



T.C.
NECMETTİN ERBAKANÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNDE PANEL
SICAKLIĞININ ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİSİ

Halil Burak DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Halil Burak DEMİR tarafından hazırlanan “Güneş Takip Sistemlerinde Panel Sıcaklığının Enerji Üretimine Etkisi” adlı tez çalışması 22.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

İmza



Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN



Üye

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

FBE Müdürü

Süleyman Savaş DURDURAN



TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Halil Burak DEMİR

Mart 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNDE PANEL SICAKLIĞININ ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİSİ

Halil Burak DEMİR

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2019, 60 sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

Dünya üzerinde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte tüketilen enerji miktarı her geçen gün artmaktadır. Üretilen enerji ise büyük oranda fosil kaynaklara bağlıdır ve bu kaynaklar sınırsız değildir. Dünyada temiz enerji kaynaklarına yönelmek bu sorunun en önemli çözümü olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple güneş enerjisi en yaygın kullanılan temiz enerji kaynağıdır. Güneş enerji santralleri kurulum aşamasında maliyetleri oldukça yüksek olsa da santral ömrü boyunca büyük avantajlar sağlamaktadır. Günümüzde bir güneş enerji santralinin 20 ila 25 yıl arasında kullanım ömrü olduğu varsayılmaktadır. Bu süre zarfında üretimde yapılacak olan artış uzun yıllar sonunda büyük kazançlar sağlamaktadır. Hem ekonomik olarak hem de ekolojik olarak sağlanan bu kazançlar fotovoltaik panellerin önemini artırmaktadır. Bu tezde4 adet eş fotovoltaik panel kullanılmıştır. Sistemde mevsimlik olarak değişen azimut açısı ile konumlandırılmış panel ve bu açı ayarına ek olarak soğutulan panelin çıkış gücü farkı incelenmiştir. Ayrıca azimut açısında konumlandırılmamış panel ise sadece soğutma yapılarak çıkış gücünün değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik paneller, Panellerin soğutulması, Elektriksel verimlilik, Azimut açısı

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF PANEL TEMPERATURE ON ENERGY PRODUCTION IN SOLAR TRACKING SYSTEMS

Halil Burak DEMİR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

2019, 60 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

Assoc. Prof. Dr Ahmet Afşin KULAKSIZ

Assoc. Prof. Dr Muciz ÖZCAN

The amount of energy consumed with increasing population, industrialization and technology in the world is increasing day by day. The energy produced depends to a large extent on fossil sources and these sources are not unlimited. Going to clean energy sources in the world is considered to be the most important solution to this problem. So solar energy is the most widely used clean energy source. Even though the costs of solar power plants during the installation phase are quite high, they provide great advantages over the life of the power plant. Today, a solar power plant is assumed to have a service life of 20 to 25 years. During this period, the increase in production provides big gains at the end of many years. These gains, both economically and ecologically, increase the importance of photovoltaic panels. In this thesis, 4 photovoltaic panels were used. In the system, the panel is positioned with a seasonally changing azimuth angle and the output power difference of the cooled panel is examined. In addition, the panel, which is not positioned at the azimuth angle, has been investigated by changing the output power by cooling only.

Keywords: Photovoltaic Panels, Performance, Cooling Pv Panels, Azimuth angle.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumunda ilgi ve desteğini hiç esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşmada asla geri durmayan, yönlendirmesiyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmede ana rol oynayan sayın değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN'a saygılarımı sunar teşekkür ederim. Ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI ve Doç. Dr. Muciz ÖZCAN'a verdikleri fikirler ve kıymetli bilgiler için şükranlarımı sunarım. Projeme mali destek sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne, lisans ve yüksek lisans eğitimimi başarıyla tamamlamamda emeği geçen tüm değerli hocalarıma arkadaşlarıma, tezin uygulama aşamasında ise teknik destek veren Muammer AYDIN'a teşekkür ederim. Tez süresince yardımlarını esirgemeyen sürekli yanımda olan canım eşim Emine DEMİR'e teşekkür ederim.

Halil Burak DEMİR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	14
2.1. Fotovoltaik Panel Nedir.....	14
2.2. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	15
2.3. Fotovoltaik Panel Çeşitleri.....	16
2.3.1. Mono Kristal Paneller.....	16
2.3.2. Polikristal Paneller.....	17
2.3.3. Amorf Silisyum Paneller.....	18
2.3.4. Bakır İndiyum Diselenid Paneller.....	18
2.3.5. Galyum Arsenit Paneller.....	19
2.3.6. Kadmiyum Tellürid Paneller.....	20
2.3.7. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri.....	21
2.3.8. Boya Duyarlı Güneş Panelleri.....	22
2.4. Fotovoltaik Panellerin Avantaj ve Dezavantajları.....	23
2.4.1. Fotovoltaik panellerin avantajları.....	24
2.4.2. Fotovoltaik panellerin dezavantajları.....	24
2.5. Fotovoltaik Panellerin Çalışma Prensibi.....	25
2.6. Fotovoltaik Panellerin Verimliliğini Etkileyen Faktörler.....	26
2.6.1. Sıcaklık.....	27
2.6.2. Panel Eğim Açısı.....	28
2.6.3. Gölgeleme Kayıpları.....	29
2.6.4. Tozlanma ve Karlanma Kayıpları.....	31
2.6.5. Yansıma Kayıpları.....	33
2.6.6. Uyumsuzluk Kayıpları.....	33
2.6.7. İnverter Kayıpları.....	34
2.6.8. Konum.....	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
3.1. Fotovoltaik Panellerde Verimliliği Artırma Yolları.....	36

3.1.1. Doğal Hava ile Soğutma	36
3.1.2. Zorlanmış Hava ile Soğutma	37
3.1.3. Zorlanmış Su Soğutma	37
3.1.4. Fotovoltaik Panellerde Açık Ayarı	37
3.1.5. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri.....	38
3.1.6. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri.....	38
3.1.7. Panel Temizliği.....	39
3.2. Su Soğutmalı ve Açık Ayarlı Hibrit Sistem.....	39
3.2.1. Fotovoltaik Paneller.....	41
3.2.2. Solar Akü	42
3.2.3. Tam Sinüs İnverter.....	42
3.2.4. Alüminyum Soğutucu	43
3.2.5. Diğer Sistem Bileşenleri	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	45
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

A: Amper

AC: Alternatif Akım

ASTM: (American Society for Testing and Materials) Amerikan Test ve Malzeme Kurumu

DC: Doğru Akım

MW: Megawatt

PLC: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

V: Volt

W: Watt

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1.1. Panel arka yüzeyindeki kanalcıkların 45⁰ ve 90⁰ açılardaki görünümü
- Şekil 1.2. Fan ile yapılan zorlanmış hava soğutma yöntemi
- Şekil 1.3. Panel ön yüzeyinden uygulanan su soğutma sistemi
- Şekil 1.4. Panel ön ve arka yüzüne yapılan su püskürtmeli soğutma sistemi
- Şekil 1.5. Su püskürtme işleminin panel sıcaklıklarına etkisi
- Şekil 1.6. Panel ön yüzeyine yapılan su püskürtmeli soğutma sisteminin önden görünümü
- Şekil 1.7. Panel ön yüzeyine yapılan su püskürtmeli soğutma sisteminin arkadan görünümü
- Şekil 1.8. Hareketli ve sabit panellerin gün içindeki açık devre gerilimleri
- Şekil 2.1. Fotovoltaik Panel İç Yapısı
- Şekil 2.2. Basit bir Fotovoltaik Sistem Yapısı
- Şekil 2.3. Monokristal Fotovoltaik Panel
- Şekil 2.4. Polikristal Fotovoltaik Panel
- Şekil 2.5. Amorf Silisyum Fotovoltaik Panel
- Şekil 2.6. Bakır İndiyum Diselenid Panel
- Şekil 2.7. Hubble uzay teleskobunun galyum arsenit panelleri
- Şekil 2.8. Kadmiyum tellürid panel yapısı
- Şekil 2.9. Yoğunlaştırıcı güneş panelleri
- Şekil 2.10. Boya duyarlı güneş pili
- Şekil 2.11. 5 farklı panel türünün bir yıllık üretim farkları
- Şekil 2.12. Bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı
- Şekil 2.13. Bir fotovoltaik paneldeki kayıpların dağılımı
- Şekil 2.14. Bir panelin sıcaklıkla değişen akım gerilim ve güç grafiği
- Şekil 2.15. Yıl içinde değişen güneş açılarına göre göreceli üretim
- Şekil 2.16. Bulutlu ve bulutsuz günde panel üzerine düşen ışıma
- Şekil 2.17. Panellerin aralık ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları
- Şekil 2.18. Panellerin temmuz ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları
- Şekil 3.1. Kurulan sistemin önden görünümü
- Şekil 3.2. Kurulan sistemin arkadan görünümü

Şekil 3.3. Kurulan sistemin genel elektriksel şeması

Şekil 3.4. Alüminyum soğutucu petek iç yüzeyi

Şekil 3.5. Su soğutma sisteminde suyun akış yönü

Şekil 4.2. 1, 2 ve 3 numaralı panelleri kontrol grubuna oranla verim artışları

Şekil 4.1. 4 panelin 70 günlük üretim değerleri (Wh)



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. 165 Watt polikristal fotovoltaik panel özellikleri

Çizelge 3.2. 2400 W tam sinüs inverter özellikleri

Çizelge 4.1. 70 günlük 4 panelin Wh olarak üretim verileri

Çizelge 4.2. 70 günlük 4 panelin kontrol grubuna oranda % üretim artışı

Çizelge 4.3. Soğutulan ve soğutulmayan panellerdeki sıcaklık ve sıcaklık farkları($^{\circ}\text{C}$)



1. GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde artan nüfus, büyüyen sanayi tesisleri ve gelişen teknoloji ile birlikte toplumların enerjiye duyduğu ihtiyaçlar giderek artmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için yeni enerji tesisleri kurmak çözüm gibi görünse de fosil yakıtlara dayanan santraller uzun vadede çözüm olmaktan giderek çıkmaktadır. Dünyada kurulu olan enerji santrallerinin %85’inde fosil yakıtlar kullanılmaktadır (Bacanlı, 2016). Bu fosil yakıtlara örnek olarak petrol, taş kömürü, linyit, doğalgaz, uranyum gibi doğada sınırlı miktarlarda bulunan ve yakın gelecekte tükenen olan kaynaklar verilebilir. Ülkemiz ise ürettiği elektrik enerjisinin % 63’ünü fosil kaynaklardan üretmektedir (www.tuik.gov.tr). Buna ek üretilen enerjinin % 50’si ithal olarak gelen kaynaklardan sağlanmaktadır. Yani enerji üretimi noktasında büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülke konumundayız. Bu sebeple alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim gerekmektedir. Ülkemiz ise yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Yıllık güneşlenme oranı, rüzgâr enerjisinde faydalanabilmek için gerekli coğrafi alanlar, yüksek hidroelektrik potansiyeli ve yeraltı sıcak su kaynakları mevcuttur. Bu kaynaklara yeterli yatırımlar yapılarak ülkemizin hem dışa bağımlılık oranı azaltılabilir hem de doğa kirliliğine sebep olan termik santrallerin sayısını azaltılabilir (www.tuik.gov.tr).

Dünyada ve ülkemizde her gün daha da önem kazanan güneş enerjisinden elektrik üretimi yani güneş enerji santrallerinin her geçen gün sayısı artmaktadır. Özellikle devlet tarafından verilen teşvikler yüksek fiyatlarla uzun süreli alım garantileri bu enerji türüne olan ilgiyi ve yatırımı artırmış ve artırmaya devam etmektedir. Kayseri’de kurulu olan 50MW ve Balıkesir’de kurulu olan 40MW’lık sahalar Türkiye’nin en büyük güneş enerji sahalarıdır (www.enerjiatlasi.com).

2014 yılında 93MW olan kurulu güneş enerji santralleri 2018 yılında 4590 MW’a yükselmiştir (www.enerjiatlasi.com). Özellikle Konya Karapınar bölgesi yüksek güneşlenme değerleri ve arazi olarak kurak çölsel bir yapıya sahip olması bu bölgeyi güneş enerji santralleri açısından avantajlı bir konuma getirmiştir. Devlet tarafından 2012 yılında yayınlanan bir yönetmelik ile Yenilenebilir Enerji Kaynak alanı ilan edilmiştir (www.tuik.gov.tr).

Bu bölgeye iki etapta toplam 3300 MW gücünde dünyanın en büyük güneş enerji santrali kurulması hedeflenmiştir. Bu ve benzeri projeler ile ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı azalacak ve temiz enerji konusunda önemli bir adım atılmış olacaktır(www.tuik.gov.tr).

Güneş enerji santrallerinde yatırımcı açısından en önemli konu santralin kurulum maliyetlerinin satılan elektrik enerjisinde elde edilen kar ile ne kadar sürede geri kazanılabileceğidir. Fakat artan kurulum maliyetleri santrallerin geri kazanım sürelerini uzatmaktadır. Kurulu santrallerden birim zamanda alınan enerji miktarını artırarak geri kazanım sürelerini kısaltmak mümkündür. Farklı metotlarla sağlanan bu artışların uygulanan yönteminde ekonomik giderleri baz alınarak uygulanabilir olması detaylı araştırmalarla önceden hesaplanmalıdır. Detaylı ekonomik analizler yapılarak elde edilen sonuçlara göre en uygun yöntem belirlenmelidir. Bu sayede yatırım yapan kişi ya da kurumlar normal şartlardan daha erken kar etmeye başlayabilirler.

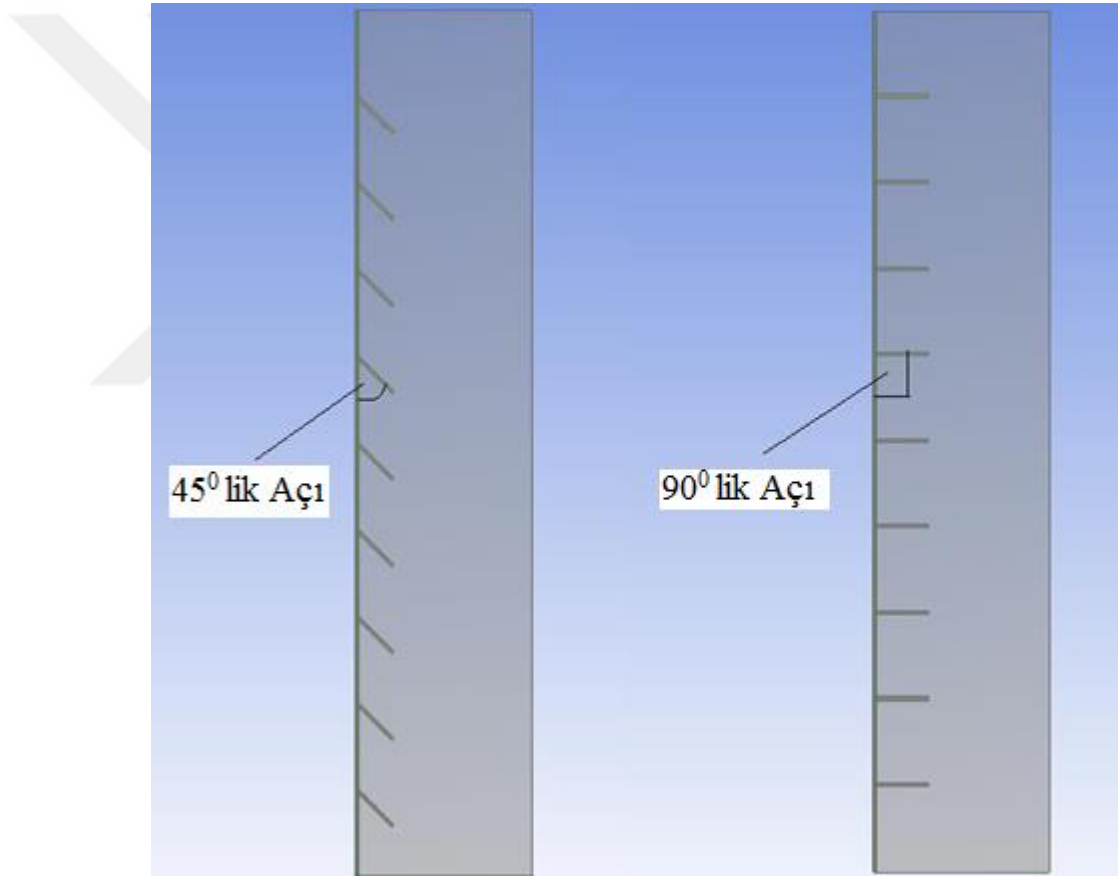
Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin verimini birçok farklı etken belirlemektedir. Santrallerin kurulduğu coğrafi konum, bölgesel sıcaklık değerleri, güneşlenme süreleri, gölgelenme durumu bu etkenlere birer örnektir. Panellerin verimini artırmak için literatürde uygulanan bazı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları; panel sıcaklığını düşürme, güneş takip sistemleri ve panellerin tozlanmaya bağlı kayıplarını azaltmak için yapılan temizlik çalışmaları en yaygın kullanılanlarıdır. Panel soğutma genellikle su ve hava ile sağlanmaktadır. Prototip olarak yapılan çalışmalarda etkili bir verim artışı sağlanabilmekte ancak soğutma işlemi, büyük kurulu gücü olan ve geniş alanlarda kurulu santralde ek maliyetler getirmektedir. Soğutma suyunun temini, suyun tüm santralde sirkülasyonu ve bu suyun soğutulması başlıca bir problem ve enerji kaybıdır(Grubisic, 2016).

1.1. Literatür Taraması

Literatürde güneş enerji panellerinin çıkış gücünü artırmak için birçok farklı yöntem uygulanmıştır. Bunların başında panel soğutma, güneş takip sistemleri ve tozlanmaya karşı temizlik işlemleridir. Aşağıda bu yöntemlerin bazıları sıralanmıştır:

Kumar ve ark.yaptıkları çalışmada panel sıcaklığındaki her 1 °C'lik artışta panel veriminin yaklaşık % 0,5 azaldığını tespit etmişlerdir (Kumar, 2007).

Popovici ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada panel arka yüzeyine delikli alüminyum kanatçıklar monte etmişler ve rüzgâr bu kanatçıklardan geçerken panelde oluşan ısıyı delikler sayesinde ortama aktararak paneli soğutmuşlardır. Farklı açı değerleriyle yerleştirilen kanatçıklarla optimum açı değerini hesaplamaya çalışmışlardır. 45° ve 90° açılarında sırasıyla % 6,97 ve % 7,55 de daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir.Şekil 1.1.'de panel arka yüzeyinde bulunan kanatçıkların 45° ve 90°açı değerlerindeki görünümü gösterilmiştir(Popovici, 2016).



