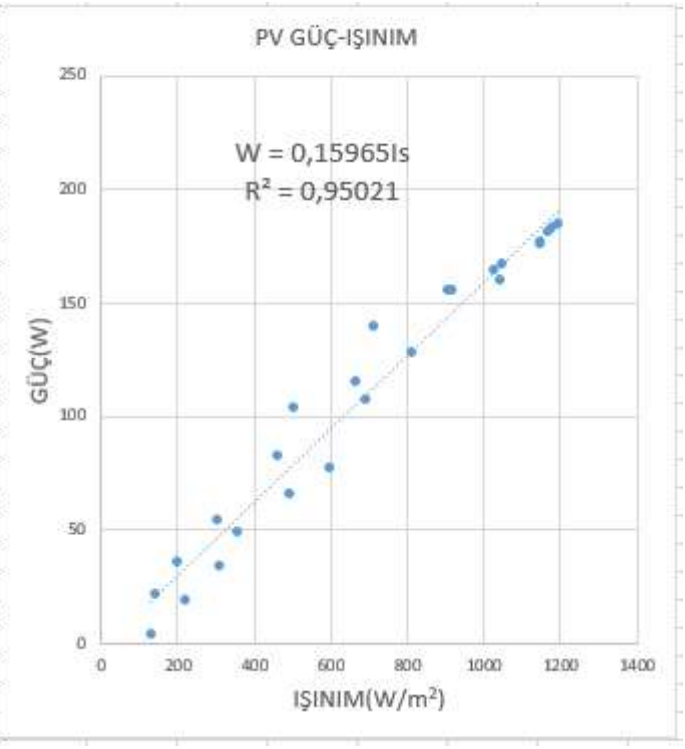
Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :4,595883451

5.3.4. Debinin 0.032l/s ve Kanal yüksekliğinin 3mm Olduğu Andaki Bağıntılar

Debi miktarını 0.032 l/s ve kanal yüksekliğinin 3 mm olduğu anda elde edilen ampirik bağıntılar aşağıda gösterilmiştir.

SAAT	IŞINIM	T-pv
06:00	129	28
06:30	221	28,32
07:00	310	30,25
07:30	356	32,12
08:00	462	34
08:30	502	35
09:00	662	37
09:30	710	40
10:00	905	47
10:30	1042	51
11:00	1047	55
11:30	1145	64
12:00	1164	67
12:30	1190	70
13:00	1175	68
13:30	1146	63
14:00	1024	54
14:30	913	50
15:00	811	49,2
15:30	688	48
16:00	594	47
16:30	491	45
17:00	301	44,6
17:30	200	44
18:00	140	42



Şekil 5.44. PV için güç-ışınım

Şekil 5.44'te soğutma yapılmayan fotovoltaik panele ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,995928088

R Kare :0,991872757

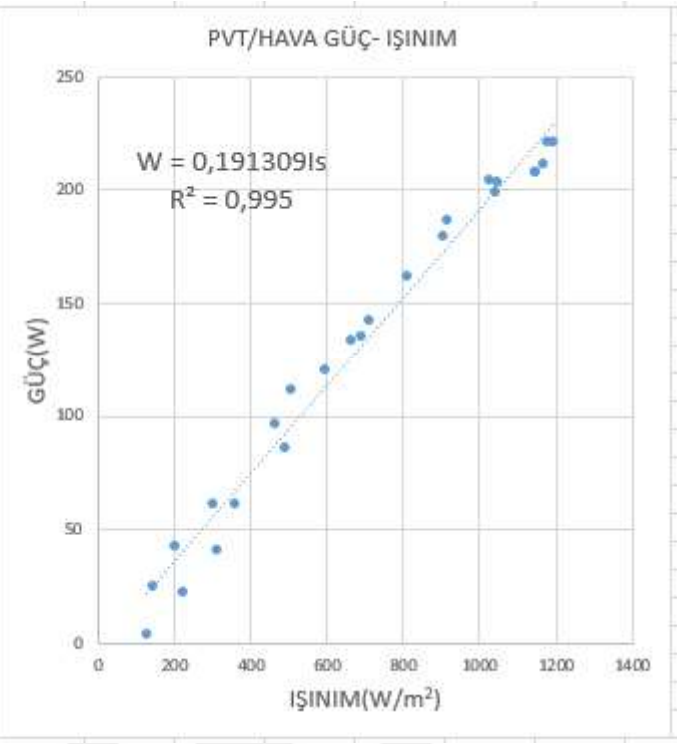
Ayarlı R Kare :0,95020609

Standart Hata 1 :1,51198484

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :0,159645452

SAAT	IŞINIM	T-pv/thava
06:00	129	28
06:30	221	28,12
07:00	310	29
07:30	356	30
08:00	462	32
08:30	502	33
09:00	662	34
09:30	710	35
10:00	905	39
10:30	1042	43
11:00	1047	47
11:30	1145	51
12:00	1164	55
12:30	1190	60
13:00	1175	58
13:30	1146	53
14:00	1024	51
14:30	913	47
15:00	811	45
15:30	688	44
16:00	594	43
16:30	491	40
17:00	301	39
17:30	200	38
18:00	140	37



Şekil 5.45. PV/T-Hava için güç-ışınım

Şekil 5.45'te hava ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Hava hızının 3m/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,997741623

R Kare :0,995488346

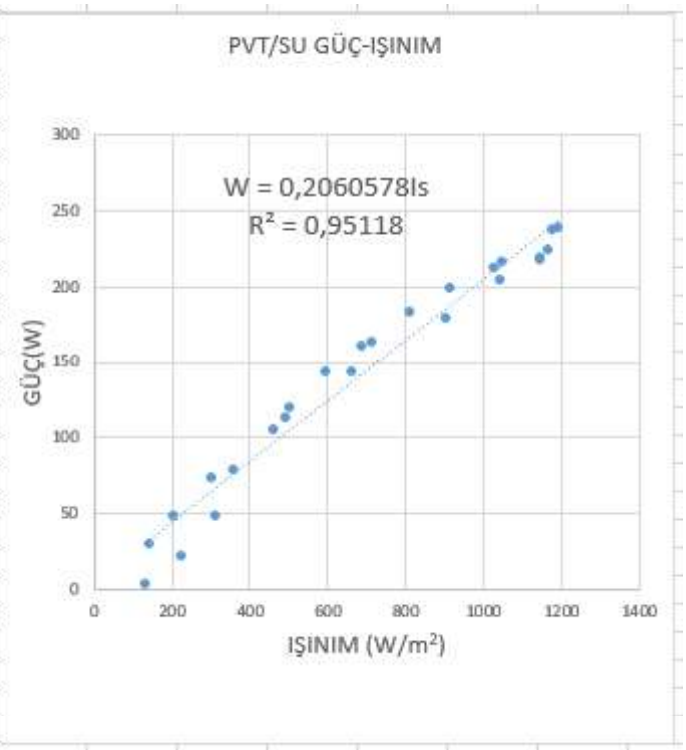
Ayarlı R Kare :0,953821679

Standart Hata :10,25973012

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :0,191309318

SAAT	IŞINIM	T-pv/tsu
06:00	129	25
06:30	221	25
07:00	310	25
07:30	356	25
08:00	462	25
08:30	502	27
09:00	662	28
09:30	710	31
10:00	905	33
10:30	1042	35
11:00	1047	37
11:30	1145	40
12:00	1164	48
12:30	1190	52
13:00	1175	50
13:30	1146	49
14:00	1024	41
14:30	913	37
15:00	811	36
15:30	688	30
16:00	594	29
16:30	491	28
17:00	301	28
17:30	200	27,6
18:00	140	25



Şekil 5.46. PV/T-Su için güç-ışınım

Şekil 5.46'da su ile soğutma yapılan hibrit fotovoltaik sisteme ait güç-ışınım grafiği görülmektedir. Debinin 0.032l/s ve kanal yüksekliğinin ise 3mm olduğu durum için sonuçlar bulunmuştur. Ölçümler sabah 6:00 ile akşam 18:00 arasında yapılmış olup, ışınımla birlikte güçte de artış tespit edilmiştir. Işınım ile güç arasındaki bağıntının formülü grafik üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen bu formül Batman ili ve çevresi için yapılmıştır. Bu grafiği elde etmek için regresyon yapılmış olup, sabit terim götürülmüştür. Regresyona ait veriler aşağıda verilmiştir.

