T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATAY İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK MODÜL YÜZEY SICAKLIĞININ MODÜL VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

SEREN YAVER

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK 2020

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATAY İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK MODÜL YÜZEY SICAKLIĞININ MODÜL VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

SEREN YAVER

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK 2020

T.C

HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEREN YAVER

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Cengiz KARACA danışmanlığında hazırlanan bu tez ../../.. tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cengiz KARACA
Başkan

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Üye

Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
Üye

Kod No:

Doç. Dr. Cengiz KARACA
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HMKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 18 YL 053

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

23/01/2020

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İMZA

SEREN YAVER

ÖZET

HATAY İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK MODÜL YÜZEY SICAKLIĞININ MODÜL VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği nedeniyle ekolojik dengenin bozulmaya başlaması, enerji üretiminin yüksek maliyeti, bizi farklı ve temiz kaynaklardan enerji üretilmesi konusunda duyarlı olmaya zorlamaktadır. Fotovoltaik (PV) hücreler güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. PV hücrenin elektriksel verimliliği, hücrenin sıcaklık artışından olumsuz etkilenir. PV modüllerde sıcaklık artışı nedeniyle en fazla etkilenen parametre açık devre voltajıdır. Sıcaklığın artması PV hücrelerin kısa devre akımını arttırırken açık devre gerilimini azaltır. Sıcaklığın yükseltilmesi, devredeki elektronların hızını düşürerek direnci arttırır. Ayrıca sıcaklık PV hücre malzemesinin termal bozunumunu artırıcı bir etki ile hücrelerin etkin verim ömürlerini de azaltmaktadır. Bu nedenle güneş ışınımı emilimi sırasında çalışma sıcaklığını düşürmek sistemin verimliliğini, güç kapasitesini ve ömrünü arttırmaktadır. PV modül yüzey sıcaklıklarını azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi su ile modül yüzeyinin soğutmasıdır. Bu çalışmada Hatay iklim koşullarında PV/T (Fotovoltaik/Termal) modülde (hibrit modül) soğutcu akışkan olarak su kullanılarak modül yüzey sıcaklığının azaltılmasının modül veriminde meydana getirdiği değişimler belirlenmiştir. Modül yüzeyi soğutularak elektrik üretim veriminde %52.6 oranına varan artış sağlanmıştır. Hatay iklim koşullarında PV modüllerin yüksek verimde çalışabilmesi için yüzey sıcaklığının 55 ^{o}C' ün üzerine çıkmaması önerilebilir.

2020, 51 sayfa

Anahtar Kelimler: PV/T güneş modülü, PV yüzey sıcaklığı, Modül verimi, Hatay

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECT OF MODULE SURFACE TEMPERATURE ON THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC MODULE IN HATAY CLIMATE CONDITIONS

The depletion of natural resources and the deterioration of the ecological balance due to environmental pollution, the high cost of energy production, forces us to be sensitive about generating energy from different and clean sources. Photovoltaic (PV) cells are systems that convert solar energy into electrical energy. The electrical efficiency of the PV cell is adversely affected by the increase in temperature of the cell. The most affected parameter due to the increase in temperature in PV modules is the open circuit voltage. Increasing the temperature, increases the short circuit current of PV cells while reducing the open circuit voltage. Raising the temperature, increases the resistance by lowering the speed of the electrons in the circuit. In addition, the temperature reduces the effective efficiency life of cells with an effect that increases the thermal decay of PV cell material. Therefore, lowering the operating temperature during solar radiation absorption increases the efficiency, power capacity and life of the system. There are various methods of reducing PV module surface temperatures. One of these methods is the cooling of the surface of the module with water. In this study, the change in module efficiency caused by decreasing module surface temperature by using water as the refrigerant fluid in PV/T (Photovoltaic/Thermal) module (hybrid module) in Hatay climatic conditions was determined. By cooling the modül surface, electricity generation efficiency has increased by up to 52.6%. In Hatay climatic conditions, it may be recommended that the surface temperature should not rise allowed to above 55 ºC in order for PV modules to operate at high efficiency.

2020, 51 pages

Key Words: PV/T solar module, PV surface temperature, Module efficiency, Hatay

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Cengiz KARACA'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan HMKÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No:18YL053), tezimin yazımı sırasında yardımlarını hiçbir zaman geri çevirmeyen saygı değer hocam Dr.Öğr.Üyesi Selçuk Uğurluay'a ve FBE çalışanlarına, ayrıca isimlerini zikredemediğim yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde üzerimde en çok emeği olan canım annem, babam ve sevgili kardeşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ŞEKİLLER DİZİNİ VI
ÇİZELGELER DİZİNİ VIII
1. GİRİŞ 1
1.1. Enerji 1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 1
1.3. Güneş Enerjisi 2
1.4. Fotovoltaik Hücreler 4
1.5. Fotovoltaik (PV) Modüller 7
1.5.1. Monokristal Hücre 8
1.5.2. Polikristal Hücre 9
1.6. İnce Film Güneş Modülleri 10
1.7. PV Modüllerin Verini Etkileyen Faktörler 10
1.7.1. Çevresel Faktörler 10
1.7.1.1. Güneş Işınımı / Radyasyon 11
1.7.1.2. Modül Sıcaklığı 11
1.7.1.3. Toz Birikimi 12
1.7.1.4. Gölgeleme 12
1.7.1.5. Modülün Kirlenmesi 13
1.7.2. PV Sistem Faktörleri 13
1.7.2.1. Pil Verimliliği 13
1.7.2.2. Modül Yapısı 13
1.7.2.3. PV Malzemesi 14
1.7.2.4. PV Atom Yapısı 14
1.7.2.5. Modül Verimliliği 14
1.7.3. PV Sistemi Kurulum Faktörleri 14
1.7.3.1. Kablo Özellikleri 15
1.7.3.2. Eğim Açısı veya Yönü 15
1.7.3.3. Uyumsuzluk Etkileri 15
1.8. Çalışmanın Amacı 15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 17
3. MATERYAL VE YÖNTEM 19
3.1. Materyal 19
3.1.1. PV/T ve PV Modül 20
3.1.2. Şarj Kontrol Ünitesi 22
3.1.3. Batarya (Akü) 23
3.1.4. Su Soğutma Sistemi 24
3.1.5. Multimetre 24
3.1.6. Işınımölçer (Solarimetre) 25
3.1.7. Kızılötesi Termometre 26
3.1.8. Metoroloji İstasyonu 27
3.2. Yöntem 28
4. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA 30

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 46
KAYNAKLAR 48
ÖZGEÇMİŞ 51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2019) 2
Şekil 1.2. Hatay İli güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA, 2019) 3
Şekil 1.3. Hatay İli yıllık güneş ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri (GEPA, 2019) 3
Şekil 1.4. Hatay İlinde PV tipine göre alan başına üretilebilecek enerji miktarı (GEPA, 2019) 4
Şekil 1.5. Fotovoltaik etki 5
Şekil 1.6. Güneş pillerinin çalışma mantığı 5
Şekil 1.7. n ve p tipi yarı iletkenlerin birleştirilmesi (Özgün, 2016) 6
Şekil 1.8. PV hücrenin çalışma prensibi (Öztürk ve Kaya, 2019) 6
Şekil 1.9. Seri ve paralel bağlı PV modüller 8
Şekil 1.10. Monokristal modül 9
Şekil 1.11. Polikristal modül 9
Şekil 1.12 İnce film güneş modül 10
Şekil 1.13 Kristal bir modülün sıcaklığa bağlı değişen akım gerilim grafiği 12
Şekil 1.14 Kristal bir modülün ışınıma bağlı değişen akım gerilim grafiği 12
Şekil 3.1. Deney düzeneği (3D) 19
Şekil 3.2. Deney düzeneği parçaları 20
Şekil 3.3. PV/T modül 21
Şekil 3.4. PV modül 22
Şekil 3.5. Şarj kontrol cihazı 22
Şekil 3.6. Jel tipi batarya 24
Şekil 3.7. Su soğutma sistemi 24
Şekil 3.8. Denemede kullanılan multimetreler 25
Şekil 3.9. Işınımölçer 26
Şekil 3.10. Kızılötesi termometre 27
Şekil 3.11. PCE Mini meteoroloji istasyonu 27
Şekil 3.12. Deney düzeneği ölçüm sistemi bağlantı şeması 28
Şekil 4.1. PV/T modül soğutmalı sistem akım ve gerilim grafiği (24 Haziran 2019) 30
Şekil 4.2. PV/T modül soğutmalı sistem ışınım ve modül güç üretimi (24 Haziran 2019) 30
Şekil 4.3. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim değişimi (24 Haziran 2019) 31
Şekil 4.4. PV/T modül soğutmalı sistem akım ve gerilim grafiği (25 Haziran 2019) 32
Şekil 4.5. PV/T modül soğutmalı sistem ışınım ve modül güç üretimi (25 Haziran 2019) 32
Şekil 4.6. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim değişimi (25 Haziran 2019) 33
Şekil 4.7. PV/T modül soğutmasız sistem akım ve gerilim grafiği(29 Haziran 2019) ... 34
Şekil 4.8. PV/T modül soğutmasız sistem ışınım ve modül güç üretimi (29 Haziran 2019) 34
Şekil 4.9. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim değişimi (29 Haziran 2019) 35
Şekil 4.10. PV/T modül soğutmasız sistem akım ve gerilim grafiği (30 Haziran 2019) 36
Şekil 4.11. PV/T modül soğutmasız sistem ışınım ve modül güç üretimi (30 Haziran 2019) 36

Şekil 4.12. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim değişimi (30 Haziran 2019) 37
Şekil 4.13. PV modül akım ve gerilim grafiği (2 Temmuz 2019)..... 38
Şekil 4.14. PV modül ışınım ve güç üretimi (2 Temmuz 2019)..... 38
Şekil 4.15. PV modül sıcaklık ve verim değişimi (2 Temmuz 2019)..... 39
Şekil 4.16. PV/T modül soğutmalı ve soğutmasız sistem yüzey sıcaklığı ve verim grafiği 42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları(Anonim1, 2013) 1
Çizelge 1.2. PV hücrelerin sınıflandırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018) 7
Çizelge 1.3. Hücre ve modül verimliliğini karşılaştırma tablosu 14
Çizelge 3.1. PV/T modül teknik özellikleri 21
Çizelge 3.2 . PV modül teknik özellikleri 21
Çizelge 3.3. Şarj kontrol cihazı teknik özellikleri 23
Çizelge 3.4. Işınımölçer teknik özellikleri 25
Çizelge 3.5. Kızılötesi termometre teknik özellikleri 26
Çizelge 4.1. Soğutmalı ve soğutmasız sistem ölçümlerinde sıcaklık ve verimdeki değişim aralığı 40
Çizelge 4.2. Soğutmalı ve soğutmasız sistemde sıcaklık ve verim ölçüm değerleri 40
Çizelge 4.3. Denemelerin yapıldığı günlerdeki iklim verileri 43
Çizelge 4.4. PV/T modül soğutmasız sistem parametrelerinin regresyon analiz tablosu 43
Çizelge 4.5. PV/T modül soğutmasız sistem parametrelerinin korelasyon analiz tablosu 43
Çizelge 4.6. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim korelasyonu 44
Çizelge 4.7. PV/T modül soğutmalı sistem parametrelerinin regresyon analiz tablosu . 44
Çizelge 4.8. PV/T modül soğutmalı sistem parametrelerinin korelasyon analiz tablosu 44
Çizelge 4.9. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim korelasyonu 44

1. GİRİŞ

1.1. Enerji

Yaşamımızı devam ettirebilmek için gerekli olan en önemli kaynaklardan birisi olan enerji, insanın sosyo-ekonomik gelişimi, sürdürülebilir gelişimi ve yaşam kalitesini iyileştirmesi için çok önemli bir faktördür. Dünya nüfusunun ve ekonomik faaliyetlerin büyümesi, enerji talebinde bir artışa yol açmakta olup, küresel ısınma ve çevre kirliliği geleneksel enerji kaynaklarının, örneğin fosil yakıtların kullanılmasının sonucudur (Meinshausen ve ark., 2009). Enerji kaynaklarını genelde yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki grup altında toplamak mümkündür.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

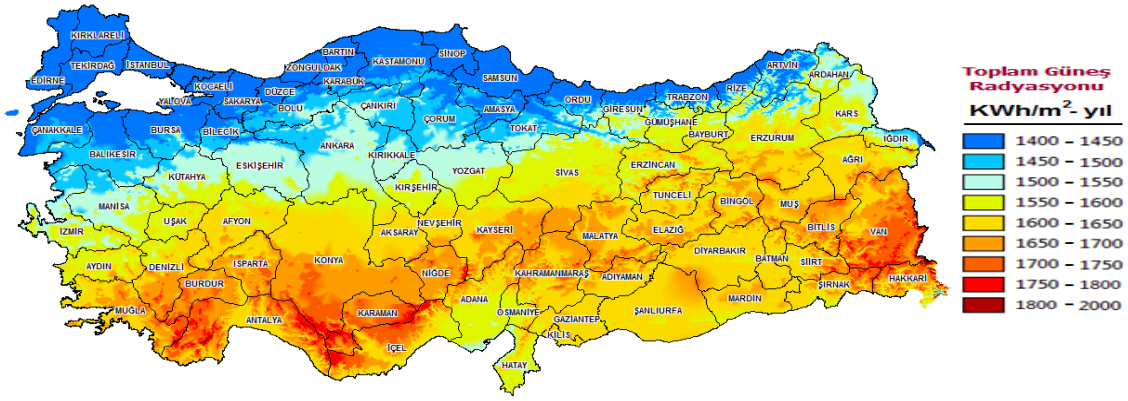
Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız varsayılan, sürekli ve tekrar kullanılabilen bir enerji türüdür (Avcı, 2009). Temiz ve sürdürülebilir enerji elde etmenin yolları süreklilik halinde olup, Dünya doğal kaynakların yanlış yönetilmesinden dolayı ciddi zararlar görmektedir (Zanlorenzi ve ark., 2018). Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlar ve nükleer kaynaklardan elde edilmektedir. Bu kaynakların çevreye verdikleri zararlar ve sınırlı oluşları, alternatif enerji kaynakları arayışına neden olmaktadır. Enerji kaynaklarından petrol (%32.4), doğal gaz (%21.4) ve kömür (%27.3) yenilenememekte olup, yenilenebilir enerji endeksi ise sadece %13'tür (Hasanuzzaman ve ark., 2016).

Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları(Anonim1, 2013)

YENİLENEBİLİR ENERJİLER	ENERJİ KAYNAKLARI
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerjisi	Nehir ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler

1.3. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir (Baş, 2016). Dünya'daki güneş enerjisinin yoğunluğu, atmosferde metrekare başına 1.35 kW değerindedir (Dinçer, 2011). Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m^2 değerleri arasında değişim gösterir (Baş, 2016). Güneş enerjisinden yararlanma ile ilgili çalışmalar 1970'lerden sonra hız kazanmış, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstererek, temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir (Baş, 2016). Güneş enerjisi, güneş tarafından sağlanan enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle farklı şekillerde kullanılmasını sağladığı için göz önündedir (Tiwari ve ark, 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkeler ve devletler açısından oldukça önemli bir konuma geldiği günümüzde son yıllarda ülkemiz enerji sektöründe büyük atılımlar gerçekleştirmekte ve sektörün iyileştirilmesi adına birçok çalışma yapılmaktadır (Baş, 2016). Türkiye coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyeli açısından çoğu ülkeye göre avantajlıdır. Ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalara dayanarak Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası (Şekil 1.1).

