



**T.C.**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNE ETKİ EDEN  
FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUAT ŞAHİN**

**HAZİRAN 2019**



**SUAT ŞAHİN**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ  
VE UYGULAMALARI  
ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2019**

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNE ETKİ EDEN  
FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Suat ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

**Danışman**

**Doç. Dr. Ünal KURT**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2019**

## Yüksek Lisans Tezi kabul ve onay sayfası

Suat ŞAHİN tarafından hazırlanan "Güneş Enerji Santrallerinin Verimlerine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi Anabilim Dalı' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç.Dr.Ünal KURT

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum



**Başkan :** Dr.Öğr.Üyesi Levent GÖKREM

Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi/Mekatronik Müh. Anabilim Dalı,  
Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum



**Üye :**Dr.Öğr. Üyesi Erhan BERGİL

Elektrik-Elektronik Müh.Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum



Tez Savunma Tarihi: 17.06.2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Doç.Dr.Meryem EVECEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Suat ŞAHİN

17.06.2019

# GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.

(Yüksek Lisans Tezi)

Suat ŞAHİN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

## ÖZET

Bu çalışmada, Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi kampüsünde kurulu 200 kW güneş enerji santrali üzerinden uzaktan izleme yöntemi ile elde edilen verilerin iklim şartlarına göre nasıl değiştiği ve bunun enerji verimine etkisi incelenerek bölgesel bazda sonuçlara varılmıştır. Çevresel etkilerin bu sistemler de meydana getirdiği olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi veya yok edilmesi için değerlendirmeler yapılarak tavsiyelerde bulunulmuştur. Bu değerlendirmeler neticesinde elde edilen verilerle Fotovoltaik sistemin panel bazında verimi incelenmiştir. 40°36'26.15"N, 35°48'47.05"E koordinatlarında yer alan 800 adet 250W gücünde panelle kurulan sistemin üzerinde araştırma yapılmıştır. Amasya ili için en sıcak ayın temmuz en soğuk ayın ise şubat ayı olmasından dolayı 2017 yılı şubat ve temmuz ayı iklim verilerinin sonuçları analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında, panel verimlerinin rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, kirlilik ve sıcaklık gibi iklim parametreleri HOBOLINK (uzaktan izleme ve meteoroloji istasyonu) programı aracılığıyla incelenerek, aldığımız parametrelerin üretime etkisi grafiklerle gösterilmiştir.

Sayfa Adedi : 56  
Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Temiz Enerji, Çevresel Etkiler, İklim Şartları  
Danışman : Doç. Dr. Ünal KURT



EVALUATION OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SOLAR POWER  
PLANTS (Master Thesis)

Suat ŞAHİN

AMASYA UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In this study, how the data obtained by remote monitoring method over 200 kW solar power plant installed in Amasya University Faculty of Science and Literature campus according to climatic conditions and its effect on energy efficiency were examined and results were reached on regional basis. Evaluations were made and recommendations were made to minimize or eliminate the negative effects of environmental effects on these systems. As a result of these evaluations, the efficiency of the photovoltaic system on a panel basis was examined. 40 ° 36'26.15 "N, 35 ° 48'47.05" E coordinates of 800 250W panels installed on the system was researched on the system. Amasya province is the hottest month in July and the coldest month in February 2017 due to February and July In the analysis results, climate parameters such as wind speed, solar radiation, pollution and temperature were analyzed by HOBOLINK (remote monitoring and meteorology station) program and the effect of the parameters on production was shown graphically.

PageNumber : 56  
KeyWords : Solar Energy, Renewable Energy, Clean Energy, Environmental Impacts,  
Climatic Conditions  
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ünal KURT

## ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu bana veren, çalışmalarım boyunca destekleyen, yönlendiren ve yazımı sırasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Ünal KURT'a teşekkürü bir borç bilirim



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ .....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI .....	3
3.MATERYAL ve METOT .....	9
3.1. Güneş Enerjisi .....	9
3.2. Güneş Enerjisi Sistemi. ....	10
3.2.1.Fotovoltaik panel ve dizi .....	12
3.2.2.Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi ve ve Matlab/Simulink Analizi.....	13
3.2.3.Panel tipleri.....	15
3.3. Evirici .....	17
3.4. Diğer Güneş Enerjisi Uygulamaları .....	18
3.5. Güneş Enerjisinin Avantajları .....	20
3.6. Güneş Enerjisinin Dezavantajları .....	20
3.7. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	21
3.8. Üretime Etki Eden İklim Parametreleri:.....	23
3.9. Kurulan Sistem ve Özellikleri .....	24
3.10. Sistemin Maliyet Analizi.....	26
4.BULGULAR.....	29
4.1. Rüzgarın Enerji Üretimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	29
4.2. Panel Yüzey Sıcaklığına Etki Eden Durumlar ve Yüzey Sıcaklığının Üretime Etkisi. ....	33
4.3. Hava Kirliliği ve Panel Yüzey Kirliliği: .....	35
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bir PV hücrenin içyapısı.....	11
Şekil 3.2. Temel fotovoltaik hücrelerin birleşmesi .....	13
Şekil 3.3. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi .....	14
Şekil 3.4. Bir PV hücrenin Denklem 1'e göre düzenlenmiş matlab/simulink eşdeğer devre modeli. ....	14
Şekil 3.5. Evirici .....	18
Şekil 3.6. Oval eğik panel .....	19
Şekil 3.7. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli .....	21
Şekil 3.8. Amasya ili güneşlenme süreleri.....	22
Şekil 3.9. Amasya ili güneşlenme haritası .....	22
Şekil 3.10. Amasya bölgesi güç eğrisi.....	23
Şekil 3.11. Amasya ili aylık ortalama radyasyon grafiği.....	23
Şekil 3.12. Kurulu sistemin konumu ve uydu görüntüsü.....	25
Şekil 3.13. Kullanılan uzaktan izleme sistemine ait ara yüz sayfası. ....	25
Şekil 3.14. Panellerin yerleşimi .....	25
Şekil 3.15. Kurulu sisteme dahil olan meteoroloji istasyonuna ait bir görüntü.....	26
Şekil 3.16. Panel yüzey sıcaklığı ölçüm cihazı.....	26
Şekil 3.17. Düzenekte kullanılan eviriciler.....	26
Şekil 3.18. 2017 yılı toplam üretim verileri .....	28
Şekil 4.1. Temmuz ayı rüzgâr hızı-güç çıkışı eğrisi. ....	30
Şekil 4.2. Şubat ayı rüzgar hızı-güç çıkışı eğrisi. ....	31
Şekil 4.3. Temmuz ayı güneş radyasyonu-güç çıkışı eğrisi.....	32
Şekil 4.4. Şubat ayı güneş radyasyonu-güç çıkışı eğrisi.....	33
Şekil 4.5. Temmuz ayına ait üretim grafiği. ....	33
Şekil 4.6. Temmuz ayı panel sıcaklığı güç çıkışı eğrisi.....	34
Şekil 4.7. Şubat ayı panel sıcaklığı güç çıkışı eğrisi.....	34
Şekil 4.8. Şubat ayı toplam üretim grafiği. ....	35
Şekil 4.9. Yüzey kirliliğinin olduğu durumda (temizlik öncesi) evirici çıkışları. ....	35
Şekil 4.10. Baca çıkışları .....	36
Şekil 4.11. Temizlik sonrası panellere ait evirici çıkışları.....	36
Şekil 4.12. Baca bölgesine yakın panellerin görüntüsü. ....	37
Şekil 4.13. Baca bölgesine yakın panellerdeki yüzey birikintileri.....	37

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>kW</b>	Elektrik güç birimi
<b>kWh</b>	Elektrik enerjisi birimi.
<b>m/sn</b>	Rüzgar hızı birimi.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondiyoksit.
<b>f</b>	Şebeke frekansı.
<b>NOCT</b>	Nominal test şartları.
<b>STC</b>	Standart test şartları.
<b>R<sub>s</sub></b>	Kısa devre akımı.
<b>I<sub>sc</sub></b>	Kısa devre akımı.
<b>V<sub>oc</sub></b>	Açık devre gerilimi.
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Metrekareye düşen güç.
<b>I<sub>L</sub></b>	Toplam çıkış akımı.
<b>R<sub>SH</sub></b>	Paralel bağlı direnç.

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>ISO</b>	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
<b>Max</b>	Maksimum

## 1. GİRİŞ

İçinde olduğumuz çağda gelişmiş bilgi toplumlarının; teknoloji ve inovasyon, üretim, ulaşım, iletişim, sağlık gibi hayatın en önemli ve olmazsa olmaz parçaları durumunda olan tüm ihtiyaçları için talep ettiği güç ihtiyacı gün geçtikçe katlanarak artmaktadır. Ancak günümüz geleneksel yöntemleriyle enerji üretimi, iletimi ve tüketimi, insanoğlunun tek yaşam alanı olan dünya için geri dönüşü çok zor olan zararlara yol açmaktadır. Bu sebepten insanoğlu dünya üzerinde her bölgede bulunabilen, çevreye bir zararı bulunmayan enerji kaynaklarını kullanmaya çalışmaktadır. Bu kaynaklarının en önemlilerinin başında rüzgâr, güneş ve su gibi temiz enerji kaynakları gelmektedir. Su, güneş ve rüzgâr enerjileri sınırsız kapasiteye sahip kaynaklardır. Daha elzemi'de bu enerji kaynaklarının doğaya zararlı gaz salınımlarının hiç yok denecek kadar az olmasıdır. Günümüzde enerji üreticilerinin dikkat ettiği en önemli nokta sıfır karbon salınımidir. Sıfır karbon salınımina sahip enerji kaynakları kullanılabilir ve aranır hale gelmiştir. Dünyamızda güneş ve rüzgâr aynı anda ve her zaman bulunamamaktadır. Bundan dolayı güneşin kullanılabilir olduğu durumlarda güneş enerjisini, rüzgârın kullanılabilir olduğu zaman rüzgâr enerjisinin kullanılarak enerji üretebilecek hibrit sistemler tasarlanmıştır. Bu sayede sistemin enerji üretebilme süresi ve kapasitesi yükseltilebilir ve üretimde bir kararlılık elde edilebilir. Ülkemizde büyük güçlü güneş enerjisi santralleri hızlı bir şekilde geliştirilmektedir ve yüzbinlerce dönümlük arazi bu iş için kullanılmaya başlamıştır. Ancak iklim şartlarının güneş enerji santrallerinde elde edilebilecek enerjiye etkileri bugüne kadar literatürde kapsamlı bir şekilde ele alınmamıştır.

Elektrik üretimi günümüzde insanlığın en önemli sorunlarının başında gelmektedir. Enerji ihtiyacı her geçen gün çeşitli değişkenlerden dolayı hızla artmakta ve arz talep dengesi bozulmaktadır. Bu değişkenlerin en önemlileri insan sayısındaki artış, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve insanların yaşam kalitesindeki artıştır. Günümüzde, enerji problemi bütün ülkelerin karşı karşıya kaldığı ve münferit bir sorun olmaktan daha çok dünya çapında bir durum konumuna gelmiştir. Günümüzde süren çatışmalar ve savaşlarda aslında küresel kaynak sıkıntısının toplumlara bir yansıması olarak anlaşılabilir. Enerji yalnızca insanoğlunun birincil ihtiyaçlarını yerine getiren bir olgu konumundan çok uluslararası ilişkilere yön veren bir faktör haline gelmiştir. Hâlihazırda yeryüzünde kullanılmaya devam edilen kaynakların %90'ına yakını geri dönüşümü olmayan kaynaklardır. Bu kaynakların başlıcaları petrol kömür ve doğalgazdır. Bu kaynaklardan elde edilen enerjiler asla sonsuz

değildir ve mutlaka ilerleyen zamanlarda yetersiz kalacakları bilinen bir durumdur. Bu durumda, fosil kaynaklarla çalışabilecek yapıya sahip birçok teknolojik sistem de gün geldiğinde aktifliğini kaybetmeye mahkûmdur. Bunun sonucunda 'da bütün ülkelerin ekonomik ve beşerî yapılarını olumsuz etkileyecek kadar önemli ölçekte etkiler gerçekleşebilir.

Bununla birlikte önemli bir başka durumda, yeraltı kaynaklı enerjilerin meydana getirdiği olumsuz çevresel etkilerdir. Dünya üzerinde mevcut olan çevre problemlerinin büyük bir bölümü yeraltı kaynakların tükenmesi nedeniyle meydana gelmektedir. Bu durumda meydana gelen zararlı etkiler hem çevreyi kirletmekte hem de insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bunların dışında küresel ısınma, içme sularının ve tarım arazilerinin kirlenmesi, bitki ve hayvan yaşamlarının zarar görmesi, çölleşme ve biyolojik türlerde azalmalara, asit yağmurları gibi olumsuz etkilere de yol açmaktadır. Doğal dengeyi bozan bu sorunların asıl sebebi yeraltı kaynaklarının çok yüksek miktarlarda kullanılmasıdır. Yukarıda değindiğimiz sıkıntılar nedeniyle, özellikle küresel boyuttaki 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden sonra, bilim insanları bu kaynakların yerine koyulabilecek farklı enerji kaynakları için yoğun çaba harcamaktadırlar. Bu yeni enerji kaynakları ise, her zaman yeryüzünde bulunabilir durumda bulunan temiz ve yenilenebilir olan enerji kaynaklarıdır. Bu enerjilerin bazıları hidroelektrik (su gücü) rüzgâr, biokütle hidrojen, güneş, jeotermal ve deniz-dalga enerjileridir. Bu kaynakların kendini yenileyebilir niteliklere sahip olmaları, ucuz olmaları ve ekosisteme çok az zarar vermeleri, özellikle sanayi ülkelerinin bu tip kaynaklara yönelmelerini sağlamış ve enerji üretim teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesine olanak sağlamıştır Bu enerji kaynaklarının, elektrik enerjisinin kullanıldığı her yerde çevrime sokulmasının gelecekte bir mecburiyet haline gelmesi beklenmektedir. İstenen bir diğer durum ise, insanlığın kalkınmasının temel unsurlarının başında gelen enerjinin sürekli,güvenilir,temiz ve ekonomik olacak şekilde elde edilebilmesinin enerji üreticilerince vazgeçilmez ve sürekli bir enerji politikası olarak kabul edilmesidir.

