



**T.C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT EKSENLİ  
FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE UZAKTAN İZLENMESİ**

**SERKAN SAĞLAM**

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

**ORDU2019**

**T.C.**  
**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT EKSENLİ FOTOVOLTAİK  
(PV) SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE UZAKTAN İZLENMESİ**

**SERKAN SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORDU2019**

## TEZ ONAY

**Serkan SAĞLAM** tarafından hazırlanan “ **İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT EKSENLİ FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN TASARIMI VE UZAKTAN İZLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.07.2019 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Sibel AKKAYA OY

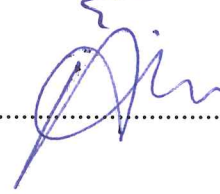
### Jüri Üyeleri

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Sibel AKKAYA OY  
Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri ve  
Teknolojisi Mühendisliği, Ordu Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. Ercan Nurcan YILMAZ  
Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik  
Mühendisliği, Gazi Üniversitesi  
Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekber ÖZDEMİR  
Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri ve  
Teknolojisi Mühendisliği, Ordu Üniversitesi

### İmza

.....  


.....  


.....  


28/08 / 2019 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 29/08 / 2019 tarih ve 2019 / 536 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER

.....  


## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

  
SERKAN SAĞLAM

**Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün B-1833 numaralı projesi ile desteklenmiştir.**

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

## ÖZET

### İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT EKSENLİ FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE UZAKTAN İZLENMESİ

SERKAN SAĞLAM

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ 50 SAYFA

TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi SİBEL AKKAYA OY

Bu araştırmada, iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi sağlanmıştır. PV sistemler Samsun ili Bafra ilçesinde bulunan Bafra Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi içerisinde bulunan bir konumuna yerleştirilmiştir. Uygulamanın yapıldığı zaman aralığında gölgelenme olayı önemsenmeyecek oranda az olduğu görülmüştür. Sistemler aynı süre zarfında, aynı konumda ve birbirlerini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerde elde edilen enerji, akıllı inverterler sayesinde belirli periyotlarda alınarak raporlanmıştır. Üretilen enerji değerleri, akıllı invertere bağlanan raspberry pi devre kartı sayesinde uzaktan bağlantı kurularak alınmış ve internet sitesinde yayınlanmıştır.

Uygulaması gerçekleştirilen sistemlerde elde edilen enerji değeri, bu sistemlerin maddi karşılığı, yatırımı amorti etme süresi gibi değerler kıyaslanarak iki eksenli takip sisteminin Karadeniz Bölgesi için uygun olup olmadığı araştırılmıştır. İnternet sitesinde, yapılan analizler ve grafiksel verilerle birlikte paylaşılarak kullanıcıların bilgisine sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik Sistem, Solar Takip Sistemi

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND REMOTE MONITORING OF TWO AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM AND FIXED AXIS PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS**

**SERKAN SAĞLAM**

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**RENEWABLE ENERGY**

**MASTER THESIS, 50 PAGES**

**SUPERVISOR: Assist. Prof. Dr. SİBEL AKKAYA OY**

In this research, design and remote monitoring of fixed axis photovoltaic systems with two axis solar tracking system is provided. PV systems are located in Bafra Vocational and Technical Anatolian High School located in Bafra district of Samsun province and placed in a shading area at certain times of the day. The aim of this is to see to what extent the biaxial tracking system will be efficient in case the fixed system is exposed to shading

The energy obtained in photovoltaic systems is reported by being collected in certain periods thanks to intelligent inverters. The generated energy values were taken previously by remote connection by means of raspberry pi circuit board connected to smart inverter and published on the website. Thanks to the remote connection program installed on the Windows IoT operating system installed on the Raspberry circuit board, the energy values connected to the inverter were transferred to digital media.

The energy value obtained in the systems implemented, the material equivalent of these systems, the values such as amortization of investment were compared and the suitability of the biaxial tracking system for the Black Sea region was investigated. The analyzes on the website were shared with the graphical data and presented to the users.

**Keywords:**Photovoltaic System,Solar Tracker System

## TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi, çalıőmanın yürütülmesi ve yazımı esnasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen danıőmanım Sayın Doç. Dr. Sibel AKKAYA OY'a teşekkür ederim.

Aynı zamanda, çalıőmam süresince her zaman yanımda olan ve manevi desteğini esirgemeyen eőim ileocuklarım Yusuf ve Kerem'e teőekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VII
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	IIX
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	X
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	3
2.1 Enerji.....	5
2.2 Yenilenebilir Enerji.....	5
2.3 Dünyada Yenilenebilir Enerji İle İlgili Gelişmeler.....	8
2.4 Dünya’da Güneş Enerjisi.....	9
2.5 Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Durumu.....	10
2.6 Türkiye’nin Güneş Enerji Potansiyeli.....	12
2.7 Samsun İlinin Güneş Enerji Potansiyeli.....	14
2.8 Güneş.....	16
2.8.1 Güneşlenme.....	16
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	17
3.1 Güneş Takip Sistemi.....	17
3.2 Güneş Takip Sisteminin Sınıflandırılması.....	18
3.2.1 Tek Eksenli Takip Sistemleri.....	18
3.2.2 İki Eksenli Takip Sistemleri.....	19
3.2.3 Pasif Kontrollü Sistemler.....	19
3.2.4 Aktif Kontrollü Sistemler.....	20
3.3 Fotovoltaik Sistem Elemanları.....	21
3.3.1 Fotovoltaik Panel.....	21
3.4 Fotovoltaik Panel Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	21
3.4.1 Kristal Silisyum.....	21
3.4.2 Galyum Arsenit.....	21
3.4.3 Amorf Silisyum.....	22
3.4.4 Kadmiyum tellürid.....	22
3.4.5 Bakır indiyum.....	22
3.4.6 Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler.....	22
3.5 Fotovoltaik Panel Üretim Tipleri.....	22
3.5.1 Monokristal Fotovoltaik Paneller.....	22
3.5.2 Polikristal Fotovoltaik Paneller.....	22
3.5.3 Esnek Güneş Panelleri.....	23
3.5.4 İnce Film Güneş Paneli.....	23
3.6 Sistem İçin Panel Seçimi ve Özellikleri.....	23
3.7 Akü.....	24
3.7.1 Sistemde Kullanılacak Akü Özellikleri.....	25
3.8 İnverter.....	25
3.8.1 Kullanılacak İnverterin Teknik Özellikleri.....	26
3.9 Lineer Aktüatör.....	27



3.9.1Kullanılacak Lineer Aktüatörün Teknik Özellikleri .....	28
3.10 Fotovoltaik Sistemlerin Tasarımı .....	29
3.11 Panel Verim Değerlerinin Elde Edilmesi .....	32
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>33</b>
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>43</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>47</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>50</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması .....	5
Şekil 2.2	Dünya Birincil Enerji Tüketim Oranları.....	6
Şekil 2.3	Dünyada'da Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı.....	7
Şekil 2.4	Dünya'da Yenilenebilir Enerjinin Dağılımı .....	7
Şekil 2.5	Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı.....	8
Şekil 2.6	Yenilenebilir Enerji Alanında Yıllık Yatırım.....	9
Şekil 2.7	2015 Yılı Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dağılımı .....	10
Şekil 2.8	Türkiye'nin Aylık Bazda Güneşlenme Süreleri .....	11
Şekil 2.9	Güneş Enerjisi Teknik Potansiyelinin Avrupa Ülkelerine Göre Dağılımı ..	12
Şekil 2.10	Türkiye Geneli Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası.....	14
Şekil 2.11	Türkiye'nin Işınım Değerleri.....	14
Şekil 2.12	Türkiye'nin Güneşlenme Süreleri.....	14
Şekil 2.13	Samsun İli Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	15
Şekil 2.14	Samsun İli Işınım Değerleri .....	15
Şekil 2.15	Samsun İli Güneşlenme Süreleri .....	16
Şekil 2.16	Samsun İli PV Tipi Alan Üretilebilecek Enerji Miktarı .....	16
Şekil 3.1	Panel Üzerine Düşen Güneş Işınımı .....	18
Şekil 3.2	Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi .....	19
Şekil 3.3	İki Eksenli Güneş Takip Sistemi .....	19
Şekil 3.4	Pasif Kontrollü Sistemler.....	20
Şekil 3.5	Aktif Kontrollü Sistemler .....	21
Şekil 3.6	Solar Akü .....	25
Şekil 3.7	Solar İnverter .....	26
Şekil 3.8	Sonsuz Dişli .....	28
Şekil 3.9	Lineer Aktuatör.....	29
Şekil 3.10	Sabit Eksenli PV sistemin blok şeması.....	30
Şekil 3.11	İki Eksenli takip sistemi PV sistemin blok şeması .....	30
Şekil 3.12	Sabit Eksenli Fotovoltaik Sistem.....	31
Şekil 3.13	İki Eksenli Güneş Takip Sistemi .....	32
Şekil 3.14	Sistemlerin Deney Görünümü .....	32
Şekil 3.15	Raspberry Pi .....	33
Şekil 3.16	Watchpower İnverter Programı Görünümü .....	34
Şekil 4.1	Aylara Göre Takip Sistemi Panel Verimleri( <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/">http://re.jrc.ec.europa.eu/</a> )....	35
Şekil 4.2	Güniçi Radyasyon Değerleri( <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/">http://re.jrc.ec.europa.eu/</a> ).....	35
Şekil 4.3	Haziran Ayı Güniçi Radyasyon Değeri( <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/">http://re.jrc.ec.europa.eu/</a> ) .....	36
Şekil 4.4	Sabit Sistem 04:00-08:00 Panel Gerilim Değerleri .....	36
Şekil 4.5	Takip Sistemi 04:00-08:00 Panel Gerilim Değerleri.....	37
Şekil 4.6	Sabit Sistem 08:00-12:00 Panel Gerilim Değerleri .....	37
Şekil 4.7	Takip Sistemi 08:00-12:00 Panel Gerilim Değerleri .....	38
Şekil 4.8	Sabit Sistem 12:00-16:00 Panel Gerilim Değerleri .....	38
Şekil 4.9	Takip Sistemi 12:00-16:00 Panel Gerilim Değerleri .....	39
Şekil 4.10	Sabit Sistem 16:00-18:00 Panel Gerilim Değerleri .....	39
Şekil 4.11	Takip Sistemi 16:00-18:00 Panel Gerilim Değerleri.....	40
Şekil 4.12	Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi.....	40

<b>Şekil 4.13</b> PVGIS Aylara Göre Enerji Üretim Tahmini .....	43
<b>Şekil 4.14</b> PVGIS Aylara Göre m <sup>2</sup> Düşen Enerji Üretim Tahmini.....	43
<b>Şekil 4.15</b> PVGIS 21 Aralık ve 21 Haziran Güneş Yükselme Açıları.....	44



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1Yenilenebilir Enerji Alanında Yillik Yatırım .....	9
Çizelge 2.2Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	12
Çizelge 2.3Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Potansiyelinin Dağılımı .....	13
Çizelge 3.1Güneş Paneli Teknik Özellikleri.....	23
Çizelge 3.2Güneş Paneli Mekanik Özellikleri.....	23
Çizelge 3.3Güneş Paneli Sıcaklık Katsayısı .....	23
Çizelge 3.4Akü Özellikleri .....	25
Çizelge 3.5İnverter Panel Teknik Özellikleri .....	26
Çizelge 3.6Lineer Aktüatör Teknik Özellikleri .....	28
Çizelge 4.1Sabit Sistem Enerji Üretim Tahmini.....	39
Çizelge 4.2Hareketli Sistem Enerji Üretim Tahmini.....	40
Çizelge 5.1Güneş Takip Sistemi Karşılaştırmalı Maliyet Tablosu.....	43

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>Ah</b>	: Amper Saat
<b>Aspx</b>	: Aktif Sunucu Sayfaları
<b>Ar-Ge</b>	: Araştırma Geliştirme
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>GW</b>	: Gigawatt
<b>Http</b>	: Hiper Metin Transferi Protokolü
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>I</b>	: Akım
<b>IEA</b>	: Uluslararası Enerji Ajansı
<b>Im</b>	: Maksimum Güç Akımı
<b>IP</b>	: İnternet Protokolü
<b>IIS</b>	: İnternet Bilgi Servisleri
<b>Isc</b>	: Kısa Devre Akımı
<b>kcal</b>	: Kilo Kalori
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>KVA</b>	: Kilo Volt Amper
<b>kW</b>	: Kilo Watt
<b>kWh</b>	: Kilo Watt Saat
<b>m</b>	: Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>MPPT</b>	: Maksimum Güç Noktası Takibi
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>P</b>	: Güç
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>P<sub>inv</sub></b>	: İnverter Gücü
<b>P<sub>yük</sub></b>	: Yüknün toplam gücü
<b>TEP</b>	: Ton Eşdeğer Petrol
<b>V</b>	: Volt
<b>VAC</b>	: Volt Alternatif Akım
<b>VDC</b>	: Volt Doğru Akım
<b>V<sub>m</sub></b>	: Maksimum Güç Voltajı
<b>V<sub>oc</sub></b>	: Açık Devre Voltajı
<b>YEGM</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>W</b>	: Watt
<b>Wp</b>	: Maksimum Güç

---

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisinden faydalanabilmek için insanlar çok eski zamanlardan beri çalışmalarını sürdürmektedirler.Sokrat, milattan önce 400 yıllarında güneş ışınları ile ilgili çalışmalar yapmış ve evlerin güney yönünde bulunan duvarlarına daha fazla pencere koyarak güneş ışınlarının daha fazla içeri girmesinin mümkün olacağını belirtmiştir.Arşimet içbükey aynakullanarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır.1860 yılında Mohuchok, parabolik ayna sistemikullanmış,güneş ışınlarını odaklayarak küçük bir buhar makinesine tahrik vermiştir.

Türkiye’de elektrik enerjisi ihtiyacının 2015-2024 yılları arasında yıllık bazda %5,5artacağı beklenmektedir.Türkiye’de elektrik üretimi amacıylaen çok fosil yakıtlardan yararlanmaktadır. 2018 yılında Türkiye’de üretilen elektriğin %37,3’ükömürden, %29,8’i ise doğalgazdan elde edilmiştir.Türkiye, doğalgazı dışarıdan ithal ettiği için, artan doğalgaz ihtiyacı Türkiye için cari açık kalemi oluşturmaktadır.Stratejik açıdan ise sürekli olarak Türkiye’ye karşı diğer devletler tarafından koz olarak kullanılmaktadır.Kömür gibi fosil yakıtlar, yüksek miktarda çevre kirliliği oluşturmakta, doğaya sera gazı salınımı gerçekleştirmekte ve küresel ısınma gibi sorunlara yol açmaktadır.Hızla artan dünya nüfusunun elektrik ihtiyacını karşılamak ve aynı zamanda bu artışla birlikte yaşadığımız dünyaya zarar vermemek için yenilenebilir enerji kaynaklarını öncelikli tercih olarakmasaya koymalıyız.Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi gibi evrensel,temiz ve üretim maliyeti olmayan enerji kaynakları hem çevre dostu hem de enerji üretme imkanı veren enerji kaynaklarıdır.

Avrupa’da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjini oranı, 2011 yılında %22 olarak gerçekleşmiştir.Bu rakamın gelecek 24 yılda ikiye katlanarak%44 olması beklenmektedir.

Almanya,güneş enerji sistemleri konusunda son yıllarda büyük gelişme sağlayan bir ülkedir.2009-2013 yılları arasında 900 bine yakın güneş paneli kurulumu yaparak, güneş enerjisine verdiği değeri ortaya koymuştur.9 mayıs 2014’te, gün ortasında

enerji ihtyacının %75'ini yenilebilir enerji kaynaklarından sağlayarak farklı bir rekor kırmıştır.

Enerjinin doğru zamanda, yeterli ve güvenilir şekilde, rekabet edilebilir fiyatlarda ve çevresel etkileri de göz önünde tutan bir anlayışla temin edilmesi tüm dünyanın olduğu gibi Türkiye'nin de öncelikli hedefidir. Bu doğrultuda, çevre dostu güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanımı Türkiye'nin artan enerji ihtyacının karşılanmasında oldukça önemlidir.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları listesinin ilk sırasındayeralmaktadır.Bu enerjikaynağının temelini fotovoltaik panel sistemleri oluşturmaktadır.Fotovoltaik sistemler, çevre kirliliği açısından en tercih edilen teknolojilerdendir.

Bir diğer önemli özellikleri, kurulumdan sonraki işletme ve bakım maliyetlerinin,diğer enerji üretim sistemlerine göre daha düşük olmasıdır.Ayrıca panel verimlerinin ilk kullanımlarda %20-30'ler civarında olması ve geçen yıllar boyunca verimin düşmesi sebebi ile de maliyetlerini amorti edebilme süreleri de oldukça uzundur. Bu sebeple fotovoltaik panellerden etkili bir şekilde faydalanabilmek için kullanım amacına ve kurulacak alana uygun bir sistem seçimi yapmak son derece önemli olmaktadır.Özellikle ülkemizde kurulum maliyetini düşük tutabilmek adına sabit sistemler tercih edilmektedir. Hâlbuki yatırım miktarını biraz arttırarak takip mekanizmasına sahip sistemler sayesinde elde edilecek verimi fark yaratacak şekilde yukarılara taşımak mümkündür. Ancak takip sistemi uygulaması yapılırken tek eksen veya iki eksenli sistemler arasında bulunan maliyet ve verim oranları da dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır.