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R :0,996418546

R Kare :0,99284992

Ayarlı R Kare :0,951183253

Standart Hata :13,93005322

Gözlem :25

Katsayılar: Kesişim :0 X Değişkeni 1 :0,206057827

Tablo 5.12. 5mm kanal yüksekliğinde alınan sonuçlar

SİSTEM TÜRÜ	PV	PVT/HAVA	PVT/SU
KANAL YÜKSEKLİĞİ	-	5mm	5mm
AKIŞKAN DURUMU	-	1.8m/s	0.016l/s
ELEKTRİKSEL VERİM	%9	%6.8	%11.8
TERMAL VERİM		%0.72	%0.35

Tablo 5.13. 5mm kanal yüksekliğinde farklı debide alınan sonuçlar

SİSTEM TÜRÜ	PV	PVT/HAVA	PVT/SU
KANAL YÜKSEKLİĞİ	-	5mm	5mm
AKIŞKAN DURUMU	-	3m/s	0.032l/s
ELEKTRİKSEL VERİM	%10.2	%10.8	%12.2
TERMAL VERİM	-	%0.7	%0.3

Tablo 5.14. 3mm kanal yüksekliğinde alınan sonuçlar

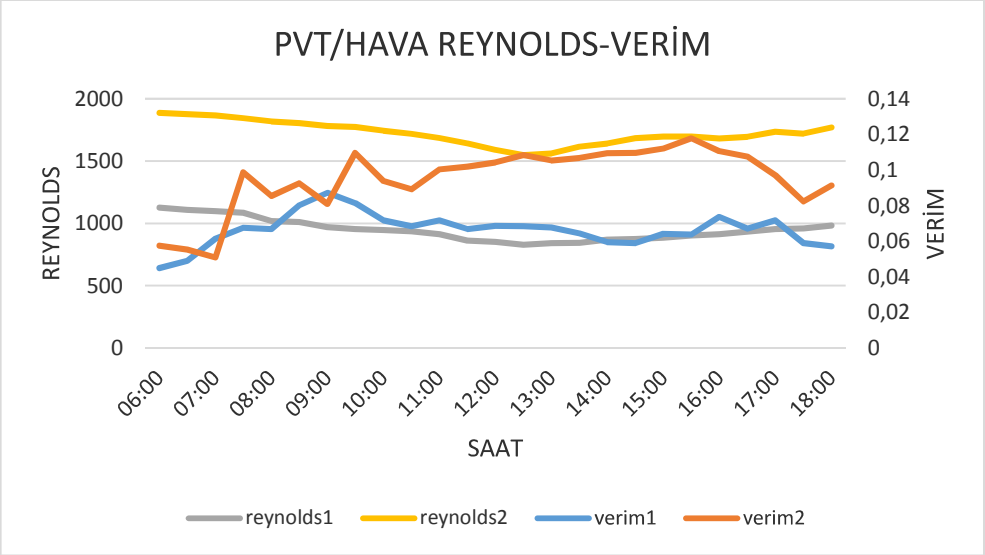
SİSTEM TÜRÜ	PV	PVT/HAVA	PVT/SU
KANAL YÜKSEKLİĞİ	-	3mm	3mm
AKIŞKAN DURUMU	-	1.8m/s	0.016l/s
ELEKTRİKSEL VERİM	%9.1	%10.7	%12.1
TERMAL VERİM	-	%0.34	%0.18

Tablo 5.15. 3mm kanal yüksekliğinde farklı debide alınan sonuçlar

SİSTEM TÜRÜ	PV	PVT/HAVA	PVT/SU
KANAL YÜKSEKLİĞİ	-	3mm	3mm
AKIŞKAN DURUMU	-	3m/s	0.032l/s
ELEKTRİKSEL VERİM	%9.5	%11.4	%12.3

5.4. Reynolds Sayısı Sonuçları

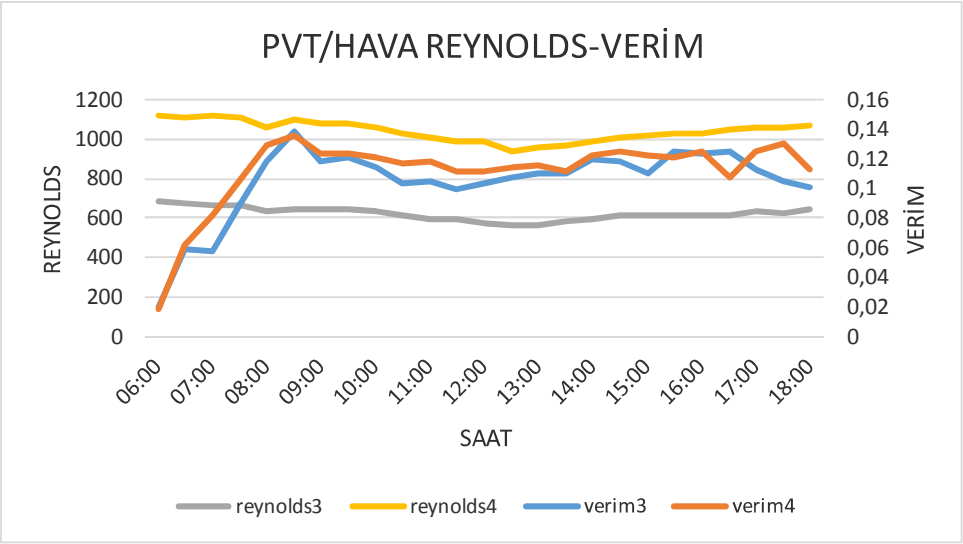
Farklı debi ve farklı kanal yüksekliğinde yapılan deneylerimizde hava ile soğutmalı sistemde elde edilen sonuçlar eşliğinde Reynolds sayısı bulunmuştur.



Şekil 5.47. Hava soğutmalı sistemde Reynolds sayısı verim karşılaştırması

Reynolds1 koşulunda 5mm kalınlıkta hava kanalı ve 1.8m/s hava hızı ile elde edilen Reynolds sayısını temsil etmektedir.Verim1 ise aynı koşullardaki verimi ifade etmektedir.

Reynolds2 koşulunda ise 5mm kalınlıktaki hava kanalı ve 3 m/s hava hızı ile elde edilen sonuç olup, verim2 ise aynı koşullardaki verimi ifade etmektedir.



Şekil 5.48. Hava soğutmalı sistemde Reynolds sayısı verim karşılaştırması

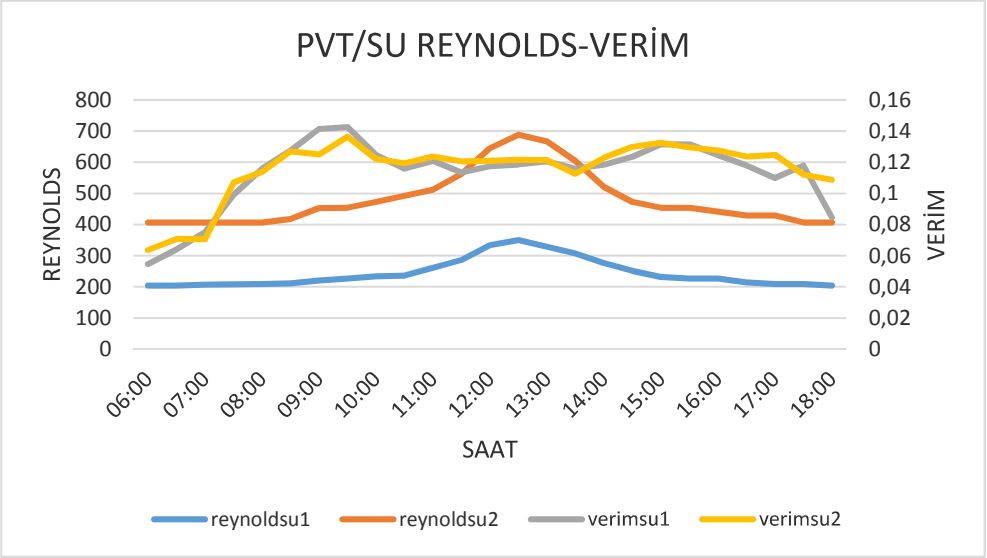
Reynolds3 koşulunda ise 3mm kalınlıktaki hava kanalı ve 1.8m/s hava hızı ile elde edilen sonuç olup, verim 3 ise aynı koşulları temsil etmektedir.