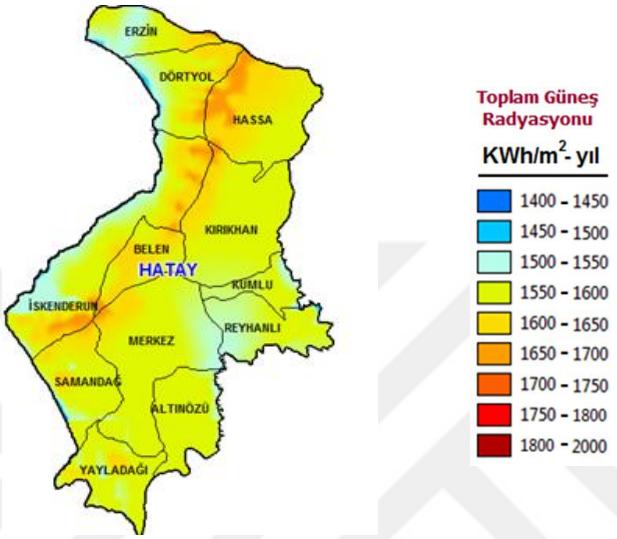


Şekil 1.1. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2019)

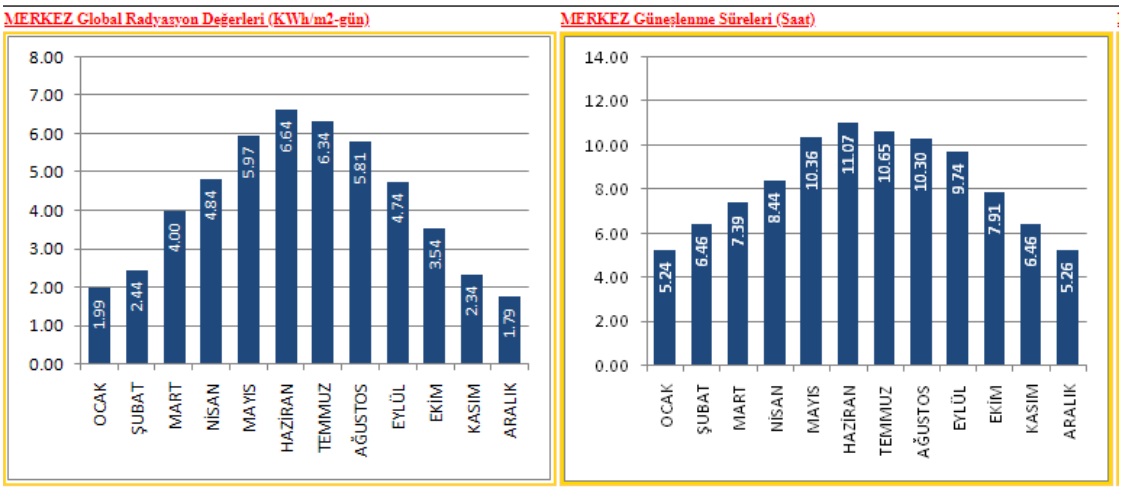
Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir. En yüksek enerji potansiyeli Güney Doğu Anadolu bölgesinde iken, en düşük potansiyel Karadeniz Bölgesinde görülmektedir. Türkiye'nin en fazla güneş

enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir (Tüba, 2018).

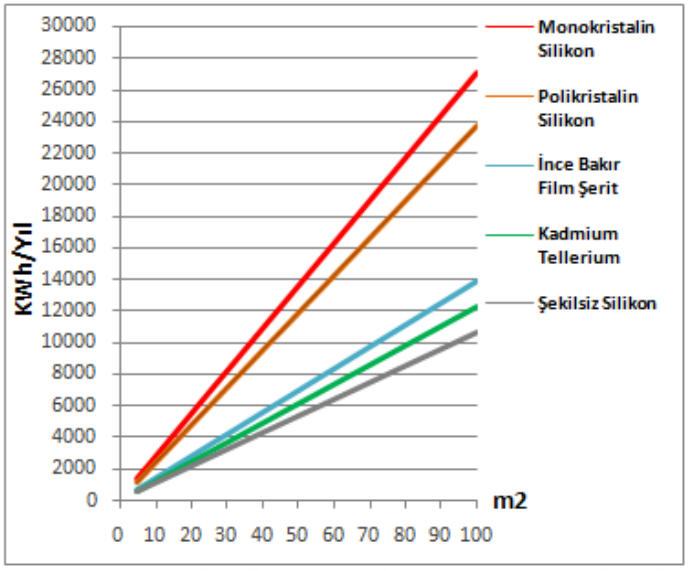
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Hatay ili yıllık toplam güneş enerjisi potansiyel haritası güneş ışınım değerleri ile güneşlenme süreleri Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Hatay İli güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA, 2019)



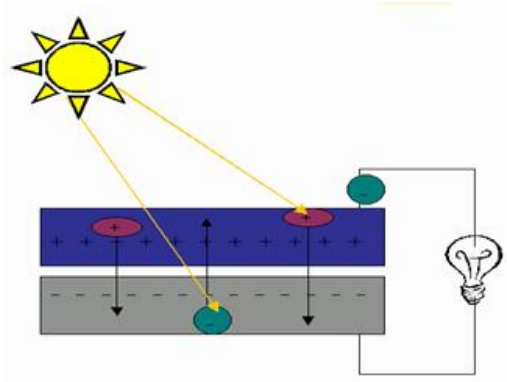
Şekil 1.3. Hatay İli yıllık güneş ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri (GEPA, 2019)



Şekil 1.4. Hatay İlinde PV tipine göre alan başına üretilebilecek enerji miktarı (GEPA, 2019)

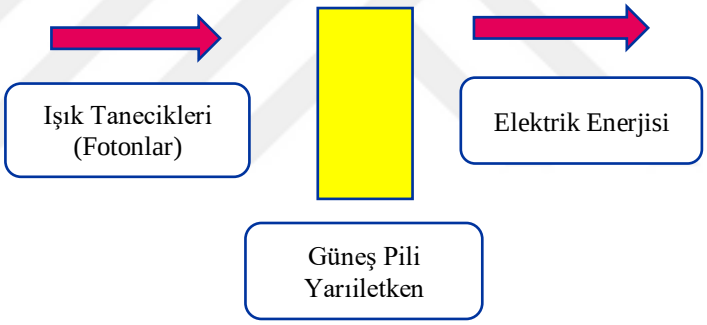
1.4. Fotovoltaik Hücreler

Fotovoltaik Yunanca, ışık anlamına gelen "photo" ve elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan Alessandra Volt'dan esinlenerek gerilim anlamına gelen "voltaic" kelimelerin birleşmesinden oluşur (Öztürk ve Kaya, 2019). Fotovoltaik hücreler güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılmaktadır (Shamani ve ark., 2014). Fotovoltaik etkisi, ilk olarak 1839 yılında, Becquerel tarafından elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemlenerek bulunmuştur. Daha sonra 1876 yılında, G.W. Adams ve R.E. Day tarafından katı cisimlerde benzer bir olayın selenyum kristalleri üzerinde gerçekleştiğini gösterilmiştir. 1914 yılında fotovoltaik hücrelerin verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik gözeler ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi takip eden yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır (Anonim2, 2019).



Şekil 1.5. Fotovoltaik etki

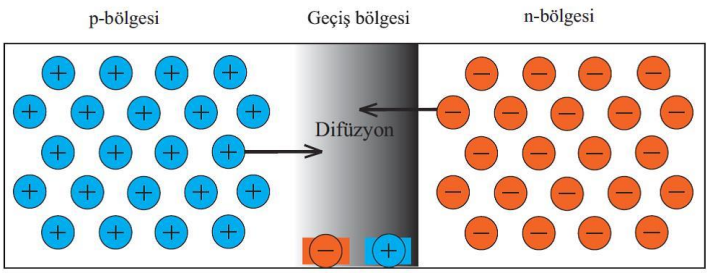
Güç üretimi amacıyla kullanılan güneş pilleri fotovoltaik ilkeye bağlı olarak çalışır. Diğer bir deyişle, üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş ışınımındaki fotonların, silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile elektrik gerilimi ortaya çıkar.



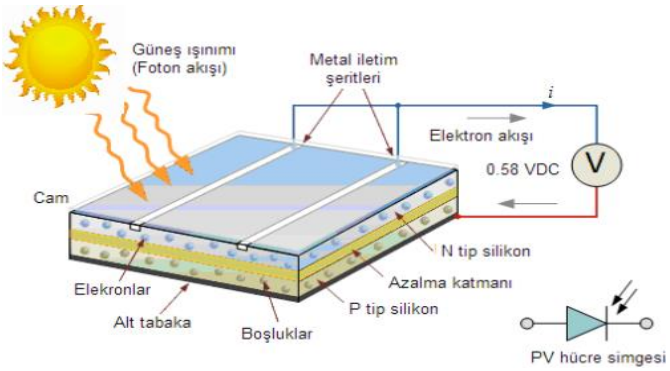
Şekil 1.6. Güneş pillerinin çalışma mantığı

Kristal yapıdaki fotovoltaik hücreler n ve p tipi yarı iletkenlerin bir araya getirilmesi ile elde edilen yapılardır. n ve p tipi yarı iletkenler bir araya getirildiklerinde bağlantı noktasında yükten arındırılmış geçiş bağlantı bölgesi oluştururlar. N-tipi malzemede (-yüklü) malzeme boyunca hareket eden çok sayıda serbest elektron vardır. Kristal içinde sabit pozitif yüklü P atomlarının (pozitif iyonlar) sayısı, bu negatif serbest elektronların sayısı ve yükünü tam olarak dengeler. Benzer şekilde, p-tipi malzemede, malzeme boyunca hareket edebilen çok sayıda serbest delik (+ yüklü) vardır. N-tipi kristal tarafında çok sayıda mobil elektron vardır. Ancak p-tipi tarafında ise çok az sayıda mobil elektron vardır. Serbest elektronların rasgele ısıl hareketi nedeniyle, n-tipi taraftan gelen elektronlar p-tipi tarafa yayılmaya başlar. Ancak n-tipi tarafta ise çok az sayıda mobil

delik vardır. P-tipi tarafındaki mobil delikler, n-tipi tarafın içlerine doğru yayılmaya başlar. Elektronların ve deliklerin elektriksel yüklerinden dolayı n-tipi malzemedeki elektronlar p-tipi tarafa doğru yayılırken iki Si malzeme arasındaki arayüzün yakınlarında pozitif yüklü fosfor iyonlarının geride kalmasına neden olurlar. Benzer şekilde, p-tipi bölgedeki pozitif delikler n-tipi tarafa doğru yayılır ve negatif yüklü bor iyonlarının geride kalmasına neden olur. Bu sabit iyonlar, n-tipi ve p-tipi malzeme arasındaki birleşim noktasında bir elektriksel alan oluştururlar. Bu elektriksel alan, n-tipi malzemeden kaynaklı pozitif yüklü iyonlar ile p-tipi malzemeden kaynaklı negatif yüklü iyonları işaret eder. Serbest elektronlar ve delikler, elektronların pozitif fosfor iyonlarına doğru çekilmesi ve deliklerin negatif bor iyonlarına doğru çekilmesi dolayısıyla bu yerleşik elektriksel alandan etkilenir. Difüzyon dolayısıyla akan elektron sayısı ile yerleşik elektriksel alan dolayısıyla geri akan elektron sayısı tam olarak dengelendiği zaman bu karşılıklı akımlar bir denge durumuna ulaşacaktır. Yüzey birleşim hattı boyunca; net elektron akısı 0'dır. Net delik akısı da 0'dır. Elektron ve boşluk difüzyonu belirli bir süre gerçekleşir ve geçiş bölgesindeki elektriksel potansiyelin artması ile difüzyon sonlanır (Soysal, 2019) (Şekil 1.7 ve Şekil 1.8).



Şekil 1.7. n ve p tipi yarı iletkenlerin birleştirilmesi (Özgün, 2016)



Şekil 1.8. PV hücrenin çalışma prensibi (Öztürk ve Kaya, 2019)

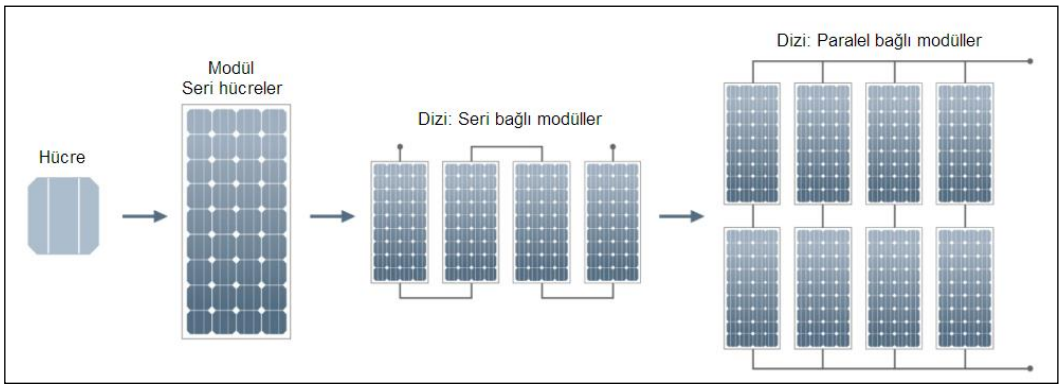
1.5. Fotovoltaik (PV) Modüller

PV hücrelerin yüzeyleri genellikle kare, dikdörtgen ve daire biçimindedir. PV hücrelerin alanları da, 60−160 cm^2 arasında değişmekte olup, ortalama 100 cm^2'dir. Kalınlıkları ise 0.2−0.4 mm arasındadır. Güneş enerjisi, PV hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektriğe enerjisine dönüştürülebilir (Öztürk ve Kaya, 2019). Silisyum yarı iletken özellik gösteren ve PV hücre yapımında en çok tercih edilen materyallerin başında gelmektedir. Oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olan silisyumun, doğada en yaygın biçimi kuartz ve kumdur (SiO_2). Kristal Silisyum, tek kristalli ve çok kristalli olabilir. PV hücrelerin birleştirilmesi ile PV modüler oluşturulur.

Çizelge 1.2. PV hücrelerin sınıflandırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

Birinci Kuşak PV Hücreler	**Kristal Silikon (c-Si) Hücreler** ➢ Tek kristal (mc-Si) ➢ Çok kristal (pc-Si)
İkinci Kuşak PV Hücreler	**İnce Film Teknolojileri** ➢ Amorf silikon (a-Si) ➢ Kadmiyum tellür (CdTe) ➢ Bakır İndiyum Galyum (di)Selenyum (CIGS) ➢ Bakır İndiyum, (di)Selenyum/(di)Sülfür(CIS) ➢ Çok eklemli (a-Si/mc-Si)
Üçüncü Kuşak Teknolojiler	➢ Organik ➢ Boya duyarlaştırıcılı organik ➢ Kuantum noktaları ➢ Perovskite

Güneş modüllerini seri veya paralel olarak birbirine bağlayan iki ana tip bağlanma şekli güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda PV hücreleri paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya PV modül adı verilir (Şekil 1.9). Güç talebine bağlı olarak PV modüller birbirlerine seri veya paralel bağlanarak birkaç Watt'tan MegaWatt'lara kadar PV diziler oluşturulur (Öztürk, 2019). Güneş modüllerini bağlama şekilleri güneş modülü sistemin türüne, üretmek istenilen güneş enerjisine, şarj regülatörü, akü ve invertör gibi diğer sistem bileşenlerine bağlıdır. Yüksek voltaj almak istediğinizde güneş modüllerini seri bağlanır. Yüksek akım gerekiyor ise paralel olarak bağlanır(Anonim3, 2019).



Şekil 1.9. Seri ve paralel bağlı PV modüller

1.5.1. Monokristal Hücre

Güneş enerji modülü çeşitleri arasındaki yüksek verime ulaşabilen mono fotovoltaik hücreler, düzgün moleküler dizilimli külçelerden kesilmektedir (Baş, 2016). Mono ve polikristal güneş modülleri ayırmak için iyi bir yol polikristal solar hücreler yuvarlak ya da dikdörtgen kenarlı olmalarıyla ayırt edilir. Poly hücreler diktörgen kenarlıdır (Baş, 2016).

Bu güneş modülü türü, küçük alanda büyük enerji üretir. Ancak, monokristal enerji modüllerinin fiyatı diğer güneş modüllerine göre biraz daha pahalıdır. Monokristal güneş hücrelerinin verimlilik oranı %24 civarındadır (Anonim4, 2018). Güneş enerji modüllerine göre fazladır.

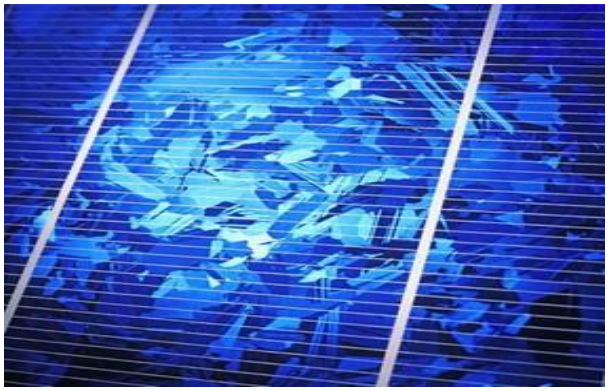
Güneş modüllerinin kullanım ve elektrik üretim ömrü daha uzundur. Monokristal solar modüller sıcak iklimlerde daha verimli çalışabilmektedir. Dezavantajı güneş modüllerinin üzerine az veya çok gölge düştüğünde, güneş modülünün tamamı olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple verim çok fazla düşmektedir. Monokristal Güneş Modüllerini temizlemekte fayda vardır (Anonim4, 2018).



Şekil 1.10. Monokristal modül

1.5.2. Polikristal Hücre

Polikristal güneş modülü en ucuz güneş modülü türüdür. Polikristal güneş modülü, gerek verimi, gerekse birim maliyeti açısından dengelidir ve en ucuz güneş modüldür. Birçok güneş enerji santrali, polikristal güneş modülleri ile yapılmaktadır. Piyasanın neredeyse %68 den fazlası polikristal güneş pmodülleri kullanmaktadır (Anonim4, 2018). Ayrıca, havadaki ısı değişimlerinden monokristale göre daha az etkilenir. Bu güneş pillerinin verimlilik oranları yaklaşık %15 civarındadır. Polikristal solar modül, daha çok alan kaplar, daha az enerji üretir.