Şekil 1.1. Panel arka yüzeyindeki kanalcıkların 45° ve 90° açılardaki görünümü

(Kaynak: Popovici, 2016)

Nabil ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada yer altına gömülmüş ince borular içinden geçirdikleri havayı yeraltındaki toprağın serinliğinden faydalanarak soğutmuşlardır. Soğutulan hava bir motor ile panel arka yüzeyinin alt kısmından

girerek panel sıcaklığını düşürmüşleridir. Bu işlem sonucunda panel sıcaklığı havanın debisine bağlı olarak;

- 0,0228 m³/s debide 8 °C
- 0,02489 m³/s debide 10 °C
- 0,0268 m³/s debide 11 °C
- 0,0288 m³/s debide 13 °C azaltılmıştır.

Azalan sıcaklık değerlerinin panel çıkış gücüne etkisi ise;

- 0,0228 m³/s debide % 4,54
- 0,02489 m³/s debide %9,19
- 0,0268 m³/s debide% 13,99
- 0,0288 m³/s debide% 18,9 oranında olmuştur (Nabil, 2019).

Hernandes ve arkadaşları aktif soğutma ile pasif soğutma sistemini bir sistemde birleştirerek aralarındaki farkı gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmada aktif soğutma yapılan panelde 4 m/s hızla bir hava akışı sağlanmıştır. Bu serin hava akışı panel sıcaklığını 7 °C düşürmüştür. Sıcaklığı düşen panelin % 2,5 oranında daha fazla enerji ürettiğini gözlemlemişlerdir.Şekil 1.2.'de Hernandes'in kurduğu sistemde zorlanmış hava soğutma yöntemi gösterilmiştir(Hernandes, 2013).

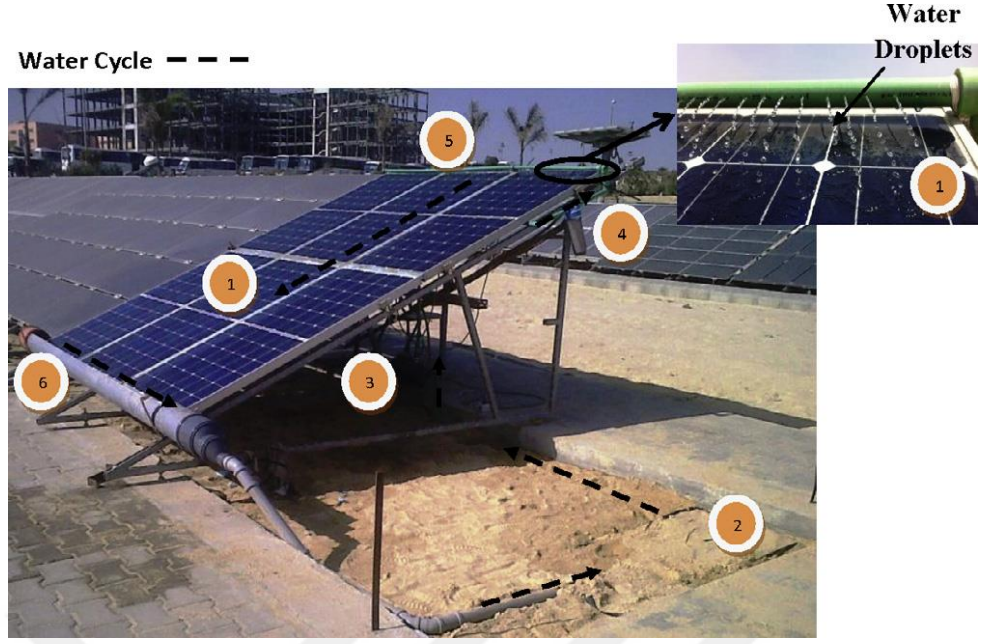


Şekil 1.2. Fan ile yapılan zorlanmış hava soğutma yöntemi
(Kaynak: Hernandes, 2013)

Farhana ve arkadaşları ise yaptıkları bir çalışmada bir kontrol grubu ve bir soğutuculu panel kurmuşlardır. Soğutuculu panelde alüminyumdan yapılan hava akış kanalları ekleyerek daha fazla soğutma elde edilmeye çalışılmıştır. 0,035 kg/s'lik bir hava akışı uygulanan soğutmalı panelde sıcaklık en fazla 12 °C düşmüş ve çıkış gücü yaklaşık % 8,9 artırılmıştır (Farhana, 2012).

Arcuri ve arkadaşları yaptıkları 1 mm inceliğinde alüminyum tabakayı panel arka yüzeyine sabitlemişlerdir. Enerji tüketimini ise düşük tutabilmek adına 3,6 W gibi küçük bir güce sahip fan kullanmışlardır. Kullanılan fan 0,016 kg/s'lik bir hava akışı sağlamıştır. Yapılan soğutma işleminde yılın sadece bir bölümünde % 0,6'lık bir verim artışı olduğu görülmüştür (Arcuri, 2014).

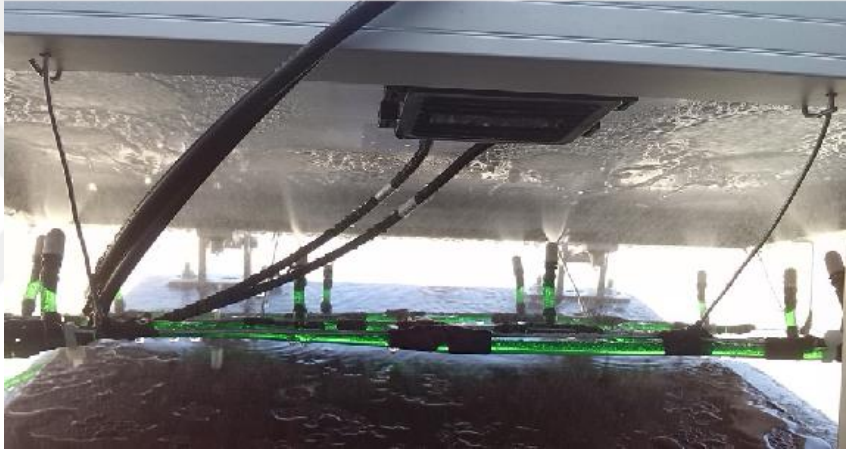
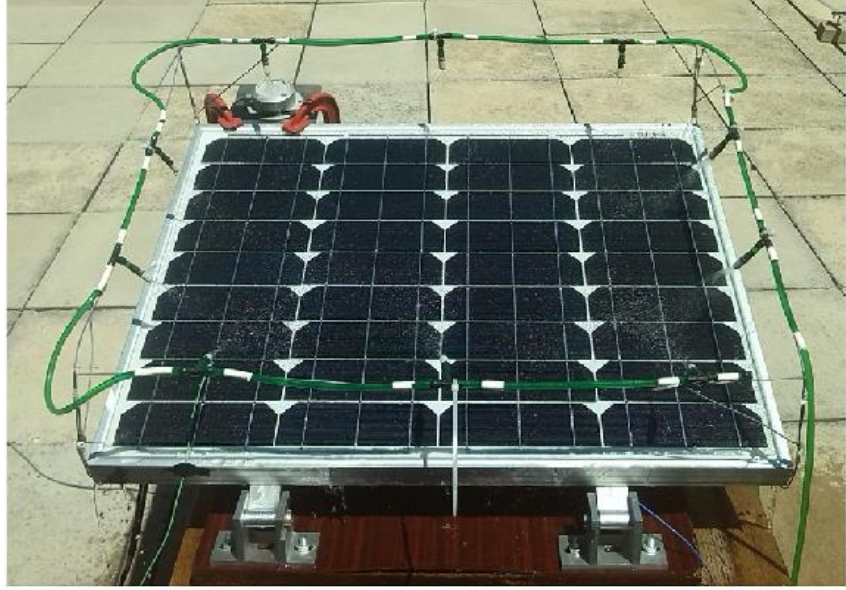
Moharram Mısır'da yaptığı bir çalışmada bir fotovoltaik panelin su soğutma yöntemi ile çıkış gücünü artırmaya çalışmıştır. Panel ön yüzeyinde panel üst kısmındaki su püskürtücü deliklerden her 15 dakikada püskürtülen su ile panel sıcaklığı düşürülmüştür. Fakat sıcak yüzeye temas eden su buharlaşmaya maruz kalarak soğutma su kapasitesi ayda % 5 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Panel yüzeyinde ısınan su yer altına gömülü 250 lt'lik bir su tankına gönderilerek toprak sayesinde soğutularak 25 °C'de sabitlenmiştir. Panel sıcaklığının 10 °C'den 45 °C'ye yükselmesi panel verimini yaklaşık % 12 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. 5 dakikalık soğutma işlemine tabi tutulan panelin çıkış gücünün % 12,5 oranında arttığı gözlemlenmiştir.Şekil 1.3.'te Moharram'ın kurduğu panel ön yüzeyinden su ile yapılan soğutma sistemi gösterilmiştir(Moharram, 2013).



Şekil 1.3. Panel ön yüzeyinden uygulanan su soğutma sistemi
(Kaynak: Moharram, 2013)

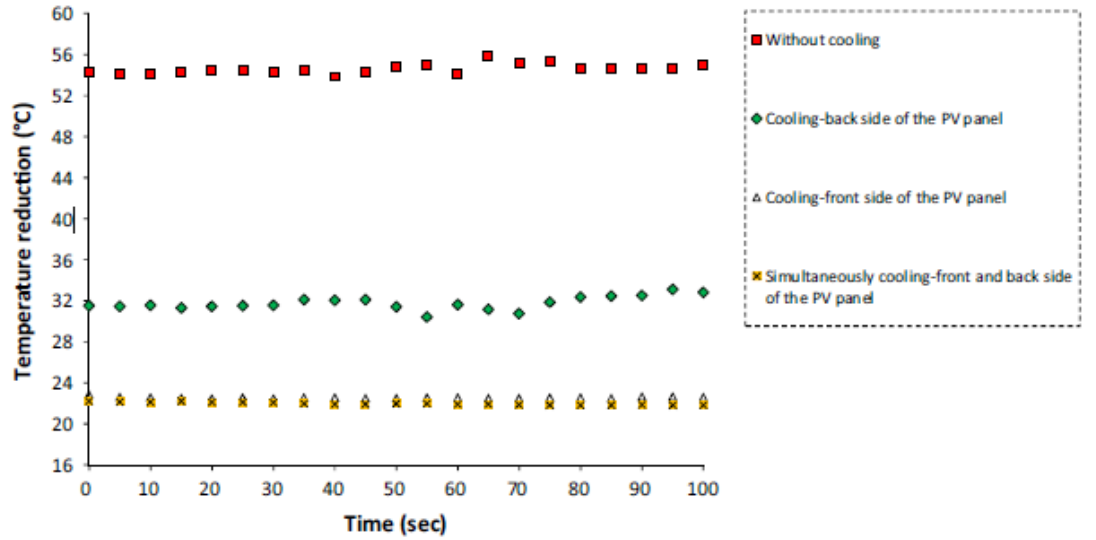
Niz'etic ve arkadaşları daha etkin bir soğutma yöntemi bulmak için bir fotovoltaik panelin hem ön hem de arka yüzeylerine su püskürtme yöntemi uygulamışlardır. Çalışma boyunca sadece ön ve arka yüzeye uygulanacak soğutmanın çift yönde uygulanan soğutmadan farkı da araştırılmıştır. Panelin arka yüzeyine yapılan soğutma, panelin ön yüzüne yapılan soğutmaya göre panel sıcaklığını 10 °C daha az düşürdüğü tespit edilmiştir. Bunun sebebi güneş ışınları alan camlı ön yüzeyin ısınma oranının arka yüze göre daha fazla olmasıdır. Bu çalışmada fotovoltaik panellere saatlik 225 litre su püskürtülmüştür.

Şekil 1.4.'te Niz'etic'in panelin ön ve arka yüzüne uyguladığı su püskürtme sistemi görülmektedir.



Şekil 1.4. Panel ön ve arka yüzüne yapılan su püskürtmeli soğutma sistemi
(Kaynak: Niżetic, 2015)

Şekil 1.5.'te ise uygulamanın panel sıcaklıklarına etkisi gösterilmiştir. Soğutulmayan panel sıcaklığı 53 °C'lere kadar artarken çift yönlü soğutma yapılan panelde püskürtülen su ile sıcaklık 22 °C'ye kadar düşmüş ve çıkış gücü % 15,9'a kadar çıkmıştır (Niżetic, 2015).



Şekil 1.5. Su püskürtme işleminin panel sıcaklıklarına etkisi
(Kaynak: Nizetic, 2015)

Bir başka çalışmada ise Hosseini sadece panel ön yüzüne daha fazla su püskürtme işlemi uygulayarak panelden güç üretiminin ne kadar artacağını araştırmıştır. Bu çalışmada da su doğrudan panel sıcak ön yüzüne püskürtüldüğü için buharlaşma yüzünden su kaybı yaşanmıştır. Soğutma sayesinde maksimum 18,7 °C'lik bir panel sıcaklığında düşüş yaşanmıştır. Bunun karşılığı olarak ise panel çıkış gücünde maksimum % 33'lük bir artış gözlemlenmiştir. Hosseini kurduğu soğutma sisteminin ön yüzeyinin görünümü Şekil 1.6.'da, sistemin arka yüzeyinin görünümü ise 1.7.'de verilmiştir (Hosseini, 2011).



Şekil 1.6. Panel ön yüzüne yapılan su püskürtmeli soğutma sisteminin önden görünümü
(Kaynak: Hosseini, 2011)



Şekil1.7. Panel ön yüzeyine yapılan su püskürtmeli soğutma sisteminin arkadan görünümü
(Kaynak:Hosseini, 2011)

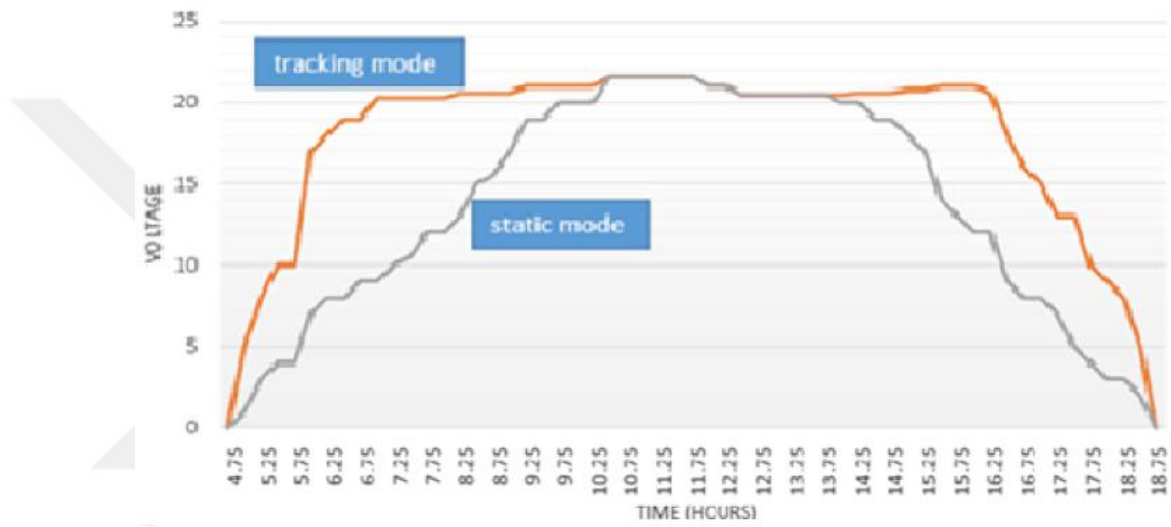
Bahaidarah, farklı bir metot olan termosifon yöntemiyle buharlaşma sorununu çözerek yaptığı çalışmada panel arka yüzeyine yerleştirdiği boş bir tabaka içerisinde soğuk su geçirerek paneli soğutmuştur. Günlük ortalama 37,8 °C olan panel sıcaklığını uyguladığı bu yöntemle % 19,3 oranında düşürmeyi başarmıştır. Maksimum % 34 oranında panel sıcaklığının düşmesine karşın panel çıkış gücü % 15,8 artmıştır. Ancak kullandığı sistemin güç gereksinimi çıkış gücünden dolayı kayıplara neden olmaktadır (Bahaidarah, 2013).

Dorobantu ise yaptığı çalışmada fotovoltaik panelin başından sonuna kadar yerleştirdiği tüpe 25 delik açmıştır. 24 °C’de su bu tüpten geçirilerek dakikada 2 lt su akacak şekilde sistem kurmuştur. Panel arka yüzeyinde yapılan sıcaklık ölçümlerinde 48 °C’den 35,5 °C’ye düştüğü gözlenmiştir. Panel ön ve arka yüzeyindeki sıcaklık farkı ise yaklaşık 7 °C olmuştur. Bu sıcaklık değişimleri panel çıkış gücünü % 8,4 oranında artırmıştır (Dorobantu, 2013).

Sun ve arkadaşları fotovoltaik panelin soğutulması için su harici bir madde denemişleridir. Dimetil silikon yağı kullanılarak yapılan soğutma işleminde panel sıcaklığı diğer çalışmalardaki gibi akışkanın hızına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Panel sıcaklığının maksimum azaldığı değer 0,95 kg/s’de 32 °C’de

belirlenmiştir. Bu değerde panel veriminin % 13,94 oranında artmış olduğu gözlemlenmiştir (Sun, 2014).

Ghassoul kurduğu tek eksenli güneş takip sisteminde 3 farklı sensor ile güneş takibi yapmıştır. Kapalı bir mekanizma içine yerleştirdiği yüksek güce sahip ama düşük dönüş hızlı bir motor kullanarak ısınma sorunlarını en aza indirmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda takip yapan panelin % 40 fazla enerji ürettiğini tespit etmiştir. Şekil 1.8.'de Gassoul'un güneş takip sistemindeki sabit ve hareketli panellerin gün içindeki açık devre gerilim değerleri gösterilmiştir (Gassoul, 2018).



Şekil 1.8. Hareketli ve sabit panellerin gün içindeki açık devre gerilimleri

(Kaynak:Gassoul, 2018)

Al-Mohammed yaptığı bir çalışmada sadece azimut açısı takip eden bir sistem kurmuştur. Gün içinde yatay açı değişimleriyle güneş ışınlarını daha dik açılarla yakalayan sistem, sabit panele göre yaklaşık % 20 daha fazla enerji ürettiğini tespit etmiştir. Güneş ışınlarının sabit panellere en eğik açılarda geldiği saatler olan sabah ve akşam saatlerinde ise bu çıkış gücü artışı % 40 bandını geçtiğini tespit etmiştir. Ayrıca güneş takibini yapmak için kullandığı PLC kontrol modülü aynı anda pek çok seri ve paralel modül serilerini kontrol edebildiği için tekli kontrol sistemlerine göre daha ekonomik bir çözüm olmuştur (Al-Mohammed, 2004).

Musa yaptığı çalışmada çift eksenli bir güneş takip sistemi kurmuştur. Güneş takibi esnasında kullanılan 2 motorun harcadığı enerjiler sistemde kayıp olduğu için bu kaybı azaltmak için damperli motorlar kullanmıştır. Paneller en fazla enerjiyi akşam ve sabah saatlerinde harcamışlardır. Bunun sebebi gün doğumuyla gelen

ışınları yakalamak için hareket eden motorlar istenilen açı değerini yakalamak için güç tüketir. Daha sonra bu açığı daha küçük hareketlerle gün içinde takip ederler (Yılmaz, 2017).