Reynolds4 koşulunda ise 3mm kalınlıktaki hava kanalı ve 3m/s hava hızı ile elde edilen sonuç olup, verim4 ise aynı koşulları temsil etmektedir.

Sonuç olarak 3mm yüksekliğindeki kanallı panelin verimi ve Reynolds sayısı daha yüksek çıkmıştır.

Reynoldsu1 koşulunda, su soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemde 0.016 l/s ve 5mm kanal yüksekliğinden elde edilen Reynolds sayısıdır. Verimsu1 ise aynı koşullardaki verimi ifade eder.

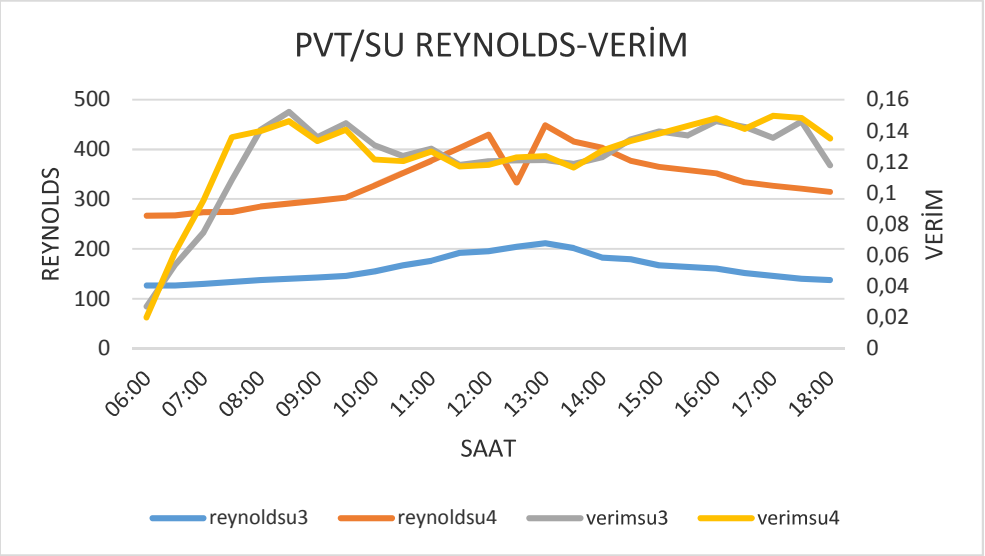
Reynoldsu2 koşulunda, su soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemde 0.032 l/s ve 5mm kanal yüksekliğinden elde edilen Reynolds sayısıdır. Verimsu2 ise aynı koşullardaki verimi ifade eder.



Şekil 5.49. 5mm kalınlıktaki su soğutmalı sistemin Reynolds sayısı ve verim karşılaştırması

Reynoldsu3 koşulunda, su soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemde 0.016 l/s ve 3mm kanal yüksekliğinden elde edilen Reynolds sayısıdır. Verimsu3 ise aynı koşullardaki verimi ifade eder.

Reynoldsu4 koşulunda, su soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemde 0.032 l/s ve 3mm kanal yüksekliğinden elde edilen Reynolds sayısıdır. Verimsu4 ise aynı koşullardaki verimi ifade eder.



Şekil 5.50. 3mm kalınlıktaki su soğutmalı sistemin Reynolds sayısı ve verim karşılaştırması

Re < 2300 Laminar akış

2300 < Re < 4000 Geçiş rejimi

Re > 4000 Türbülanslı akış

Sonuç olarak hava soğutmalı hibrit fotovoltaik sistem ile su soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemin Reynolds Sayıları 2300'den küçüktür. Bu sonucu almamızın en büyük sebebi, kanal uzunluğunun fazla olması, kanal yüksekliğinin küçük olması, debi ve hava hızının çok küçük olmasından dolayı meydana gelmiştir.

Bu konstrüksiyon, debinin 0.032 l/s ve hava hızının 3 m/s olduğu şartlarda orta kesimlerde şişme meydana getiriyordu. Bu debi ve hızın üstüne çıkılamadığından, sistem laminar akış olarak ortaya çıkmıştır.

5.5. Hata Analizi

Yapılacak olan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin doğruluğunu arttırmak için hata analizi yapılması gerekmektedir. Bu sebeple ölçüm cihazlarından kaynaklı hataları görmek için, sistemde kullanılan malzemelerin, deney düzeneğinin ve elde edilen verilerin düzgün analiz edilmesi gerekmektedir.

Deneyler sırasında ölçüm alınan aletlerin kalibrasyonu, hassasiyetleri, çalışma aralıkları, deney sahasında ki değişken meteorolojik şartları dikkatlice irdelememiz gerekmektedir. Alınan bu değerler sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Bu etkileri belirlemek için "belirsizlik analizi" yapmalıyız. Güneş enerjisi yardımıyla elde edilen güç ve verim değerlerinin güvenilirlik değerleri ölçülmüştür.

Batman şartlarında yapılmış olan deneyler, Kline'nin belirsizlik analizi hesaplamaları yardımıyla yapılmıştır. Kline'nin yapmış olduğu analiz, denklem 5.3'te gösterilmiştir. Burada R, yapılacak olan sistemde ölçülen büyüklük olarak ifade edilir. R'ye etki eden tüm bağımsız değişken miktarına ise n, değişkenlerede x diyelim.

Tüm belirsizlikler yani toplam belirsizlik ise denklem 5.4'te gösterilmiştir. ω'ler her bağımsız değişkene bağlı belirsizliktir. R'ye ait toplam belirsizlik ise denklem 5.5'te gösterilmiştir. Denklem 5.5'e ait her alt değere ait belirsizliği;

$\left(U_i = \frac{\partial x_i}{x_i}\right)$ Şeklinde gösterirsek, denklem 5.6'yı elde ederiz.

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \ldots . x_n) \tag{5.3}$$

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1}\omega_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2}\omega_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3}\omega_3\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n}\omega_n\right)^2\right]^{1/2} \tag{5.4}$$

$$\frac{\partial R}{R} = \left[\left(\frac{x_1}{R}\frac{\partial R}{\partial x_1}\frac{\partial x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{x_2}{R}\frac{\partial R}{\partial x_2}\frac{\partial x_2}{x_2}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{x_n}{R}\frac{\partial R}{\partial x_n}\frac{\partial x_n}{x_n}\right)^2\right]^{1/2} \tag{5.5}$$

$$U_R = \left[\left(\frac{x_1}{R}\frac{\partial R}{\partial x_1}U_1\right)^2 + \left(\frac{x_2}{R}\frac{\partial R}{\partial x_2}U_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{x_n}{R}\frac{\partial R}{\partial x_n}U_n\right)^2\right]^{1/2} \tag{5.6}$$

Panelimize ait sayısal verilerimiz:

Nominal güç Toleransı (W)	:0/+5%
Çalışma Aralığı	: -40°C~+85°C
Standart Test şartları	: Işınım,1000W/m², AM1.5, Modül 25°C

Solar Meter SM206 cihazına ait teknik özellikler:

Işınım aralığı	0.1~399.9. 1~3999 W/m^2
Çözünürlük	±10W/m^2
Hassasiyet	veya ±5% okumada (25°C ±0.38W/m^2 /°C
Hata payı	±0.12 Btu/(ft2-h)/°C
Yanıt zamanı	0.25 s