Şekil 1.11. Polikristal modül

1.6. İnce Film Güneş Modülleri

İnce film güneş modülü en hafif ve en kolay montaj imkanına sahip modüldür. İnce film güneş modülü, güneş enerjisinden elektrik üretimi piyasasında küçük oranda paya sahiptir. İnce film güneş modülleri pek tercih edilmez. Bu PV modül türünün tercih edilmemesinin en büyük sebebi ise verimlerinin az olması ve fazla yer kaplamaktadır. Ama bu kadar alan kaplamasına rağmen, alan-verim ilişkisi açısından çok kötü bir performansa sahiptir. Bu PV modül çeşidinin yaklaşık verimliliği %7 civarındadır. Avantajı ise modüller çok şık bir görüntüye sahiptir. Daha çok tasarım için tercih sebebidir Ayrıca, aşırı ısı değişimlerinden ve gölgelenme gibi durumlardan çok aşırı etkilenmemektedir.



Şekil 1.12 İnce film güneş modül

1.7. PV Modüllerin Verini Etkileyen Faktörler

1.7.1. Çevresel Faktörler

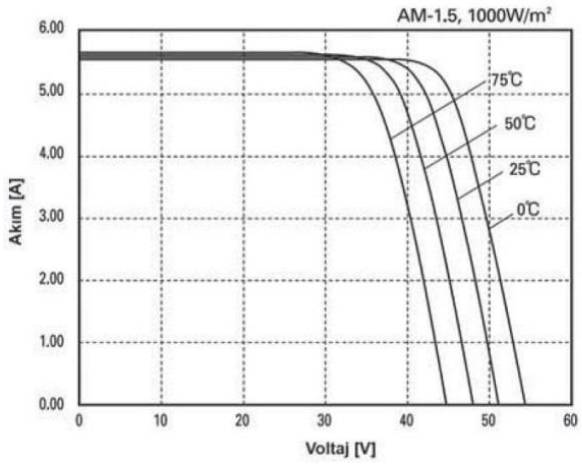
Çeşitli çevresel faktörler PV sistemlerinin performansını etkilemektedir. Bu faktörler Güneş ışınımı, sıcaklık, toz, gölgeleme ve modülün kirlenmesi gibi sebeplerdir.

1.7.1.1. Güneş Işınımı / Radyasyon

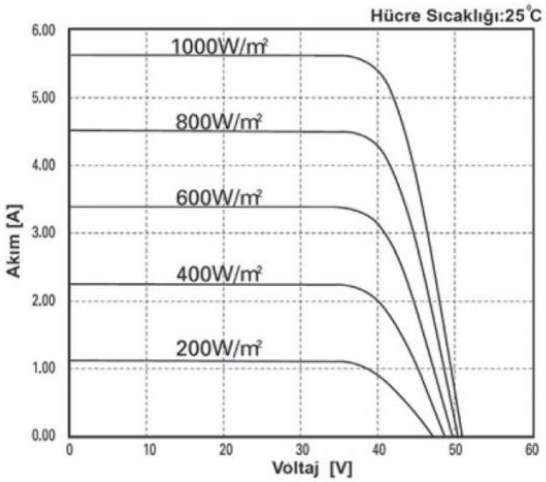
Birim alan başına güneş kaynağından gelen güç miktarı, ışınım olarak bilinir (Jayakumar, 2009). Fotovoltaik bir modül tarafından üretilen enerji doğrudan güneş enerjisi ilgili ve sahaya bağlıdır (Fouada ve ark., 2017). PV modüllerinde güneş ışınımı modülün konumuna göre değişir; maksimum güneş ışınımı, modüllün doğrudan radyasyona dik olduğunda gerçekleşir (Mehrtash ve ark., 2012). Bazı çalışmalar, özellikle azimut (azimut, bir gök cisminin gözlemciye göre istikâmetinin ufuktaki kuzey veya güney noktasından açısal uzaklık olarak ifadesi) oryantasyonunda güneyden her sapma derecesi için % 0.08 kayıp olduğunu göstermiştir (Fouada ve ark., 2017).Güneş ışınımı arttıkça, PV modülden gelen elektrik güçte artar (Gardas ve Tendolkar, 2012) Modül akımı ve güneş ışınımı arasındaki ilişki, güneş ışınımı arttıkça modül akımda artar (Salim ve ark., 2013). PV modülünün performansı üzerindeki güneş ışınımının etkisi belirli bir yüzde artış değeriyle ölçülemez çünkü modül akımı ile ışınım değeri arasındaki ilişki doğrusaldır (Fouada ve ark., 2017).

1.7.1.2. Modül Sıcaklığı

Bir PV hücre, ışınımın yaklaşık %20'sinden küçük bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürürken, geri kalanını ısıya dönüştürülür. Modülün aşırı ısınması temel olarak aşırı güneş radyasyonu ve yüksek ortam sıcaklıkları nedeniyle oluşur (Fouada ve ark., 2017). Modül sıcaklığı, sistemin verimini ve enerji çıkışını büyük ölçüde etkilediği için PV sistemini de etkileyen bir parametredir (Elhady ve ark., 2016). Hücre sıcaklığındaki artışın ana nedeni, hücre sıcaklık artışı ile doğrusal olarak azalan açık devre voltajından kaynaklanmaktadır (Meral ve Dinçer, 2011).



Şekil 1.13 Kristal bir modülün sıcaklığa bağlı değişen akım gerilim grafiği



Şekil 1.14 Kristal bir modülün ışınıma bağlı değişen akım gerilim grafiği

1.7.1.3. Toz Birikimi

Güneş ışığının bir kısmı, toz veya kirin varlığından dolayı PV modülünün etkin bir şekilde çalışmasını engelleyebilmekte ayrıca üretilen gücün önemli miktarda kaybına neden olmaktadır (Fouada ve ark.,2017).

1.7.1.4. Gölgeleme

PV modüllerin gölgede kalması modül verimliliğini etkilemektedir (Fouada ve ark., 2017). Yalnızca gölgeli hücreler mevcut akıştan etkilemekle kalmaz diğer hücrelerde seri olarak bağlandıkları için modüldeki akım da etkilenir. Modülün yerleştirildiği bölgeye

yakın konumdaki yüksek binalar, örneğin çatıdaki antenler ve bacalar, ağaç dalları düşebilecek yapraklar, kuşlar ve kuş dışkıları da gölgelenmeye neden olabilir gölgelerde foltovotaik verimin düşmesine neden olmaktadırlar (Maghami ve ark., 2016).

1.7.1.5. Modülün Kirlenmesi

Toz birikimi, güneş modüllerinin kirlenmesine neden olabilir. Çoğu durumda, modül yüzeyleri yağışla yıkanır. Ancak, tozlar yoğun yağmurdan sonra bile kalabilir (Fouada ve ark.,2017). Bir modülün en kritik kısmı, özellikle çerçevenin kenarındaki kirlenme oluştuğu düşük eğimlerde alt kenardır (Fouada ve ark.,2017). Biriken bu kir hücrelerin gölgesinde kalmasına neden olur ve böylece mevcut gücü genellikle bir modülden %1 aralığında azaltır; ancak modüller temizlendiğinde güç geri yüklenir (Maghami ve ark., 2016).

1.7.2. PV Sistem Faktörleri

PV sistem bileşenleriyle ilgili bazı faktörler sistemden gelen güç çıkışını etkileyebilir.

1.7.2.1. Pil Verimliliği

Bağımsız PV sistemlerinde, piller ağırlıklı olarak PV sistemi yükü tamamen örttüğünde veya yük gerekli olmadığında üretilen fazla elektrik enerjisini depolamak için kullanılır (Fouada ve ark.,2017). Buna ek olarak, PV sistem çıkışının dalgalı doğasından dolayı piller gereklidir. Piller bir PV sisteminde kullanıldığında, aşırı sıcaklığa ve yeterli havalandırma gerektirmeyen bir alana kurulmalıdır (Fouada ve ark.,2017).

1.7.2.2. Modül Yapısı

PV modülün yapısı güç çıkışını büyük ölçüde etkiler. Bu yapı, modülün yapıldığı malzemeyi, atomik yapısını ve kullanılan malzemenin bant aralığı enerjisini etkilemektedir (Fouada ve ark.,2017).

1.7.2.3. PV Malzemesi

PV malzemesinin seçiminin sistem tasarımı ve performansı üzerinde önemli etkileri olabilir. PV malzemeleri silikon, galyum arsenit (GaA'lar), bakır indiyum diselenid (CuInSe2), kadmiyum tellürür (CdTe), indiyum fosfit ve diğerleridir (Fouada ve ark.,2017). Bu malzemeler farklı modül maliyetlerinin yanı sıra, farklı hücre verimleri de üretir (Meral ve Dinçer , 2011). Mono kristalin hücrelerin dönüşüm verimliliği genellikle polikristalin hücrelerinkinden daha yüksektir. Yani, tek kristalli kristaller için %16–22 ve çok kristalli olanlar için %14-18'dir (Yeşil ve ark., 2015).

1.7.2.4. PV Atom Yapısı

Bir PV hücresinin atomik yapısı, mono-kristalli, poli-kristalli, amorf veya nano olabilir.

Çizelge 1.3. Hücre ve modül verimliliğini karşılaştırma tablosu

Hücre Tipi	**Hücre Verimi**	Modül **Verimi**
Monokristal	%24	%13-17
Polikristal	%18	%11-15
Amorf Silikon	%11-12	%5-8

1.7.2.5. Modül Verimliliği

Bir PV modülün enerji dönüşüm verimliliği, bir PV hücresi bir elektrik devresine bağlandığında toplanan ve dönüştürülen (ışıktan elektrik enerjisine kadar) güç yüzdesidir (Fouada ve ark., 2017).Verimlilik, PV modülün nominal gücüne, yüzey alanına bağlıdır. modül ve güneş ışınımı. Sadece bu değil, aynı zamanda PV modülün verimliliği, malzemesine, bant aralığı enerjisine ve atomik yapısına bağlıdır (Fouada ve ark., 2017).

1.7.3. PV Sistemi Kurulum Faktörleri

PV sistemlerinden elde edilen sonucu etkileyebilecek en önemli faktörlerden bazıları, sistemin kurulumuna ve bu kurulu bileşenlerle ilgili kayıplara bağlıdır. Kablolar,

modülün yönü, uyumsuzluk, takip ve MPPT (Maksimum Güç Noktası) ile ilgilidir (Fouada ve ark., 2017).

1.7.3.1. Kablo Özellikleri

Izgara bağlantılı PV sistemi kablolamak için kullanılan kablolar, ortamın aşırı, gerilim ve akım koşullarına dayanabilmelerini sağlamak için dikkatle seçilmelidir (Maghami ve ark., 2016).

1.7.3.2. Eğim Açısı veya Yönü

PV modüllerden günlük ve aylık enerji üretimi modül oryantasyonundan güçlü bir şekilde etkilenmekte ve modüle çarpan güneş ışığının geliş açısına (AOI) bağlı olarak değişen bazı optik kayıplar güneş ışınlarının doğrudan bileşeni AOI' den etkilenir, difüz bileşen ise neredeyse modül oryantasyonundan bağımsızdır (Fouada ve ark., 2017). Bir PV modülü, yüzeyi güneşe dik olduğunda güneş ışınımını en verimli şekilde kullanır (Fouada ve ark.,2017). Modüller sabit bir eğim açısına monte edilmişse, Yıllık optimum eğim açısı durumları için eğim açısı, montajı yapılan modülün yerinin enlemi ile aynı olmalıdır.

1.7.3.3. Uyumsuzluk Etkileri

Uyumsuzluk kayıpları, eşleşmeyen güneş modüllerinin seri ve paralel olarak bağlanması, özellikle ortak özelliklere sahip olmayan ya da birbirlerinden farklı koşullarla karşılaştırılma sonucunda oluşur (Maghami ve ark., 2016).

1.8. Çalışmanın Amacı

PV modüllerde sıcaklık artışı nedeniyle en fazla etkilenen parametre açık devre voltajıdır. Sıcaklığın artması PV hücrelerin kısa devre akımını arttırırken açık devre gerilimini azaltır. Sıcaklığın yükseltilmesi, devredeki elektronların hızını düşüren direnci arttırır. Dolayısıyla yüksek çalışma sıcaklıkları PV sistemlerde güç ve verimi olumsuz

etkilemektedir. Hücrenin verimi artan sıcaklıkla düşüş gösterir. Ayrıca sıcaklık modül malzemesinin termal bozunumunu artırıcı bir etki ile hücrelerin etkin verim ömürlerini de azaltmaktadır. Bu nedenle, bir PV modülün verimliliğini arttırmanın ve termal bozunum oranını azaltmanın etkili bir yolu yüzeyinin çalışma sıcaklığını düşürmektir. Bunu sağlamanın yolu modülü soğutarak ve çalışma sırasında PV hücrelerinde depolanan ısıyı azaltarak başarılabilir. PV modül yüzey sıcaklıklarını azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi su soğutma sistemleridir.

Çalışmanın amacı Hatay koşullarında PV/T sistemde sıvı akışkan tekniği kullanılarak PV modüllerin çalışma koşullarında soğutularak verimlerinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisi PV modüllerinin çalışma sıcaklığını düşürmek için olası çözümlerle bazı araştırmalar yapılmıştır.

Akbarzadeh ve Wadowski (1996) yaptıkları bir çalışmada, hibrid bir PV-T güneş sisteminde suyla soğutmanın güneş modüllerinin çıkış gücünü neredeyse % 50 oranında arttırdığını ölçmüşler. Ayrıca bu sistemde, modül soğutma işleminin, 4 saatlik bir süre için güneş pillerinin yüzey sıcaklığının 46 °C'nin üzerine çıkmadığını belirlediler.

Chaniotakis (2001), kombine sistemde hem su hem de havanın soğutucu akışkan olarak kullanıldığı bir hibrid PV-T güneş modüllerinde yaptığı araştırmada, su soğutmalı PV modüllerin veriminin havalı soğutmalı modülden daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Batoul (2008) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanarak PV modüllerinin hava akışının verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Modül, doğal konveksiyon ile soğumayı en üst düzeye çıkarmak için havanın modüllerin altından akacağı şekilde yapılmıştır. Güneş enerjisi sisteminin geometrisinin ve yapısının modüllerin soğutulması üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirlemiştir

Keçel ve Yavuzcan (2008) Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki sıcaklık farklarından doğacak kayıpların PV modüllerin verimliliği üzerindeki etkileri incelemişler, kullanılacak modüllerdeki kayıpların en aza indirgenmesi için öneriler geliştirilmişlerdir

Kluth (2008) güneş modülü verimliliğini artırmak için suyu soğutucu olarak kullanmış. Bu amaçla biri soğutmasız ve diğeri fan ile su püskürterek soğutulan iki modül kullanılmış. Su soğutmalı güneş modülünün soğutma yapılmayandan daha fazla enerji ürettiğini belirlemiştir. Ancak, suyu fan vasıtasıyla püskürterek yapılan soğutma, suyun tüm modül üzerine püskürtülmediğinden dolayı etkili bir yöntem değildir. Çünkü bu yöntemle PV modüllerinin bazı parçaları soğutulmaz ve bu yöntem çok büyük bir su kaybına neden olmaktadır.

Sarhaddi ve ark. (2010) PV modülün yüzeyini soğutmak için modül altından bir hava kanalı oluşturmuşlardır. Bu hava kanalından hava geçirerek, modül yüzeyindeki ısınmayı ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. Modülden elde edilen elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin verimliliğini hesaplamak için enerji ve ekserji analizi yapmışlardır.

Fudholi ve ark. (2014) çalışmalarında, PV modülden imal edilen bir PV/T modülün performans analizini yapmışlardır. Yapmış oldukları analizler sonucunda 800 W/m^2

ışınım ve 0.041 kg/s su debisinde, %13 PV verimi ve %52 ısıl verim elde etmişlerdir. Farklı debilerde çalışmışlar ve akış hızının artması yüzeydeki soğutmayı etkilemekte fakat sıcak su üretimini de etkilediğini tespit etmişlerdir.

Rahman ve ark. (2015), radyasyon yoğunluğu, soğutma sıvısı kütle akış hızı, nem ve toz gibi çeşitli parametrelerin PV modül performansına etkilerini incelemiştir. Modül sıcaklığının, toz ve nemin modül verimliliğini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bununla birlikte, modül verimliliği radyasyon arttıkça artmıştır, ancak bu durumda modül sıcaklığı da artmıştır.

