ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur AKSOY

SABİT DURUMDA POLİKRİSTAL SİLİKON PV GÜNEŞ MODÜLÜNÜN ELEKTRİK VE ISIL VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SABİT DURUMDA POLİKRİSTAL SİLİKON PVGÜNEŞ MODÜLÜNÜN ELEKTRİK VE ISIL VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Onur AKSOY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Yıl:2019, Sayfa: 61
Jüri : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Doç. Dr. Cengiz KARACA

Bu çalışmada, sabit durumda polikristal PV modülünün elektrik, ısıl ve toplam verimlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla; 255 W gücünde olan çok kristal silikon olarak adlandırılan polikristal PV modülünün Adana iklim şartları altında performansının deneysel çalışmaları yapılmıştır. Polikristal PV panelinde doğru akım üzerinden ölçülen yüklü akım ve gerilim değerleri sırasıyla 4,15 A ile 6 A ve 23 V ile 27,35 V arasında değişim göstermiştir. Günlük ortalama gerilim ve akım şiddeti değerleri sırasıyla 25,40 V ve 5,21 A'dır. Polikristal PV modül üzerinden sağlanan elektriksel güç 99 W ile 152 W arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan günlük ortalama elektriksel güç 133 W'dır. Isıl gücün gün içerisindeki değişimi 127,75 W ile 308,16 W arasındadır. Polikristal PV modül üzerinden ortaya çıkan ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 232,60 W'tır. Polikristal PV modülünün günlük ortalama elektrik verimi, ısı verimi ve toplam verim değerleri sırasıyla 0,15, 0,26 ve 0,42 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PV polikristal modülü, Elektriksel verim, Isıl verim, Adana

ABSTRACT

MSc THESIS

COMPARISON OF ELECTRICAL AND HEAT EFFICIENCIES OF POLYCRYSTAL SILICONE PV SOLAR MODUL IN CONSTANT CONDITION

Onur AKSOY

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES DEPARTMENT

Supervisor : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Year: 2019, Pages: 61
Jury : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜR
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Doç. Dr. Cengiz KARACA

In this study, it is aimed to calculate the electrical, thermal and total efficiency of the polycrystalline PV module in steady state. For this purpose; The performance of the polycrystalline PV module, which is called as the very crystalline silicon, which has a power of 255 W, is performed under the climatic conditions of Adana. Load current and voltage values measured by direct current on the Policiristal PV panel ranged from 4.15 A to 6 A and 23 V to 27.35 V, respectively. The daily average voltage and current intensity values are 25,40 V and 5,21 A, respectively. The electrical power supplied by the polycrystalline PV module ranged from 99 W to 152 W. The daily average electrical power calculated over the polycrystalline PV module is 133 W. The change in thermal power over the day is between 127.75 W and 308.16 W. The daily average value of the thermal power output from the polycrystalline PV module is 232,60 W. The daily average electrical efficiency, heat efficiency and total yield values of the polycrystalline PV module were calculated as 0.15, 0.26 and 0.42, respectively.

KeyWords: PV polycrystalline module, Electrical efficiency, Heat efficiency, Adana

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Enerji ihtiyacının artmasının başlıca sebebi dünya nüfusundaki artış olarak görülmektedir. Bu artış beraberinde enerji tüketimindeki artışı da getirmektedir. Enerji tüketimdeki aşırı artışla küresel ısınma artmaktadır. Çünkü enerji tüketiminin büyük bir kısmı fosil esaslı yakıtlardan sağlanmaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle iklim şartlarının değişmesi, bununla beraber çevreye verilen zararların da göz önünde bulundurulması yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst seviyede faydalanılmasını mecburi hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları her geçen gün gelişmekte ve daha verimli hale getirilmektedir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle güneş enerji için son derece avantajlı bir konumdadır.

Bu çalışmada deneyi yapılan PV modülü polikristal olarak imal edilmiştir. Güneş enerjisinin kaynak olarak kullanıldığı bu çalışmada polikristal malzemeli PV modülünün performansı test edilmiştir. Polikristal malzemeli PV modülün performans hesaplanması kapsamında ısıl verimi, elektrik verimi ve toplam verim değerleri tespit edilmiştir. Söz konusu verim değerleri önceki sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Deneyler 2017 yılı ekim ayı içerisinde toplam 6 gün (19-20/10/2017 ve 24-27/10/2017) sürmüştür. İlgili tarihlerde ve saatlerde gerçekleşen güneş ışınım değeri ve dış ortam sıcaklık değerleri Adana Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Polikiristal PV panelinde doğru akım üzerinden ölçülen yüklü akım ve gerilim değerleri sırasıyla 4,15 A ile 6 A ve 23 V ile 27,35 V arasında değişim göstermiştir. Günlük ortalama gerilim ve akım şiddeti değerleri sırasıyla 25,40 V ve 5,21 A'dır.

Polikristal PV modül üzerinden sağlanan elektriksel güç 99 W ile 152 W arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan günlük ortalama elektriksel güç 133 W'dır.

Isıl gücün gün içerisindeki değişimi 127,75 W ile 308,16 W arasındadır. Isıl gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi öğlendir. Isıl güç, saat 12.00'de 308,16 W olarak en yüksek düzeye ulaşmıştır. Polikristal PV modül üzerinden oraya çıkan ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 232,60 W'tır. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan toplam güç değerleri 226,31 W ile 460,26 W arasında değişim göstermiştir. Toplam gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi ısıl güçte olduğu gibi saat 12.00'dir. Toplam ısıl güç saat 12.00'de 460,26 W olarak en yüksek değere ulaşmıştır. Toplam ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 365,08 W olarak hesaplanmıştır.

Polikristal PV panelinin gün içerisindeki elektrik verim değerleri 0,13 ile 0,17 arasında değişmiştir. Polikristal PV panelinin gün içerisindeki ısı verim değerleri ise 0,18 ile 0,33 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV panelinin toplam verim değerleri ise 0,34 ile 0,50 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV panelinin günlük ortalama elektrik verimi, ısı verimi ve toplam verim değerleri sırasıyla 0,15, 0,26 ve 0,42 olarak hesaplanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin tamamlanması süresince bana destek olan bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, sayın danışman hocam, Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmalarım süresince herhangi bir sıkıntı hissettirmeyen, yaşamım boyunca bana maddi ve manevi yönden daima destek olan aileme çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no: FYL-2017-8676) içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELERİN DİZİNİ VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ X
SİMGELER VE KISALTMALAR XII
1. GİRİŞ 1
1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli 4
1.2. Fotovoltaik (PV) Teknolojsi ve Özellikleri 8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 23
3. MATERYAL VE METOT 31
3.1. Materyal 31
3.2. Metot 42
3.2.1. PV Modülün Enerji Verimi 42
3.2.2. PV Modülden Isı Transferi 42
3.2.3. PV Modülün Elektrik Verimi 43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 45
4.1. Deney Süresince Güneş Işınımı ve Sıcaklık Değerlerine İlişkin Bulgular 45
4.2. Polikristal PV Modülünün Zamana Bağlı Güç Değerlerine İlişkin Bulgular 45
4.3. Polikristal PV Modülünün Zamana Bağlı Verim Değerlerine İlişkin Bulgular ..... .51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 57

ÖZGEÇMİŞ 61

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerji Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi.....5
Çizelge 1.2. Türkiye'nin Aylık Güneş Enerji Değerlerinin Bölgelere Göre Dağılımı.....7
Çizelge 1.3. PV Hücrelerin Sınıflandırılması.....12
Çizelge 1.4. Tek Kristal ve Çok Kristal Silikon PV Hücrelerin Karşılaştırılması.....20
Çizelge 2.1. Güneş Hücre Malzemelerinin Performans Değerleri.....23
Çizelge 3.1. Polikristal PV Modülün Elektriksel Özellikleri.....33
Çizelge 3.2. Multimetrenin Özellikleri.....40

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyel Haritası.....4
Şekil 1.2. Tek Kristal ve Çok Kristalli PV Hücreler.....8
Şekil 1.3. Tek Kristal ve Çok Kristalli PV Modüller.....9
Şekil 1.4. Seri ve Paralel Bağlı PV Modüller.....10
Şekil 1.5. PV Hücrenin Çalışma İlkesi.....11
Şekil 1.6. PV Hücre Devresi.....11
Şekil 1.7. PV Hücrelerin Sınıflandırılması.....13
Şekil 1.8. PV Hücre Malzemelerini Sınıflandırılması.....14
Şekil 1.9. Tek ve Çok Kristal PV Hücre ve Modüller.....19
Şekil 3.1. Kullanılan PV Modülün Marka ve Modeli.....31
Şekil 3.2. Polikristal PV Modülün Ön ve Arka Yüzey Görünümü.....32
Şekil 3.3. Polikristal PV Modülün Boyutları.....33
Şekil 3.4. Polikristal Silikon Hücrenin Ön ve Arka Yüzey Görünümü.....34
Şekil 3.5. Elektrik Kullanımında Şebekeden Bağımsız Depolamalı Sistemlerin Çalışma Şeması.....35
Şekil 3.6. Polikristal PV Panelinin Yerleşimi.....36
Şekil 3.7. Deney Süresince Kullanılan Güneş Şarj Kontrol Cihazı ve İnvertör.....37
Şekil 3.8. PV Modül Şarj Kontrol Cihazı.....38
Şekil 3.9. 1000 W Gücünde Bir İnvertör.....39
Şekil 3.10. Deney Sisteminde Kullanılan Multimetre.....41
Şekil 3.11. Kızılötesi Sıcaklık Ölçer ve Probu.....41
Şekil 4.1. Hava Sıcaklığı ve Güneş Işınım Gücü Değişim Değerleri.....46
Şekil 4.2. Hava Sıcaklığı ve Modül Yüzey Sıcaklığı Değişim Değerlerinin Karşılaştırılması.....47
Şekil 4.3. Akım Şiddeti ve Gerilim Değerlerinin Değişimi.....48
Şekil 4.4. PV Modül Üzerinden Sağlanan Elektriksel Gücün Değişim Grafiği.....49
Şekil 4.5. PV Modül Üzerinden Sağlanan Isıl Güç, Elektriksel Güç ve

Toplam Güç Değerleri.....50
Şekil 5.6. Polikristal PV Paneline Ait Elektrik Verimi, Isıl Verim ve Toplam Verim Değerlerinin Değişimi.....52

SİMGELER VE KISALTMALAR

PV	: Fotovotaik
I	: Panel çıkış akımı
V	: Panel çıkış gerilimi
k	: Boltzman sabiti
η	: Verim
A	: Pilin yüzey alanı
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının artmasının başlıca sebebi dünya nüfusundaki artış olarak görülmektedir. Bu artış beraberinde enerji tüketimindeki artışı da getirmektedir. Bununla birlikte enerji kaynakları "yenilenebilir" ve "yenilenemez" olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde kullanılmakta olan alternatif enerji kaynaklarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Güneş enerjisi
- Hidrolik enerjisi
- Rüzgâr enerjisi
- Jeotermal enerjisi
- Biyokütle enerjisi
- Deniz kökenli enerjiler (Dalga enerjisi ve gel-git enerjisi)

Yenilenemez enerji kaynakları ise maddenin tekrar kullanılamayacağı bir enerji kaynağı olarak tanımlanır. Yenilenemez enerji kaynakları fosil esaslıdır. Örneğin, kömür, petrol ve doğalgaz bu grup içinde yer almaktadır (Oluklu, 2001).

Küresel ısınmanın etkisiyle iklim şartlarının değişmesi, bununla beraber çevreye verilen zararlarının da göz önünde bulundurulması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları her geçen gün gelişmekte ve daha verimli hale getirilmektedir. Özellikle son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği, üzerinde durulan önemli konulardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmaları arttırılmıştır.

Başlıca yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneşin enerjisi, hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında ortaya çıkan enerjinin ışınım şeklinde

uzaya yayılmasıdır. Güneş kütlesi içten dışa doğru; nükleer bölge, ışınım bölgesi ve ısı taşınım bölgesi olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır.

Dünyadaki bütün enerji kaynaklarına doğrudan veya dolaylı olarak bir temel kaynak oluşturan güneştir. Güneş enerjisinden Fotovoltaik (PV) teknoloji ile elektrik üretiminin üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Öztürk, 2012):

- ✓ Güneş enerjisinin en çekici tarafı, ilk yatırım maliyeti geri kazanıldıktan diğer bir deyişle yatırımın geri ödeme süresinden sonra, üretilen enerjinin ücretsiz olması, hammadde giderlerinin olmamasıdır.
- ✓ Enerji maliyetlerinin yükselmesi karşısında güvence oluşturur
- ✓ Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- ✓ Çevre açısından olumsuz etkileri yoktur.
- ✓ Güneşten elektrik üretilerek, elektrik tüketim giderlerini azaltılabilir.
- ✓ Yatırım ve üretim teşvikleri uygulanmaktadır.
- ✓ Güneş enerjisi ekipmanı tasarımında ve imalatında sürekli olarak teknolojik ilerlemeler gerçekleşmektedir.

Diğer taraftan güneş enerjisinden PV teknoloji ile elektrik üretiminin bazı olumsuzlukları da vardır:

- ➢ Yatırım maliyeti yüksektir.
- ➢ Yaz-kış ve gündüz-gece olmak üzere uzun ve kısa dönemli kesikliliği olan bir enerji kaynağıdır.
- ➢ Akümülatörler gibi enerji depolama sistemleri, talebi ve yükü düzeltir ve güneş enerjisini daha kararlı hale getirir. Ancak enerji depolama teknolojileri de pahalıdır.
- ➢ Güneş enerjisi kesinlikle fosil yakıtlardan daha az kirletici olmakla birlikte, bazı sorunlar bulunmaktadır. Bazı ince film PV hücre üretiminde kadmiyum tellürür (CdTe) kullanmaktadır. Kadmiyum, bitki ve hayvan dokularında biriken ağır bir metaldir.

- Kadmiyum tellürid (CdTe) veya bakır indiyum galyum selenit (CIGS) gibi ince film PV hücrelerin üretiminde pahalı ve az bulunan malzemeler kullanılır.
- PV tesisatın yerleştirilmesi için yer gereksinimi fazladır. Bir enerji kaynağının belirli bir alanından ne kadar güç türetilebileceğine bakıldığında güç yoğunluğu veya birim alan (m^2) başına güç (W) önemlidir.
- Güç yoğunluğunun düşük olması nedeniyle, talep edilen gücü kabul edilebilir fiyatlarla sağlamak için PV tesisatın yerleşimi için çok fazla alan gereklidir.
- PV tesisatın bulunduğu yerden başka bir yere taşınması maliyetlidir.