Brezilya'da Carvalho ve arkadaşları 3 foto sensor kullanarak çift eksenli güneş takip sistemi yapmışlardır. Bu çalışmaya göre çift eksenli güneş takibi yapan panel sistemi sabit panele göre % 34 -56 oranında fazla enerji üretmiştir (Carvalho, 2018).

Serhan ve arkadaşı ise 6 foto sensor ile yaptıkları güneş takip sisteminde 2 adet foto sensörü kuzey-güney doğrultusunda hareket ettirmek için, 2 adet foto sensörü ise doğu-batı doğrultusunda hareket ettirmek için kullanmışlardır. Gün sonunda paneller batıya dönük kaldığı için ertesi sabah doğudan gelen güneş ışınları panel ön yüzündeki sensorları aydınlatamazlar. Bu sebeple panellerin batıya dönük kalmasıyla bir kayıp oluşturduklarını gördüler. Araştırmacılar 2 adet foto sensörü de bu sorunu çözmek için kullanmışlardır. Bu çalışma neticesinde paneller % 20-28 oranında daha fazla enerji üretmişlerdir (Serhan, 2010).

Yao ve arkadaşlarının Çin'de yaptığı bir araştırmada çift eksenli güneş takip sisteminde foto sensor kullanmak yerine güneşin geliş açılarına göre programladıkları yapı sayesinde sistem otomatik olarak güneşi takip etmiştir. Bu sistemde motorlar gün içindeki bulutlanmadan kaynaklanan ışık değişimleriyle gereksiz yere hareket edip güç tüketmeyerek kaybı azaltmıştır. Gün içerisinde her 10 dakikada bir alınan veriler incelendiğinde sistemin sabit sisteme göre % 31,8 daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir (Yao, 2014).

Konya'da yapılan bir diğer çalışmada ise Yağcı yaptığı çift eksenli mikro işlemcili kullanarak bir güneş takip sistemi kurmuştur. Yaptığı ölçümler sonucunda çift eksenli mikro işlemcili güneş takip sistemi sabit panele göre % 25 daha fazla çıkış gücü elde etmiştir (Yağcı, 2017).

Abbas ve arkadaşları 2 adet 255 W gücündeki polikristal panel üzerinde yaptıkları araştırmada bir paneli sürekli olarak temizlediler ve diğer panel üzerinde tozlanmaya müsaade ettiler. 3 aylık süre boyunca yaptıkları ölçümlerde Haziran ayında panel çıkış gücünün % 22, Temmuz ayında % 15,5 ve Ağustos ayında % 10,2 oranında düştüğünü gözlemlediler (Abbas, 2017).

Jiang ve arkadaşlarının laboratuvar ortamında yaptıkları çalışmada panel üzerine fan ile püskürttükleri toz tanelerinin panel çıkış gücüne etkisini araştırmışlardır. Giderek artırdıkları toz oranı 22 g/m^2 olduğu değerlerde panel çıkış gücü temiz panele oranla % 26 düştüğünü gözlemlemişlerdir (Jiang, 2011).

Tozlanmanın panel çıkış gücüne etkisini araştıran Adinoyi ve arkadaşları dış ortamda bir fotovoltaik panelin 6 ay süresince temizlemeden elektrik üretimini gözlemlemişlerdir. Bu süre sonunda kirli panelin temiz panele oranla % 50 daha az enerji ürettiğini tespit etmişlerdir (Adinoyi, 2013).

Cabanillas ve arkadaşları, tozlanmanın farklı tür fotovoltaik paneller üzerindeki etkisini araştırmak için amorf-silisyum, monokristal ve polikristal olmak üzere 3 panel ile bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sırasında maksimum gücü yakalamak için panelleri temizlemiştir. Panellerin maksimum güçleri temizlik yapılmadan önce ve sonra ölçülerek kıyaslanmıştır. Sonuç olarak amorf-silisyum panelde % 13, polikristal panelde % 7 ve monokristal panelde % 4 daha fazla güç elde etmişlerdir (Cabanillas, 2011).

Chatta ve arkadaşları panel açısının ve türünün tozlanma ile bağlantısını araştırmak için kurdukları sistemde polikristal ve monokristal panelleri 0° , 33.74° ve 90° açılarda konumlayarak bu panellerin tozlanma oranlarını ve çıkış güçlerini kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre panellerin çıkış güçlerinde monokristal paneller 0° , 33.74° ve 90° açı değerlerinde % 4 ve % 2 oranında artış gözlemlemiş olup polikristal panelde ise bu oran % 7 ve % 5 olmuştur (Chatta, 2018).

1.2. Çalışmanın Amacı

Fotovoltaik paneller güneşten gelen ışığı soğurup elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen bu elektrik enerjisi santral sahibi tarafından satılarak maddi kazanca dönüşmektedir. Ayrıca fotovoltaik panel teknolojisi henüz tam olarak istenilen seviyelere gelmediği için verimi düşük ve kuruluş maliyeti yüksektir. Budurumda yatırımcının, minimum maliyetle maksimum enerji üretmesine olan ihtiyacı artmıştır.

Bu tezde, fotovoltaik panellerin çıkış gücü üzerine en fazla etki eden parametreler olan panel sıcaklığının ve mevsimlik azimut açısının fotovoltaik

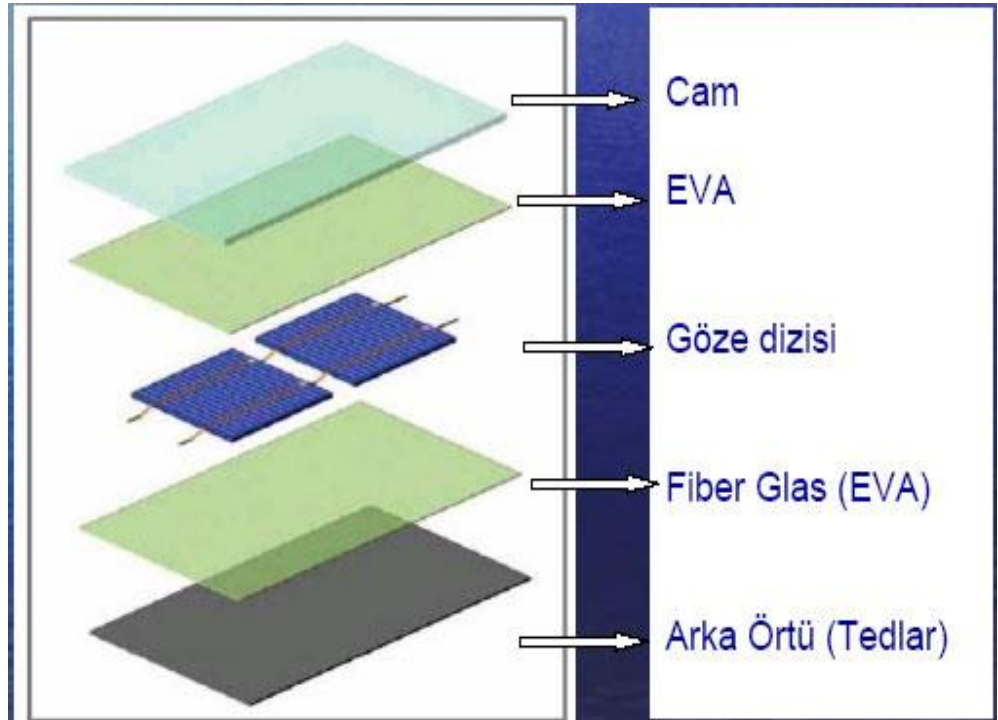
panellerin çıkış gücü üzerine etkisini incelenecektir. Bunun için 4 adet 165 W'lık fotovoltaik panel ile bir sistem kurulmuştur. Kurulan sistemde panellerin ikisine soğutma sistemi entegre edilmiş, diğer iki panele ise soğutma uygulanmamıştır. Toplam dört panelden oluşan sisteme, bir panele sadece mevsimlik azimut aı ayarı, bir panele sadece soğutma, bir panele hem soğutma hem de mevsimlik azimut aı ayarı yapılmıştır. Dördüncü ve son panel ise diğer panellerin üretimini kıyaslamak için kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Toplam 70 gün boyunca yapılan sıcaklıklar lclmş ve öğle saatlerindeki üretilen enerjiler kayıt edilmiştir. Tüm veriler çizelgelerde ve grafiklerle kıyaslanarak yorumlanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Fotovoltaik Panel Nedir

Fotovoltaik sözcüğü ilk olarak Yunancada ışık anlamına gelen “photo” sözcüğü ile elektriksel gerilimi bulan Alessandro Volta’ nın soy isminden Volta’ nın birleşiminden oluşmuştur. Fotovoltaik denilince aklımıza ilk gelen ışıktan voltaj yani diğer bir deyimle enerji üreten yapılar gelir. İlk fotovoltaik hücre 1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel tarafından elektrolit içine daldırılmış elektrotlar üzerine gelen güneş ışınların şiddetine göre gerilim oluştuğunu gördüğünde keşfedilmiş oldu. İlk modern fotovoltaik paneller ise 1956 yılında üreilmeye başlanmış ve bilim dünyasına kazandırılmış oldu (Oktik, 2001). Günümüzde modern fotovoltaik paneller ilk üretildikleri zamana göre çok daha yüksek verimlerle enerji üretip tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerin ve diğer sistem bileşenlerin bir araya gelmesiyle fotovoltaik sistemler oluşur.Şekil 2.1.’de bir fotovoltaik paneli oluşturan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik Panel İç Yapısı

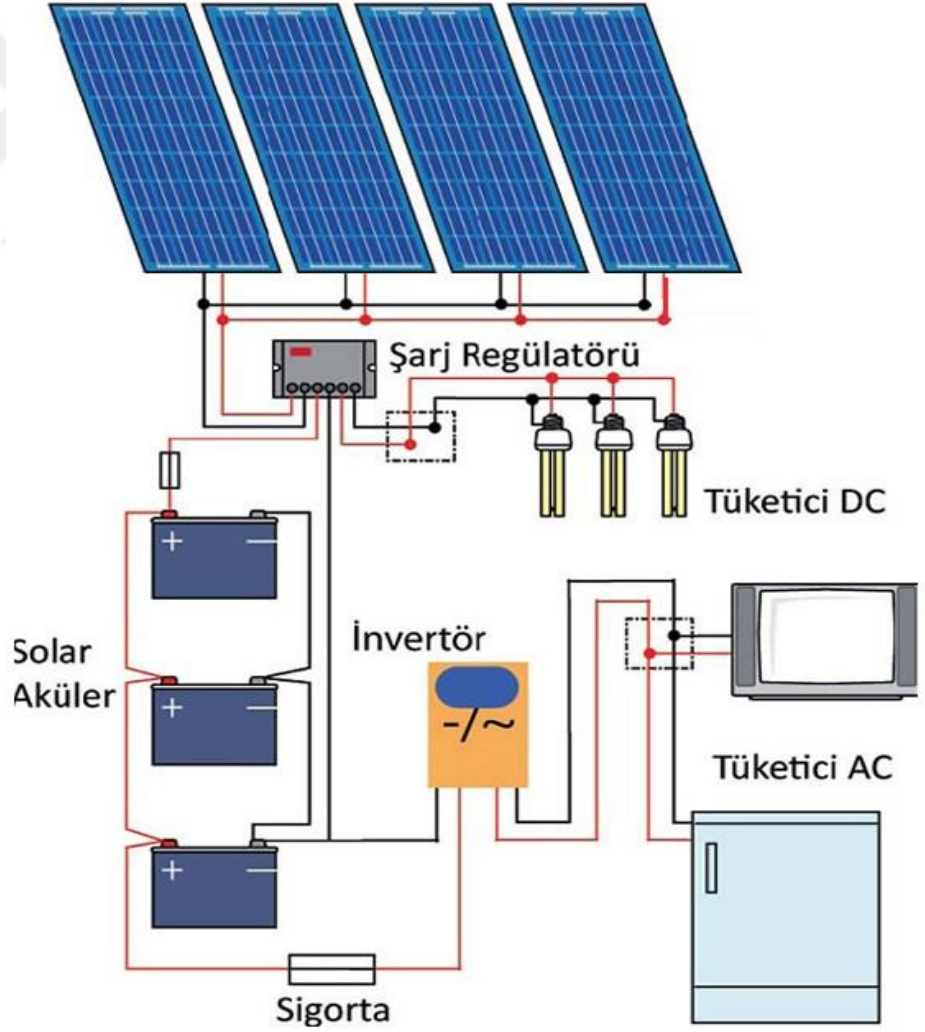
(Kaynak: www.unienerji.com/arsivler/521)

2.2. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Bir fotovoltaik sistem temel olarak 5 bileşenden oluşur.

- Fotovoltaik panel
- İnverter
- Aküler
- Şarj denetim sistemleri
- Diğer bileşenler(kablo, konstrüksiyon vb.)(Oktik 2001).

Tipik bir fotovoltaik sistem Şekil 2.2.'de gösterilen temel elemanlardan oluşur. Şekilden, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü açıkça görülmektedir.



(Kaynak: www.gunestenbedavaelektrik.blogspot.com/2014/02/bag-evi-paketi.html)

2.3. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

Fotovoltaik paneller gelişen teknoloji ile beraber pek çok çeşit malzemeden farklı yöntemlerle üretilmekte olup bunlara ait teorik bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.3.1.Mono Kristal Paneller

Tek parça silisyum kristallerinden üretilirler. Saha koşullarında yaklaşık olarak %15 verimlerde çalışırken bu paneller özel ortamlarda %24 verimlere kadar çıkabilmektedirler(Ajder, 2011). Siyah ve koyu renkte olan bu panellerin üretimi zor olduğu için pahalıdır, ancak kararlılığıyla güneş tarlaları için en uygun panel durumundadır (Sayın, 2011). Kurulum maliyetini 4 ila 6 yıl arasında geri kazanabilirler. Ortalama 20 yıllık bir çalışma süresinin ardından verimleri yaklaşık % 7 oranına düşer. Watt başına birim maliyeti yaklaşık 4,5 \$'dır(Beyoğlu, 2011).Şekil2.3 bir monokristal paneli gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Monokristal Fotovoltaik Panel

(Kaynak: <https://www.solarkatalog.com/300-watt-monokristal-gunes-paneli.html>)

2.3.2. Polikristal Paneller

Polikristal malzemeler dökme silisyum malzemedan kesilip ince kesitler alınarak oluşturulur. Verimleri sahada % 14 civarında, özel koşullarda ise %18'lere kadar çıkabilmektedir(Ajder, 2011). Tek kristal kadar saf ve kararlı olmadıkları için verimi düşüktür ancak üretimi kolay ve fiyatlarının düşük olması nedeniyle piyasada tercih nedeni olmuştur (Sayın, 2011).

Kurulum maliyetlerini yaklaşık 5 yılda karşılayabilirler. Ortalama 20 yıllık bir çalışmada % 14 civarında verim kaybı yaşarlar. Bu kaybın mono kristale göre daha fazla olmasının sebebi saflık oranının daha düşük olmasıdır. Üretim kolaylığı sebebiyle Watt başına birim maliyeti 3,5 \$'dır (Beyoğlu, 2011). Şekil 2.4.'de bir polikristal fotovoltaik panel gösterilmiştir



Şekil 2.4. Polikristal Fotovoltaik Panel

(Kaynak: www.blackdiamonds.com.tr/plurawatt-265-watt-24-volt-polikristal-gunes-paneli-1727)

2.3.3. Amorf Silisyum Paneller

Genellikle elektronik aletlerin ya da küçük elektrik cihazlarının enerjilendirilmesinde kullanılan bu paneller %5-7 civarında düşük verimle çalışırlar ancak özel koşullarda %10 verimlere çıktığı bilinmektedir(Ajder, 2011). Bu panellerin ışığı soğurma oranları yüksektir. Renkleri ise kahverengi ile kırmızımsı renklere sahiptir (Sayın, 2011). Bu paneller düşük maliyetlerde üretilebildikleri için kurulum maliyetlerini ortalama 2 yılda karşılayabilmektedir (Beyoğlu, 2011). Bu panellerin en önemli dezavantajlarından biri Steabler- Wronsky etkisidir. Yani panel üzerine düşen güneş ışınımı arttıkça panel verimlerinin azalmasıdır. Bunun sebebi güneş paneline ışık düştüğünde, serbest elektronların ve boşlukların oluşmasıdır(Doğan, 2014).Şekil 2.5.'de bir amorf silisyum fotovoltaik panel gösterilmiştir:



Şekil 2.5. Amorf Silisyum Fotovoltaik Panel

(Kaynak: http://www.alternaturk.org/gunes_pili_malzeme.php)

2.3.4. Bakır İndiyum Diselenid Paneller

Sahada enerji üretimi için özel geliştirilen bu paneller %10`luk bir verimle çalışır. Laboratuvar şartlarında ise %17`lik verimlere ulaştığı görülmüştür (Ajder, 2011).Bu paneller kullanım yılı uzadıkça verimlerini diğer panellere oranla daha hızlı kaybederek % 10`a kadar düşmektedir (Sayın, 2011). Cam ve esnek yüzeylerde kullanılabilmesi önemli bir özelliğidir(Beyoğlu, 2011). Ayrıca bu paneller termo-elektrik, nonlineer optik gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır(Peker, 1999).Şekil 2.6.'da bir bakır indiyum diselenid panel örneği gösterilmiştir:



Şekil 2.6.Bakır İndiyum Diselenid Panel

(Kaynak: Mesut, 2013:10)

2.3.5.Galyum Arsenit Paneller

Galyum arsenit yarı-iletken teknolojisi için vazgeçilmez bir malzemedir. Bunun sebebi ise galyum atomlarının sahip olduğu yüksek elektron hareketliliğidir(Gürbüz, 2018). Özel şartlarda çalışması için tasarlanan bu paneller genellikle uzay çalışmaları(uydu sistemleri vb.) ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.Radyasyona olan dayanımlarının ve verimlerinin yüksek olması uzay çalışmalarında kullanımını yaygınlaştırmıştır(Doğan, 2014). Laboratuar çalışmalarında % 25 verimlere çıkarken çok eklemlili yapılarda %30 verimlerle çalıştığı kanıtlanmıştır (Ajder, 2011). Direkt bant aralıklı olan bu paneller gelen ışını daha çabuk soğurabilirler. Genel panel kalınlığının az olmasından dolayı soğurma işi daha çabuk gerçekleşir(Engin, 1995). Şekil 2.7.'de Hubble uzay teleskopunda kullanılan galyum arsenit paneller gösterilmiştir:

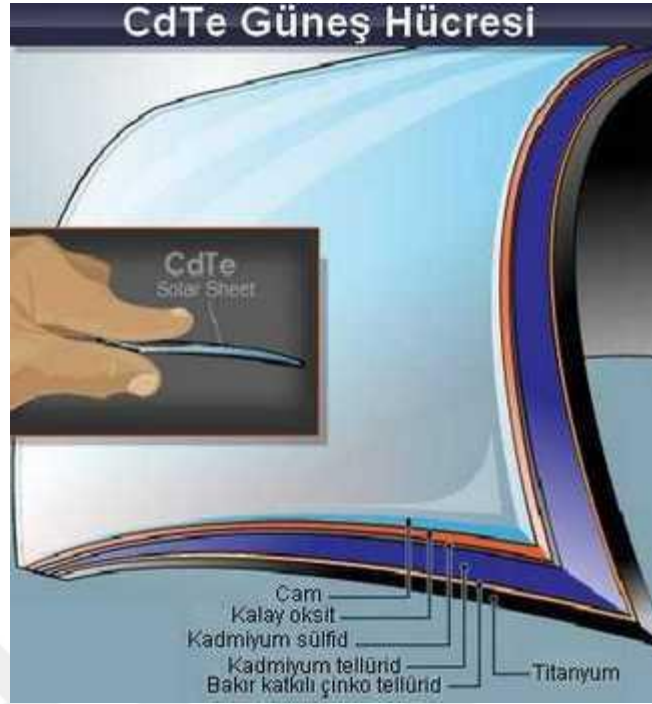


Şekil 2.7. Hubble uzay teleskobunun galyum arsenit panelleri

(Kaynak: <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uydularda-kullanilan-gunes-panelleri>)

2.3.6. Kadmiyum Tellürid Paneller

Genel olarak kadmiyum tellürid güneş pilleri, n-katkılı bir kadmiyum sülfür (CdS) tabakası ve bu tabakayla eşleşen bir p-katkılı kadmiyum tellürid güneş katmanı içeren bir p-n heterojen eklemden oluşmaktadır. Bu panelleri üretmenin birçok farklı yöntemi vardır. Bu tekniklerin başında püskürtme ile biriktirme, yakın aralıklı süblimleşme, kimyasal-buhar biriktirme, fiziksel-buhar biriktirme, sprey biriktirme ve ekran baskı biriktirme yöntemiyle birlikte son yıllarda keşfedilmiş olan kadmiyum klorür buharlaştırma işlemi gelmektedir (Gürbüz, 2018). Sahada %7 verimle çalışan bu paneller özel koşullarda %16 civarında bir verimle çalışabilmektedir. Bu paneller üretim maliyetlerinin önemli seviyelere düşürülebileceğini göstermektedir (Ajder, 2011). Daha büyük hücreler için kullanılan bu paneller uzun süreli kullanımlarda verimlerini koruyamamaktadır. Bu nedenle bu teknolojiye yapılan yatırımlar sınırlı seviyelerde kalmıştır (Sayın, 2011). İnce film üretme teknolojisine uygun yapısı geniş yüzeyli panel üretimine imkân sağlamaktadır (Küpeli, 2005). Şekil 2.8.'de kadmiyum tellürid panelin katmanları gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kadmiyum tellürid panel yapısı

(Kaynak: <http://www.turksan.com/ince-film-solar-paneller.html>)

2.3.7. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemi, alışlagelmiş fotovoltaik panel teknolojilerinin yaptığı şekilde ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Fakat maksimum verimlilik için hücrelerin üzerine güneş ışığını odaklamak için Şekil 2.9.'da gösterilen optik bir mekanizma kullanırlar. Düşük yoğunlaştırıcı ya da yüksek yoğunlaştırıcı gibi değişik metotlar ile değişkenlik gösteren farklı yoğunlaştırma tasarımları bulunmaktadır. Sıradan fotovoltaik sistemlerden farklı olarak, güneş ışığını küçük fakat daha fazla verimli, çok eklemli fotovoltaik panellere odaklamak için mercekler veya aynalar kullanılmaktadır. Ayrıca, Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemlerin genellikle çıkış güçlerini artırmak için güneş takip sistemleri veya soğutma sistemlerini kullanmaktadır. Şekil 2.9'da yoğunlaştırıcı güneş pilleri gösterilmiştir.

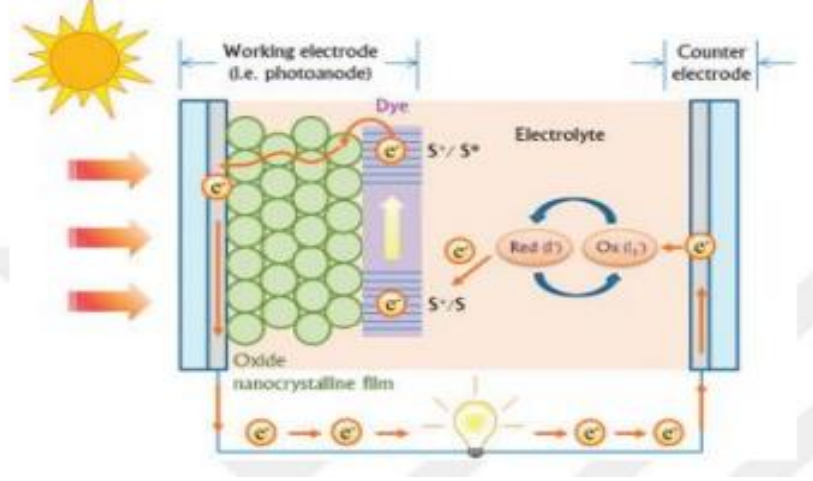


Şekil 2.9.Yoğunlaştırıcı güneş pilleri

(Kaynak: Gürbüz, 2018)

2.3.8. Boya Duyarlı Güneş Panelleri

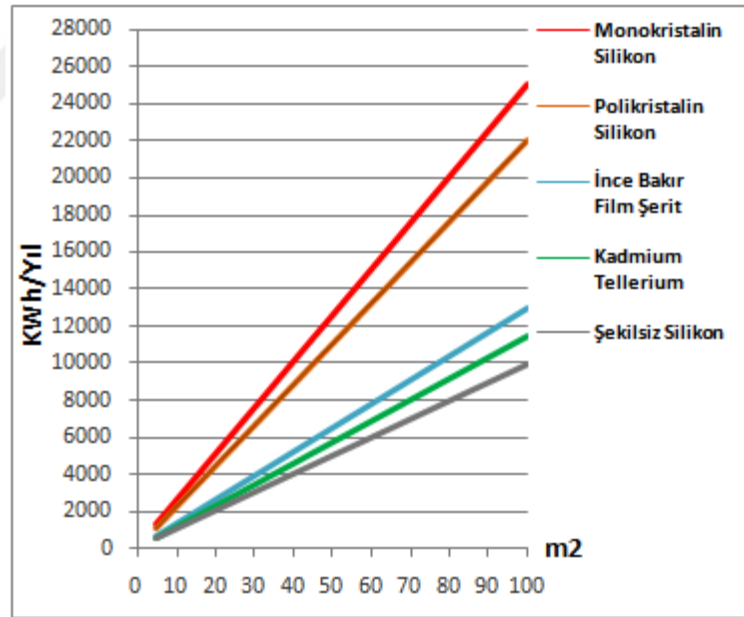
Boya duyarlı güneş panelleri diğer güneş enerji panelleri gibi ışığı elektrik enerjine dönüştürler. Ancak diğer panellerden farklı olarak bu malzemeler daha geniş bir ışık yelpazesinde üretim yapabilirler. Hem iç mekânlarda hem de dış mekânlarda kullanılabilen bu malzemeyi 1991 yılında Prof. Michael Graetzel ve Dr Brian O'Regan tarafından İsviçre'de geliştirilmiştir. Gräetzel hücresi olarak da bilinen bu hücreler ışık enerjisini emme yöntemindeki benzerlik nedeniyle yapay fotosentez yapan malzeme olarak adlandırılır (Gürbüz, 2018). Şekil 2.10.'da boya duyarlı güneş panelinin çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil2.10. Boya duyarlı güneş pili

(Kaynak:Gürbüz, 2018)

Şekil 2.11.'de,5 farklı panel türünün yıllık ürettikleri enerji miktarlarını karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil2.11:5 farklı panel türünün bir yıllık üretim farkları

(Kaynak: Ajder, 2011)

2.4. Fotovoltaik Panellerin Avantaj ve Dezavantajları

Fotovoltaik panellerin birçok avantajı ve dezavantajı mevcuttur. Bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda verilmiştir:

2.4.1. Fotovoltaik panellerin avantajları

- Sınırsız bir enerji kaynağı olan güneşten temiz bir enerji kaynağı olarak kullanabilmektedir.
- Elektrik üretim aşamasında bir hammadde sarfiyatı olmadığı için kurulum aşamasından sonra sürekli bir hammadde sarfiyatı yoktur bu nedenle üretilen elektriğin birim fiyatı neredeyse sabittir.
- Elektrik şebekesinin olmadığı alanlarda kullanıcıya direk enerji sağlayabilmekte tarımda sulamayı artırarak farklı alanlara da hizmet verebilmektedir.
- Sürekli bakım maliyetleri olmadığı için işletme sırasında ekstra maliyet çıkarmaz. Gelişen teknolojiyle 25 yıla kadar aktif bir şekilde çalışabilen paneller fazladan maliyetleri en aza indirmektedir.
- İşletme sırasında sürekli değişmesi gereken malzemeleri bulunmaz sadece inverterler 15 yılın sonunda değiştirilmesi gerekir. Çünkü inverterler panellere göre daha kısa kullanım ömürleri vardır(Gürbüz, 2018).
- Ekonomiktir.
- Paneller doğal ve sağlığa zararsız maddelerden imal edilir.
- Dışa bağımlı değildir (işletme sırasında hammadde ihtiyacı vs. açısından).
- Kurulumları diğer enerji santrallerine göre daha kolaydır. Kurulu güçleri ihtiyaca göre kolayca artırılıp azaltılabilir.
- Temiz ve sessiz bir enerji üretim yöntemidir.
- Modüler yapısı sayesinde sistemin bir ya da birkaç panelinde oluşan arıza santralin çalışmasına engel değildir sadece anlık üretimi düşürür.
- Birim ünite başına üretilen enerji miktarı yüksektir(Öztürk, 2014).

2.4.2. Fotovoltaik panellerin dezavantajları

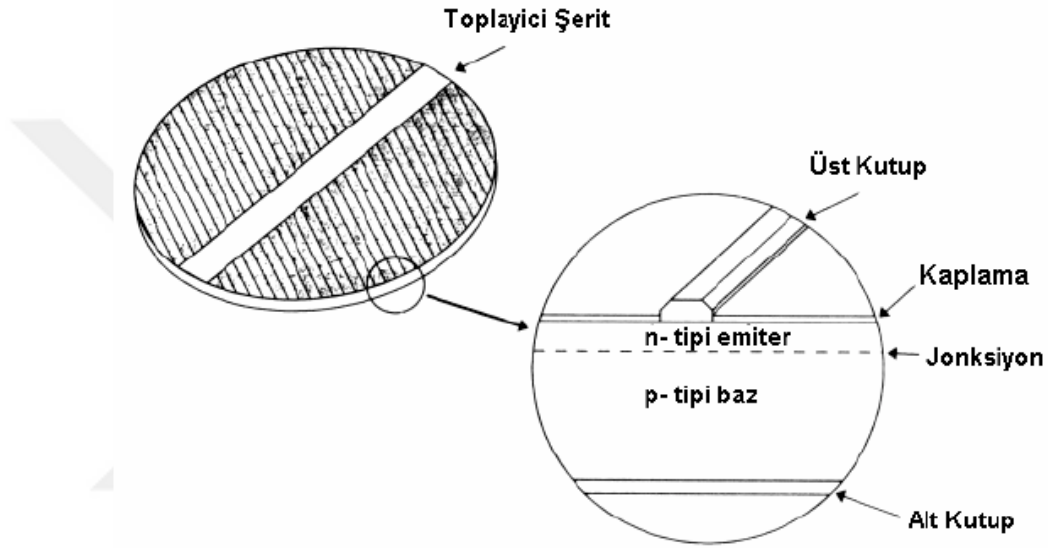
- İlk kurulum maliyetleri oldukça yüksektir fakat gelişen teknoloji ile maliyetler her gün daha da düşmektedir.
- Güneş panelleri hava koşullarına bağlı olarak üretim yaparlar yani bulutlu ya da yağışlı günlerde üretimleri düşer.

- Büyük çaplı tesislerde üretilen enerjinin depolanması büyük maliyetler getirmektedir ve bu yüzden enerji üretildiği anda tüketilmelidir.
- Bir güneş panelinin ürettiği enerji kısıtlıdır ve bu yüzden istenilen güçlerde enerji elde etmek için çok sayıda güneş paneli gerekir buna bağlı olarak da geniş alanlara kurulum gerektirir.
- Güneş panellerinin verimleri genel olarak düşüktür. Gelen ışınların büyük kısmı elektrik enerjisine dönüşmeden ısı olarak kaybolur.
- Verimleri toz, sıcaklık gibi dış etkenlere bağlıdır, bu yüzden ürettiği güçler sürekli değişkenlik gösterir(Işıker, 2006).
- Üretilen enerjinin anında tüketilmesi gerekmektedir. Üretilen enerji depolanmak istenirse çok sayıda ve büyüklükte aküye ihtiyaç duymaktadır buda çok büyük maliyetler getirir (Gürbüz, 2018).
- Güneş panelleri pahalı yarıiletken malzemelerden üretildiği için üretim sırasında temiz gelişmiş fabrikalara ihtiyaç duyarlar. Bu fabrikaları inşa etmek ise pahalı ve zor bir süreçtir (Gürbüz, 2018).
- Güneş enerji santralleri genellikle çöl gibi kurak, bol ışık alan ama şehir merkezlerinden uzak alanlara kurulmaktadır. Bu uzun mesafe ise enerji iletim maliyetlerini artırmaktadır (Gürbüz, 2018).

2.5. Fotovoltaik Panellerin Çalışma Prensibi

Fotovoltaik paneller güneş enerji hücrelerinden oluşmaktadır. Bu hücreler yarıiletken malzemelerden üretilmiştir. Bir silikon güneş hücresinin yapısı Şekil 2.12.'de verilmiştir. Fotovoltaik hücrenin ışık alan yüzeyi güneş ışınlarının alt tabakaya geçmesine müsaade eden ve yansımayı engelleyen bir yalıtkan malzeme ile kaplanmıştır. Yarı iletken malzemeler dışarıdan bir etki aldığı anda (uyartı, gerilim, ışık vb.) aktifleşip iletken olurlar. Saf yarı iletken malzemelere katkı maddesi eklenerek oluşturulan iki temel yarı iletken materyal vardır. Bunlara N tipi ve P tipi madde denir. Bu iki tip maddenin birleştiği nokta P-N jonksiyonu olarak adlandırılır. Bu jonksiyon üzerine düşen fotonlar elektron akışına dolayısıyla bir doğru akıma neden olur. Oluşan bu akım panel gruplarından toplanarak inverterler vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülerek direk kullanıcıya ya da şarj kontrol üniteleri vasıtasıyla akülere daha sonra kullanılmak üzere depolanır (Nakir, 2007). Bir diğer deyişle panel üzerine

düşen fotonlar yarı iletken malzeme üzerinde bir elektron koparır. Kopan bu elektron ile pozitif yüklü boşluk yapısı oluşur. Kopan elektronlar negatif kutba doğru giderken boşluklar ise pozitif yüklü olduğu için pozitif kutba doğru yol alır. Dış ortamda birer çıkış kablosu üzerinden devre tamamlandığında akım akarak üretilen enerji harcanır (Boztepe, 2017). Şekil 2.12’ de bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı gösterilmiştir:

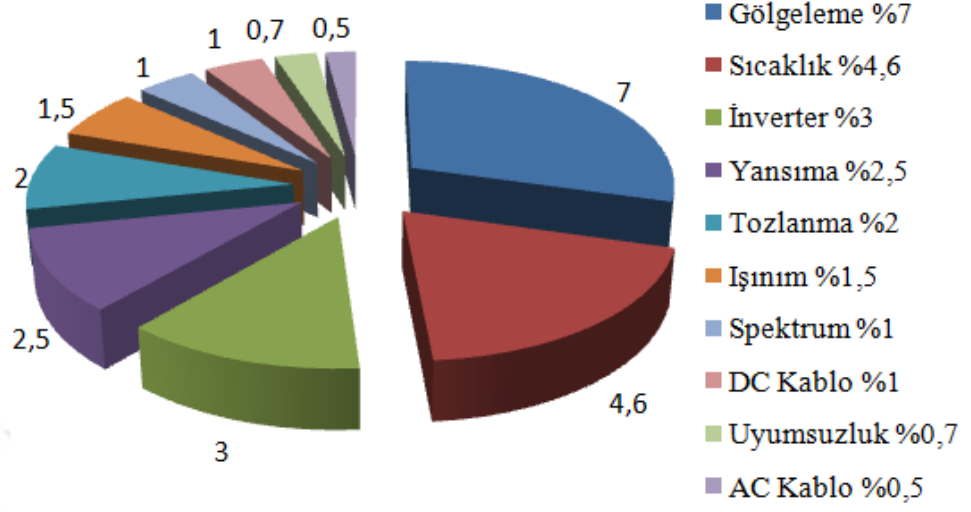


Şekil 2.12. Bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı
(Kaynak: Nakir, 2007)

2.6. Fotovoltaik Panellerin Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik panellerin verimliliğinin yüksek olması yani çıkış gücünün maksimum seviyede olması birçok fayda sağlamaktadır. Bu faydaların başında maksimum karlılık ve çevresel faktörler bulunmaktadır. Bu panellerden elde edilen enerjinin maksimum olması, enerjinin satışında fazladan gelir elde edilmesini sağlamakta bu da sistemin amorti süresinin kısalmasına neden olmaktadır. Düşük verimlilik durumunda ise kayıp olan her birim enerji büyük maddi zararlar vermektedir. Bu amaçla panellerin çıkış güçleri maksimum seviyeye çıkarılması gerekmektedir. Şekil 2.13.’de fotovoltaik panellerde oluşan kayıpların dağılımı yüzde olarak verilmiştir.