Rawat ve ark. (2017) PV/T hava ve su soğutmalı sistemleri karşılaştırarak toplam sistem verimlerini (elektrik ve ısıl) incelemiş ve sırasıyla %62.57 ve %70 olarak bulmuşlardır

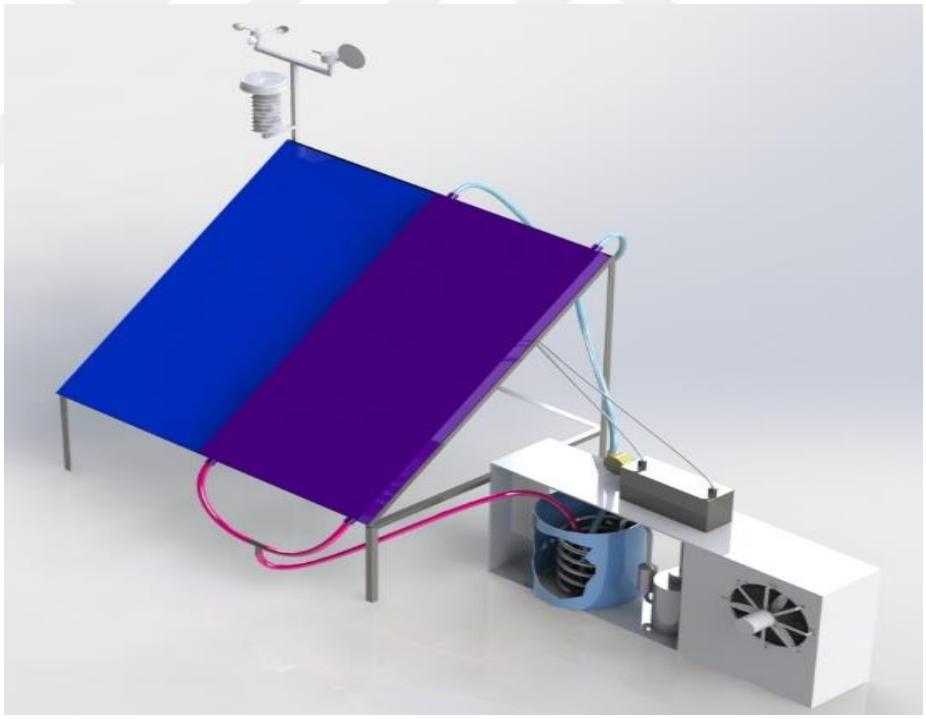
Soltani ve ark. (2017) güneş modüllerinin sıcaklığını düşürmek için ile zorlanmış konveksiyon koşulu oluşturarak hava üfleme ile %12 verim artışı elde etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hibrit Fotovoltaik/Termal (PV/T) güneş sistemi, günümüzde fotovoltaik modülllerin soğutulması için en popüler yöntemlerden biridir. Hibrit sistem, soğutma sistemi ile birleştirilmiş güneş fotovoltaik modüllerden oluşur. Yüzeyin soğutulması için su veya hava, PV modüllerinin etrafında dolaştırılır, böylece modüllerin verimliliğinin artması sağlanır.

3.1. Materyal

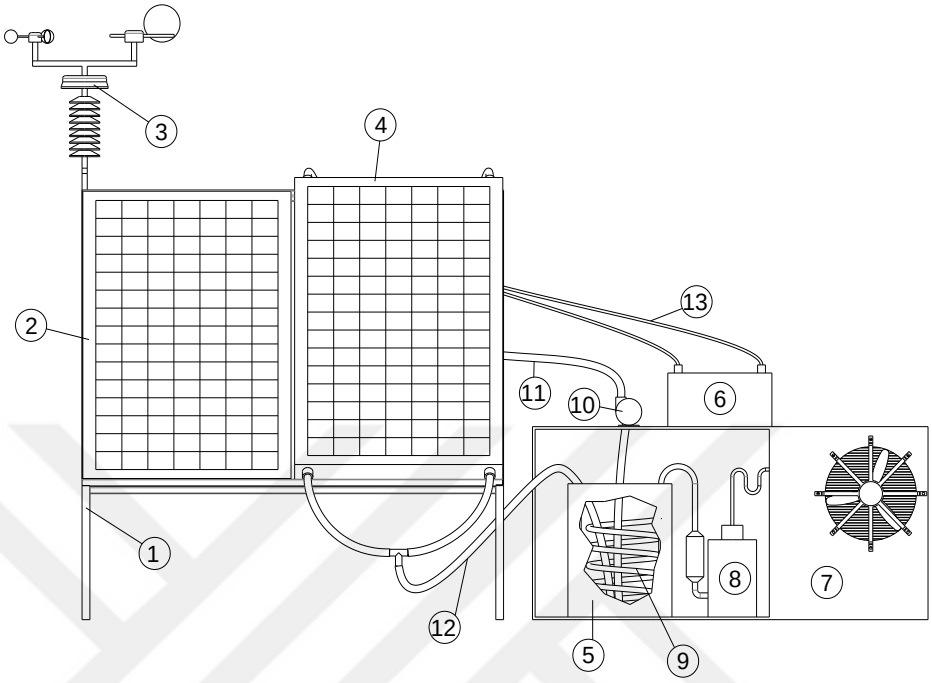
Deney düzeneği Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Kampüsü seralar bölgesinde Biyosistem Mühendisliği Bölüm serasının arka bölümünde kurulmuştur. Deney düzeneğinin izometrik 3D görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği (3D)

Deney düzeneğinde güneş modülleri haricinde soğutma sisteminde kullanılacak soğutucu suyun sistemde dolaşımını sağlayacak olan bir pompa, soğutma sistemli su deposu, güneş ışınımı ölçer, sıcaklık algılayıcılar, veri kaydediciler, akım ve gerilim

kaydedici, şarj kontrol cihazı, ampül, mini meteroloji istasyonu ve PE bağlantı boruları kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deney düzeneği parçaları
(1. İskele, 2. PV modül, 3. Meteroloji istasyonu, 4. PV/T modül, 5. Su tankı, 6. Akü, 7. Fan, 8. Kompresör, 9. Serpantin, 10. Pompa, 11 ve 12. PE boruları)

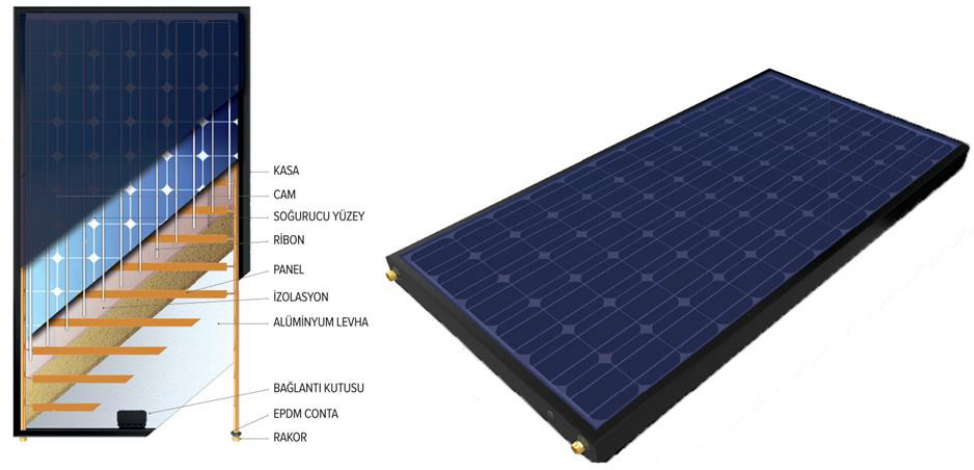
3.1.1. PV/T ve PV Modül

PV modüllerin ideal çalışma sıcaklığı 25 ºC olarak hesaplanırken (sıcaklığın daha da düşük olması verimi artırmaktadır), ortam sıcaklığı 25 ºC olan bir bölgede çalışan PV modül yüzey sıcaklığı 45 ºC'e kadar çıkmaktadır. modülün sıcaklığı ortam sıcaklığına, nem ve rüzgar miktarına bağlı olarak değişir. Bu durum karşısında PV modüllerde oluşan bu ısıdan faydalanmak ve güneş pilini soğutmak amacı ile hibrit modüller (PV/T) geliştirilmiştir. Bu sayede modüllerden hem elektrik enerjisi üretilmiş, hem de ısı enerjisi sağlanmış olur. Sonuç olarak, bir yandan PV güneş modülün soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan modülde oluşan ısı enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu sistemde fotovoltaik modülün altına bütünleşmiş su veya hava kanalları ile modül soğutulmaktadır. Su kanalları ile bütünleşik modüllerde bulunan su, pompa yardımı ile sirkülâsyonu yapılır (zorlanmış dolaşımlı).

Çalışmada modül yüzeyinde soğutma yapmak amacıyla Çizelge 3.1 teknik özellikleri verilen PV/T modül kullanılmıştır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1. PV/T modül teknik özellikleri

Özellik	**Değer**
Ebatlar (mm)	1601 x 828 x 90
Kütle (kg)	24.4
Nominal Güç (W)	190
Özgül Güç (W/m^2)	143.4
Nominal Akım(A)	5.2
Kısa Devre Akımı (I_{SC})(A)	5.6
Nominal Gerilim (V)	36.4
Açık Devre Voltajı (V_{OC})(V)	45.2
Dış Cam	4 mm PV Modül Camı
Modül	Monokristal
Soğurucu Yüzey Boru	Bakır



Şekil 3.3. PV/T modül

Çizelge 3.2 . PV modül teknik özellikleri

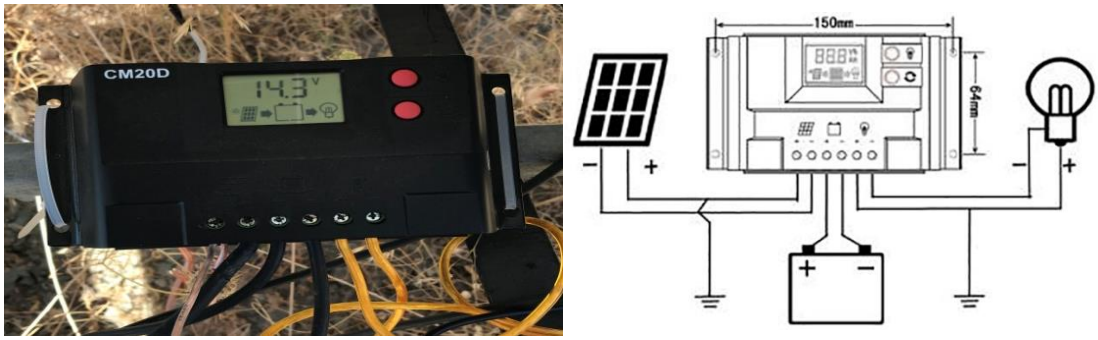
Özellik	**Değer**
Modül Modeli	165P
Hücre Tipi	Polikristal
Maksimum Güç (W)	165
Özgül Güç (W/m^2)	165
Maksimum Güç Voltajı (V)	19.5
Maksimum Güç Akımı (A)	8.47
Açık Devre Voltajı (V_{oc}) (V)	23.0
Kısa Devre Akımı (I_{sc}) (A)	8.93
Kütle (kg)	10.8
Boyut (mm)	1488x675x30



Şekil 3.4. PV modül

3.1.2. Şarj Kontrol Ünitesi

Şarj kontrol cihazı güneş modülünden gelen DC enerjiyi düzenleyerek sabitler ve akülerin şarjı için stabil bir dc elektrik enerjisi oluşturur. Akülerin DC bir kaynaktan şarj edilmesi için şarj akımı ve voltajının düzenli olarak sabit gelmesi gerekmektedir. Güneş modülün ürettiği voltaj ve akım sabit değildir. Bu yüzden akülerin verimli şarj edilmesi için şarj kontrol cihazına ihtiyaç vardır. Şarj kontrol cihazları ayrıca aküden modüllere ters akım akmasını önler. Aküyü aşırı şarjdan korur. Şarj kontrol cihazı akü dolduğu zaman güneş modülünden gelen elektriği keser. İki çeşidi bulunur. Bunlar; PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) ve MPPT (Maksimum Güç Noktası) şarj kontrol cihazlarıdır (Atalay ve ark., 2019). Denemede PWM tipi şarj kontrol cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Çizelge 3.2'de kullanılan şarj kontrol cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Şarj kontrol cihazı

Çizelge 3.3. Şarj kontrol cihazı teknik özellikleri

Özellik	**Değer**
Şarj Modu	PWM
Nominal Akımı (A)	20
Nominal Gerilim (V)	12/24 Otomatik tanım
Güneş Modülü Gerilimi (V)	≤50
Dalgalı Şarj Aralığı (V)	13.8 / 27.6
Alt-Gerilim Koruma (V)	10.7 / 21.4
Alt-Gerilim Geri Kazanımı (V)	12.6 / 25.2
Açı Devre Kaybı (mA)	≤ 13
Şarj ve Deşarj Gerilim Düşmesi (V)	< 0.2 | < 0.1
Çalışma Sıcaklığı (℃)	-20 ~ 60
Boyutlar (mm)	88 ×160 ×37
Kütle (g)	230

3.1.3. Batarya (Akü)

Solar sistemlerin en önemli elemanlarından biri bataryadır. Bataryalar (akü); elektrik enerjisini kimyasal enerji formunda depolanmasının sağlayan ve gerek duyulduğunda bunu elektrik enerjisi olarak verebilme özelliğindeki statik cihazlardır. Fotovoltaik sistemler için batarya kalitesi çok önemlidir. Bataryanın şarj-deşarj verimliliği yüksek, ömrünün ise uzun olması gerekir. Sıcaklığa ve olumsuz çevre koşullarına göre dayanıklı olmalıdır. Solar sistemlerde yaygın olarak kullanılan bataryalar; jel aküler, özel opzs tip sulu aküler ve derin çevrimli bazı kurşun asit akülerdir (Atalay ve ark., 2019). Jel serisi aküler geniş bant, PV gibi sık periyodik ve yüksek sıcaklık uygulamalarının isteklerini karşılamak için jel teknolojisiyle tasarlanmıştır. Jel akülerde, sülfürik asit tiksotropik jeli şekillendirmek için yüksek saflıkta silis kullanılmıştır. Elektrolit ayırıcı ve plakaların arasına tam dolumun sağlanabilmesi için vakumla doldurulur. Denemede sistemin ürettiği gücün ölçülebilmesi için 12 Volt 100 Ah Jel tipi batarya kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Jel tipi batarya

3.1.4. Su Soğutma Sistemi

PV/T modül su kullanılarak soğutulmuştur. Modül içerisinde dolaşan suyun soğutulmasında kompresörlü soğutma sistemi kullanılmıştır. Sistemde su soğutma işlemi tank içerisine daldırılmış bakır boru sarmalı şeklindeki evaporatör ile sağlanmaktadır. Soğutma sistemi, en düşük 18 ^{o}C sıcaklığa kadar ayarlanabilen sıcaklık kontrollü bir dijital kumanda sistemi ile kontrol edilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Su soğutma sistemi

3.1.5. Multimetre

Denemede modüllerin ürettiği akım ve gerilimin ölçülmesinde iki adet multimetre kullanılmıştır. Gerilim ölçümünde Brymen BM525s marka multimetre, akım ölçümünde ise Best BT9205A marka multimetre kullanılmıştır (Şekil 3.8).



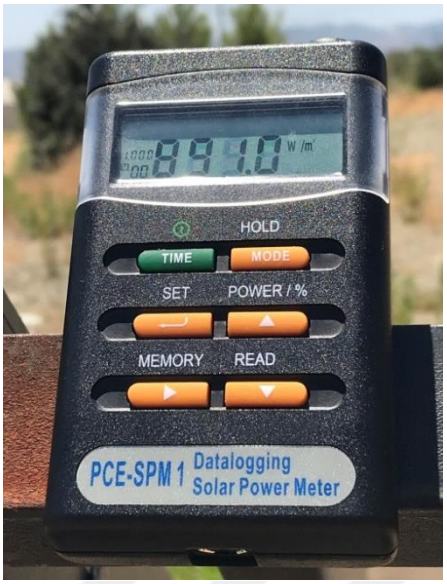
Şekil 3.8. Denemede kullanılan multimetreler

3.1.6. Işınımölçer (Solarimetre)

Yatay bir yüzeyin birim alanına düşen doğrudan ve saçılmış güneş ışınımının toplam enerjisini ölçen alete ışınımölçer (solarimetre) denir. Çalışmada, özellikleri verilen PCE-SPM1 marka veri kaydetme özelliğine sahip ışınımölçer kullanılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Işınımölçer teknik özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Ölçüm Aralığı (W/m²)	0-2000
Çözünürlük (W/m²)	0.1
Hassasiyet	±10 W/m²veya±5% (en uygun değer ile)
Spektrum Aralığı (nm)	400-1000
Veri Hafızası	43000 ölçüm değeri
Veri Aktarımı	RS232 seri arayüz
Ekran	LCD
Ortam Sıcaklığı Aralığı (°C)	0…+50
Maksimum Nem (r.F)	<%80
Güç Kaynağı	4 adet AAAx1.5 V pil
Boyutlar (mm)	111x64x34
Kütle (g)	165



Şekil 3.9. Işınımölçer

3.1.7. Kızılötesi Termometre

Denemede PV modül yüzey sıcaklığının ölçülmesinde kızılötesi termometre kullanılmıştır. Kullanılan termometre -32 ºC - +380 ºC sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Denemde kullanılan Spectrum Technologies marka kızılötesi termometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kızılötesi termometre teknik özellikleri

Özellik	**Değer**
Aydınlatmalı	LCD Ekran
Mesafe: Görüş Çapı oran	12:1
"Bekle" Fonksiyonu	Var
Ölçüm Aralığı (°C)	-32 - 380
Çözünürlük (°C)	1
Doğruluk	% 1.5
Güç Kaynağı	9 V Pil
Boyut mm	190x100x45



Şekil 3.10. Kızılötesi termometre

3.1.8. Metoroloji İstasyonu

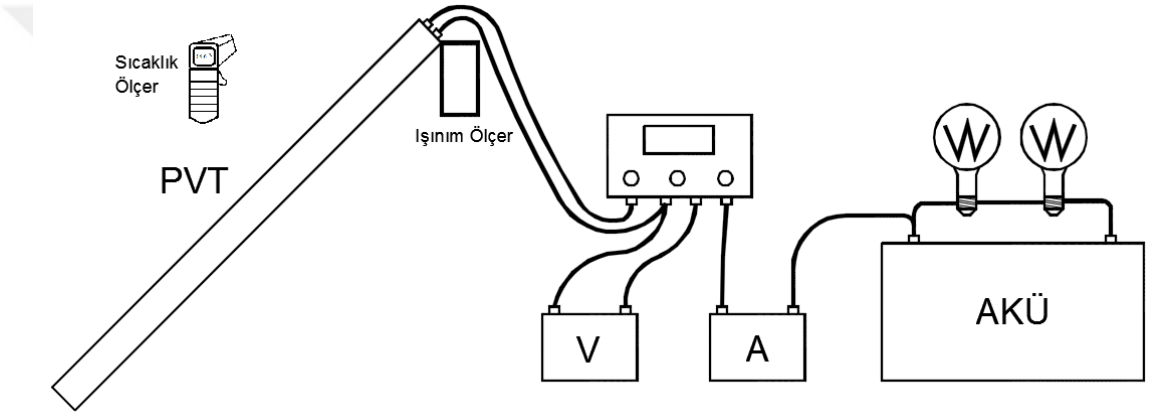
Denemede yapılan ölçümler süresince ortam koşullarının iklim verilerinin kayıt edildiği PCE marka mini meteroloji istasyonu kullanılmıştır (Şekil 3.12). Kullanılan mini meteroloji istasyonu; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, dış ünite sıcaklığı ve nemi, kontrol modülünün bulunduğu ortam sıcaklığı ve nemi, hissedilen sıcaklık değeri, çiğlenme sıcaklığı, bağıl ve mutlak basınç değerlerini 5 dakika aralıklar ile ölçülüp kaydetmiştir.



