



T.C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ VERİMİNİN ERZURUM
KOŞULLARINDA BELİRLENMESİ**

İLKNUR ELTAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2020

TEZ ONAY

İlknur ELTAS tarafından hazırlanan “**TEK EKSENLI GÜNEŞ TAKIP SİSTEMI VERİMİNİN ERZURUM KOŞULLARINDA BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.01.2020 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

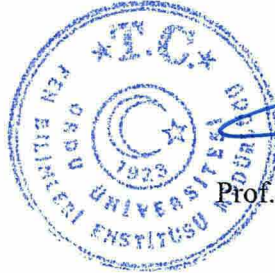
Üye
Prof. Dr. Ercan Nurcan YILMAZ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği,
Gazi Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Sibel AKKAYA OY
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği,
Ordu Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekber ÖZDEMİR
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği,
Ordu Üniversitesi

İmza

07/02/2020 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2020 tarih ve 2020 / 68. sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Selahattin MADEN

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.

İLKNÜR ELTAS

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

TEK EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ VERİMİNİN ERZURUM KOŞULLARINDA BELİRLENMESİ

İLKNUR ELTAS

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ 68 SAYFA

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SİBEL AKKAYA OY

Fotovoltaik sistemlerin verimi, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, bulutluluk oranı, rüzgar hızı ve rüzgar şiddeti gibi değerlere göre değişmektedir. Sistemin verimini etkileyen unsurlardan en önemlisi ise güneşin anlık konumuna göre oluşan güneş ışınımı değeridir. Güneşin bulunduğu konum, zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla sabit olarak duran fotovoltaik paneller güneşten yeterince faydalanamamaktadır. Güneş takip sistemleri, güneşin konumuna göre fotovoltaik panelin eğiminin ve yönünün ayarlanması sonucu elde edilen verimi arttıran sistemlerdir. Bu çalışmada; Erzurum İli koşullarında güneş enerjisinden yüksek verim alınabilmesi adına tek eksenli güneş takip sistemi veriminin sabit sisteme göre verimlilik artışı karşılaştırılmıştır. Aynı gün ve konumda yapılan ölçümlerde biri 10 watt gücünde doğu-batı yönüne hareket eden tek eksenli güneş takip sistemi ile diğeri ise 10 watt gücünde sabit eksenli güneş paneli kullanılmıştır. Bu sistemlerin güçleri kıyaslanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Tek eksenli takip sistemi özellikle sabah ve akşam saatlerinde %15.57'lere varan oranda verim artışı sergilemiştir. Yılın büyük bir dönemi havanın soğuk ve gökyüzünün açık olduğu Erzurum'da güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabildiği adına takip sistemi kullanılması teşvik edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, Güneş Paneli, Güneş Takip Sistemi

ABSTRACT

DETERMINATION OF SINGLE AXIS SOLAR TRACKING SISTEM IN ERZURUM CONDITIONS

İLKNUR ELTAS

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 68 PAGES

SUPERVISOR: DR. LEC. SİBEL AKKAYA OY

The efficiency of photovoltaic systems varies according to values such as solar radiation, ambient temperature, cloudiness ratio, wind speed and wind strength. The most important factor affecting the efficiency of the sistem is the solar radiation value that occurs according to the instantaneous position of the sun. The position of the sun varies with time. Therefore, the fixed photovoltaic panels can't get efficiency enough from the sun. Solar tracking systems are the systems that increase the efficiency obtained by adjusting the inclination and direction of the photovoltaic panel according to the position of the sun. In order to obtain high efficiency from solar energy in Erzurum province, efficiency increase of uniaxial solar tracking sistem efficiency compared to fixed sistem was compared. On the same day and position, one 10-watt single-axis solar tracking sistem moving east-west direction and the other 10-watt fixed-axis solar panel were used. The power of these systems were compared and the results were examined. The single axis tracking sistem showed an increase in yields up to 15.57% especially in the evening and morning hours. In Erzurum, this sistem is encouraged for the most efficient use of solar energy.

Keywords: Photovoltaic Sistem, Solar Panel, Solar Tracker Sistem

TEŐEKKÖR

Tez konunun belirlenmesi, çalıőmanın yűrűtűlmesi ve yazımı esnasında her tűrlű desteklerini esirgemeyen danıőmanım Sayın Dr. Őđr. Ŭyesi Sibel AKKAYA OY'a teőekkűr ederim.

Aynı zamanda, çalıőma sűrem boyunca her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaőlarıma da teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Enerji ve Enerji Çeşitleri.....	9
2.2 Enerji Kaynakları	10
2.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	10
2.4 Yenilenebilir Enerji ve Türkiye’deki Durumu	12
2.5 Güneş Enerjisi	16
2.6 Güneş Hücre Çeşitleri ve Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Edilmesi.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM	35
3.1 Güneş Takip Sistemi	35
3.2 Deneysel Düzeninin Kurulması	40
3.3 Tasarlanan Prototip ile Yapılan Deneysel Çalışmalar	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	47
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	52
6. KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Üretiminde Kaynakların Payı	13
Şekil 2.2 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Dağılımı.....	13
Şekil 2.3 Kaynaklara Göre Kurulu güç (2017 Yılı sonu itibariyle).....	14
Şekil 2.4 Türkiye Elektrik Üretiminin Kullanılan Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı (2017)	14
Şekil 2.5 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üreten Tesislerin Kurulu Güç Değişimi	15
Şekil 2.6 Türkiye Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Gelişimi.....	15
Şekil 2.7 Güneş Enerjisi Kurulu Gücünün Kıtalara Göre Dağılımı (2015 GW)	19
Şekil 2.8 Dünya Ülkelerinde Güneş Enerjisi Potansiyeli	21
Şekil 2.9 Dünya ve Türkiye'nin Işınım Haritası.....	23
Şekil 2.10 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	23
Şekil 2.11 Türkiye'nin Global Radyasyon Değerleri	23
Şekil 2.12 Türkiye'nin Güneşlenme Süreleri.....	23
Şekil 2.13 Erzurum İli'nin Işınım Haritası	24
Şekil 2.14 Erzurum İli Global Radyasyon Değerleri	25
Şekil 2.15 Erzurum İli'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	25
Şekil 2.16 Erzurum 4.9MWe Güneş Enerji Santrali.....	27
Şekil 2.17 Erzurum 4.9 MWe Güneş Enerji Santrali'ne ait invertörler.....	27
Şekil 2.18 Erzurum 4.9 MWe GES Ana Dağıtım Panosu	28
Şekil 2.19 Ana Dağıtım Panosu	28
Şekil 2.20 Erzurum İli PV Tipi Alan Üretilebilecek Enerji Miktarı.....	28
Şekil 2.21 Güneş Paneli Üretim Şeması	30
Şekil 2.22 Erzurum 4.9 MW GES (Aralık 2019).....	33
Şekil 2.23 Hücre	34
Şekil 2.24 Modül.....	34
Şekil 2.25 Dizi	34
Şekil 3.1 Sonbaharda Güneşin İzlediği Yol.....	35
Şekil 3.2 Açık Döngü Kontrol Yapısının Panel Gösterimi.....	36
Şekil 3.3 Kapalı Döngü Kontrol Yapısının Panel Gösterimi.....	36
Şekil 3.4 Güneş Takibi Yapan Pasif Bir İzleyici Sistemi	38
Şekil 3.5 Tek Eksenli Güneş Takip Sistemlerinin Gösterimi	38
Şekil 3.6 Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	39
Şekil 3.7 Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Gösterimi	39
Şekil 3.8 Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi	40
Şekil 3.9 Deneyde Kullanılan Panel	41
Şekil 3.10 Deneyde Kullanılan Akümülatör	42
Şekil 3.11 Deneyde Kullanılan Lineer Aktüatör.....	43
Şekil 3.12 Deneyde Kullanılan Arduino Uno	44
Şekil 3.13 Deneyde Kullanılan Motor sürücü (L298N).....	44
Şekil 3.14 Deneyde Kullanılan LDR Sensörü	45
Şekil 3.15 Tasarlanan Prototip (Tek Eksenli Hareketli Güneş Paneli).....	45
Şekil 3.16 Tasarlanan Prototip (Hareketli Güneş Paneli Arka Kısım)	45
Şekil 3.17 Deney Düzenineğinin Kurulumu	46