Günümüzde dünyaya ulaşan güneş enerjisinin değerlendirilmesinde ısıya dönüştürme ve elektrik enerjisine çevirme olmak üzere iki türlü dönüşüm vardır. Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede "toplaçlar", doğrudan elektriğe dönüştürmede de "PV güneş modülleri" kullanılmaktadır. PV güneş modülleri çevreye ve canlılara zararı olmayan bir enerji üretim türüdür (Öztürk, 2012).

PV sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri, diğer enerji üretim sistemlerine göre son derece düşük düzeydedir. Bununla birlikte, PV güneş modüllerinin imalatı yüksek maliyetlidir. Fakat PV güneş modüllerin maliyetleri gelişen teknoloji ile düşmektedir.

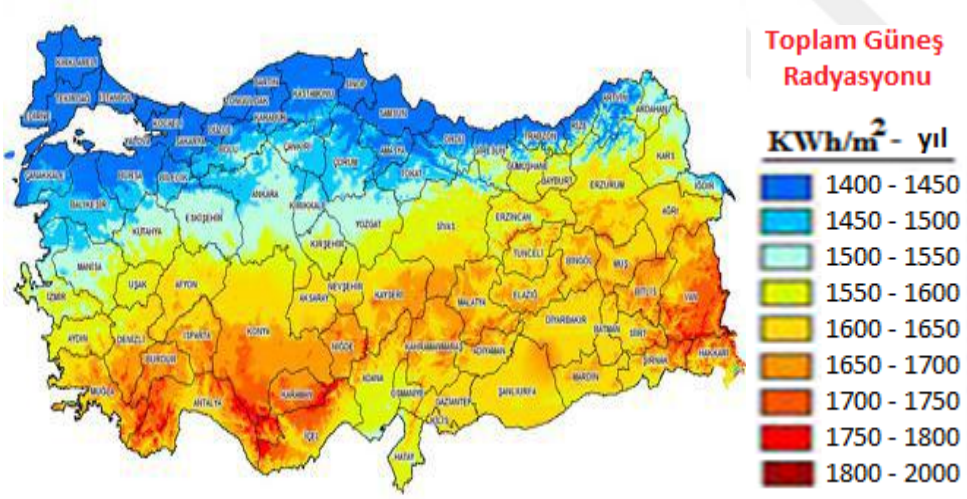
PV teknoloji, pahalı ve yenilenebilir bir teknoloji olmakla birlikte, tasarım ve kurulum açısından en basit elektrik üretim teknolojisidir. PV hücreler, yarı iletken maddeler olup, güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürürler.

Bu çalışmada, sabit durumda 255 W gücünde polikristal esaslı PV güneş modülünün deneysel çalışma ile akım ve gerilim değerleri, elektriksel güç, ısıl güç ve verim değerleri hesaplanmıştır. Polikristal PV güneş modülünün ürettiği elektriksel güç değerleri ve güneşin ışınım gücüne bağlı olarak verim değerleri değerlendirilmiştir.

1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle güneş enerji için son derece avantajlı bir konumdadır. Ayrıca, Türkiye yıllık güneş enerji potansiyeli ve günlük güneşlenme süresi hesaplandığında yirmi beş AB ülkesi arasında ilk beş içerisinde yer almaktadır (Stritih ve ark., 2013). Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından alınan verilere göre Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ile ilgili bilgileri Şekil 1.1 ile Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de verilmiştir (EİGM, 2018).

Şekil 1.1'de Türkiye'nin güneş ışınım enerjisi değerlerine göre haritası verilmiştir (EİGM, 2018). Şekil 1.1'e bakıldığından Türkiye'nin kuzeyinden güney illerine gidildikçe güneş ışınım değerlerinde artış olduğu gözlemlenmektedir. Türkiye'nin kuzey kesimlerinde güneş ışınım değeri 1400-1450 kWh/m^2 .yıl iken bu değer güney bölgelerinde 2000 kWh/m^2 .yıl kadar yükselmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyel Haritası (EİGM, 2018)

Türkiye'nin aylık ortalama güneş ışınım enerjisi miktarı ve aylık ortalama güneşlenme süresi ile ilgili verileri Çizelge 1.1'de verilmiştir (EİGM, 2018). Türkiye'nin aylık güneş enerji miktarı 50 kWh/m^2.ay ile 193,4 kWh/m^2.ay arasında değişim göstermektedir. Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi ise 96,3 saat/ay ile 339,3 saat/ay arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerji Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi (EİGM, 2018)

Aylar	**Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m^2.ay)**	**Güneşlenme Süresi (saat/ay)**
Ocak	59,7	106,9
Şubat	76,6	135,2
Mart	116,8	170,2
Nisan	139,1	203,5
Mayıs	171,5	260,5
Haziran	186,9	318,1
Temmuz	193,4	339,3
Ağustos	174,8	322,3
Eylül	140,3	277,9
Ekim	100,0	200,6
Kasım	64,7	142,0
Aralık	50,0	96,3
Toplam	1473,8	2572,8
Ortalama	4 kWh/m^2-gün	7 saat/gün

Çizelge 1.1'e bakıldığında Türkiye'nin en fazla aylık toplam güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi temmuz ayında gerçekleşmiştir. Temmuz ayında sırasıyla güneş enerjisi miktarı ve güneşlenme süresi 193,4 kWh/m^2.ay ve 339,3 saat/ay'dır. Türkiye'nin aylık en düşük toplam güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi Aralık ayında gerçekleşmiştir. Aralık ayında güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi 50 kWh/m^2.ay ve 96,3 saat/ay'dır. Türkiye'nin günlük güneş enerji miktarı ve günlük güneşlenme süresi sırasıyla 4 kWh/m^2.gün ve 7 saat/gün'dür. Bununla birlikte, Çizelge 1.1 incelendiğinde yıllık toplam güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi sırasıyla 1473,8 kWh/m^2 ve 2572,8 saat'tir. Türkiye'de aralık ayından temmuz ayına kadar sürekli olarak güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi verileri artmıştır. Bununla birlikte, temmuz ayından sonra aralık ayına kadar güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi verilerinde sürekli bir azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 1.2'de Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerji potansiyeli verilmiştir (EİGM, 2018). Çizelge 1.2'e bakıldığında Türkiye bölgelerinin güneş enerji miktarları 1305 kWh/m^2.aylık ile 1648 kWh/m^2.aylık arasında değişim göstermektedir. Türkiye'nin bölgelerinde güneşlenme süresi 1929 saat/aylık ile 2845 saat/aylık arasında değişim göstermektedir.

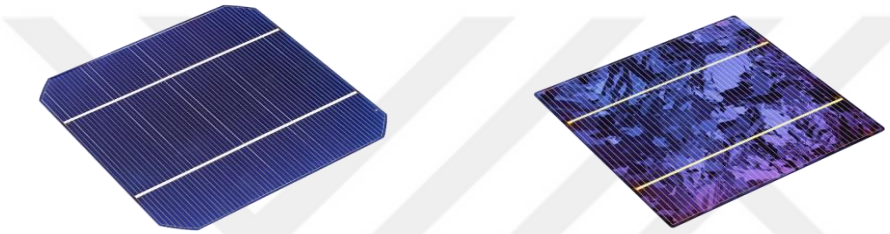
Çizelge 1.2. Türkiye'nin Aylık Güneş Enerji Değerlerinin Bölgelere Göre Dağılımı (EİGM, 2018)

Bölgeler	**Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m^2.aylık)**	**Güneşlenme Süresi (saat/aylık)**
Güney doğu anadolu	1648	2845
Akdeniz	1548	2737
Doğu anadolu	1523	2519
İç anadolu	1481	2563
Ege	1528	2615
Marmara	1329	2250
Karadeniz	1305	1929

Çizelge 1.2 incelendiğinde hem güneş enerji değeri açısından ve hem de güneşlenme süresi açısından en iyi durumda olan bölge Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güneş enerji değeri 1648 kWh/m^2.aylık ve güneşlenme süresi 2845 saat/aylık'tır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi sırasıyla 1548 kWh/m^2.aylık ve 2737 saat/aylık'tır. Çizelge 1.2'e bakıldığında Türkiye'de ene düşük güneş enerji potansiyeline sahip olan bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Karadeniz Bölgesi'nin güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi sırasıyla 1305 kWh/m^2.aylık ve 1929 saat/aylık'tır. Karadeniz Bölgesi'ni Marmara Bölgesi takip etmektedir. Marmara Bölgesi'nin güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi sırasıyla 1329 kWh/m^2.aylık ve 2250 saat/aylık'tır. Bununla birlikte Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi 1523 kWh/m^2.aylık ve 2519 saat/aylık'tır. İç Anadolu Bölgesi'nin ise güneş enerji miktarı ve güneşlenme süresi 1481 kWh/m^2.aylık ve 2563 saat/aylık'tır.

1.2. Fotovoltaik (PV) Teknolojisi ve Özellikleri

Güneş hücreleri, yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştüren yarı iletken maddeler olarak tanımlanır. Şekil 1.2'de Tek kristal ve çok kristalli PV hücreler verilmiştir. Güneş hücrelerin yüzey şekilleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde olmaktadır. Güneş hücrelerin alanları ise yaklaşık 100 cm²'dir. Kalınlıkları, silisyum güneş hücrelerinde 0,2-0,4 mm arasındadır (Karamanav, 2007).



Şekil 1.2. Tek Kristal ve Çok Kristalli PV Hücreler

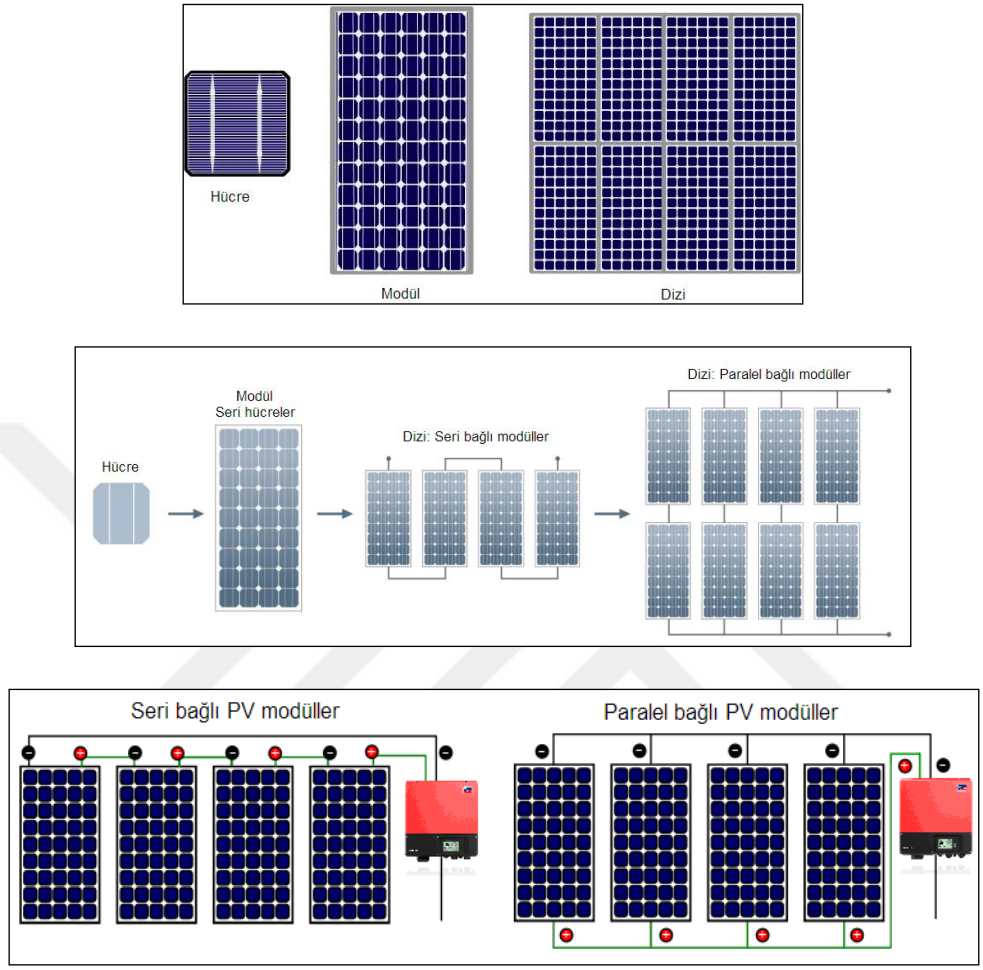
PV hücreler güç çıkışını arttırmak için birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Söz konusu bu yapı PV modül olarak tanımlanır. PV modül, bazı kaynaklarda PV panel olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Tek Kristal ve Çok Kristalli PV Modüller

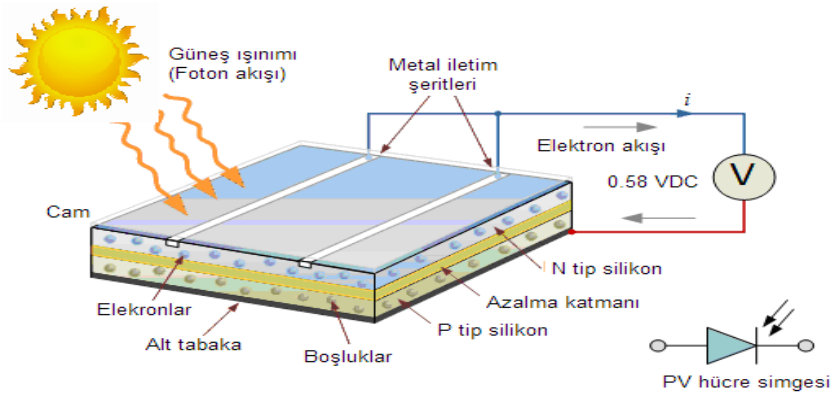
Bununla birlikte, güç talebine bağlı olarak ta PV modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan Megawatt'lara kadar PV sistemler oluşturulabilir (Çetinkaya, 2001). Söz konusu PV sistemler, PV diziler olarak tanımlanırlar (Şekil 1.4).