Fotovoltaik panellerin sabit yerleştirildiği uygulamalarda, panellerden elde edilen enerji miktarı, güneşin doğuş ve batış saatlerinde düşük olmaktadır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için tek eksenli, çift eksenli, güneş odaklamalı sistemler gibi güneşi izleyebilen sistemler son yıllarda popüler çalışma alanları haline gelmiştir.

Bu çalışmada, iki eksenli takip sistemi ile sabit fotovoltaik sistemin enerji verim değerleri karşılaştırılarak birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları göz önüne konulmuştur.Ülkemizin bulunduğu coğrafi konum sebebiyle özellikle Karadeniz

Bölgesi'nde takip sistemlerinin çok fazla kullanılmaması sebebi ile bu konu üzerinde durulmuş ve detaylı bir çalışma yapılma gereği duyulmuştur.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ülkemizin bulunduğu coğrafi konum gereği güneş, doğuşundan batışına kadar geçen sürede bir çizgi boyunca ilerlemektedir. Buna bağlı olarak, güneş enerji sistemini tercih eden bireysel veya ticari kullanıcılar, genellikle sabit tasarıma dayalı sistemleri tercih etmektedirler. Bu sebeple Türkiye'de akademik anlamda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı sabit tasarıma dayalı fotovoltaik sistemler üzerine olmuştur. Yapılan literatür çalışması ile son yıllarda yapılan az sayıda bulunan takip sistem çalışmaları incelenmiştir.

Varış, (2017) yaptığı araştırmasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait sosyal bir tesisin konum bilgilerini kullanarak farklı simulasyon programlarıyla 5,2 kWh değerinde güneş enerji sistemini, farklı günlerde sabit ve takip sistemi olarak simüle etmiştir. Simülasyon sonucunda takip sisteminin sabit sisteme oranla %32 daha verimli olduğu ve takip sisteminin yapılan yatırımı 9,8 yılda amorti ettiğini ortaya koymuştur.

Armakan, (2003) astronomik denkleme dayalı bir program geliştirmiş ve yazılım ile prototip arasında veri haberleşmesi sağlayan bir devre kurmuştur. Güneşin, gün içerisinde konumunu hesaplayan bir bilgisayar yazılımı ile yaptığı çalışma sonucunda iki eksenli takip sisteminin sabit sisteme oranla %40 daha fazla enerji üretebildiğini tespit etmiştir.

Bilgin, (2006) yaptığı araştırma sonucunda takip sisteminin sabit sisteme oranla %30 daha fazla verim ürettiği ve özellikle gemi veya karavan gibi araçlarda daha az panel kullanılmasını sağlayarak yer tasarrufu sağlayacağını belirtmiştir. Özellikle mevsimsel değişimlerde dikey tilt açısını değiştirerek %40'lara varan bir enerji verimi elde edilebileceği sonucuna varmıştır.

Beyoğlu, (2011) Balıkesir ilinde yaptığı çalışma ile iki eksenli takip sistemi ile sabit fotovoltaik sistemin eşzamanlı olarak verim analizini yapmıştır. Yaptığı çalışma ile 1 yıl boyunca farklı zamanlarda elde ettiği verileri datalogger ile kayıt etmiştir. Çalışma



süresi sonunda güneş takip sisteminin, sabit sisteme göre %39 daha fazla verim sağladığını tespit etmiştir. Özellikle Karadeniz Bölgesi gibi bulutlu bölgelerde yağışlı günlerin arka arkaya çok olmasından dolayı akülerin boşalabileceği ve bu sebeple daha yüksek kapasiteli akülerin kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Yılmaz, (2013) Türkiye'nin en çok güneş alan illerinden olan Diyarbakır'da iki eksenli takip sistemi ile sabit sistemi eşzamanlı olarak kurarak 1 yıl boyunca verimlerini incelemiştir. Takip sistemi içerisinde hareketi sağlaması için damperli motor kullanmış böylece daha az kayıp enerji sağlamıştır. Çalışması süresince, kış aylarında %70, yaz aylarında ise %11 oranında iki eksenli takip sisteminin verimli olduğunu belirtmiştir. Özellikle kapladığı alan bakımından takip sistemlerinin kullanılmasının daha avantajlı olacağını vurgulamıştır.

Orhun, (2013) yaptığı çalışmada, farklı teknolojiler ile üretilen güneş panellerinin hem sabit sistemleri üzerinde hem de iki eksenli takip sistemi üzerinde incelemesini yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, sabit sistemler üzerinde en yüksek verimi polikristal panel, ardından monokristal ve son olarak da ince film paneller sağlamıştır. İki eksenli takip sistemi üzerinde yaptığı testler sonucunda ise monokristal yapıya sahip panellerde %34,2, polikristal yapıya sahip panellerde %41,5 ve ince film güneş panellerinde ise %55,3 artış gözlemlenmiştir. Ancak sıcaklığın fazla olmasının paneller üzerinde olumsuz bir etki yarattığını ortaya koymuştur.

Alahmad, (2018) yaptığı çalışmada güneş takip sisteminde stirling motor ile çanak sistemini biraraya getirmiş ilgili sonuçları ortaya koymuştur. Isınan havanın motorları hareket ettirme prensibi ile çalışan stirling motorları ile takip sisteminden %17 oranında verim elde ettiğini belirtmiştir.

Avcu, (2018) son yıllarda oldukça popüler olan raspberry pi devre kartı ile güneş takip sistemini biraraya getirerek, mini bir sistem üzerinde yaptığı çalışmada takip sistemlerinin %30-37 oranında verimli olduğunu belirtmiştir.

Menak, (2018) hem tek eksenli hem de iki eksenli hareket edebilen bir sistem kurulumu yaparak iki ayrı günde bu sistemlerin sabit fotovoltaik sistem üzerinde verim farklarını incelemiştir. Kullandığı elemanları Matlab/Simulink üzerinde modellenmiş ve sonuçlar benzetim ortamında test edilmiştir. Yapılacak tez çalışması

sonucunda iki eksenli takip sisteminin %37.234 oranında verimli olduğunu belirtmiştir.

## 2.1 Enerji

Enerji, dünya genelinde ekonomik ve sosyal bakımdan insanların hayat standartlarında ve ülkelerin gelişmelerini ve büyümelerini sağlayan en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Sanayi ve bilim alanındaki gelişmelerle birlikte hızla artan dünya nüfusu enerji ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Hayatın içerisinde sürekli olarak ihtiyaç duyduğumuz enerji, geçmiş yıllarda fosil kaynaklardan sağlanırken bugün dönüştürülebilen enerji kaynakları tarafından üretilmektese arzu edilmektedir (MMO,2018).



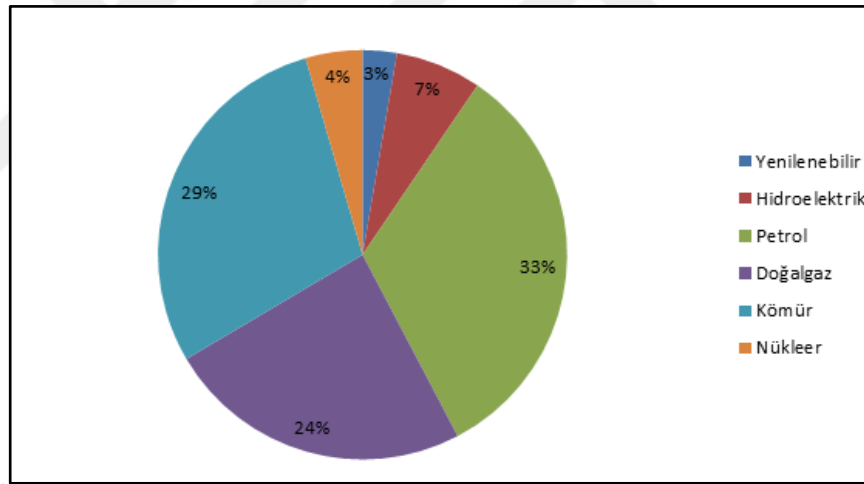
Şekil 2.1 Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması

## 2.2 Yenilenebilir Enerji

İnsanların enerji ihtiyaçlarını yerli ve temiz kaynaklar tarafından karşılayarak dışa bağımlılık oranlarının azaltılması, kaynak türünü arttırarak kritik durumlarda sürdürülebilir enerji imkanı yaratması ve enerji tüketimi sonucunda çevreye minimum zarar vermesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüz dünyasında 1 günde harcanan enerjinin yaklaşık yüzde 20'si yenilenebilir kaynaklarından karşılanmaktadır. Üretilen enerji kaynaklarının büyük bir kısmının fosil yakıtlar tarafından sağlanmasına rağmen her geçen yıl yenilenebilir enerji

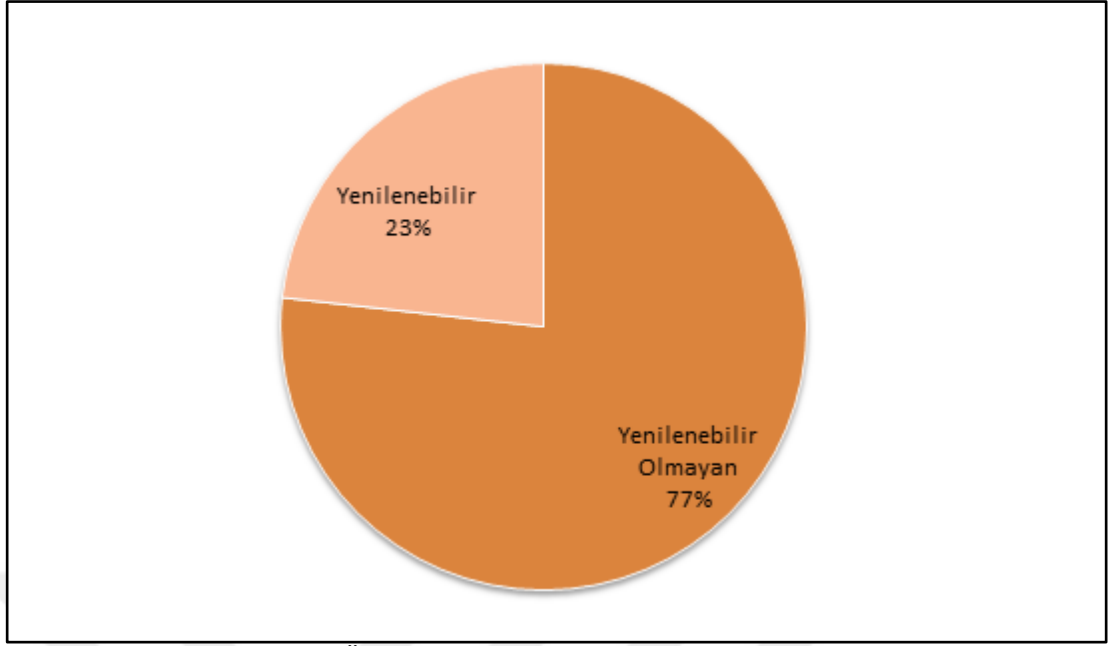
kaynaklarından istifade etme oranları giderek artmaktadır (Şekil 2.2).Dünya’da gerçekleşen yenilenebilir enerji hareketinden etkilenen ülkemizde önemli gelişmeler yaşanmaktadır. 2016 yılında yenilenebilir enerji üretim gücü yaklaşık 35 GW olarak gerçekleşmiştir(IRENA,2017). Yenilenebilir enerjinin toplam elektrik üretimi içindeki payı ise 35 olarak gerçekleşmiştir.Bu rakamın büyük kısmını hidrolik enerji santralleri oluşturmaktadır. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklarının gelişiminin artmasına rağmen diğer gelişmiş ülkeler seviyesine henüz ulaşamamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları uygulamaları her geçen yıl artmasına ve teknolojilerinin gelişmesine rağmen, dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında ilk sırayı fosil yakıtlardan sağlanan enerji ürünleri almaktadır.Yenilenebilir enerjinin toplam enerjinin tüketimi içerisindeki payı ise yüzde 9,5 civarındadır.

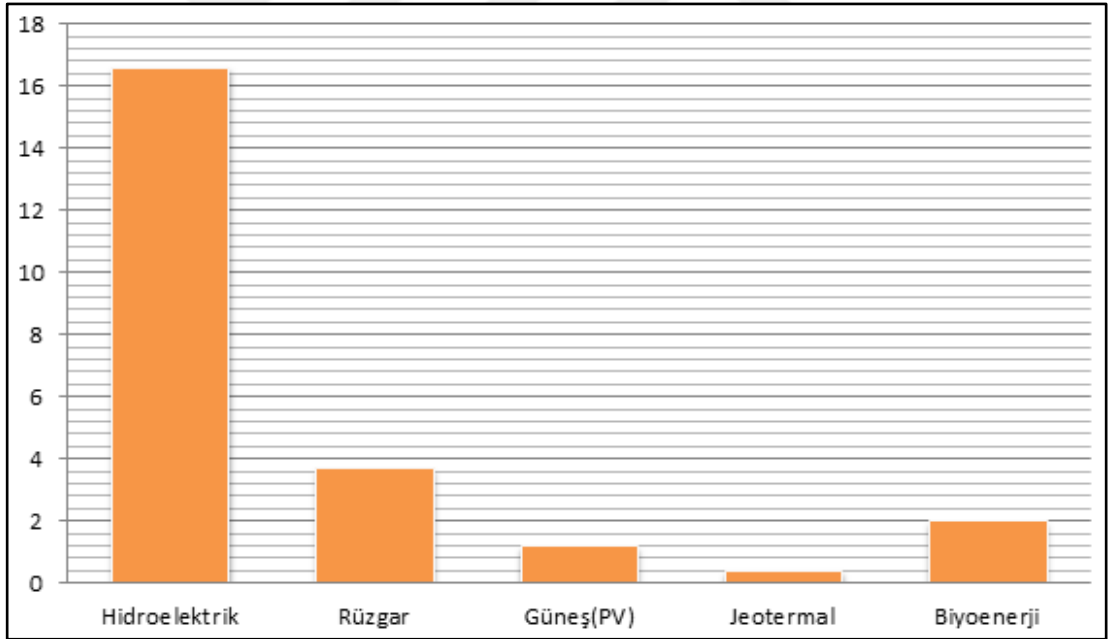


Şekil 2.2Dünya Birincil Enerji Tüketim Oranları (2015)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2015 yılı sonunda ile dünyanın toplam enerji tüketimi içindeki payı %19 olarak gerçekleşmiştir. Bu rakam takip eden yıllarda ilerleme kaydederek 20 seviyesine geçmiş bulunmaktadır. Fosil yakıtların bu tüketim değeri içerisindeki payı yaklaşık olarak %77, nükleer enerji ise %2,5 civarındadır (Şekil 2.3).



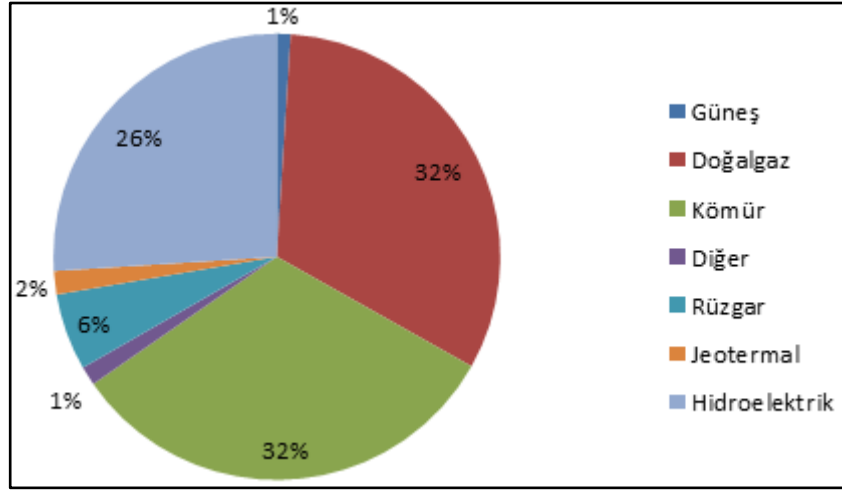
Şekil 2.3 Dünya’da Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı



Şekil 2.4 Dünya’da Yenilenebilir Enerji Üretiminin Dağılımı

Türkiye, elektrik enerjisi üretiminde hammadde olarak çoğunlukla fosil yakıtları ve doğalgaz kaynaklarını kullanmaktadır. Bu kaynakları hidroelektrik santralleri sayesinde oluşanelektrik üretimi takip etmektedir. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal ve diğer enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payları ise

%10'u geçmemektedir (Şekil 2.5).Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim değeri yaklaşık %35'e ulaşmaktadır.