Şekil 4.1	25.08.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu Sabit PV Panel Güç Değişim Değerleri	48
Şekil 4.2	25.08.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu Hareketli PV Panel Güç Değişim Değerleri.....	49
Şekil 4.3	25.08.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu PV Panel Güç Değişim Değerleri	49
Şekil 4.4	13.10.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu Sabit PV Panel Güç Değişim Değerleri	50
Şekil 4.5	13.10.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu Hareketli PV Panel Güç Değişim Değerleri.....	51
Şekil 4.6	13.10.2019 Tarihinde Yapılan Deney Çalışması Sonucu PV Panel Güç Değişim Değerleri	51
Şekil 5.1	Deney Çalışmasının Yapıldığı Konum.....	55
Şekil 5.2	Deney Yapılan Konumun Sıcaklık ve Işınım Değerleri	55
Şekil 5.3	Sistemin Yıllık Ürettiği Enerji.....	56
Şekil 5.4	1 kWp Güce Sahip Sistem İçin Program Ekranı	56
Şekil 5.5	1 kWp Güce Sahip Sistem İçin İnverter Seçimi Program Ekranı.....	57
Şekil 5.6	Sistemin Verim Değerleri ve Tüketim Miktarına Göre Oranı.....	58
Şekil 5.7	PvWatt İçin Konum Seçimi	59
Şekil 5.8	Sistem Bilgileri Program Ekranı.....	59
Şekil 5.9	Erzurum 4.9 MW GES Aylık Verileri	62
Şekil 5.10	Sistemin Bir Yıllık Üretimi	62
Şekil 5.11	Sistemlerin Grafik Olarak Karşılaştırması.....	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Yenilenebilir Enerjinin Ülkeler Bazında Toplam Kapasite Açısından Sıralaması(2015)	20
Çizelge 2.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı.....	24
Çizelge 2.3 1MW Sistem için Yıllık Minimum Üretim ve Kazanç.....	26
Çizelge 2.4 Erzurum 4.9MW Gücünde GES'in Yaklaşık Maliyeti (2019 Yılı).....	28
Çizelge 3.1 Güneş Paneli Teknik Özellikleri.....	40
Çizelge 3.2 Güneş Paneli Mekanik Özellikleri.....	40
Çizelge 3.3 Güneş Paneli Sıcaklık Katsayısı	41
Çizelge 3.4 Sistemde Kullanılacak Akü Teknik Özellikleri.....	42
Çizelge 3.5 Lineer Aktüatör Teknik Özellikleri	43
Çizelge 4.1 İllere Ait Genel İstatistik Verileri (Erzurum)	47
Çizelge 4.2 25 Ağustos 2019 Günü yapılan deney sonucu elde edilen güç değerleri.....	48
Çizelge 4.3 13 Ekim 2019 Günü yapılan deney sonucu elde edilen güç değerleri.....	50
Çizelge 5.1 PvSol Programı Sistem Bilgileri.....	58
Çizelge 5.2 Sistemin PvWatts Programına Göre Aylık ve Yıllık Üretim Değerleri ..	60
Çizelge 5.3 Program Sonuçları ve Tez Verilerinin Birleştirilmesi	60
Çizelge 5.4 250 Wp Gücünde 4 adet Panel İle Oluşturulan Sistem Maliyetleri.....	61
Çizelge 5.5 250 Wp Gücünde 4 adet Panel İle Oluşturulan Sistemlerin Amorti Süreleri ve Üretilen Enerjilerin Karşılaştırması.....	61
Çizelge 5.6 4.9 MW Gücünde Sistemlerin Amorti Süreleri ve Üretimleri.....	62
Çizelge 5.7 Sistemin Pv-Sol Programına Göre 1 Yıllık Üretimi.....	63

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
Ah	: Amper Saat
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
Aspx	: Aktif Sunucu Sayfaları
DC	: Doğru Akım
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GTS	: Güneş Takip Sistemi
GW	: Gigawatt
Http	: Hiper Metin Transferi Protokolü
Hz	: Hertz
I	: Akım
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IIS	: İnternet Bilgi Servisleri
Im	: Maksimum Güç Akımı
IP	: İnternet Protokolü
Isc	: Kısa Devre Akımı
Kcal	: Kilo Kalori
Kg	: Kilogram
KVA	: Kilo Volt Amper
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
m	: Metre
m²	: Metrekare
MW	: Megawatt
Nm	: Newton Metre
P	: Güç
PV	: Fotovoltaik
P_{inv}	: İnverter Gücü
P_{yük}	: Yüknün toplam gücü
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
V	: Volt
VAC	: Volt Alternatif Akım
VDC	: Volt Doğru Akım
Vm	: Maksimum Güç Voltajı
Voc	: Açık Devre Voltajı
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
W	: Watt
Wp	: Maksimum Güç

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji, toplumların refah düzeyini belirleyen en önemli unsurlardan başında gelmektedir. Özellikle sanayileşmenin büyük bir rekabete dönüştüğü günümüzde enerjinin düşük maliyetli olarak üretilmesi bu enerji ile üretilen ürün ve hizmetlerin de maliyetini düşüreceğinden dolayı ülkeler açısından son derece önemlidir (Sevgili, 2017). Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de enerji tüketimi günden güne artmaktadır. Enerji üretimi sırasında fosil yakıtların kullanılması çevreye verilen zararı (CO₂ salınımı, küresel ısınma, iklim değişimleri vb.) arttırmakla birlikte söz konusu yakıtların rezervlerinin sınırlı olması da büyük bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizde de fosil yakıtların kaynağının sınırlı olması yeni enerji kaynakları kullanımına yönelik arayışları hızlandırmaktadır. Dışa bağımlılığı en alt seviye de tutabilmek, tükenbilir enerji kaynaklarının azalmasını önlemek, iklimsel değişimlerden etkilenmemek için önlemler alınmaya başlanmıştır. Bu bağlamda atılan en önemli adım ise yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ve bu yönde yatırımlar gerçekleştirmek konusunda olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atmosferde kötü etkiler bırakan sera gazlarının salınımının azaltılması açısından ve ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından da etkilidir. Ekonomik gelişme için güvenilir ve sürdürülebilir enerji şarttır (Gül, 2016). Dünya Enerji Konseyi (WEC) çalışmalarına göre 2030'lu yıllar itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızlı bir artışla 2100'lü yıllarda enerji pazarında %80'i aşan oranlara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Akcanca, 2017). Ülkemizin coğrafi konum itibariyle güneş enerjisi potansiyeli son derece yüksektir. Fotovoltaik paneller kullanılarak üretilen elektrik enerjisi son yıllarda panel teknolojisinin gelişmesi ile geri dönüşüm maliyeti açısından yatırım yapmaya elverişli bir noktadadır. FV paneller çevre dostudurlar ve kullanımları sırasında atık madde veya zararlı madde üretmezler. Tam aksine çevreye duyarlı, temiz enerji elde edilmesini sağlarlar. Bu sistemler kullanılacakları yerlere kurulduktan sonra kullanımları esnasında bakım ve onarım masrafları çok az olduğu için oldukça ekonomiktirler fakat bu panellerin kurulum aşamasındaki maliyeti yüksektir. FV paneller üzerlerine gelen güneş ışınımının ancak bir miktarı elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bu bakımdan verimlilikleri %10-25'ler civarındadır. Bu durum, kurulum ve işletme maliyetlerini karşılamak adına amorti edebilme süresini

uzatır. Bundan dolayı FV panellerden en iyi şekilde verim elde edebilmek için panel verim artırma yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerden bir tanesi de güneş ışınlarının panelin yüzeyine dik gelebilmesini sağlamaktır. Güneş enerjisinden maksimum verim sağlamak önemlidir ancak güneşin konumu bulunduğu yerin enlemine, gün uzunluğuna ve mevsimine göre değişiklik gösterdiğinden, güneş ışınlarının bir FV panele dik gelmesini sağlamak için'' güneş takip sistemleri'' kullanılır (Menak, 2018).