PV Panellerde Oluşan Kayıplar



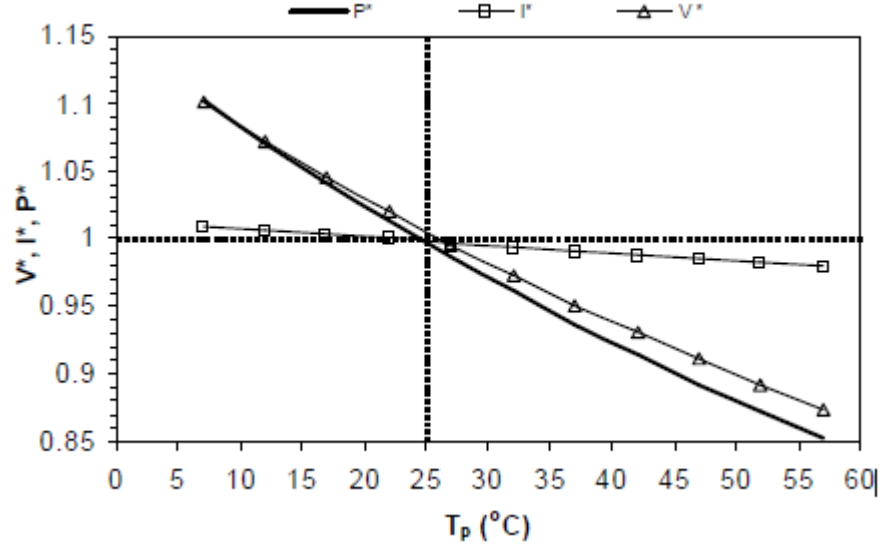
Şekil 2.13. Bir fotovoltajik paneldeki kayıpların dağılımı

(Kaynak: Işıker, 2006)

2.6.1. Sıcaklık

Yarıiletken malzemelerden üretilen fotovoltajik panellerin verimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi sıcaklıktır. Tüm yarıiletken devre elemanlarında olduğu gibi fotovoltajik panellerde de sıcaklık verimi olumsuz etkiler. Fotovoltajik paneller gelen güneş ışığının enerjiye dönüştürülemediği kısmı ısıya dönüştürür ve bu ısıya dönüşen kısmı panel için bir kayıptır (Işıker, 2006). Fotovoltajik panel üzerinde sıcaklığın, akım, gerilim ve güç üzerinde etkileri mevcuttur. ASTM (American Society for Testing and Materials)'nin fotovoltajik panellerin verimlilik testleri için yer alan standartlarında akım ve gerilim olmak üzere 2 önemli parametre bulunmaktadır (Ajder, 2011).

Bu parametrelerin sıcaklıkla değişimleri Şekil 14.'te gösterilmiştir:

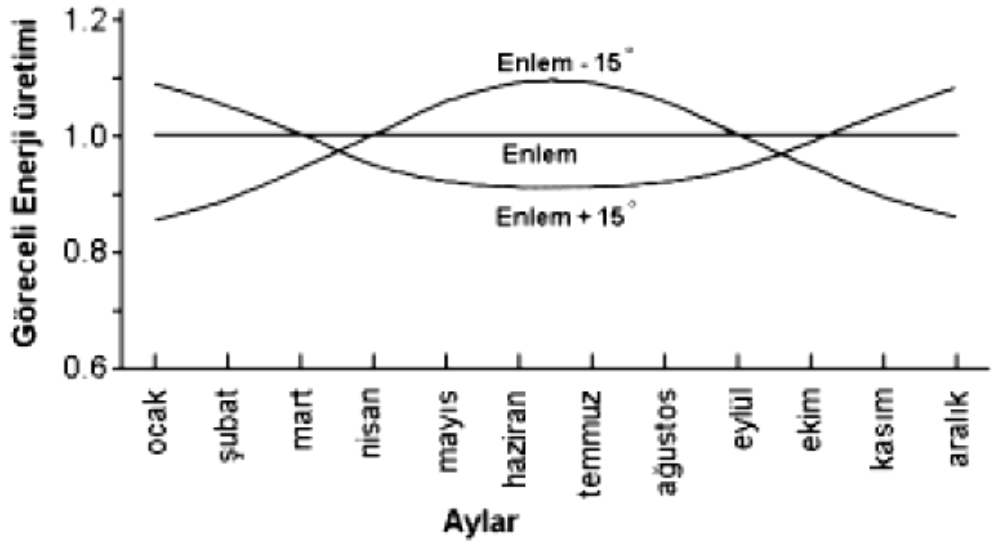


Şekil 2.14. Bir panelin sıcaklıkla değişen akım gerilim ve güç grafiği
(Kaynak: Işıker, 2006)

Şekil 2.14.'te artan sıcaklık değerlerinde akım oranı çok fazla azalmasa da asıl fark gerilimde görülmektedir. Gerilim değerlerindeki bu düşüş panel çıkış gücünde düşürmektedir. Bu düşüş yaklaşık olarak %15-20 çıkış gücüne denk düşer. Sıcaklığın her panelde etkisi aynı olmaz bunun sebebi panellerin sahip olduğu sıcaklığa bağlılık katsayısıdır. Bu katsayı her panelde farklı değerlerde olup birim sıcaklık artışında farklı paneller arasında yaklaşık %3,8-4,5 arasında bir verim farklılığı oluşturur(Boztepe, 2017). Bu nedenle panel seçimi yapılırken bu katsayıda göz önüne alınmalıdır.

2.6.2. Panel Eğim Açısı

Fotovoltaik panellerin verimini güneşe bakış açısı da etkiler. Güneş ışınları panel yüzeyine ne kadar dik açıyla gelirse panelden alınan güç o denli fazla olur. Ülkemiz kuzey yarım kürede olduğu için fotovoltaik paneller güney yönlü yerleştirilir (Çetiner, 2017). Panel eğim açısı ise sabit panellerde belirlenen bölgenin enlem derecesi temel alınarak yapılır (Boztepe, 2017). Bunun nedeni yıl içinde güneş ışınları bu enlem açısının $\pm 15^\circ$ bandında olacak şekilde yerleştirilebilir. Şekil 2.15'de yıl içinde değişen güneş açılarına göre göreceli üretim gösterilmiştir:



Şekil 2.15. Yıl içinde değişen güneş açılarına göre göreceli üretim

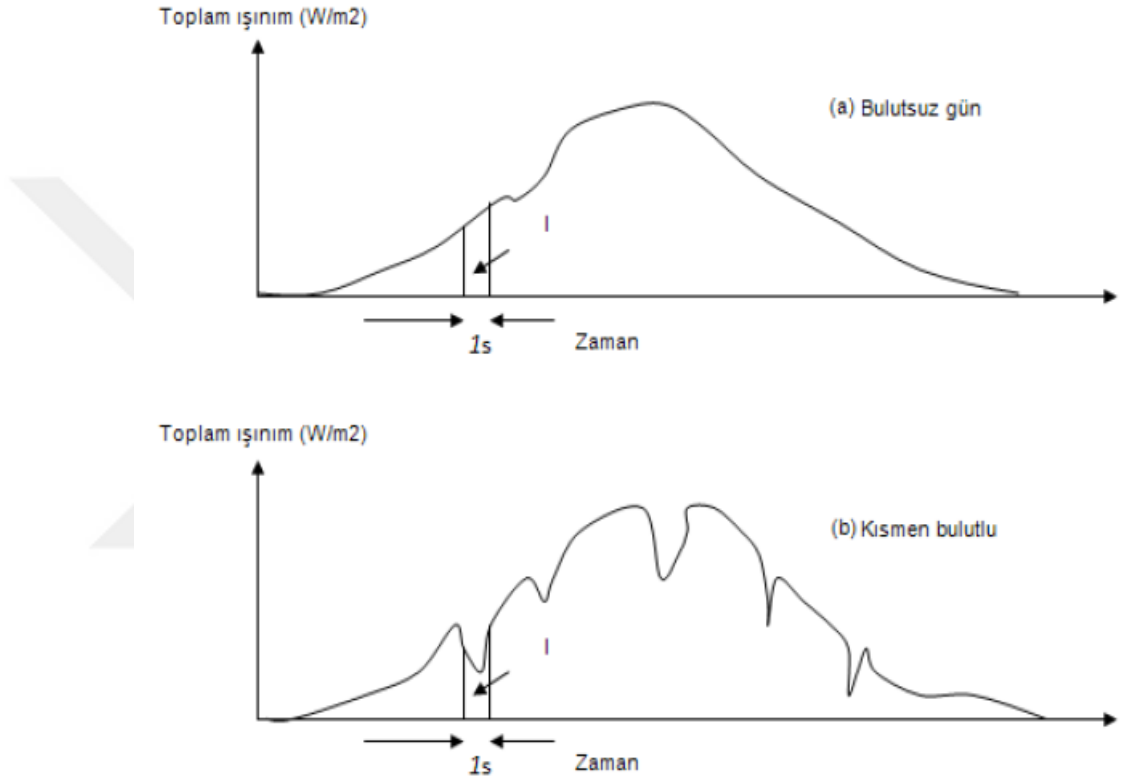
(Kaynak: Nakir, 2007)

Şekil 2.15.'ten anlaşılacağı üzere panel açılarına bölge enlemine yaz aylarında -15° , kış aylarında ise $+15^\circ$ 'lik bir değişim sergilediğimizde üretim bölge açısında yerleşmiş panele göre yaklaşık %20'lik bir artış sağlamaktadır. Aktif güneş takip sistemlerinde üretilen enerjinin bir kısmını (%2-3) kullansa da sabit eğimli bir sisteme göre %30 verimli olduğu ispatlanmıştır (Boztepe, 2017). Panellerin gün içerisinde güneşi takip ederek enerji üretmesi karlı bir işlemdir. Ancak sadece yatay ekseninde yapılan bir takip çift eksenli yani hem yatay hem de dikey açıda takip eden sisteme göre daha az kazanç sağladığı bilinmektedir (Aydın, 2005). Çift eksen güneş takip sistemleri sistem olarak karmaşık ve arıza yapma ihtimali olduğu için işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Bu yüzden çok tercih edilmemektedir.

2.6.3. Gölgeleme Kayıpları

Fotovoltaik panellerin verimlerini etkileyen diğer bir faktörde gölgeleme kaybıdır. Gölgeleme iki nedenden dolayı oluşabilir. Doğal yollardan veya beşeri faktörlerden kaynaklı gölgeleme. Doğal yollardan kaynaklanan gölgeleme genellikle dağlık arazilerde ya da ağaçlık arazilerde gün içinde güneş açısının değişmesine bağlı olarak doğal yapıların gölgeleri panel üstüne düşerek enerji üretimini azaltır. Bu

durumdan kaçınmak için fotovoltaik panellerin yerleşeceği arazinin fizibilite çalışması yapılırken gölgeleme oluşabilecek arazilerden kaçınmak gerekir. Diğer bir doğal gölgeleme ise bulutluluk durumudur. Fotovoltaik panellerin kurulacağı bölgenin yıl içindeki güneşlenme süresi önem arz eder. Şekil 2.16'da bulutlu ve bulutsuz günde panel üzerine düşen ışınımı gösterilmiştir:



Şekil 2.16. Bulutlu ve bulutsuz günde panel üzerine düşen ışınım
(Kaynak: Ajder, 2011)

Şekil 2.16.'de görüldüğü gibi gün içindeki bulutluluk oranının üretim üzerinde önemli bir etkisi vardır. Beşeri gölgeleme ise şehirleşmenin olduğu bölgelerde kurulan fotovoltaik panellerin yüksek binalar yüzünden günün bir kısmında veya tamamında gölgeli kalması olayıdır.

Fotovoltaik panellerin konumlanacağı alanlar elde edilecek verimlilik için önem arz etmektedir. Eğer paneller ağaçlık ya da şehir içinde (çatı, bahçe vs.) kurulacak ise çevresindeki ağaçların yaprak döken ağaçlar olması gerekmektedir. Çünkü kışın güneş ışınları daha düşük açılarla geleceği için enerjiye dönüştürmek

daha güç olmaktadır. Bu sebeple yaprak döken ağaçların bulunduğu bölgede gölgeleme az olacağı için kayıplarda o denli az olacaktır. Çatı ya da düz bahçe gibi alanlara kurulacak panellerde ise alanda bir yükselti ya da engel varsa panelleri bu engelin güneyine kurmak faydalı olacaktır. Ülkemiz ise kuzey yarım kürede bulunduğu için paneller güneye kurulması gerekmektedir. Bu sayede paneller gölgelenmeden etkilenmeyerek daha fazla enerji üretmeye devam eder.

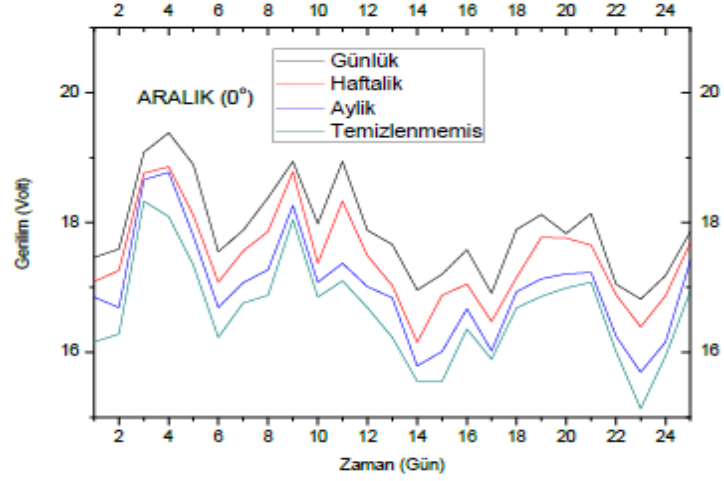
Panel konumlandırmasında bir diğer önemli konu ise panellerin birbirlerini gölgelemeleridir. Arka arkaya gelen iki panel arası mesafe hesaplanmaz veya önemsenmez ise tüm seri ve paralel bağlı hatlar birbirini gölgeleyerek çıkış gücünde düşümlere neden olacaktır(Turhan, 2015).

2.6.4. Tozlanma ve Karlanma Kayıpları

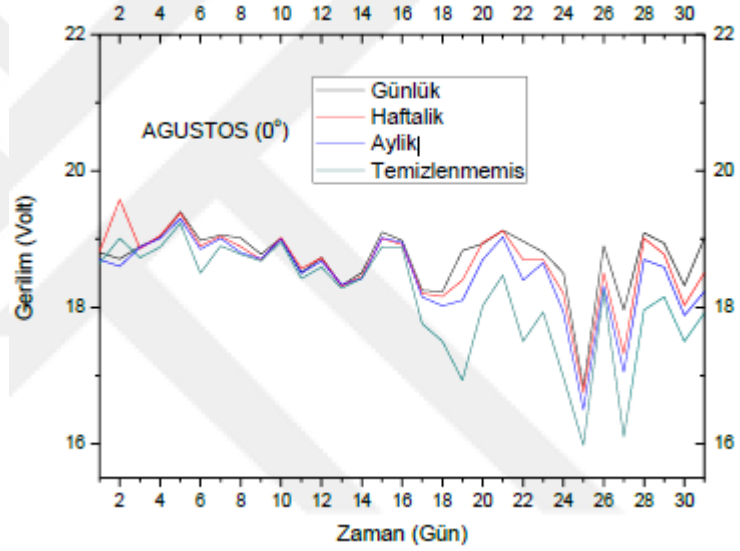
Fotovoltaik paneller güneşten gelen ışınlarla enerji üretirler. Gelen ışın ne kadar fazla olursa üretilen enerjide artar. Fakat tozlanma ya da kış aylarında kar ve buz gibi faktörler fotovoltaik panele gelen ışığın tamamını soğurmasını engeller dolayısıyla buda bir kayıp oluşturur.

Tozlanmadan kaynaklanan kayıplar özellikle yağışların az olduğu bölgelerde aşırı ortam şartlarında % 15 oranlarına çıktığı gözlenmiştir. Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarına göre bazı konumlarda bu kayıplar % 25'e kadar yükselebileceğini belirtmiştir. Çöller gibi bol güneş ışığı alan yerlerde kurulu santraller, ışınım açısından çok avantajlı olurken kum fırtınaları yüzünden % 60'a varan oranlarda kayıplar yaşanabilmektedir (Gürbüz, 2018).

Fotovoltaik panellerin yüzeyleri cam kaplı olduğu için çevresel şartlardan oluşan toz taneleri zamanla bu yüzeyde birikebilir. Biriken bu tozlar atmosferden gelen ışınların camı geçip yarı iletken malzemeye ulaşmasını engelleyebilir. Bu durumda oluşan kayıplara tozlanma kayıpları denilmektedir (Sancar, 2018).Şekil 2.17' de panellerin aralık ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları ve şekil 2.18'depanellerin temmuz ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları gösterilmiştir



Şekil 2.17. Panellerin aralık ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları
(Kaynak: Gürbüz, 2018)



Şekil 2.18. Panellerin temmuz ayında temizlenme sıklığına göre değişen çıkış gerilimi farkları
(Kaynak: Gürbüz, 2018)

Şekil 2.17. ve 2.18.'da görüldüğü gibi panel temizliğinin verimliliğe önemli bir etkisi vardır. Yaz aylarında tozlanma kış aylarında ise buz ve kar panel verimini büyük ölçüde düşürür. Fotovoltaik panellerin temizliğini büyük ölçekli santrallerde günlük olarak yapamayacağımız aşikârdır ancak özel geliştirilmiş temizleme aletleri ya da belirli dönemlerde insan gücü ile yapılacak temizlik, panel verimini artıracaktır.

2.6.5. Yansıma Kayıpları

Fotovoltaik panellere gelen ışınlar tamamen emilemeden bir kısmı yansarak tekrar atmosfere yansır. Atmosfere yansıyan bu ışınlar yansıma kayıpları olarak adlandırılır. Açık havayla temas halinde olan bir silisyum numunesi üzerine gelen ışınların yaklaşık %33'ünü geri yansır. Fotovoltaik panel üreticileri bu yansımayı minimize etmek için hücreleri farklı tabakalar ile kaplayarak fotovoltaik panelleri üretirler. Bu çalışmalar sonucunda gelen ışınların sadece %4'ü geri yansır (Deniz, 2013).

Bina çatılarına ve yan yüzeylere panel kaplanarak mevcut enerji ihtiyacının karşılamak mümkündür. Ancak çatıya konumlandırılan panellerin azimut açısı yan yüzeylerdeki panellerin azimut açısına göre daha düşük olduğu için güneşten faydalanma oranları daha yüksektir. Çatılardaki panellere güneş ışınları yan yüzeylere göre daha dik açıyla geldiği için yansıma daha az olur. Buna bağlı olarak yan yüzeylerdeki paneller daha az üretim yaparlar (Uçar, 2018).

2.6.6. Uyumsuzluk Kayıpları

Fotovoltaik panellerde yaşlanma, gölgelenme veya panellerin birbirinden farklı sıcaklıklarda çalışmasına bağlı olarak çıkış güçlerinde yaşanan kayıplara uyumsuzluk kayıpları denilmektedir. Uyumsuzluk kayıplarının en önemli nedeni kısmi gölgelenmedir (Lappalainen, 2017). Geniş bir sahada kurulu olan santralde kısmi buluta bağlı bir gölgelenme o bölgedeki panellerin çıkış güçlerini düşürecektir. Ayrıca gölgelenme sayesinde soğuyan panellerde sıcaklık farklılığından dolayı çıkış güçleri değişecektir. Bu durumda yaşanan kayıplar üretici için olumsuz etkilere sahiptir.

Fotovoltaik paneller inverter girişinde uygun gerilim ve akım değerlerini tutturabilmek için birbirlerine paralel bağlanarak gruplar oluşturulur. Bu durumda tüm panellerin ayrı ayrı güçleri toplamı inverter giriş gücünden daha yüksektir yani inverter girişinde bir kayıp mevcuttur (Deniz, 2013). Yapılan araştırmalarda uyumsuzluk kayıplarının ilk kurulan panellerde %2 civarında iken panel ömürleri azaldıkça %12'lere kadar çıktığı görülmüştür (Kausshika, 2007). Uyumsuzluk

kayıplarına kablo kesitleri, panellerin ayrı ayrı gölgelenme durumları, grup içinde zarar görmüş panel vb. durumlar neden olabilir.