Şekil 2.5 Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

### 2.3Dünyada Yenilenebilir Enerji İle İlgili Gelişmeler

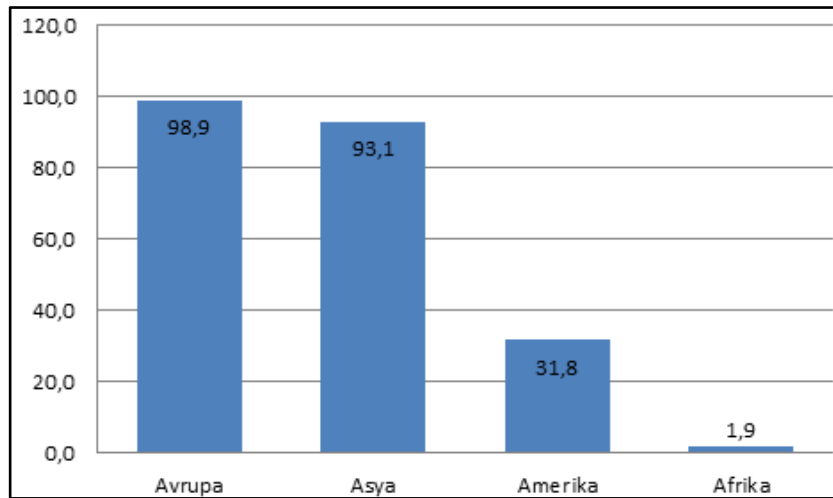
Yenilenebilir enerji yatırımlarının dünya genelinde artmasının bir çok sebebi bulunmaktadır.Özellikle ülkelerin enerji kaynaklarını güvenceye almak istemeleri ve enerji kaynaklarına gelebilecek tehlikelere sigorta oluşturabilmek amacıyla bu yatırımları her geçen gün artmaktadır.Devlet tarafından yenilenebilir enerji teknolojisine yapılan yatırımlar sayesinde küçük ve orta ölçekli girişimcilerin ilgisinde artış gerçekleşmiştir.Bu sayede yüksek ve pahalı teknoloji gerektiren yenilenebilir enerji projelerinin maliyetleri azalmaya ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamaktadır.Ayrıca gelişen teknoloji sayesinde rüzgar ve özellikle güneş enerji sistemlerinden alınan verim artmakta bu da yapılan yatırım oranlarının artmasını sağlamaktadır.Dünya ülkelerinin yenilenebilir enerjiye olan yatırımlar incelendiğinde 2015 yılı itibarıyla Çin'in bu yatırımlarda oldukça ilerleme kaydettiği görülmektedir.Çin'i ABD, Japonya, Birleşik Krallık ve Hindistan takip etmektedir (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1** Yenilenebilir Enerji Alanında Yıllık Yatırım

Yenilenebilir Enerji ve Yakıtlara olan yatırım	Çin	ABD	Japonya	Birleşik Krallık	Hindistan
Yenilenebilir Enerji ve Yakıtlara olan GSYİH Birim Başına Yatırımı	Moritanya	Honduras	Uruguay	Fas	Jamaika
Jeotermal Enerji Kapasite Artışı	Türkiye	ABD	Meksika	Kenya	Almanya/ Japonya
Hidrolik Enerji Kapasite Artışı	Çin	Brezilya	Türkiye	Hindistan	Vietnam
Güneş Fotovoltaik Sistem Kapasite Artışı	Çin	Japonya	ABD	Birleşik Krallık	Hindistan
Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Sistemleri Kapasite Artışı	Fas	Güney Afrika	ABD	-	-
Güneş Kolektörü Kapasite Artışı	Çin	Türkiye	Brezilya	Hindistan	ABD
Rüzgar Enerjisi Kapasite Artışı	Çin	ABD	Almanya	Brezilya	Hindistan
Biyosizel Üretimi	ABD	Brezilya	Almanya	Arjantin	Fransa
Etanol Yakıt Üretimi	ABD	Brezilya	Çin	Kanada	Tayland

#### 2.4Dünya’da Güneş Enerjisi

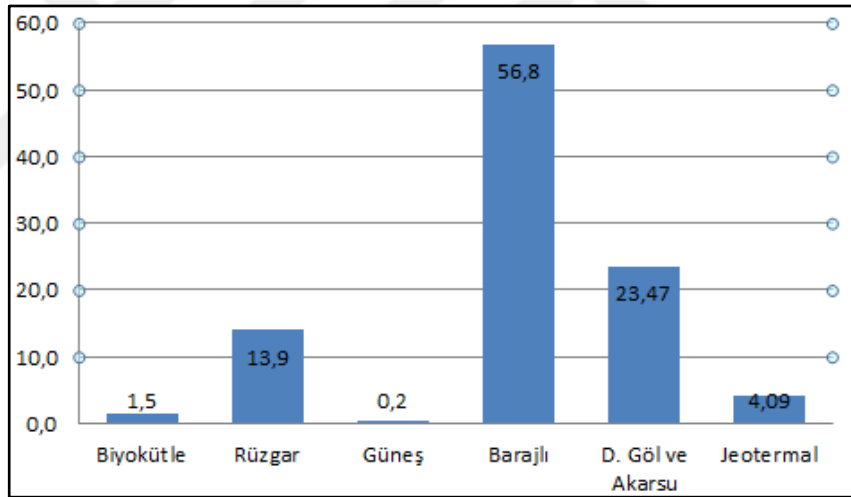
Güneş enerjisi gerek ulaşımı gerek evrenselliği sebebiyle dünyada en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.Güneş enerjisi elektrik ve ısı(özellikle sıcak su) elde etmek için kullanılmaktadır.Ancak güneş panel üretimi maliyetlerinin fosil yakıt kullanım maliyetlerinden daha fazla olması sebebiylegüneş enerjisinin%0,04’ü gibi çok küçük miktarı insanlar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir.Ancak son yıllarda gerçekleşenfotovoltaikpanel ve akü teknolojilerindeki gelişmellersayesinde maliyetlerin hızlı bir şekilde düşmesi dolayısı ile de bu alandaki yatırımların sayısını artırmaktadır.(Şekil 2.6)



**Şekil 2.6**Yenilenebilir Enerji Alanında Yıllık Yatırım

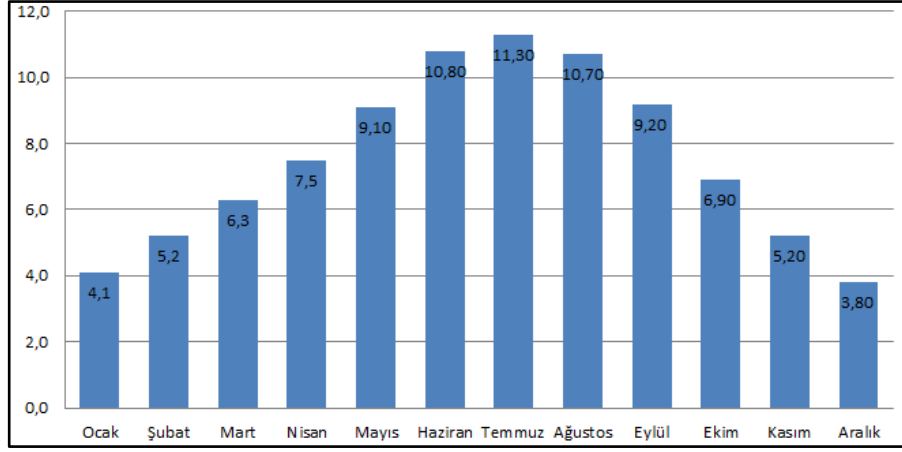
## 2.5 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Türkiye yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından birçok Avrupa ülkesine oranla oldukça yüksek coğrafi potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyele karşılık yenilenebilir kaynaklarından enerji üretimi alanında ise hak ettiği yerin gerisinde bulunmaktadır. Türkiye’nin enerjide dışa bağımlı olduğu kaynak miktarları dikkate alındığında mevcut yenilenebilir enerji potansiyellerinin kullanımınında da hızlandırılmasının önemi gelecek yıllarda Türkiye açısından oldukça önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye özellikle 2009 yılından sonra yenilenebilir enerji alanında oldukça önemli atılımlar gerçekleştirmiştir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji üretimi 2010 yılı başlarında 15,8 GW iken 2015 yılı itibarıyla bu rakam 31,9 GW rakamına yükselerek gözle görülür bir ilerleme yaşanmıştır. (ETKB, 2016) 2016 yılsonunda ise Türkiye’nin yenilenebilir enerji toplam kurulu gücü 34,2 GW olarak kayıtlara geçmiştir.



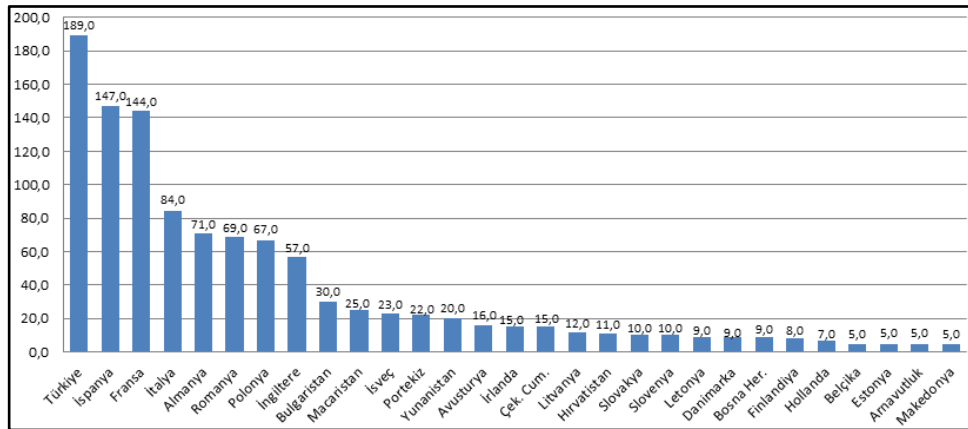
Şekil 2.7 2015 Yılı Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dağılımı (GWh)

Türkiye’nin güneşlenme süresi yıl boyunca değişmekle birlikte yıllık yaklaşık 2 bin 740 saattir (Şekil 2.8). Türkiye günde ortalama olarak 7,5 saate yakın güneşlenme değerine sahiptir. Almanya’ya oranla yüzde 60’dan fazla güneşlenme potansiyeline sahiptir.



**Şekil 2.8.**Türkiye'nin Aylık Bazda Güneşlenme Süreleri

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda Türkiye'nin güneşten 500 bin MW elektrik üretim potansiyelinin olduğu tahmin edilmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla güneş enerjisi Türkiye için çok daha fazla potansiyele sahip bulunmaktadır. Türkiye'de 2017 yılı başında elektrik enerjisinin yatırımlarının toplam gücü yaklaşık 79 bin MW olmuştur. Bu değerler göstermektedir ki, enerjide dışa bağımlı olduğumuz kaynaklar yerine sürekli olarak bedava olan güneş enerjisinden yüksek hassasiyet ile faydalanılması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Elektrik üretimi alanında güneş enerji potansiyeli yaklaşık 190 GWh/yıl olan Türkiye, bu alanda en yüksek değere sahip olan Avrupa ülkelerinden olan İspanya ve Fransa'dan yaklaşık yüzde 30 oranda daha fazla potansiyele sahiptir (Şekil 2.9). Bu veriler ışığında Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) 2017 raporuna göre Türkiye'nin 2017 yılında fotovoltaik kurulu gücü 3,422 MW ile dünyada 13. sırada bulunmaktadır.



**Şekil 2.9** Güneş Enerjisi Teknik Potansiyelinin Avrupa Ülkelerine Göre Dağılımı



## 2.6 Türkiye' nin Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye bulunduğu coğrafi konumu sebebiyle Avrupa ülkelerinden çok daha yüksek miktarda güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığın tarafından hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine bakılarak, yıllık bazda toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık bazda toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m<sup>2</sup>.gün) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin aylara ve bölgelere göre yıllık bazda güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2** Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/gün)
	kcal/cm <sup>2</sup> -ay	kWh/m <sup>2</sup> -gün	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
<b>Toplam</b>	<b>112,74</b>	<b>1311</b>	<b>2640</b>
<b>Ortalama</b>	<b>308</b>	<b>3,6</b>	<b>7,2</b>

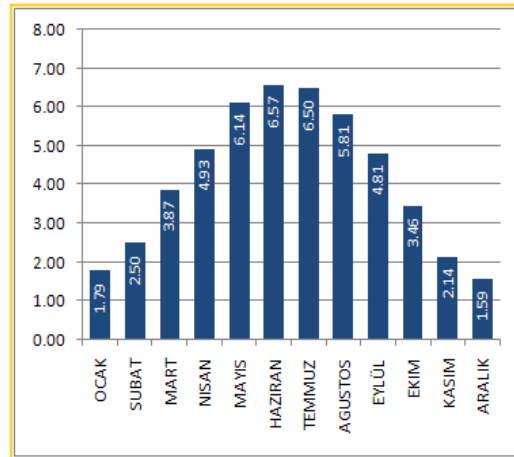
**Çizelge 2.3 Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Potansiyelinin Dağılımı**

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/ m <sup>2</sup> -	Güneşlenme Süresi
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

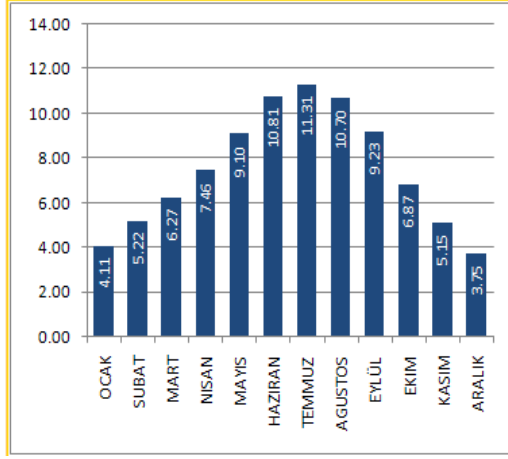
Türkiye'nin "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)" Şekil 2.7'de, aylara göre ortalama güneşlenme değerleri Şekil 2.8.'de, güneşlenme süreleri Şekil 2.9'da ve PV tipi-alan üretilebilecek enerji miktarı (KWh-Yıl) Şekil 2.10.'da verilmiştir.



**Şekil 2.8**Türkiye geneli güneş enerjisi potansiyeli



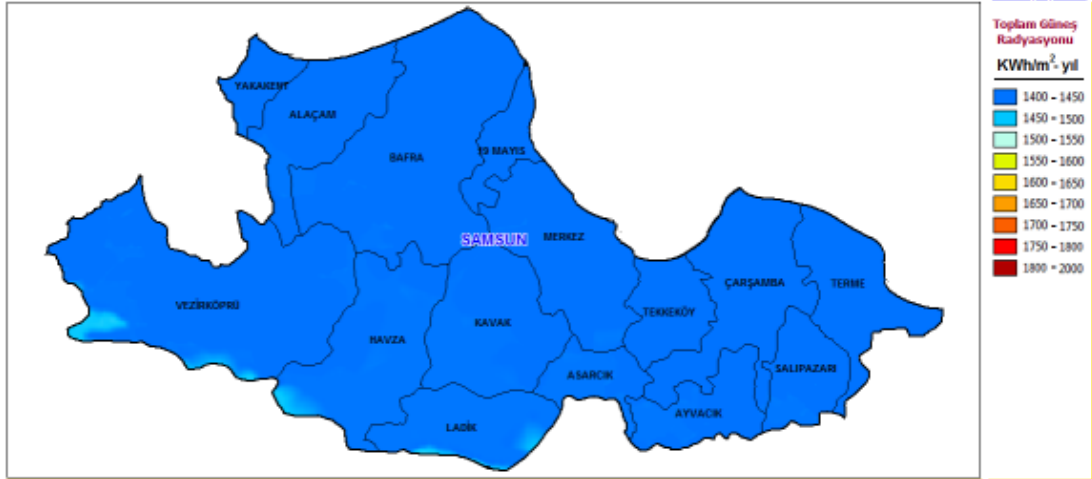
**Şekil 2.10**Türkiye'nin 12 aylık ortalama güneşlenme süreleri



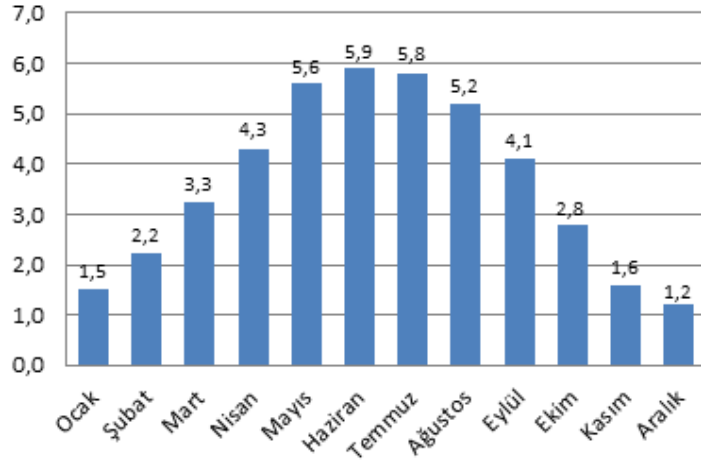
Şekil 2.11 Türkiye'nin Güneşlenme Süreleri

## 2.7. Samsun İlinde Güneş Enerji Potansiyeli

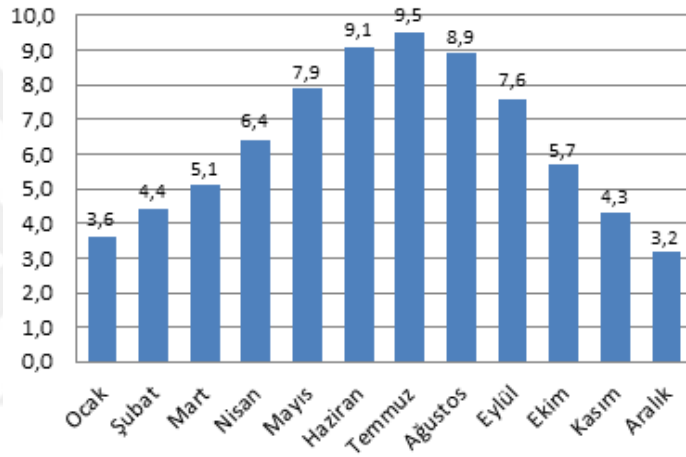
Ülkemizin “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)” incelendiğinde Karadeniz Bölgesi'nin güneş radyasyon değerlerinin Türkiye ortalamasının altında olduğu ve diğer bölgelere göre de daha düşük olduğu görülmektedir. Samsun İline ait “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)” verilerine göre Samsun ili güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2.12'de, aylara göre ortalama güneşlenme değerleri Şekil 2.13.'de, güneşlenme süreleri Şekil 2.14'da ve PV tipi-alan üretilebilecek enerji miktarı (KWh-Yıl) Şekil 2.15.'de verilmiştir (YEGM, 2018).