Bu çalışmada, Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi kampüs çatısı üzerine kurulu 800 adet güneş paneli ile 200 kW güneş enerji santrali üzerinden Hobolink uzaktan izleme yöntemi ile elde edilen verilerin ortam sıcaklığı, panel yüzey sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneş radyasyonu, gibi iklim şartlarına göre nasıl değiştiği ve bunun enerji verimine etkileri incelenerek bölgesel bazda sonuçlara varılmaya çalışılmıştır. Çevresel etkilerin bu sistemlere olası olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ya da tamamen ortadan kaldırılmasına

yönelik bazı değerlendirme ve tavsiyelerde bulunulmuştur. Bu tavsiyeler sonucunda özellikle yukarıda bahsettiğimiz temiz enerji elde etmeye yönelik çalışmaların daha verimli hale gelmesi için güneş santralleri kurulurken bölgesel iklim şartlarının çok iyi değerlendirilmesi konusunda tavsiyelerde bulunulmuştur.



## **2. LİTERATÜR TARAMASI**

Bachtır, Fas bölgesinde bir güneş enerji sistemi üzerine çalışmada bulunmuş olup solar



panel destekli bir su pompalama sisteminin etkili bir şekilde çalışması için işletme şartları üzerinde incelemeler yapmıştır. Burada kullanılan iki tane pv panel yardımıyla maksimum güç noktasını tespit etme ve akım paylaşımlarının analizi işlemini yapmışlardır [1]. Fanney ve arkadaşları, Kurdukları bir dizi güneş panelleri ile bu paneller üzerinde birtakım testleri içeren bir çalışma yapmışlardır [2]. Bu çalışmada kurulu bir uzaktan takip ve kayıt sistemi ile çalışılmış ve hava olaylarıyla ilgili değişimlerin izlenmesinde ve çeşitli iklimsel uygulamaların yapılmasında kullanılabileceğine dikkati çekmiştir. Carlson ve arkadaşları, kurdukları bir güneş pili sisteminde uzaktan takip programını kullanmış ve maksimum güç ihtiyaçlarına göre uygun yük seçimi üzerinde sonuçlara varmıştır [3]. Kutlu tarafından yapılan çalışmalarda da bir güneş santrali modeli üzerinde çalışmalar yapılarak [4] Isparta'nın güneş enerjisinden yararlanma oranı araştırılmıştır. Bu çalışma sırasında bir güneş pili sistemi ile çalışan düzenek kurularak belirli iklim koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Örnek düzenek bir adet güneş pili, regülatör devresi, akü, DC-AC evirici devresi, trafo ile, yük ve ölçü elemanlarından oluşmaktadır. Deneyler Keçiörsü Meslek Yüksek Okulu'nda yapılmış olup, güneş pili tam güneşe ve 37° eğime yerleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada güneş pillerinin güneşi takip sistemi olmadan sistemdeki bileşenlerin (evirici, akü, vb.) verimleri kayıt altına almıştır [4]. Yeşilkaya tarafından yapılan incelemede ise güneş pillerinin bir mikroişlemci ile güneşe göre konum denetiminin tasarımı ve hayata geçirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Yine bu çalışmada, güneş panellerinin güneş'i takip ederek tüm gün boyunca maksimum güç üretimi amaçlanarak buna göre elektronik bir modül oluşturulmuştur [5]. Taşdemiroğlu, yüksek kapasiteli rüzgâr santralleri kurmak için, Türkiye'deki 120'ye yakın gözlem istasyonunda, uzun vadeli rüzgâr ölçümleri gerçekleştirilmiştir [6]. Bu ölçümler kullanılarak günlük, haftalık ve aylık bazlarda ortalama rüzgâr verileri ve haritaları ile yıllık ortalama rüzgâr yoğunluğu haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar güneş enerji santrallerinde üretime etki eden rüzgâr faktörünün hesaplanmasında veri kaynağı görevi görmektedir. Sonuç olarak, bu sistemlerin güneş santrallerinin kurulumunda referans olarak kullanılabilirliği sağlanmıştır.

Coğrafi etkenlerin ve özellikle çevredeki diğer engellerin, rüzgâr ölçümleri ve verilerin işlenmesinde önem arz ettiği görülmüştür [7]. Yalnızca güneş veya rüzgâr enerjisi eldesinin hava ve iklim şartlarındaki değişimlerin etkili bir şekilde gözlenememesinden dolayı tesislerin kurulumunun ekonomik olmaktan uzaklaştığı tespit edilmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisinin birlikte kullanıldığı santrallerin çeşitli aydınlatma sistemleri ve tarımsal sulama sistemleri için pompa için ihtiyaç duyulan enerjisinin elde edilmesinde kullanımını test

etmiştir [7]. Koussa ve ark. Cezayir 'in kırsal coğrafyalarında enerji talebini yerine getirmek için şebekeyle herhangi bir bağlantısı bulunmayan güneş, rüzgâr ve bir dizel jeneratör kullanarak enerji ihtiyacının karşılanıp karşılanamayacağı üzerinde çalışmalar yapmıştır [8]. Sistemin tasarımı amacıyla Matlab programını kullanılmıştır. Farklı ihtiyaçlara yönelik üretim amacıyla yaptıkları ölçümlerle yenilenebilir enerji kaynaklarının kalitesi yükseldikçe sistemin veriminin yükseldiği ve birim güç için enerji maliyetinin düştüğünü ve sistemin daha ekonomik hale geldiğini tespit etmişlerdir. Rüzgârın hızının fazla olduğu bölgelerde elektrik enerjisi talebinin büyük bir çoğunluğunun rüzgâr ve güneş santralleri ile yerine konulabileceği konusunda fikir birliğine ulaşmışlardır [8].

Setiawan ve arkadaşları günün 07.00 ile 16.00 saatleri arasında enerji ihtiyacı çok olan, bir içme suyu ve tuzlu su arıtma ünitesinin enerji talebini yerine getirmek için, birleşik bir sistem planlamayı düşünmüşler [9]. Solar panel/rüzgâr türbini ve bir dizel jeneratör içeren çalışma düzeneği için bölgesel iklim özellikleri göz önünde bulundurularak santrallerin maliyet hesaplaması yapılarak bu sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu incelemeler ışığında kurulan rüzgâr türbini/güneş ve dizel ünitelerden oluşan düzeneğin birim enerji başına maliyetinin 0,437\$/kWh olduğu tespit edilmiştir. Bu düzenele, elde edilen enerjinin %80'nine yakınının dizel ünitelerden ve yaklaşık %20'sinin ise rüzgâr türbininden ve güneş panellerinden elde edildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra sistemin amorti süresini de yaklaşık 130 ay olarak tespit etmişlerdir [9]. Engin ve Çolak, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından yaklaşık 4 yıl süresince takip edilen güneşten gelen ışınımları, rüzgâr hızları ve ortam sıcaklıkları sayesinde yapılan çalışmalar neticesinde güneşten rüzgârdan sağlanacak elektrik enerjilerinin birbirlerini tamamlayıcı özellikte oldukları tespit edilmiştir. Bu tespitlerden hareketle enstitü yerleşkesinin geceleri ihtiyaç duyduğu güvenlik ve çevre aydınlatmalarını karşılayabilecek yeterlilikte bir güneş-rüzgâr birleşik üretim sistemini projelendirmişlerdir. Elde edilen sistemde, yaklaşık on iki ay boyunca gerekli temel parametrelerin onar dakikalık periyotlarda ortalama değerlerini kayıt altına alarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır [10]. Hongxing ve arkadaşları., Çin'in güneydoğusunda bir haberleşme istasyonunun ihtiyaçları için güneş/rüzgâr birleşik enerji üretimi yapan sistem modelinin çalışması üstüne bir değerlendirme yapmışlardır. Yapılan değerlendirmede on iki aylık, birer aylık ve birer saatlik veri ölçümü yapmışlardır. Bu ölçümlerde rüzgâr ünitesinin bir aylık sürede enerji üretimindeki payı, bataryaların şarj durumlarını ve enerji dengesine etkisini incelemişlerdir. Güneş paneli ile rüzgâr türbinin birlikte kullanıldığını ve bunun sonucu panel ve türbinlerin birbirlerini tamamlayıcı özellik göstermesi sebebiyle

sistemin kararlılığının yüksek olduğu tespit edilmiştir [11].

Elhadidy ve Shaahid yaptıkları çalışmada Arabistan'ın Dhahran bölgesinde kurulu rüzgâr, güneş ve dizel kaynaklardan enerji alan birleşik üretim sisteminin on iki ayda 41.500 kWh elektrik enerjisi elde edebilmesi için yeterli güneş paneli alanını ve toplam rüzgâr türbini sayısı ile akü kapasitesini tespit etmişlerdir. Bu çalışmayla, kurulu iki adet 10 kW gücünde rüzgâr türbini ile 30 m<sup>2</sup> toplam yüzey alanına sahip PV yüzeyi ve yük talebini %23 karşılamakla yükümlü dizel jeneratör sistemden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Burada sistemden akü devresi çıkarıldığında bu kez toplam yükün %48'inin dizel jeneratör sisteminden elde edilmesi gerektiğini kayıt etmişlerdir [12]. Lagorse ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Fransa'da PV panel ve batarya ile oluşturulan geleneksel sistemi daha fazla geliştirmek adına PV panel, batarya ile yakıt pilinin birlikte çalıştığı daha bütünleşik bir sistem tasarlamışlardır. Bu düzeneği oluşturmak için orijinal zaman kayıtlama metotlarını kullanmışlardır. Kurulan simülatörü, farklı birleşik sistemlerin geçerliliğini değerlendirme amacıyla çalıştırmışlardır. Sistem şebekeden tamamen bağımsız bir şekilde cadde ve sokakların aydınlatma problemi için optimizasyon metoduyla ve kurulan bir simülasyon modelini kullanarak detaylandırabilmişlerdir. Sonuç olarak, referans bir model elde edilmekle birlikte, kurulan düzeneğin ekonomik fayda süresinin 25 sene civarı olduğunu belirlenmiştir [13]. Zhou ve arkadaşları, şebeke sisteminden tamamen bağımsız biriktirmeli rüzgâr türbini ve güneş panellerinden oluşan bir enerji sistemi tasarımı ve optimizasyonunun kontrol teknolojilerinden elde edilen sonuçlarını incelemişlerdir. Bu alanda hâlihazırda süren araştırmalara ve gelişmelere ek olarak sistemin toplam performansının sağlanmasında, çıktı tahmin tekniklerinin elde edilmesinde ve bu tekniklerin diğer enerji üretim kaynaklarıyla veya geleneksel enerji üretim yöntemleriyle bir bütün şekline getirilmesinde ihtiyaç duyulmakta olduğu kanısına varmışlardır [14]. Yıldız, "PV Modüllerin meskenlerde kullanımı ve PVSYST 3.21 programı ile bir evin simülasyonu" adlı yüksek lisans tez çalışmasında enerji harcamalarında büyük bir paya sahip olan meskenlerde güneş enerjisinden yararlanma imkânlarını araştırmıştır. Güneşten aktif bir şekilde faydalanma olanağı veren PV sistemlerin yapılarda kullanılabilirliği incelenmiş ve PV sistemlerin projelendirilmesinde kullanılan fotovoltaik (PV) simülasyonları araştırılmıştır. Bu simülasyonlar içinden belirlenen bir tanesiyle Ankara Armada AVM'nin modellenmesi oluşturulmuş ve elde edilen veriler üzerinde çalışılmıştır [15].

"Güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm yapan fotovoltaik güneş panel dizileri ve

güç sistemleri” adlı çalışmasıyla yeryüzüne gelen güneş ışınları ve bu ışınlardan faydalanarak elektrik enerjisi üretmeyi sağlayan güneş panel dizilerini (fotovoltaik modüller) incelenmiştir. Güneş paneli dizilerinin üretilme şekilleri ve kullanılan farklı materyallerin verimlilikleri incelenmiştir. PV modüllerinin birleştirilmesiyle oluşturulan fotovoltaik güç sistemleri ise şebekeyle senkron yada şebekeden tamamen bağımsız bir şekilde çeşitli uygulamalar olmak üzere ele alınmış ve özellikle ülkemizde PV sistemlerden yararlanmak için yapılması gereken uygulamaları içeren öneriler paketi oluşturulmuştur [16]. Çelebinin “Bir Binanın Düşey Kabuğunda ki PV Hücrelerin Kullanım İlkeleri” adlı çalışmada PV düzeneğin kullanımının önemi üzerinde durularak bu tip sistemlerin kısa bir tarihçesi verilmiştir. PV modüllerin genel yapısı, çeşitleri ve temel özellikleri incelenerek bu sistemlerin yapının dış kabuğunda kullanılması durumunda tasarımları etkileyen olası faktörler üzerinde durulmuştur. Bir binada dış kabuğun tamamında fotovoltaik panellerin uygulama olanakları şekilsel farklılıklara göre sınıflandırılarak çeşitli şekiller yardımıyla açıklanmıştır [17].

Aynı zamanda panellerdeki tozlanma ve toz birikimi gibi, panel tesisatlarının verimliliğini temel olarak etkileyebilecek ve her bölgede mevcut olan bu durum genellikle göz ardı edilmiştir. Ayrıca, güneş paneli üretiminde kullanılan malzeme bilimi ve malzeme teknolojisindeki gelişmelere rağmen ve PV hücrelerin düşük iç dönüşüm verimliliğine (ortalama olarak %20' civarı) sahip oldukları gerçeğine dikkat edildiğinde, sert iklim şartlarının, panel verimini ve toplam sistem verimliliğini daha da azaltabildiği gözlemlenmiştir.

Dünyanın en büyük bilişim kuruluşlarından olan Google ABD'nin Kaliforniya eyaletinde 1.6MW'lık güneş enerjisi tesisinde hava kirliliğinin sebep olduğu kirliliğin güneş panellerine olumsuz etkilerini inceledi [18]. Firma düz ve eğik yapıları paneller üzerinde iki adet farklı sistem kurdu. Uygulamada düz sistemin üzerinde yoğun kir birikimi meydana gelirken eğik panellerden yağmurun etkisi ile kirin kısmen temizlendiği gözlemlendi. 15 ayın sonunda düz yerleşimli panellerin temizlenmesi sonucunda sistemin enerji verimliliğinin iki katına çıktığı gözlemlendi. Aynı çalışmada, eğik yerleşimli paneller için farkın nispeten daha küçük meydana geldiği saptandı. Bunun sebebi eğik panellerin aslında kendi kendini temizlemeye daha yatkın bir konumda olmasıydı, ya da daha az kir tutması. Kaliforniya'da Kurulu solar paneller üzerine toz etkisini araştırmak için yapılan farklı bir araştırmada da, kirli solar panellerindeki kirin temiz panellere oranla % 2'lik bir akım

azalmasına neden olduğu tespit edildi [19].