PV sistemlerinde güneş ışınımından kazanılan enerji, modüller aracılığıyla toplanır. Kazanılan enerji, sonra kullanılmak üzere kimyasal enerjiye dönüştürülerek akülerde depolanır. PV uygulamalarda istenilen enerji miktarına bağlı olarak panel tipi ve sayısı, bağlantı şekilleri ve akü sayısı belirlenir (Öztürk ve Kaya, 2013). Herhangi bir PV elektrik üretim sistemi; PV modüller, akümülatörler, invertörler, akü şarj kontrol cihazları ve elektronik destek devrelerinden oluşur (Oluklu, 2001). PV hücrelerinde gerçekleşen enerji olayı; yarı iletken madde üzerine düşen güneş ışığının enerjisi madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları hareket ettirir. İletkenler üzerindeki elektrik akımı elektronların hareketi sayesinde oluşur. Ayrıca elektronlar taşıdıkları enerjilerini direnç-yük üzerine bırakarak iş yapar (Demirtaş, 2006).



Şekil 1.4. Seri ve Paralel Bağlı PV Modüller (Öztürk, 2012)

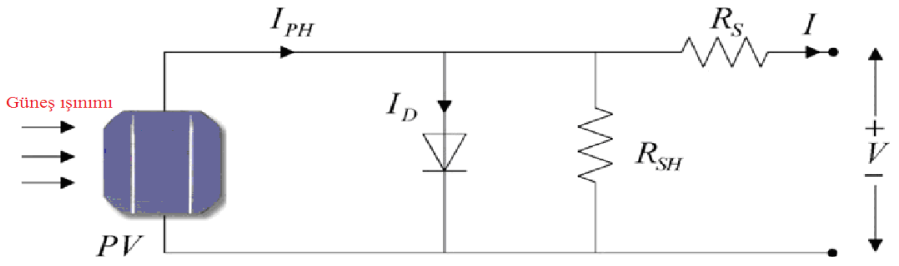
PV hücrelerin yapımında en çok kullanılan yarı iletken malzemeler silisyum ve silisyum alaşımlarıdır. PV hücreleri iki katmanlı silisyum yapıdan oluşurlar. P tipi bir taban üzerinde ince bir N tipi malzeme bulunmaktadır. Işık bu iki malzemenin kontak noktasına düştüğünde, P tipi malzemenin N tipine göre daha pozitif olduğu 0,6 Voltluk bir gerilim meydana gelir. Şekil 1.5'te bir güneş hücresinin çalışma şeması verilmiştir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).



Şekil 1.5. PV Hücrenin Çalışma İlkesi (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

Şekil 1.5'te kesit alanı gösterilen PV hücreden üretilen elektriksel güç, güneşten gelen fotonların PV malzeme tarafından soğurularak akım ve gerilim üretilmesiyle gerçekleşmektedir. PV hücre üzerine düşen güneş ışınımları, enerji taşıyan fotonlardan oluşmaktadır. Fotonlar silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakırlar. Fotovoltaik hücre üzerine gelen fotonların bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır, kalan kısım ise hücre içinden geçer. Sonuç olarak PV hücre tarafından soğurulan fotonlardan elektrik üretilir.

PV hücre devresi Şekil 1.6'da verilmiştir. PV hücrelerin üzerine güneş ışınım düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. PV hücre devresinde yer alan elektriksel yükler doğrudan güneş enerjisinden elde edilen foto akımın kaynağıdır.

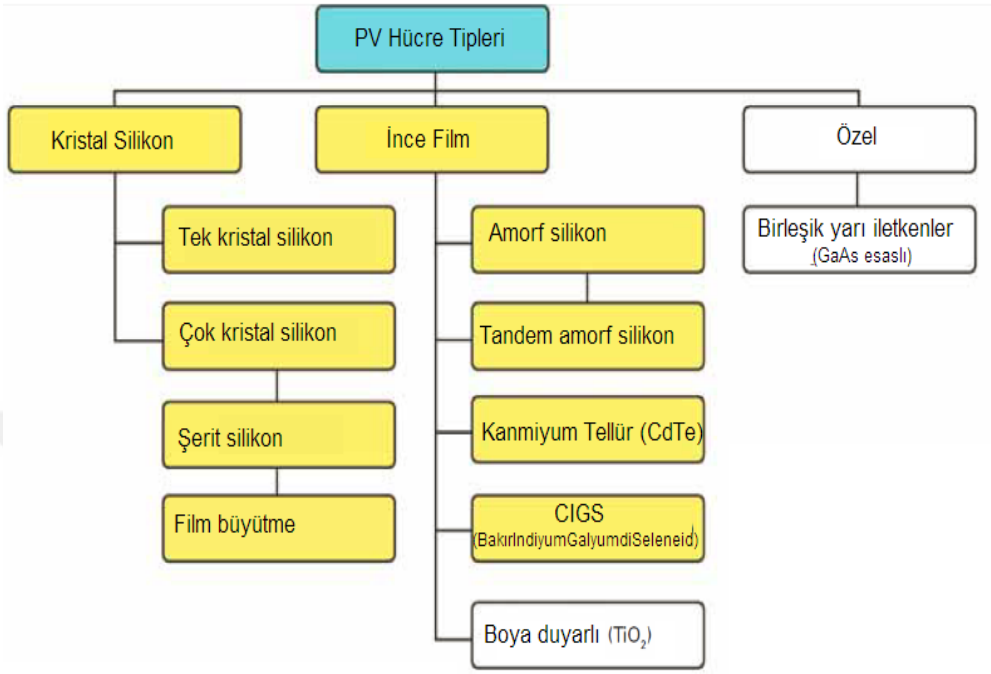


Şekil 1.6. PV Hücre Devresi

PV hücreler çeşitli malzemelerden ve farklı tasarımlarda üretilebilir (Şekil 1.7). Ayrıca şu an PV hücrelerini daha verimli hale getirmek için yüzlerce farklı madde üzerinde de çalışılmaktadır. PV hücreler Çizelge 1.3'deki gibi sınıflandırılabilir.

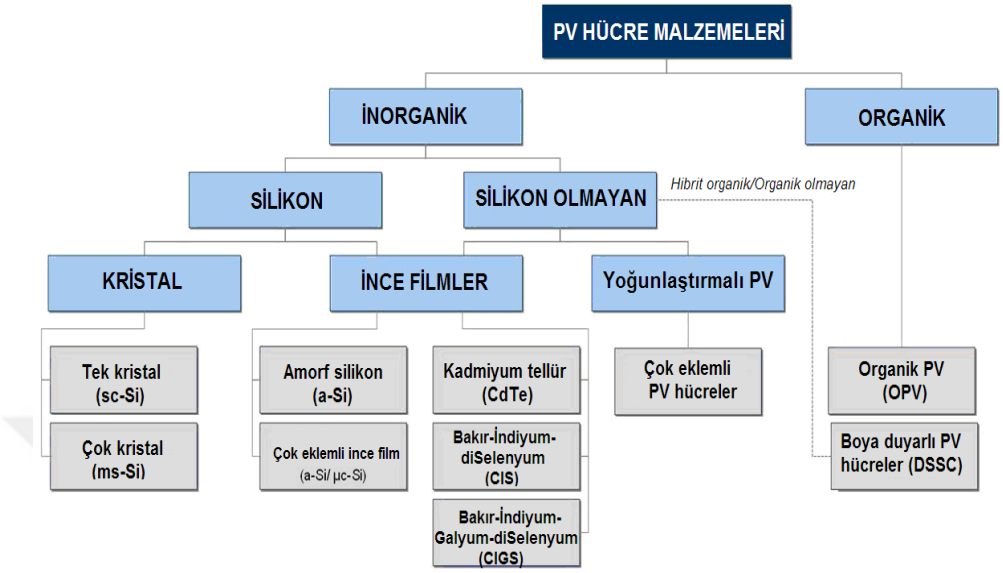
Çizelge 1.3. PV Hücrelerin Sınıflandırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

1) Birinci Kuşak PV Hücreler	1) Kristal Silikon (c-Si) Hücreler 1.1. Tek kristal (mc-Si) 1.2. Çok kristal (pc-Si)
2) İkinci Kuşak PV Hücreler	2) İnce Film Teknolojileri 2.1. Amorf silikon (a-Si) 2.2. Kadmiyum tellür (CdTe) 2.3. Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIGS) 2.4. Çok eklemli (a-Si/mc-Si)
3) Üçüncü Kuşak Teknolojiler	3.1. Organik 3.2. Boya duyarlaştırıcılı organik 3.3. Kuantum noktaları 3.4. Perovskite



Şekil 1.7. PV Hücrelerin Sınıflandırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

Ayrıca PV hücreler, organik ve inorganik özelliklerdeki bir çok farklı malzemeden yararlanarak üretilebilir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. PV Hücre Malzemelerini Sınıflandırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

Güneş hücreleri farklı tiplerde olabilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan güneş hücreleri şunlardır:

- Kristal Silisyum (c-Si) Güneş Hücreleri
- İnce Film PV Güneş Hücreleri
- Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Hücreleri
- Amorf Silisyum (a-Si) Güneş Hücreleri
- Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Hücreleri
- Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe2) Güneş Hücreleri
- Optik Yoğunlaştırıcılı Güneş Hücreler
- Çok Eklemli PV Güneş Hücreler
- Birinci Nesil PV Güneş Hücreler
- Tek Kristal Silikon (mc-Si) PV Güneş Hücreleri
- Çok Kristal Silikon PV Güneş Hücreleri

Kristal Silisyum (c-Si) Güneş Hücreleri

PV hücrelerin ana malzemesi silisyumdur. Silisyum yarı iletken özellik gösteren ve PV hücre yapımında en çok tercih edilen materyallerin başında gelir. Oksijenden sonra dünya üzerinde en yaygın bulunan element silisyumdur. Doğada saf halde bulunmayan silisyum, diğer elementler ile bileşikler halinde bulunur. Ancak PV bir hücrenin üretimi için saf halde silisyuma ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, saf silisyumun elde edilmesi çok zorlu ve pahalı bir süreçtir. Silisyumun, doğada en yaygın biçimi kuartz ve kumdur (SiO_2). SiO_2 işlenerek %99 silika elde edilir. Daha sonra silikadan elektronik teknolojisinde kullanılabilen silisyum sağlanabilmektedir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Kristal silisyum (c-Si), tek kristal silisyum (sc-Si) ve çok kristal silisyum (ms-Si) olarak ikiye ayrılır. Tek kristal silisyum monokristal olarak ve çok kristal sisliyum polikristal olarak adlandırılır. Monokristal yapılı güneş hücresinin verimi polikristal yapılı güneş hücresinin veriminden daha büyüktür (Öztürk, 2012).

İnce Film PV Güneş Hücreleri

Kitlesel üretimi çok basittir. Bu nedenle kristal esaslı PV hücrelerden daha ucuzdurlar. Görünümleri homojen olduğundan, daha caziptirler. Esnek yapıda olmaları nedeniyle uygulama alanları geniştir. Yüksek sıcaklık ve gölge oluşması, PV modül veriminde daha az etkilidir. Yerleşim alanının bir sorun olmadığı durumlarda, ince filmli PV modüller tercih edilebilir. İnce film PV modüller çoğu konut uygulamalarında çok yararlı değildir. Maliyetleri düşük olmakla birlikte, çok fazla alan gerektirirler. Alan verimi düşük olması, PV sistemin diğer ekipmanları (destek yapıları ve kablolar vb) için maliyetlerin artacağı anlamına gelir. İnce film PV modüller, tek ve çok kristal silikon PV modüllerden daha hızlı bozulma eğilimi gösterirler. Bu nedenle kullanım süreleri genellikle daha kısadır (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Hücreleri

Bu malzemeyle laboratuar şartlarında %25 ve %28 verim elde edilmiştir. GaAs PV hücreler, uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde çok sık kullanılmaktadır (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Amorf Silisyum (a-Si) Güneş Hücreleri

Kristal yapı özelliği göstermezler. Bu tip PV hücrelerden elde edilen verim %10 civarındadır. Ticari modüllerde ise %5-7 düzeyindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2012). Düşük maliyetli üretim yöntemine sahiptir. Amorf silikon saat, hesap makinesi vb.. uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. ABD'de ilk imal edilen PV hücreler amorf silikonlu olarak üretilmiştir. Amorf silikondan yapılmış PV hücrelerinde üretilen elektrik gücü düşük olduğundan hesap makineleri gibi küçük çaplı uygulamalarda tercih edilir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Hücreleri

Çok kristal yapılı malzemeye sahip olan CdTe ile PV hücrelerin maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuar tipi küçük hücrelerde %16 ve ticari tip modüllerde %7 civarında verim elde edilmektedir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Bakır İndiyum Diselenid ($CuInSe_2$) Güneş Hücreleri

Bu çok kristal hücrede laboratuvar koşullarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verimlik performansı tespit edilmiştir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler

Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcılı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkmaktadır (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Çok Eklemli PV Güneş Hücreleri

Çok eklemeli PV hücreler, p-n eklemlerinin üst üste bindirilmesiyle imalat edilir. Bu sebeple çok eklemli ardışık güneş pilleri, farklı bant aralığına sahip malzemelerin üst üste konulmasından meydana gelirler (Öztürk, 2012). Günümüzde üretilen üç eklemli yapılarda; GaInP (1.9 eV), GaAs (1.4 eV) ve Ge (0.7 eV) kullanılmaktadır. Çok eklemli hücreler, yüksek verimden dolayı ilgi odağı haline gelmektedir. Güneş ışınımının yoğunlaştırılmasıyla %43 dönüşüm verimliliğine sahip hücreler üretilebilmektedir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Birinci Nesil PV Güneş Hücreleri

Bu tip PV hücreler, silisyum (Si) yonga tabanlı ve tek katmanlı p-n eklem diyotundan oluşmaktadır. Bu hücrelerin kararlı yapıları vardır. Ayrıca birinci nesil PV hücreler yüksek verimliliğe sahiptirler. Ancak üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Günümüzde PV hücre piyasasının yaklaşık %90'ını birinci nesil PV hücreler oluşturmaktadır. Kristal silikon modüller, tek bir kristalden veya silikon bloğundan kesilen dilimlerden tasarımlanır (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Tek Kristal Silikon (mc-Si) PV Güneş Hücreleri