Bu çalışmada; yılın yaklaşık 300 günü gökyüzünün açık olduğu ve en çok güneş gören iller arasında ön sıralarda bulunan Erzurum İli koşullarında güneş enerjisinden yüksek verim alınabilmesi adına tek eksenli güneş takip sistemi veriminin sabit sisteme göre verimlilik artışı karşılaştırılmıştır. Aynı gün ve konumda yapılan biri 10 watt gücünde doğu-batı yönüne hareket eden tek eksenli güneş takip sistemi, diğeri ise sabit eksenli 10 watt gücünde güneş paneli kullanılarak bu sistemlerin güçleri kıyaslanmış ve tek eksenli takip sisteminin özellikle sabah ve akşam saatlerinde %25'lere varan oranlarda verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Erzurum' un güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanabilmesi ve bölgenin sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak adına güneş takip sistemi kullanılması teşvik edilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda yapılan güneş takip sistemi ile ilgili çalışmalar incelenmiş olup bunlardan bazılarında değinilecek olursa;

Armakan (2003), sabit bir güneş pili ve iki eksenle hareket eden güneş pilini enerji kazanımı yönünden teorik olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çift eksenli solar takip sisteminin, sabit bir sisteme göre teorik hesaplamada yaklaşık %40 daha fazla enerji ürettiğini belirtmiştir.

Abdallah (2004), yaptığı çalışmada dört farklı mekanik yapıya sahip güneş takip sistemleri tasarlayıp sabit eğim açılı bir sisteme göre enerji verimliliklerini deneysel olarak karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda çift eksen %43.87, tek eksen dikey %37.53, tek eksen doğu-batı %34.43 ve tek eksen kuzey-güney takip %15.69 daha verimli çalıştığını tespit etmiştir.

Demirtaş (2006), sabit ve takip mekanizmalı iki sistem kurarak, bu sistemlerinin verilerini kontrol edebilmek amacıyla mikrodenetleyici kontrollü bir arabirim oluşturmuştur. Günün değişik saatlerinde üretilen gerilimin; güneş doğumunun ilk saatlerinde az, öğlen saat diliminde en yüksek ve gün batımı anında ise yine güneşlenme azaldığı için gerilim değerinin de azaldığı belirtilmiştir. Güneş takip sisteminin, sabit sisteme göre performans bakımından %35 oranında verimli olduğu ispatlanmıştır.

Bilgin (2006), yaptığı tez çalışmada sensör tabanlı güneş takip sistemi tasarlayarak güneş ışınlarının FV panele dik açı ile gelmesini sağlamış, FV hücrelerin kimyasal yapısının yanında gelen güneş ışınımının panel ile yaptığı açının önemine vurgu yapmış ve sabit sisteme oranla tek eksenli takip sistemi ile %31 civarında, çift eksenli takip sistemi ile %37 civarında verim artışı gözlemlemiştir.

Şenpınar (2006), çalışmada Elazığ İli'nde güneş ışınlarından elde edilen verimin artması adına güneş takip sistemi ile bulunduğu yörenin coğrafi konumuna ve yıl içinde mevsimlere göre değişen güneş ışını geliş açısına bağlı olarak optimum eğim açısını hesaplamış ve güneş ışığından elde edilen enerji miktarının artmasını sağlamıştır.

Yeşilata ve ark., (2006), yaptıkları çalışmada eğim açılarını hesaplarken saatlik, günlük, aylık ve yıllık değerler üzerinden yapmışlar ve güneşi iki eksenle izleyen sistemin tek eksenle izleyen sistemden daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bingöl ve ark., (2006), çalışmalarında önerdikleri, mikrodenetleyici ile kontrol edilen bir güneş takip sistemini gerçekleştirerek test etmişlerdir. Tasarlanan bu sistem kurulduğu coğrafi bölgeden bağımsız olarak çalışabilen bir sistem özelliğinde olmanın yanı sıra güneş ışığının güneş paneli yüzeyine dik gelmesini sağlamaya yönelik olarak güneşin mevcut konumunu test ederek bilgisayar tabanlı sistem gözetleme birimiyle birlikte güneş panellerinin hareketlerini de kontrol eder. Söz konusu takip sistemi yükselti ve açıklık düzlemlerinin her ikisini de izleyebilmektedir.

Bakos ve George C., (2006), yaptığı çalışmada iki eksenli olarak güneşi izlemenin güneş enerjisi üzerindeki etkisinin araştırılmasına yönelik, deneye dayalı bir çalışma yapmıştır. Yaptığı bu çalışmada, toplanan enerji ölçülerek ve güneşe 40° eğimli olan bir yüzeyde karşılaştırılarak sonuçta hareketli yüzeyde ölçümü yapılan güneş enerjisinin sabit yüzeydekine kıyasla daha fazla miktarda büyük olduğu (%46.46'ya kadar) görülmüştür. Sonuçta, düşük bakım gereksinimli, basit ve maliyeti düşük bir elektromekanik kurulumda karakterize edilen bu iki eksenli güneş izleme sistemi önerilmektedir.

Uzunok (2007), farklı markalarda güneş pillerini verim açısından incelemeye yönelik İskenderun'da yaptığı araştırmasında, tasarladığı iki eksenli güneş takip sisteminde, %17.07'lere ulaşan verim artışını gözlemlemiş ve maliyet analiz çalışmasını da yapmıştır.

Karamanav (2007), fotovoltaik dönüşüm ilkeleri üzerinde durmuş, güneş pilleri ile ilgili yaptıkları çalışmada güneş pillerinin verimliliklerini, kullanım alanlarını belirtmiş ve bu pillerin çalışmasını etkileyen dış faktörler üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ışık açısına bağlı olarak güneş pilinin akım ve gerilim değişim grafikleri elde edilmiştir.

Nakir (2007), güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artıran iki yöntemin uygulaması yapmıştır. Bu yöntemler, güneş ışınlarından optimum bir şekilde faydalanmak üzere Güneş Takip Sistemi (GTS) ve sistemden yüke maksimum güç

aktarımını sağlayan Maksimum Güç Takip Sistemidir. Güç takip sistemi ile maksimum güç takip sistemini bir tek devre üzerinde gerçekleyerek sistem maliyeti düşürülmüştür. Güneş takibi yapan panellerin hareketsiz panellere göre %37 daha fazla ışınım aldıkları ortaya konulmuştur.

Çalışkan ve Öztürk (2008), farklı güneş takip sistemleri incelenerek, güneş takip sistemlerinin çalışma prensipleri, birbirlerine göre yararları ve sakıncaları, çalışma verimleri ve diğer özellikleri incelemişler. Fotovoltaik panel yüzeyine düşen ışınım şiddeti ve üretilen güçler arasında, mevsimlere göre değişen güneşin geliş açısından dolayı önemli seviyede farklılıklar görmüş, ayda bir kez panelin eğim açısı ayarlaması ile, aynı PV panelden daha fazla güç elde edilmiştir.