Hottel ve Woertz, Havadaki tozun enerji sistemlerinde meydana getirdiği olumsuz etkileri araştıran ilk kişiler arasındaydı. alışmalarında, ortalama güneş radyasyonun üretim kaybının %1'den küçük olması durumunda kollektör performansında % 4.7 azalmaya sebebiyet verdiği tespit edilmiştir [20]. Salim ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada da Arabistan bölgesinde kurulu bir güneş paneli sisteminde meydana gelen toz birikimi sebebiyle sekiz ay sonunda sistemin performansında %32 azalma olduğu izlendi. Yine bu çalışmada Kuveyt'teki güneş santralinde kum birikimi nedeniyle panel glerinde %17 gibi bir azalma olduğunu belirtildi. Ayrıca, alışma, tozun panel performansı üzerindeki olumsuz etkisinin ilkbahar ve yaz aylarında sonbahar ve kişa oranla daha fazla olacağını gösterdi [21].

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Güneş Enerjisi

Dünyamızdan 151.106km uzakta bulunan güneş gezegeni nükleer kaynaklar haricinde yeryüzünde tüketilen yakıtlar içerisinde en büyüğüdür. Dünya ile evrendeki diğer tüm gezegenlere enerji sağlayan sınırsız ve devasa bir gücü vardır. İçerisinde, devamlı bir şekilde hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesine sebep olan füzyon reaksiyonları meydana gelmektedir ve bunun sonucu olarak meydana gelen kütle farkları ısı enerjisine dönüşüp uzaya yayılmaktadır. Ancak bu enerji miktarının çok az bir kısmı dünya yüzeyine ulaşabilmektedir. Yeryüzüne kadar gelebilen ışınımın çok düşük olmasının asıl sebebi, atmosferimizdeki CO<sub>2</sub>, su buharı ile ozon gibi gaz maddelerin ışınımı söndürmelerinin yanında, aşmaları gereken mesafenin çok uzun olmasıdır [22]. Çok büyük ve sonsuz bir enerji kaynağı olan güneşten yeryüzüne doğru hareket eden toplam gücün miktarı yaklaşık olarak  $1.8 \times 10^{11}$  MW' dır. Bu değer toplamda dünyadaki tüm ticari ve müstakil enerji tüketicilerinin bugünkü toplam tüketim değerlerinin on binlerce katına eşittir. Bu duruma göre güneş enerjisi dünyamızın, bu günkü ve gelecekteki toplam enerji ihtiyacının tamamını karşılayabilecek kapasitededir [23]. Güneşten gelen enerjinin alınması ve depolanması bu enerjinin kullanılabilmesi için öncelikle meselelerdir. Güneşten gelen enerjiyi toplama işlemi iki metotla yapılabilmektedir. Bu metotlar elektrik üretebilmek için tasarlanan PV piller ve güneşin verdiği ısıyından direkt olarak faydalanmak için tasarlanmış güneş sıcaklık ısııl enerji kolektörleridir. Genellikle sıcak kullanım suyunun eldesinde yararlanılan güneş sıcaklık ısııl enerji toplama kolektörlerinin üretimi daha ucuz ve basitken verimleri de son derece yüksektir [24]. Bu sektörde en yoğun şekilde çalışan kolektörler, düz yüzeyli ısııl güneş enerji kolektörleridir. Bu kolektörler direkt olarak yüzeye doğru yönelen güneş enerjisinden kaynaklı radyasyonun yanı sıra kırılmalar ve yansımalar sebebiyle dağılan durumda olan yayılmış güneş radyasyonunu da ısıya çevirebilirler. Genelde düz yüzeyli tasarlanan kolektörler 1000 C<sup>0</sup>'yi aşmayan uygulamalarda tercih edilirler. Güneşin takibine gerek olmayan, güneşe çevrili ve güneş radyasyonu belirli saatlerde yüzey üzerine dik çarpacak şekilde belirli bir eğimle sabitlenen bu kolektörlerin mevsimlik ayarlanması ise mutlaka gerekmektedir. Meskenlerde yaygın olarak tercih edilen enerjili sıvı ısıtıcı sistemlerinde kullanılan kolektörler bu sınıftadırlar. Bu tip bir kolektörde emici tabaka, yüzey ısı yalıtımı, üst yansıtıcı (cam veya plastik) örtü ve ana gövdeden yani kasa kısmından oluşmaktadır. Yüzeye gelen ışınım, ana soğurucu bir plaka sayesinde emilerek su ya da hava

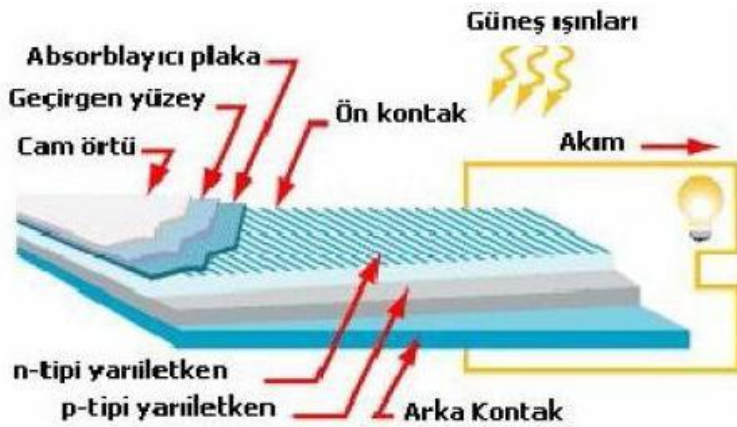
gibi bir akışkan materyale ısı olarak taşınır. Isıtılmak üzere hazırlanan akışkan maddenin türüne göre emici düz yüzeyde borular ya da buna benzer özel kanallar kullanılabilir. Isıl geçirgenlikleri ya da özgül ısıları yüksek olması istenen soğurucu yapılar, plaka yapılı ısı eşanjörleri gibi düşünülebilir. Güneş ışınımının çarptığı yüzeyler, büyük oranda bir enerjiyi emebilmesi için mat siyah bir renge boyanırlar ya da özel bir işlemle daha geçirilerek ışınım seçici bir başka tabaka ile kaplanırlar. Soğurucu olarak kullanılan kısmın hemen ön kısmında ya tek ya da çift saydam bölgeli bir örtü, arka tarafında ise sırt ısı yalıtma malzemesi bulunmaktadır.

### 3.2. Güneş Enerjisi Sistemi.

Fotovoltaik (PV) etki; Oluşturulan bu tip sistemler fiziksel yapıları bakımından ele alındığında bir PV hücresi ile bir PN yüzey birleşmeli diyotun birbirine çok benzer olduğu görülmektedir. Güneş ışınlarından gelen ışınım altında kalan farklı iki tip malzemenin ortak yüzeyleri arasında meydana gelen elektriksel potansiyelidir. Panel hücresi, meydana gelen bu etkiyle birlikte üzerine gelen ışık enerjisini doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştürür. Bu etki ilk olarak Fransız bilim insanı Becquerel tarafından 1839 yılında tespit edilmiştir. Yaptığı çalışmada Becquerel güneş pillerinin, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her durumda kullanılabilir olduğunu belirtmiştir Güneş enerji sistemleri uygulamaya ve ihtiyaca bağlı olarak; akü, evirici sistemi akü dolum denetim devreleri solar kablolar ve çeşitli elektromekanik destek devreleri ile beraber uygulanarak bir güneş pili enerji sistemini meydana getirirler. İlk başlarda bu sistemler, kurulu dağıtım hatlarından uzak olan tüketim merkezleri ya da hiç, elektrik hattı bulunmayan yörelerde ve yine jeneratöre yakıt bulmanın çok zor ve maliyetli olduğu yerlerde kullanılırlar. Bununla beraber dizel yakıtlı bir jeneratörler ya da başka güç üniteleri ile beraber karma olarak üretim yapmaları da imkânlar dâhilinde değerlendirilmektedir. Bir fotovoltaik sistem, doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) ile çalışan yüke enerji sağlamak amacıyla, güneşten gelen enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürebilme yeteneğine sahiptir. Bu üretim sonucunda elde edilen elektrik enerjisi her zaman doğru akımdır.. Sistem gücü uygun olduğunda buradan doğru akım ile çalışan bir yük direk olarak beslenebilir. Ancak yük bir A.C şebekesine ihtiyaç duyuyorsa ek olarak DC/AC evirici devresine ihtiyaç vardır. Güneş ışınımı sürekli ve kararlı olmadığı için, üretilen enerjinin depo edilebilmesi içinde akülere ihtiyaç duyulabilir. Bu yüzden eğer arz ve talep dengesi iyi oluşturulmazsa yükten gelen talebi karşılamakta zorlanan sistem elemanları ya da yük zarar görebilir. Bununla birlikte üretilen enerjinin

alıcının ihtiyacından daha fazla olduğu durumlar da oluşabilmektedir. Bu ihtiyaç fazlası enerji de akülerde depo edilerek, güneş ışığının olmadığı ya da düşük olduğu zaman dilimleri için enerji eldesin de kullanılabilirler Solar enerji sistemleri yerleşim yerlerinden uzakta olan noktalarda bulunan elektrik alıcılarını beslemek için, yerel elektrik şebekesinden bağımsız olarak ta inşa edilebilmektedirler. Uygun durumlarda ve düzeneklerle kurulan sistemler birlikte çalıştırılarak yerel elektrik şebekelerine yakın olan yerlerde kurulan solar üretim merkezleri, şebekeye enerji desteği verecek şekilde de projelendirilebilirler [25].

Şekil 3.1.'de bir PV hücrenin içyapısı gösterilmiştir. Işık, panelin birleşim yüzeyi tarafından soğurulduğunda, emilen bu fotonların toplam enerjisi malzemenin elektron sistemine yönlendirilir ve bunun sonucunda birleşim yüzeyinde farklı kısımlara çekilerek yük taşıyıcıları meydana gelir. Bu taşıyıcılar birleşim yüzeyleri bölgesi boyunca, bir elektrik alanı altında sürekli artan ve tıpkı bir dış kaynak varmışçasına sürekli yinelenen bir potansiyel güç çıkışı oluşturur. Elektrik enerjisine dönüştürülmüş olan bu güç, birleşim yüzeylerinden akan akımın karesiyle hücrenin direncinin çarpılması şeklinde elde edilebilir. Fotonlarda kalan enerji ise hücrenin ısısının artmasına sebep olur. PV potansiyelinin ana kaynağı, fermi seviyesi olarak isimlendirilen, yalıtılmış olan iki malzemenin elektronları arasındaki kimyasal potansiyel farktır. Bu iki ayrı tür malzeme yapısı bir araya getirildiğinde yeni bir ısıl denge meydana gelir. Bu dengeli sistem, gerçekte güneşten gelen ışınımın elektron miktarlarında bir değişme meydana getirmesiyle bozularak iki ana malzeme arasındaki elektron düzenini dengelemek amacıyla bir yöne doğru meydana gelen elektronların hareketiyle bir fotoakımı oluşturur [26].



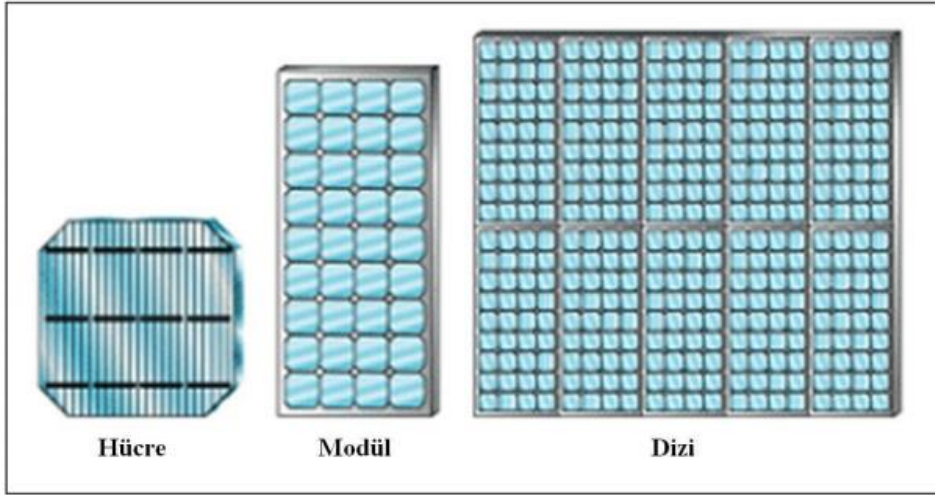
Şekil 3.1. Bir PV hücrenin içyapısı.



Meydana gelen bu fotoakımı değerlendirmek amacıyla, birleşim yüzeylerinin her iki yönüne metal temas yüzeyleri konulur. Elektrik'i temas noktaları; bağlantılı arka yön temas noktalarının tümü ve önde bulunan temas noktalarının sadece bir kenarları kullanılarak meydana getirilir. Panel yüzeyine doğru gelen güneş ışınımının belirli bir kısmı şeffaf malzeme üzerinden bir yansıma ile geri döner. Bunun sebebi olarak enerji kayıpları ortaya çıkar. Bu kayıpları önlemek ya da daha aza indirmek için panelin ön yüzey kısmına yansımayı azaltıcı bir madde konulur. PV hücresi bu şekliyle üzerine gelebilecek mekanik darbelerden kolaylıkla hasar görebilir. Bu sebeple güneş ışınlarının geçiren özel bir yapıştırıcı madde kullanılarak ön yüzeyin üzerine konulan cam ile mekanik sağlamlıkta artırılmış olur [26].