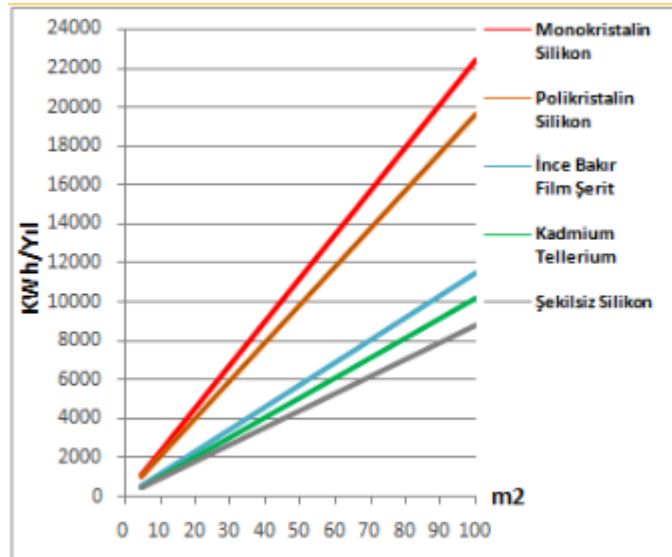
Şekil 2.12 Samsun İli Güneş Enerjisi Potansiyeli



Şekil 2.13 Samsunli ışınım değerleri



Şekil 2.14 Samsunli güneşlenme süreleri



Şekil 2.15 Samsun İli PV Tipi Alan Üretilebilecek Enerji Miktarı (Kwh-Yıl)

## 2.8 Güneş

Günümüzde yeryüzü üzerinde faydalanılan enerjinin en büyüğü ve önemlisi güneştir. Güneş yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 5800 °K olan akkor bir gaz kütlesi olarak bilinmektedir.

Güneş ışınları dünyaya olan mesafe ve uzay boşluğunun etkisiyle atmosfere girmeden önce ve girdikten sonra değişikliklerden geçer. Güneş ışığı, farklı frekansa sahip olan elektromanyetik dalgaların bileşimi şeklindedir. Elektromanyetik dalga özelliği gösteren ışık, foton denilen ışık kuantumlarının meydana getirdiği bir enerji şeklidir. Eğer güneşten elde edilen enerji artırmak istersek güneşin hareketini izleyen sistemlerin kullanılması gerekmektedir.

Güneşin, farklı zamanlarda dünyaya göre olan konumu belirlemek için güneşle ilgili bazı açısız tanımların bilinmesi ve hesaplanması gerekmektedir.

Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

### 2.8.1 Güneşlenme

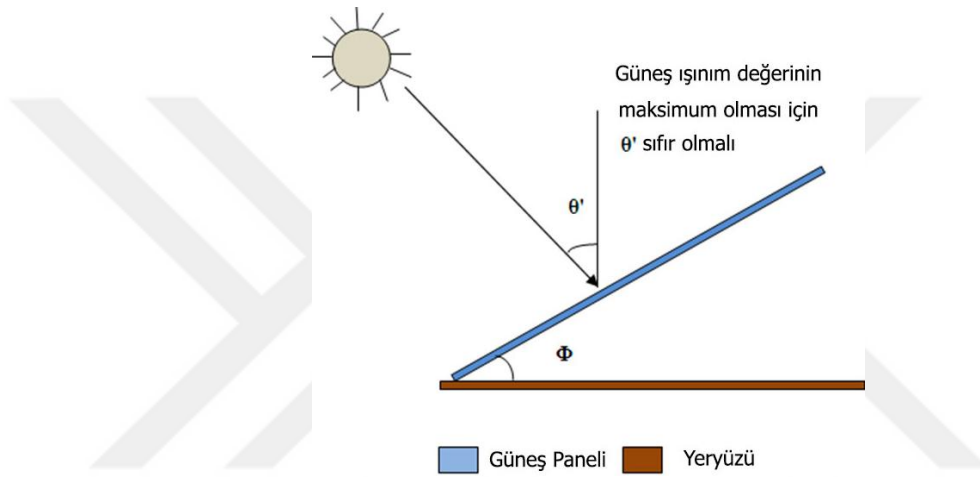
Bir yüzeydeki birim alana gelen enerji miktarıdır, belirli bir zaman dilimi üzerindeki ışımanın toplanmasıyla bulunur. Genellikle zaman dilimi bir saat ya da bir gün kullanılır.

Güneşlenme, güneş enerji ışıması için özellikle uygulanan bir terimdir. Bir günlük güneşlenme sembolü için H kullanılır. Bir saatlik güneşlenme için I sembolü kullanılır. H ve I sembolleri direkt, yayılan veya toplam ışımayı temsil eder ve herhangi bir yönelmenin yüzeyi üzerinde olabilir. G, H ve I yerkağı atmosferi üzerindeki yani atmosfer dışındaki ışımayı temsil eder, üzerindeki indisler şunları temsil eder, b ve d; direkt ve yayılan ışımayı temsil eder, T ve n; eğimli bir yüzey üzerindeki ışımayı ve yayılma yönündeki düzlem normalini temsil eder. Eğer T veya n görünmüyorsa, ışıma yatay düzlem üzerindedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Güneş Takip Sistemi

Güneş ışınlarının fotovoltaik panele en ideal açı ile gelmesi için,panellerin farklı türdeki mekanik sistemler sayesinde hareket ettirilen sistemlere güneş takip sistemi denir.Güneşin gökyüzündeki konumu hem bulunulan mevsime hem de gün saatine göre değişir.Fotovoltaik panelden en ideal verimi alabilmek için güneş ışınlarının panele dik açı ile gelmesi gerekmektedir.(Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Panel Üzerine Düşen Güneş Işınımı

#### 3.2.Güneş takip sistemlerinin sınıflandırılması

Güneşten maksimum verim alabilmek için tasarlanan güneş takip sistemleri,bulunulan coğrafya, kullanılacak ekipman ve belirlenecek control sistematiğine göre farklı türlerde yapılabilmektedir.

##### **Dönüş eksen sayısına göre;**

Tek eksenli takip sistemleri

İki eksenli takip sistemleri

##### **Kontrol yöntemine göre**

Kapalı döngü ile çalışan sistemler (pasif kontrollü)

Açık döngü ile çalışan sistemler (aktif kontrollü)

### 3.2.1. Tek eksenli güneş takip sistemleri

Tek eksenli güneş takip sistemlerinde güneş panelleri yalnızca tek eksende hareket etmektedir. Tek eksenli güneş takip sistemlerinde verimliliğin yaklaşık %20 ile %25 oranlarına ulaşması mümkündür. Tek eksenli güneş takip sistemlerinde fotovoltaik paneller kuzey-güney yönünde yerleştirilir ve takip hareketi doğu-batı ekseninde gerçekleşir.



Şekil 3.2 Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi

### 3.2.2. İki eksenli güneş takip sistemleri

İki eksenli güneş takip sistemlerinde güneşin bulunduğu konum hem kuzey-güney doğrultusunda hem de doğu-batı doğrultusunda takip edilir. Sistemin kurulacağı konumda güneşin rotasına göre verimin daha da artırılması mümkündür. İki eksenli güneş takip sistemlerinde fotovoltaik paneller %30 ile %40 oranlarında verimli olabilmektedir.

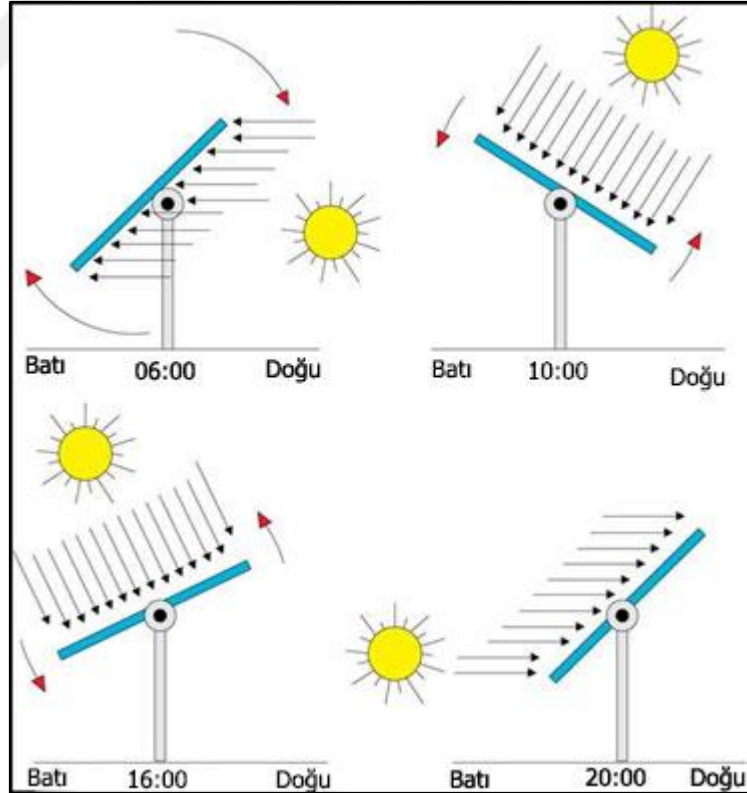


Şekil 3.3 İki Eksenli Güneş Takip Sistemi

### 3.2.3.Pasif Kontrollü Sistemler

Pasif kontrollü sistemler güneşin takip edilebilmesi için gerekli konum bilgisinin sensörler tarafından sistemlerdir. Güneş panellerinin ışık miktarının fazla olduğu yöne dönmesi prensibi ile çalışan sistemlerde sensör olarak farklı tipte malzemeler kullanılabilir. Güneş panelinin ön yüzüne yerleştirilen sensörler gün içerisinde belirli zamanlarda ışık miktarını sorgulayarak hangi yöne doğru hareket etmesi gerektiğini belirler ve motorlar sayesinde dönüş hareketi gerçekleştirir. Dönme hareketi tek yönde olacak ise tek eksenli güneş takip iki yönde olacağı ise iki eksenli güneş takip sistemi oluşmaktadır.

Pasif kontrollü sistemlerin olumlu tarafı, sistemin kurulması ve gerekli teknik işlemlerin karışık olmayışıdır. Ancak kullanılan sensörlerin arızalanması veya sistemin kararsız yapıya girmesi yanlış tarafa panellerin dönmesini sağlayabilmektedir.



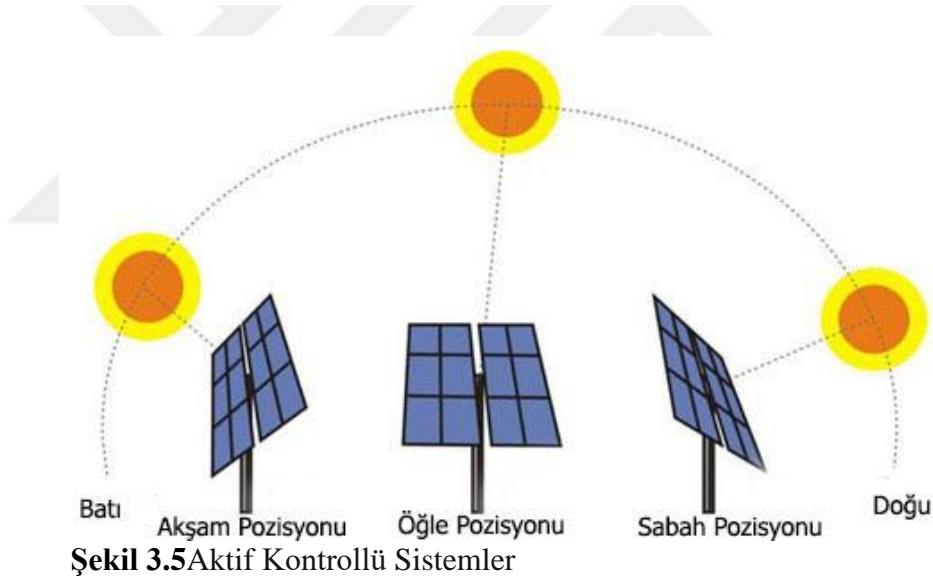
Şekil 3.4 Pasif Kontrollü Sistemler



### 3.2.4. Aktif Kontrollü Sistemler

Aktif kontrollü sistemler güneşin takip edilmesi durumunda herhangi algılayıcı sensörlerin kullanılmadığı sistemlerdir. Bu sistemler güneşin o an bulunduğu durumu matematiksel algoritmalar sayesinde yaparak açık çevrim ile süreci devam ettirmektedirler. Güneş'in yıl boyunca hangi anda hangi konumda olacağı yapılan matematiksel hesaplamalara sayesinde bilinebilmektedir. Bu sistemler sayesinde güneş yılın hangi ayı ve hangi gününde nerede olacağı bilinmektedir. Elde edilen matematiksel modele göre açı değerleri sistemin kontrol değişkenlerini oluşturur.

Pasif kontrol sistemlerine göre zorlukları bulunmasına rağmen sistem performansı açısından daha doğru sonuçlar vermektedir. Sensörlerin dış ortamda meydana gelebilecek bulutlanma ve yağmur gibi etkenlerden dolayı karşılaşılabilecek hatalar aktif kontrollü sistemlerde bulunmamaktadır.



## 3.3 Fotovoltaik Sistem Elemanları

### 3.3.1 Fotovoltaik Panel

Fotovoltaik paneller (güneş paneli) yüzeylerine belirli bir çıyla gelen güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Yüzey şekilleri üretim şekline bağlı olarak kare, dikdörtgen veya daire gibi şekiller barındırabilmektedirler. Yüzey alanları  $100\text{cm}^2$  kalınlıkları ise 0.2-0.4 arasında değişmektedir.

Güneş panelleri üzerilerine güneş ışığı düştüğü zaman hücre uçlarında bir gerilim farkı meydana gelir ve bu şekilde elektrik üretir. Günümüz güneş panelleri günümüzde laboratuvar ortamında %36 verime kadar çıkabilse de uygulamada üretim teknolojilerine göre %18-25 arasında değişen rakamlara sahiptir. Güneş panellerinden alınan gücü arttırmak için güneş panelleri seri olarak birbirine bağlanarak büyük sistemler oluşturulabilmektedir.

### **3.4. Fotovoltaik Panel Yapımında Kullanılan Malzemeler**

#### **3.4.1 Kristal Silisyum**

Kristal silisyum güneş panelleri laboratuvar ortamında %24 uygulama ortamında ise %18 verime kadar çıkabilmektedir. Tek kristalli silisyum yapılarından oluşmaktadır.

#### **3.4.2. Galyum Arsenit**

Laboratuvar ortamında %28'e kadar çıkabilen verimler elde edilebilmektedir. Farklı yarı iletken malzemeler ile birleştirildiğinde %30'lara kadar çıkabilmektedir. Genellikle uzay araştırmalarında kullanılmaktadır.

#### **3.4.3 Amorf silisyum**

Daha çok elektronik cihazlarından üzerinde tümleşik olarak bulunmaktadır. Hücre verimleri maksimum %10 civarındadır. Ancak ileriki zamanlarda katlanabilir güneş hücresi sistemlerinde kullanılacağı düşünülmektedir.

#### **3.4.4 Kadmiyum tellürid**

Fotovoltaik panel maliyetlerinin düşük olduğu hücre türüdür. %18'lere varan hücre verimi bulunmaktadır.

#### **3.4.5 Bakır indiyum**

Çok kristalli bir yapıya sahip hücredir. Laboratuvar ortamında %17'lere varan bir verim oranı bulunmaktadır.

#### **3.4.6 Optik yoğunlaştırıcılı hücreler**

Güneş ışınlarının mercekle yardımıyla yoğunlaştırılarak verimin artırılması esasına dayanmaktadır. Panel verim %17 civarında bulunmaktadır.

### **3.5. Fotovoltaik Panel Üretim Tipleri**

Fotovoltaik paneller Kristal,monokristal ve polikristal olmak üzere 3 farklı tipte üretilir.