Şekil 3.11. PCE Mini meteoroloji istasyonu

3.2. Yöntem

Çalışmada PV/T modülün elektrik üretim verimi soğutma yapılarak ve soğutma yapılmadan iki şekilde belirlenmiştir. Bu amaçla, Şekil 3.13'de gösterildiği şekilde, iki adet multimetre bağlantısı yaparak modülün ürettiği akım ve gerilim değerleri 5 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Bu ölçümler yanında her iki denemede modül yüzey sıcaklığı, ışınım miktarı ve ortamın iklim parametreleri ölçülmüştür. Ölçümler güneşin en yoğun olduğu 10:00 ile 15:00 saatleri arasında yapılmıştır.



Şekil 3.12. Deney düzeneği ölçüm sistemi bağlantı şeması

PV/T modülün soğutulmasında akışkan olarak kompresörlü soğutma sistemi ile soğutulan su kullanılmıştır. Yaklaşık 20 ºC sıcaklığındaki su 12/24 V DC bir pompa yardımıyla PV/T modülü içinden geçirilerek tekrar su deposuna boşaltılarak devir daimi sağlanmıştır.

Ayrıca bir kıyaslama olması açısından deney düzeneğindeki PV modülün akım, gerilim ve yüzey sıcaklığı değerleri ölçülmüştür.

Güneş modüllerinin ürettiği güç Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Modüllerin veriminin hesaplanmasında ise Eşitlik 3.2 kullanılmıştır. Su soğutma sisteminin harcadığı güç dikkate alınmamıştır.

$$P_e = I_i V_i \qquad \text{.....(3.1)}$$

$$\eta_e = \frac{P_e}{G\ A_p} \qquad \text{..... (3.2)}$$

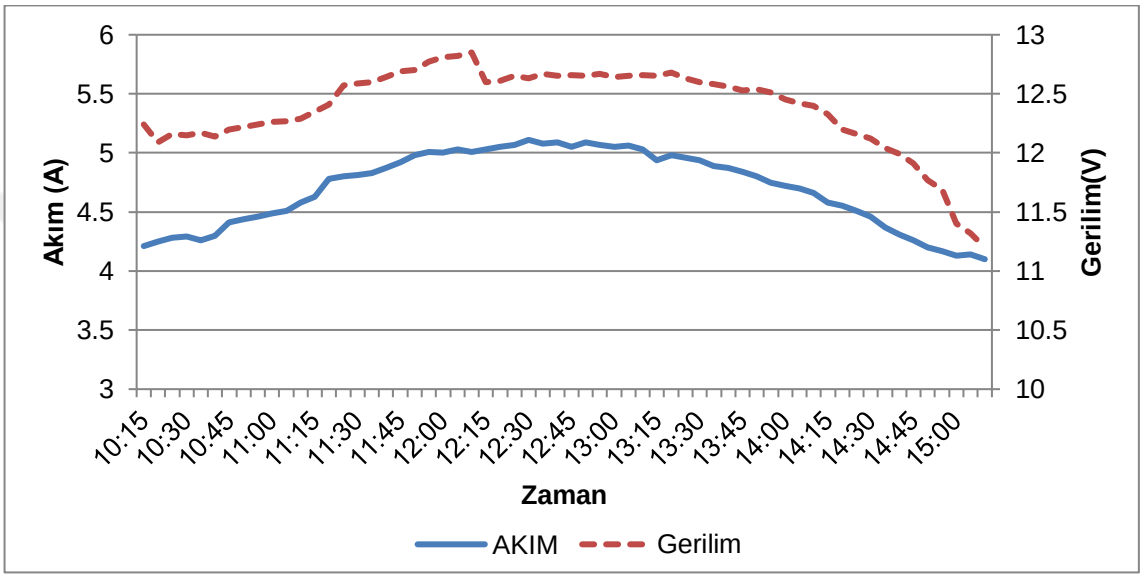
Burada;

P_e : Elektriksel güç (W)
V_i : Anlık gerilim değeri (V)
I_i : Anlık akım değeri (A)
η_e : Elektrik dönüşüm verimi (ondalık)
G : Normal yüzeye gelen güneş ışınımı (W/m^2)
A_p : Modül yüzey alanı (m^2)

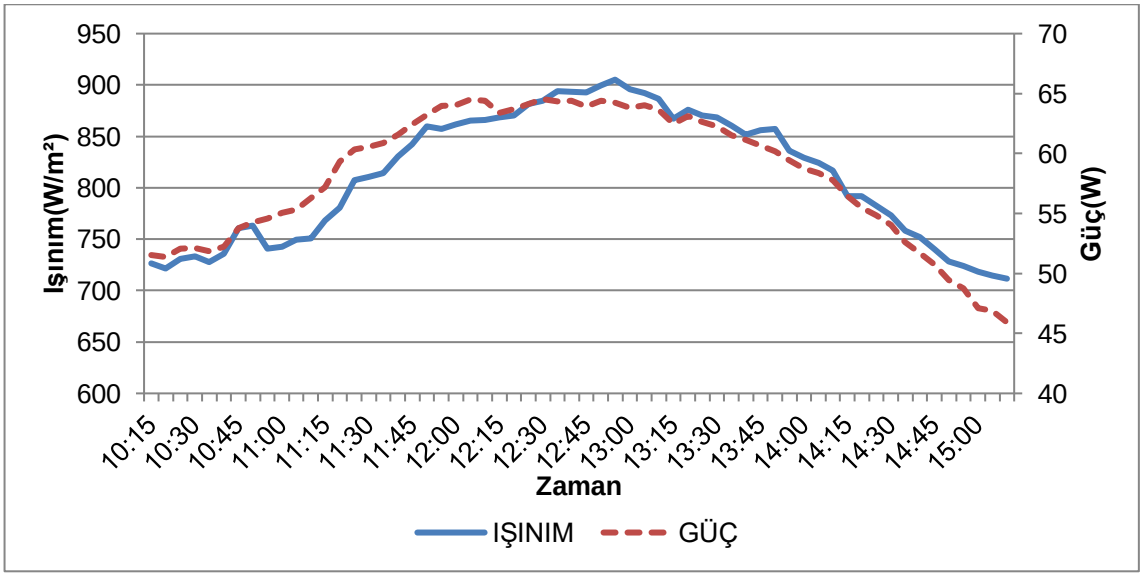
Her iki modülden elde edilen ölçümler sonucunda akım ve gerilim arasındaki değişimler ile ışınım ve güç ilişkileri grafiklerle ortaya konulmuştur. Sıcaklık ve verim arasındaki ilişkinin görülmesi için PV/T modülün soğutmalı ve soğutmasız koşullarda yüzey sıcaklığındaki değişim ile verim değişim grafikleri oluşturulmuştur. Sıcaklık değişimleri iki ölçüm noktası arasındaki farklar alınarak hesaplanmış, verim değişimi ise iki ölçüm noktasındaki farkın yüzdesel hesabı yapılarak belirlenmiştir. Son olarak modül sıcaklığının elektrik üretim verimi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA

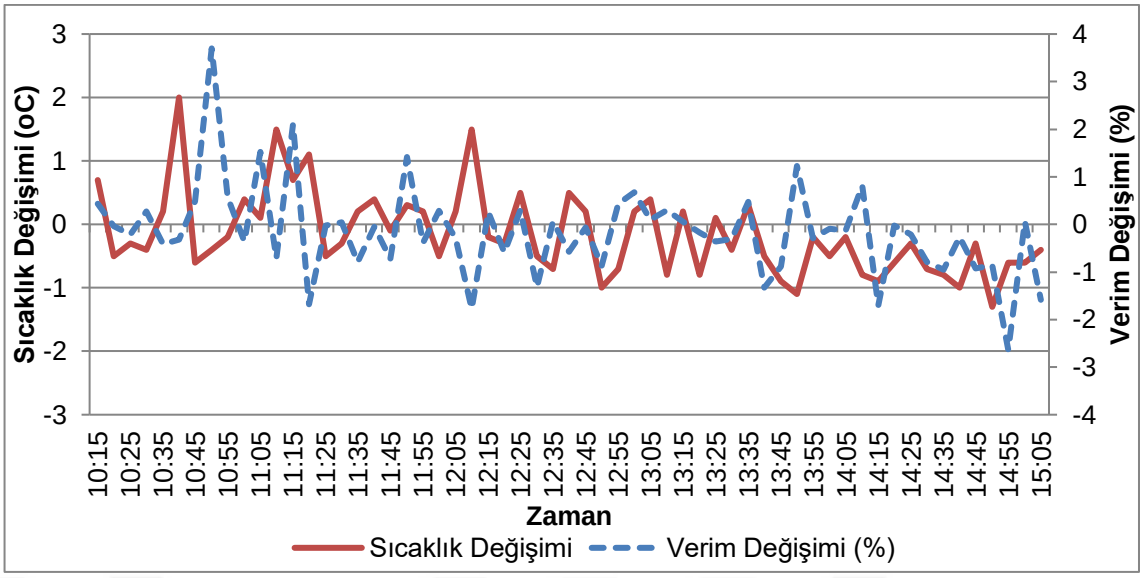
Denemede PV/T modül soğutma sistemi çalıştırılarak 21-27 Haziran 2019 tarihleri arasında toplamda 6 gün veri alınmıştır. Bu günler içerisinden 24 ve 25 Haziran günlerinde yapılan ölçümlere ait akım-gerilim, ışınım-modül gücü ve sıcaklık-verim değişimlerini içeren grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.1. PV/T modül soğutmalı sistem akım ve gerilim grafiği (24 Haziran 2019)



Şekil 4.2. PV/T modül soğutmalı sistem ışınım ve modül güç üretimi (24 Haziran 2019)

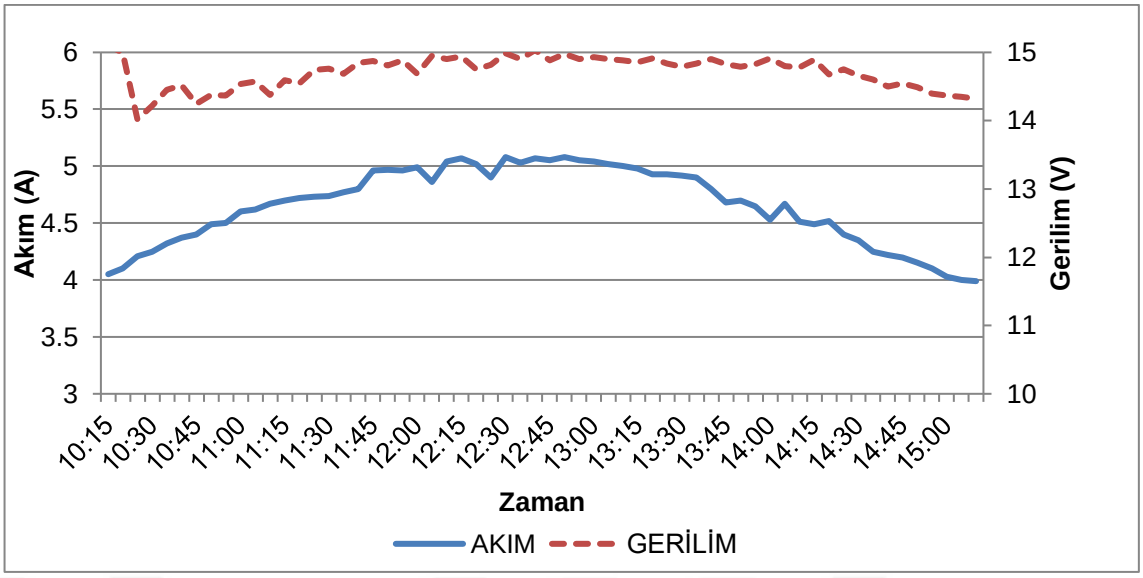


Şekil 4.3. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim değişimi (24 Haziran 2019)

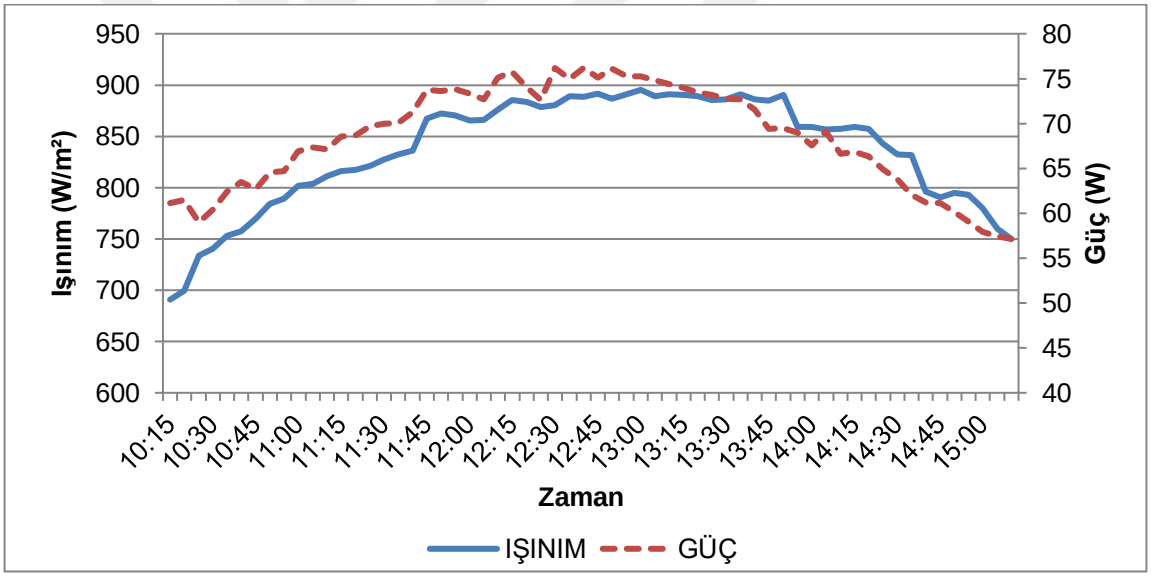
24 Haziran 2019 tarihinde, Hatay iklim koşullarında, PV/T modül üzerinde yapılan denemenin ölçümleri saat 10:15 - 15:05 arası, güneşin etkin olduğu dönemlerde yapılmıştır. Akım ve gerilim ölçüm değerlerine bakıldığında, akımın 4.0 – 5.11 A, gerilimin ise 11.0 – 12.90 V aralığında değiştiği görülmektedir. PV/T modülün en yüksek akım ve gerilim değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında olduğu belirlenmiştir.

Işınım ile güç grafiğinde ışınımın 711.6 – 905.2 W/m² aralığında, modülün ürettiği elektriksel güç değerinin ise 45.92 – 64.53W arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve PV/T modülün ürettiği güç değerlerinin saat 11:45-13:30 arasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Işınım ve modül güç değerinin birbirine paralel olduğu görülmektedir.