### **3.2.1. Fotovoltaik panel ve dizi**

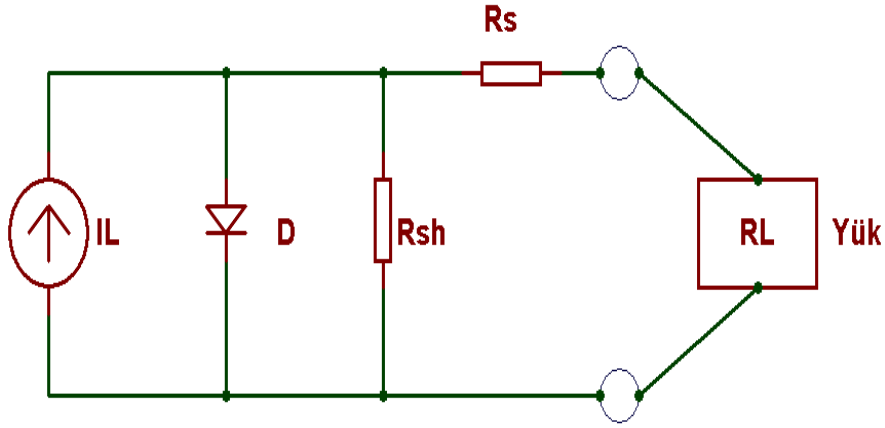
Enerji üretebilen bir PV hücresi, güneş enerji güç sisteminin en temel ve önemli elemanıdır. Genel olarak bir temel hücre birkaç  $\text{cm}^2$ 'lik bir yüzey alanına sahiptir ve çok küçük büyüklükte enerji elde edebilir. Elde edilen bu küçük güç bir güneş sistemi için yeterli değildir. Daha büyük güçler elde edebilmek amacıyla çok fazla sayıda PV hücre seri veya paralel olarak bağlanabilir. PV hücrelerin seri veya paralel bağlanması sonucunda meydana gelen sistemin bütününe PV panel adı verilir. Daha büyük güçlü tasarlanan sistemler için panel gücü de düşük kalabilmektedir. Bundan sonrası için ise panellerin sistemin talep ettiği gerekli gücü, gerilimi ve akımı karşılayabilmek için seri veya paralel bağlanmalarıdır. PV panellerinin birbirlerine seri ya da paralel olarak bağlanmaları ile oluşturulan yeni düzenek de fotovoltaik dizi adını alır [26]. Buna örnek bir sistem Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Temel fotovoltaik hücrelerin birleşmesi

### 3.2.2. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi ve Matlab/Simulink Analizi

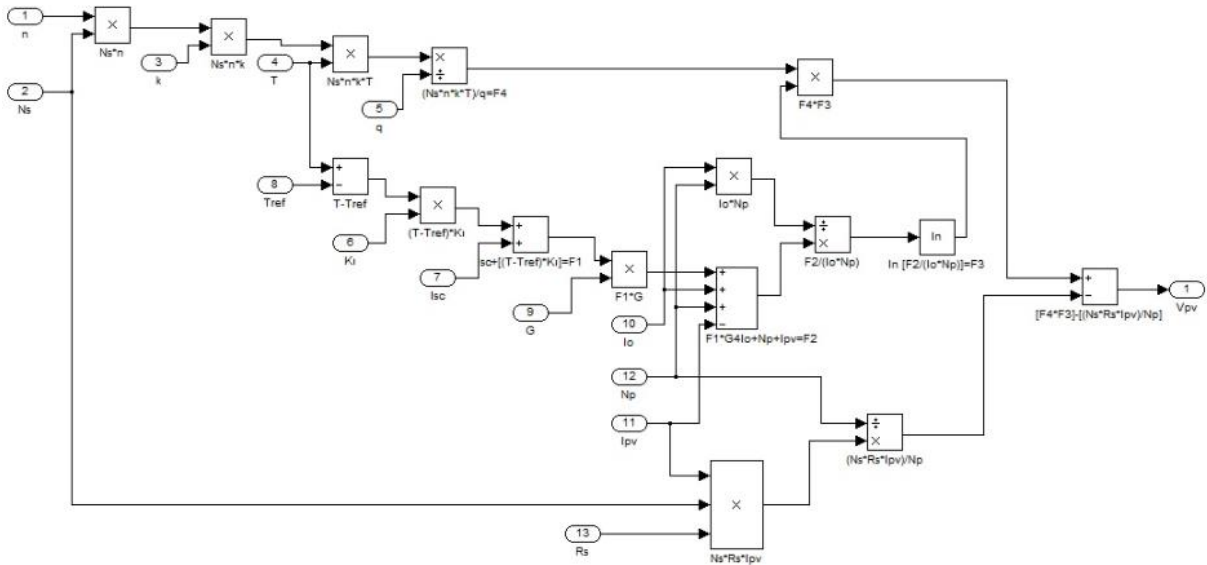
Şekil 3.3.'teki eşdeğer devrede (I) toplam çıkış akımını, (IL) güneş ışınlarından elde edilen toplam akımı ve buna seri olarak bağlı direnç (RS), çıkış akımına karşı gösterilen toplam iç direnci temsil etmektedir. Bu iç direncin değeri hücrenin PN birleşme yüzeylerinin yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Burada paralel bağlı direnç (Rp), meydana gelen sızıntı akımını temsil etmektedir. Teoride ideal bir PV hücresinde  $RS=0$  ve  $Rp=\infty$  olarak kabul edilir. 1 inçlik yüksek kalitede bir PV hücrede  $RS=0,05-0,10 \Omega$  ve  $Rp=200-300 \Omega$  aralığındadır. Seri direnç üzerinde meydana gelen bir miktar artış, çıkış gerilimini gözle görülür ölçüde düşürmektedir. Bu sebepten fotovoltaik sistem çevirimin verimi de seri dirence duyarlıdır. Toplam yük akımı sıfırken, hücrenin açık devre gerilimi (VOC) elde edilebilir [26]. Bir güneş paneli hücresinin/güneş pilinin Şekil 3.3'de gösterilen tek diyotlu devre modellemesine bakıldığında sistemden elde edilen çıkış geriliminin sistem yüzeyine gelen güneş ışınlarına göre değişen toplam foton akımına ve diyotun ters yönde doyma akımına ile toplam yük akımına bağlı olarak değişiklik göstermesiyle ilgili bulunan eşitlik Denklem 1' deki gibi ifade edilebilmektedir.



Şekil 3.3. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi

$$V_{pv} = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}{q} \ln \left[ \frac{I_{SC} + K_1 \cdot (T - T_{ref}) \cdot G + I_0 - I_{pv} + N_p}{I_0 \cdot N_p} \right] - \frac{N_s \cdot R_s \cdot I_{pv}}{N_p} \quad (1)$$

Denklem 1' e göre düzenlenmiş matlab/simulink eşdeğer devre modeli Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Bir PV hücrenin Denklem 1'e göre düzenlenmiş matlab/simulink eşdeğer devre modeli.

Eğer ortam sıcaklığı yükselirse, hücre sıcaklığı da yükselmekte, bu da üretilen enerjinin azalmasına neden olmaktadır. Sıcaklığın artması ile PV hücrenin kısa devre akımı artarken açık devre gerilimi azalmaktadır.

Bir solar panelin hücre sıcaklığı ( $T_c$ ), istenilen bir hava sıcaklığı ( $T_a$ ) ve ışınım ( $G$ ) değeri için NOCT sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilir.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0.8} G(kW/m^2) \quad (2)$$

Burada bulunan sıcaklık değeri, güneş panelinin gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı olan  $\mu_p$  ile birlikte kullanılarak panelin çıkış gücü hesaplanabilmektedir.

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (3)$$

Burada  $P_{m,STC}$  standart test koşullarındaki (STC) panel gücüdür. FV panellerde NOCT sıcaklığı 42- 52°C arasında değer almaktadır. Paneller arasındaki bu 10°C'lik fark, sıcaklığa bağımlılık katsayısı  $\mu_p=0.38-0.45$  %/K arasında kabul edilirse %3.8-4.5 arasında bir güç farklılıkları ortaya çıkarır ki bu önemli bir miktardır. Dolayısıyla panel seçiminde NOCT sıcaklığı ile gücün sıcaklığa bağımlılık katsayısı birlikte değerlendirilmeli ve sıcaklıktan en az etkilenenler seçilmeye çalışılmalıdır. Böylece sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda performans düşüşü azaltılmış olacaktır.

### 3.2.3. Panel tipleri

#### Kristaline Paneller

Sanayide büyük güçlü tesislerde yaygın olarak kullanılan panel tipidir. Tahmini ömürleri 90 yıl civarındadır. Mono kristal ve poli kristal olarak iki tipleri mevcuttur.

#### Mono Kristalin

Verim ve kalite olarak mono kristalin güneş pilleri verimleri yüksek olan mono kristalin hücrelerinden oluşurlar. Bu panel tipleri eşdeğer gücü veren Poli kristalin panellere nazaran %1 ila %2 daha küçük yüzey alanına sahiptirler. Bununla birlikte üretimi için kullanılan teknoloji nedeniyle üretim süreçleri daha uzun sürmektedir. Buna rağmen mono kristalin yapılı güneş paneleleri daha uzun vadeli yatırımlar için çok daha iyi bir seçenektir. Güneş pilinin mono kristalin yapıda olması demek tüm hücre yapısının sadece kristalinden meydana gelmesi ve malzemenin atomal yapısının dengeli olması demektir. Yeryüzünde

bulunan tüm kristalin yapılar gerçekte poli kristalin şeklindedir, yalnızca elmas mükemmel yakın mono kristalin özelliği gösterir.

### Poli Kristalin

Verimlilik ve kalite olarak incelendiğinde poli kristalin güneş panelleri mono kristalin olanlara oranla daha az verime sahip hücreler kullanılarak üretilirler. Fakat bu duruma rağmen kullanım alanları oldukça fazladır. Buna en önemli sebep ise ulaşılabilirliklerinin daha kolay ve bunun doğal bir sebebi olarak daha ekonomik fiyata sahip olmalarıdır. Bu durumda verimlilik/maliyet oranları da hayli yüksek çıkmaktadır. Polikristalin denilmesi malzemenin mono kristaline göre tek kristalden meydana gelmemesi, yani malzemenin tam olarak homojen olmaması anlamına gelmektedir.

### İnce Film Paneller

Işığın emme oranları daha yüksek olan bu yapılar, diğerlerine nispeten daha düşük olan verimleri nedeniyle pazardaki payın çok küçük bir bölümünü tutabilmektedirler. İnce filmler PV materyal genel olarak çok kristalli malzemelerden elde edilir. Diğer bir bakışla ince film yarı-iletken malzeme, fiziksel büyüklüklerinin bir milimetrenin binde birinden milyonda birine kadar düşen boyuttaki damarlardan meydana gelmektedir. Bu yapıların verimlilikleri % 7 ila %14 arasında değerler almaktadır.

### Esnek Panel

Günümüzde yaygın olarak kullanılan güneş panellerine rakip olarak, özellikle konutların çatı uygulamalarında kullanılmak için geliştirilmiş yeni bir teknolojidir. Panel kurulumlarının bina çatılarına uygulanmalarının zor olduğu uygulamalarda çatı yalıtım unsurlarına zarar vermeden montajı yapılabilmektedir. Çoğu uygulamada elektrik üretiminin yanı sıra çatı kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadırlar. Kristalin ve ince film hücrelerden meydana gelen güneş paneli çeşitleri de vardır. İnce film hücrelerden meydana gelen panellerin en büyük özelliği esnek olmaları ve serilecek yüzey tipine uygun olarak uygulanabilmeleridir. Kurulum için herhangi bir mekanik düzeneğe (ayak vb.) ihtiyacı yoktur. Ayrıca kristal yapıları güneş panellerine göre ağırlık dağılımı sorunları da yoktur. Cam malzeme içermediği için kırılma tehlikeleri de bulunmaz. En büyük özellikleri de taşınabilmelerinin kolay ve ekonomik olmasıdır.

### 3.3. Evirici

Günümüzde pillerde ve akülerde kullandığımız ve depolanabilir akım türüne doğru akım (DC) denmektedir. Voltaj standardı olarak yaygın bir şekilde 12, 24 veya 48 Volt'luk sistemler tercih edilmektedir. Ancak sanayide ve meskenlerde yaygın olarak kullanılan elektrikli cihazlarda ise depolanması henüz mümkün görünmeyen alternatif akım (AC) kullanılmaktadır. Evirici adı verilen güç elektroniği elemanlarıyla tasarlanmış cihazlar temelde girişine uygulanan doğru akım sinyalini genellikle 220V alternatif akıma dönüştürmek için kullanılan elektronik devre elemanlarıdır (şekil 3.5). Bu cihazlar 12V veya 24V'luk bir bataryalarda depolanan doğru akım türündeki sinyali 220V alternatif akım türüne çevirerek bu gerilim türüne ihtiyaç duyan her türlü elektrikli cihazı sorunsuz bir şekilde çalıştırır. Eviriciler kare dalga, düzeltilmiş sinüs dalgası ve tam sinüs dalgası olmak üzere çeşitli çıkış tiplerine sahiptir. Ancak kullanılan alternatif akım enerji sistemlerine en uygun özelliğe sahip olan 'tam sinüs eviriciler şebeke sinyaliyle aynı kalitede hatta çoğu zaman şebekeden daha yüksek bir kalitede çıkış sinyali verip tüm elektrikli cihazları sorunsuz bir şekilde çalıştırabilirler. Birçok elektrikli alet ilk çalışma anında nominal güç ihtiyacının birkaç katına varan güçler çektiği için seçilen evirici bu kısa süreler için yine uygun güçte çalışacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Şekil 3.5'te örnek bir evirici sistemi görülmektedir.



Şekil 3.5. Evirici

### 3.4. Diğer Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş enerjisi uygulamalarında yaygın olarak termodinamik sistemler ve fotovoltaiik sistemler olmak üzere iki kullanım alanı görülmektedir. Termodinamik sistemler, kendi içerisinde ise pasif güneş sistemleri ve aktif güneş sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Pasif güneş sistemleri, güneş enerjisi kullanımı için geliştirilen en eski sistemlerden biridir. Başlıca, binaların ısıtma ve soğutması için dizayn ve mimarisinde kullanılmaktadır. Güneş mimarisinde, güneş enerjisi yoğunluk ve süresinin ısı, ışık ve sağlığa yararlı, istenilen etkilerini elde edebilmek, buna karşın yüksek sıcaklık, aşırı aydınlık ve kişilere ve malzemelere zarar verecek, istenmeyen etkilerinden ise korunacak şekilde kontrol edilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Uygulama alanları arasında binaların kışın ısıtılmasını, yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanmasını, seraların ısıtılmasını ve zirai ürünlerin kurutulmasını sayabiliriz. Güneş enerjisi binalarda, herhangi bir elektromekanik gereç kullanılmadan (normal olarak) ısıya dönüştürülür. Isı transferi ve sıcak akışkanın çevrimi doğal yolla olur. Pasif güneş ısı sistemleri, pencereler gibi enerji kollektör elemanları veya bina duvarları gibi depolama elemanlarını da içermektedir. Güneş enerjisi uygulamalarını düşük sıcaklık (20-100°C), orta sıcaklık (100- 300°C) ve yüksek sıcaklık (>300°C) olmak

üzere üç grupta toplayabiliriz. En yaygın uygulamalardan bazıları ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.6'da örnek bir oval eğik panel düzeni görülmektedir.