#### **3.5.1 Monokristal Fotovoltaik Paneller**

Monokristal paneller en verimli güneş panelleridir.Bu sebepten üretim süresi daha uzun sürmektedir.Yüksek verimli monokristal hücrelerden oluşmaktadır.Kristal hücrelerinin saflık miktarı fazla olduğu için mono adını almıştır.Uzun ömre sahip elemanlardır.

#### **3.5.2 Polikristal Fotovoltaik Paneller**

Gerek verim olarak gerek fiyat ve teknoloji olarak monokristal panellerden alt seviyededir.Monokristal paneller kadar saf olamadıkları için poli adını almışlardır.

#### **3.5.3 Esnek Güneş Panelleri**

Klasik güneş paneli uygulamalarından farklı olarak çatı sistemleri için geliştirilmiştir.Kurulum için herhangi bir mekanizmaya gerek olmadığı avantajları vardır.Ancak panel verimleri oldukça düşüktür.

#### **3.5.4.İnce Film Güneş Paneli**

Güneş ışınlarını emici özelliğe sahiptirler.Kristal hücrelere göre verimleri düşüktür.Yüksek güç üretebilmek için geniş alanlara ihtiyaç duyarlar.

### **3.6.Sistem İçin Panel Seçimi ve Özellikleri**

Tez çalışması için güneş paneli seçerken iki adet güneş paneli kullanılmasına karar verilmiştir.Son kullanıcı tercihleri baz alınması kararlaştırıldığı için piyasada uygun fiyatı sebebiyle en çok kullanılan panel teknolojisi tercih edilmiştir.Tez çalışmamızdabir tanesi sabit sistemdebir tanesi takip sisteminde kullanılmak üzere 260 Watt güç üretebilen Polikristal yapıda olan güneş paneli kullanılmıştır.

Panel özellikleri aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 3.1** Güneş Paneli Teknik Özellikleri

Maksimum Güç ( $P_{max}$ )	260Wp
Modül Verimliliği	15,86
Maksimum Güç Gerilimi ( $V_{mp}$ )	30,4
Maksimum Güç Akımı ( $I_{mp}$ )	8,56
Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	37,3
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	9,04
Güç Toleransı	0~+5W
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1000V DC
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40~+ 85°C
Güvenlik	C Sınıfı
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A

**Çizelge 3.2** Güneş Paneli Mekanik Özellikleri

Hücre Boyutu	156,75 mm x 156,75 mm
Hücre Sayısı	60 (6X10)
Ağırlık	18 kg
Panel Boyutu	1648x995x35mm
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı	2400/5400 Pa
Bağlantı Kutusu	IP67

**Çizelge 3.3** Güneş Paneli Sıcaklık Katsayısı

Sıcaklık Katsayısı (I) sc	0.06%/°C
Sıcaklık Katsayısı (V) oc	-0.34%/°C
Sıcaklık Katsayısı (P)	-0.44%/°C

### 3.7. Akü

Batarya veya digger adıyla aküler elektrik enerjisi sayesinde enerjinin depo edilmesi elektrik imkanının olmadığı durumlarda bu enerjiyi hizmete sunan depolama elemanlarıdır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte akü ve pil sistemlerine oldukça büyük işler düşmektedir. Elektronik cihazlar artık kablolardan kurtulmuş taşınabilir hale gelmiş ve kullanıcılar oldukça uzun süreler şarja ihtiyaç duymadan bu

potansiyeli kullanmak istemektedirler.Kurşun asitli ve jel aküler piyasada en çok kullanılan akü tipleridir.Akülerin kullanım ömrü dolma-boşalma sayısı ile tarif edilmektedir.Bir akünün tam olarak dolması ve ardından tam olarak boşalmasına tam devir denilmektedir.Aküleri aşırı şarj ve aşırı deşarjdan korumak gerekir.Bu yüzden solar sistemlerde aküleri doğru şekilde şarj edebilmek için şarj kontrol cihazları kullanılmaktadır.



**Şekil 3.6**Solar Akü

Tez çalışmasının ana konusu sabit ve iki eksenli takip sisteminde kullanılan panellerin verimlerini incelemek olduğu için herhangi bir elektrikli cihaz çalışmasına ihtiyaç olmayacaktır.Yalnızca takip sisteminde kullanılan lineer aktuatörlerin çalışması için ihtiyaca uygun düşük akım destekleyen akü kullanılmıştır.

### 3.7.1. Sistemde KullanılacakAkü Özellikleri

**Çizelge3.4**Akü Özellikleri

Akü Teknik Özellikleri	
Nominal Gerilim (V)	12 V
Nominal Kapasite (A)	26Ah
Ağırlığı	15,5kg

### 3.8. İnverter

İnverter, girişine uygulanan DC gerilimini, belirli bir genlik ve frekans değerine sahip AC gerilimine dönüştüren elektronik devrelerdir. Kullanım ihtiyacına bağlı olarak değişik türleri bulunmaktadır. Kurulacak sistemin gücü, şebekeye bağlı olma veya olmama durumu gibi kriterler önemli olmaktadır. Son yıllarda üretilen inverterlerin birçoğunda dâhili şarj kontrol sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.7 Akü Özellikleri

#### 3.8.1 Kullanılacak İnverterin Teknik Özellikleri

Tez çalışmasında kullanılacak inverter tercihi yapılırken kullanılacak lineer aktuator özellikleri ön plana çıkmıştır. Diğer bir etken ise panel verim değerlerini raporlama kabiliyetine sahip bir özellik beklenmiştir. Kullanılan lineer aktuatörler 24V DC gerilim ile çalışmasından dolayı akü çıkış gerilim değerleri ile uygun olması sebebiyle tercih edilmiştir. Daha küçük değerlere sahip ürünler bulunmasına rağmen ileriye dönük uygulamalarda kullanabilmek amacıyla özellikleri belirtilen üründe karar kılınmıştır.

İnverter tercihinde kullanılması gereken hesaplama şu şekilde yapılır

$$P_{inv} = P_{yük} \div \eta_{inv}$$

$P_{inv}$  : İnverter gücü     $P_{yük}$  : Yükleğin toplam gücü     $\eta_{inv}$  : İnverter verimi

### Çizelge 3.5 İnverter panel teknik özellikleri

#### Inverter Teknik Özellikleri

Maksimum Güç	3750VA/3000W
Voltaj	230VAC
Seçilebilir Voltaj Aralığı	170 – 280 VAC (Kişisel Bilgisayarlar için); 90-280 VAC (Ev Aletleri için)
Frekans Aralığı	50 Hz/60 Hz (Otomatik Algılama)
AC Gerilim Regülasyonu (Akü. Mod.)	230 VAC $\pm$ 5%
Ani Gerilim Gücü	6000VA
Verimlilik (Tepe)	90% ~ 93%
Transfer Zamanı	10 ms (Kişisel Bilgisayarlar için); 20 ms (Ev Aletleri için)
Dalga	Saf Sinüs Dalgası
Akü Gerilimi	24 VDC
Değişken Şarj Voltajı	27 VDC
Aşırı Koruma	33 VDC
Akımın Şarj Edilmesi	PWM
Maksimum PV Dizisi Açık Devre Voltajı	80 VDC
Maksimum PV Array Gücü	1200 W
Maksimum Solar Şarj Akım	50 A
Maksimum AC Şarj Akımı	25 A
Maksimum Şarj Akımı	70 A

### 3.9. Linear Aktüatör

Solar takip sistemlerinin hareket kazanabilmesi için farklı özelliklere sahip mekanizmalar yapılabilmektedir. Güneş takip sistemlerinin uygulanmaya başlandığı ilk zamanlarda sonsuz dişli yapıya sahip sistemler kullanışlı görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Sonsuz Dişli

Özellikle yatay hareketin fazla olduğu tek eksenli sistemlerde tercih edilen sonsuz dişli mekanizmaları meydana gelen teknik sorunlarda tamir ve değişim anlamında dezavantajlı bir durum sergilemektedir. Aktüatör herhangi bir mekanizmayı veya sistemi ileri veya geri doğru kontrol veya hareket ettiren hassas bir motor türüdür. Hidrolik ve elektriksel olmak üzere iki türde üretilmektedirler. Günümüzde kullanılan takip sistemlerinde daha az güç ile daha hassas hareketin sağlanabildiği lineer aktüatörler gerek mini gerekse orta ölçekli sistemlerde avantajı ile ön plana çıkmaktadır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9** Sulama Amaçlı Kurulan PV Sistemin Blok Şeması

### **3.9.1 Kullanılacak Lineer Aktüatör ün Teknik Özellikleri**

Solar sistemler için lineer aktüatör seçimi yapılırken en önemli kriter solar sistem hareket ettirilecek yükün ağırlığıdır. Yanlış yapılan mekanik sistemler hem aktüatörü zorladığı gibi hem de daha fazla enerji harcayarak aktüatörün daha erken deşaj olmasına sebep olabilecektir.



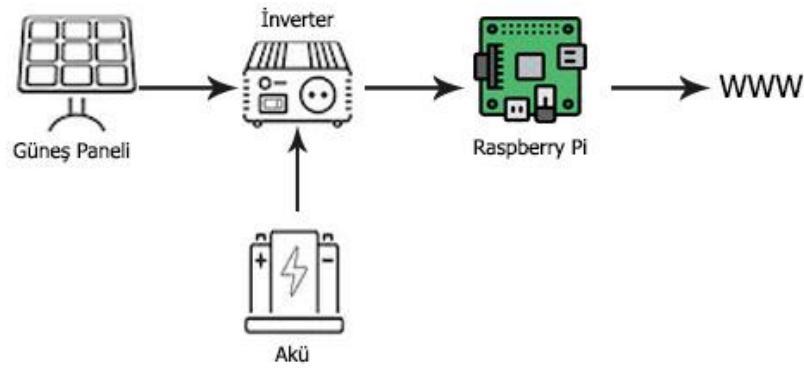
### Çizelge 3.6 Lineer Aktüatör Teknik Özellikleri

#### Lineer Aktüatör Teknik Özellikleri

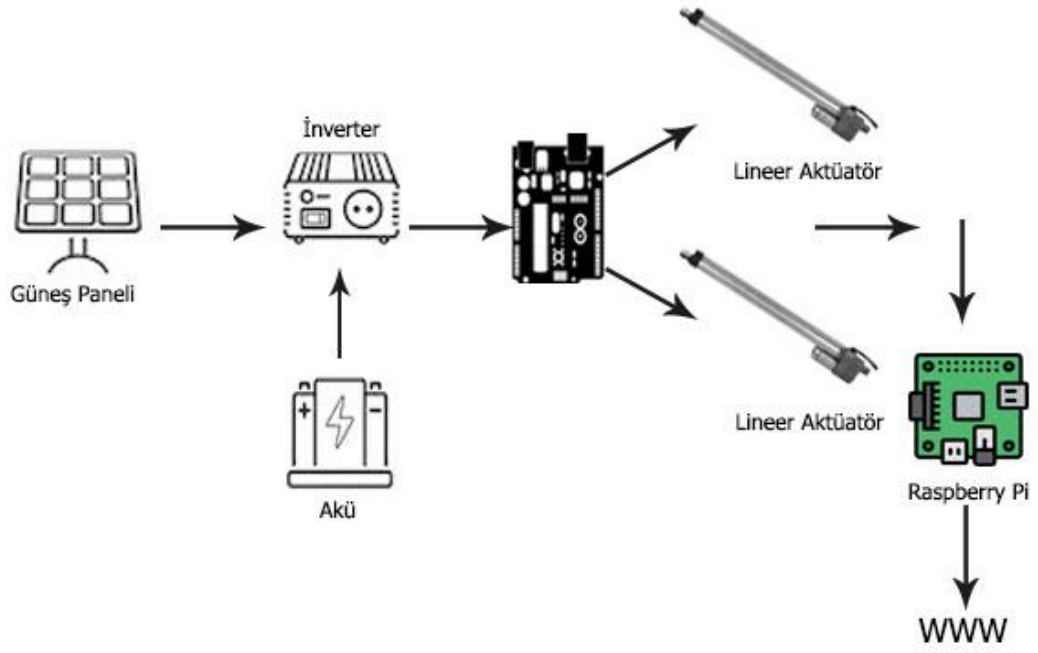
Dinamik Yük Kapasitesi (itme) N	6000
Dinamik Yük Kapasitesi (çekme) N	4000
Statik Yük Kapasitesi (İtme) N	6000
Statik Yük Kapasitesi (çekme) N	4000
Giriş Voltajı	24
Tam Yükte Hızı	3
Strok Ölçüsü	500
Limit Siviç	Var
Aşırı Yük Koruması	Var
IP Sınıfı	IP66
Çalışma Sıcaklığı	+5°C ~ +40°C

### 3.10 Fotovoltaik Sistemlerin Tasarımı

Araştırılması yapılacak olan iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik sistemler kurulurken her iki sistemin aynı alanda ve aynı meteorolojik şartlar altında çalışabilmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.10 Sabit Eksenli PV Sistemin Blok Şeması



**Şekil 3.11** İki Eksenli Takip SistemiPV Sistemin Blok Şeması

Yapılan fotovoltaik sistemde;

- ❖ 1 + 1 adet 260Wp gücünde, Polikristal Fotovoltaik Modül kullanılmıştır.
- ❖ 2 adet 12V 26Ah Kuru Tip Akü kullanılmıştır.
- ❖ 1 adet 24 VDC giriş, 230VAC çıkış, 3KVA çıkış gücünde, Tam Sinüs Evirici kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının saha uygulamaları Samsun ili Bafra ilçesinde bulunan Bafra Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Haziran ayının sıcaklık ve güneşlenme ortalamasının üstünde değerlere sahip olunan 24.06.2019 gününde saha uygulaması yapılmıştır.Uygulama yapılan günde bulutlanma yok denecek kadar az bir oranda gerçekleşmiş gün içerisinde herhangi bir yağmur olayı gerçekleşmemiştir.



Şekil 3.12 Sabit Eksenli Fotovoltaik Sistem



Şekil 3.13 İki Eksenli Güneş Takip Sistemi



**Şekil 3.14**Sistemlerin Deney Görünümü

### **3.11 Panel Verim Değerlerinin Elde Edilmesi**

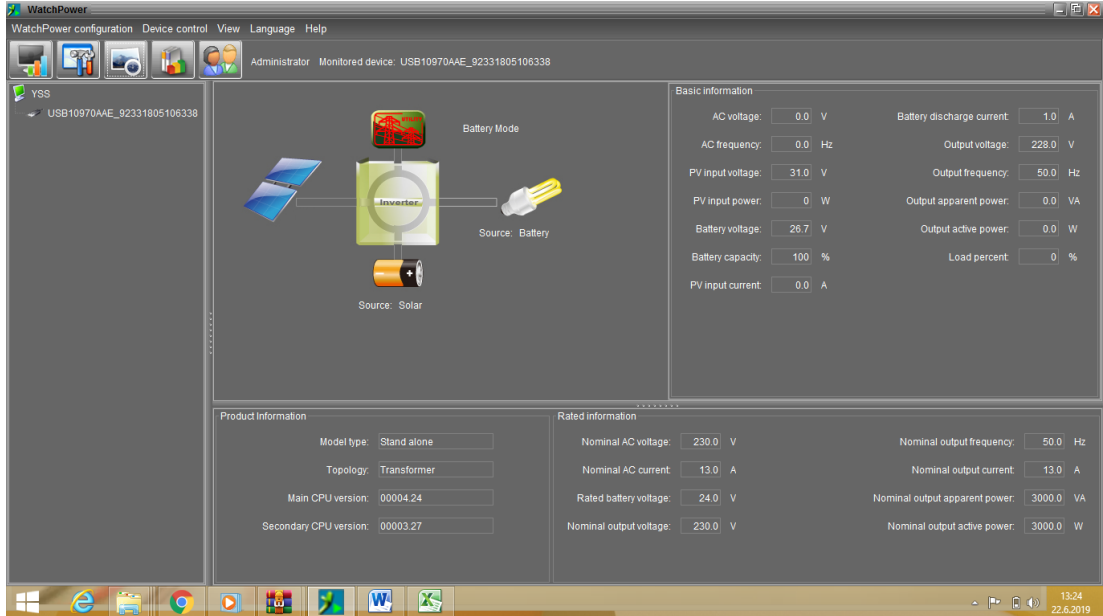
Kurulumu yapılan tez çalışmada panellerin ürettiği gerilim değerleri izlenerek sabit ve takip sistemleri arasındaki farkların ortaya konması sağlanacaktır. Panel verim değerlerini alabilmek için az sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin ilki; panelden alınan DC gerilimi inverter ile doğrultarak aküye depo edilmesi ve aynı zamanda sistemde üretilen enerjiyi tüketen bir kaynak cihazı bulmaktır. Bu sayede Harcana güçten panel verimleri bulunabilecektir. Ancak bu yöntem akademik anlamda çok sağlıklı bulunmamaktadır. Kurulumunu yaptığımız sistemde kullandığımız inverterimiz kendi içerisinde barındırdığı elektronik devreler yardımı ile dışarıdan pc ve pc ye özgü bir bilgisayar programı sayesinde üretim değerlerini çok sağlıklı bir şekilde alabilmektedir. Ancak her iki sistem çıkışına birer adet pc bağlamak hem maliyetli hem de güç gerektireceği için tercih edilmemiştir. Bu soruna raspberry pi adı verilen mini bilgisayar ile çözüm oluşturulmuştur. Raspberry pi, son yıllarda robotic teknolojilerin gelişmesi ile birlikte ortaya çıkan bir devre kartıdır. Ancak arduino gibi devre kartlarından ayrılan yönü raspberry pi'nin aynı zamanda bir mini pc olmasıdır. Raspberry pi içerisinde barındırdığı ram ve hafıza kartı sayesinde hdd özellikleri ile gerek windows IOT gerekse linux türevi işletim sistemlerinin kurulmasına imkan vermektedir (Şekil 3.15).