Extech EN 300 modeli 5 adet çevresel parametre (sıcaklık, nem, hava hızı, ışık ve gürültü) ölçümünü yapabilen anemometreye ait sayısal veriler:

Hava Hızı Ölçüm Aralığı : 0.4- 30 m/s Hassasiyet: 0.1 m/s ± 3 %

Sıcaklık (Termistör) Ölçüm Aralığı : 0 °C... +50 °C Hassasiyet : 0.1 °C- ± 1.2 °C

Bağıl Nem Ölçüm Aralığı : 10- 95% RH Hassasiyet : 0.1 %- 4% RH

T (K Tipi) Ölçüm Aralığı : -100 °C... 1300 °C Hassasiyet: 0.1 °C

Gürültü Ölçüm Aralığı : 35 dB- 130 dB Hassasiyet: 0.1 dB ± 1.4 dB

Batman'da yapılan deney düzeneğine etki eden parametreler bulundu. Hibrit fotovoltaik sistemden elde edilen elektriksel verim, güç, ekserji analizi, değerlerinin bulunması için ışınım ölçümündeki belirsizlikler, sıcaklık ölçümündeki belirsizlikler ve hız ölçümündeki belirsizlikler bulunmuştur.

Işınım ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyonda meydana gelen belirsizlik %0.5

U_2 = Işınım ölçerin hata payı %5

U_3 = Işınım ölçerin açısal konum ölçüm hata payı %1

U_H = %5.12

Sıcaklık ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyonda meydana gelen belirsizlik %0.5

U_2 = Termokupl hata payı %1

U_3 = Termokupl konum hata payı %0.5

U_S = %1.22

Hız ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyonda meydana gelen belirsizlik %0.2

U_2 = Hız ölçerin hata payı %3.5

U_3 = Hız ölçerin konum hata payı %1

U_4 = Hız ölçerin sıcaklık değişim hata payı %0.5

U_V = %3.67

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Bu tezde, hibrit fotovoltaik sistemlerde verim arttırmaya yönelik yapılan deneysel bir çalışma sunulmuştur. Bu bağlamda elektriksel verimler, termal verimler, ekserji analizleri, farklı debi miktarları, farklı kanal yükseklikleri ve farklı dış etkenler baz alınarak, sonuçlar irdelenmiştir. Bu sonuçları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Fotovoltaik Panel Açısı ve Sistem Kurulumu;

- Fotovoltaik panellerin sıcaklık artışı altında düşen verimliliği neticesinde son yıllarda hibrit sistemlere geçiş hızlanmıştır. Panele düşen maksimum ışınım elde etmek için eğim açısı hesaplaması yapılmalıdır. Bu hesaplama her coğrafi yer için özel yapılmalıdır. Bu hesaplama günlük haftalık aylık olarak yapılmalı ve sistem ona göre kurulmalıdır. Bu tezde, Batman ili için fotovoltaik alan açı hesabı yapıldı. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için uluslararası düzeyde kabul edilen yirmi matematiksel modelleme ele alınarak on iki ay için gerekli açılar hesaplanarak sistem oluşturuldu.
- Fotovoltaik panel açısı hesabından sonra yapılan bir diğer işlemde, fotovoltaik panelimizin hibrit sisteme dönüşümünü sağlamaktır. Bu bağlamda sistemin altından kanallar geçirilerek, su ve hava ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistemi soğutmamızın sebebi, yüksek elektriksel verim elde etmektir. Bilindiği üzere fotovoltaik panelin çalışma prensibi ışınım yardımıyla olmaktadır. Yüzeye gelen ışınım, zamanla sıcaklık etkisi yapacağından paneli ısıtacaktır. Panel yüzey sıcaklığının artışı elektriksel verimin düşmesine sebebiyet verdiğinden, panellere değişik formatlarda sistemler entegre edilip soğutulması gerekmektedir. Yapılan hibrit sistemin soğutulması için panelimizin altından hava ve su geçirilerek verim karşılaştırılması yapılmıştır.
- Soğutma işleminin en verimli şekilde sağlanması için sistemden farklı debi miktarları geçirilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. Debi miktarı artışı ile elektr iksel verimin arttığı görüldü. Fakat hava ile soğutma işlemi yapılan sistemde termal etkiden kaynaklı elektriksel verim düşüşü gerçekleşti. Hiç soğutma yapılmayan sistemden daha düşük elektriksel verim elde edildi. Bu da bizi kanal yüksekliğinde değişiklik yapmamıza itti.

- Kanal yüksekliğini 5mm'den 3mm'ye düşürdüğümüz zaman, su ve hava ile soğutulan sistemlerin elektriksel verimlerinde artış meydana gelmiştir. Ancak hava ile soğutulan sistemin değerleri yükselmesine rağmen istenilen düzeye tam çıkmadığı görüldü. Bunun sebebinin ise termal etki olduğu görüldü. Havanın rahat şekilde çıkışını sağladıktan sonra, değerlerimiz ve panel yüzey sıcaklıklarımız istenilen seviyeye gelmiştir.

Elektriksel verim sonuçları;

- Sistemde her gün için farklı ışınım değerleri ele alınarak PV, PV/T-hava, PV/T-su için elektriksel verimler kayıt altına alındı. Sistemlerden en iyi sonucu veren PV/T-Su, onu takiben PV/T-Hava, ondan sonra da PV gelmiştir.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin elektriksel verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %9-6.8-11.8 olarak bulunmuştur. Bunun sebebi havanın sistemde termal etkiye neden olmasıdır.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.032 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin elektriksel verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %10.2-10.8-12.2 olarak bulunmuştur. Hava ile soğutma yapılan sistemin soğutma yapılmayan sistemden az da olsa fazla çıktığı görüldü.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 3mm olduğu hibrit sistemin elektriksel verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %9.1-10.7-12.1 olarak bulunmuştur.
- Hava ile soğutma yapılan hibrit sistemde, havanın rahat çıkmasını sağlamak için ikinci bir delik açıldı. Hava çıkışını rahatlatarak termal verimi en aza indirmiş olduk. Bunun neticesindede elektriksel verimde artış olduğunu gözlemledik. En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 3mm olduğu hibrit sistemin elektriksel verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %9.5-11.4-12.3 olarak bulunmuştur.

Termal verim sonuçları;

- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin termal verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %-,0.72-0.35 olarak bulunmuştur
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.032 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin elektriksel verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %---0.7-0.3 olarak bulunmuştur.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 3mm olduğu hibrit sistemin termal verimleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su değerleri sırasıyla; %---0.34-0.18 olarak bulunmuştur.

Ekserji Analizi Sonuçları;

- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin ekserji değerleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su sırasıyla; %4.1-3-11 olarak bulunmuştur.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.032 litre/s ve kanal kalınlığının 5mm olduğu hibrit sistemin ekserji değerleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su sırasıyla; %4.2-8.5-11.7 olarak bulunmuştur.
- En yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 3mm olduğu hibrit sistemin ekserji değerleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su sırasıyla; %4-8.1-11.5 olarak bulunmuştur.
- Hava çıkış deliği sayısını arttırdığımız zaman en yüksek ışınım altında debi miktarı 0.016 litre/s ve kanal kalınlığının 3mm olduğu hibrit sistemin ekserjileri değerleri PV, PV/T-Hava, PV/T-Su sırasıyla; %4.7-9.4-11.9 olarak bulunmuştur.

6.2. Öneriler

Hibrit fotovoltaik sistemlerde elektriksel verimin artmasını ve buna bağlı olaraktan termal verimin düşmesini sağlamak için yapılan bu deneysel çalışmada su ve hava ile soğutma gerçekleştirildi. Bu çalışmayla birlikte ileride yapılacak olan mühendislik çalışmalarına örnek teşkil edecek çok değerli bilgiler elde edildi. Aşağıda sunacağım önerilerin dikkate alınması düşünülmektedir.