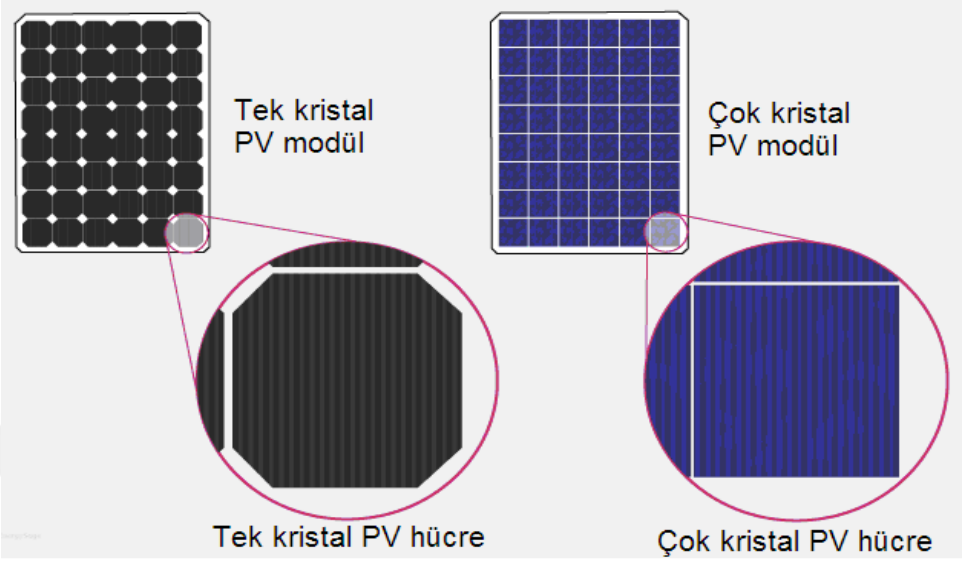
1954 yılında ilk defa geliştirilen silisyum esaslı PV hücresi tek kristalli ve yonga tabanlıdır. AM1.5 spektrumu altında tek kristalli PV hücresinin verimi

başlangıçta %6 iken ilerleyen süreçlerde verimi %10 düzeyine çıkmıştır (Öztürk, 2012). Silisyumun elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi, bu malzemenin en popüler malzeme olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Laboratuar koşullarında tek kristal silikon PV hücrelerinde elde edilen en yüksek verim %25 olarak tespit edilmiştir. Tek kristal silisyum malzeme, PV hücre üretiminde yüksek verim için kullanılan malzemelerden biri olmakla birlikte, üretim maliyetinin yüksek olması bu alanda değişik seçenek olarak çok kristal malzemenin geniş ölçekte kullanılmasına neden olmuştur (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Tek kristal silikon, düzenli bir kristal yapısına sahiptir. Tek kristal silikon, yavaş ve enerji yoğun filtrasyon ve ayırma işlemlerinden oluşan üretim süreçlerinde geçerek üretildiğinden, en pahalı silikon türüdür (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Tek kristal silikon üretiminde, silikon bir külçe oluşturmak için *Czochralski* yöntemi kullanılır. Genel olarak, tek kristal silisyumun üretim süreci gelişmeye devam etmektedir (Öztürk, 2012). Yarı iletken endüstrisinin çoğu tek kristal silisyuma dayandırılmış olduğundan, üretim sürecine ilişkin büyük bir teknoloji tabanı bulunmaktadır. Ancak saf tek kristal silisyum üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. İlk ticari PV hücrelerinde, *Czochralski* kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal silisyum kullanılmıştır (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Tek ve çok kristal PV modüllerin görünümleri birbirinden farklıdır. Şekil 1.9'a bakıldığında çok kristal PV güneş hücrelerin kenarları yuvarlatılmamıştır. Çok kristalli PV güneş hücreleri dikdörtgen görünümündedir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).



Şekil 1.9. Tek ve Çok Kristal PV Hücre ve Modüller (Öztürk, 2012)

Çok Kristal Silikon PV Güneş Hücreleri

Çok kristal silisyumun üretilmesinde en çok kullanılan uygulama yöntemi "dökme" yöntemidir (Goetzberger ve ark., 2003). Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş pilleri ilk defa 1975 yılında SOLAREX firması tarafından AM1 spektrumu altında %10 verimle üretilmiştir (Green, 2009). Sadece güneş hücrelerin imalatında kullanılan dökme silisyum diğer yarı-iletken elektronik devrelerde kullanılmamaktadır. Çok kristalde, tek kristal tane sınırları birer rekombinasyon merkezi gibi davranarak taşıyıcıların ömür sürelerini azaltmakta ve verimi düşürmektedir (Goetzberger ve Shockley, 1960). Ancak, dökme silisyum kolaylıkla kare şeklinde dilimlere ayrılabildiğinden, polikristal güneş hücreleri modül alanını neredeyse tamamen kaplayabilmektedir. Böylelikle, PV modülün veriminde iyileşme sağlanmaktadır. Güneş pili piyasasının yaklaşık %63'ünü %13-14'lük verimle çok kristal PV hücreler oluşturmaktadır (Bagnall ve Boreland, 2008). Laboratuar koşullarında elde edilen en yüksek verim %20,4'tür (Green, 2009).

Çizelge 1.4'de Tek kristal ve Çok kristal silikon PV hücrelerin karşılaştırılması verilmiştir (Öztürk ve Küçükerdem 2018).

Çizelge 1.4. Tek Kristal ve Çok Kristal Silikon PV Hücrelerin Karşılaştırılması (Öztürk ve Küçükerdem, 2018)

Karşılaştırma Ölçütü	**Özelliği**
Maliyet	Çok kristalli PV hücresi aynı büyüklükteki tek kristal PV hücresine nazaran daha az maliyetlidir.
Verimlilik	Tek kristal PV hücrelerin verimleri, çok kristalli PV hücrelerine göre daha yüksek bir verime sahiptirler.
Sıcaktan etkilenme	Tek kristal silikon modüller yüksek ortam sıcaklıklarında çok kristal modüllerden daha iyi etkinlik gösterirler.
Boyut	Tek kristalli PV modüller alan başına, çok kristalli PV modüllerine göre daha verimlidir. Bu sebeple, Tek kristalli PV modül boyutu, aynı güç değeri için çok kristalli PV modülden daha küçüktür.
Görünüm	Tek kristalli PV hücre, dairesel hücrelere sahiptirler renkleri üniformdur. Çok kristalli PV hücreler ise kare şeklinde olup, renkleri granit gibi karışıktır.
Ömür	Tek kristalli PV modüller, çok kristalli PV modüllere göre daha uzun bir kullanıma sahiptirler.
Gölgelenme	Tek kristalli PV hücreler daha az ışıklı koşullarda çok kristalli PV hücrelere göre daha verimli bir performans gösterirler. Bu yüzden, hafif gölge sorunları olan veya bulutlu gökyüzü koşullarında tek kristalli PV hücreler daha iyi bir verim gösterebilirler.
Alan gereksinimi	Aynı güç değeri kapsamında, çok kristalli PV diziler, genellikle tek kristalli PV dizilerden daha fazla yer kaplar.

Çok kristal silikon daha basit bir yöntemle üretilir. Tek bir kristal oluşturmak için yavaş ve pahalı olan süreçten geçmek yerine, erimiş silikon bir dökme kalıba konur ve bir çekirdek kristali ile soğutulur. Bu nedenle, üretim maliyeti ucuz bir malzemedir (Öztürk ve Küçükerdem 2018).

Döküm yöntemini kullanarak çekirdeği çevreleyen kristal tek düze bir yapı oluşturmaz ve çok küçük kristallere dallanır. Böylece çok kristalli silikon oluşur. Tek kristal silikon PV hücrelerin aksine, çok kristalli PV hücreler *Czochralski* işlemi gerektirmez (Öztürk ve Küçükerdem 2018). Ham silikon eritilir ve kare şeklinde kalıba dökülür. Daha sonra soğutulur ve kare şeklindeki küplere kesilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Prasad ve Snow (2005), farklı malzemelerle üretilen güneş hücrelerinin performans değerlerini hesaplamıştır (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. Güneş Hücre Malzemelerinin Performans Değerleri (Prasad ve Snow, 2005)

Panel Tipi	**Performans (%)**
Mono Kristal Silisyum	12-15
Poli Kristal Silisyum	11-14
İnce Film Bakır İndiyum Selenoid	9-11
İnce Film Kadminyum Tellur	6-8
İnce Film AmorfSilisyum	5-7

Yukarıdaki tabloya göre Mono kristal yapılı güneş hücrenin performansının diğer farklı malzemelerle üretilen güneş hücrelerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Erkul (2010), Yenilenebilir enerji kaynakları arayışları yaşadığımız son yüzyıl içerisinde giderek artan bir şekilde sürmektedir. 1970 yıllarındaki enerji krizinin ardından OPEC baskısından kurtulmak isteyen ve çevresel faktörleri göz önünde bulunduran bilim adamları ve ülkelerin yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılıktan kurtulma yönünde çalışmaları sürat kazanmıştır. Sınırsız ve güçlü bir enerji olan güneş enerjisi de bu çalışmalar arasında yerini almıştır. Henüz verimlilik yönündeki çalışmalar sürekli ve kesintisiz kullanımına izin vermese de oldukça büyük bir potansiyele sahip olan güneş enerjisi, şu an birçok ülkede aktif olarak diğer yenilenebilir enerji sistemleri ile kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, özellikle şebeke sorunu yaşayan bölgelerdeki aydınlatma sorununu çözümleyebilmek için üç farklı tip olan monokristal, polikristal ve amorf-silisyum güneş panellerinin ocak ve temmuz aylarında Ankara'da verimlilikleri incelenmiş ve aydınlatma sistemlerinde kullanımlarına yönelik birer uygulama yapılmıştır.

Şebekeden bağımsız olarak çalışan aydınlatma sistemleri için üç farklı tip panel ile tasarım gerçekleştirilmiştir. Verimlilikleri deneysel olarak incelendikten sonra verim artışı için önerilerde bulunmuştur.

Boz (2011), Polikristal güneş panellerinin verimlilikleri %14 ile %16 aralığında olduğunu belirtmiştir.

Saloux ve ark. (2011), PV dizilerin boyutlandırılması ve özelliklerinin belirlenmesi için eşitlikler geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemde; kısa devre akımı, açık devre gerilimi, en yüksek güç değerleri ile PV sistemin en uygun çalışma koşulları belirlenebilmektedir. Modelde modül sıcaklığı ve güneş ışınımının PV değişkenlere olan etkileri de dikkate alınmaktadır. Modelin farklı çalışma koşullarında geçerliliği değerlendirilmiş olup, PV sistemlerin tasarımında hızlı ve kolay bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Şenay (2011), son nesil güneş pilleri arasında pratikte uygulaması mevcut tek ürün olan çok eklemli güneş pillerinin verimine yönelik teorik analizler yapmıştır. Siyah cisim ışıması altında yapılan tüm analizlerde detaylı denge modeli kullanılmıştır. Çok eklemli güneş pilinin verimde nasıl iyileşme sağladığının görülmesi için, öncelikle geleneksel p-n eklem güneş pilinin verim analizi yapılmıştır. Geleneksel p-n eklem güneş pilinde, EG=1.31 eV için verim sınırı %31,16 olarak hesaplanmıştır. İki eklemli monolitik güneş pilinde, EG1=1 eV ve EG2=1.71 eV için verim sınırı %42.66 olarak belirlenmiştir. Ge (0.7eV) yarı iletkeninin alttan ve üçüncü p-n eklemi olarak kullanıldığı hesaba katılan üç eklemli monolitik güneş pilinde, EG2=1.21 eV ve EG3=1.87 eV için verim sınırı %48,27 olarak bulunmuştur. Ayrıca, ışık yoğunluğu arttıkça, verimin logaritmik olarak arttığı gözlemlenmiştir. İki eklemli ve üç eklemli güneş pillerinde üstteki p-n ekleminin kalınlığı ayarlanarak akım uyumlandırma işlemi yapılmıştır. İki eklemli GaAs (1.42 eV)/Ge (0.7eV) ve üç eklemli GaInP (1.9 eV)/GaInAs (1.4 eV)/Ge (0.7 eV) güneş pilinde, en üstteki p-n ekleminin kalınlığının belirli bir değere kadar azaltılması ile verimin yükseldiği görülmüştür. Son olarak; Auger üretim ve rekombinasyonunun, optimumEG'li tek eklemli ve iki eklemli monolitik

güneş pilleri ile GaAs (1.42 eV)/Ge (0.7 eV) iki eklemli monolitik güneş pilinde verime etkisi incelenmiştir. p-n eklem güneş pilinde, Auger mekanizmasının çoğullama olasılığına (σ) bağlı olarak verimde önemli oranda artış sağladığı görülmüştür. Optimum EG'li iki eklemli güneş pilinde ve GaAs (1.42 eV)/Ge (0.7eV) güneş pilinde Auger mekanizmasının verime neredeyse hiç etkisinin olmadığı görülmüştür. İki eklemli pillerde üstteki p-n eklemi inceltildiğinde, Auger mekanizmasının verimde kayda değer oranda katkı sağladığı değerlendirilmiştir. Buradan, Auger mekanizmasının çok eklemli monolitik güneş pillerinde verime etkisinin, üstteki p-n ekleminin kalınlığına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Turhan ve Çetiner (2012), PV sistemlerin binalarda kullanılmasında performansı etkileyen parametreleri incelemişlerdir. Söz konusu etmenler için elde edilen verilerin analizi sonucunda; doğru eğim açısı ile yerleştirilen, gölgelenme risklerine karşı önlem alınan, modül arka yüzeyinde havalandırma sağlanan uygulamalarda PV panellerden maksimum performans / verim elde etmek mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Topkaya (2012), Türkiye'nin yeterince güneş enerji potansiyeline sahip olmasına rağmen Türkiye'de güneş enerjisi ile elektrik üretim düzeyinin düşük olmasına dikkat çekmiştir. Ayrıca Topkaya (2012), Türkiye'nin elektrik üretiminde güneş enerji potansiyelini kullanmasıyla ithal fosil esaslı enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azalağacağını belirtmiştir.

Baris ve Kucukali (2012), Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini Avrupa'ya göre kıyaslamıştır. Sonuç olarak Baris ve Kucukali (2012) çalışmalarında Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin Avrupa ülkelerine göre çok iyi bir durumda olduğunu belirtilmiştir.