Tomson (2008), çalışmasında tek eksenli güneş takip sistemi veriminin, optimal açıyla ayarlanıp güneye bakan vaziyette yerleştirilen sabit bir kollektörün verimine göre %10-20 oranında arttığını göstermektedir.

Önal (2009), çift eksenli solar takip sistemi tasarlamıştır. Sabit güneş enerjisi sistemine oranla, tek eksenli güneş izleme sistemiyle %30 enerji kazancı sağlandığını belirtmiştir. İki eksenli güneş izleyen sistemlerle ise sabit olarak bir alana yerleştirilen panellerden enerji üretim maliyeti düşük ve verimi çok yüksektir. Çünkü bu sistemlerde güneş ışınlarının fotovoltaik yüzeye, izleme sistemi ile dik gelmesi sağlanıp enerji miktarı önemli ölçüde artar ve verim de %40 oranında artmaktadır. İzleme sisteminin tasarım maliyeti sabit panellere göre yüksektir. Maliyet artırımında; mekanik aksam etkili olmaktadır, seri üretim sürecinde sistem maliyeti giderek düşerek ideal ekonomik bir sisteme dönüşecektir.

Sungur (2009), çalışmasında güneş azimut ve yükseklik açısını takip eden iki eksenli bir güneş takip sistemini tasarlamıştır, takip kontrolünü PLC ile gerçekleştirmiştir. Buna göre hareketli sisteminin sabit sisteme göre %42.6 oranında daha verimli olduğunu belirtmiştir.

Demirtaş (2009), çalışmasında PLC kontrollü bir güneş takip sistemi prototipi tasarlamıştır. Prototipte açık döngü kontrol sistemi kullanılmıştır. Güneşin yörüngelerine göre takip işlemi yapan ve çift eksenli olarak tasarlanan sistem oluşturulmuştur. Ağustos ayında bir hafta boyunca yapılan ölçümlerde, sabit ve hareketli sistemlerin enerji üretimi karşılaştırılmıştır. Uygulama sonucunda, hareketli

güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %34.5 kadar daha verimli çalıştığını göstermiştir.

Beyoğlu (2011), yapmış olduğu çalışması sonucunda Balıkesir İli'nde yapılacak olan uygulamalara yönelik teşvik maksatlı güneş enerjisi potansiyeli ve maksimum güç takip sistemine sahip sabit ve çift eksenli iki adet FV güneş enerji sisteminin kurulması ve eş zamanlı çalışmaları sonucu sabit olana göre çift eksenli sistemlerin %39 oranında daha verimli olduğu belirlenmiştir. Sistem boyutlandırılarak yapılan bu çalışmada maliyet ve kayıpların düşük olması hususları göz önünde bulundurulmuş 85W güneş paneli ve 40Ah akü kullanılmıştır. Birkaç gün havanın bulutlu ve yağışlı olması sistemin yeterince şarj olmasını engellemiş ve bağlı olarak akünün de bittiği izlenmiştir. Yeni sistem kurulacağında hava şartlarının uzun süre bulutlu ve kapalı olduğu bölgelerde kayıpların artacağı hususu da göz önünde bulundurularak akünün ve panelin yüksek güçte seçilmesi önerilmektedir.

Rüstemli ve ark., (2011), yapmış olduğu çalışmada Van İli'nin güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurularak, ilde bulunan güneş enerjisi uygulamalarını incelenmiş ve güneş enerjisinden daha çok faydalanabilmek adına önerilerde bulunmuşlardır.

Yılmaz (2013), çalışmasında aynı cins panel, ölçü aleti, şarj regülatörü ve akü kullanarak sabit sistem ve iki eksenli sistemi aynı yere monte etmiş iki sistemin verim karşılaştırmasını yapmıştır. Yıllık ortalama %31.67 oranında iki eksenli hareketli sistemin verimliliğinin daha fazla olduğu, söz konusu verimin %70 oranında kış, %11 oranında yaz aylarında olduğu ölçülmüştür. Türkiye'nin en çok güneş enerji potansiyeline sahip Diyarbakır İli için bir yıllık ölçümlerin sonuçları literatüre kazandırılmış, bir yıla ait günlük, aylık, yıllık verilere dayalı çeşitli grafikler verilmiştir. Sabit ve hareketli FV sistemlerin maliyet analizi yapılmış ve verimlerini artırmaya yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Gündoğdu ve ark., (2015), çalışmalarında gerçekleştirdikleri tek eksenli ekonomik ve basit güneş paneli takip sisteminin kontrolüne yönelik olarak güneş paneli ve kontrolcü devrenin uç kısımlarındaki gerilimi okumaya yönelik doğru gerilim ölçüm devresi tasarlayarak ve sistemi mekanik parçalarla bir araya getirerek sisteme son hali verilmiştir. Panelin sabit ve hareketli durumlarında okunan değerler

kayıt altına alınmıştır. Hareketli panel, hareket etmeyen panele göre ışığın yönünün değişmesine rağmen genel olarak %8.89 oranında daha fazla verimle çalışmalarını sağlamıştır. Kayıt altına alınan söz konusu veriler incelendiğinde hareketli panel verimliliğinin sabit olanın verimlilik oranına göre çok fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Atalay (2016), bilgisayar ortamında iki eksenli güneş takip mekanizmasına sahip 1kW'lık fotovoltaik güç sistemi modellemiş ve İzmir İli koşulları için Matlab/Simulink ortamında simüle etmiştir. Bu model hem gerçek zamanlı ölçüm verileri ile hem de PVGIS verileri ile simüle edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler halihazırda kurulu olan eş bir sistemle karşılaştırılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçta güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaik sistemin %29.6'lık daha fazla performansla çalıştığı bulunmuştur.

Altınışık (2016), tez çalışmasında 100 W'lık bir PV panelin verimliliğinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan güneş panellerinin verimliliğinin su ile soğutularak arttırılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca ortam sıcaklığı ve güneş enerjisi düzeyi azaldıkça elde edilen verimlilik düzeyinin de azaldığı görülmüştür. Deneysel sonuçlardan kullanılan panelin soğuma ve ısınma katsayıları hesaplanmıştır. Kurulmuş olan bir su soğutmalı güneş panel sistemi için, deneysel çalışma sonucunda panellerin ön yüzey soğutma ve ısınma hızları bir kez hesaplandıktan sonra, söz konusu sistemin panel ön yüzey sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak hesaplanabilir. Böylece sadece bir zamanlayıcı ile soğutma sisteminin elektronik düzeneğini kurabilir.

Varış (2017), çalışmasında güneşi izleyebilen, 5.2 kWp gücünde çift eksenli fotovoltaik sistemin tasarımı ve simülasyonu ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi Küçükçekmece Sosyal Tesisi'nde elektrik enerjisi ihtiyacının bir kısmının karşılanması için; konum bilgisini, tesise ait elektrik tüketim değerlerini incelemiş ve PV panel izleme sisteminin sabite oranla %32 civarında daha verimli olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (2017), yaptığı çalışmasında, güneş takip sistemlerinde hız kontrolü kolaylığı ve istenilen devirlerde motorların kolay çalıştırılabilmeleri adına fırçalı sabit mıknatıslı doğru akım motoru kullanmıştır. DC motora bağlı olarak çok sayıdaki dişli sistemi (15 dişli) ile damperli motor dediğimiz yapı oluşturulur. Bu dişli (redüktör)

yardımı ile damperli motorun momentini arttırılmıştır (16Nm). Damperli motorlar, değişken yükler altında kolayca hız kontrolünün yapıldığı doğru akımda çalışan motor çeşididir. Tasarladığı güneş takip sisteminin her iki eksenini için bu güçteki motorlar kullanılmıştır ve sistemdeki panellerin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusundaki hareketi yavaş ve iyi bir şekilde sağlanmıştır. İki eksen için toplam güç tüketimi 3W olarak ölçülmüştür. Bu da mevcut güneş takip sistemlerinde takip için harcanan güç miktarının azaltılması için önemlidir.