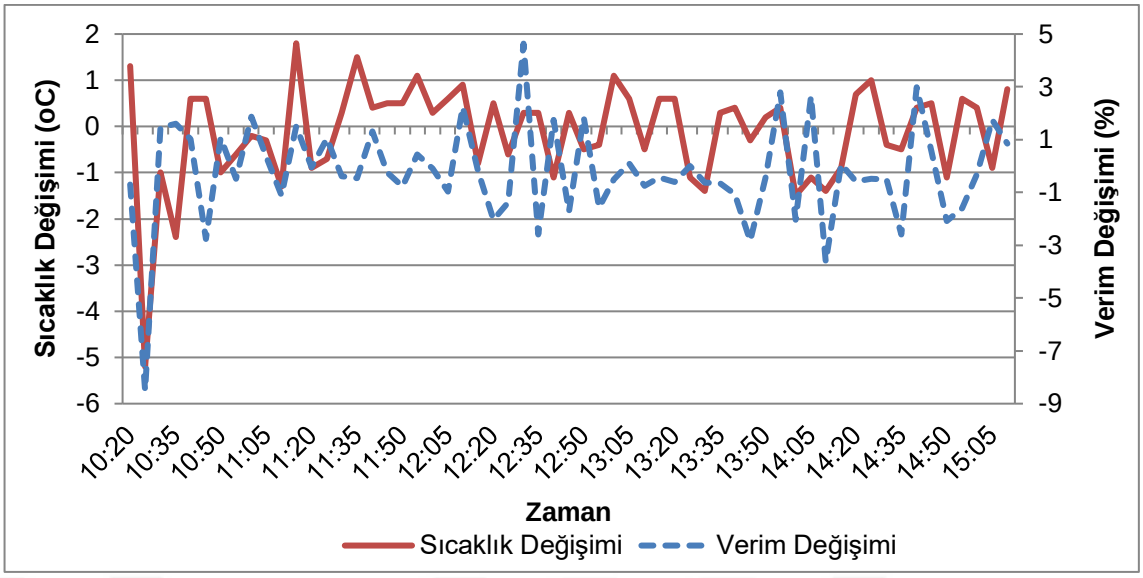
Denemede PV/T modül üzerinde yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığı değerinin 46.0 – 60.7 °C arasında, modülün elektrik üretim veriminin ise %4.98 – 5.84 arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının verimdeki değişime etkisini yüzdesel olarak veren grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki artışların verimdeki azalışlara neden olduğu birçok ölçüm noktasında görülmektedir (Şekil 4.3). Ölçüm noktaları arasında sıcaklıkta meydana gelen değişim değerlerinin -1.3 ile 2.0 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının azalış gösterdiği durumlarda modülün elektrik üretim verimlerinin arttığı görülmektedir. Modül elektrik üretim verimindeki değişimlerin modül yüzey sıcaklığındaki değişime bağlı olarak %-2.63 ile +3.69 arasında olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. PV/T modül soğutmalı sistem akım ve gerilim grafiği (25 Haziran 2019)



Şekil 4.5. PV/T modül soğutmalı sistem ışınım ve modül güç üretimi (25 Haziran 2019)



Şekil 4.6. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim değişimi (25 Haziran 2019)

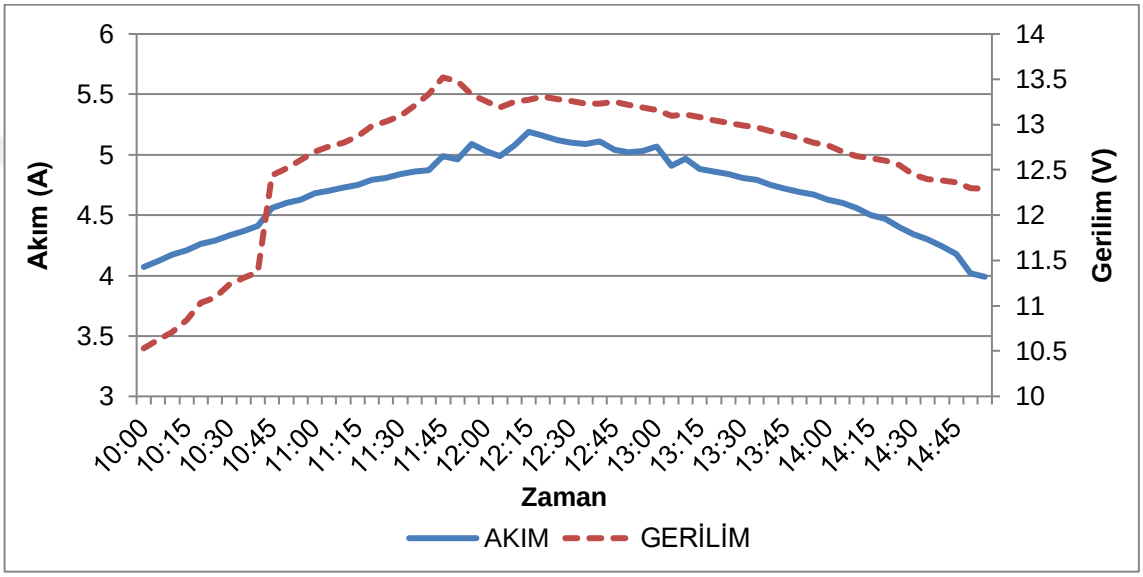
25 Haziran 2019 tarihinde Hatay iklim koşullarında PV/T modül üzerinde yapılan denemenin ölçümleri saat 10:20-15:05 arası, güneşin en etkin olduğu dönemlerde yapılmıştır. Bu zaman aralığında yapılan akım ve gerilim ölçüm değerlerine bakıldığında akımın 4.0 – 5.0 A aralığında değiştiğini gerilimin ise 14.0 – 15.0 V arasında değiştiği görülmektedir. PV/T modül en yüksek akım ve gerilim değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4).

Aynı zaman da yapılan ölçümlerin ışınım ile güç grafiğinde ise ışınımın 690-895 W/m² aralığında, modülün ürettiği elektriksel güç değerinin ise 57.0 – 76.0 W arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve PV/T modülün ürettiği güç değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ışınım ve modül güç değerinin birbirine paralel olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.5).

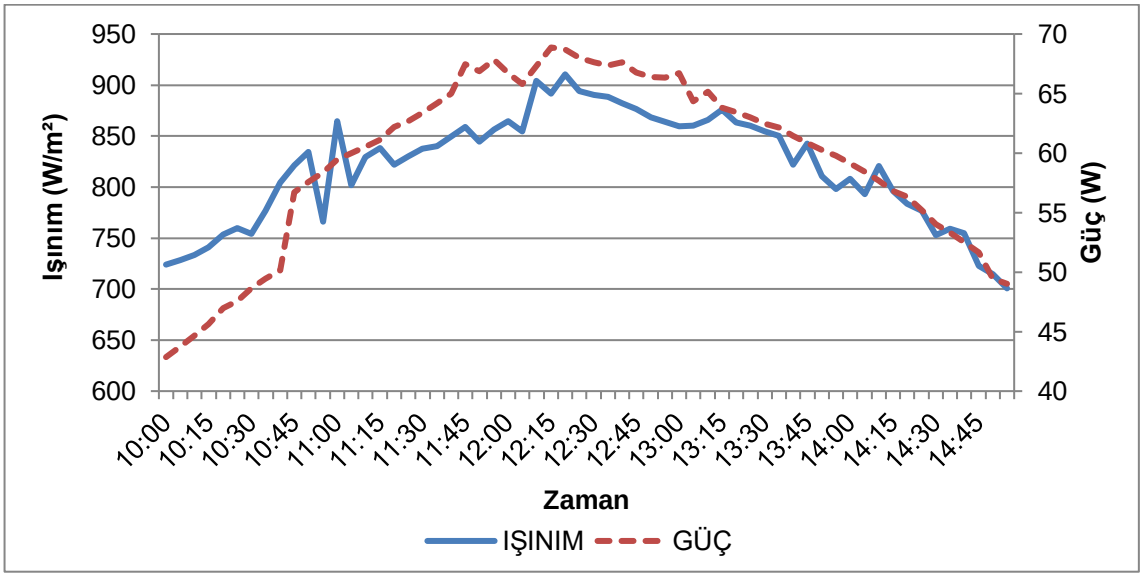
Denemede PV/T modül üzerinde yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığı değerinin 45.0 – 56.0 ^{o}C arasında, modülün elektrik üretim veriminin ise % 5.7 – 6.8 arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının verimdeki değişime etkisini yüzdesel olarak veren grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki artışların verimdeki azalışlara neden olduğu birçok ölçüm noktasında görülmektedir (Şekil 4.6). Ölçüm noktaları arasında sıcaklıkta meydana gelen değişim değerlerinin -5.2 ile 1.8 ^{o}C arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının azalış gösterdiği durumlarda modülün elektrik üretim verimlerinin arttığı görülmektedir. Modül elektrik üretim verimindeki

değişimlerin modül yüzey sıcaklığındaki değişime bağlı olarak %-7.0 ile +5.0 arasında olduğu hesaplanmıştır.

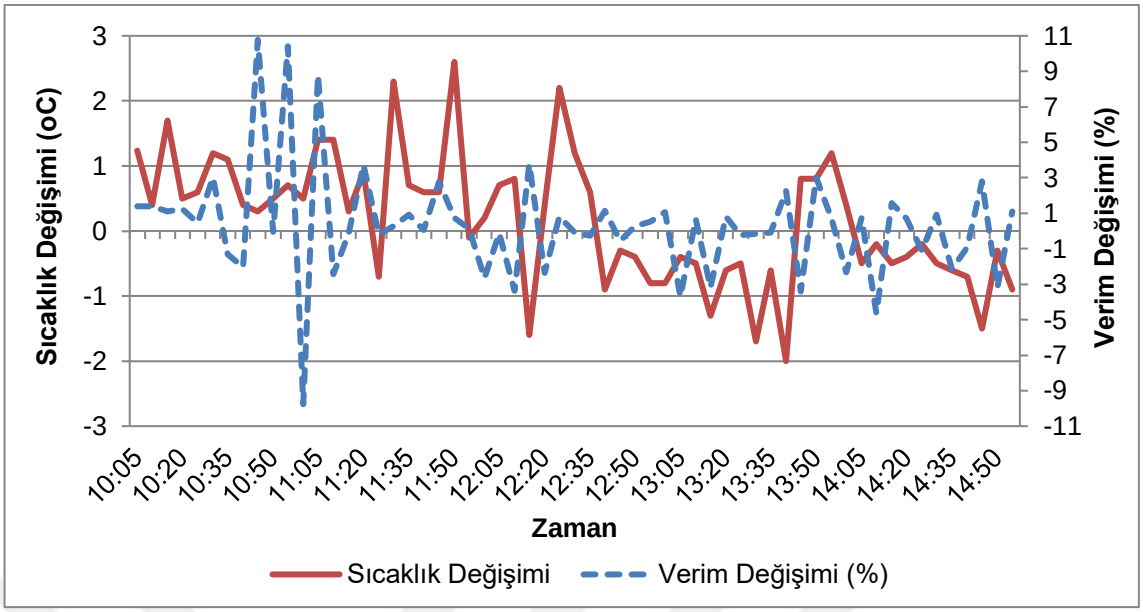
PV/T modülde soğutma yapılmadan 28-30 Haziran ve 1 Temmuz 2019 tarihleri arasında toplamda 5 gün veri alınmıştır. Bu günler içerisinden sadece 29 ve 30 Haziran günlerinde yapılan ölçümlere ait akım-gerilim, ışınım-modül gücü ve sıcaklık-verim değişimlerini içeren grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.7. PV/T modül soğutmasız sistem akım ve gerilim grafiği(29 Haziran 2019)



Şekil 4.8. PV/T modül soğutmasız sistem ışınım ve modül güç üretimi (29 Haziran 2019)



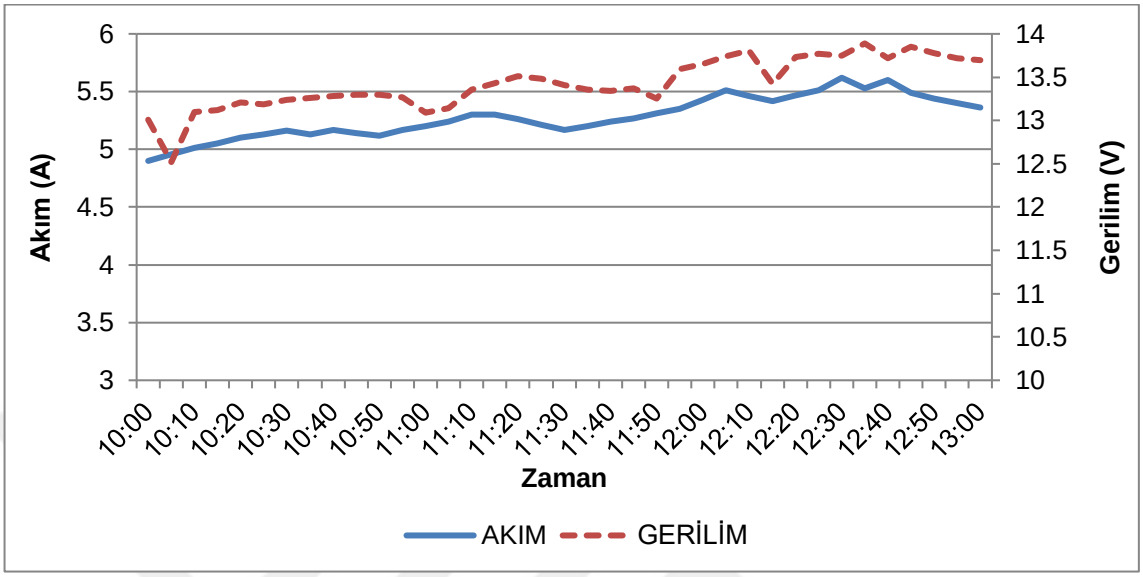
Şekil 4.9. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim değişimi (29 Haziran 2019)

29 Haziran 2019 tarihinde Hatay iklim koşullarında PV/T modül üzerinde soğutmasız sistem şeklinde yapılan denemenin ölçümleri saat 10:05-14:50 arası, güneşin etkin olduğu zaman dilimin de yapılmıştır. Bu zaman aralığında yapılan akım ve gerilim ölçüm değerlerine bakıldığında akımın 4.0 – 5.02 A aralığında değiştiğini gerilimin ise 10.5 – 13.5 V değiştiği PV/T modülün en yüksek akım ve gerilim değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7).

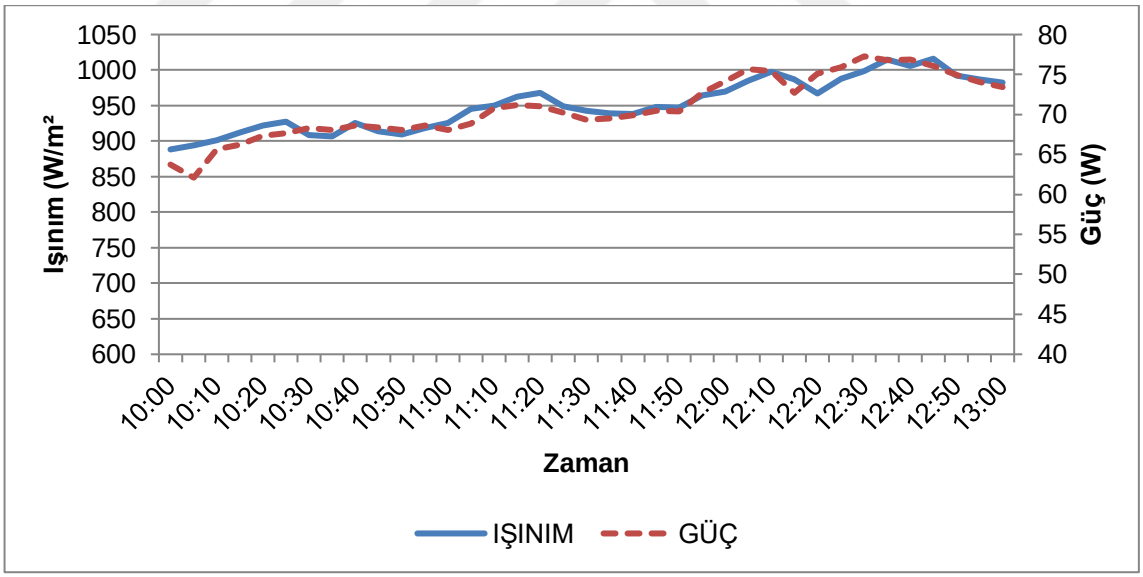
Ölçümlerin ışınım ile güç grafiğinde ışınımın 700.7 – 910.5 W/m² aralığında, modülün ürettiği elektriksel güç değerinin 42.9 – 68.9 W arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve PV/T modülün ürettiği güç değerlerinin saat 11:45-13:30 arasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Işınım ve modül güç değerinin birbirine paralel olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.8).