Akaraslan ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampusunda tesis edilmiş sabit eğimli platform üzerine yerleştirilmiş monokristal, poli kristal ve ince film teknolojisiyle üretilmiş güneş panellerinin çıkış güçlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, her bir panelin çıkış akımı, gerilimi, yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı

ve global ışınım şiddeti verileri ölçülüp kaydedilmiştir. Bu parametrelerin çeşitli varyasyonlarından oluşan girdilere sahip yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan yapay sinir ağları önce eğitilmiş daha sonra test edilmiştir. Bu sayede panellerin performansları karşılaştırılmış, enerji tahmin modelleri oluşturulmuş ve ortam sıcaklığı ile panellerin yüzey sıcaklıklarının panel çıkış gücüne etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır.

Benli (2013), Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeline vurgu yapmıştır. Türkiye'nin her yıl ortalama %8-9 oranında elektrik tüketiminde artış olduğuna dikkat çekmiştir. Bu sebeple Türkiye'nin elektrik üretiminde doğalgaz çevrim santralleri yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine zorunlu olduğunu belirtmiştir.

Moehlecke ve ark. (2013), PV güç çıkışının arttırmak için PV modüllerinin alt yüzeylerine alüminyum yansıtıcıların yerleştirilmesini önermişlerdir.

Roy ve ark. (2014), Tek ve çok kristal silikon PV modüllerin verim ve maliyetlerini karşılaştıran deneysel bir çalışma yapmışlardır. Tek kristal silikon PV modüllerin verimlerinin daha yüksek olduğu ve maliyet açısından daha etkin oldukları belirlenmiştir.

Purohit ve ark. (2015), tek kristal silikon PV hücre sıcaklığının PV değişkenlere olan etkilerini incelemişlerdir. Denemeler, PV hücre simülatörü kullanılarak 215-515 W/m^2 sabit ışınım şiddetinde, hücre sıcaklığının 25−60 °C arasında değiştiği koşullarda gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, hücre sıcaklığının PV değişkenler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve PV hücrenin kalite ve verimini etkilediği belirlenmiştir. Açık devre gerilimi, en yüksek güç, dolum faktörü ve verim değerleri, hücre sıcaklığına bağlı olarak azalmıştır. Ters doyma akımı hücre sıcaklığı ile artmış ve kısa devre akımında çok az bir artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık katsayısı; açık devre gerilimi, dolum faktörü ve en yüksek güç değerlerini negatif olarak etkilerken, kısa devre akımı pozitif olarak etkilemiştir. PV değişkenleri sıcaklığa bağlı olarak değişimi de incelenmiştir. Açık devre gerilimi, kısa devre akımı, dolum faktörü ve en yüksek güç için bağıl

değişim, sırasıyla −0,0022/°C, −0,0025/°C, 0,002/°C, −0,0013/°C, −0,002/°C olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda belirlenen bulguların ilgili literatür ile uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

Ekici ve Gülten (2015), Elazığ ilinde şebeke bağlantılı bir PV sistemin farklı panel eğim açılarına göre performanslarını analiz etmişlerdir. Yapılan analiz sonucunda panel eğim açısının aylık optimum değerlere göre ayarlanması ile mevsimlik optimum eğim açısına göre %1,2, yıllık optimum eğim açısına ayarlamasına göre ise %5 daha fazla enerji üretimi gerçekleştireceğini belirtmişlerdir.

Kaddoura ve ark. (2016), PV paneller için optimum eğim açısının düşen güneş radyasyonun miktarını etkileyen önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.

Taşçıoğlu ve ark. (2016), 19-25 Ağustos 2014 tarihlerinde, Bursa ilinde iki farklı tip PV modülün farklı yük koşullarında ürettikleri güç miktarının zamanla değişimini incelemişlerdir. Mono ve Poli kristal PV modüllerin verimleri, iklimsel verilere bağlı olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda, tek ve çok kristal PV modüllerin ürettikleri elektrik miktarları sırasıyla 42,06 Wh ve 39,80 Wh olarak belirlenmiştir. Toplam güneş ışınımının en yüksek 1001,13 W/m^2 olduğu koşullarda, tek ve çok kristal PV modüllerin ürettikleri elektriksel anlık güç miktarları, sırasıyla 87,14 W ve 80,17 W olarak hesaplanmıştır. Bursa koşullarında, tek kristal PV modülün çok kristal PV modülden daha verimli olarak çalıştığı belirlenmiştir.

Gedik (2016), bir PV modülün verimi esas olarak ortam sıcaklığına, modül sıcaklığına, güneş ışınım şiddetine ve fotovoltaik malzemenin bileşimine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Koppelaar (2017), Monokristal ve Polikristal esaslı PV panellerinin geri ödeme süreleri sırasıyla 3,9 ve 2,9 yıl olduğunu tespit etmiştir. Zaraket ve ark. (2017), Hücre sıcaklığının PV panellerinin performansına etkilerini incelemişlerdir.

İnceleme sonunda hücre sıcaklığının artmasıyla PV panellerin verimlerinde düşüş olduğunu tespit etmişlerdir.

Mirzaei ve Mohiabadi (2017), Polikristal ve Monokristal PV panellerinin deneysel performanslarını karşılaştırmışlardır. Her iki PV panellerinin performanslarının incelenmesinde monokristal panelin hem maksimum verim hem de toplam spesifik enerji verimi bakımından daha iyi performans gösterdiğini ve bu alanda daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.

Elibol ve ark. (2017), Farklı PV panel tiplerinin dış mekan performans analizlerini incelemişlerdir. Söz konusu PV paneller amorf silikon esaslı panel, polikristal panel ve monokristal paneldir. Panel verimliliği amorf silikon, polikristal ve monokristal PV panelleri için sırasıyla %4,79, %11,36 ve %13,26 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca Elibol ve ark. (2017), panel tiplerinin verim ve performans oranlarını, çevre sıcaklığı, panel sıcaklığı ve radyasyon miktarı arasındaki ilişkiyi belirtmek için istatistiksel analiz yapmışlardır. İstatistiksel analiz sonucunda, 1 °C sıcaklık artışının %0,029 amorf silikon panellerinin verimliliğini arttırdığı ve %0,033 oranında polikristal panellerin verimliliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Fakat 1 °C sıcaklık artışının monokristal pv panellerini %0,084 oranında verimliliklerini azalttığını tespit etmişlerdir.

Arslan (2018), Tekirdağ iklim şartlarında monokristal PV paneli ve polikristal PV panelinin verimlerini sırasıyla %15 ve %14,9 bulmuştur.

Rajput ve Yang (2018), yapmış oldukları çalışmada Polikristal PV Panelinin durgun rüzgar koşullarında soğutulması için silindirik kanatlı ısı alıcılarının kullanılmasını tavsiye etmiştir.

Herhangi bir PV güneş hücrenin verimi, üretilen elektriğin toplam güneş ışınımına oranı olarak tanımlanır. Bu tanımlamaya göre, sadece PV güneş hücrenin ürettiği elektrik dikkate alınmaktadır. Ortam sıcaklığı ve PV hücrenin sıcaklığı gibi faktörler verim hesaplarında dikkate alınmamaktadır. Bununla birlikte, PV güneş hücreler kullanımları sırasında ısınmakta ve bulundukları ortamın sıcaklığına göre ısı kaybetmekte veya kazanmaktadır. Sonuç olarak, PV güneş hücrenin ısınması

sonucunda açığa çıkan ısı enerjisinin de, PV güneş hücrenin toplama veriminde dikkate alınması gerekir. Bu çalışmanın özgünlüğü, PV modül veriminin belirlenmesinde; elektrik, ısı ve toplam verimlerinin ayrı ayrı belirlenecek olmasıdır. Bu çalışmada, 255 W gücündeki polikristal PV modülü için elektrik, ısı ve toplam verimi belirlenmiş ve önceki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Türkçede çok kristalli PV güneş modülleri olarak tanımlanan polikristal PV güneş modülleri düşük maliyetlerinden dolayı en çok tercih edilen PV güneş modülleridir. Polikristal yapılı PV güneş modülleri, çok kristalli yapısı ile modülün bir kısmının güneş ışığını görmese bile, elektrik üretimini sorunsuz bir şekilde devam ettirmektedir. Deneysel çalışmada Ödül Solar Enerji markalı polikristal PV modül kullanılmıştır. Deneyde kullanılan PV modülün marka ve modelin yer aldığı etiket bilgileri Şekil 3.1'de verilmiştir.



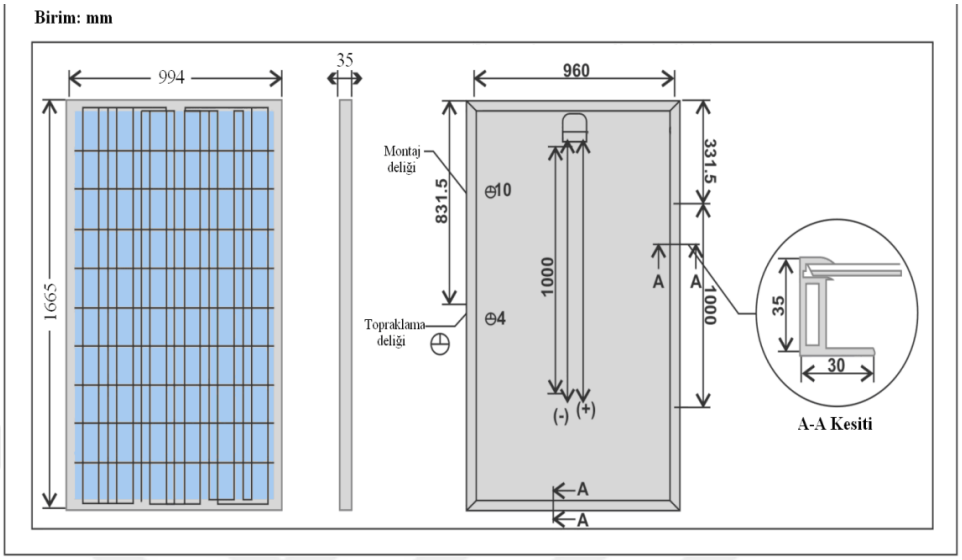
Şekil 3.1. Kullanılan PV Modülün Marka ve Modeli

Deneysel çalışmada kullanılan polikristal PV modül, güneş ışınımından kazandığı enerjiyi, doğru akım (DC) elektriğe dönüştürmektedir. PV modülün ön ve arka yüzey görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Polikristal PV Modülün Ön ve Arka Yüzey Görünümü

Polikristal PV modülün ön yüzü, 3,2 mm kalınlığında, yansımasız temperli beyaz cam olup, 60 adet PV hücresinden oluşmaktadır. Her bir PV güneş hücresi, çok kristalli silisyum malzemeden imal edilmiştir. Polikristal PV modülünün arka yüzünde polimer katmanlı koruyucu vardır. Polikristal PV modül, 40 mm kalınlığında anodize alüminyum çerçeve ile kaplıdır. PV modülün kütlesi çerçevesiyle birlikte 18 kg'dır. PV modülün boyutları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Polikristal PV Modülün Boyutları

PV modülün uzunluğu 1665 mm, genişliği 994 mm ve kalınlığı 35 mm'dir. PV modülün arka yüzeyinde; bağlantı kutusu, 10 mm çapında montaj deliği ve 4 mm çapında topraklama deliği bulunmaktadır. Montaj delikleri arasındaki açıklık 960 mm'dir. GSTPV-P-250 model PV modülün elektriksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Polikristal PV Modülün Elektriksel Özellikleri

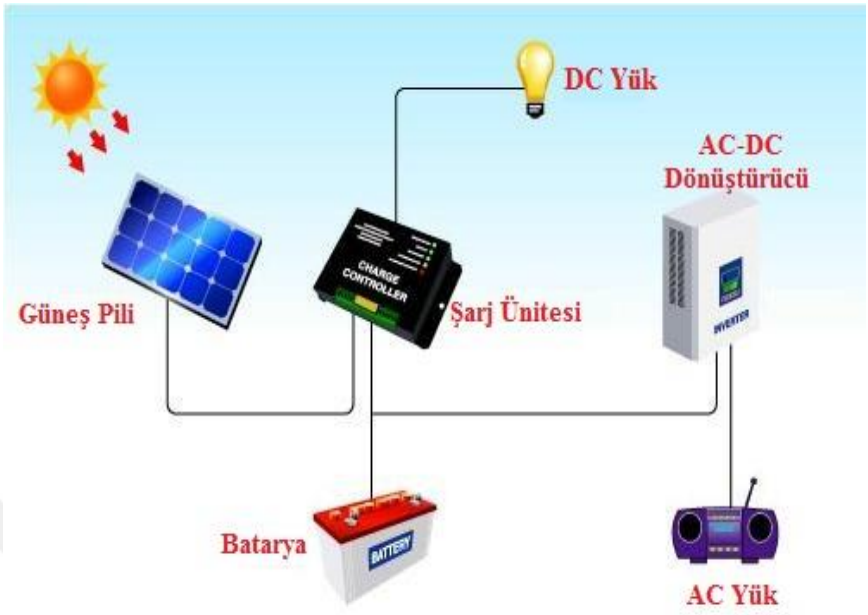
Elektriksel Özellikler	**Değeri**
Maksimum güç (P_{max}, W)	255
Açık devre gerilimi (V_{oc}; V)	37,0
Kısa devre akımı (I_{sc}; A)	8,9
Maksimum güç gerilimi (V_{mpp}; V)	30,4
Maksimum güç akımı (I_{mpp}; A)	8,4
Maksimum sistem gerilimi (V_{max}; VDC)	1000

Polikristal PV modülde, 156 × 156 mm boyutlarında 60 adet polikristal silikon hücre bulunmaktadır. Polikristal silikon hücrenin kalınlığı 200 mikron olup, ön ve arka yüzey görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Polikristal Silikon Hücrenin Ön ve Arka Yüzey Görünümü

Deney çalışmasında kullanılan PV sistem; polikristal PV modülü, akü, invertör ve şarj kontrol cihazından oluşmaktadır. Deney düzeneği, elektrik kullanımında şebekeden bağımsız depolamalı olarak çalışan sistemdir. Şekil 3.5'te elektrik kullanımında şebekeden bağımsız depolamalı sistemlerin çalışma şeması verilmiştir. Deney sisteminin çalışma prensibi, polikristal PV modülden üretilen elektrik enerjisi şarj kontrol cihazıyla düzenlenerek akülerde depolanır. Depo edilen bu enerji ise invertörler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 3.5. Elektrik Kullanımında Şebekeden Bağımsız Depolamalı Sistemlerin Çalışma Şeması

Deneyler 2017 yılı ekim ayı içerisinde toplam 6 gün (19-20/10/2017 ve 24-27/10/2017) sürmüştür. İlgili tarihlerde ve saatlerde gerçekleşen güneş ışınım değeri ve dış ortam sıcaklık değerleri Adana Meteoroloji il Müdürlüğünden temin edilmiştir. Şekil 3.6'da polikristal PV panelinin yerleşimi verilmiştir.