- Fotovoltaik panellerin ve hibrit sistemlerinin kurulumu yapılmadan önce, bulunduğu ve hesaplamaların yapılacağı bölgenin fotovoltaik panel açısı hesaplanmalıdır. Fotovoltaik panel açı hesabı yapıldığı takdirde, panelden en üst seviyede verim alınacağı görülmüştür.
- Alttan sıvı soğutmalı hibrit fotovoltaik sistemlerin kurulumu yapılırken yerçekimi gözönüne alınmalıdır. Fotovoltaik panelin altına yerleştirilecek olan düzeneğin tasarımı ve sıvının ağırlığı hesaplanarak birleştirme yapılmalıdır. Panel, ısı transfer katsayısı düşük bir çerçeve içine sabitlenmelidir.
- Sabit debide hibrit fotovoltaik panellerin altından geçirilen kanalların kalınlıkları 3mm den büyük olduğu takdirde termal verimin arttığı elektriksel verimin düştüğü görüldü. Literatürde elden edilen sonuçlarda ortalama 3mm alındığı görülmüştür.
- Sıvı soğutmalı Hibrit sistemlerde soğutma kanal yüksekliğini sabit tutup debi miktarını arttırdığımızda termal verimin düştüğü, elektriksel verimin arttığı gözlemlenmiştir. Debi miktarını düşürdüğümüzde ise termal verimin arttığı, elektriksel verimin düştüğü görülmüştür.
- Sıvı soğutmalı hibrit fotovoltaik panellerde, sistemde dolaştırılacak olan sıvının panele ulaşana kadar olan tesisat bağlantıları güneşe maruz kalmamalıdır. Güneşin altında duran tesisatın içerisinde bulunan sıvının sıcaklığı panele gelmeden ısınacağından, bu da termal verimin artmasına, elektriksel verimin düşmesine neden olacaktır. Panele tedarik edilecek olan sıvı uzak bir yerden çekilecekse tesisat hortumları gölge yerden geçirilmeli. Mümkün değilse toprak altında panele ulaştırılmalıdır.
- Hava soğutmalı hibrit sistemlerde hava girişi ve çıkışı kanallarının tasarımı dikkatlice ele alınmalıdır. Sistemde dolaşan hava rahat bir şekilde sistemden ayrılamazsa, hibrit fotovoltaik sistemde termal etkiye yol açar. Bu da elektriksel verimin düşmesine neden olur. Yapılan bu deneysel çalışmada tek çıkış

verildiğinde sistemde termal etkinin arttığı görülmüştür. Hiç soğutma yapılmayan panelin elektriksel veriminin hibrit sistemden daha yüksek olduğu görüldü. Havanın çıkış deliklerini arttırdığımızda ise termal verimin düştüğü ve elektriksel verimin arttığı görüldü.

- Sabit debide kanal yüksekliğini arttırdığımızda termal verim artar elektriksel verim düşer. Önüne geçmek için debi miktarını yükseltmemiz gerekmektedir. Ya da birden fazla çıkış verilmelidir.
- Sabit kanal yüksekliğine sahip hava soğutmalı hibrit sistemlerde debi miktarını arttırdığımız zaman termal etkinin azaldığı, elektriksel verimin arttığı görüldü.
- Sabit kanal yüksekliğine sahip hava soğutmalı hibrit sistemlerde debi miktarını düşürdüğümüzde termal verimin arttığı, elektriksel verimin azaldığı görüldü.
- Hava soğutmalı hibrit fotovoltaik panellerde soğutma havasının sistemde dolaşmasını sağlayan kompresör ve diğer tesisat malzemelerinin güneşe maruz kalmaması gerekmektedir. Bu tesisat mümkün olduğunca kapalı veya gölge bir yerden aktarılmalıdır. Yapılmadığı takdirde termal etkiye yol açan sıcak havanın sıcaklığını arttırdığı görülmüştür. Dışarda bulunan havadan daha sıcak bir şekilde sisteme aktarıldığı görüldü. Buda sistemde elektriksel verimin düşmesine, termal verimin artmasına neden oldu.

KAYNAKLAR

A. Fudholi, K. Sopian, M.H. Yazdi, M. Hafidz, A. Ibrahim, H.A. Kazem, 2014. Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors *Energy Convers Manag*, 78:641-651.

A., Gaur, M., Christophe, 2017. Numerical studies on thermal and electrical performance of a fully wetted absorber PVT collector with PCM as a storage medium. *Renew. Energy,* 109:168-187.

A., Ibrahim, et al., 2009. Performance of photovoltaic thermal collector (PVT) With different absorbers design. *WSEAS Trans. Environ Dev.,* 5 (3): 329-330.

A., Nahar, M., Hasanuzzaman, N.A., Rahim, 2017. A three-dimensional comprehensive Numerical investigation of different operating parameters on the performance of a photovoltaic thermal system with Pancake collector. *J. Sol. Energy Eng.,* 139:031009-1-16.

Agwaral B, Tiawri GN., 2010. Life cycle cost assessment of building integrated PV thermal (BIPVT) systems. *Energy Build,* 42(9):1472–81.

A. Khelifa, K. Touafek, H. Ben Moussa, I. Tabet, 2016. Modeling and detailed study of hybridphotovoltaic thermal (PV / T) solar collector. *Sol. Energy,* 135:169-176.

Ahmed S.Abdelrazik, FAAl-Sulaiman, R.Saidur,R.Ben Mansour, 2018. A review on recent development for the design and packaging of hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems. *Elsevier, 95*:110-129.

Alfegi, E.M.A., Sopian, K., Othman, M.Y.H., Yatim, B.B., 2009. The effect of flow rates on the performance of finned single pass, double duct photovoltaic thermal solar air heaters. *Eur. J. Sci. Res.,* 25:339–344.

Alzaabi AA, Badawiyeh NK, Hantoush HO, Hamid AK., 2014. Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE. International. *J Smart Grid Clean Energy,* 3:385–9.

Anil Kumar,Prashant Baredar,Uzma Qureshi, 2015. Historical and recent development of photovoltaic thermal (PVT) Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 42:1428-1436.

Arif Hasan M, Sumathy K., 2010. Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: a review. *Renewable Sustainable Energy Rev.,* 14:1845–59.

Aste N, Beccali M, Chiesa G., 2002. Experimental evaluation of the performance of a proto-type hybrid solar PV-thermal (PV/T) Air collector for the integration in sloped roofs. *Proceedings of EPIC 2002 AIVC.,* 23–26.

Aste N, Del Pero C, Leonforte F, Manfren M., 2016. Performance monitoring and modeling of an uncovered photovoltaic-thermal (PVT) water collector. *Sol. Energy*,135:551–68.

A. Shahsavar, M. Ameri, 2010. Experimental investigation and modeling of a direct-coupled PV / T air collector. *Sol. Energy,* 84 (11):1938-1958.

A., Tiwari, P., Barnwal, GS., Sandhu, MS., Sodha, 2009. Energy metrics analysis of hybrid-photovoltaic (PV) modules. *Appl Energy,* 86:2615-2625.

Bambrook, S.M., Sproul, A.B., 2012. Maximising the energy output of a PVT air system. *Sol. Energy,* 86 (6):1857–1871.

B. Agrawal, G.N. Tiwari, 2010. Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Appl. Energy,* 87 (2):417-426.

B.J. Huang, *et al.*, 2001. Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/Thermal Systems.*Sol. Energy,* 70 (5):443-448.

B.J. Huang, P.E. Yang, Y.P. Lin, B.Y. Lin, H.J. Chen, R.C. Lai, etal., Solar cell junction temperature measurement of PV modüleSol. Energy, 85 (2011), pp. 388-392.

B.J. Brinkworth, et al., 2000. Solar Energy, 69:67-81.

BOZ,Ogün, 2011. 'Günümüzün alternatif enerji kaynağı: fotovoltaik güneş pilleri', *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Chao-Yang Huanga, Chiou-Jye Huanga, 2014. A study of photovoltaic thermal (PV/T) hybrid system with computer modeling. *Int. J. Smart Grid Clean Energy,* 3 (1):75-79.