Denemede PV/T modül üzerinde yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığı değerinin 51.6 – 75.2 °C arasında, modülün elektrik üretim veriminin ise % 4.6 – 5.8 arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının verimdeki değişime etkisini yüzdesel olarak veren grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki artışların verimdeki azalışlara neden olduğu birçok ölçüm noktasında görülmektedir (Şekil 4.9). Ölçüm noktaları arasında sıcaklıkta meydana gelen değişim değerlerinin -2.0 ile 2.6 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının azalış gösterdiği durumlarda modülün elektrik üretim verimlerinin arttığı görülmektedir. Modül elektrik üretim verimindeki

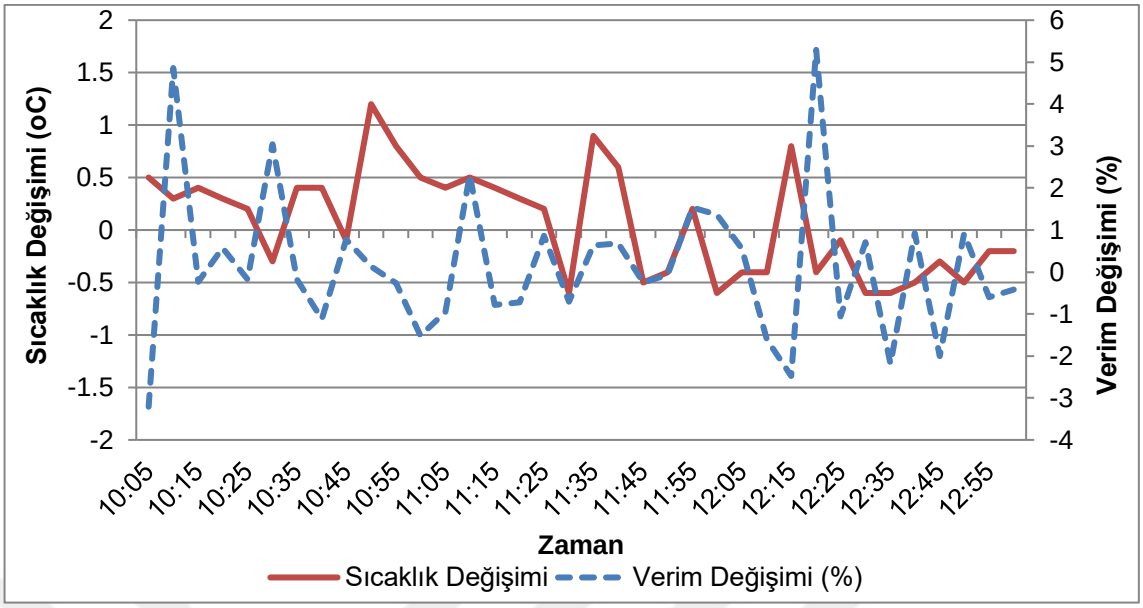
değişimlerin modül yüzey sıcaklığındaki değişime bağlı olarak %-9.0 ile +10.0 arasında olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. PV/T modül soğutmasız sistem akım ve gerilim grafiği (30 Haziran 2019)



Şekil 4.11. PV/T modül soğutmasız sistem ışınım ve modül güç üretimi (30 Haziran 2019)



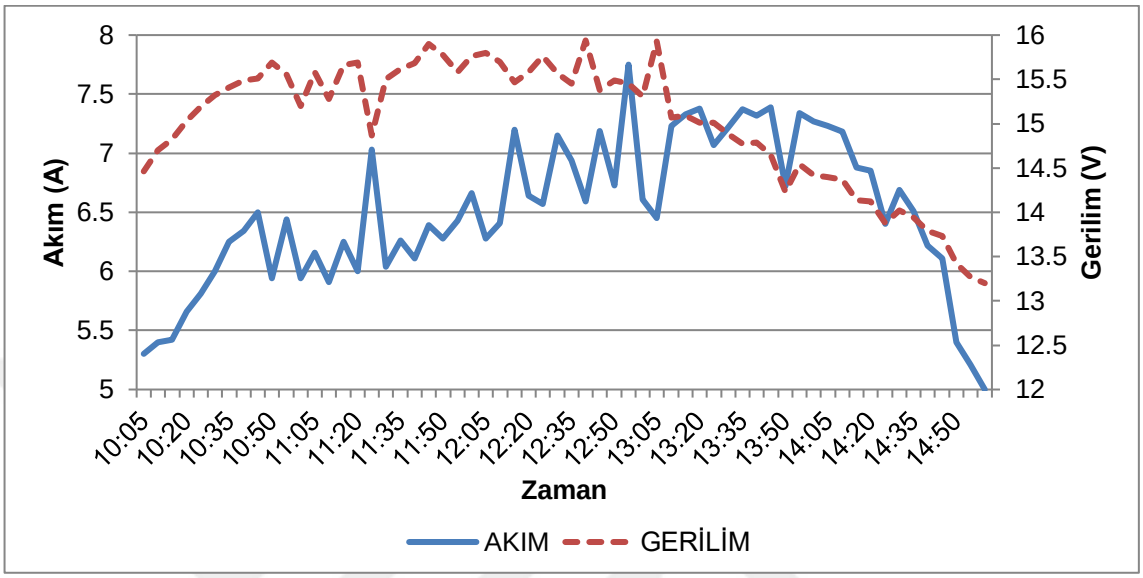
Şekil 4.12. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim değişimi (30 Haziran 2019)

30 Haziran 2019 tarihinde Hatay iklim koşullarında PV/T modül üzerindeki denemenin soğutmasız sistem ile yapılan ölçümleri saat 10:00-15:05 arası, güneşin en etkin olduğu dönemlerde yapılmıştır. Bu zaman aralığında yapılan akım ve gerilim ölçüm değerlerine bakıldığında akımın 4.9 – 5.6A aralığında değiştiğini gerilimin ise 12.52 – 13.89 V arasında değiştiği görülmektedir. PV/T modülün en yüksek akım ve gerilim değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10).

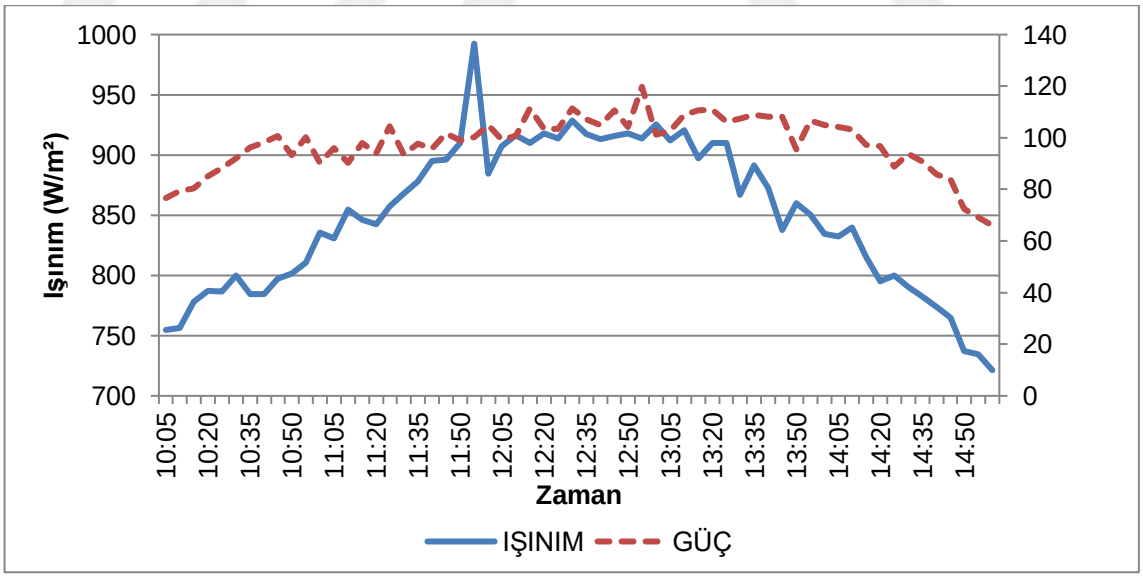
Benzer zaman da yapılan ölçümlerin ışınım ile güç grafiğinde ise ışınımın 888.3 - 1016 W/m² aralığında, modülün ürettiği elektriksel güç değerinin ise 62.1 – 77.3W arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve PV/T modülün ürettiği güç değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Işınım ve modül güç değerinin birbirine paralel olduğu görülmektedir (Şekil 4.11).

Denemede PV/T modül üzerinde yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığı değerinin 46.0 – 60.7°C arasında, modülün elektrik üretim veriminin ise %5.3 – 6.0 arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının verimdeki değişime etkisini yüzdesel olarak veren grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki artışların verimdeki azalışlara neden olduğu birçok ölçüm noktasında görülmektedir (Şekil 4.12). Ölçüm noktaları arasında sıcaklıkta meydana gelen değişim değerlerinin -0.6 ile 1.2 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının azalış gösterdiği durumlarda modülün elektrik

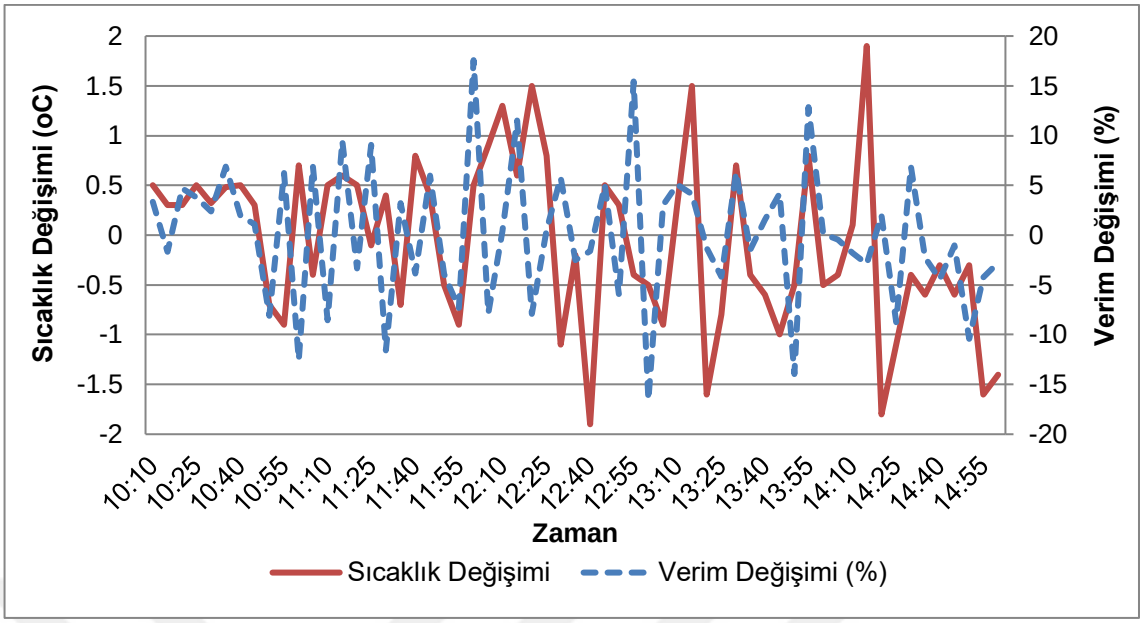
üretim verimlerinin arttığı görülmektedir. Modül elektrik üretim verimindeki değişimlerin modül yüzey sıcaklığındaki değişime bağlı olarak %-3.2 ile +5.29 arasında olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.13. PV modül akım ve gerilim grafiği (2 Temmuz 2019)



Şekil 4.14. PV modül ışınım ve güç üretimi (2 Temmuz 2019)



Şekil 4.15. PV modül sıcaklık ve verim değişimi (2 Temmuz 2019)

2 Temmuz 2019 tarihinde Hatay iklim koşullarında PV/T modül üzerinde yapılan denemenin ölçümleri saat 10:10-14:55 arası, güneşin en etkin olduğu dönemlerde yapılmıştır. Bu zaman aralığında yapılan akım ve gerilim ölçüm değerlerine bakıldığında akımın 5.0 – 7.8 A aralığında değiştiğini gerilimin ise 13.2 – 15.9 V arasında değiştiği görülmektedir. PV/T modülün en yüksek akım ve gerilim değerlerinin saat 11:45 - 13:30 arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13).

Aynı zaman da yapılan ölçümlerin ışınım ile güç grafiğinde ise ışınımın 721.3 – 992.5 W/m² aralığında, modülün ürettiği elektriksel güç değerinin ise 66.0 – 119.7 W arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve PV/T modülün ürettiği güç değerlerinin saat 11:45-13:30 arasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ışınım ve modül güç değerinin birbirine paralel olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.14).

Denemede PV/T modül üzerinde yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığı değerinin 46.0 – 60.7°C arasında, modülün elektrik üretim veriminin ise % 7.0 – 10.0 arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının verimdeki değişime etkisini yüzdesel olarak veren grafik incelendiğinde, sıcaklıktaki artışların verimdeki azalışlara neden olduğu birçok ölçüm noktasında görülmektedir (Şekil 4.15). Ölçüm noktaları arasında sıcaklıkta meydana gelen değişim değerlerinin -1.9 ile 1.9 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığının azalış gösterdiği durumlarda modülün elektrik üretim verimlerinin arttığı görülmektedir. Modül elektrik üretim verimindeki

değişimlerin modül yüzey sıcaklığındaki değişime bağlı olarak %-16.56 ile +17.58 arasında olduğu hesaplanmıştır.

PV/T modülün soğutmasız ve soğutmalı sistemlerde tüm günlerde yapılan ölçümler sonucunda en düşük ve en yüksek sonuçların değişim aralığı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Soğutmalı ve soğutmasız sistem ölçümlerinde sıcaklık ve verimdeki değişim aralığı

	Soğutmasız sistem	**Soğutmalı sistem**
En Yüksek Sıcaklık Değişimi (ºC)	2.60	4.20
En Düşük Sıcaklık Değişimi (ºC)	-2.10	-5.20
En Yüksek Verim Değişimi (%)	0.55	3.54
En Düşük Verim Değişimi (%)	-0.57	-3.45

Yapılan tüm ölçümlerde soğutmasız sitemin sıcaklık değişim aralığının 7.7 ºC olduğu, soğutmalı istemin sıcaklık değişim aralığının ise 9.2 ºC olduğu belirlenmiştir. Modül yüzey sıcaklığındaki bu değişimlere bağlı olarak verim değişim aralığının soğutmasız ve soğutmalı sistemde sırasıyla %1.12 ve %6.99 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre modül yüzey sıcaklığını değiştirerek verimde %3.5 gibi bir artış ve azalış oluşturulduğu görülmüştür.

PV/T modülün soğutmasız ve soğutmalı sistemde tüm günlerde yapılan ölçümlerden modül yüzey sıcaklığı ve verim değerlerinin en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Soğutmalı ve soğutmasız sistemde sıcaklık ve verim ölçüm değerleri

	Soğutmasız sistem	**Soğutmalı sistem**
En Yüksek Sıcaklık (ºC)	75.20	61.50
En Düşük Sıcaklık (ºC)	52.80	33.30
En Yüksek Verim (%)	6.10	9.31
En Düşük Verim (%)	4.52	4.42
Ortalama Sıcaklık (ºC)	64.28	52.02
Ortalama Verim (%)	5.57	5.95

PV/T modül de soğutmasız olarak yapılan ölçümlerde modül yüzey sıcaklığının 75.2 ºC'e kadar çıktığı tespit edilmiştir. Modül soğutulduğunda ise en düşük yüzey sıcaklığı 33.3 ºC olarak ölçülmüştür. Modül yüzey sıcaklığına bağlı olarak soğutmasız

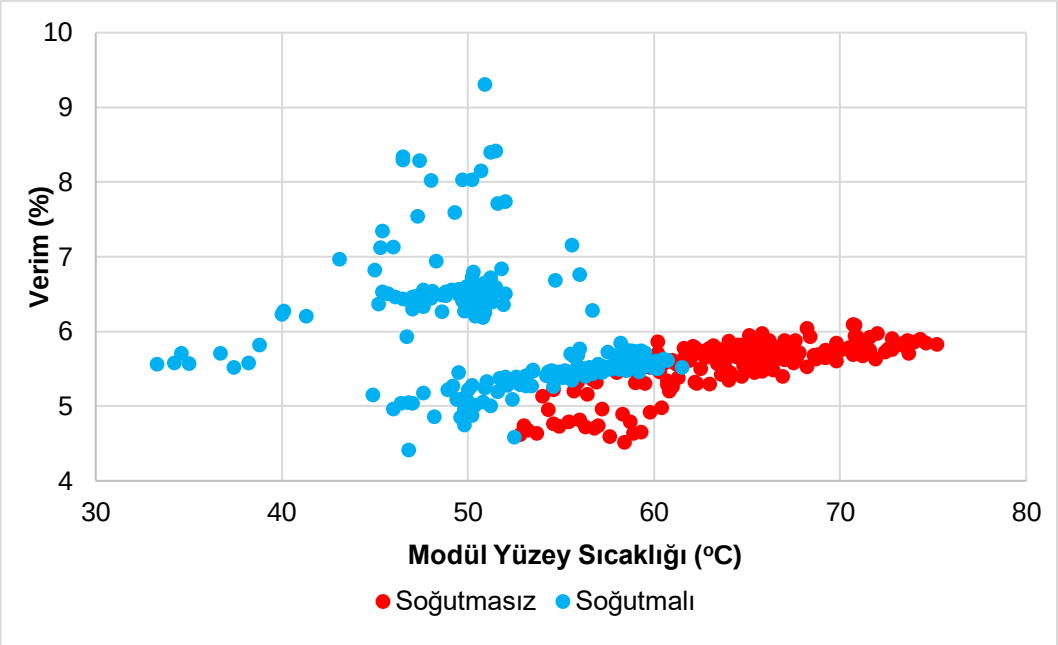
sitemin verimi en fazla %6.1 olarak hesaplanmıştır. Modül soğutulduğunda elektrik üretim veriminin ise en yüksek değerinin %9.3 olduğu belirlenmiştir. Ölçülen bu en yüksek verimler kıyaslandığı zaman modül soğutmalı sistemin elektrik üretim veriminin %52.6 oranında artış gösterdiği görülmüştür.