Şekil 3.6. Polikristal PV Panelinin Yerleşimi

PV sistemlerde akünün doluluk oranın kontrol etmek için güneş şarj kontrol cihazı kullanılmaktadır. Şekil 3.7'de deney süresince kullanılan güneş şarj kontrol cihazı ve invertörün resimleri yer almaktadır.



Şekil 3.7. Deney Süresince Kullanılan Güneş Şarj Kontrol Cihazı ve İnvertör

Deney sisteminde kullanılan güneş şarj kontrol cihazı Şekil 3.8'de verilmiştir. Şarj kontrol cihazı, akü tam kapasite ile dolu olduğunda PV modülden aküye giden elektriği keser. Böylece akünün korunması sağlanır. Deneysel çalışmada Wellsee marka ve WS-C2430 modeli şarj kontrol cihazı kullanılmıştır. Şarj kontrol cihazı 20 A ve 12V/24V gücündedir.



Şekil 3.8. PV Modül Şarj Kontrol Cihazı

PV sistemlerde genel olarak güç çevirici olarak bilinen invertörler kullanılır. İnvertörler bazı kaynaklarda eviriciler olarak da adlandırılırlar. Deneysel çalışmada kullandığımız invertör Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu araştırmada 1000 W gücünde invertör kullanılmıştır.



Şekil 3.9. 1000 W Gücünde Bir İnvertör

Deneysel çalışmada kullanılan invertör, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirmeye yarayan elektriksel bir güç dönüştürme elemanı olarak görev almıştır. Güneş modüllerinden sağlanan DC akım kontrollü bir şekilde AC akıma invertörler sayesinde dönüştürülür.

Deney sistemi tarafından üretilen elektriğin akım ve gerilim değerleri sayısal multimetre ile ölçülmüştür (Çizelge 3.2). Avometre olarak da adlandırılan multimetre, akım (Amper), gerilim (Volt), direnç (Ohm) ve kısa devre ölçebilen bir elektronik ölçme aletidir (Şekil 3.10). Avometre sözcüğü, Amper, Volt ve Ohm kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Avometreler, elektrik ve elektronik sektöründe kullanılırlar, analog ve sayısal olarak imal edilirler. Üzerindeki komutatörle istenilen ölçme değeri seçilerek ölçme yapılır. Günümüzde avometreler oldukça gelişmiş ve birçok yeni özellik eklenmiştir.

Standart parametreler olan akım gerilim ve direnç dışında, frekans, sıcaklık, kapasitans, gibi birçok parametrenin daha ölçümünü yapabilmektedir. Birçok üretici multimetrenin ölçüm doğruluğunu şu şekilde belirtir: %2+5. Bu ifade şu anlama gelmektedir. Toplam hata ölçülen değerin %2'si ve çözünürlüğün 5 katının toplamı ile bulunur. Bu hesaplama yönteminden de anlaşılacağı üzere, çözünürlük ne kadar yüksek ise ölçüm hatası o kadar düşük olacaktır ve daha doğru bir ölçüm yapılacaktır.

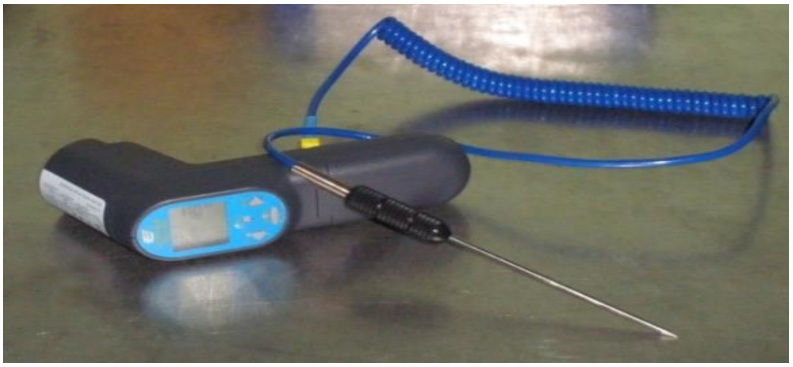
Çizelge 3.2. Multimetrenin Özellikleri

Özellikler	**M-3850D**	
DC Gerilim	400mA–400V 1000 V	±0,3% + 1dgts ±0,5% + 1dgts
AC Gerilim	400mV–400V 200V–750V	±0,8% + 3dgts ±1,0% + 3dgts
DC Akım	400 μA to 4mA 40mA-400mA 4A-20A	±1,0% + 1dgts ±0,8% + 1dgts ±1,5% + 5dgts
AC Akım	400 μA–4mA 40mA–400mA 4A–20A	±1,8% + 3dgts ±1,5% + 3dgts ±2,0% + 5dgts
Direnç	400Ω–4 MΩ 40 MΩ	±0,5% + 1dgts ±1,0% + 2dgts
Kapasitans	4nF–400 nF 4nF–200 nF	±2,0% + 3dgts ±3,0% + 5dgts
Frekans	4kHz–40MHz	±0,1% + 1dgts
Sıcaklık	-40°C~200°C 200°C~1200°C	±3,0% + 5dgts ±3,0% + 2dgts
Süreklilik		≤ 40 Ω
İndüktans	40mH–4H	±3,0% + 20dgts



Şekil 3.10. Deney Sisteminde Kullanılan Multimetre

Deney sisteminde sıcaklık ölçümleri için kızılötesi sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.11). Ürün merkez ve yüzey sıcaklıkları -60 ile +500 °C arasında ölçüm yapabilen TFA marka 31.15 model kızılötesi sıcaklık ölçer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 0,5 °C ölçüm hassasiyeti olan cihaz aldığı verileri kaydedebilmekte ve ortalama değer, en büyük ve en küçük değerleri ayrıca göstermektedir. Termokupl ile yapılan ölçümlerde -60 ile +1400 °C arasında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.11. Kızılötesi Sıcaklık Ölçer ve Probu

3.2. Metot

3.2.1. PV Modülün Enerji Verimi

Bir PV sistemin enerji verimi, sistemde elektrik ve ısı olarak üretilen toplam enerjinin, PV yüzey tarafından alınan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi belirlenir (Joshi ve ark., 2017).

$$\eta_{en} = \frac{\dot{E}n_{out}}{\dot{E}n_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} + \dot{Q}}{S_T \times A} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

η_{en} = PV sistemin enerji verimi (%),

En_{out} = PV sistemden kazanılan enerji (W),

En_{in} = PV sisteme güneşten gelen enerji (W)

V_{oc} = Ölçülen gerilim (V),

I_{sc} = Ölçülen akımı (A),

Q = Isı enerjisi (W),

S_T = Toplam güneş ışınımı (W/m^2) ve

A = PV modül yüzey alanıdır (m^2).

3.2.2. PV Modülden Isı Transferi

$$\dot{Q} = h_{ca} \times A \times (T_{PV} - T_o) \quad (2)$$

PV sistemden açığa çıkan ısı enerjisi ve PV sistemden ortama olan taşınım ve ışınım ile ısı transferi katsayısı, hava hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenir (Joshi ve ark., 2017).

$$h_{ca} = 5.7 + 3.8 \times v \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

h_{ca} = PV sistemden dış ortama taşınım ve ışınımla ısı transferi katsayısı (W/m^2 °C),

T_{PV} = PV modül sıcaklığı (°C),

T_o = Ortam havasının sıcaklığı (°C) ve

v = Ortamdaki hava hızıdır (m/s).

3.2.3. PV Modülün Elektrik Verimi

PV sistemin maksimum elektrik verimi (η_{el_m},%), PV hücreler tarafından üretilen maksimum elektrik miktarının, PV sisteme güneşten gelen toplam ışınım enerjisine oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Öztürk ve Kaya, 2013; Joshi ve ark., 2017).

$$\eta_{el_m} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{S_T \times A} \quad (4)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada deneyini yaptığımız PV modülü polikristal olarak imal edilmiştir. Güneş enerjisinin kaynak olarak kullanıldığı bu çalışmada polikristal malzemeli PV modülünün performansı test edilmiştir. Deneyler 2017 yılı ekim ayı içerisinde toplam 6 gün (19-20/10/2017 ve 24-27/10/2017) sürmüştür.
Polikristal malzemeli PV modülün performans hesaplanması kapsamında ısıl verimi, elektrik verimi ve toplam verim değerleri tespit edilmiştir. Söz konusu verim değerleri önceki sonuçlarla kıyaslanmıştır.

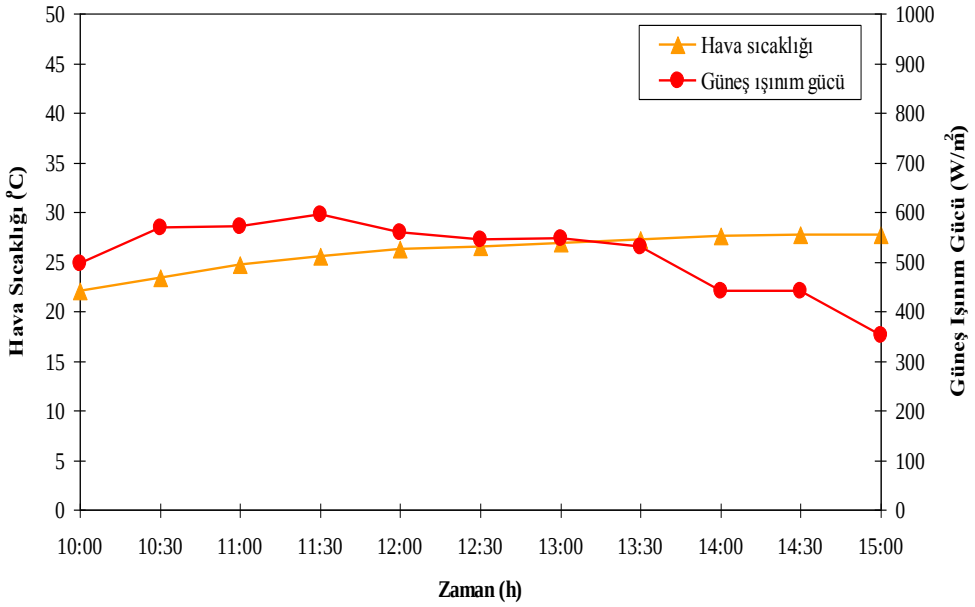
4.1. Deney Süresince Güneş Işınımı ve Sıcaklık Değerlerine İlişkin Bulgular

Deneylerin yapıldığı tarihlerdeki ortalama çevre sıcaklığı, güneş ışınım değeri ve PV yüzey sıcaklıkları Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. İlgili tarihlerde ve saatlerde gerçekleşen güneş ışınım değeri ve dış ortam sıcaklık değerleri Adana Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Şekil 4.1'e bakıldığında hava sıcaklığı ve güneş ışınım gücünün gün içerisindeki değişimleri paralel değildir. Şekil 5.1 incelendiğinde dış hava sıcaklığı sürekli artarken gün içerisinde ışınım gücü öğlene doğru artmakta sonra düşmektedir. Öğlen saatlerinde güneş ışınları yer yüzüne dik geldiği için bu saatlerde ölçülen güneş ışınım gücü diğer saatlere nazaran daha yüksek ölçülmüştür. Hava sıcaklık değerleri 22,05 ^{o}C ile 27,75 ^{o}C arasında değişim göstermektedir. Gün içerisinde güneş ışınım gücü ise 351 W/m^2 ile 595,458 W/m^2 arasında değişim göstermiştir. Gün içerisinde hava sıcaklığının ve güneş ışınım gücünün ortalama değerleri sırasıyla 25,98 ^{o}C ve 513,41 W/m^2 'dir.

Gün içerisindeki maksimum güneş ışınım gücü saat 11:30'da gerçekleşmiştir. Saat 11.30'da güneş ışınım değeri 595,458 W/m$^{2'}$dir. Saat 11.30'dan saat 13.30'a kadar yapılan ölçümlerde güneş ışınım gücünde düşük miktar azalmalar olmuştur. Bununla birlikte, bu saatlerde güneş ışınım şiddeti değerleri yüksek düzeyde devam etmiştir. Sırasıyla saatler 12.00, 12.30 ve

13.00'da ölçülen güneş ışınım gücü değerleri 559,458 W/m^2 , 545,547 W/m^2 ve 547,75 W/m^2'dir.



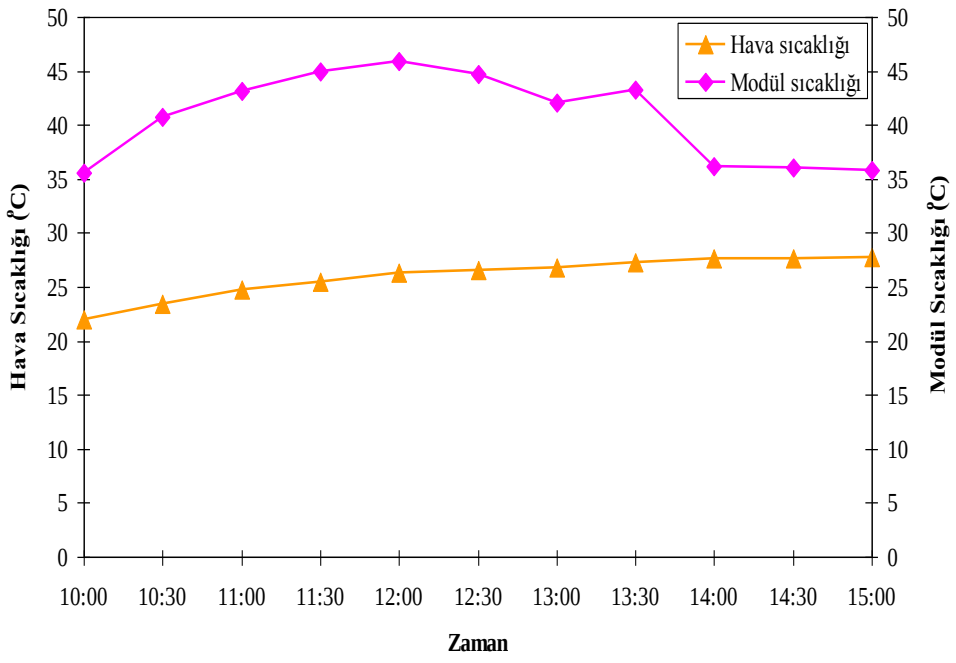
Şekil 4.1. Hava Sıcaklığı ve Güneş Işınım Gücü Değişim Değerleri

Özellikle saat 13.30'dan sonra ölçülen güneş ışınım gücü değerlerin önemli miktarda azalmalara olduğu gözlemlenmiştir. Saat 13.30'da güneş ışınım gücü 531,23 W/m^2 iken saat 14.00'de 441,325 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Şekil 5.1'e bakıldığında dış ortam çevre sıcaklığının 11.30, 12.00 ve 12.30'da sırasıyla 25,51 ^{o}C 26,275 ^{o}C ve 26,56 ^{o}C'dir. Çevre sıcaklığının gün içerisinde maksimum olduğu saat 15.00'de ölçülmüştür. Saat 15.00'de çevre sıcaklığı 27,75 ^{o}C olarak ölçülmüştür. Saat 10.00 ve 15.00 arasında dış ortam çevre sıcaklık değerleri sürekli artmıştır.