Charalambous PG, Maidment GG, Kalogirou SA, Yiakoumetti K., 2007. Photovoltaic thermal (PVT) collectors: a review. *Appl Therm Eng.,* 27:275–86.

CH Cox, P. Raghuraman, Design considerations for flat-plate photovoltaic/thermal collectorsSol Energy, 35 (1985), pp. 227-241.

Chow TT., A review on photovoltaic thermal hybrid solar technology. Appl Energy 2010; 87:365–79.

Chow, T.T., Pei, G., Fong, K.F., Lin, Z., Chan, A.L.S., Ji, J., 2009. Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover. *Appl. Energy* 86:310–316.

C. Huang, H. Sung, K. Yen, 2012. Experimental study of photovoltaic / thermal (PV / T) hybrid system. *Int. J. Smart Grid Clean Energy,* 2 (2):148-151.

C.S. Malvi, et al., 2011. Energy balance model of combined photovoltaic solar-thermal

system incorporating phase change material. *Sol. Energy,* 85:1440-1446.

C.W. Lan, 2019, Solar silicon, National Taiwan University, Taipei, People's Republic of China,*Science Direkt.*

de Keizera, Corry, de Jonga, Minne, 2016. Evaluating the thermal and electrical performance of several uncovered PVT collectors with a field test. Energy Proc. 91, 20–26.

Daghigh R, Ruslan MH, Zaharim A, Sopain K., 2015. Monthly performance of a PV thermal (PV/T) water heating system. *Recent Res. Energy Environ,* 298–303.

D.B. Singh, G.N. Tiwari, 2017. Performance analysis of basin type solar stills integrated with N identical photovoltaic thermal (PVT) compound parabolic concentrator (CPC) collectors: a comparative study. *Sol. Energy,* 142:144-158.

DM Chapin, CS Fuller, GL. Pearson, A new silicon p–n junction photocell for converting solar radiation into electrical power.*J. Appl. Phys.,* 25 (1954), pp. 676-677.

Dubey, Swapnil, Solanki, S.C., Tiwari, Arvind, 2009. Energy and exergy analysis of PV/T air collectors connected in series. *Energy Build,* 41 (863), 70.

Erdil E, Ilkan M, Egelioglu F., 2008. An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV) solar thermal hybrid system. *Energy,* 33:1241–5.

E. Radziemska, 2003. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, *Renew. Energy,* 28:1-12.

Esen, H., Tuna, O., 2015. Investigation of photovoltaic assisted misting system application for arbor refreshment. *Int. J. Photoenergy,* 748219. http://dx.doi.org/ 10.1155/2015/748219.

Fangliang Chen, H. Yin, 2016. Fabrication and laboratory-based performance testing of a building-integrated photovoltaic-thermal roofing panel. *Appl. Energy,* 177:271-284.

F. Hussain, MYH Othman, B. Yatim , H. Ruslan , K. Sopian , Z. Ibarahim.,2013. ısı değiştirici ile PV / T toplayıcının bir çalışma. *AIP Conf Proc* , 1571:10 – 16.

F. Ghani, M. Duke, J.K. Carson, 2012. Estimation of photovoltaic conversion efficiency of a building integrated photovoltaic / thermal (BIPV / T) collector array using an artificial neural network. *Sol. Energy,* 86 (11):3378-3387.

Fudholi A, Sopian K, Yazdi MH, Ruslan MH, Ibrahim A, Kazem HA., 2014. Performance analysis of PV thermal (PVT) water collectors. *Energy Convers. Manag.,* 78:641–51.

Ghazi s, Sayigh A, Ip K. Dust, effect on flat surfaces—a review paper. *Renew. Sustain.*

Energy Rev., 2014;33:742–51.

G. Li, G. Pei, M. Yang, J. Ji, 2014. Experiment investigation on electrical and thermal performances of a Semitransparent photovoltaic / thermal system with water cooling. *Int. J. Photoenergy,* 10-1155:360235.

G. Vokas, et al., 2006. Hybrid photovoltaic–thermal systems for domestic heating and cooling—A theoretical approach. *Sol. Energy,* 80:607-615.

HaneneBenCheikh El Hocine, 2017. Theoretical and experimental studies of a new configuration of photovoltaic – thermal collector. *J. Sol. Energy Eng.,* 139: 021012-1-7.

Hasan A, McCormack SJ, Huang MJ, Norton B., 2010. Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated PVs. *Sol. Energy,* 84(9):1601–12.

Hazami M, Riahi A, Mehdaoui F, Nouicer O, Farhat A., 2016. Energetic and energetic performances analysis of a PV/T (PV thermal) solar system tested and simulated under to Tunisian (North Africa) climatic conditions. *Energy,* 107:78–94.

H.A., Zondag, D.W., de Vries, W.G.J., van Helden, R.J.C., van Zolingen, A.A., van Steenhoven, 2002. The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector, *Solar Energy,* 72 (2):113-128.

H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven, 2003. The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Sol. Energy,* 74:253-269.

Hazi, Aneta, Hazi, Gheorghe, Grigore, Roxana, Vernica, Sorin, 2014. Opportunity to use PVT systems for water heating in industry. *Appl. Therm. Eng.,* 63, 151–157.

Hendrie SD., 1980. Evaluation of combined photovoltaic thermal collectors. In: ISES international congress and silver jubilee; 1865–1869.

Hepbasli, A., 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 12,593-61.

H.M. Liou, 2010. Overview of the photovoltaic technology status and perspective in Taiwan. *Renew. Sust. Energy Rev.,* 14:1202-1215.

Hussain F, Othman MYH, Sopian K, Yatim B, Ruslan H, Othman H., 2013. Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) air base solar collector. *Renew Sustain Energy Rev.,* 25:431–41.

Hosseini R, Hosseini N, Khorasanizadeh H., 2011. An experimental study of combining aphotovoltaic system with a heating system. *In: Proceedings of world renewable energy congress-Sweden,* 2993–3000.

H Wei, L Jian, Y. Biao, 2014. Cost–benefit comparison between domestic solar water heater (DSHW) and building integrated photovoltaic (BIPV) systems for households in urban China. *Appl Energy,* 126:47-55.

Ibrahim A, Fudholi A, Sopian K, Othman MY, Ruslan MH., 2014. Efficiencies and improvement potential of building integrated PV thermal (BIPVT) system. *Energy Convers. Manag.,* 77:527–34.

Ibrahim A, Othman MY, Ruslan MH, Mat S, Sopian K., 2011. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renew Sustain Energy Rev.,* 15:352–65.

Jahromi SN, Vadiee A, Yaghoubi M., 2015. Exergy and economic evaluation of a commercially available PV/T collector for different climates in Iran. *Energy Procedia,* 75:444–56.

Jin, G.L., Ibrahim, A., Chean, Y.K., Daghigh, R., Ruslan, H., Mat, S., et al., 2010. Evaluation of single-pass photovoltaic-thermal air collector with rectangle tunnel absorber. *Am. J. Appl Sci.,* 7:277–282.

J. Hu, W. Chen, D. Yang, B. Zhao, H. Song, B. Ge, 2016. Energy performance of ETFE cushion roof integrated photovoltaic / thermal system on hot and cold days. *Appl. Energy,* 173:40-51.

J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos, 2007. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Sol. Energy,* 81:498-511.

J., Tamayo Vera, T., Laukkanen, K., Sire, 2014. Sciencedirect performance evaluation andmulti-objective optimization of hybrid photovoltaic – thermal collectors. *Sol.Energy,* 102:223-233.

Kalogirou SA., 2004. Solar thermal collectors and their applications. Prog Energy Combust Sci., 30:231–95.

K.A. Moharram, M.S. Abd-Elhady, H.A. Kandil, H. El-Sherif, 2013. Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Eng. J.,* 4:869-877.

Kamthania, Deepali, Nayak, Sujata, Tiwari, G.N., 2011. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating. Energy Build. 43, 2274–2281.