Şekil 3.6. Oval eğik panel

Düşük Sıcaklık Uygulamaları:

- Kullanım sıcak suyu eldesi
- Konut ısıtılması-soğutulması
- Seraların ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Yüzme havuzlarının ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan tatlı su eldesi
- Tuz üretimi
- Sulama
- Toprak solarizasyonu orta sıcaklık uygulamaları
- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi
- Büyük ısıtma



- soğutma sistemleri
- Yüksek sıcaklık uygulamaları
- Güneş fırınları

### 3.5. Güneş Enerjisinin Avantajları

Dünyamızda en büyük enerji kaynağı kuşkusuz güneştir. Güneş enerjisi çevrim sistemlerinin en avantajlı olduğu noktalar: doğaya zararlı gazlar salmamaları, sonsuz ve ucuz bir enerji türü olmaları gibi sayılabilir. Çevreye neredeyse hiç zarar vermediği, bitmeyen ve çok ucuz bir enerji kaynağı olduğu için güneş enerjisinin kullanımı insanlara çok büyük faydalar sağlamaktadır. Güneş enerjisinin avantajlarını maddeler halinde sıralanacak olursa:

- En önemlisi, güneşin bol ve tükenmeyen enerji kaynağı olmasıdır.
- Temiz bir enerji türüdür, doğayı kirleten zehirli duman, gaz, karbon monoksit, kükürt gibi atıkları olmayan bir enerji türüdür.
- Bireysel uygulamalar içinde son derece elverişlidir. Enerjiye ihtiyacın olduğu, hemen hemen her bölgede güneş enerjisinden faydalanmak olası bir durumdur. Bir evin, bir ölçüm istasyonunun, bir kampın, bir deniz fenerinin enerji ihtiyacı bulunduğu yerde karşılanabilir.
- Dışa bağımlığı bulunmadığından, meydana gelebilecek bir ekonomik buhrandan etkilenmezler.
- İşletme masrafı diğer üretim tesislerine nazaran azdır.

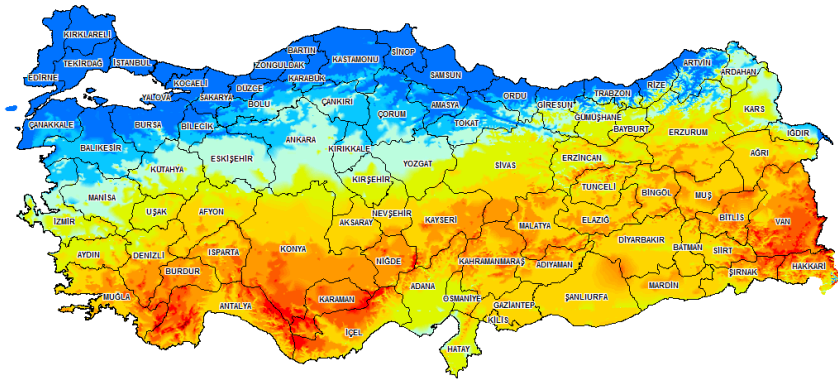
### 3.6. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Pek çok avantajı olmasına rağmen güneş enerjisi kullanımdan kaynaklanan çeşitli sınırlamalarda mevcuttur. Bu sınırlılıklara bakacak olursak: Birim yüzey alanına düşen güneş ışınımı miktarı az olduğundan büyük yüzey alanına ihtiyaç duyarlar. Güneş ışınımı günün her saati sürekli elde edilemediğinden depolama elemanına ihtiyaç duyulabilir. Depolanma şartları ve imkânları ise maalesef sınırlıdır. Enerji ihtiyacının en fazla arttığı kış aylarında yaza göre güneş ışınımı az ve yine geceleri mevcut değildir. Güneş enerjisinden faydalanan kurulumun güneş ışınlarını verimli bir şekilde alabilmesi için çevresinin oldukça açık olması, yani gölgelenmemesi gerekmektedir.

### 3.7. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, güneş enerji kapasitesi açısından diğer birçok ülkeye göre daha zengin durumdadır. Güneş; sadece ülkemiz için değil tüm evren için en önemli enerji kaynağıdır. Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum açısından değerlendirildiğinde diğer ülkelere kıyasla oldukça önde ve enerji konusunda avantajlı olduğu görülmektedir. Güneş, yeryüzüne saniyede takriben 170 milyon MW enerji yollamaktadır. Çalışma yapılan birçok akademik bilimsel ve münferit araştırmaya göre; bir saniyede yeryüzüne gelen güneş enerji miktarının ülkemizin bir yılda ürettiği enerji miktarının 1700 ila 1800 katı civarı olduğu tahmin edilmektedir.

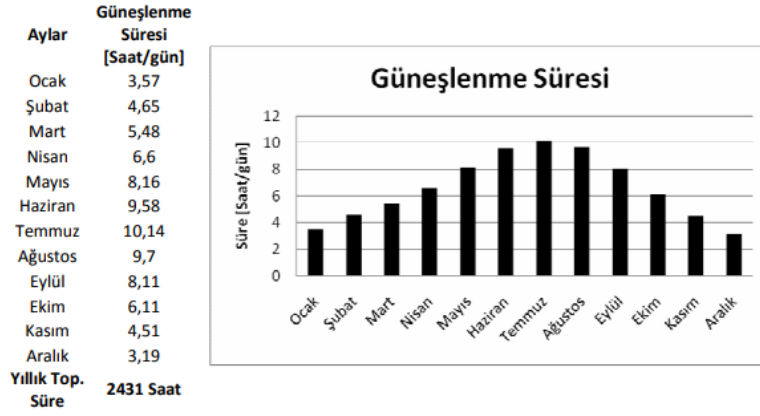
Ülkemiz, yıllık ortalamada 110 gün gibi çok iyi ve değerlendirilebilir bir enerji kapasitesine sahip olmakla birlikte, uygun yatırımların zamanında ve gerekli bilimsel araştırmalar ışığında yapılması ve uygulanması halinde ülkemizin elektrik enerji üretimindeki yenilenebilir payını oldukça yükseltecektir. Bu sayede ülkemizin coğrafi konumundan dolayı ortaya çıkan bu avantajı elektrik enerjisi üretimi konusunda etkin bir şekilde değerlendirerek fırsata çevirme konusunun da çalışmalar hız kazanmıştır. Şekil 3.7'de ülkemizin güneş enerji potansiyelini gösteren güneşlenme haritası görülmektedir.



Şekil 3.7. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli

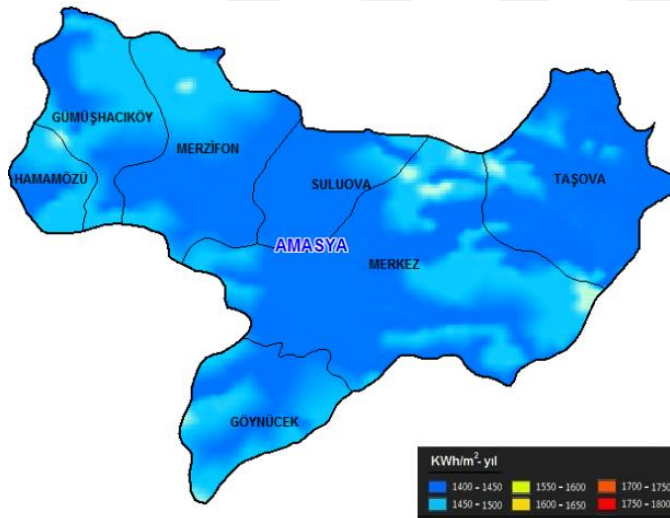
Amasya ili günlük ortalama güneşlenme süreleri Şekil 3.8'de görülmektedir. İlimizde  $m^2$ 'ye düşen en yüksek güç ise Şekil 3.10'daki grafikte görülebileceği gibi il merkezinde aylara göre en yüksek güneşlenme kapasiteleri olarak görülmektedir. Yatay pozisyonda sabitlenen  $1 m^2$ 'lik bir panel üzerindeki en yüksek güç  $663W/m^2$  olarak ölçülürken, bulunduğumuz coğrafi şartlara göre en uygun açı olan yüzeye 290 ile sabitlenen panel üzerindeki en yüksek

706 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Amasya iline ait güneşlenme süreleri Şekil 3.8’de görülmektedir.

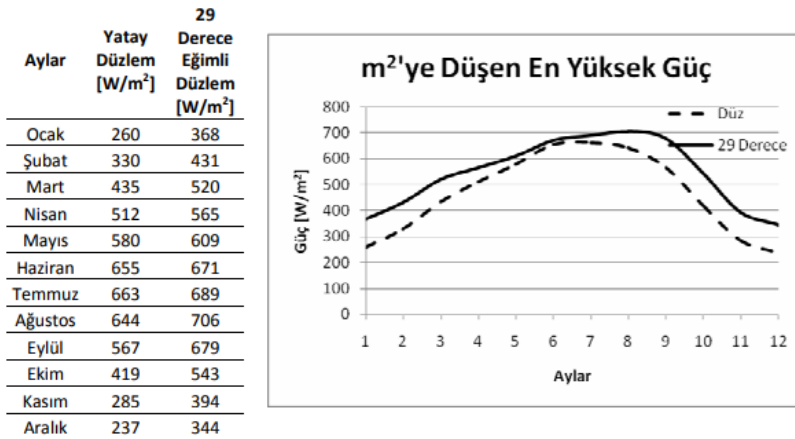


Şekil 3.8. Amasya ili güneşlenme süreleri

Amasya ili güneşlenme haritası şekil 3.9’da gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 3.10’da Amasya bölgesinde m<sup>2</sup>’ye düşen güç eğrisi görülmektedir.

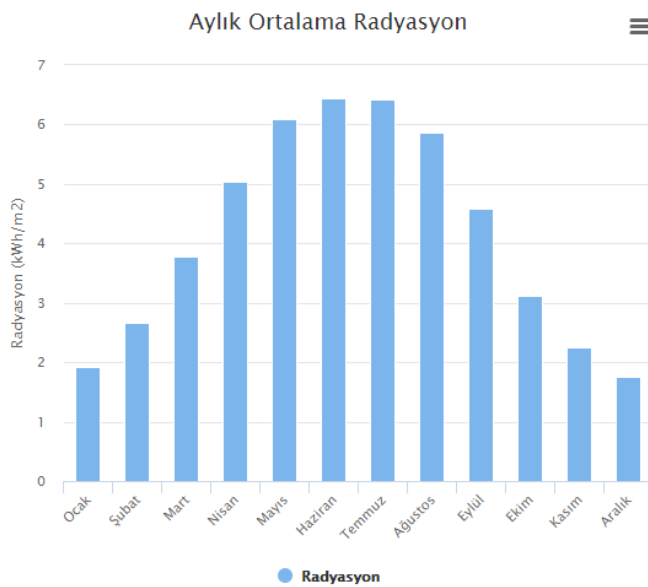


Şekil 3.9. Amasya ili güneşlenme haritası



Şekil 3.10. Amasya bölgesi güç eğrisi

Şekil 3.11’de Amasya ili aylık ortalama radyasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.11. Amasya ili aylık ortalama radyasyon grafiği

### 3.8. Üretime Etki Eden İklim Parametreleri

Güneş panellerinden elde edilebilecek en fazla gücü almak için bölgesel iklim özelliklerinin iyi bilinip ona göre tedbirler alınması gerekmektedir. Güneş panellerinde sistem verimliliğe etki eden en önemli iklimsel parametreler;

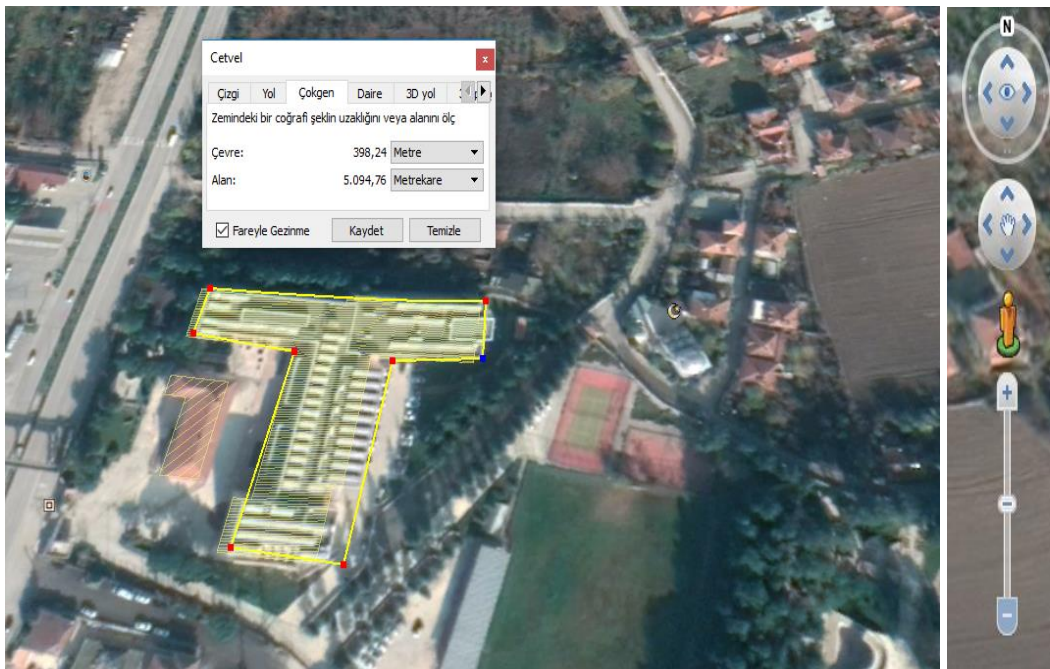
- 1-Hava sıcaklığı
- 2-Rüzgâr hızı ve hamlesi.
- 3-Güneş radyasyonu.

#### 4-Hava kirliliği ve toz.

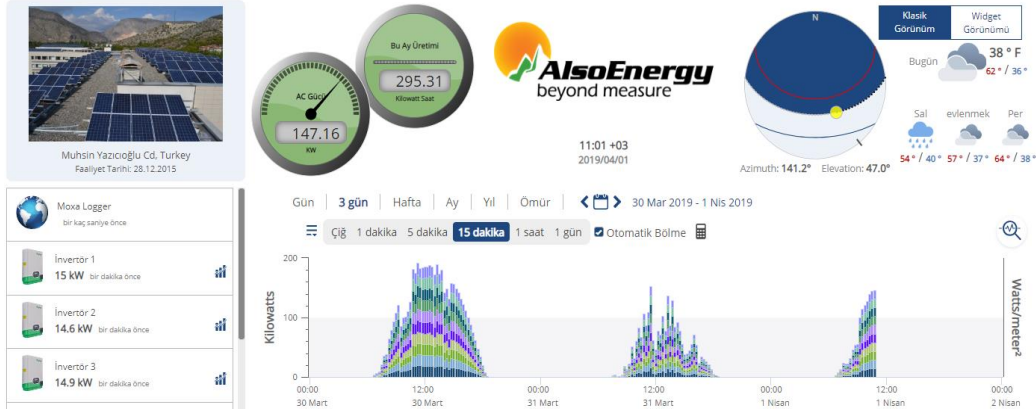
olarak değerlendirilmiştir.