Şekil 3.15Raspberry Pi

2 adet Raspberry pi devre kartını sistemlere bağlı inverterlere bağlanması sayesinde başka herhangi bir güç veya monitor bağlantısı gerektirmeden sistem çalışmasını takip edebilecektir.Raspberry pi devre kartının içerisinde Windows 10 IOT işletim sistemini kurarak inverter ile birlikte gelen program kurulumu yapılmıştır. Bu program sayesinde inverter,panel,akü gibi sistem elemanlarına ait birçok değer hassas bir şekilde izlenebilmektedir.

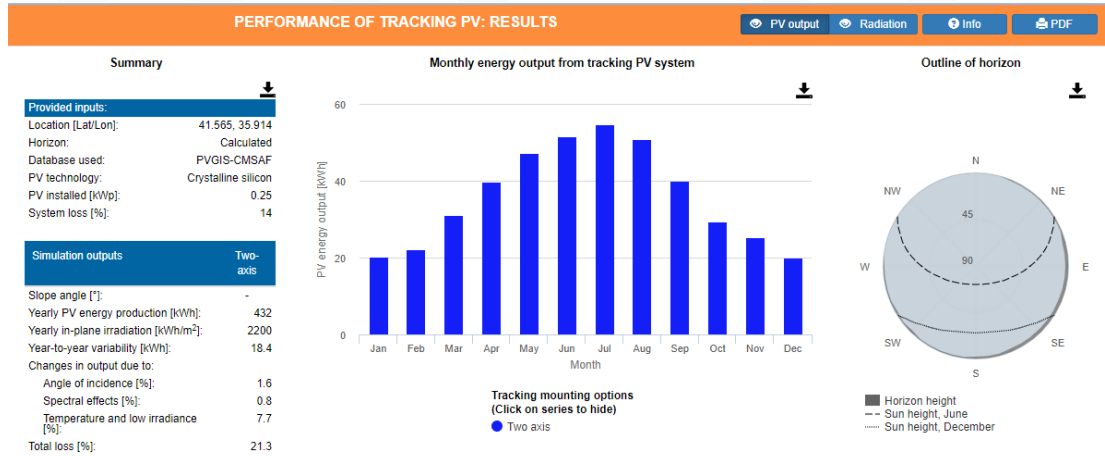


Şekil 3.16İnverter İzleme Programı Bağlantı Görünümü

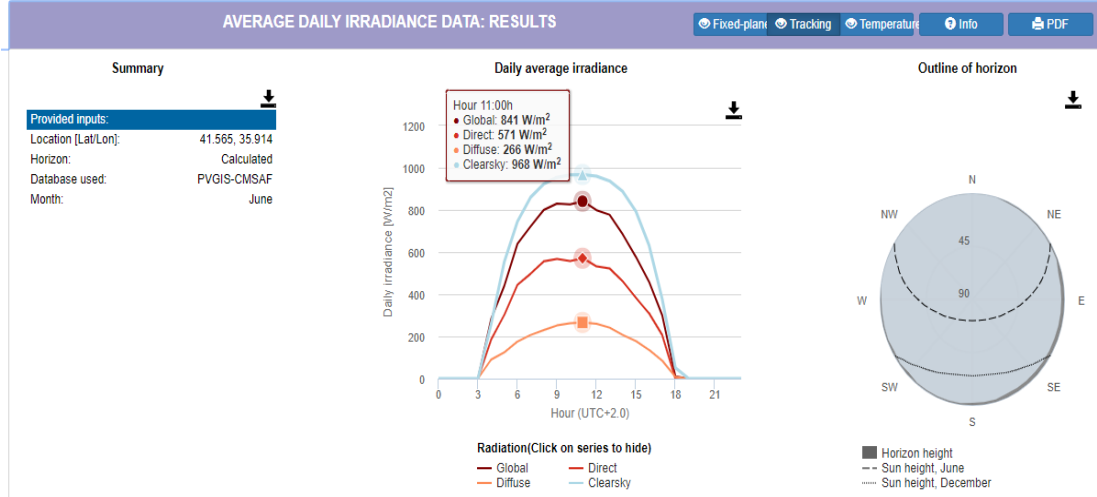
#### 4.BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneysel amaçla yapılan fotovoltaik sistemimiz güneşin doğuşundan batışına kadar gölgelenme oranı minimum olan bir alana kurulmuştur.Sabit ile iki eksenli takip sistmlerinin verim analizini sağlıklı yapabilmek amacıyla meteorolojik hava tahminlerinin yağmur ve bulutlanma oranı en az olabilecek 24.06.2019 günü tercih edilmiş ve haziran ayının en sıcak ve güneşli hava değerlerine sahip günü olarak gerçekleştirilmiştir.Deney yapılan günde güneş doğuş saati 04:52, güneş batış saati ise 20:19 olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak güneşin doğuşu ile batışı arasında geçen yaklaşık 1 saate yakın bir süre hava karanlık ortama daha yakın olduğu için panellerden 0'a yakın değerler alınmıştır.Kurulumu yapılan sistem şebeke bağlantısız bir sistemdir.Sistemde 1 + 1 şuygulama şeklinde 2 adet 260 Watt güneş paneli kullanılmıştır.Sistem verimi verimi için karşılaştırma yapılırken güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süreyi 2'şer saatlik dilimler halinde grafiksel olarak karşılaştırma yaparak fark ortaya koyulmuştur.

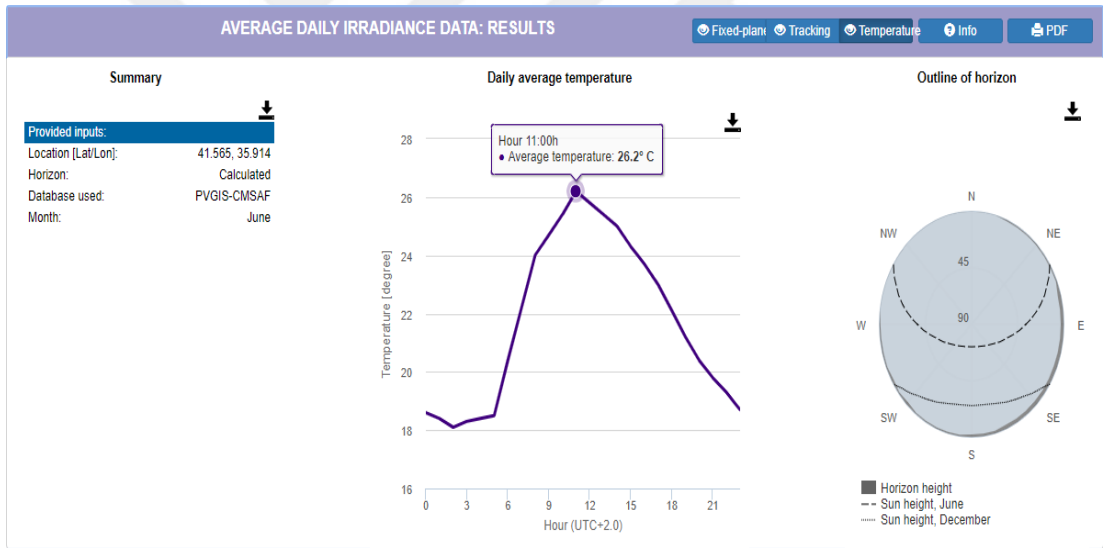
Şekil 4.1'de Photovoltaic Geographical Information System üzerinden uygulama yapılan konuma ait24.06.2019 tarihli güneş ışımın değerleri görülmektedir.



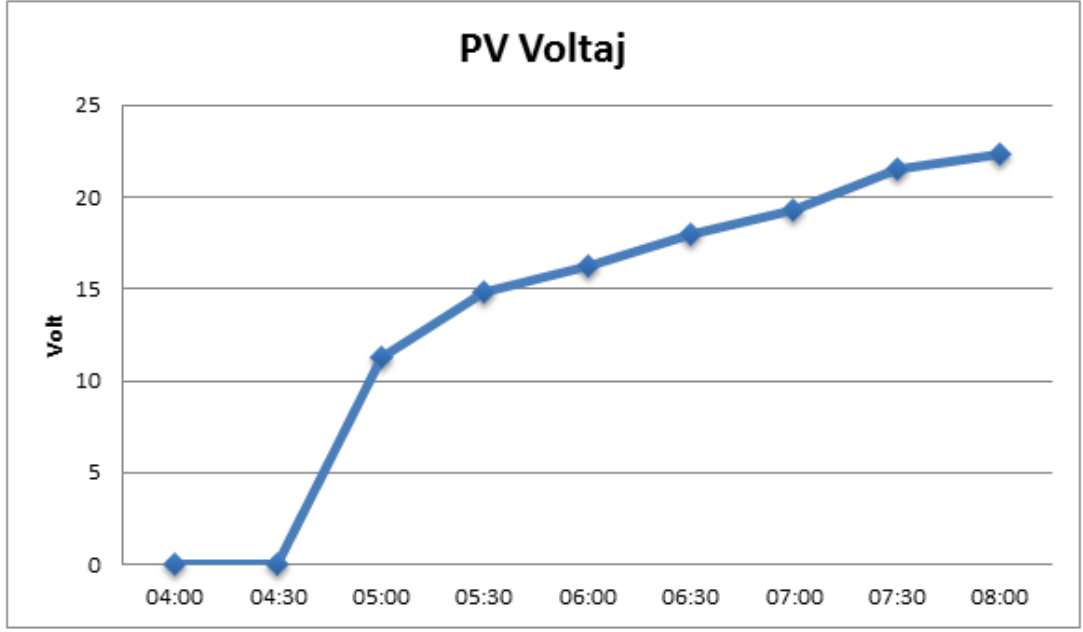
Şekil 4.1 Aylara Göre Takip Sistemi Panel Verimleri (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>)



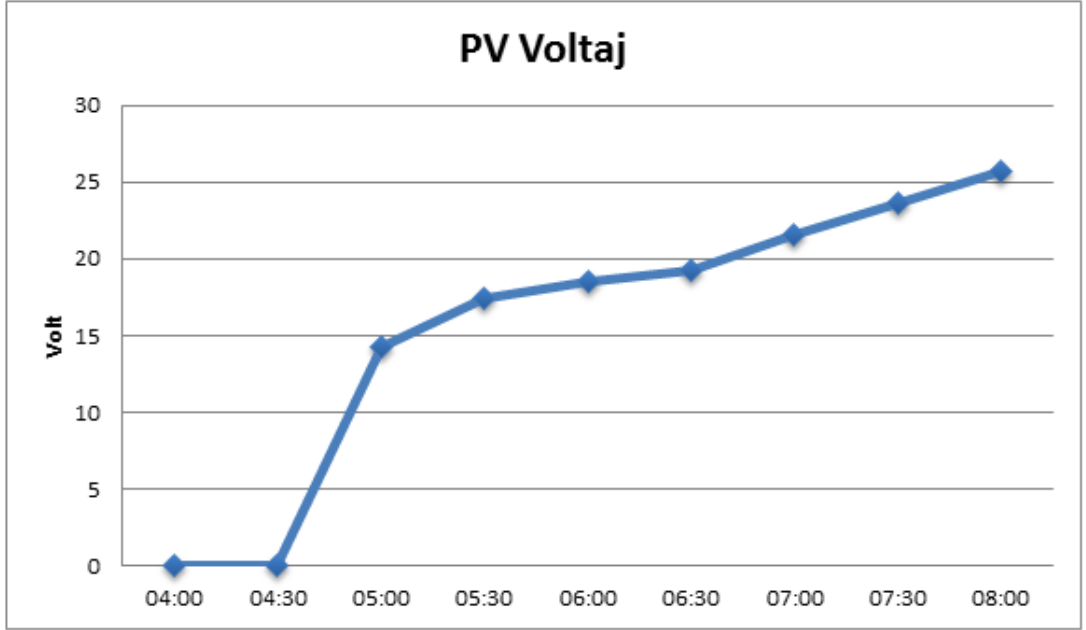
Şekil 4.2Güniçi Radyasyon Değerleri (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>)



Şekil 4.3Haziran Ayı Güniçi Radyasyon Değeri(<http://re.jrc.ec.europa.eu/>)