Tırmıkçı (2018), çalışmasında en uygun yıllık eğim açısı ile konumlandırılmış sabit bir güneş sistemi ve iki eksen güneşi izleyen hareketli bir güneş sistemi gerçek zamanlı olarak karşılaştırılmıştır. En uygun yıllık eğim açısı toplam güneş ışımasını ve eğim açısı ilişkisi ile belirlenmiştir. Sonucunda, iki eksen güneş izleyen sistemin her durumda en uygun yıllık eğim açısı ile konumlandırılmış sisteme göre daha verimli olduğunu ancak kurulum maliyeti açısından da karşılaştırıldığında uygulama aşamasının daha zor ve pahalı olduğu gösterilmiştir.

Menak (2018), güneş panellerinden alınan verimi arttırmak amacıyla tasarladığı hareketli düzenek hem iki ekseninde hem de tek ekseninde güneş takibi yapabilen bir sistem olup, hareketli ve sabit panelden iki ayrı günde alınan ölçümlerle karşılaştırılarak verimlilik analizleri yapılmıştır. Deneysel olarak tasarlanan sistemin tüm parçaları Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Modellemesi yapılan hareketli sistem ile sabit sistemin deneysel ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Sonucunda çift eksenli takip sisteminden yaklaşık %37'lere varan, tek eksenli güneş takip sisteminden ise %35'lere varan oranda verim elde etmiştir.

Yücel ve ark., (2018), yaptıkları çalışmada sabit eksenli panel ve çift ekseninde güneş takip eden panel kurmuş ve her dakika düşen güneş ışınlarının ürettikleri enerji miktarı kaydedilmiştir. Elde ettikleri enerjiyi aynı özellikteki su pompalarına aktarmışlar, pompaladıkları su miktarlarını sayaçla ölçerek kaydetmişler ve yaptıkları karşılaştırma sonucunda takip sistemi veriminin %23.7 daha verimli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Boyacı ve Kocaman (2018), yaptıkları çalışmada mikrodenetleyici kontrollü olan 3 ekseninde hareket edebilen bir güneş takip sisteminin prototip tasarımını ve uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan uygulamada açık döngü kontrol sistemi

kullanılarak ve sistem gerçek zamanlı Matlab/Simulink bir ortamda kontrole tabi tutulmuştur. 3. eksen eklenilerek amaçlanan konuma daha da hızlı bir şekilde ulaşılma sağlanmıştır. Panele güneş ışınlarının uygun olarak gelmesi sonucu günün her saatinde panelden yüksek oranda verim alınarak sabit bir platformdan daha da verimli çalıştığı gözlenmiştir.

2.1 Enerji ve Enerji Çeşitleri

Enerji kelime anlamıyla hareket ettirici güçtür, kudrettir. Bir sistemin enerjisi, bu sistemin yapabileceği iştir. İş ise fizikte, bir cisme yol aldırma, yerini değiştirebilme, hareket ettirme şeklinde tanımlanır. Bundan dolayı bütün hareket eden cisimler hıza sahip oldukları için, aynı zamanda belli oranda bir enerjiye de sahiptirler. Dolayısıyla her üretim olayında belli bir enerji harcanması gereklidir. Enerji;

1. Potansiyel (Depolanmış) Enerji
2. Kinetik (Hareket halinde) Enerji

Potansiyel enerji, cisimlerin durumları sebebiyle iş yapabilecekleri halde olmalarıdır. Yer çekimi potansiyel enerjisi, yerin çekim etkisindeki cisimlerin yerden belli bir yükseklikte bulunmalarından dolayı sahip oldukları enerjidir. Yapabilecekleri iş kütlelerinin yerçekim ivmesi ve buldukları yüksekliklerin çarpımı ile verilir. Esnek cisimlerde üzerlerine belli bir kuvvet uygulandığında sıkışma, uzama yapabildikleri için potansiyel enerjiye sahiptirler.

Kinetik enerji ise hareketli cisimlerin sahip oldukları enerjidir. Yüksekteki bir taş düşerken potansiyel enerjisini kinetik enerjiye çevirir. Hareketli bir cisim bir yayı sıkıştırırken, kinetik enerji yayın biriktirip oluşturduğu potansiyel enerjiye haline geçer. Hıza sahip olan cisimler canlı, zinde bir kuvvetin sahibidirler. Hızla çarpışan iki şişenin birbirini kırması sahip oldukları kinetik enerji sebebiyledir. Düşen bir su kütlesi potansiyel enerjisini, kinetik enerjiye çevirir. Bu türbinin dönme mili, bir su kabı içindeki karıştırıcıyı da döndürürse kap içerisindeki suyun sıcaklık seviyesini yükselttiği görülebilir. Suyun kazandığı ısı, türbine döndüren suyun kinetik enerjisidir. O halde ısı da bir enerjidir. Isınan cisimler iş yapabilirler. İçerisi gaz ya da su dolu bir kabın altı ısıtıldığında kabın kapağının yükseldiği görülür. Böylece ısı enerjisi potansiyel enerjiye dönüşmüştür.

Bu iki halden biri olarak yaşamımızda yer alan enerji çok farklı formlarda olabilmektedir. En çok kullanılan enerji formları ise şu şekildedir:

- Termal (Isıl) Enerji
- Işınım Enerjisi (Isıl Enerji, Nükleer Enerji)
- Hareket Enerjisi (Kinetik Enerji)
- Elektrik Enerjisi
- Kimyasal Enerji
- Manyetik Enerji
- Nükleer Enerji

2.2 Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, üretimi için kullanılan ilgili kaynakların tükenme hızını aşarak çok hızlı bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemez enerji belli jeolojik oluşum zamanlarında bazı organik kaynakların fosilleşmesi sonucunda oluşmuş, yenilenme özelliği olmayan enerji kaynaklarıdır.

2.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Enerji kaynakları genelde şu şekilde sınıflandırılır;

2.3.1 Dönüştürülebilirliklerine göre;

- **Birincil Enerji Kaynakları:** Doğrudan doğruya enerji veren, kullanılması esnasında öz nitelikleri değişmeyen petrol, kömür, doğalgaz, rüzgar, dalga, gelgit, güneş, hidrolik, biokütle, hidrojen, jeotermal gibi enerji türleridir.
- **İkincil Enerji Kaynakları:** Kendi öz ve doğal nitelikleri değiştirilerek farklılaştırılarak kullanılan elektrik, ikincil kömür, benzin, mazot, hava gazı, ikincil kömür kök, LPG (sıvılaştırılmış petrol) enerji kaynaklarıdır.

2.3.2 Yeraltı-Yerüstü Kaynaklı Olmalarına Göre;

Enerji kaynağının yeraltında-yerüstünde oluşmasına durumuna göre yapılan sınıflandırmadır.

- **Yeraltı Enerji Kaynakları:** Çeşitli kömürler, petrol, doğalgaz, jeotermal kaynaklar, termonükleer petrol, nükleer enerji kaynakları

olarak nispeten çeşitlidir. Uranyum, Toryum gibi metalik olanlarla jeotermal kaynaklar hariç bunlara fosil kaynaklar da denir.