### 3.9. Kurulan Sistem ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan sistem Şekil 3.12’de görüldüğü gibi Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi çatısına yaklaşık 5000m<sup>2</sup> alana kurulan 200 kW gücünde toplam 800 adet 250 watt’lık panel yerleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan sistemin uydu görüntüsü de Şekil 3.12’de görülmektedir. Elde edilen DC gerilimler 10 adet 20 kW’lık çeviriciler vasıtasıyla şebeke gerilimine çevrilip on grid olarak ana şebekeye senkronlanmıştır. Kurulu sistem özellik itibarıyla fotovoltaik panelin hücre sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, rüzgar hamlesi ölçümlerine atmosfer sıcaklığı, direkt ve difuz ışınım değerleri ile güneşin yörüngedeki hareketlerini takip edebilen bir meteoroloji istasyonuna ve elde edilen verileri kayıt etme yetisine sahiptir. Sistem aynı şekilde akım, gerilim, anlık güç çıkışı, üretilen toplam enerji büyüklüklerini de kayıt ederek kullandığı Şekil 3.13’de gösterilen HOBOLINK programı sayesinde ilgili büyüklüklere ait bilgileri grafiksel olarak da verebilmektedir. Yaptığımız tez çalışması kapsamında uzaktan ölçüm yöntemi ile anlık olarak elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca meteoroloji istasyonu sayesinde rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, rüzgâr hamlesi, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı hava basıncı hava sıcaklığı hava nemi ve çiy noktası ölçümleri alınmıştır. Üretilen enerji ile oluşan meteorolojik olaylar arasındaki bağlantı saptanmıştır. Sistem hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.12. Kurulu sistemin konumu ve uydu görüntüsü.



Şekil 3.13. Kullanılan uzaktan izleme sistemine ait ara yüz sayfası.

Şekil 3.14’de panellerin güneş açısına göre yerleşimi gözükmemektedir.



Şekil 3.14. Panellerin yerleşimi

Şekil 3.15’de kurulu sistemin meteoroloji istasyonuna ait rüzgar hızı, yönü, güneş radyasyonu büyüklüklerini ölçen alıcılar gözükmemektedir.



Şekil 3.15. Kurulu sisteme dahil olan meteoroloji istasyonuna ait bir görüntü.

Şekil 3.16’da panel yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde kullanılan yöntem gözükmemektedir. Ayrıca şekil 3.17’de sistemde kullanılan eviriciler gözükmemektedir.



Şekil 3.16. Panel yüzey sıcaklığı ölçüm cihazı.



Şekil 3.17. Düzenekte kullanılan eviriciler.

### 3.10. Sistemin Maliyet Analizi

Sistemin en önemli kısmını oluşturan her biri 20kW gücünde ISO standartlarında eviriciler. Toplam kurulu güç 200Kw.

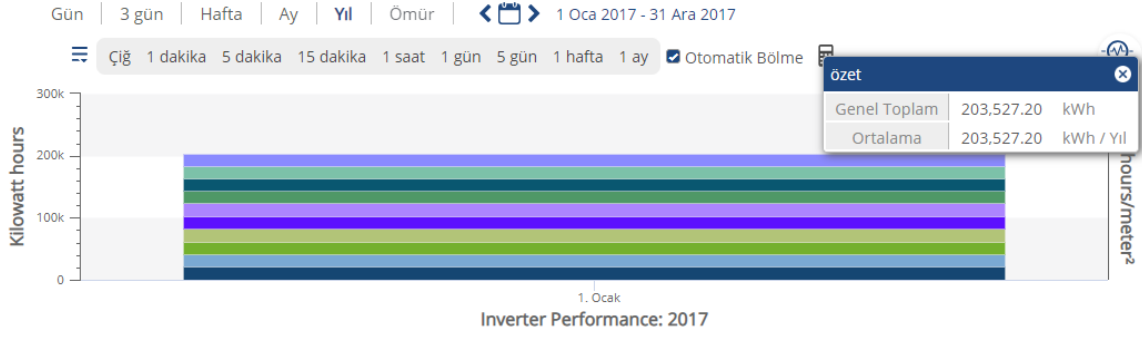
- 800 Adet Renesola JC 250M-24 polikristal silikon pv panel
- 10 Adet Renesola Replus 20000TL3B Evirici
- 5020 m muhtelif kablo
- Muhtelif sayı ve metrajda Pano
- Konstrüksiyon, galvaniz şerit
- Konnektör takımı, koruma rölesi
- Veri istasyonu, bordür, sayaç, topraklama
- Günlük ortalama  $6.65 \text{ h} * 200 \text{ kW} = 1330 \text{ kWh}$  elektrik üretimi
- Aylık planlanan üretim  $40\,000 \text{ kWh}$
- Aylık üretim:  $15\,162 \text{ TL} + \text{KDV}$
- İhale bedeli  $957\,924 \text{ TL}$
- Toplam geri kazanım:  $957\,924 / 15\,162 = 5 \text{ yıl}$
- Üniversitemiz katkısı  $\%25 = 239\,481 \text{ TL}$  .
- Üniversitenin geri kazanımı:  $239481/15162= 15 \text{ ay}$
- Veri İstasyonu ile bölgedeki güneş ve rüzgar verilerinin gerçek zamanlı kayda alınması.

Şekil 3.18'de çalışmada kullanılan yazılıma ait görüntü görülmektedir.

PowertrackTM Sürümü 2019.3.24.f2cb39

Çekirdek Sürüm 2.1.464.0-95dba757dd





Şekil 3.18. 2017 yılı Toplam Üretim Verileri.

## 4. BULGULAR

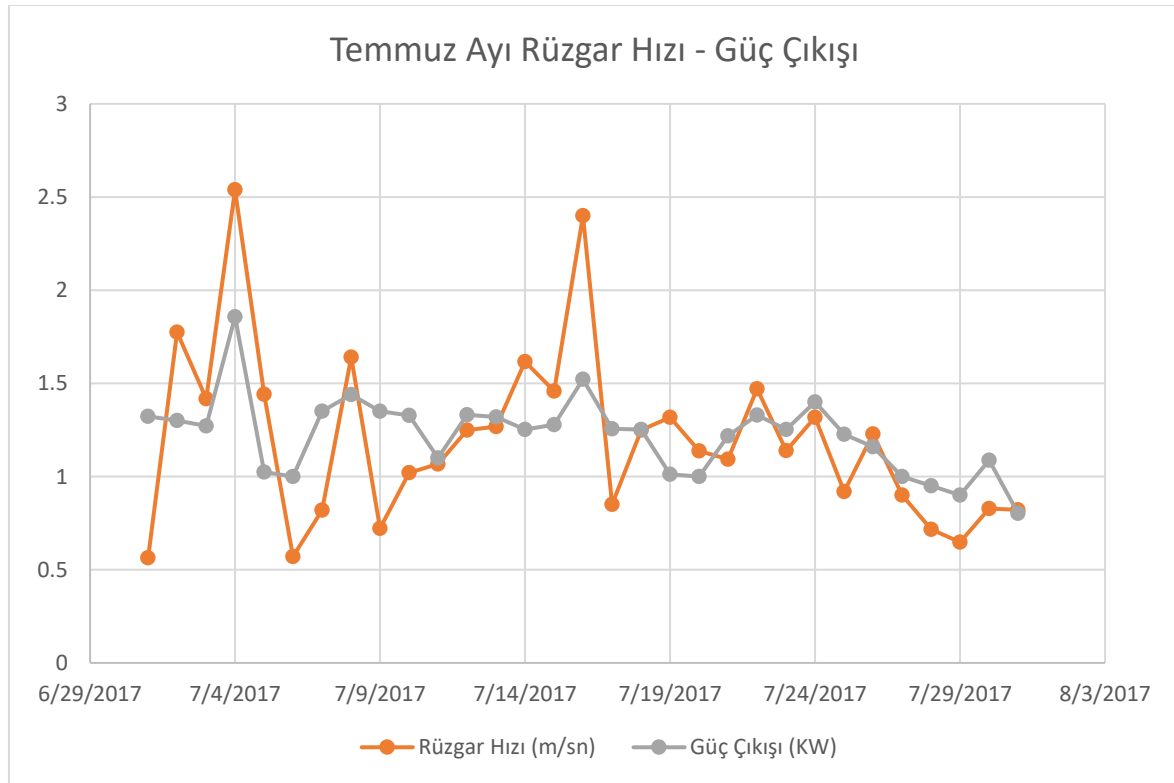
Bu çalışmada Amasya ilinin en sıcak ayının Temmuz en soğuk ayının ise Şubat olmasından dolayı 2017 yılı verileri olarak temmuz ve şubat aylarının verileri <https://apps.alsoenergy.com/PowerTrack> adresinden alınıp işlenerek grafikler oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. İklim şartlarının etkisi ayrı ayrı her ay için HOBOLINK programı <https://www.hobolink.com/p/f993807e6f344369a6301cb9403d59ae> linki yardımı ile fotovoltaik sistem verimi olarak kaydedilmiştir ve grafikler oluşturmak amacıyla işlenmiştir. Kaydedilen bu veriler ışığında sistemin enerji üretimini etkileyen iklimsel şartların tespiti için grafikler elde edilmiştir. Kullanılan veriler rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel yüzey sıcaklığı ve güç çıkışı verileridir. Amasya bölgesinde en sıcak ayın temmuz, en soğuk ayın ise şubat olması sebebiyle veriler üretimi etkileme derecelerine göre Şubat ve Temmuz aylarında ayrı ayrı kullanılarak grafikler oluşturulmuştur ve bu grafikler üzerinden sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

### 4.1. Rüzgarın Enerji Üretimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Amasya ilinde oluşan rüzgâr hızının Temmuz ve Şubat aylarındaki ortalama hızları ve hız değişimleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi 2017 yılı Temmuz ayında ortalama olarak 1.127m/s rüzgâr hızı meydana gelirken şubat ayında bu değer 0.139 m/s olmuştur. Rüzgârın paneller üzerindeki soğutma etkisiyle Temmuz ayında güneşli ve rüzgârın yeterli olduğu hava koşullarında üretimin rüzgâr hızıyla doğru orantılı olarak arttığı grafikte gözlemlenmiştir. Temmuz ayında Amasya ilinde meydana gelen en yüksek sıcaklığa sahip günlerde bile rüzgârın hızı sayesinde paneller soğuyarak tehlikeli panel yüzey sıcaklık değerlerine hiçbir zaman ulaşmamış ve sistem başarılı bir şekilde üretime devam etmiştir. Bunun sebebi yukarı da bahsedildiği gibi güneş panellerinin iç dirençlerinin sıcaklıkla artması sonucu üretim verimlerinin sıcak havalarda tahmin edilenin aksine düşüşe geçmesidir. Ancak Amasya bölgesinin yeterli ortalama rüzgâr hızının ve meydana gelen rüzgar hamlelerinin panellerin soğumasında ve iç direncinin düşmesi yönünde bir etki gerçekleştirilmesi üretime olumlu olarak yansımaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelen yüksek sıcaklık değerlerinde ilimizde meydana gelen rüzgar esintilerinin ve rüzgar hamlelerinin etkileri sonucu paneller hiçbir zaman limit sıcaklık değerlerine ulaşmamış ( $\max 73C^0$ ) ve güvenli bir şekilde üretime devam etmiştir. Panel üreticilerinin garanti şartları dışında tuttuğu  $+85C^0$  sıcaklık değerlerine

özellikle sıcak aylarda yaklaşmış ( $\max 73C^0$ ) ancak yeterli rüzgar hızı ve rüzgar hamleleri sayesinde tehlikeli sınırlar aşılmamıştır. Ayrıca yine önemli bir noktada Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sistem güç çıkışının rüzgâr hızıyla doğru orantılı olarak artmasıdır. Buda sistemin kurulu olduğu bölgenin rüzgârlı olmasının üretimi özellikle sıcak bölgelerde olumlu yönde etkilediğinin bir göstergesidir. 2017 Temmuz ayında güneş ışınımı ve hava sıcaklık değerleri dikkate alındığında değerler ay boyunca istikrarlı olduğu halde rüzgâr hızının ve hamlesinin maksimum değerlere çıktığı 04.07.2017 ve 16.07.2017 tarihlerinde enerji üretiminin en üst düzeye çıktığı net bir şekilde görülmektedir.

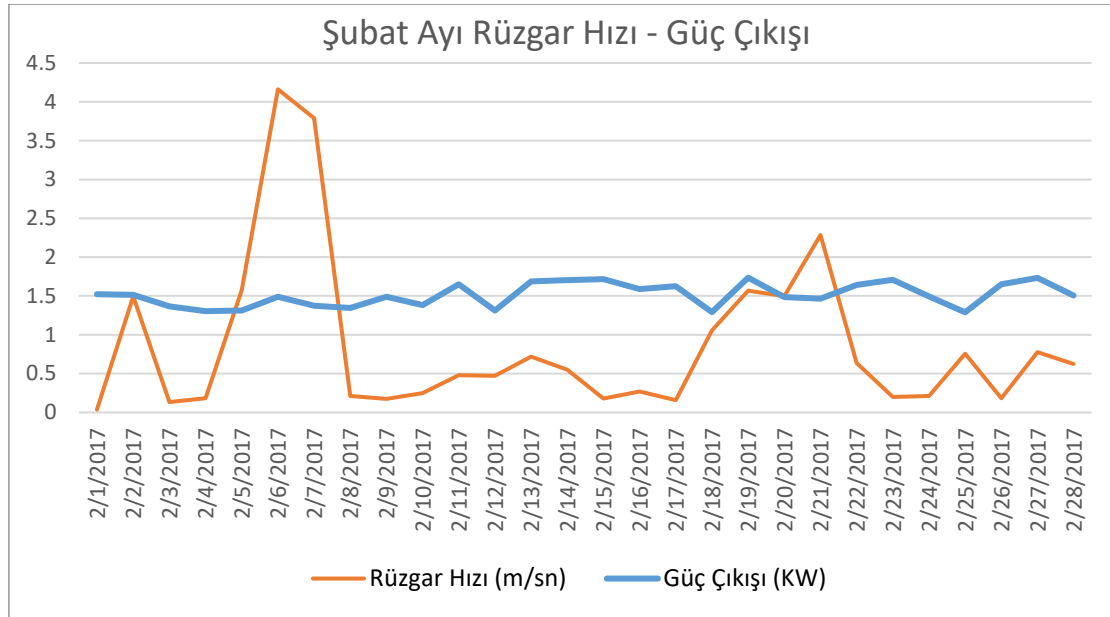
Not: Eğrilerin aynı tabloda gözükmesi için güç büyüklüğü  $10^{-2}$  ile çarpılarak yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 4.1. Temmuz ayı Rüzgâr hızı Güç çıkışı eğrisi.