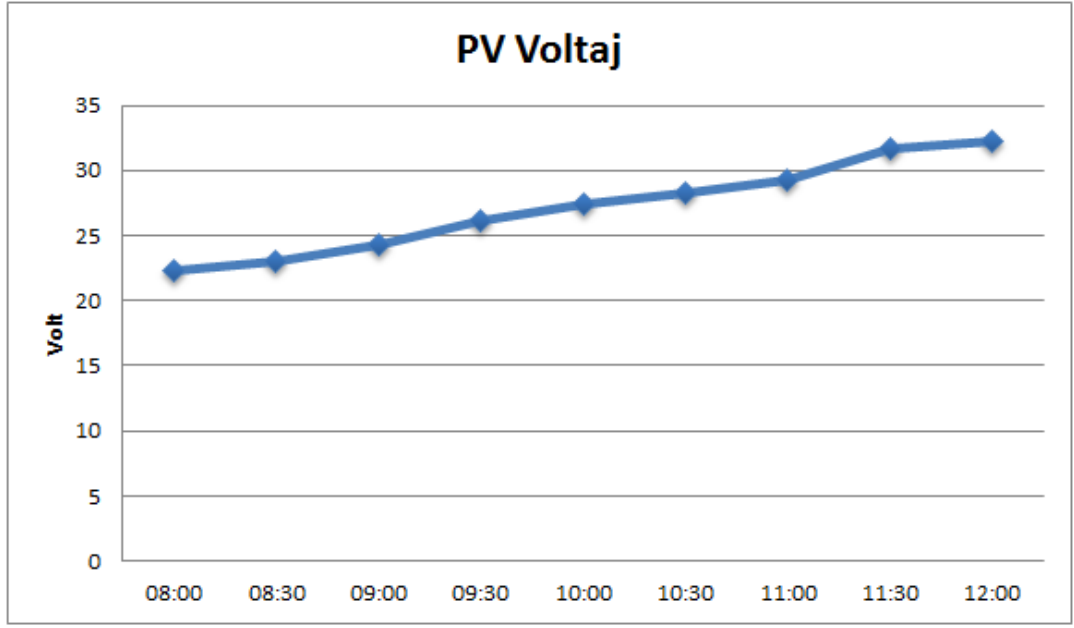


Şekil 4.4 Sabit Eksenli Panel 04:00-08:00 Panel Gerilim Değerleri

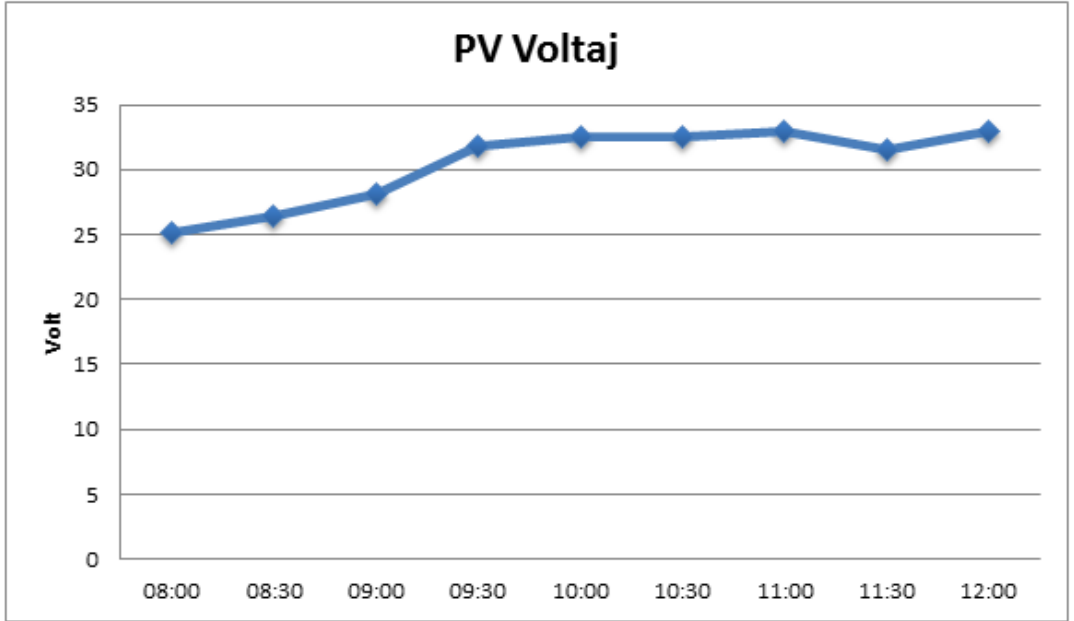


Şekil 4.5 Takip Sistemi 04:00-08:00 Panel Gerilim Değerleri

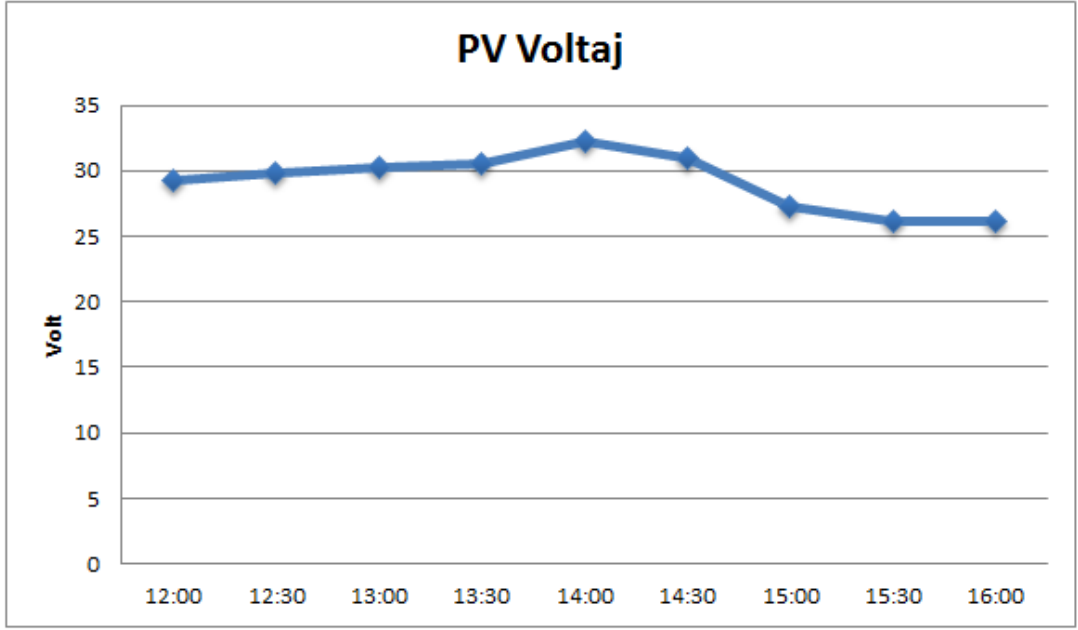




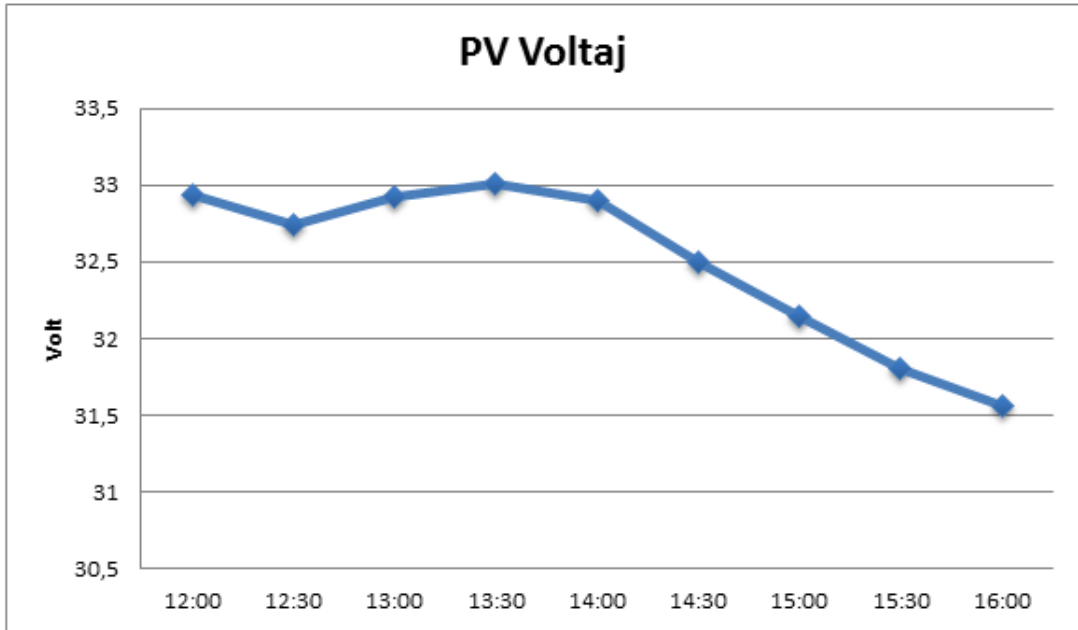
Şekil 4.6 Sabit Sistem 08:00-12:00 Panel Gerilim Değerleri



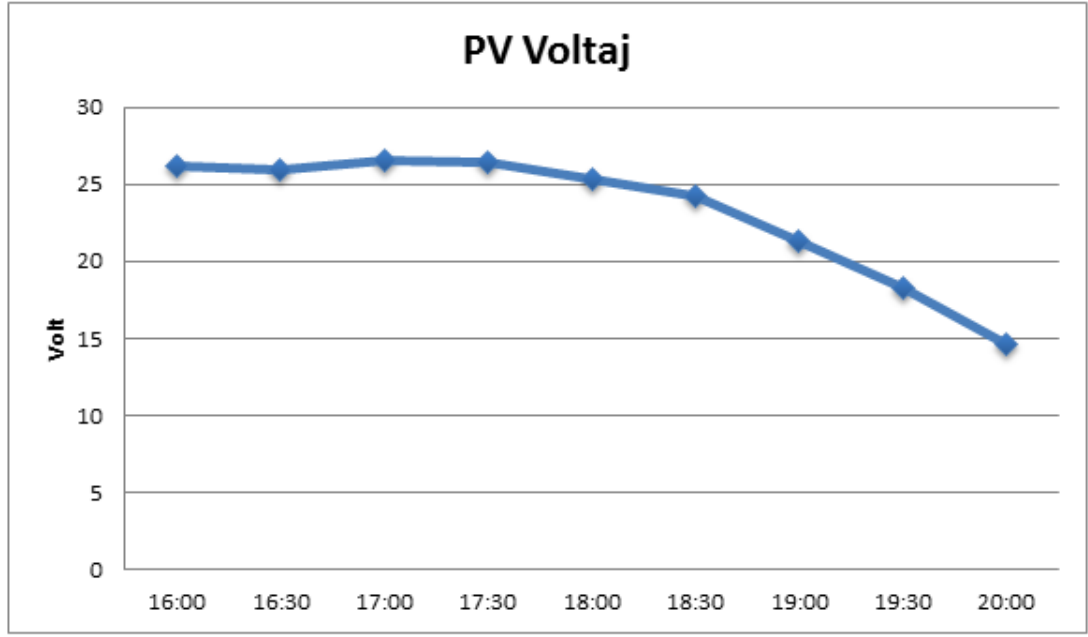
Şekil 4.7 Takip Sistemi 08:00-12:00 Panel Gerilim Değerleri



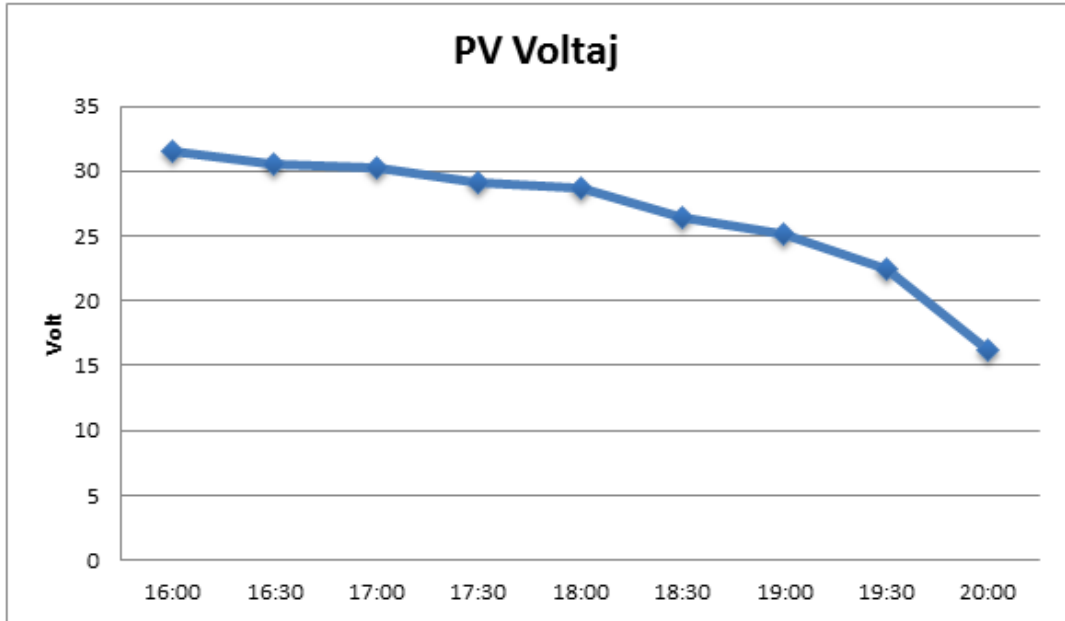
Şekil 4.8 Sabit Sistemi 12:00-16:00 Panel Gerilim Değerleri



Şekil 4.9 Takip Sistemi 12:00-16:00 Panel Gerilim Değerleri



Şekil 4.10 Sabit Sistem 16:00-20:00 Panel Gerilim Değerleri



Şekil 4.11 Takip Sistemi 16:00-20:00 Panel Gerilim Değerleri

Sistemin ürettiği değerlerin doğrulunu sınamak amacıyla sistemimizin bulunduğu konum için, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi - İnteraktif Haritalar bölümünden sabit ve çift eksenli güneş takip sistemi için analiz yapılmıştır.

JRC CM SAF Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA - EC -> JRC -> DIR-C -> RE -> SOLAREC -> PVGIS -> Interactive maps -> europe

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out!

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]  
 PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 0.26 kWp  
 Estimated system losses [0;100]: 14 %

Fixed mounting options:  
 Mounting position: Free-standing  
 Slope [0;90]: 35 °  Optimize slope  
 Azimuth [-180;180]: 0 °  Also optimize azimuth  
 (Azimuth angle from -180 to 180. East=90, South=0)

Tracking options:  
 Vertical axis Slope [0;90]: 0 °  Optimize  
 Inclined axis Slope [0;90]: 0 °  Optimize  
 2-axis tracking

Horizon file: Dosya Seç Dosya seçilmedi

Output options:  
 Show graphs  Show horizon  
 Web page  Text file  PDF

Calculate [help]

Şekil 4.12 Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi

#### Çizelge 4.1 Sabit Sistem Enerji Üretim Tahmini

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°

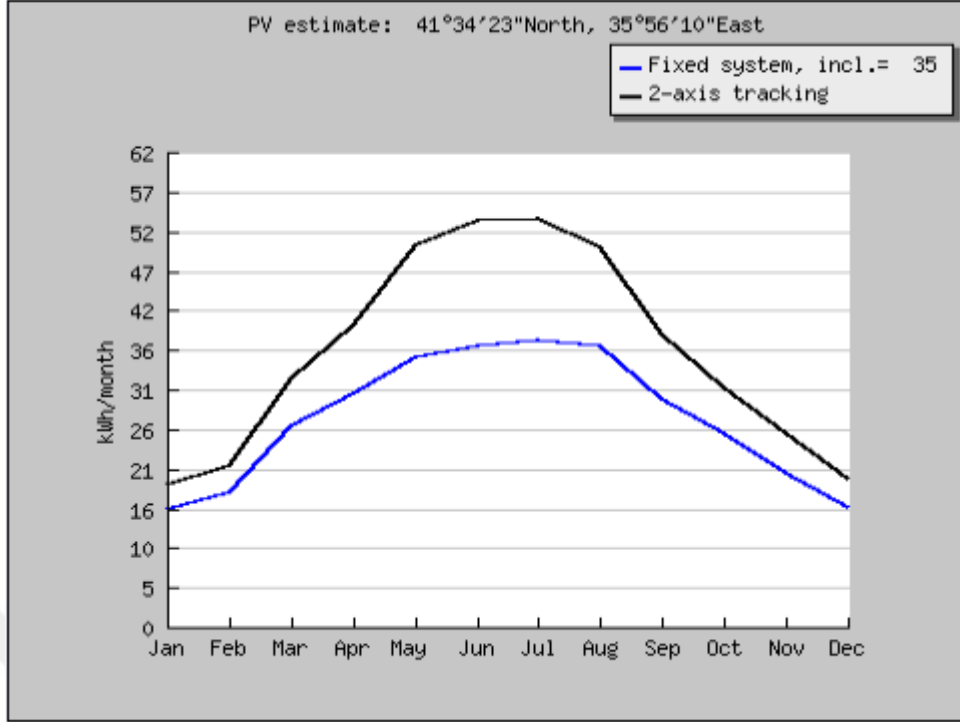
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	0.50	15.5	2.42	75.1
Feb	0.63	17.7	3.09	86.5
Mar	0.86	26.5	4.26	132
Apr	1.02	30.6	5.16	155
May	1.14	35.5	5.98	185
Jun	1.23	37.0	6.49	195
Jul	1.21	37.6	6.46	200
Aug	1.19	36.9	6.36	197
Sep	0.99	29.8	5.23	157
Oct	0.82	25.3	4.16	129
Nov	0.67	20.1	3.32	99.6
Dec	0.51	15.7	2.47	76.4
<b>Yearly average</b>	<b>0.899</b>	<b>27.4</b>	<b>4.62</b>	<b>141</b>
<b>Total for year</b>		<b>328</b>		<b>1690</b>

**Çizelge4.2**Hareketli Sistem Enerji Üretim Tahmini

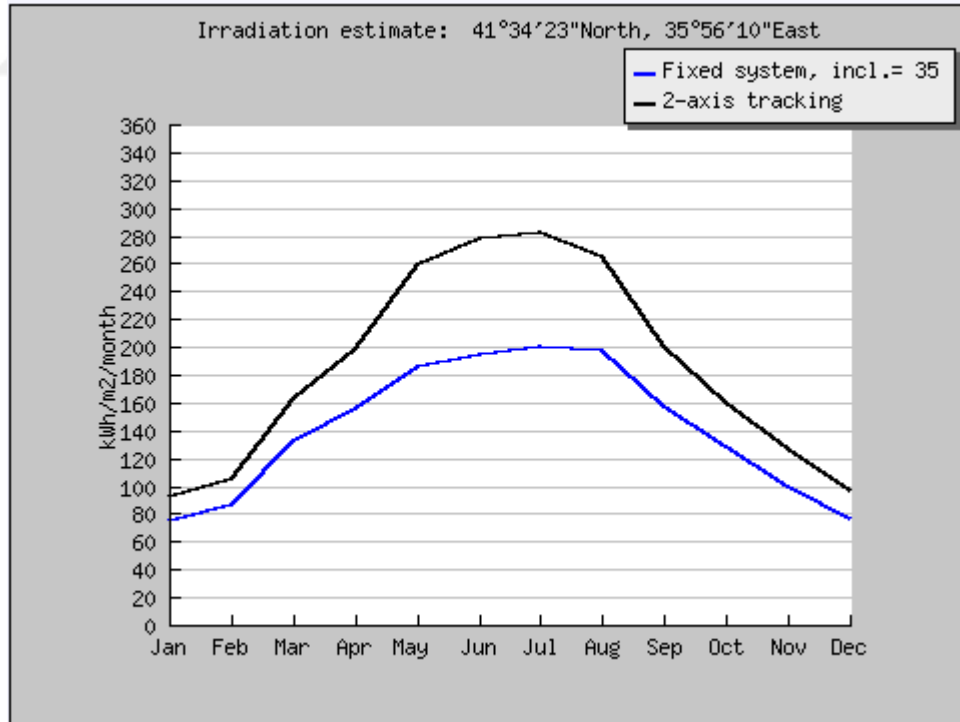
<b>2-axis tracking system</b>				
<b>Month</b>	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	0.61	18.8	2.99	92.7
Feb	0.76	21.2	3.73	104
Mar	1.05	32.6	5.23	162
Apr	1.32	39.6	6.63	199
May	1.62	50.2	8.37	259
Jun	1.78	53.4	9.27	278
Jul	1.73	53.5	9.09	282
Aug	1.61	49.9	8.53	264
Sep	1.28	38.3	6.68	200
Oct	1.01	31.4	5.16	160
Nov	0.85	25.4	4.22	127
Dec	0.63	19.5	3.11	96.4
<b>Yearly average</b>	<b>1.19</b>	<b>36.1</b>	<b>6.10</b>	<b>185</b>
<b>Total for year</b>		<b>434</b>		<b>2230</b>

PVGIS tarafından yapılan simülasyon sonucunda sabit sistemin elde ettiği verim 328 kWh iken iki eksenli takip sisteminin elde ettiği verim ise 434 kWh olmuştur. Verim farkı ise %32 olarak ölçülmüştür. Uygulamasını yaptığımız verim farkının sabah saatlerinde %24, akşam saatlerinde ise %32' ye kadar çıktığı görülmüştür.