- **Yerüstü Enerji Kaynakları:** Güneş, rüzgar, biyokütle kaynakları gibi kaynaklar bu sınıftadırlar.

2.3.3 Organik-İnorganik Olmalarına Göre Kaynaklar;

Enerji kaynaklarını, genetik açıdan da sınıflandırmak mümkündür.

- **İnorganik Yapılı Enerji Kaynakları:** Uranyum ve toryum metalleri grubudur.
- **Organik Yapılı Enerji Kaynakları:** Jeolojik zamanda yetişmiş olan dev yapılı çeşitli bitkilerin zamanla yer kabuğu katmanı içinde kalarak, fosilleşmeleri sonucu oluşmuşlardır.

2.3.4 Fiziksel Durumuna Göre Enerji Kaynakları;

Enerji kaynaklarının oda koşulundaki fiziksel durumuna göre yapılan sınıflandırmadır.

- **Katı Enerji Kaynakları:** Kömür, odun vb. gibi biyokütle atıkları, uranyum gibi kaynaklardır.
- **Sıvı Enerji Kaynakları:** Petrol, mazot, biyodizel, LPG gibi kaynaklardır.
- **Gaz Enerji Kaynakları:** Doğalgaz, Metan Gazı, Biyogaz gibi kaynaklardır.

2.3.5 Sürdürülebilirlik (Tükenebilirlik) Durumlarına göre;

Enerji kaynağının kendini yenileyebilme durumuna göre oluşturulan kategori olarak nitelendirebiliriz.

- **Fosil, Konvensiyonel, Geleneksel (Yenilenemez) Enerji Kaynakları:** Bunlara birincil kaynaklar, konvensiyonel kaynaklar gibi isimler verilir. Bu kaynakların yeni rezerv keşfedilemesi şeklinde çoğaltılabilmelerine rağmen mutlaka tükeneceği düşünülmektedir. Kömür, petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi nükleer kaynaklar ve bitümlü şistleri bu grupta yer alan kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynakları olarak sıralayabiliriz.

- **Alternatif (Yenilenebilir) Enerji Kaynakları:** Enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik (hidroelektrik) enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, gelgit enerjisi, piezoelektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilir.

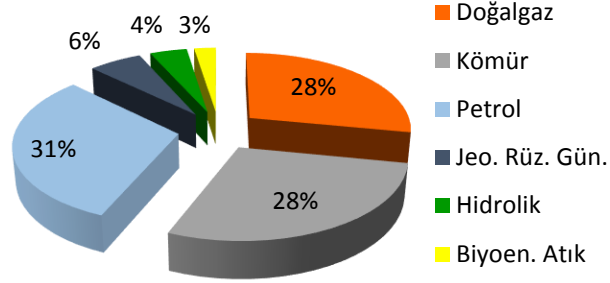
2.4 Yenilenebilir Enerji ve Türkiye'deki durumu

Dünya ve ülkemizde enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Endüstriyel alandaki teknolojik gelişmelere paralel olarak sanayileşmenin, ekonomik kalkınmanın, insanların refah seviyesinin yükselmesinin en belirleyici unsuru, enerjiye olan talebin artmasıdır. Uzun yıllardır kullanılan fosil enerji kaynaklarının rezervleri hızla tükenmekte ve çevreye verdikleri zararlardan dolayı da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı arttırmaktadır.

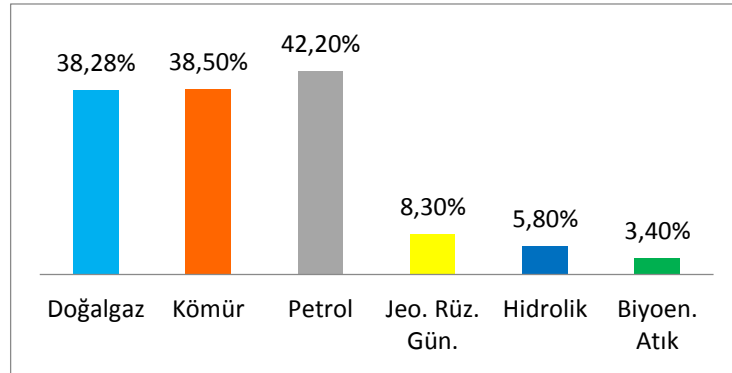
Türkiye jeopolitik konumu gereği yenilenebilir enerji kaynakları çeşitliliği ve potansiyeli açısından oldukça zengin bir durumdadır. Ancak bu kaynaklardan istenildiği şekilde yararlanılamamaktadır. Mevcut enerji yapısının %72'si dışa bağımlı olan ülkemiz bu oranı azaltabilmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş, bu alandaki yatırım ve çalışmalara önem vererek potansiyelinin daha etkin ve verimli kullanımı konusunda çalışmalar yaparak gelecek hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sağlanmaktadır. Böylece ithal kaynaklara olan bağımlılık azalarak milli gelirden istihdama, yatırım alanlarından çevresel faktörlere, enerji arz güvenliğinden kaynak çeşitlendirmesine kadar birçok alanda da faydalar sağlayacak, ülkemizin dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltacaktır. Ülkemiz enerji de kendi kendine yetebilen bir konuma gelecektir. 2016 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %35'i yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır.

Türkiye'nin 2016 yılındaki toplam enerji arzı 136.5 milyon tep (ton eşdeğer petrol)'dir. Bu arzın kaynaklara dağılımında, ilk sırayı 42 milyon tep ve toplam arzın %31'i ile petrol almıştır. Petrolü, 38 milyon tep ve %28 pay ile kömür, kömüre çok yakın değerle doğal gaz, 8.3 milyon tep ve %6 ile jeotermal, rüzgâr ve güneş toplamı,

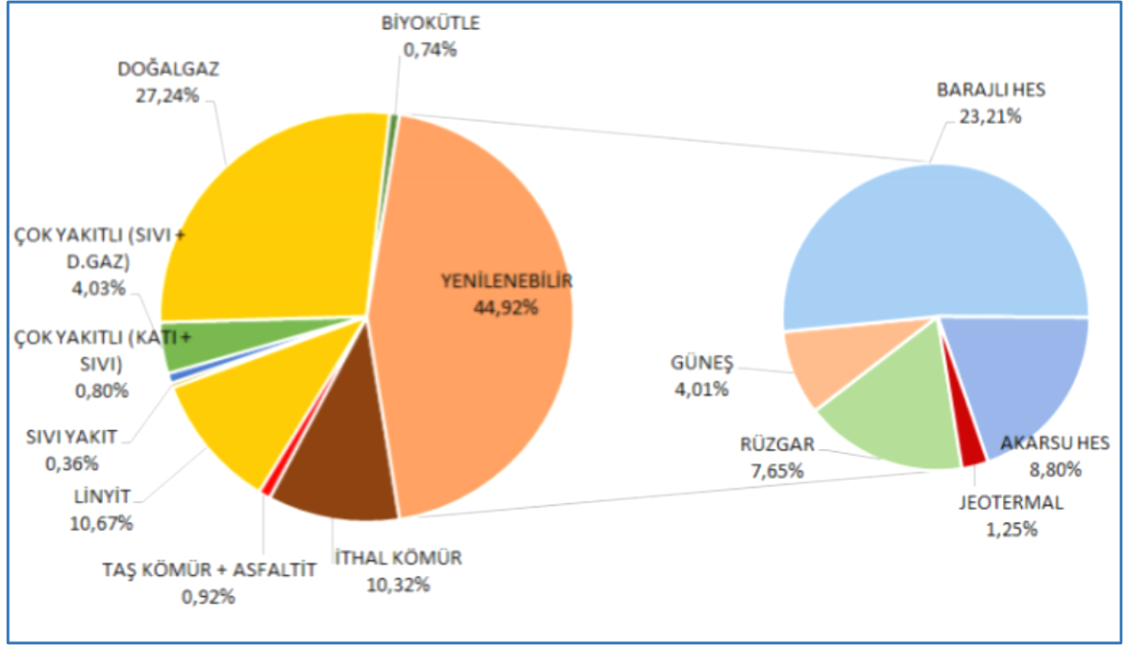
5.8 milyon tep ve %4 ile hidrolik, 3.4 milyon tep ve %3 ile biyoenerji, atık ve diğer kaynaklar izlemiştir (Şekil 2.1, Şekil 2.2).