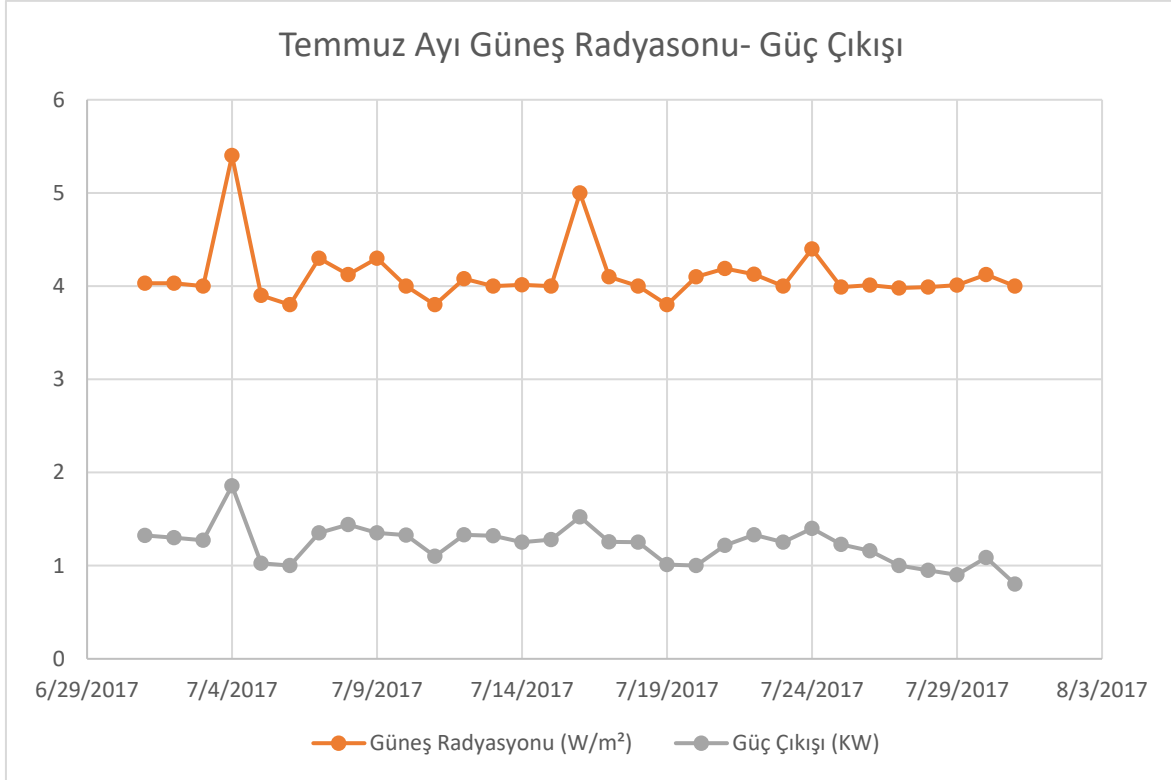
Şubat 2017 Rüzgâr hızı güç çıkışı eğrilerine bakıldığında ise rüzgâr hızının güç çıkışını temmuz ayı kadar etkilemediğini hatta rüzgâr hızından bağımsız bir güç çıkışının meydana geldiğini görebiliriz: bunun sebebi şubat ayı sıcaklıklarının düşük olması sebebiyle panel yüzey sıcaklığının zaten düşük değerlerde kalmasıdır. 2017 yılı şubat ayı diğer yıllara nazaran oldukça ılıman geçmesine rağmen panel ısıları hava sıcaklığı sebebiyle çok fazla yükselmediğinden. ( $\max 24C^0$ ) enerji üretimi diğer faktörlerle daha fazla ilişkilidir. Şekil 4.2 incelendiğinde rüzgâr hızının maksimum değere çıktığı 06.02.2017 tarihinde sıcak

ayların aksine enerji üretiminin diğer günlere oranla değişmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca uzaktan izleme verileri ışığında sabah saatlerinde özellikle güney yönünden gelen esintilerin panel yüzeylerinde özellikle kış aylarında bölgemizde meydana gelen kıra örtüsünün erken kalkmasında yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Üretim sisteminin hafif esintili sabahlarda kıra örtüsünün erken erimesiyle daha erken saatlerde enerji üretmeye başladığı gözlemlenmiştir.



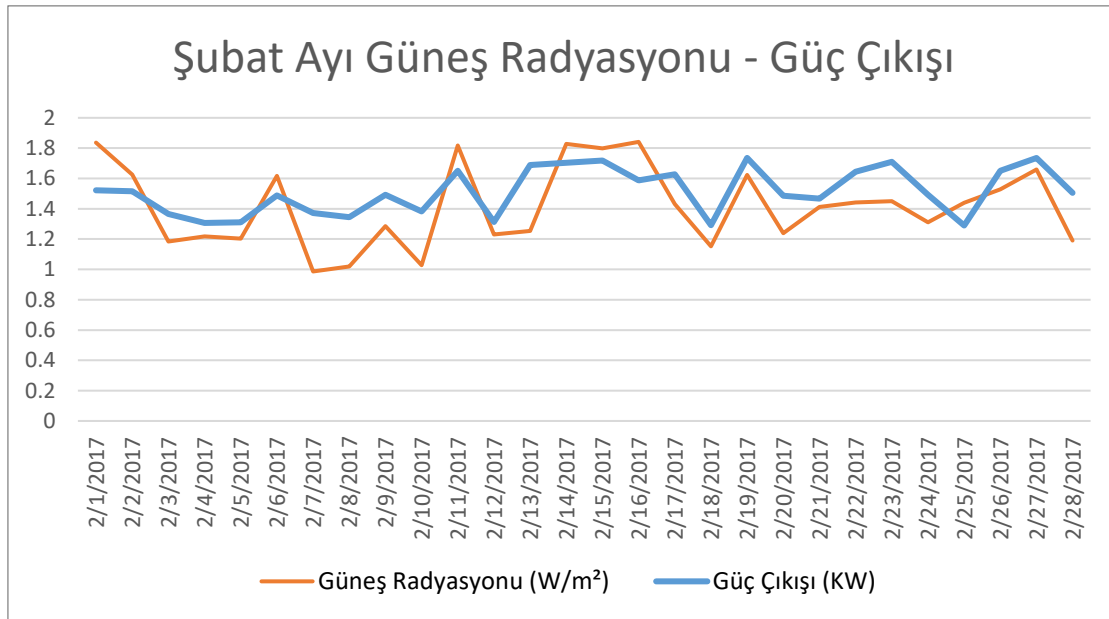
Şekil 4.2. Şubat ayı Rüzgar Hızı-Güç Çıkışı eğrisi.

Güneş radyasyonunun enerji üretimine etkisinin incelenmesi. Temmuz ayında güneş radyasyonu-güç çıkışı verileri ışığında oluşturulan Şekil 4.3 incelendiğinde güç çıkışının güneş radyasyonundan doğrudan etkilendiği ve bu etkinin güneş radyasyonunun yüksek olduğu saatlerde en yükseğe çıktığı yani ışımanın en yüksek olduğu saatlerde güneş radyasyonunun da doğru orantılı olarak arttığı ve bununla enerji üretimini arttırdığı görülmektedir. Diğer etkiler dikkate alınmayıp sadece güneş radyasyonu ve üretim ilişkilendirildiğinde üretimi etkileyen en önemli faktörün güneş radyasyonu ve ışıma miktarı olduğu gözlemlenmiştir. Amasya ili ve bölgesinde temmuz ayı güneş radyasyonunun en yüksek seviyede olduğu ay olarak kayıtlara geçmiştir. Bu sebepten yine temmuz ayı sistem enerji üretiminin de en yüksek olduğu ay olarak kayıtlara geçmiştir. Yukarıdaki parametreler incelenirken de belirtildiği gibi 04.07.2017 ve 16.07.2017 tarihlerinde diğer iklimsel etkilerle birlikte güneş radyasyonu değerlerindeki artış üretimi maksimuma taşımıştır. Şekil 4.5’de Temmuz ayına ait toplam üretim verileri görülmektedir.

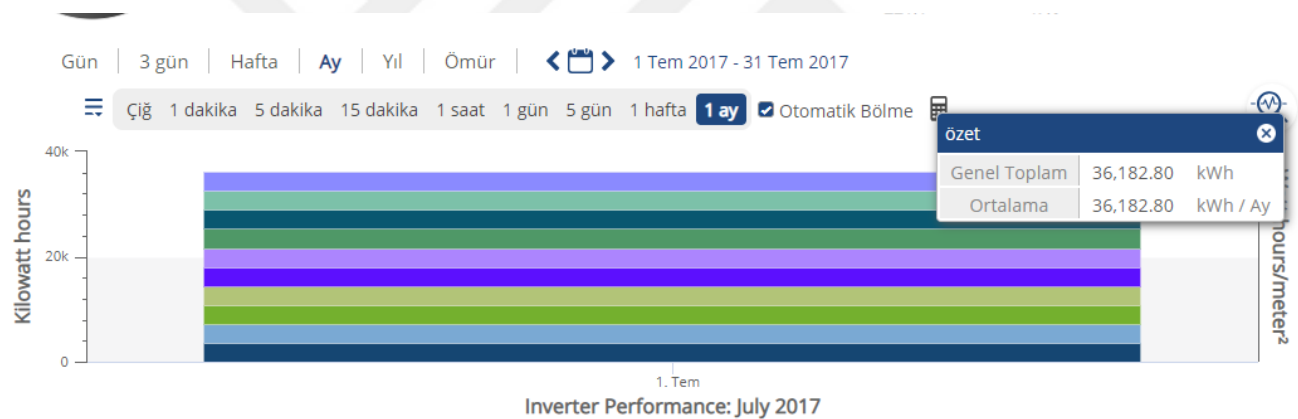


Şekil 4.3. Temmuz Ayı Güneş Radyasyonu-Güç Çıkışı Eğrisi.

Yine sistemden alınan şubat ayı güneş radyasyonu-güç çıkışı eğrileri şekil 4.4 incelendiğinde Temmuz ayına benzer bir şekilde ışıının dolayısıyla güneş radyasyonu değerlerinin üretimi doğrudan ve olumlu bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. 17.02.2017 tarihinde güneş radyasyonu maksimuma çıktığında üretiminde maksimuma çıktığı gözlemlenmiştir. Temmuz ayıyla kıyas amacıyla Şubat ayındaki veriler incelendiğinde üretimin temmuz ayına oranla güneş radyasyonuna daha fazla bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Şubat ayında rüzgâr vb,diğer etkilerin üretime etkisinin daha az olması bunun sebebi olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Şubat ayı güneş radyasyonu-güç çıkışı eğrisi.

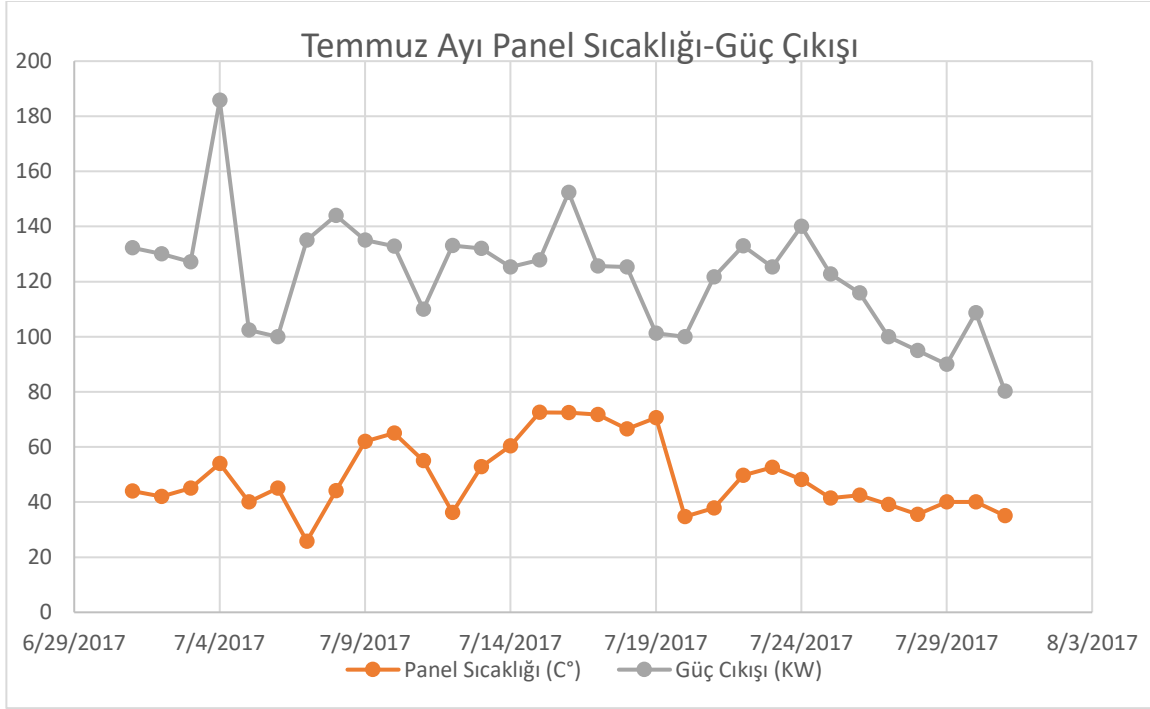


Şekil 4.5. Temmuz ayına ait üretim grafiği.