2.6.7. İnverter Kayıpları

İnverter fotovoltaik sistemlerde panel çıkışında üretilen DC gücü AC güce dönüştüren güneş enerji santrallerinin temel elemanlarından biridir. İnverterler bu dönüşüm esnasında kendileri de bir güç harcarlar. İnverterler girişlerindeki her 150 V DC gerilim için çıkışındaki verimleri yaklaşık olarak %1 oranında azalış gösterir.

İnverterler, girişlerindeki güçleri tamamen çıkışa aktaramazlar. Bunun nedeni iç kayıplar ve inverter gücünün giriş gücüne oranıdır. İç kayıplar yarıiletken malzemelerle yapılan anahtarlama sırasında ısıya dönüşüp kaybolan enerjidir. Bir diğer kayıp ise inverterin nominal gücüne yakın çalışmadığında yaşanan kayıptır. 1000 W gücündeki bir inverter 100W çıkış verirken %93 verimle, 500W çıkış verirken yaklaşık %95 verimle çalışmaktadır. Günümüzde ise inverterler %98 verimlerle çalışmaktadır(www.enerjiportali.com).

Sahada yapılan çalışmalarda inverterler nominal verimlerine en yakın % 30-50 oranındaki yüklerde erişirler. Bu oranlar arttıkça inverterler ısınacağı için verimleri azalmaya başlar. İnverter seçimi yapılırken kurulu fotovoltaik panel gücünden fazla seçilmesi inverter verimini artırır. Düşük güçlü seçilen inverterler ıstıdan dolayı yıpranacağı ve kullanım ömrünün kısılacağı da göz önüne alınması gereken bir diğer faktördür (Deniz, 2013).

2.6.8. Konum

Fotovoltaik panellerin ürettiği enerji miktarını etkileyen bir diğer etmende panele gelen ışınım miktarıdır. Dünyanın şeklinden dolayı yeryüzünde her bölgeye aynı miktarda ışınım gelmemektedir. Ekvatorial bölgeler dünya üzerinde en yüksek ışınımaya sahip bölgelerdir. Ülkemiz ise kuzey yarı kürede bulunduğu için güneye indikçe ışınım miktarı artar. Ülkemizde en yüksek ışınım 1460 kWh/m²-yıl ile Güney

Doğu Anadolu bölgesidir. 1390 kWh/m²-yıl ile Akdeniz bölgesi ikinci sırada yer alırken 1120 kWh/m²-yıl ile Karadeniz bölgesi son sıradadır (Turhan, 2015).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Fotovoltaik Panellerde Verimliliği Artırma Yolları

Fotovoltaik paneller düşük verimlilikle çalışan yapılardır. Teknolojik gelişmeler ile fotovoltaik panellerde verimliliği arttırmak amaçlanmaktadır. Bu panellerin verimlilikleri sıcaklık, güneş ışınlarını en dik açıda alması ve panel yüzeylerinin temizliği gibi etkenlere bağlıdır. Bu etkenler üzerinde yapılacak çeşitli iyileştirme yöntemleri panellerin çıkış gücünü artırılabilir. Ancak bulutlanma, uyumsuzluk, kablo ve inverter kayıpları gibi etkenler verimliliği azaltan diğer etmenlerdir. Ayrıca geri kazanılabilen kayıplar da bulunmaktadır. Bunlar enerji sarfiyatı olan yani zorlanmış iyileştirme yöntemleridir. Ayrıca enerji sarfiyatı olmayan yani doğal çözümlerde mevcuttur.

3.1.1. Doğal Hava ile Soğutma

Fotovoltaik panellerin artan sıcaklığa bağlı olarak verimlerinin düştüğü yapılan araştırmalarla kesinleşmiştir. Doğal soğutma yöntemi, normal koşullarda çalışan panellerin hava akımı sayesinde soğutulup verimini artırmaya yönelik çalışmadır. Panel alt yüzeylerine yerleştirilen soğutucu kanatlar arasından geçen hava akımı ısınan panelden kanatlara iletilen ısıyı transfer ederek panel ısısını düşürür. Ancak bu yöntemin etkin bir şekilde çalışabilmesi için fotovoltaik panellerin kurulacağı saha yıl içerisinde özellikle de sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde makul seviyelerde rüzgâr alan konumlar olmalıdır.

Sistem şehir içerisinde kurulmuş ise sistemin bulunduğu alanda rüzgârı kesecek yapılaşmaların olması santralin verimini olumsuz etkileyecektir. Bir santralin ortalama ömrü 20-25 yıl olduğu için bu süre boyunca optimum verimle çalışması amaçlanmaktadır. Bunun sebebi de kurulacak saha çevresinde yaklaşık olarak 25 yıl boyunca bir imar planının olmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

3.1.2. Zorlanmış Hava ile Soğutma

Zorlanmış hava soğutma sistemi fotovoltaik panellerin bir dış etki ile soğutulmuş ya da doğal olarak soğuk havanın fan gibi bir eleman vasıtasıyla panelde oluşan sıcaklığı düşürmeyi amaçlayan sistemlerdir. Zorlanmış hava soğutma sistemi etkili bir şekilde işlev görebilmesi için bir enerji harcıyor olsa da artırılan çıkış gücü bu enerji kaybını karşılar ve fazladan enerji üretimine yardımcı olur. Ancak artan çıkış gücü ile üretilen enerji harcanan enerjiden fazla değilse sistem ekonomik olmaktan çıkar.

3.1.3. Zorlanmış Su Soğutma

Zorlanmış su soğutma yönteminde 2 farklı yöntem izlenmektedir. Bu yöntemler fotovoltaik panellerin ön yüzeyinden yapılan ve arka yüzeyinden yapılan soğutma olarak adlandırılır(Grubisic, 2016). Yöntemler farklıda olsa prensip ikisinde de aynıdır. Açık ya da kapalı bir yüzey içinden soğutulmuş su geçirilerek panel ısınısını düşürme esasına dayanır. Tek fark ön yüzeyde yapılan su soğutma yöntemi ayrıca panel yüzeyindeki tozu temizlediği için tozlanmadan kaynaklanan kayıpları da belirli ölçüde azaltır.

3.1.4.Fotovoltaik Panellerde Açı Ayarı

Fotovoltaik panellerde üretilen enerji ışınımına doğrudan bağlıdır.Bu sebeple panellerin gelen güneş ışınlarını maksimum şekilde alabilmesi, verim açısından çok önemlidir. Fotovoltaik panellerde bu ışınımı yakalayabilmek için bazı güneş takip yöntemleri kullanılmaktadır. Kimi yöntemler sadece gün içinde güneşin doğumundan batımına kadar olan sürede doğu-batı yönünde takip ederken bazı sistemlerde ise yıl içinde değişen ışık geliş açılarına göre yani çift eksenli bir takip sistemi kullanılmaktadır.Güneş takip sistemleri büyük güneş enerji santrallerinde bakım ve kurulum maliyetini artırdığı, arıza yapma ihtimalinin olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir. Güneş takip sistemlerinde amaç güneşten ışınların panele dik

veya dike en yakın açıyla gelmesini sağlamaktır. Bunun sebebi, fotovoltaik panellere düşen güneş radyasyonu hesaplanırken güneşten gelen ışığın fotovoltaik panelin normali ile yaptığı açının kosinüsü ile hesaplanmasıdır (Beyoğlu, 2011).

Güneş takip sistemi olan santraller sabit konumlandırılmış santrallere göre daha fazla yer kaplamaktadır. Bunun sebebi panellerin gün içindeki hareketi sırasında ihtiyaç duyduğu alanın sabit panellerin ihtiyaç duyduğu alanlara oranla daha fazla olmasıdır. Çünkü paneller hareket ederken birbirlerine çarpmayacak ve hareketlerini kısıtlamayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Tüm bunlar göz önüne alındığında sabit panellerle kurulan bir saha hareketli panellerin olduğu sahalara göre % 40 daha az alan kaplarlar fakat hareketli panellerin olduğu sistemde enerji maliyeti %28 daha düşüktür (Lorenzo, 2002)

3.1.5. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Tek eksenli güneş takip sistemleri sabah güneş doğumundan akşam güneş batana kadar doğu-batı ekseninde yatayda ise sabit bir açı ile takip eden sistemlerdir. Yatayda yapılan sabit açı eğer sistem düz bir arazide ise bulunduğu bölgenin enlem açısı temel alınarak belirlenir. Yıl içinde değişen güneş ışığı geliş açıları bu değer $\pm 15^\circ$ bandında değişir. Gün içinde ise panel güneşi takip ederek gün boyu yatayda dik açı ile yakalar.

3.1.6. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Çift eksenli güneş takip sistemleri fotovoltaik paneli, gelen güneş ışınlarını hem gün içinde doğu-batı hem de yıl içinde kuzey güney doğrultusunda yakalamak için hareket ettiren sistemlerdir. Tek eksenli sistemlere göre daha karmaşık bir yapısının bulunması ve sistemi hareket ettirmek için iki ayrı motora sahip olması sistem açısından dezavantajdır. Ancak bazı durumlarda çift eksenli güneş takip sistemleri tek eksenli takip sistemlerine göre % 40 daha fazla enerji üretebilmektedir (Song, 2014).

3.1.7. Panel Temizliği

Fotovoltaik panellerin çıkış gücüne etki eden bir diğer faktör tozlanmadır. Yıl içerisinde belirli periyotlarla yapılan panel temizliği panelin daha etkin kullanılabilmesi için önemlidir. Literatürde bu konuyla ilgili çalışmalar mevcuttur.

3.2. Su Soğutmalı ve Aı Ayarlı Hibrit Sistem

Tezde kullanılan fotovoltaik sistem temel olarak bir soğutucu radyatör üzerinde soğutulan suyun panel arka yüzeyindeki alüminyum kanallı soğutucu içinden geçmesine dayanan bir sistemdir. Bölgenin enlem derecesine bağlı olarak panelin yatayla yaptığı aının mevsimlik 15° artırılması ve eksilmesi esasına dayanan ikinci bir sistemin birlikte ve ayrı ayrı kullanılarak verimlilik üzerinde ki etkisi araştırılmıştır. Kurulan deneysel sistem Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Hastanesi ($37^{\circ}52$ N $32^{\circ}25$ E) atısında açık havada test edildi. Konya kuzey yarım kürede bulunmaktadır. Bu yüzden sabit paneller Konya'nın enlem derecesi olan 38° açıyla güney yönüne ayarlanmıştır. Mevsimlik değişim gösteren paneller ise 53° ve 23° aı ile güneye bakar şekilde ayarlanmıştır.

Kullanılan soğutma sistemi sadece iki paneli kapsamaktadır. Soğutma sistemi olan bir panelde mevsimlik aı ayarı bulunmakta diğerinde ise sadece soğutma sistemi bulunmaktadır. Fan ile radyatörde soğutulan su bir pompa vasıtasıyla panellerin st kısmında bulunan kanallardan panelin arka yüzeyini soğutarak panelin alt kısmından çıkar. Isınan su tekrar radyatöre girerek soğutulur. Panel arka yüzeyinde bulunan ince soğutucu kanallar panellere tam temas ederek ısı transferini gerçekleştirir.

Mevsimlik aı ayarı yapılan paneller ve soğutulan panellerin çıkışlarına bağlanan bir adet DC Wattmetre ile günlük üretilen enerjiler ölçülmüş ve not edilmiştir.

şekil 3.1. ve 3.2.'te görülen sistemde 1 numaralı panel sadece soğutma yapılıp sabit 38° aı ile konumlanmıştır. 2 numaralı panel su soğutma ve mevsimlik aı ayarı ile kış mevsiminde 53° yaz mevsiminde ise 23° lik açı ile konumlanmıştır. 3 numaralı panel su soğutma olmaksızın sadece mevsimlik açı değerleri olan 53° ve

23° ile konumlandırılmış. Son olarak 4 numaralı panel ise kontrol grubu olarak belirlenmiş ve soğutma yapılmayıp 38° sabit açıyla konumlanmıştır.

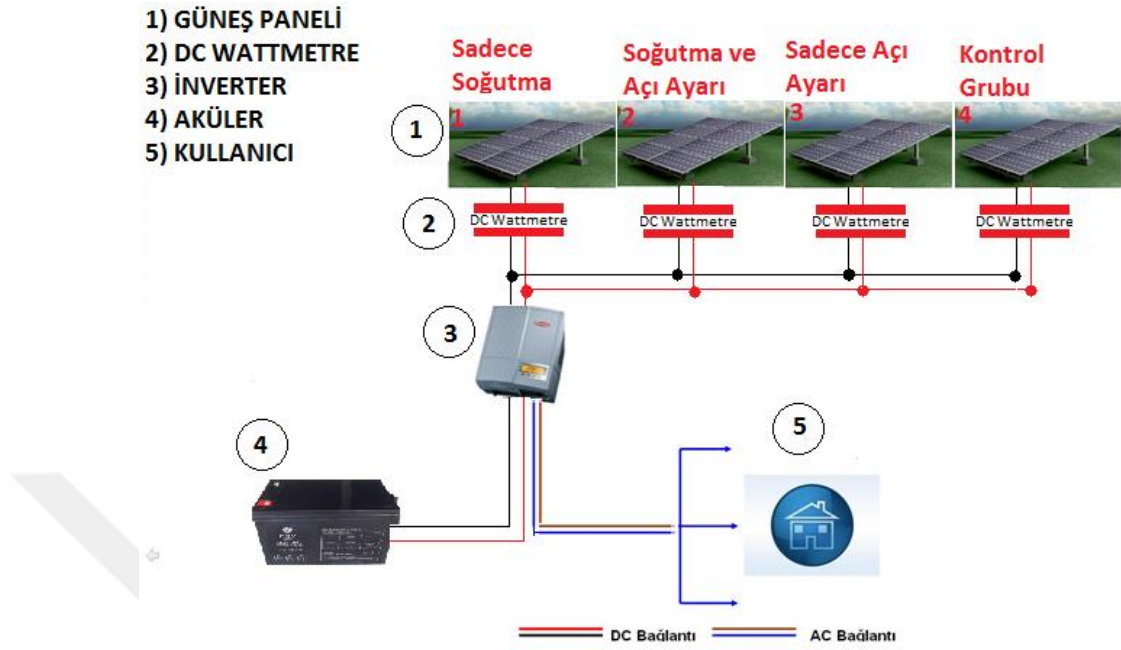


Şekil 3.1. Kurulan sistemin önden görünümü



Şekil 3.2. Kurulan sistemin arkadan görünümü

Şekil 3.3.'de çalışma kullanılan sistemin genel elektriksel şeması verilmiştir.



Şekil 3.3. Kurulan sistemin genel elektriksel şeması

Sistemde kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir.

- 4 adet 165 W fotovoltaik panel
- 150 Ah solar jel akü
- 2400W 24V tam sinüs inverter
- 2 adet panel için alüminyum soğutucu petek
- 12V DC fan
- Soğutucu radyatör
- Çelik konstrüksiyon
- 4 adet DC Wattmetre
- Solar kablo

3.2.1. Fotovoltaik Paneller

Bu tez çalışmasında,4 tane 165W'lık fotovoltaik panel kullanılmıştır. Kullanılan paneller ile ilgili üretici verileri Çizelge3.1.'de verilmiştir. Çizelgede

verilen veriler 1000 W/m^2 ve 25°C ortam şartlarına göre verilmiştir. Panel çıkışlarında 4 adet DC Wattmetre ile panellerin çıkış akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Dijital ölçü aletleri ile günlük veriler toplanmıştır. Panel sıcaklıkları panelin ön yüzünden lazer ölçüm aleti ile 3 farklı bölgeden ölçülerek ortalama değerleri alınmıştır.

Kullanılan panellerin aynı marka ve özellikte seçilerek uygulama sonuçlarının orantılı olması sağlanmıştır. Panellere ait teknik özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 165 W polikristal fotovoltaik panel özellikleri

Nominal Güç (Pmax)	165 W
Açık Devre Gerilimi (VOC)	21,8 V
Kısa Devre Akımı (ISC)	8,71 A
Nominal Güç Voltajı (Vmp)	18,4 V
Nominal Güç Cari (Imp)	8,17 A
Hücre Sayısı	36 (156*156)
Boyut (mm)	1488x675x35
Ağırlık (kg)	13 kg
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V DC
Maksimum Seri Fuse Rating	15 A
Operasyon Sıcaklığı	-40 °C : +85 °C
Ön Kapak	4 mm düşük demir temperli cam
Çerçeve	Anodize alüminyum alaşım
Bağlantı Kutusu	IP67 , 6 diyot
Konnektör	MC4 veya MC4 uyumlu
Nominal Güç (Pmax)	165 W

3.2.2. Solar Akü

Sistemde kullanılan 150 Ah`lik 2 adet solar akü ile panellerde gündüz üretilen enerji depolanmış ve gece kullanılmıştır. Dış ortamda kullanılacak olan akünün şarj süresince çalışma sıcaklığı 0°C ile 40°C arasındadır. Deşarj anında ise -20°C ile $+50^\circ\text{C}$ aralığında tam kapasite ile çalışmaktadır.

3.2.3. Tam Sinüs İnverter

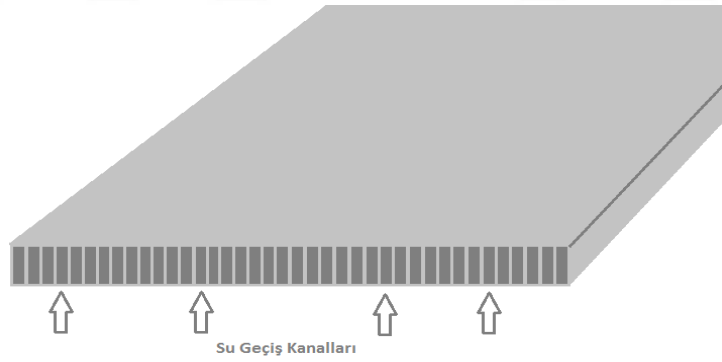
Sistem için 2500 W gücünde 24 V DC giriş gerilimli tam sinüs inverter kullanılmıştır. Kullanılan inverter hem MPPT özellikli akü şarj redresörü hem de AC çıkışı olarak kullanılabilir. Kullanılan inverterin teknik özellikleri Çizelge 3.2.`de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 2400 W tam sinüs inverter özellikleri

Güç	Tam Sinüs 230VAC Nominal \pm % 3, 3000 VA
Şebeke veya Jeneratör Giriş Voltaj	90-280VAC 50/60Hz (otomatik algılama) - Ayarlanabilir çıkış voltajı
Ayarlanabilir Akü Şarj Gücü	24 V, 50 A (max.)
PWM Charger (Şarj Regülatörü)	50 A, 24VDC
Giriş gücü	1600W Güneş Paneli, 220V şebeke ve jeneratör girişi
Koruma	Aşırı sıcaklık, Aşırı yük, Kısa devre
Verimlilik	% 98
Kaynaklar Arası Tranfer Süresi	20 ms altında
Beklemede Güç Tüketimi	4 W

3.2.4. Alüminyum Soğutucu

2 adet paneli soğutmak için kullanılan sistemde panel arka yüzeylerine monte edilen alüminyum soğutucu Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. Kullanılan soğutucu petek panel yüzeyine tam temas edecek şekilde termal macun ile birbirine yapıştırılmıştır. Tam temas eden yüzeyler panel yüzeyindeki ısıyı kanallar içinden suya ileterek panel ısınımsını düşürecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.4. Alüminyum soğutucu petek iç yüzeyi

3.2.5. Diğer Sistem Bileşenleri

Panel çıkışlarında 4 adet DC Wattmetre ile panellerin çıkış akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Wattmetre ile günlük veriler toplanmıştır. Panel sıcaklıkları panelin ön yüzünden lazer ölçü aleti ile 3 farklı bölgeden ölçülerek ortalama değerler alınmıştır.