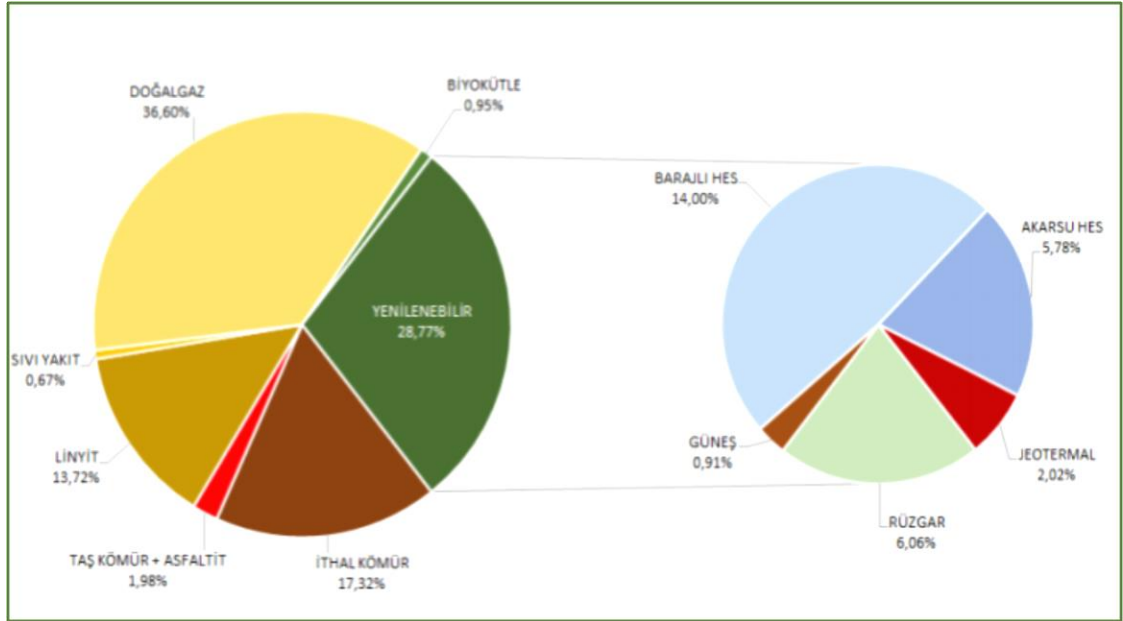
Şekil 2.1 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Üretiminde Kaynakların Payı



Şekil 2.2 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Dağılımı (mtep)



Şekil 2.3 Kaynaklara Göre Kurulu Güç (2017 Sonu İtibarıyla/ Kaynak:TEİAŞ)

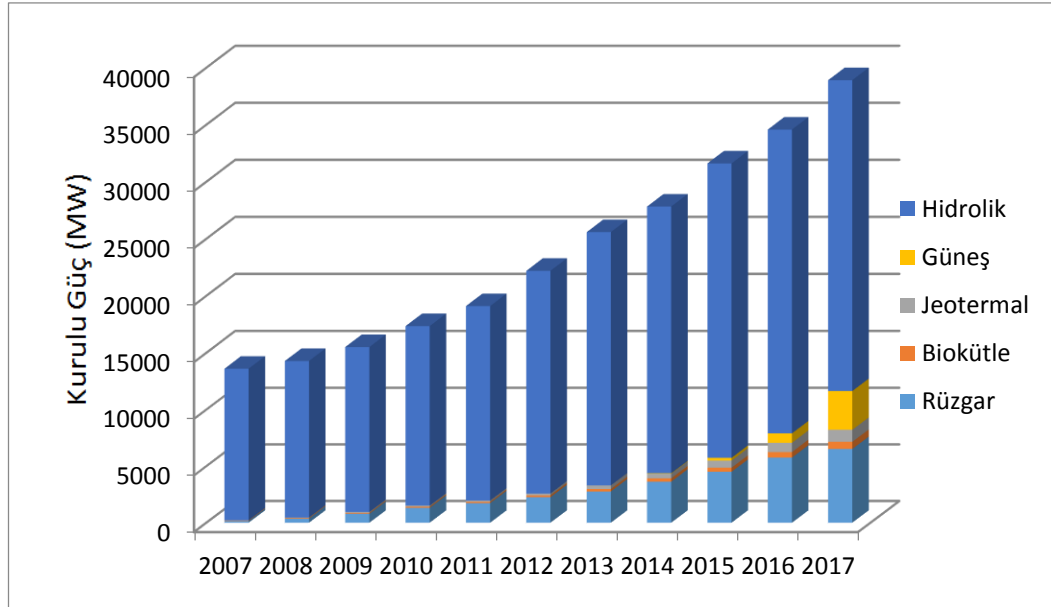


Şekil 2.4 Türkiye Elektrik Üretimini Kullarılan Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı (2017)

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı olarak tanımlanmasının yanında onu diğer enerji çeşitlerinden ayıran en önemli özellik yok olmamasıdır.

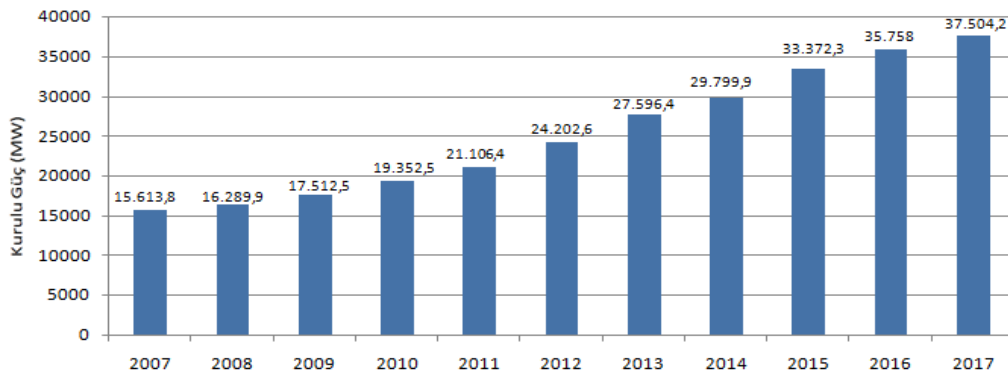
Yenilenebilir enerji kaynakları başlıca “güneş”, “rüzgar”, “jeotermal”, “hidrolik”, “biyokütle”, “dalga” ve “hidrojen” enerjileri olarak gruplandırılmaktadır.

Güneşin bu enerji çeşitlerinin büyük bir bölümünün ana kaynağı olduğu ve bunlara dolaylı veya dolaysız etkisinin bulunduğu söylenebilmektedir. Hatta fosil yakıt olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz da esasında güneş enerjisinin şekil değiştirmiş halleridir. Bu nedenlerden ötürü güneşi dünyanın en önemli enerji kaynağı olarak tanımlayabilmek mümkündür.