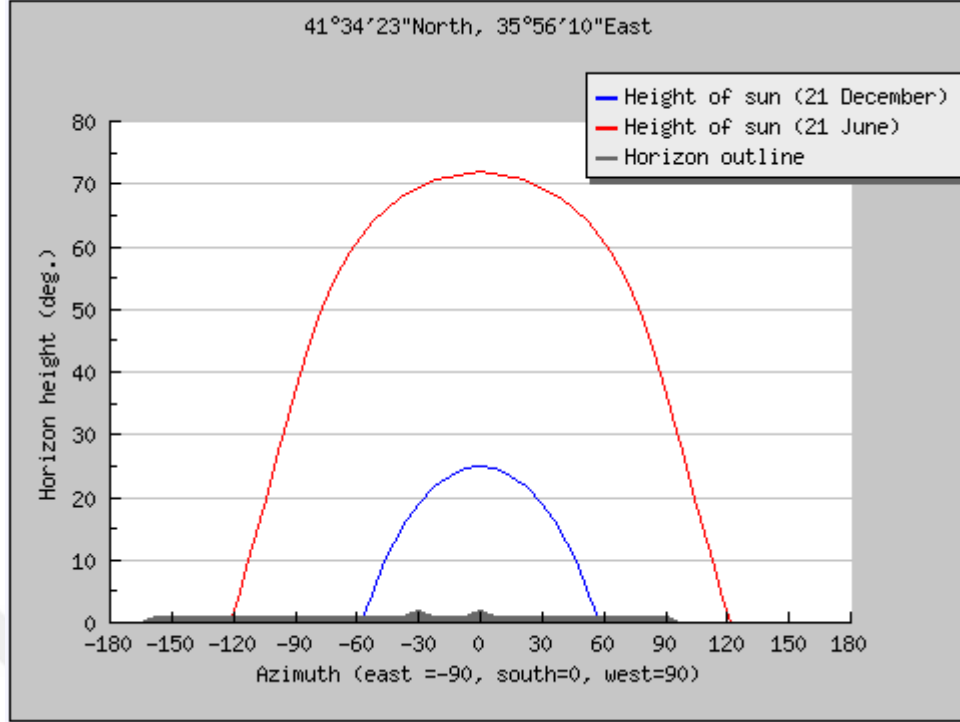
Kurulumu yapılan iki sisteme ait aylara göre enerji üretim oranları ve  $m^2$  'ye düşen enerji değerleri, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' da gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Aylara Göre Tahmini Enerji Üretim Değerleri



Şekil 4.14 Aylara Göre m<sup>2</sup>'ye Düşen Tahmini Enerji Üretim Değerleri



Şekil 4.15 21Aralık - 21 Haziran Güneş Yükselme Açılıları

Sistem sonuçları incelendiğinde sabah 05:00 dan sonra panellerde gerilim düşümü meydana geldiği görülmüştür. Takip sistemi gün ışıklarının kendini daha yeni gösterdiği 05:00-06:00 saatlerinde güneşe doğru yönelerek sabit sisteme oranla %24' lere varan bir farkla gerilim kazancı meydana getirmektedir.Öğlen saatlerinde güneşin tepede olduğu anlarda verim farkı minimum seviyeye inmekte ancak özellikle 16:00 dan sonra verim kazancı tekrar dan %32 değerlerine kadar çıkmaktadır.Sistem panellerinde maksimum gerilim değeri 34,7 olarak ölçülmüştür.Sabit sisteme entegre herhangi bir cihaz bağlı olmadığı için akü şarj değeri sürekli olarak %100 olarak görülmüştür.İki eksenli takip sistemine bağlı olan lineer aktuatörler devreye girdiğinde ise akülerde toplamda %5'lik bir azalma meydana gelmiştir.Ancak kısa bir sürede tekrar şarj oranı %100'lere ulaşmıştır.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Enerji, ülkemizde sürekli olarak yüksek önceliğe sahip bir çalışma alanı olmuştur.Yurtdışından alınan doğlagaz kimi zaman ülkeler arası siyasi mücadele aracı olarak kullanılmaktadır.Enerji ihtiyacına kaynak yaratabilmek amacıyla ülkemizde nükleer enerji hamlesi başlamıştır.

Avrupa ülkelerine oranla güneşlenme oranı olarak oldukça yüksek değerlere sahip ülkemizde geçmiş yıllarda ne yazık ki bu alanda yeterince girişim yapılmamıştır.Ancak son 5 yılda önemli sayıda büyük proje devreye alınmış birçok şehirde mini-orta ölçekli güneş tarlaları kurulmuştur.

Güneş enerji sistemlerinde sabit sisteme oranla %25-33 arasında daha fazla verim kazandıran güneş takip sistemi uygulamalarına ülkemizde çok fazla rastlanmamaktadır.Daha çok akademik kaynaklarda karşılaşılan güneş takip sistemlerine ülkemizin coğrafi konumu gerekçe gösterilerek muhalif bir tutum sergilenmektedir.Yapılmış olan tez çalışmasında iki adet lineer aktüatör kullanılarak bir takip sistemi tasarlanmış verim sonuçları incelenmiştir.

Yapılan tez çalışmasında 260 W güce sahip 1+1 yapıda 2 adet sistem kurulmuştur.Bu sistemlerin bir tanesi sabit olarak konumlanmış diğeri ise 2 eksende güneşi takip edecek şekilde tasarlanmıştır.Sistemde fiyatı belirtilen akü, günlük kullanımda tam şarj olduktan sonra 2 saat sistemi besleyecek özellikte seçilmiştir.

Kurulumu yapılan sistemlerin maliyetleri;

**Çizelge 5.1** Güneş Takip Sistemi Karşılaştırmalı Maliyet Tablosu

	<b>İki eksenli</b>	<b>Sabit eksenli</b>
<b>Güneş Paneli</b>	620 TL	620 TL
<b>Lineer Aktüatör</b>	1250 TL	--
<b>Akü</b>	1180 TL	1180 TL
<b>İnverter</b>	1104 TL	1104 TL
<b>Solar Kablo,Konnektor</b>	80 TL	80 TL
<b>Mekanik Donanım</b>	1150 TL	850 TL
<b>Toplam</b>	<b>5.384 TL</b>	<b>3.934 TL</b>



Kurulumu yapılan sistemler deneysel amaçla kurulduğu için kullanılan ekipmanlar minimum sayıda ve yeterli kapasite özellikleri ile seçilmiştir.

Gerçek şartlarda kurulumu yapılmak istenildiğinde birçok faktör dikkate alınarak ürün seçimi yapılmalıdır.Örnek olarak tez uygulama alanı minimum oranda rüzgara maruz kaldığı için, yüksek mukavemete sahip mekanik sisteme ihtiyaç duyulmamıştır.Gerçek uygulama alanında ise bulunulan konumun rüzgar değerleri dikkate alınması gerektiği için kurulum maliyetlerin artması kaçınılmaz olacaktır.

Kurulumu yapılan sistemlerin, maliyeti karşılama oranını hesaplamak için Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminin verilerinden faydalanılmıştır.Yaptığımız ölçümler ile Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminin maksimum üretim değerleri birbirine yakın çıktığı için yılın geri kalanında üretilmesi beklenen enerji değerlerini bu sistemin verilerini baz alarak hesaplanmıştır.

Ancak Karadeniz Bölgesi'nde bulutlanma oranı ülkemizin diğer bölgelerine oranla daha fazla olduğu için hesaplamaya dahil edilmesi gerekmektedir.

İki eksenli takip sistemin yatırımı karşılama süresi;

Toplam Süre = Maliyet / (Yıllık Üretim x Enerji kWhbirim fiyatı)

Toplam Süre = 5384 / (391 x 0,618134)

Toplam Süre = 22,3 Yıl

Sabit eksenli sistemin yatırımı karşılama süresi;

Toplam Süre = Maliyet / (Yıllık Üretim x Enerji kWh birim fiyatı)

Toplam Süre = 3934 / (296 x 0,618134)

Toplam Süre = 21,6 Yıl

Yukarıda hesaplaması yapılan sonuçlara bakıldığında iki eksenli takip sisteminin sabit sisteme oranla %32 oranında verimli olmasına rağmen yapılan ekstra harcamalar sebebiyle maliyeti karşılama süresinin daha fazla olduğu görülmüştür.Bunun sebebi, tez çalışmasında kullanılan ekipmanların günlük kullanımda kullanılacak özellikte olmasına rağmen panel sayısının düşük tutulmasıdır. Kullandığımız panel sayısını 4 olarak belirleyip, diğer ekipmanlarda ise bazı düzeltmeler yaparak yeniden hesapladığımızda ise;

İki eksenli takip sistemin yatırımı karşılama süresi;

Toplam Süre = Maliyet / (Yıllık Üretim x Enerji kWh birim fiyatı)

Toplam Süre = 6242 / (1564 x 0,618134)

Toplam Süre = 6,45 Yıl

Sabit eksenli sistemin yatırımı karşılama süresi;

Toplam Süre = Maliyet / (Yıllık Üretim x Enerji kWh birim fiyatı)

Toplam Süre = 4746 / (1448 x 0,618134)

Toplam Süre = 6,48 Yıl

Kullanılan güneş paneli sayısını 4 olarak belirleyip yeniden hesaplama yaptığımızda iki eksenli güneş takip sisteminin sabit sisteme oranla daha verimli olabileceği görülmüştür. Ancak yapılan hesaplamalar sonucunda sistem ölçümlerinde ortaya çıkan %32 verimi karşılayacak bir yatırımı karşılama oranına ulaşılmamıştır.

Tez çalışması süresince iki eksenli takip sistemi genel olarak doğu-batı ekseninde hareket etmiş, kuzey-güney ekseninde yaptığı hareket sınırlı kalmıştır. Bu sonucu dikkate alarak sistem hesaplamasını 4 adet güneş paneli ve 1 adet lineer aktüatör kullanacak şekilde yenileyecek olduğumuzda;

Tek eksenli sistemin yatırımı karşılama süresi

Toplam Süre = Maliyet / (Yıllık Üretim x Enerji kWh birim fiyatı)

Toplam Süre = 5402 / (1184 x 0,618134)

Toplam Süre = 5,30 Yıl

Tüm bu hesaplamalar dikkate alındığında gerçekleştirilen tez çalışması sonucunda;

- Sabah ve akşam saatlerinde panellerden elde edilen gerilim değerinde takip sisteminin %24-32 arasında başarılı olduğu görülmüştür.
- Güneşin en tepede olduğu 13:00 -13:30 saatlerinde verim farkı %7'lere kadar düşmüştür.

- Tez çalışmasında ülkemizin iki eksenli takip sisteminin coğrafi koşullarına oranla verimli olup olmadığı izlenmiştir. Bu süreç sonunda takip sisteminin kuzey-güney yönünde hareket eden aktüatör motorunun çok az devreye girdiği en çok verimin doğu-batı yönünde hareket eden motor tarafından sağlandığı görülmüştür.
- Takip sisteminin mekaniğini aşırı olarak yüklenmesinin önüne geçmek için tasarlanması sayesinde aküden çektiği güç minimum oranda kalmıştır.
- Sistem veriminin en doğru şekilde alınabilmesi için akıllı inverter kullanılmış, invertere bağlanan raspberry pi devre kartları sayesinde gün içinde alınan veriler muhafaza edilmiştir.
- Sistem süreci sonunda iki eksenli takip sisteminin yerine doğu-batı yönünde hareket eden tek eksenli takip sistemlerinin ülkemize daha uygun olduğu görülmüştür.
- Sistemden alınan sonuçlar tez öneri formunda sunulduğu üzere bir internet sitesinde yayımlanarak gerek kamu gerekse bireysel kişilerin bu bilgilere erişimi sağlanmıştır.
- Sistem yapımında kullanılan ekipmanlar, bu ekipmanların fiyat bilgileri, sistemlerin ne kadar verim elde ettiği gibi bilgiler internet sitesinde hizmete sunulacaktır.

Son yıllarda güneş enerjisi sistemlerinde meydana gelen olumlu gelişmeler ülkemiz adına sevindirici olmaktadır. Ancak gerek ticari gerekse bireysel kullanımda takip sistemlerinin yeterince bilinmemesi kullanımlarının oldukça az olmasına sebep olmuştur. Kullanıcılar takip sistemleri için yapacakları maddi gideri çok uzun süre geri alamayacaklarını düşündükleri için çoğunlukla sabit sistemleri tercih etmektedirler. Ancak özellikle doğu-batı yönünde hareket eden takip sistemleri, sabit sistemlerin kayıplarının en çok olduğu sabah ve akşam saatlerinde farklarını ortaya koymaktadırlar.

## 6. KAYNAKLAR

- Acar, O.(2017).Güneş takibi için iki serbestlik dereceli küresel mekanizma tasarımı.Yüksek Lisans Tezi,Selçuk Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü ,Makine Dinamiği ve Teorisi Anabilim Dalı,Konya.
- Alahmad, A. (2018). Güneş takip sistemi ve stirling motor kullanarak elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-ElektronikMühendisliği Anabilim Dalı, Kilis.
- Armanakan, E. (2003). Analysis of two axis sun tracking system.İzmir Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir
- Anonim, (2019).Dünya güneş enerjisi potansiyeli atlası.<https://globalsolaratlas.info>-(Erişim tarihi: 12.12.2018).
- Anonim, (2019).Samsun iligüneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA).<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/55.aspx>-(Erişim tarihi: 17.01. 2019).
- Anonim. (2019). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli.<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes->(Erişim tarihi: 24.03. 2019).
- Anonim, (2019).Renewable energy, <https://www.iea.org/renewables2018/>-(Erişim tarihi: 12.04. 2019).
- Anonim, (2019).Renewable power generation costs in 2017.[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf)(Erişim tarihi: 11.03.2019).
- Anonim, (2019). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik->(Erişim tarihi: 11.05.2019).
- Anonim, (2019).Renewables 2018 global status report, [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf)-(Erişim tarihi: 14.05. 2019).
- Anonim, (2019).Türkiye'ningüneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA), <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>-(Erişim tarihi: 19.05. 2019).
- Anonim, (2019).Samsun ili mayıs 2019 – haziran 2019 güneş ışınım değerleri, [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#DR-](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#DR-)(Erişim tarihi: 28.05. 2019).
- Atalay,Y. (2016).İki-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip 1 kw'lık fotovoltaik güç sisteminin modellenmesi ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Avcu, M. (2018).Raspberry pi 3 ile güneş takip sistemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Aydın, B.,&Kobyay, H. (2017).Güneş takip sistemi.Yüksek Lisans Tezi,Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

- Beyoğlu M. (2011). Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli pv sistemin verimlerinin karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
- Bilgin, Z. (2006). Güneş takip sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Boztepe, M., (2002). İzmir (Bornova) koşullarında şebekeye bağlı bir fotovoltaik enerji sisteminin tasarımı ve denemesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir.
- Büyükgüzel, B. (2011). Microcontroller based maximum power point tracker for solar panels department. Master of Science Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Demirtaş, M. (2008). Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fırınt, H. (2009). Analysis of solar tracking systems for photovoltaic power plants considering experimental and computer modeled results for Munich, Germany. Yüksek Lisans Tezi, Münih Üniversitesi, Münih.
- Karaca, C. (2012). Güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sistemi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Kıvrak, S. (2008). Şebekeden bağımsız bir pv sisteminin maksimum çıkış gücünde çok yönlü kontrol ve modellenme dizaynı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Korkmaz, F. (2014). İnternet ve gprs kullanılarak, elektriksel işaretlerin uzaktan takip edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Mastar, E. (2011). Güneş panelleri için güneş takip mekanizmasının tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Menak, R. (2018). Çift eksenli güneş takip sistemi tasarımı ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Siirt.
- Salah A., & Salem N. (2004). Two axes sun tracking system with plc. Control Energy Conversion and Management, Volume 45, Issues 11-12, 1931-1939.
- Sağlam, Ş. (2006). Şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sisteminin bulanık mantık ile kontrolü. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uslu, Ü. (2012). Maksimum güç noktası takibi algoritmalarını kullanarak mikrodenetleyici tabanlı iki eksenli otomatik güneş takip sistemi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

- Ulutaş, H. (2015). Kırsal tesisler için hibrit (rüzgâr + güneş) sistem tasarımı ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu.
- Varış, Ç. (2017). Çift eksenli güneş takip sisteminin pilot uygulaması, üretim değerlendirilmesi ve ekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yakışan, Ö., (2008). Güneş enerjisi üretim sistemlerinde bir maksimum güç noktası izleme yöntemi ile bir şebeke bağlantılı eviricinin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Yılmaz, M. (2013). Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

<b>Kişisel Bilgiler</b>	
Adı Soyadı	Serkan SAĞLAM
Doğum Yeri	SAMSUN
Doğum Tarihi	24.06.1981
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05333961783
E-Posta Adresi	Serkan.saglam@windowlive.com
<b>Eğitim Bilgileri</b>	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	Kocaeli Üniversitesi
Fakülte	Teknik Eğitim Fakültesi
Bölümü	Elektronik Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	2004
<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji
Programı	
Mezuniyet Tarihi	
<b>Doktora</b>	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	
Mezuniyet Tarihi	
<b>Yayınlar</b>	