Panellerde bulunan soğutucularda ısınan su bir motor vasıtasıyla radyatöre getirilmektedir. Radyatörde fan ile soğutulan su tekrar panel arka yüzeyindeki peteklere gönderilerek paneli soğutmaya devam etmektedir. Suyun sistemdeki akış diyagramı fotoğraf üzerinde Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Su soğutma sisteminde suyun akış yönü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

70 gün boyunca yapılan ölçümler ve gözlemler sonucunda panellerin ürettikleri enerji Watt-saat (Wh) olarak kaydedilmiştir. Öğlen saatlerinde üretilen enerji Wattmetrelerden ölçülerek kayıt edilmiştir. Güneşli günlerde yapılan ölçümlerle panellerden elde edilebilecek maksimum enerji ve buna bağlı maksimum verimler elde edilmeye çalışılmıştır. Her güç ölçümü yapıldığında aynı zamanda panel sıcaklıkları da ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü panelin rastgele 3 farklı bölgesinden alınarak ortalama sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Çizelge 4.1.`de panellerde üretilen saatlik enerji miktarları verilmiştir. Çizelge 4.1.`de verilen değerlerin grafiksel görüntüsü Şekil 4.1.`de gösterilmiştir.

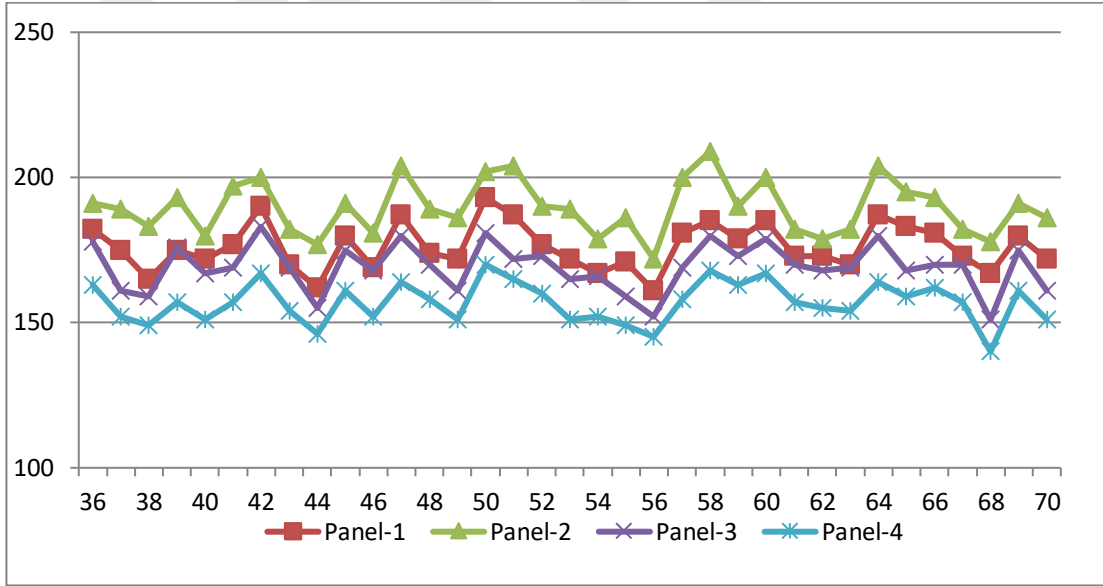
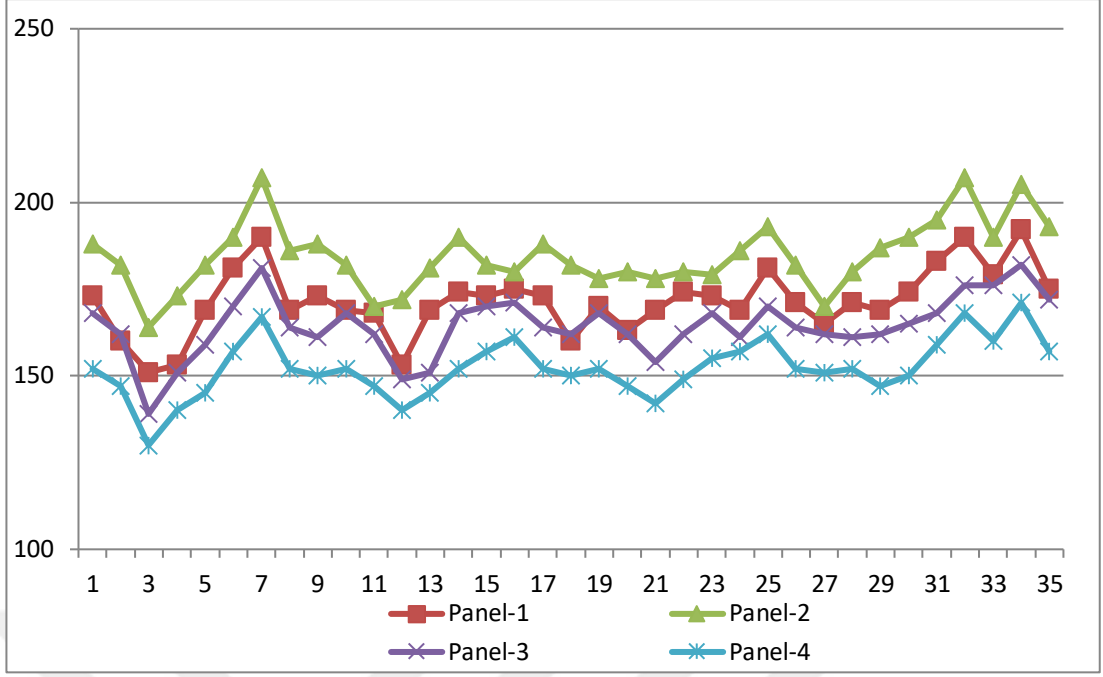


Çizelge 4.1.70 günlük 4 panelin Wh olarak üretim verileri

Gün	Panel-1	Panel-2	Panel-3	Panel-4
1	173	188	168	152
2	160	182	162	147
3	151	164	139	130
4	153	173	151	140
5	169	182	159	145
6	181	190	170	157
7	190	207	181	167
8	169	186	164	152
9	173	188	161	150
10	169	182	168	152
11	168	170	162	147
12	153	172	149	140
13	169	181	151	145
14	174	190	168	152
15	173	182	170	157
16	175	180	171	161
17	173	188	164	152
18	160	182	162	150
19	170	178	168	152
20	163	180	162	147
21	169	178	154	142
22	174	180	162	149
23	173	179	168	155
24	169	186	161	157
25	181	193	170	162
26	171	182	164	152
27	165	170	162	151
28	171	180	161	152
29	169	187	162	147
30	174	190	165	150
31	183	195	168	159
32	190	207	176	168
33	179	190	176	160
34	192	205	182	171
35	175	193	172	157

Çizelge 4.1.70 günlük 4 panelin Wh olarak üretim verileri

Gün	Panel-1	Panel-2	Panel-3	Panel-4
36	182	191	178	163
37	175	189	161	152
38	165	183	159	149
39	175	193	176	157
40	172	180	167	151
41	177	197	169	157
42	190	200	183	167
43	170	182	169	154
44	162	177	155	146
45	180	191	175	161
46	169	181	168	152
47	187	204	180	164
48	174	189	170	158
49	172	186	161	151
50	193	202	181	170
51	187	204	172	165
52	177	190	173	160
53	172	189	165	151
54	167	179	166	152
55	171	186	159	149
56	161	172	152	145
57	181	200	169	158
58	185	209	180	168
59	179	190	173	163
60	185	200	179	167
61	173	182	170	157
62	173	179	168	155
63	170	182	169	154
64	187	204	180	164
65	183	195	168	159
66	181	193	170	162
67	173	182	170	157
68	167	178	151	140
69	180	191	175	161
70	172	186	161	151
Üretilen Ortalama Enerji (W)	174	187	167	155



Şekil 4.1. 4 panelin 70 günlük üretim değerleri (Wh)

Çizelge 4.1.'de verilen değerlere bakıldığında; soğutma ve açılış yapılan panel 2 en fazla enerjiyi üretmiş, 2. sırada sadece soğutma yapılan panel 1, 3. sırada yalnız açılış yapılan panel 3 ve son olarak kontrol grubu en az enerjiyi üretmiştir. Grafikteki dalgalanmalar günlük bulutluluk ve ışınım farklarından dolayı oluşmuştur.

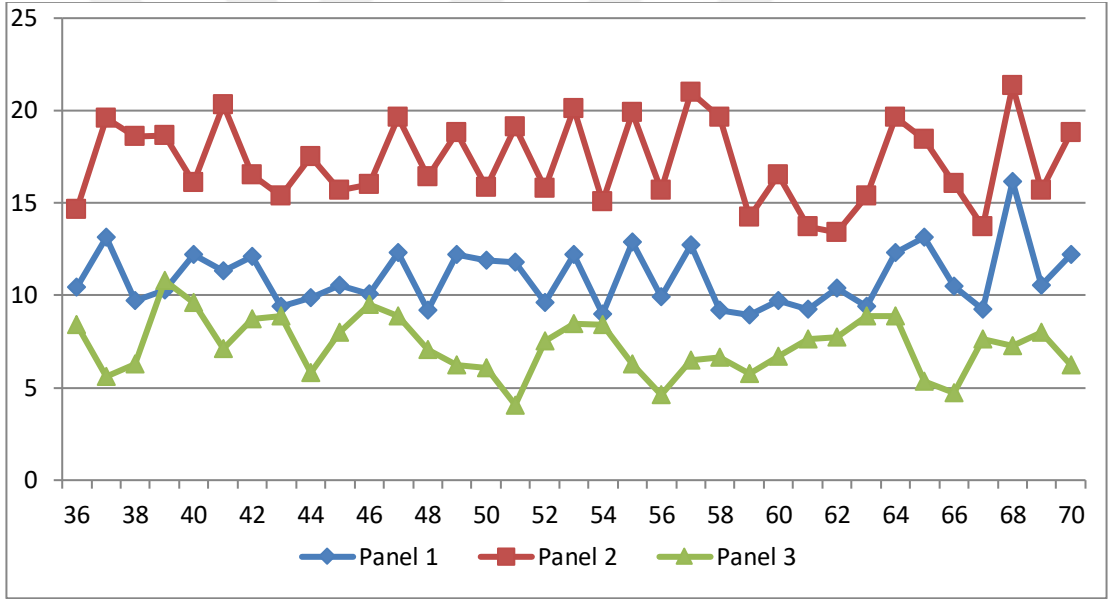
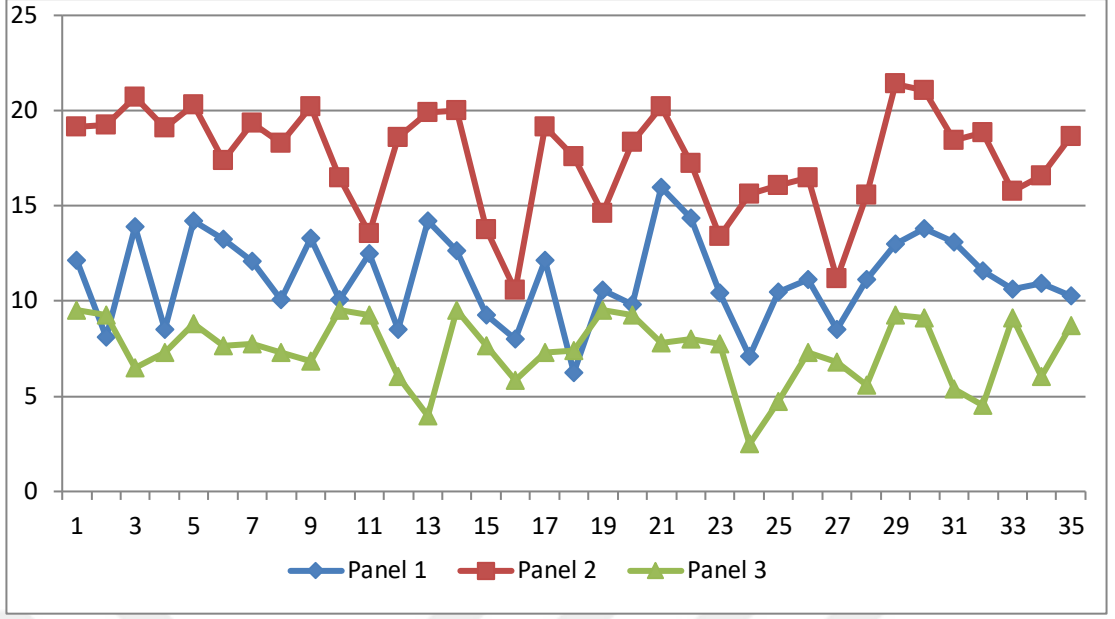
70 gün panellerin ürettikleri enerjiler boyunca kaydedilerek kontrol grubunun ürettiği enerjiyle oranlanmıştır. Yapılan ölçümlere ait veriler Çizelge 4.2.'te gösterilmiştir. Çizelge 4.2.'te verilen değerlerin grafiksel görüntüsü Şekil 4.2.'de gösterilmiştir

Çizelge 4.2.70 günlük 4 panelin kontrol grubuna oranda % üretim artışı

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
1	12,14	19,15	9,52	Kontrol Grubu
2	8,13	19,23	9,26	Kontrol Grubu
3	13,91	20,73	6,47	Kontrol Grubu
4	8,50	19,08	7,28	Kontrol Grubu
5	14,20	20,33	8,81	Kontrol Grubu
6	13,26	17,37	7,65	Kontrol Grubu
7	12,11	19,32	7,73	Kontrol Grubu
8	10,06	18,28	7,32	Kontrol Grubu
9	13,29	20,21	6,83	Kontrol Grubu
10	10,06	16,48	9,52	Kontrol Grubu
11	12,50	13,53	9,26	Kontrol Grubu
12	8,50	18,60	6,04	Kontrol Grubu
13	14,20	19,89	3,97	Kontrol Grubu
14	12,64	20,00	9,52	Kontrol Grubu
15	9,25	13,74	7,65	Kontrol Grubu
16	8,00	10,56	5,85	Kontrol Grubu
17	12,14	19,15	7,32	Kontrol Grubu
18	6,25	17,58	7,41	Kontrol Grubu
19	10,59	14,61	9,52	Kontrol Grubu
20	9,82	18,33	9,26	Kontrol Grubu
21	15,98	20,22	7,79	Kontrol Grubu
22	14,37	17,22	8,02	Kontrol Grubu
23	10,40	13,41	7,74	Kontrol Grubu
24	7,10	15,59	2,48	Kontrol Grubu
25	10,50	16,06	4,71	Kontrol Grubu
26	11,11	16,48	7,32	Kontrol Grubu
27	8,48	11,18	6,79	Kontrol Grubu
28	11,11	15,56	5,59	Kontrol Grubu
29	13,02	21,39	9,26	Kontrol Grubu
30	13,79	21,05	9,09	Kontrol Grubu
31	13,11	18,46	5,36	Kontrol Grubu
32	11,58	18,84	4,55	Kontrol Grubu
33	10,61	15,79	9,09	Kontrol Grubu
34	10,94	16,59	6,04	Kontrol Grubu
35	10,29	18,65	8,72	Kontrol Grubu

Çizelge 4.2.70 günlük 4 panelin kontrol grubuna oranda % üretim artışı

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
36	10,44	14,66	8,43	Kontrol Grubu
37	13,14	19,58	5,59	Kontrol Grubu
38	9,70	18,58	6,29	Kontrol Grubu
39	10,29	18,65	10,80	Kontrol Grubu
40	12,21	16,11	9,58	Kontrol Grubu
41	11,30	20,30	7,10	Kontrol Grubu
42	12,11	16,50	8,74	Kontrol Grubu
43	9,41	15,38	8,88	Kontrol Grubu
44	9,88	17,51	5,81	Kontrol Grubu
45	10,56	15,71	8,00	Kontrol Grubu
46	10,06	16,02	9,52	Kontrol Grubu
47	12,30	19,61	8,89	Kontrol Grubu
48	9,20	16,40	7,06	Kontrol Grubu
49	12,21	18,82	6,21	Kontrol Grubu
50	11,92	15,84	6,08	Kontrol Grubu
51	11,76	19,12	4,07	Kontrol Grubu
52	9,60	15,79	7,54	Kontrol Grubu
53	12,21	20,11	8,48	Kontrol Grubu
54	8,98	15,08	8,43	Kontrol Grubu
55	12,87	19,89	6,29	Kontrol Grubu
56	9,94	15,70	4,61	Kontrol Grubu
57	12,71	21,00	6,51	Kontrol Grubu
58	9,19	19,62	6,67	Kontrol Grubu
59	8,94	14,21	5,78	Kontrol Grubu
60	9,73	16,50	6,70	Kontrol Grubu
61	9,25	13,74	7,65	Kontrol Grubu
62	10,40	13,41	7,74	Kontrol Grubu
63	9,41	15,38	8,88	Kontrol Grubu
64	12,30	19,61	8,89	Kontrol Grubu
65	13,11	18,46	5,36	Kontrol Grubu
66	10,50	16,06	4,71	Kontrol Grubu
67	9,25	13,74	7,65	Kontrol Grubu
68	16,17	21,35	7,28	Kontrol Grubu
69	10,56	15,71	8,00	Kontrol Grubu
70	12,21	18,82	6,21	Kontrol Grubu
Ortalama Üretim Artışı (%)	11,08	17,37	7,33	Kontrol Grubu



Şekil 4.2. 1, 2 ve 3 numaralı panelleri kontrol grubuna oranla verim artışları

Çizelge 4.5.'te soğutucu sistemin panellerin sıcaklıklarını ne kadar düşürdüğü görülmektedir. Öğle saatlerinde yapılan ölçümler sırasında panel sıcaklıkları hesaplanırken lazer termometreyle panel yüzeyinin rastgele 3 farklı noktasından ölçümler yapılarak bu 3 değerın ortalaması alınmıştır.