Khanjari Y, Pourfayaz F, Kasaeian AB., 2016. Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled PV thermal system. *Energy Convers. Manag.,* 122:263–78.

Khelifa, A., Touafek, K., Ben Moussa, H., Tabet, I., 2016. Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector. Sol. Energy 135, 169–176.

Kiran S, Devadiga U., 2014. Performance analysis of hybrid PV/Thermal systems. *Int J Emerg Technol Adv Eng,* 4(3):80–6.

K. Jaiganesh, Dr.K. Duraiswamy, 2013. Experimental study of enhancing The performance of PV panel integrated with solar thermal system. *Int. J. Eng. Technol.,* 5 (4):3419-3426.

Kumar R, Rosen MA., 2011. A critical review of photovoltaic–thermal solar collectors for air heating. *Appl. Energy,* 88:3603–14.

Küpeli, Ayşe Özge, 2005. Güneş Pilleri ve verimleri yüksek lisans tezi Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Laurence W. McKeen,2014. The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers

Long Hui, et al., 2017. Building-integrated heat pipe photovoltaic/thermal system for use in Hong Kong. *Sol. Energy,* 155:1084-1091.

Michael JJ, Iniyan S, Goic R., 2015. Flat plate solar PV–thermal (PV/T) systems: a reference guide. *Renew. Sustain Energy Rev.,* 51:62–88.

Mittelman, Gur, Kribus, Abraham, Dayan, Abraham, 2007. Solar cooling with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems. Energy Convers. Manage. 48, 2481–2490.

Mojumdera JC, Chonga WT, Onga HC, Leong KY, Al-Mamoon A., 2016. An experimental investigation on performance analysis of air type PV thermal collector system integrated with cooling fins design. *Energy Build,* 130:272–85.

Mojumder SS, Uddin M, Alam I, Enam K., 2013. Study of hybrid PV thermal (PV/T) solar system with modification of thin metallic sheet in the air channel. *J. Energy Technol. Policy,* 3(5):47–55.

M., Bakker, H.A., dag, M.J., Elswijk, K.J., Strootman, M.J.M., Jong, 2005. Performance and costs of a roof-sized PV / thermal array combined with a ground coupled heat pump. *Sol.Energy,* 78:331-339.

M. Boubekri, A. Chaker, A. Cheknane, 2009. Numerical approach for performance study of hybrid PV/thermal collector. *Rev. Des. Energy Renouvelables,* 12 (3):355-368.

M. Christophe, 2016. Simulation study of a naturally-ventilated building integrated photovoltaic / thermal (BIPV / T) envelope. *Renew. Energy,* 87:517-531.

M. El, et al., 2016. A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic / thermal (PV /T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions. *Energy Convers. Manag.,* 10.1016:10.066.

M. Farshchimonfared, J.I. Bilbao, A.B. Sproul, 2015. Channel depth, air mass fl ow rate and air distribution duct diameter optimization of photovoltaic thermal (PV / T) air collectors linked to residential buildings. *Renew Energy,* 76:27-35.

M. Farshchimonfared, J.I. Bilbao, A.B. Sproul, 2016. Full optimisation and sensitivity analysis of a photovoltaic – thermal (PV/T) air system linked to a typical residential building. *Sol. Energy,* 136:15-22.

M. Gholampour, M. Ameri, 2016. Energy and exergy analyses of Photovoltaic/Thermal flat transpired collectors: experimental and theoretical study. *Appl. Energy,* 164:837-856.

M. La, T. Kroyer, S. Fortuin, M. Wiese, M. Hermann, 2016. Development and modeling of highly-efficient PVT collectors with low-emissivity coatings. *Sol. Energy,* 130:161-173.

M. Rahou, M.Y. Othman, S. Mat, A. Ibrahim, 2014. Performance study of a photovoltaic thermal system With an Oscillatory flow design. *J. Sol. Energy Eng.,* 136:011012-1-6.

M., Rommel, H., Henning, P., Dupeyrat, C., Me, 2011. Efficient single glazed flat plate photovoltaic – thermal hybrid collector for domestic hot water system.
Sol. Energy, 85:1457-1468.

M.Y. Othman, S.A. Hamid, M.A.S. Tabook, K. Sopian, M.H. Roslan, Z. Ibarahim, 2016.Performance analysis of PV / T Combi with water and air heating system: an experimental study. *Renew. Energy,* 86:716-722.

Othman, Mohd., Yusof Hj., Yatim, Baharudin, Sopian, Kamaruzzaman, Bakar, Mohd.Nazari Abu, 2005. Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/ T) solar collector with CPC and fins. *Renew. Energy,* 30:2005–2017.

Othman MY, Hamid SA, Tabook MAS, Sopian K, Roslan MH, Ibarahim Z., 2016. Performance analysis of PV/T combine with water and air heating system: an experimental study. *Renew. Energy,* 86:716–22.

Palaskar VN, Deshmukh SP., 2015. Performance analysis of a specially designed flow heat exchanger used in hybrid PV/Thermal solar system. *Int J. Renew. Energy Res.,* 5(2):476–82.

Patrick, D., Christophe, M., Matthias, R., Hans-Mart'in, H., 2011. Efficient single glazed flat plate photovoltaic –thermal hybrid collector for domestic hot water system. *Sol. Energy,* 85:1457–1468.

Pei Gang, Fu Huide, Zhang Tao, Ji Jie, 2011. A numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system. *Sol. Energy,* 85:911-921.

Petela, R., 2008. An approach to the exergy analysis of photosynthesis. *Sol. Energy* 82, 311-328.

P.G. Charalambous, et al., 2011. Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector Absorber. *Sol. Energy,* 85:871-880.

Price H, Lupfert E, Kearney D, Zarza E, Cohen G, Gee R, et al., 2002. Advances in parabolic trough solar power technology. *J. Sol. Eng.,* 124:109–25.

Q., Zhu, L., Si, 2012. Electrical outputs and thermal outputs of water/air cooled amorphous-silicon photovoltaic modules. *Adv. Biomed. Eng.,* 8:83.

Rahman, Mohammad Mafizur, Hasanuzzaman, Md, Rahim, Nasrudin Abd, 2017. Effects of operational conditions on the energy efficiency of photovoltaic modules operating in Malaysia. *J. Clean. Prod.,* 143:912–924.

Rakesh Kumar, Marc A. Rosen, 2011. A critical review of photovoltaic–thermal solar collectors for air heating. *Applied Energy,* 88:3603–3614.

R.K. Mishra, G.N. Tiwari, 2013. Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode. *Sol. Energy,* 90:58-67.

R. Ku¨nnemeyer, T.N. Anderson, M. Duke, J.K. Carson, 2014. Sciencedirect performance of a V-trough photovoltaic / thermal concentrator. *Sol. Energy,* 101:19-27.

R.M. Silva, J.L.M. Fernandes, 2010. Hybrid photovoltaic / thermal (PV / T) solar systems simulation with Simulink / Matlab. *Sol. Energy,* 84 (12):1985-1996.

Rosa-Clot M, Rosa-Clot P, Tina GM, Ventura C., 2016. Experimental PV-thermal power plants based on TESPI panel. *Sol. Energy,* 133:305–14.

Rounis ED, Athienitis AK, Stathopoulos T., 2016. Multiple-inlet building integrated PV/thermal system modeling under varying wind and temperature conditions. *Sol. Energy,* 139:157–70.

R., Santbergen, C.C.M., Rindt, H.A., Zondag, R.J.C., Van Zolingen, 2010. Detailed analysis ofthe energy yield of systems with covered sheet-and-tube PVT collectors. *Sol.Energy,* 84 (5):867-878.

Sajan Preet, et al., 2017. Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal
(PV/T) system with and without phase change material (PCM). *Sol. Energy,* 155:1104-1120.

S. Agrawal, G.N. Tiwari, 2013. Enviroeconomic analysis and energy matrices of glazed hybrid photovoltaic thermal module air collector. *Sol. Energy,* 92:139-146.

S. Agrawal, G.N. Tiwari, 2015. Sciencedirect performance analysis in terms of carbon credit earned on annualized uniform cost of glazed hybrid photovoltaic thermal air collector. *Sol. Energy,* 115:329-340.