Çalışmada soğutmalı sistemin oluşturduğu verim artışı, Akbarzadeh ve Wadowski (1996) yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri verim hesaplaması ile benzerlik göstermektedir. Akbarzadeh ve Wadowski'nin bu çalışmasında hibrid bir (PV/T) güneş sisteminde suyla soğutmanın güneş modüllerinin çıkış gücünü neredeyse %50 oranında arttırdığını ölçmüşler. Ayrıca bu sistemde modül soğutma işleminin, 4 saatlik bir süre için güneş pillerinin yüzey sıcaklığının 46 ^{o}C üzerine çıkmasını engellediği belirlenmiş.

Teo ve ark. (2011) yaptığı başka bir çalışmada ise soğutmasız modül verimi %8–9 iken soğutma koşullarında çalıştırıldığında, sıcaklık önemli ölçüde düşerek modül elektrik üretim verimi %12-14'e kadar yükselmiştir.

Gül ve Akyüz (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, hibrit fotovoltaik termal (PV/T) bir sistemin elektriksel ve termal çalışma performansları incelenmiş. Kurulan sistemin, şebeke bağımsız olarak akülerle birlikte elektriksel çalışma performansı değerlendirilmiştir. 0.015, 0.044 ve 0.069 kg/s'lik akışkan hızlarında yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49.9 ile %52.11 arasında değiştiği görülmüştür. Ağustos ayı için, belirlenen elektriksel yük profilinde, sistemin şebeke bağımsız elektriksel performans incelemesi sonucunda akülerle yük besleme yaparken şarj durumu %40 ile %100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca PV/T modülün soğutmalı ve soğutmasız durumlarda elektriksel performansı incelenmiştir ve soğutma yapıldığı durumda elektriksel çıkış maksimum güç noktasında %12.9'luk bir artış belirlenmiş ve bu değerlerde elektriksel verim %12 olarak hesaplanmıştır.

Modül yüzey sıcaklığı ve elektrik üretim verimi arasındaki ilişkinin tüm günlerde yapılan ölçümlerde daha net göstermesi için oluşturulan grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. PV/T modül soğutmalı ve soğutmasız sistem yüzey sıcaklığı ve verim grafiği

PV/T modül soğutmalı ve soğutmasız sistem yüzey sıcaklığı ve verim grafiği incelendiğinde yüzey sıcaklığında yaratılan düşmenin verimde bir artışa neden olduğu görülmektedir. Ölçümlerin soğutmalı ve soğutmasız olarak ayrı ayrı incelendiğinde yüzey sıklığı artışı ile verimde kısmi bir azalışın olduğu görülebilir. Verimdeki ve sıcaklıktaki paralel görülen bu artışın tamamen güneş ışınım miktarının artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Belirli bir sıcaklıktan sonra PV modüllerin elektrik üretimleri ısıl kayıp şekline dönüşmekte ve dolayısıyla verimleri düşmektedir. Bunun asıl sebebi hücredeki sıcaklık artışının ısıl bir direnç oluşturması sonucunda hücrenin ürettiği gerilimin düşmesidir. Denemede yapılan tüm ölçümler ele alındığında hücre sıcaklığı ve modül elektrik üretim verimi arasında bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). PV sistemin yaz aylarında en yüksek verim ile üretim yapabilmesi için hücre sıcaklığını 45-55 ^{o}C civarında olması gerektiği belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda kayıpların meydana geldiği görülmektedir.

Ayrıca denemenin yapıldığı günlerdeki iklim verileri deneme süresince kaydedilmiştir. Çizelge 4.3'de burada grafikleri verilen deneme günlerine ait ortam sıcaklığı, nem ve rüzgâr hızı iklim parametrelerinin en düşük ve en yüksek ölçüm değerleri verilmiştir. İklim parametrelerine bakıldığında verilen tüm gün değerlerinin

yaklaşık aynı olduğu, sadece 30 Haziran 2019 tarihinde hava neminin diğer günlere nazaran çok düşük olduğu görülmektedir. Bu tarihte yapılan ölçümlerden özellikle güneş ışınım değerlerine bakıldığında ise ölçümler arasında en yüksek güneş ışınımına (888-1016 W/m^2) sahip gün olduğu belirlenmiştir. Bu durum hava nemi ile direkt güneş ışınımı arasında ters bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3. Denemelerin yapıldığı günlerdeki iklim verileri

Tarih	**Ortam Sıcaklığı (°C)**		**Nem (%)**		**Rüzgâr Hızı (m/s)**	
	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
24 Haziran 2019	30.6	33.6	52	65	2	5.8
25 Haziran 2019	33.4	36.4	41	51	2	6.1
29 Haziran 2019	30.7	34.5	42	60	1	5.8
30 Haziran 2019	33.2	35.6	**11**	**27**	1.4	6.1
2 Temmuz 2019	31.0	33.6	31	45	2.4	6.1

Tüm günlerde soğutmasız ve soğutmalı sistemde yapılan ölçüm sonuçlarında modülün elektriksel güç üretimi, güneş ışınım değeri ve modül yüzey sıcaklığı parametrelerinin istatistiksel analiz sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.4. PV/T modül soğutmasız sistem parametrelerinin regresyon analiz tablosu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	**(Constant)**	-38.228	2.015		-18.971	0.000
	SICAKLIK (°C)	0.390	0.034	0.242	11.360	0.000
	IŞINIM (W/m^2)	0.088	0.002	0.811	38.074	0.000

a. Dependent Variable: **GÜÇ (W)**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.965[a]	0.932	0.931	2.11059

a. Predictors: (Constant), IŞINIM (W/m2), SICAKLIK (°C)

Çizelge 4.5. PV/T modül soğutmasız sistem parametrelerinin korelasyon analiz tablosu

		GÜÇ (W)	**SICAKLIK (°C)**	**IŞINIM (W/m^2)**
GÜÇ (W)	Pearson Correlation	1	0.685**	0.944**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000
	N	217	217	217
SICAKLIK (°C)	Pearson Correlation	0.685**	1	0.546**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
	N	217	217	217
IŞINIM (W/m^2)	Pearson Correlation	0.944**	0.546**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	217	217	217

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Çizelge 4.6. PV/T modül soğutmasız sistem sıcaklık ve verim korelasyonu

		VERİM (%)	SICAKLIK (ºC)
VERİM (%)	Pearson Correlation	1	0.745**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	217	217
SICAKLIK (ºC)	Pearson Correlation	0.745**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	217	217

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Çizelge 4.7. PV/T modül soğutmalı sistem parametrelerinin regresyon analiz tablosu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	**(Constant)**	0.492	4.324		0.114	0.909
	SICAKLIK (ºC)	-0.009	0.096	-0.004	-0.097	0.923
	IŞINIM (W/m²)	0.074	0.005	0.694	15.192	0.000

a. Dependent Variable: GÜÇ (W)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.691[a]	0.478	0.475	7.79187

a. Predictors: (Constant), IŞINIM (W/m2), SICAKLIK (ºC)

Çizelge 4.8. PV/T modül soğutmalı sistem parametrelerinin korelasyon analiz tablosu

		SICAKLIK (ºC)	GÜÇ (W)	IŞINIM (W/m²)
GÜÇ (W)	Pearson Correlation	0.375**	1	0.691**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
	N	360	360	360
SICAKLIK (ºC)	Pearson Correlation	1	0.375**	0.547**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000
	N	360	360	360
IŞINIM (W/m²)	Pearson Correlation	0.547**	0.691**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	360	360	360

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Çizelge 4.9. PV/T modül soğutmalı sistem sıcaklık ve verim korelasyonu

		SICAKLIK (ºC)	VERİM (%)
VERİM (%)	Pearson Correlation	-0.007	1
	Sig. (2-tailed)	0.893	
	N	360	360
SICAKLIK	Pearson Correlation	1	-0.007
	Sig. (2-tailed)		0.893
	N	360	360

İstatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde soğutmasız sistem PV/T modülde elektriksel güç üretimine, modül yüzey sıcaklığı ve güneş ışınım değerlerinin etkisinin

istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca modül verimi ile sıcaklık arasında güçlü bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Soğutmalı sistem PV/T modülün elektriksel güç üretimi, modül yüzey sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak zayıfladığı görülmektedir. Modül verimi ile sıcaklık arasındaki ilişkinin negatife döndüğü fakat istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hatay iklim koşullarında PV güneş modüllerinin elektrik üretim verimine modül yüzey sıcaklığının etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, bu amaçla bir PV/T hibrit güneş modülünde kullanılarak deneme yürütülmüştür. PV/T sistemde kurulan denemede soğutma yapılmadan ve soğutma yapılarak Haziran ve Temmuz 2019 ayları içerisinde belirli günlerde saat 10:00-15:00 arasında ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

Tüm günlerde yapılan ölçümlerde güneş ışınım değerinin 600-1000 W/m^2 aralığında olduğu belirlenmiştir.

Modül elektrik üretim gücü en yüksek değeri, soğutmasız sistemde 77.3 W, soğutmalı istemde ise 95.7 W olarak ölçülmüştür.

modül yüzey sıcaklığı ölçüm sonuçlarında, soğutmasız sistemde 51.6-75.2 ^oC arasında, soğutmalı sitemde ise 33.3-61.5 ^oC arasında olduğu belirlenmiştir.

Modülün elektrik üretim verimi soğutmasız sitemde en yüksek %6.1 soğutmalı sistemde ise %9.3 olarak hesaplanmıştır. Ölçülen bu en yüksek verimler kıyaslandığı zaman modül soğutmalı sistemin elektrik üretim veriminin %52.6 oranında artış gösterdiği görülmüştür.

Tüm günlerde yapılan ölçümler sonucunda modül yüzey sıcaklığı ve elektrik üretim verimi arasındaki ilişkiyi gösteren dağlım grafiği incelendiğinde, Hatay'da yaz ayalarında PV güneş modüllerinin yüksek verim ile çalışabilmesi için en uygun modül yüzey sıcaklığının 45-55 ^oC arasında olması gerektiği belirlenmiştir.

İklim parametrelerinin ölçümleri incelendiğinde ise hava neminin direkt güneş ışınım miktarını azaltıcı yönde etkilediği görülmüştür.

Denemede kullanılan PV/T modül ve PV modül verimleri kıyaslandığında PV modülün veriminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu farkın ortaya çıkmasında hücre üretici firma, modül alanı vb. parametrelerin etkisi de olabilmektedir. Fakat PV/T sistemlerin toplam verimlerini artırmak için ısı enerjisinden de faydalanmak gereklidir. Bu şekilde hem sistemden ısı enerjisi elde edilebilecek hem de modül yüzey sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda kalarak elektrik üretim veriminin artışı yönde bir fayda

sağlanabilecektir. Ayrıca PV sistemlerinin uygun şekilde soğutulması termal, elektriksel ve genel verimliliği artırır, bu da hücre bozulma oranını azaltır.

KAYNAKLAR

Al-Shamani A.N., Yazdi, M.H., Alghoul, M.A., Abed, A.M., Ruslan M.H., Mat, S. and Sopian, K., 2014. Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 38, 348 – 367.

Akbarzadeh, A. and Wadowski, T., 1996. Heat-pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. **Applied Thermal Engineering**, 16(1):81–87.

Anonim1, 2013. IEC Standard Testing For Photovoltaic Panels, TÜV SÜD AmericaInc,http://tuvamerica.com/services/photovoltaics/ArticleBasicUnderstandingPV.pdf (10.10.2019)

Anonim2, 2019. Fotovoltaik (Güneş Pilleri). https://web.itu.edu.tr/~kaymak/ PV.html. Erişim tarihi: 01.10.2019

Anonim3, 2019. Günes Panellerinde Baglanti Sekilleri ve Problemleri http://www.caliskansolarenerji.com/blog/167-g%C3%BCnes-panellerinde-baglanti-sekilleri-ve-problemleri.html. Erişim tarihi: 01.10.2019

Anonim4, 2018. Polikristal Güneş Paneli Nedir? https://www.enerjimgunesten.com/polikristal-gunes-paneli-nedir.html. Erişim tarihi: 01.10.2019

Atalay, Ö., Yorgun, B. ve Erdem, R. 2019. Fotovoltaik (PV) Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 8-9 Kasım 2019, Mersin

Avcı, Ö. 2009. Türkiye-Avrupa birliği enerji üretim ve tüketiminin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisan Tezi, Adana.

Baş, H.C. 2016. Fotovoltaik sistemlerin performans değerlendirmesi. Bitirme Tezi. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği (yayınlanmamış).

Batoul, H. 2008. Flow simulation improves photovoltaic solar panel performance, Technical Report, Schueco International, Paris, France, September. http://www.schueco.com

Chaniotakis, E. 2001. Modelling and analysis of water cooled photovoltaics, M.Sc. thesis, Faculty of Energy System and Environment, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.

Dinçer, F. 2011. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. **KSU Mühendislik Dergisi**, 14(1).

Fouada, M.M., Shihatab, L.A. and Morgana, E.I., 2017. An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 80, 1499–1511.

Gardas, B.B. and Tendolkar, M.V., 2012. Elektrik Verimliliğini Artırıcı Fotovoltaik Panel Soğutma Sisteminin Tasarımı, **ICMIE**, Goa, s.144–49.

Hasanuzzaman, M., Malek, A.B.M.A., Islam, M.M., Pandey, A.K. and Rahim, N.A. 2016. Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review. **Solar Enerji**, 137, 25 – 45.

Jayakumar, P., 2009. **Solar Energy Resource Assessment Handbook**, Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology of the United Nations(APCTT) – Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)

Keçel, S. ve Güçlü Yavuzcan H., 2008. Türkiye deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliklerine etkisi, **Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, 22, 12-20.

Kluth, A.J., 2008. Using water as a coolant to increase solar panel efficiency, California State science fair, California, USA.

Maghami, M.R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M.A., Rezadad, M.I. and Hajighorbani, S., 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59:1307–1316.

Mehrtash, M., Quesada, G., Dutil, Y. and Rousse, D. 2012. Performance Evaluation of Sun Tracking Photovoltaic Systems in Canada, **20th Annual International Conference on Mechanical Engineering-ISME2012**, 16-18 May, 2012, School of Mechanical Eng., Shiraz University, Shiraz, Iran

Meinshausen, M., Meinshausen, N.,. Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J. and Allen, M.R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 ºC. **Nature**, 458, 1158 – 1163. doi:10.1038/nature08017.

Meral, M.E. and Dinçer, F., 2011, A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15(5), 2176 – 2184.

Özgün H., 2016. Fotovoltaik Enerji Sistemleri, **Günder Yayınları** 1, 180 s, ISBN:978-605-65469-0-7, İstanbul.

Öztürk, H. ve Kaya, D., 2019. Güneş Enerjisinden Elektirik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. **Umuttepe Yayınları**, ISBN:6055100001

Rahman, M.M., Hasanuzzaman, M. and Rahim, N.A. 2015. Effects of various parameters on PVmodule power and efficiency, **Energy Conversion and Management**, 103, 348-358.

Rawat, P. and Dhiran, T.S., 2017. Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems. **International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science** (IJCMES), 3(1), 8-12.

Salim, M.S., Najim, J.M. and Salih, S.M.2013. Evaluation of Solar Irradiance Effect on PV Performance. **Energy Science and Technology**, 6(2), 36-40.

Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H. and Behzadmehr, A., 2010. Exergetic Performance Assessment of A Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector. **Energy and Buildings**, 11, 2184-2199.

Soltani, S., Kasaeian, A., Sarrafha, H. and Wen, D., 2017. An experimental investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system with nanofluid application. **Solar Energy**, 155, 1033 – 1043.

Soysal, Y. 2019. Byosistemde Enerji Kullanımı Basılmamış Ders Notları. Hatay.

Tiwari, A, Sodha, MS, Chandra, A. and Joshi, JC., 2006. Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 90(2), 175–89.

Zanlorenzi, G., Szejka, A.L. and Canciglieri, O., 2018. Hybrid photovoltaic module for efficiency improvement through an automatic water cooling system: A prototype case study. **Journal of Cleaner Production**, 196, 535-546.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1992 yılında İzmir ilinin Konak semtinde doğdu. Ortaokul ve Liseyi Manisa da tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında kazandı. Üniversiteden 2016 yılında mezun oldu. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Şubat 2017 tarihinde Yüksek Lisans öğrenimine başlamış olup ve halen devam etmektedir.