Çizelge 4.3. Soğutulan ve soğutulmayan panellerdeki sıcaklık ve sıcaklık farkları(°C)

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4	Düşürülen Sıcaklık
1	20,89	20,89	33,6	33,6	12,71
2	20,22	20,22	32,4	32,4	12,18
3	18,22	18,22	27,8	27,8	9,58
4	19,22	19,22	30,2	30,2	10,98
5	20,22	20,22	31,8	31,8	11,58
6	21,11	21,11	34	34	12,89
7	23	23	36,2	36,2	13,2
8	20,67	20,67	32,8	32,8	12,13
9	20,89	20,89	32,2	32,2	11,31
10	20,22	20,22	33,6	33,6	13,38
11	18,89	18,89	32,4	32,4	13,51
12	19,11	19,11	29,8	29,8	10,69
13	20,11	20,11	30,2	30,2	10,09
14	21,11	21,11	33,6	33,6	12,49
15	20,22	20,22	34	34	13,78
16	20	20	34,2	34,2	14,2
17	20,89	20,89	32,8	32,8	11,91
18	20,22	20,22	32,4	32,4	12,18
19	19,78	19,78	33,6	33,6	13,82
20	20	20	32,4	32,4	12,4
21	19,78	19,78	30,8	30,8	11,02
22	20	20	32,4	32,4	12,4
23	19,89	19,89	33,6	33,6	13,71
24	20,67	20,67	32,2	32,2	11,53
25	21,44	21,44	34	34	12,56
26	20,22	20,22	32,8	32,8	12,58
27	18,89	18,89	32,4	32,4	13,51
28	20	20	32,2	32,2	12,2
29	20,78	20,78	32,4	32,4	11,62
30	20	20	33	33	13
31	19,8	19,8	31,1	31,1	11,3
32	20,45	20,45	32,5	32,5	12,05
33	22,1	22,1	33,4	33,4	11,3
34	19,8	19,8	32	32	12,2
35	20	20	34,2	34,2	14,2

Çizelge 4.3. Soğutulan ve soğutulmayan panellerdeki sıcaklık ve sıcaklık farkları(⁰C)

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4	Düşürülen Sıcaklık
36	20,89	20,89	32,2	32,2	11,31
37	19,7	19,7	32	32	12,3
38	24	24	36	36	12
39	19,78	19,78	30,8	30,8	11,02
40	19	19	32	32	13
41	20,5	20,5	32,8	32,8	12,3
42	20,2	20,2	32,8	32,8	12,6
43	26,4	26,4	38,2	38,2	11,8
44	24,3	24,3	36	36	11,7
45	21,6	21,6	32,5	32,5	10,9
46	19,8	19,8	31,4	31,4	11,6
47	20	20	33,1	33,1	13,1
48	19,78	19,78	32,4	32,4	12,62
49	21,4	21,4	32,5	32,5	11,1
50	21,8	21,8	31,3	31,3	9,5
51	18,6	18,6	30,8	30,8	12,2
52	19,1	19,1	29,7	29,7	10,6
53	22,8	22,8	33,8	33,8	11
54	21,9	21,9	31,5	31,5	9,6
55	20,7	20,7	33,5	33,5	12,8
56	18,9	18,9	31,7	31,7	12,8
57	22,8	22,8	35,1	35,1	12,3
58	21,7	21,7	32,8	32,8	11,1
59	19,4	19,4	31,2	31,2	11,8
60	17,9	17,9	31,8	31,8	13,9
61	19	19	32,8	32,8	13,8
62	19,2	19,2	31,7	31,7	12,5
63	18,9	18,9	34,8	34,8	15,9
64	21,4	21,4	32,6	32,6	11,2
65	22,9	22,9	36,8	36,8	13,9
66	23,9	21,36	31,24	31,24	9,88
67	21,54	21,54	35,17	35,17	13,63
68	25,9	25,9	39,8	39,8	13,9
69	20,22	20,22	32,8	32,8	12,58
70	19,78	19,78	30,8	30,8	11,02

Çizelgelerdeki veriler göz önüne alındığında fotovoltaik panellerin verimini etkileyen iki faktör olan sıcaklık ve güneşe göre açı değerinde yapılan iyileştirmelere göre panel 2, kontrol grubu olan panel 4'e göre %17,49 daha fazla enerji üretmiştir. Aynı şekilde soğutma yapılan panel 1'e göre % 11,04 fazla, mevsimlik açı ayarlı panel 3 ise %7,35 daha fazla enerji üretmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde fotovoltaik panellerin uygulama alanları ve uygulama yöntemleri pek çok yönden geliştirilmiştir. Bu panellerin verimini birçok farklı etken belirlemektedir. Santrallerin kurulduğu coğrafi konum, bölgesel sıcaklık değerleri, güneşlenme süreleri, gölgelenme durumu, panel eğim açısı bu etkenlere örnek oluşturmaktadır. Fotovoltaik panellerin sahadaki verimleri ise % 7-19 arasında değişirken laboratuvar ortamlarında % 20-25 oranlarını yakalayabilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte 25 yıla kadar bakım gerektirmeden sorunsuz bir şekilde çalışabilen paneller uzun vadede enerji üretim maliyetlerini düşürmektedir ancak kurulum aşamasındaki maliyetleri hala çok yüksektir.

Yapılan bu tez çalışmasında fotovoltaik panellerin çıkış gücüne etkisini araştırmak amacı ile iki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler azimut açısı ayarını mevsimlik olarak değiştirme yöntemi ve su ile panel soğutma yöntemidir. Bu çalışmada aynı özelliklere sahip 4 adet polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Çalışmada 1. Panelde suyla soğutma yöntemi, 2. Panelde azimut açısı ayarını mevsimlik olarak değiştirme yöntemi ve suyla panel soğutma yöntemi birlikte uygulanmıştır. 3. Panelde sadece azimut açısı ayarını mevsimlik olarak değiştirme yöntemi uygulanmıştır 4. Panel ise kontrol grubudur.

Uygulama öğlen saatlerinde güneşin en tepede olduğu zamanda yapılmıştır. Bunun sebebi yatay ekseninde bir takip uygulamadığımız için sisteme dikey olarak ışınların en dik geldiği saatler olmasıdır. Bu saatlerde paneller güneş ışığını en dik açılarla almış ve üretebileceği en yüksek çıkış gücünü üretmiştir. Ayrıca ölçümlerin yapıldığı günler yağış ve bulutlanma olaylarının olmadığı günler olarak seçilmiştir. Ölçümler bu günlerde ve saatlerde bir saatten fazla olarak kayıt edilmiş ve sıcaklık değerleri ölçü aletlerinden okunmuştur. Çıkışta üretilen enerjiler her panel için ayrı ayrı kayıt edilmiştir. Sıcaklığın etkisini görmek için uygulanan soğutma sistemi ise su kullanılarak oluşturulan kapalı devre çalışan bir su devir daim sistemidir. Panellerin arka yüzünde bulunan alüminyum soğutucu peteklerden soğuk su geçirilerek soğutma yapılmıştır. Panel sıcaklıklarındaki düşüşü tespit etmek için lazer ölçü aleti kullanılarak panel yüzeyinde referans noktalar belirlenmiş ve bir panel için ölçümlerin ortalaması alınarak panel sıcaklığı kayıt edilmiştir.

Yapılan 70 günlük ölçümler sonucunda açısı ayarı ve soğutma işlemi yapılan 2 numaralı panel % 17,49 daha fazla enerji üretmiştir. Sadece soğutma

yöntemikullanılan1 numaralı panel ise çıkış gücünü % 11,04 artırmıştır. Sadece mevsimlik açı ayarlıyla konumlanmış 3 numaralı panelin ise % 7,35 daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir. Ayrıca düşürülen her 1°C sıcaklık için ortalama %1,09 çıkış gücü artmıştır.

Tez çalışmasında 70 günlük veriler kullanılmıştır. Panel sıcaklığının ve azimut açısının etkisini daha iyi anlayabilmek için 1 yıllık verilerin kullanılması daha doğru sonuçlar verir. Sistemin veri kayıtları halen alınmaya devam etmektedir.

Sistemde mevsimsel olarak yıl içinde 4 kere açı ayarı yapmak gerekmektedir. Çünkü Konya şartlarında güneş ışınlarının geliş açıları $\pm 15^0$ değişmektedir. İlkbahar ve sonbahar için 38^0 , kış mevsimi için 53^0 ve son olarak yaz mevsimi için 23^0 azimut açısı daha fazla çıkış gücü üretecektir. Bu açı ayarı işlemi senede sadece 4 kere uygulanacağı için otomatik bir takip sistemine ihtiyaç yoktur. Manuel açı ayarı sistemleri ile enerji harcamadan bu problem aşılabilir. Santralde sıra halinde dizi olan paneller 20 ya da daha fazla sayılarda gruplanarak manuel açı ayarı yapan konstrüksiyonlar üzerine yerleştirilebilir. Bu sayede yıl içindeki mevsimlik açı ayarlama işlemi sadece insan gücüyle yapılmış ve maddi kazanç sağlanmış olur. Ancak sistemde kullanılan su soğutma sistemi bir enerji sarfıyatı yapmaktadır. Bu çalışma sırasında sistemde çalışan sirkülasyon pompası ve soğutucu fanın harcadığı enerjiler verim hesap edilirken ihmal edilmiştir. Bunun sebebi sadece soğutmanın çıkış gücüne etkisini gözlemlemektir. Saha uygulamalarında bu tarz bir soğutma sistemi ve su sirkülasyon işlemi ciddi miktarlarda enerji tüketeceği için işletme açısından maddi bir zarardır. Bu zararı ortadan kaldırmak için büyük fanlar ve su pompaları kullanmak yerine şehir su şebekelerinin ana hatlarından geçen suyu doğrudan santraldeki paneller üzerinden geçirmek bir çözüm olabilir. Bu sayede hem büyük soğutma yapıları kurulmadan ilk kurulum maliyeti azaltılır hem de sürekli olarak suyu sistemde dolaştırmak için gereken enerjiden tasarruf edilmiş olur. Tüm bu şartları sağlamak için güneş enerji santrallerini şehir şebeke suyunu ana besleme hatlarının geçtiği bölgelere kurmak yeterli olabilir.

Fotovoltaik panellere bazı çalışmalar yapılarak çıkış güçleri önemli seviyelerde artabileceği görülmektedir. Fakat yapılan bu çalışmaların her biri kurulum maliyetlerini yükseltmektedir. Prototip olarak yapılan bu çalışmada kurulum maliyetleri toplu bir üretime göre daha yüksektir.

KAYNAKLAR

- A. Al-Mohamad, (2004), Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Suntrackingssystem, Appl. Energy, 345-354.
- Abbas, Z. (2017), Effect of Dust on the Performance of Photovoltaic System (A Case Study of Quaid-E-Azam Solar Park Bahawalpur, Pakistan), Noble International Journal of Scientific Research, ISSN(e): 2521-0246, Vol. 1, No. 6, 73-79.
- Adinoyi, M. Said, S. (2013), Effect of Dust Accumulation on the Power Outputs of Solar Photovoltaic Modules, Renewable Energy 60, 633-636.
- Ajder, A. (2011), Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arcuri, N., Reda, F., De Simone, M. (2014), Energy And Thermo-Fluid-Dynamics Evaluations Of Photovoltaic Panels Cooled By Water And Air, Solar Energy 105, 147-156
- Aydın, M. (2005), Eğim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik Pv Sistem Sehpa Tasarımı, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri, Mersin.
- Bahaidarah, H. (2013), Performance Evaluation Of a PV (Photovoltaic) Module By Back Surface Water Cooling For Hot Climatic Conditions, Energy 59, 445-453.
- Beyoğlu, M. (2011), Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle SabitEksenli Pv Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Boztepe, M. (2017) Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni, Sayı:321, 13-17.
- Cabanillas, R. (2011), Dust Accumulation Effect on Efficiency of Si Photovoltaic Modules, J. Renewable Sustainable Energy 3 (4), DOI: 10.1063/1.3622609.
- Carvalho, L. (2018), Monthly Profile Analysis Based On a Two Axis Solar Tracker Proposal For Photovoltaic Panels, Renewable Energy 115, 750-759.
- Chatta, M. (2018), Experimental Investigation Of Monocrystalline And Polycrystalline Solar Modules At Different Inclination Angles , Journal of Thermal Engineering, Vol. 4, No. 4, Special Issue 8, 2137-2148.
- Çetiner, İ. (2012), Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Bursa.
- Deniz, E. (2013), Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, III.Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler, İzmir.

- Doğan, H. (2014), Fotovoltaik Güneş Pilleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Dorobanţu, L. (2013), Experimental Assessment of PV Panels Front Water Cooling Strategy, Renewable Energy and Power Quality Conference.
- E. Lorenzo, M. Perez, A. Ezpeleta and A. J. (2002), Design of Tracking Photovoltaic Systems with a Single Vertical Axis, Prog. Photovolt: Res. Appl., vol. 10, 533-543.
- Engin R.,(1995) Güneş Pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları No:3, 151.
- Farhana, Z. (2012), Experimental Investigation of Photovoltaic Modules Cooling System, IEEE Symposium on Computers & Informatics.
- Gassoul, M. (2018), Single axis automatic tracking system based on PILOT scheme to control the solar panel to optimize solar energy extraction, Energy Reports Volume 4,520-527.
- Grubisic, F (2016), Photovoltaic Panels: A Review Of The Cooling Techniques, Transactions Of Famena 40, 63-74.
- Güner Bacanlı, Ü. (2006), Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Santrallerinin Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, 91-99
- Gürbüz, D. (2018), Kir Ve Tozlanmanın Fotovoltaik Sistem Verimi Üzerindeki Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hernandes, R. (2013), Improving the Electrical Parameters of a Photovoltaic Panel by Means of an Induced or Forced Air Stream, International Journal of Photoenergy Volume, ID 830968, 1-10.
- Hosseini, R., Hosseini, N., Khorasanizadeh, H. (2011), An Experimental Study of Combining a Photovoltaic System with a Heating System, World Renewable Energy Congress, Sweden.
- <http://www.enerjiatlası.com/gunes/> , (15.12.2018).
- <https://www.enerjiportali.com/sebeke-baglanti-inverter-cesitleri-verimleri/> (05.02.2019)
- http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029 , (20.01.2019)
- Işıker, Y. Yeşilata, B. Bulut, H.(2006), Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması, I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Eskişehir, 150-155.

- Jiang, H. (2011), Experimental Investigation of the Impact of Airborne Dust Deposition on the Performance of Solar Photovoltaic Modules, *Atmospheric Environment* 45, 25, 4299-4304.
- Kumar, K., Sharma, S., Jain, L., Al Khaimah, R. (2007), Standalone Photovoltaic (PV) module outdoor testing facility for UAE climate, Submitted to CSEM-UAE Innovation Center LLC.
- Küpelı A.Ö. (2005) Güneş Pilleri ve Verimleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Lappalinen, K. (2017), Photovoltaic Mismatch Losses Caused By Moving Clouds, *Solar Energy* 158, 455-461.
- M. Serhan, L. El-chaar, (2010), Two axes sun tracking system: comparison with a fixed system, *Int. Conf. Renew. Energies Power Qual.* 10
- Moharram, K.A. Abd-Elhady, M.S. Kandil, H.A. El-Sherif, H. (2013) Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal* 4, 869–877.
- N. Kaushikaa ve A. K. Rai, (2007), An investigation of mismatch losses in solar photovoltaic cell networks, *Energy*, no. 32, 755-759.
- Nabil, A. (2019), Performance Of PV Panel Coupled With Geothermal Air Cooling System Subjected To Hot Climatic, *Applied Thermal Engineering* 148, 1–9.
- Nakir, İ. (2007), Fotovoltaik Güneş Panellerinde Gts Ve Mgts Kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Nizetic, S. Coko, D. Yadav, A. Grubišic-Cabo, F. (2015), Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response, *Energy Conversion and Management* 108, 287-296.
- Oktik, Ş., 2001, Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.
- Öztürk, E. (2014), Fotovoltaik Panellerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Peker, D., (1999), CuAlxIn1-xS2 Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Popovici, G. (2016), Efficiency improvement of photovoltaic panels by using air cooled heat sinks, *Energy Procedia* 85, 425 – 432
- Sancar, M. (2018), Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Sayın, S. Koç, İ. (2011), Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.26, s.3, 89-106.
- Song, J. (2014), A photovoltaic solar tracking system with bidirectional sliding axle for building integration, Energy Procedia 61, 1638 – 1641.
- Sun, Y. (2014), Direct liquid-immersion cooling of concentrator silicon solar cells in a linear concentrating photovoltaic receiver, Energy 65, 264-271.
- Turhan, S. (2015), Gölgeleme Bileşeni Olarak Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uçar, S. (2018), Konut Çatı Ve Cephelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Trakya University Journal of Engineering Sciences 19(2):, ISSN 2147–0308, 65-76
- Y. Yao, Y. Hu, S. Gao, G. Yang, J. Du, (2014), A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies, Renew. Energy 88-98.
- Yağcı, M. (2017), Economical and Technical Challenges of a Large Scale Solar Plant, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, vol 5 no 2, 70-75, 10.18201/ijisae.2017529085.
- Yeşil Ekonomi, Türkiye’de Güneş Enerjisi, (2018), <https://yesilekonomi.com/turkiyenin-gunes-enerjisi-kurulu-gucu-5-gwa-yaklasti/>, (13.12.2018)
- Yılmaz, M. (2017), İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğinin Arttırılması, Batman University Journal of Life Sciences Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi Volume 7, Number ½, 56-62.

İnternet Erişimleri

- Şekil 1 : www.unienerji.com/arsivler/521
- Şekil 2 : www.gunestenbedavaelektrik.blogspot.com/2014/02/bag-evi-paketi.html
- Şekil 3 : <https://www.solarkatalog.com/300-watt-monokristal-gunes-paneli.html>
- Şekil 4 : www.blackdiamonds.com.tr/plurawatt-265-watt-24-volt-polikristal-gunes-paneli-1727
- Şekil 5 : http://www.alternaturk.org/gunes_pili_malzeme.php
- Şekil 7 : <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uydularda-kullanilan-gunes-panelleri>
- Şekil 8 : <http://www.turksan.com/ince-film-solar-paneller.html>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Halil Burak Demir
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Yenice 10.04.1993
Telefon : 0541 611 27 41
Faks : -
e-mail : halilburakdemir@gmail.com

EĞİTİM

Derece : Adı, İlçe, İl Bitirme Yılı
Lise : Osman Nuri Hekimoğlu Anadolu Lisesi KONYA 2011
Üniversite : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2016
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi 2017
İşletme
Yüksek Lisans : NEÜ FBE Elektrik Elektronik Müh

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	Luvi Elektrik İç Ve Dış Tic. Elektronik İnşaat Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.	Elektrik-Elektronik Müh.
2017	Ots Elektrik Otomasyon Mühendislik Enerji İnşaat San. Ve Tic.Ltd.Şti	Elektrik-Elektronik Müh.
2017 -	Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi	Elektrik-Elektronik Müh. ve Elektrik Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Güneş enerji panelleri uygulamaları, fotovoltaik panellerde verimlilik.

YABANCI DİLLER

İngilizce Yökdil: 60 puan22.09.2018

YAYINLAR

1)Halil Burak DEMİR, Ali Osman ÖZKAN,Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık ve Zenit Açısının Panel Güç Üretimine Etkisi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,