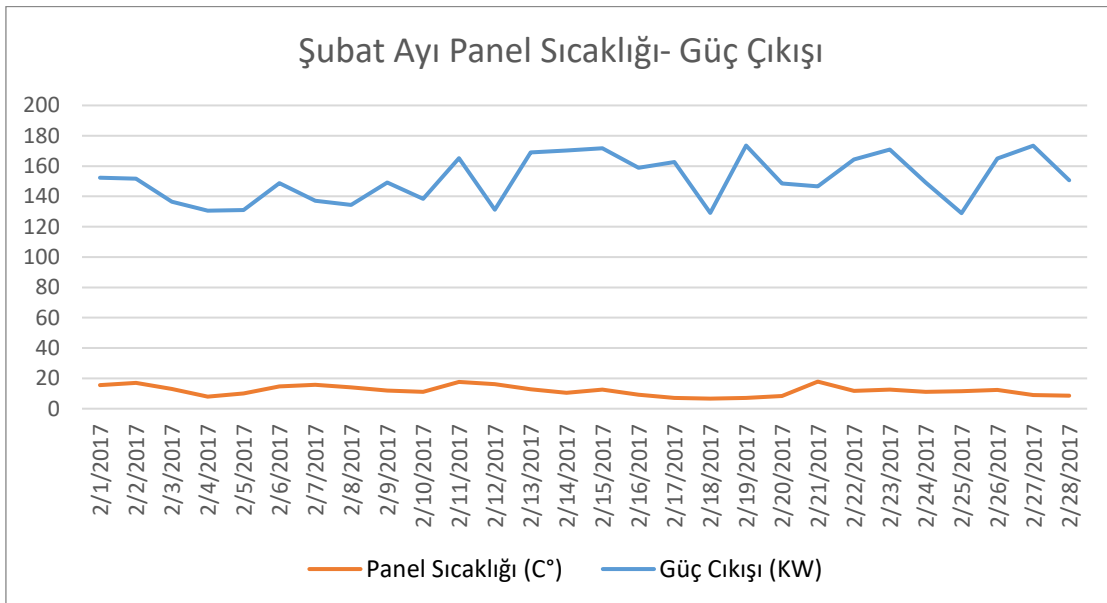
## 4.2. Panel Yüzey Sıcaklığına Etki Eden Durumlar ve Yüzey Sıcaklığının Üretime Etkisi

Kurulu sistemde Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de panel yüzey sıcaklığı verileri uzaktan izleme sistemiyle sürekli takip edilmiş olup alınan verilerde panel yüzey sıcaklığının en yüksek sıcaklık ve ışınım değerlerine sahip olan Temmuz ayında dahi tehlikeli sınırlara ulaşmadığı tespit edilmiştir. Güneş panellerinin yüzey sıcaklıkları Temmuz ayı içerisinde en fazla 72.5C<sup>0</sup> olarak kaydedilmiştir. Bunda kurulu sistemin bulunduğu bölgenin coğrafi şartlarının oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle ışınımın en üst seviyelerde olduğu zamanlarda panellerin artan hücre sıcaklıkları sebebiyle meydana gelen iç direnç artışı

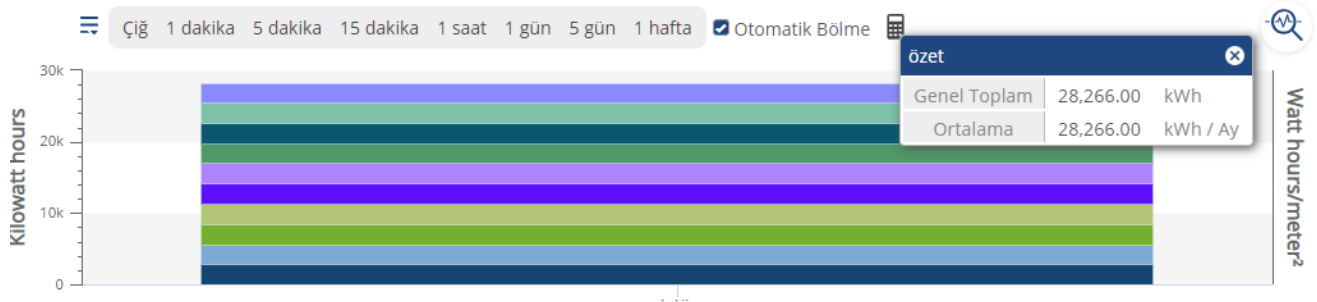
sebebiyle sistem veriminde önemli bir düşüş olduğu bilinmektedir. Tesisin kurulu olduğu bölgedeki rüzgâr hızı ve rüzgâr hamlesi etkileri panellerin soğumasında olumlu yönde bir etki yaparak iç dirençlerin düşmesine ve sistem veriminin artmasına önemli bir etki yapmıştır. Panel yüzey sıcaklığının şubat ayında  $20^{\circ}\text{C}$  civarlarında olması dolayısıyla sistem verimi temmuz ayına kıyasla daha yüksek olmuştur. Şekil 4.8’de Şubat ayına ait toplam üretim verileri görülmektedir.



Şekil 4.6. Temmuz ayı panel sıcaklığı güç çıkışı eğrisi.



Şekil 4.7. Şubat ayı panel sıcaklığı güç çıkışı eğrisi.



Şekil 4.8. Şubat ayı toplam üretim grafiği.

### 4.3. Hava Kirliliği ve Panel Yüzey Kirliliği:

Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi çatısına kurulu sistem üzerinde yapılan çalışmalarda hava kirliliği ve diğer olumsuz dış etkenlerin üretimi doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. 10 numaralı evirici çıkışına bağlı panel dizisinin konumlandığı bölgede konumlu bacadan gelen duman ve buna bağlı partiküllerin bu bölgede yoğun olarak panel yüzeylerinde yarattığı kirlilik net bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu bölgede konumlu panel dizisinin bağlı olduğu evirici çıkışı bacadan uzak olan diğer evirici çıkışlarına göre sisteme yaklaşık %3.82 oranında düşük güç bastığı tespit edilmiştir. Evirici çıkışındaki uzaktan izleme verilerine ait ekran görüntüsü Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Yüzey kirliliğinin olduğu durumda (temizlik öncesi) evirici çıkışları.

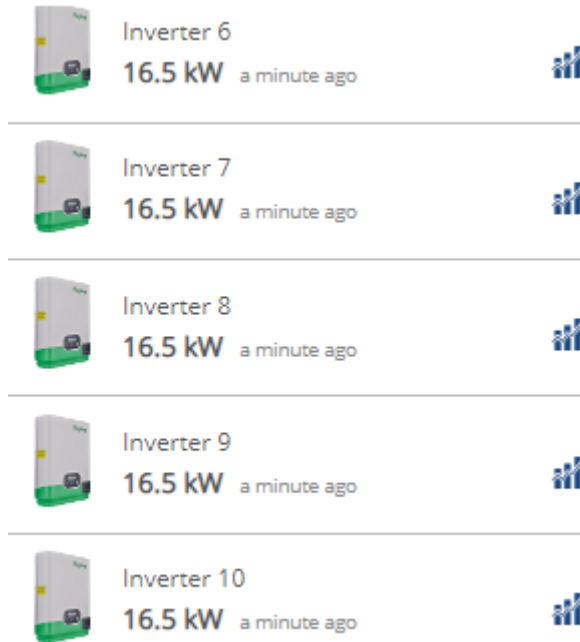
Şekil 4.10'da sistemin kurulduğu bölgedeki baca çıkışları net bir şekilde görülmektedir.





Şekil 4.10. Baca çıkışları.

Çalışma kapsamında temizlenen kirli bölgedeki panellerin güç çıkışı temizlik sonrası Şekil 4.11’de görüldüğü gibi diğerleriyle eşit duruma gelmiştir.



Şekil 4.11. Temizlik sonrası panellere ait evirici çıkışları.

Yine kar yağışı yağmur yağışı ve çığ yağışının yaşandığı günlerden sonra panel yüzeylerinde meydana gelen temizlenmenin azımsanmayacak derecede olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca

rüzgar hızı dolayısıyla da yüzeydeki partiküllerin doğal olarak temizlendiği gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.12. Baca bölgesine yakın panellerin görüntüsü.



Şekil 4.13. Baca bölgesine yakın panellerdeki yüzey birikintileri.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi çatısında 40°36'26.15"N 35°48'47.05"E koordinatlarında kurulu 200 kW'lık kurulu PV güneş enerjisi sisteminin Amasya ilinin değişik iklimsel koşullardaki verileri, kurulu sistemden elde edilen ölçüm verileriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Fotovoltaik sistemin teknik verim özelliklerine bakıldığında güneşli fakat serin günlerde daha yüksek güç çıkışı verdiği tespit edilmiştir. Elde edilen karşılaştırma verilerine göre güneş enerjisi santrallerinde tesisin kurulduğu coğrafi konumun enerji üretimine doğrudan katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Uzaktan izleme sistemine gelen verilerin işlenmesi sonucunda bölgedeki rüzgârın özellikle sıcak mevsimlerde panellerin soğutulması ile beraber paneller ve enerji sistemlerinin soğuyarak iç dirençlerinin çok fazla yükselmemesine bunun sonucu olarak daha verimli bir şekilde üretime devam ettikleri gözlemlenmiştir. Güneşten gelen ışıınımdan en iyi şekilde faydalanmanın üretim için önemli bir faktör olduğu da gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde uzaktan izleme verileri incelenerek sistemin kurulu olduğu bölgede panel yüzey sıcaklıklarının tehlikeli sınır değer olan +85C<sup>0</sup>'ye hiç ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Bunda en önemli katkının bölgedeki rüzgâr tarafından sağlandığı gözlemlenmiştir. Santralin konumlandığı bölgedeki hava kirliliği faktörünün de üretimi doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın güneş paneli enerji üretimi üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla üretim tesisleri rüzgârı daha iyi alan bölgelere konumlandırılabilir. Yine panel yüzey sıcaklıklarının istenmeyen değerlere çıkıp üretici garantisi dışı kalmasının da önüne bu şekilde geçilebilir. Rüzgâr sadece soğutmada değil paneller üzerinde biriken ve saydamlığı azaltan toz vb. etkileri de en aza indirmektedir. Panellerde meydana gelen kirliliği ortadan kaldırmak için panellerin su ile yıkanması ya da basınçlı hava ile soğutma ve yüzey temizliği işlemlerinin ikisi birlikte gerçekleştirilebilir. Bu çalışma enerji verimliliğini artırabilir, ancak ekonomik verimlilik suyun ucuz ve bol olmasına bağlı olabilir. Özellikle çatı üstünde kurulacak sistemdeki panellerde kirliliği en aza indirmek için baca panelleri çıkışlarından mümkün olduğunca uzağa konumlandırmakta fayda vardır. Güneş ışıınımdan en üst seviyede faydalanabilmek için üretim tesisi mümkün olduğunca açık rüzgâr alan ve diğer etkenleri de göz önüne alarak nispeten yüksek rakımlı yerlere kurmakta fayda vardır. Ancak özellikle kurulum işletme ve iletim masrafları dikkate alındığında tüketim merkezlerine yakın olan bölgelerde uygun yerlere kurulum daha ekonomik olabilir.

## KAYNAKLAR

1. Bachtırı, R. E. (2002). Modeling of A Pumping Photovoltaic Station–Tracking of Optimal Operating Point. *In International Forum on Renewable Energies FIER*.
2. Fanney, A. H., and Dougherty, B. P. (2001). Building integrated photovoltaic test facility. *Journal of solar energy engineering*, 123(3), 194-199.
3. Carlson, R., Felnhofer, D., Rondeau, P., and Annakkage, U. (2002), Design And Construction Of A Maximum Power Tracking System For A Solar Panel, *Course Number*, 24.400.
4. Kutlu, S. (2002). *Güneş Tarlası ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
5. Yeşilkaya, M. A. (1998). *Güneş Pillerinin Mikroişlemci ile Konum Kontrolünün Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
6. Taşdemiroğlu, E. (1993). Energy portrait of Turkey: achievable savings through renewable energies and conservation technologies. *Energy sources*, 15(3), 561-585.
7. Şen, Z. (1999). Terrain topography classification for wind energy generation. *Renewable energy*, 16(1-4), 904-907.
8. Saheb-Koussa, D. Haddadi, M. and Belhamel, M. (2009). Economic and technical study of a hybrid system (wind–photovoltaic–diesel) for rural electrification in Algeria. *Applied Energy*, 86(7-8), 1024-1030.
9. Setiawan, A. A., Zhao, Y. and Nayar, C. V. (2009). Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas. *Renewable energy*, 34(2), 374-383.
10. Engin, M. and Çolak, M. (2005). Güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 225-230.
11. Yang, H. Wei, Z. and Chengzhi, L. (2009). Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar–wind power generation system. *Applied Energy*, 86(2), 163-169.
12. Elhadidy, M. A. and Shaahid, S. M. (1999). Feasibility of hybrid (wind+ solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 16(1-4), 970-976.

13. Lagorse, J. Paire, D. and Miraoui, A. (2009). Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery. *Renewable Energy*, 34(3), 683-691.
14. Zhou, W. Lou, C. Li, Z., Lu, L., and Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied energy*, 87(2), 380-389.
15. Yıldız, A. (2003). *Fotovoltaik Modüllerin Binalarda Kullanımı ve PVSYST 3.21 Yazılımı ile Bir Binanın Simülasyonu*, Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri, Ankara.
16. Oktik, Ş. (2001). Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri. *Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, 4, 89-106.
17. Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.
18. İnternet: Moon, M. (August, 2009). *Google studies how dirt affects solar panel efficiency*. PC Magazine: Good Clean Tech. URL: <https://goodcleantech.pcmag.com/solar-energy/279277-google-studies-how-dirt-affects-solar-panel-efficiency>, Son Erişim Tarihi: 22.03. 2019.
19. İnternet: Katz, G. B. *Effect of dust on Solar Panels*, URL: <http://www.gregorybkatz.com/Home/effect-of-dust-on-solar-panels>, Son Erişim Tarihi: 10.05. 2019.
20. Hottel, H. C. (1942). Performance of flat-plate solar heat collectors. *Trans. ASME* 64, 91.
21. Salim, A. A., Huraib, F. S. and Eugenio, N. N. (1988). PV power-study of system options and optimization. *In EC Photovoltaic Solar Conference*. 8, 688-692.
22. Oğulata, R. T. and Oğulata, S. N. (2002), Solar radiation on Adana, Turkey. *Applied Energy*, 71(4), 351-358.
23. Çıtıroğlu, A. (2000). Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi. *Mühendis ve Makine*, 485, 1-5.
24. Járdán, R. K. Nagy, I. and Schendl, N. (2004). Enhanced utilisation of solar radiation for the generation of electric energy, *In 2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa*, 619-624.
25. Patel, M. R. (2009). Wind and solar power systems, *New York: CRC Press*, 138-157

26. Bahtiyar, B. (2006). *Fotovoltaik Sistemler için Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Suat ŞAHİN  
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti  
Doğum tarihi ve yeri : 23.02.1979- Amasya  
Medeni hali : Evli  
e-posta : suat.sahin@amasya.edu.tr

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
Lisans	Fırat Üniversitesi	2002
İş Deneyimi/Yıl	Çalıştığı Yer	Görevi
2005- ...	Amasya Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

### Yabancı Dili

İngilizce

### Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)