S.A. Kalogirou, et al., 2006. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. *Energy Convers. Manag.,* 47:3368-3382.

S.A. Kalogirou, 2006. Y.Energy Convers Manage, 47:3368.

S. Dubey, G.N. Tiwari, 2008. Thermal modeling of a combined system of photovoltaic thermal (PV/T) solar water heater. *Sol. Energy,* 82:602-612.

S. Dubey, G.N. Tiwari, 2009. Analysis of PV / T flat plate water collectors connected in series. *Sol. Energy,* 83 (9):1485-1498.

S.M. Bambrook, A.B. Sproul, 2012. Maximising the energy output of a PVT air system*Sol. Energy,* 86 (6):1857-1871.

S.M. Bambrook, A.B. Sproul, 2016. A solvable thermal circuit for modeling PVT air collectors. *Sol. Energy,* 138:77-87.

S. Tiwari, J. Bhatti, G.N. Tiwari, I.M. Al-helal, 2016. Thermal modeling of photovoltaic thermal (PVT) integrated greenhouse system for biogas heating. *Sol. Energy,* 136:639-649.

Saitoh H, Hamada Y, Kubota H, Nakamura M, Ochifuji K, Yokoyama S, et al., 2003. Field experiments and analyses on a hybrid solar collector. *Appl Therm Eng.,* 23(16):2089–105.

Sakellariou, Evangelos, Axaopoulos, Petros, 2017. Simulation and experimental performance analysis of a modified PV panel to a PVT collector. *Sol. Energy,* 155, 715–726.

Sakhr, M., Ervina, E., Saqaff, A., 2013. Theoretical study of new configuration of PVT system design. *J. Adv. Mater. Res.,* 681–687.

Sardarabadi M, Passandideh-Fard M, Heris SZ., 2014. Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units). *Energy,* 66:264–72.

Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, A., Mahdavi Adeli, M., 2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Appl. Energy,* 87:2328–2339.

Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A, Mahdavi Adeli M., 2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Applied Energy,* 87:2328–39.

Shahsavar, A., Ameri, M., 2010. Experimental investigation and modeling of a Direct coupled PV/T air collector. *Sol. Energy,* 84:1938-58.

Shan, Feng, Cao, Lei, Fang, Guiyin, 2013. Dynamic performances modeling of a photovoltaic–thermal collector with water heating in buildings. *Energy Build.,* 66:485–494.

Shyam, et al., 2016. Performance evaluation of N-photovoltaic thermal (PVT) water collectors partially covered by photovoltaic module connected in series: an experimental study. *Sol. Energy,* 134:302-313.

Sonveer Singh, S. Agarwal, G.N. Tiwari, D. Chauhan, 2015. Sciencedirect application of genetic algorithm with multi-objective function to improve the efficiency of glazed photovoltaic thermal system for new Delhi (India) climatic condition. *Sol. Energy,* 117:153-166.

Su D, Jia Y, Huang X, Alva G, Tang Y, Fang G., 2016. Dynamic performance analysis of PV–thermal solar collector with dual channels for different fluids. *Energy Convers Manag.,* 120:13–24.

Sun, L.L., Li, M., Yuan, Y.P., Cao, X.L., Lei, B., Yu, N.Y., 2016. Effect of tilt angle and connection mode of PVT modules on the energy efficiency of a hot water system for high-rise residential buildings. *Renew. Energy,* 93:291-301.

Swapnil Dubey, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Seshadri, 2013. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world–a reviewEnergy Procedia, 33:311-321.

Thipjak Nualboonrueng, et al., 2012. Field experiments of PV-thermal collectors for residential application in Bangkok. *Energies,* 5:1229-1244.

Thomas, R., Fordham, M., Photovoltaics-Architecture, Spon Press, London and New york, 2001.

Tingting Yang, A.K. Athienitis, 2014. Sciencedirect a study of design options for a building integrated photovoltaic / thermal (BIPV / T) system with glazed air collector and multiple inlets. *Sol. Energy,* 104:82-92.

Tiwari, Arvind, Sodha, M.S., 2007. Parametric study of various configurations of hybrid PV/thermal air collector: experimental validation of theoretical model. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells,* 91:17–28.

Tse KK, Chow TT, Su Y., 2016. Performance evaluation and economic analysis of a full scale water-based PV/thermal (PV/T) system in an office building. *Energy Build,* 122:42–52.

Tonui JK, Tripanagnostopoulos Y., 2007. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Solar Energy,* 81:498–511.

Tonui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y., 2008. Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation. *Sol. Energy,* 82:1–12.

Tripanagnostopoulos Y, Nousia TH, Souliotis M, Yianoulis P., 2002. Hybrid PV/thermal solar systems. *Sol. Energy,* 72:217–34.

Tripanagnostopoulos, Y., 2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/ thermal solar energy systems. *Sol. Energy,* 81:1117–1131.

T. Yang, A.K. Athienitis, 2015. Experimental investigation of a two-inlet air-based building integrated photovoltaic/thermal (BIPV / T) system. *Appl. Energy,* 159:70-79.

Tyagi VV, Kaushik SC, Tyagi SK., Advancement in solar photovoltaic thermal (PVT) hybrid collector technology. Renewable Sustainable Energy Rev 2012; 16:1383–98.

Tyagi VV, Panwar NL, Rahim NA, Kothari R., 2012. Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system. *Renew. Sustain Energy Rev.,*16:2289–303.

Wei H, Jian L, Biao Y., 2014. Cost–benefit comparison between domestic solar water heater (DSHW) and building integrated photovoltaic (BIPV) systems for households in urban *China. Appl. Energy,* 126:47–55.

W. Fan, G. Kokogiannakis, Z. Ma, P. Cooper, 2017. Development of a dynamic model for a hybrid photovoltaic thermal collector -solar air heater with fins. *Renew. Energy,* 101:816-834.

W., He, et al., 2011. Comparative experiment study on photovoltaic and thermal solar system under natural circulation of water. *Appl Therm Eng,* 31:3369-3376.

Xinqiang Xu, et al., 2013. Thermal modeling and life prediction of water-cooled hybrid concentrating photovoltaic / thermal collectors. *J. Sol. Energy Eng.,* 135:011010-1-8.

Yazdanifard F, Ebrahimnia-Bajestan E, Ameri M., 2016. Investigating the performance of a water-based PV/thermal (PV/T) collector in laminar and turbulent flow regime. *Renew Energy,* 99:295–306.

Y.B. Assoa, 2007. Study of a new concept of photovoltaic – thermal hybrid collector. *Sol.Energy,* 81:1132-1143.

Yeh HM, Lin TT., 1995. The effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of flat-plate solar air heaters. *Energy,* 20:1041–7.

Y. Tripanagnostopoulos, 2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic thermal solar energy systems. *Sol Energy,* 81:1117-1131.

V.M. Andreev, V.A. Grilikhes, V.D. Rumiantsev, 1997. Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight, Wiley.

V.V. Tyagi, S.C. Kaushika, S.K. Tyagi, 2012. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 16:1383–1398.

Zhang X, Xudong Z, Stefan S, Jihuan X, Xiaotong Y., 2012. Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic thermal (PVT) technologies. *Renewable Sustainable Energy Rev.,* 16:599–617.

Zondag H, Bakker M, Van Helden W., 2006. PVT roadmap/An European guide for the development and market production of PV–thermal technology. In: PV Catapult—contract no. 502775 (SES6). *Energy Research Centre of the Netherlands ECN2006.*

Anonim a (http://hansa-flex.info/?u=periodensystem+seilnacht+lörrach)

Anonim b(https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/gunes-pili-fotovoltaik-panel-nasil-calisir.html)

Anonim e (https://iea-pvps.org/)

Anonim d (http://www.yegm.gov.tr)

Anonim e (https://docplayer.biz.tr/16486144-Gunes-enerjisi-prof-dr-olcay-kincay.html)

Anonim f (https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-60.htm)