Şekil 4.2'de hava sıcaklığı ve polikristal PV modülüne ait yüzey sıcaklığının gün içerisindeki değişim grafiği verilmiştir. Modül sıcaklığı hem güneş ışınım şiddeti ve hem de ortam sıcaklığına bağlıdır. Fakat modül sıcaklığına en büyük etken modül yüzeyine yansıyan güneş ışınım şiddetidir. Modül sıcaklığı

hava sıcaklığından ziyade güneş ışınımın artış ve azalışına bağlı olarak değişim göstermiştir. Güneş ışınım şiddetinin modül yüzeyine dik gelen gündüz vaktinde modül yüzey sıcaklığı sürekli artmıştır. Daha sonra modül yüzey sıcaklığı güneş ışınım şiddetinin azalmasıyla düşmüştür.

Şekil 4.2 incelendiğinde özellikle güneş ışınların dik olarak geldiği öğlen vaktinde modül sıcaklığı yükselmiştir. Öğlen saat 12.00'de modül sıcaklığı 45,879 ^{o}C'e kadar yükselmiştir. Bu değer modül sıcaklığının maksimum olduğu değerdir. Ayrıca 11.30'dan modül sıcaklığı 44,9 ^{o}C ve 12:30'da 44,725 ^{o}C'dir.

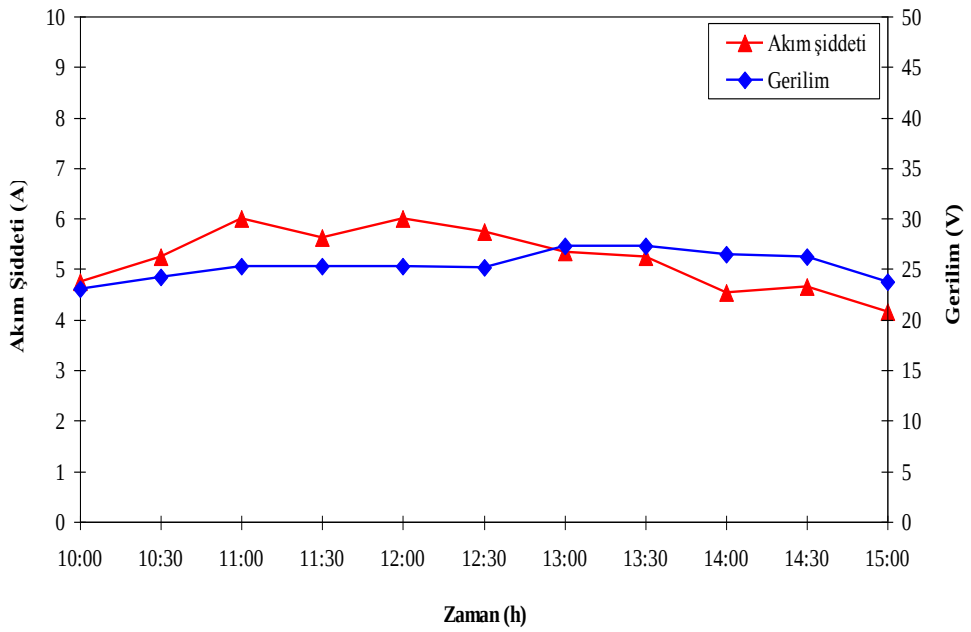


Şekil 4.2. Hava Sıcaklığı ve Modül Yüzey Sıcaklığı Değişim Değerlerinin Karşılaştırılması

Sonuç olarak belirtilmelidir ki, güneş ışınları bir yere ne kadar dik düşerse, sıcaklık o derece artmaktadır. Öğlen vakti güneş ışınımları PV modül yüzeyine dik geldiğinden dolayı modül yüzey sıcaklığı artmıştır.

4.2. Polikristal PV Modülünün Zamana Bağlı Güç Değerlerine İlişkin Bulgular

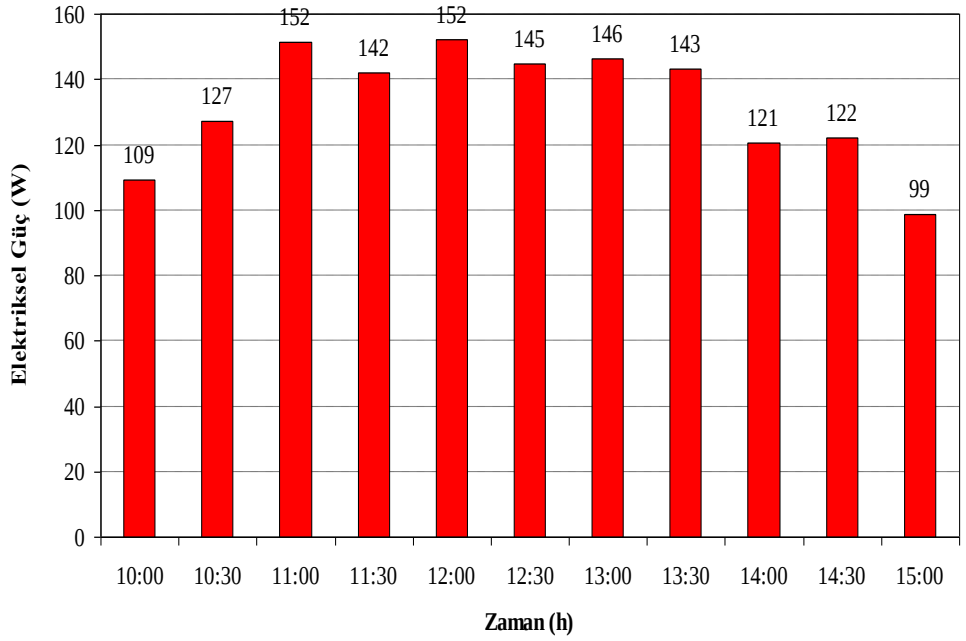
Polikiristal PV modülünde doğru akım üzerinden ölçülen yüklü akım ve gerilim değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'e bakıldığında gerilim değerleri 23 V ile 27,35 V arasında değişim göstermiştir. Akım şiddeti değerleri de 4,15 A ile 6 A arasında değişim göstermiştir. Günlük ortalama gerilim ve akım şiddeti değerleri sırasıyla 25,40 V ve 5,21 A'dır. Bununla birlikte öğlen vakti dik gelen yüksek miktardaki güneş ışınım değerlerinden dolayı bu zaman diliminde ölçülen hem akım ve hem de gerilim değerleri yüksek düzeydedir. Polikristal PV modülümüzün deneysel çalışmaları ekim ayında olmuştur. Deney çalışmaları güneş ışınımın çok yüksek olduğu yaz döneminde gerçekleşseydi, ölçülen akım ve gerilim değerleri daha yüksek olacaktı.



Şekil 4.3. Akım Şiddeti ve Gerilim Değerlerinin Değişimi

PV modül üzerinden üretilen güç (W) miktarının gün içerisindeki değişim Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'e bakıldığında polikristal PV modül üzerinden

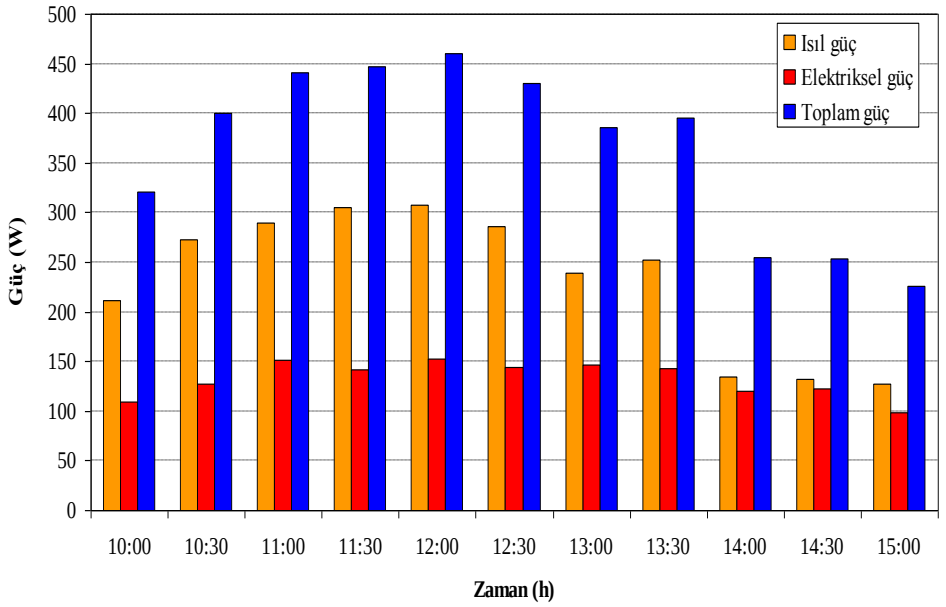
sağlanan elektriksel güç 99 W ile 152 W arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan günlük ortalama elektriksel güç 133 W'dır. PV modül üzerinden maksimum güç üretimi saatler 11.00 ve 12.00'de gerçekleşmiştir. Bu saatler PV modül tarafından üretilen güç miktarı 152 W olarak hesaplanmıştır. Gün içerisinde en az güç üretimi ise saat 15.00'te gerçekleşmiştir. 15.00'te güç üretim miktarı 99 W olarak hesaplanmıştır. Saatler 11.00 ve 13.30'da PV modül üzerinden üretilen güç miktarları yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. PV modülde doğru akım üzerinden ölçülen yüklü akım ve gerilim değerlerinin artışı ve azalışına bağlı olarak elektriksel güç üretimi artmıştır ve azalmıştır.



Şekil 4.4. PV Modül Üzerinden Sağlanan Elektriksel Gücün Değişim Grafiği

Şekil 4.5'te Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan ısıl güç, elektriksel güç ve toplam güç değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmektedir. Şekil 4.5'e bakıldığında polikristal PV modül üzerinden ortaya çıkan ısıl güç elektriksel güçten büyüktür. Isıl gücün gün içerisindeki değişimi 127,75 W ile 308,16 W

arasındadır. Isıl gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi öğlendir. Isıl güç, saat 12.00'de 308,16 W olarak en yüksek düzeye ulaşmıştır. Polikristal PV modül üzerinden ortaya çıkan ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 232,60 W'tır. Toplam güç, ısıl güç ve elektriksel gücün toplamıdır. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan toplam güç değerleri 226,31 W ile 460,26 W arasında değişim göstermiştir. Toplam gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi ısıl güçte olduğu gibi saat 12.00'dir. Toplam ısıl güç saat 12.00'de 460,26 W olarak en yüksek değere ulaşmıştır. Toplam ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 365,08 W olarak hesaplanmıştır. Polikristal PV modül üzerinden sağlanan en yüksek elektriksel güç de saat 12.00'de gerçekleşmiştir. Saat 12.00'de elektriksel güç 152 W olarak hesaplanmıştır. Isıl gücün ve elektriksel gücün gün içerisindeki azalışları ve artmaları bazı saat dilimlerinde aynı iken bazı saat dilimlerinde farklı olmuştur. Bunun en büyük nedeni ısıl gücün hava sıcaklığı gibi iklimsel değerlere elektriksel güce nazaran daha duyarlı olmasıdır.



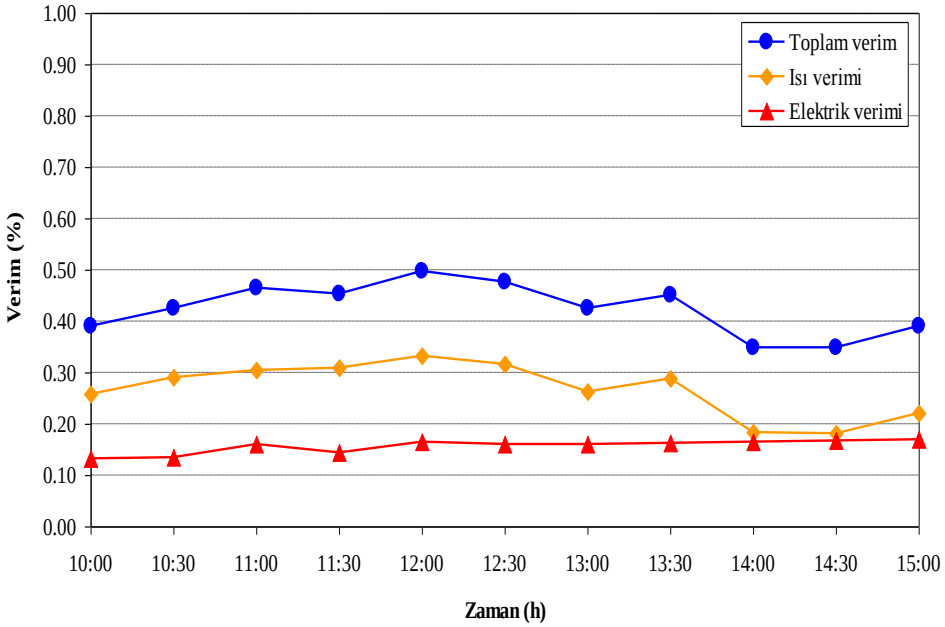
Şekil 4.5. PV Modül Üzerinden Sağlanan Isıl Güç, Elektriksel Güç ve Toplam Güç Değerleri

4.3. Polikristal PV Modülünün Zamana Bağlı Verim Değerlerine İlişkin Bulgular

Polikristal PV modülünün ortalama elektrik verimi, ısıl verimi ve toplam verim değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Polikristal PV modülünün gün içerisindeki elektrik verim değerleri 0,13 ile 0,17 arasında değişmiştir. Polikristal PV modülünün gün içerisindeki ısı verim değerleri ise 0,18 ile 0,33 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modülünün toplam verim değerleri ise 0,34 ile 0,50 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modülünün günlük ortalama elektrik verimi, ısı verimi ve toplam verim değerleri sırasıyla 0,15, 0,26 ve 0,42 olarak hesaplanmıştır.

Gün içerisinde Polikristal PV modülünün elektrik verim değerleri arasında önemli farklılar olmuştur. Saat 10.00 ve saat 15.00 arasında elektrik verim değerlerinde artış ve azalma gözlemlenmiştir. Saat 10.00 'da elektrik verimi 0,13 iken saat 15.00'te 0,17 olmuştur. Polikristal PV modülünün gün içerisindeki elektrik verim değerlerindeki değişkenlikler Polikristal PV modülünden üretilen güç ve güneş radyasyon değerindeki değişkenliklerden kaynaklıdır. Polikristal PV modülünden üretilen güç ve elektrik verim değerleri arasında gün içerisinde paralel değişkenlikler her zaman diliminde gerçekleşmemiştir. Bu durumun nedeni bazı zaman dilimlerinde güç üretim değerinde sağlanan artış oranı, güneş ışınım değerinde sağlanan artış oranının gerisinde kalmıştır.

Gün içerisinde bazı zaman dilimlerinde güç üretim değerinde az düşüş gözlemlenirken güneş radyasyon değerinde çok büyük düşüş olduğundan elektrik verim değeri artış göstermiştir. Örneğin saat 15:00'te polikristal PV modülünden sağlanan elektriksel güç 98,56 W'a kadar düşmüşken elektrik verimi 0,17'e yükselmiştir. Bunun nedeni saat 15.00'te güneş radyasyon değerinin 351 W/m^2 olarak çok düşük düzeye inmesinden dolayı elektrik verimi yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak PV modüllerinin elektrik verim değerleri PV üzerinden üretilen elektriksel güç ve güneş ışınım şiddeti ile doğrudan ilgilidir.



Şekil 4.6. Polikristal PV Paneline Ait Elektrik Verimi, Isıl Verim ve Toplam Verim Değerlerinin Değişimi

Polikristal PV modüllerinin verim çalışmalarıyla ilgili literatürdeki çalışmalarda; Prasad ve Snow (2005), Polikristal PV modüllerinin verimlerini %11-14 arasında değiştiğini belirtmiştir. Boz (2011), Polikristal güneş modüllerinin verimlilikleri %14 ile %16 aralığında olduğunu belirtmiştir. Taşçıoğlu (2015), Polikristal güneş modülünün verim hesabını %13 olarak saptamıştır. Elibol ve ark. (2017), Polikristal PV modülünün verim hesabını %11,36 olarak belirlemiştir. Arslan (2018), Polikristal PV modülünün verimini %14,9 olarak saptamıştır. Sonuç olarak araştırmacıların Polikristal PV modülünün verim değerleri %11 ile %16 arasında değişim göstermektedir. Söz konusu araştırmacıların yapmış oldukları verim hesabı değeri sadece Polikristal PV modülünün elektriksel verim hesabını ifade etmektedir. Bu çalışmamızda Polikristal PV modülünün gün içerisindeki elektrik verim değerleri %13 ile %17 arasında değişmiştir. Polikristal PV modülünün günlük ortalama verimi de %15

olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde ettiğimiz Polikristal PV modülüne ait elektriksel verim değeri önceki araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarla benzer bir değerdir. Bununla birlikte bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak Polikristal PV panelinin enerji verimine ısı verimi de eklenmiştir. Bu çalışmada sağlanan Polikristal PV modülü üzerinden ısı verimi gün içerisinde %18 ile %33 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV modülünün günlük ısıl verimi ise %26 olarak hesaplanmıştır. Polikristal PV modülünün ısıl verim değerleri elektrik veriminden yüksektir. Polikristal veriminin toplam enerji verimi de %42 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada polikristal PV panelinin ısıl verimi ve toplam enerji verim hesaplamaları, PV modül performans çalışmalarına önemli literatür katkı sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sabit durumda Polikristal PV panelinin elektrik, ısıl ve toplam verimlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla; 275 W gücünde olan çok kristal silikon olarak adlandırılnan polikristal pv panelinin Adana iklim şartları altında performansının deneysel çalışmaları yapılmıştır.

Polikiristal PV modülünde doğru akım üzerinden ölçülen yüklü akım ve gerilim değerleri sırasıyla 4,15 A ile 6 A ve 23 V ile 27,35 V arasında değişim göstermiştir. Günlük ortalama gerilim ve akım şiddeti değerleri sırasıyla 25,40 V ve 5,21 A'dır.

Polikristal PV modül üzerinden sağlanan elektriksel güç 99 W ile 152 W arasında değişim göstermiştir. Polikristal pv modül üzerinden hesaplanan günlük ortalama elektriksel güç 133 W'dır.

Isıl gücün gün içerisindeki değişimi 127,75 W ile 308,16 W arasındadır. Isıl gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi öğlendir. Isıl güç, saat 12.00'de 308,16 W olarak en yüksek düzeye ulaşmıştır. Polikristal PV modül üzerinden oraya çıkan ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 232,60 W'tır. Polikristal PV modül üzerinden hesaplanan toplam güç değerleri 226,31 W ile 460,26 W arasında değişim göstermiştir. Toplam gücün en yüksek düzeyde olduğu zaman dilimi ısıl güçte olduğu gibi saat 12.00'dir. Toplam ısıl güç saat 12.00'de 460,26 W olarak en yüksek değere ulaşmıştır. Toplam ısıl gücün günlük ortalama değeri ise 365,08 W olarak hesaplanmıştır.

Polikristal PV panelinin gün içerisindeki elektrik verim değerleri 0,13 ile 0,17 arasında değişmiştir. Polikristal PV panelinin gün içerisindeki ısı verim değerleri ise 0,18 ile 0,33 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV panelinin toplam verim değerleri ise 0,34 ile 0,50 arasında değişim göstermiştir. Polikristal PV panelinin günlük ortalama elektrik verimi, ısı verimi ve toplam verim değerleri sırasıyla 0,15, 0,26 ve 0,42 olarak hesaplanmıştır.

PV modüllerin enerji analiz hesaplamalarında elektriksel gücün yanında ısıl gücün de dahil edilmesi gerekmektedir. Çünkü güneşten gelen PV modülü üzerine yansıyan enerji kaynağının bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken diğer kısmı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. PV modüller yüzeyindeki sıcaklığın artması PV modülün elektrik üretim kapasitesini azaltmaktadır. Bu nedenle, PV modüllerin elektrik verimini arttırılması, PV modüllerin ısıl gücünün azaltılmasıyla gerçekleşecektir. Sonuç olarak, enerji analizlerinde ısıl veriminde dahil edilmesi, PV modüllerin geliştirilmesi yönünden olumlu katkı verecektir. Bu çalışmada polikristal PV modülden ortaya çıkan ısıl verimin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Polikristal PV modülünün elektrik veriminin yüksek çıkması için ısıl verimin düşürülmesi gerekmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda polikristal esaslı PV modülerinde ortaya çıkan ısıl gücün azaltılmasına yönelik, araştırmacıların deneysel uygulamalar yapmaları tavsiye edilir.

KAYNAKLAR

Akaraslan, E., Orhun, M., Hocaoğlu, O.F., Çınar, M.S., 2012. Farklı Teknolojilerle Üretilmiş Fotovoltaik Panellerin Çıkış Güçlerinin Modellenmesi. Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa, 176-179.

Arslan, İ., 2018. Tekirdağ Koşullarında Polikristal Ve Monokristal Tip PV Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi Yüksek lisans tezi, Tekirdağ, 30s.

Bagnall, D.M., Boreland, M., 2008. Photovoltaic Technologies. Energy Policy, 36:4390-4396.

Baris, K., Kucukali, S., 2012. Availibility of Renewable Energy Sources in Turkey: Current Situation, Potential, Government Policies and the EU Perspective. Energy Policy, 42: 377–391.

Benli, H., 2013. Potential of Renewable Energy in Electrical Energy Production and Sustainable Energy Development of Turkey: Performance and policies. Renewable Energy, 50: 33-46.

Boz, O., 2011. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı Güneş Pilleri. Balıkesir Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 76s.

Çabuk, S., 1992. İnce Film SNO2/CO2 Güneş Pilleri., Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans, 46s.

Çetinkaya, H.B., 2001. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi. Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 75s.

Demirtaş, M., 2006. Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Mekanizması Tasarımı ve Uygulaması. Politeknik Dergisi, 9 (4): 247-253.

Ekici, B.B., Gülten, A., 2015. Elazığ İli İçin Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi. II. Uluslar arası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS 2015), 28-30 Mayıs 2015, Ankara, 848-853.

Elibol, E., Özmen, Ö.T., Tutkun, N., Köysal, O., 2017. Outdoor Performance Analysis of Different PV Panel Types. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67: 651-661

Erkul, A., 2010. Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması. Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 76s.

EİGM, 2018. Türkiye'nin Güneş Eenerji Potansiyel Verileri http://www.eigm.gov.tr. (Erişim Tarihi: 23.01.2019).

Gedik, E., 2016. Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency. Journal of Polytechnic, 19 (4):569-576.

Goetzberger, A., Hebling, C., Schock, H.W., 2003. Photovoltaicmaterials; History, Statusand Outlook. Materials Science and Engineering, 40:1-46.

Goetzberger, A., Shockley, W., 1960. Metal Precipitates in Silicon p-n Junctions. Journal of Applied Physics, 31(10): 1821-1824.

Green, M.A., 2009. The Pathto 25% Silicon Solar Cell Efficiency: History of Silicon Cell Evolution. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 17:183-189.

Joshi, A., Dinçer, I., Reddy, B.V., 2009. Thermodynamic Assessment of Photovoltaic Systems. Solar Energy, 83(8): 1139–1149.

Kaddoura, T.O., Ramli M.A.M., Al-Turki Y.A., 2016. On The Estimation of the Optimum Tilt Angle of PV Panel in Saudi Arabia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65:626–634.

Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Panelleri. Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 81s.

Koppelaar, R., 2017. Solar-PV Energy Payback and Net Energy: Meta-Assessment of Study Quality, Reproducibility, and Results Harmonization. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72: 1241–1255.

Mirzaei, M., Mohiabadi, M.Z., 2017. A Comparative Analysis Of Long-Term Field

Test of Monocrystalline And Polycrystalline PV Power Generation İn Semi-Arid Climate Conditions. Energy for Sustainable Development, 38: 93-101.

Moehlecke, A., Febras, F.S., Zanesco, I., 2013. Electrical Performance Analysis of PV Modules with Bifacial Silicon Solar Cells and White Diffuse Reflector. Solar Energy, 96:253–262.

Oluklu, Ç., 2001. Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 75s.

Öztürk, H.H., 2012. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul, 250s.

Öztürk, H.H., Kaya, D., 2013. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik teknoloji. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 417 s.

Öztürk, H.H., Küçükerdem H.K., 2018. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Elektrik Üretimi. Lambert Yayınevi, Türkçe Özel Seri, Mauritius, 66 s.

Prasad, D.K., Snow, M., 2005. Designing With Solar Power , A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Images Publishing, Australia, 230 pp.

Purohit, A., Sharma, A., Arvind, C., Nehra, S.P., Dhaka, M.S., 2015. A Study on Photovoltaic Parameters of Monocrystalline Silicon Solar Cell With Cell Temperature. Energy Reports, 1:104–109.

Roy, S., Sharmin, R.S., Ferdous, T., 2014. Performance Analysis of Mono-Crystalline and Poly-Crystalline Silicon Solar Cells Under Different Climatic Conditions: A Comperative Study, Department of Electrical & Electronic Engineering, BRAC University.

Rajput, U.J., Yang, J., 2018. Comparison of Heat Sink And Water Type Pv/T Collector For Polycrystalline Photovoltaic Panel Cooling. Renewable Energy, 116: 479-491.

Saloux, E., Teyssedou, A., Sorin, M., 2011. Explicit Model of Photovoltaic Panels to Determine Voltages and Currents at the Maximum Power Point. Solar Energy 85(5): 713–722.

Stritih, U., Osterman, E., Evliya, H., Butala, V., Paksoy, H., 2013. Exploiting Solar Energy Potential Through Thermal Energy Storage in Slovenia and Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25: 442-461.

Şenay, G., 2011. Çok Eklemli Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli İle Verim Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 68s.

Taşçıoğlu, A., 2015. Monokristal ve Polikristal Güneş Panellerinin Bursa Koşullarındaki Güç Performansı Üzerine Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 78s.

Taşçıoğlu, A., Taşkın, O., Vardar, A., 2016. A Power Case Study for Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in Bursa City, Turkey. International Journal of Photoenergy, pp 1-7.

Tercan, M.B., 2000. Güneş Pili Karekterizasyon Yöntemleri", Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 129s.

Topkaya, S.O., 2012. A Discussion on Recent Developments in Turkey's Emerging Solar Power Market. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 3754-3765.

Turhan, S., Çetiner, İ., 2012. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12–13 Nisan 2012, Bursa.

Zaraket, J., Aillerie, M., Salame, C., 2017. Capacitance Evolution of PV Solar Modules under Thermal Stress. Energy Procedia, 119: 702-708.

ÖZGEÇMİŞ

Diyarbakır'da 06.02.1990 tarihinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Diyarbakır'da tamamladı. 2010 Yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Bölümüne 2010 yılında başladı ve 2015 yılında mezun oldu. Aynı üniversitede Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programına 2015 yılında başladı ve 2019 yılında mezun oldu. Şu an Devlet Su İşleri Adana 6. Bölge Müdürlüğünde İşletme Mühendisi olarak çalışmaktadır.