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Güneş								40,2	248,8	832,5	3420
Biokütle	42,7	59,7	81,5	96,9	115,4	158,5	224	288,1	362,4	488,7	634,2
Jeotermal	23	29,8	77,2	94,2	114,2	162,2	310,8	404,9	623,9	820,9	1063,7
Rüzgar	146,3	363,7	791,6	1320,2	1728,7	2260,5	2759,6	3629,7	4503,2	5751,3	6516,2
Hidrolik	13395	13829	14553,4	15831,2	17137,1	19609,4	22289	23463,2	25867,8	26681,1	27273

Şekil 2.5 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üreten Tesislerin Kurulu Güç Değişimi



Şekil 2.6 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Gelişimi

Şekil 2.5'te Türkiye'nin 2007-2017 yılları arası yenilenebilir enerjinin kurulu güç payının giderek arttığı görülmektedir. 2007'de 13 606.8MW olan kurulu güç 2017'de 38 907.9MW olmuştur. Yenilenebilir enerji alanında yıllar itibariyle gelişme olsa da Türkiye'nin sahip olduğu kaynak potansiyeline göre yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir.

2.5 Güneş Enerjisi

Güneş çekirdeğinde bulunan hidrojen gazı helyuma dönüşür. İlgili fizyon sürecini takiben oluşan ışıma enerjisi, güneş enerjisi olarak tanımlanır. Dünya'dan 33 000 kat daha büyük olan güneş doğal bir fizyon reaktörü olup fosil enerji kaynaklarından daha temiz ve çevreci bir enerji kaynağıdır. Bunun yanı sıra enerji arzı yönünden tükenmez bir kaynaktır. Yeterince yararlanılması halinde çöllerin kapladığı bölgelerde yıllık güneş radyasyonu dahi günümüzde tüketilen enerji miktarından yüzlerce kat daha fazla olduğu rapor edilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008).

Atmosfer dışında yaklaşık $1370\text{W}/\text{m}^2$ değer şiddetle olan güneş enerjisi, atmosferden dolayı değer değişimine uğrar. Yeryüzüne $0-1100\text{W}/\text{m}^2$ değerleri arasında ulaşır. Ulaşan enerjinin az bir bölümü dahi insanların tükettiği enerjinin çok çok fazla miktarıdır. 1970'li yıllardan sonra hız kazanan güneş enerjisinden yararlanma hususundaki çalışmalar, teknolojik açıdan ilerleme, maliyet bakımından ise düşme sağlamıştır. Beraberinde çevre açısından en önemli temiz enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir. Güneşin dünyadan uzaklığı 150 milyon km^2 'dir. Dünyada bir yılda kullanılanın 20 bin katı enerji güneşten gelmektedir.

Güneşten elektronlarını yüksek sıcaklık sebebiyle kaybetmiş olan hidrojen atomları birbirleri ile nükleer reaksiyona girerek helyum çekirdeği haline gelmekte ve reaksiyondaki kütle kaybı enerji şeklinde açığa çıkmaktadır. Güneş enerjisinin temeli dört adet hidrojen atomunun bir edet helyum atomuna dönüşmesine dayanmaktadır. 4 adet hidrojenin ağırlığı 4.032 birim, helyumun atom ağırlığı ise 4.003 birimdir. Güneşte oluşan tepkimeler sonucunda helyuma dönüşen hidrojen atomundan artan 0.029 birim ağırlık, enerji şeklinde uzaya dağılır. Güneşte saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Bu durumun sonucunda her

saniyede uzaya 4 milyon ton foton yayılmaktadır. Bu değer çok yüksek tükenmez bir enerjiye tekamül etmektedir.

Güneş ışınımının %30'u atmosfer tarafından geriye yansıtıldığı için yeryüzüne ulaşamayıp sadece %50'si yeryüzüne ulaşır. Dünyada sıcaklık bir enerji ile yükselir ve yaşam mümkün olur. Okyanustaki dalgalanmalar ve rüzgardaki hareketlenmelere sebep olan da bu ısınmadır. Atmosferde ve bulutlarda güneş ışınımının %20'si tutulur. Güneş ışınımının yeryüzüne geleninin %1'inden daha azını bitkiler fotosentez olayı için kullanırlar. Güneş ışığı ile birlikte fotosentez esnasında karbondioksit ve su kullanan bitkiler oksijen ve şeker üretirler. Bitkisel hayatın yeryüzündeki kaynağı fotosentezdir. Bütün enerjilerin (nükleer enerji hariç) direkt ya da dolaylı kaynağı güneştir.

Dünyaya gelen güneş enerjisi ısıya dönüştürülerek ve elektrik enerjisine çevrilerek iki yolla değerlendirilmektedir. Isıya dönüştürülmesinde topaçlar doğrudan, elektriğe dönüştürülmede ise güneş pilleri ve güneş hücreleri kullanılır. Güneş enerjisinin günümüzde kullanımının artması, ölçülü olarak fosil yakıtların azalmasını önlemeye yardım etmektedir. Bu hususla ilgili olarak güneş enerjisi 3 maksatla kullanılır. Bunlar;

- ✓ Güneş enerjisinin yapılarda ısınma maksadıyla kullanılması.
- ✓ Güneş kaynaklı elektrik santralleri geliştirilmek suretiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi ve kullanılması (Geniş alana yayılmış olan içbükey yüzeyler sayesinde bir noktaya odaklanan güneş ışığı ile elde edilmiş olan ısının kulanılarak termik düzeneklerce ısıtılan akışkan buhar sayesinde dönen jeneratörler veya güneş pillerinin de kullanılması ile güneş ışığından direkt olarak fotovoltaik hücreler ile elektrik elde edilir).
- ✓ Güneş enerjisinden elektroliz yöntemi ile hidrojen, sudan ise hidrojen gazının elde edilerek elektik üretilmesinde kullanılması.

2.5.1 Güneş Enerji Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

2.5.1.1 Avantajları

- ✓ Güneş enerjisi, sürekliliği olan yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

- ✓ Kolaylıkla taşınabilen güneş enerjisi ile çalışan sistemleri rahatlıkla kurmak mümkündür.
- ✓ Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerde yakıt ve mekanik yıpranma sorunlarının olmaması uzun yıllar boyunca sorunsuz bir şekilde çalışması, işletme kolaylığı, modüler (değişebilir) özellikte olması gibi üstün özellikler bulunmaktadır.
- ✓ Dayanıklı ve güvenilir olan güneş pilleri aynı zamanda uzun ömürlüdürler.
- ✓ Elektrik şebeke hattının götürülmesi sair sebeplerle güç olan ya da pahalı olan kısaca elektrik şebeke hattı olmayan kırsal kesimde güneş pillerinin kullanımı daha ekonomiktir.
- ✓ Konutlarda çatıya kurulacak güneş pilleri ile her konut ihtiyacı olan enerjiyi bu yolla karşılayabilir.

2.5.1.2 Dezavantajları

- ✓ En önemli dezavantajı güneş panellerinde verim düşüktür.
- ✓ Teknolojik gelişmelere maliyet bağılılığı olan fotovoltaik pillerde yaygınlaşan enerji sayesinde maliyet düşmektedir. Bağlı olarak kullanım artışı ve yaygınlaşması da maliyet düşüşü sağlayacaktır.
- ✓ Güneş enerjisini depolamada güneşin kesintili bir kaynak olması sorun teşkil etmektedir. Ayrıca bu amaçla kullanılan ünite bakımları ve ünitelerin ömürlerinin kısa oluşu gibi konular verim düşüklüğüne ve maliyet artışına sebep olmaktadır.

2.5.2 Dünya'nın Güneş Enerjisi Potansiyeli

Elektrik ve ısı enerjisi elde etmek için yararlanılan ve en yaygın olarak bulunan yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Fosil yakıt tüketiminden daha fazla maliyeti yüksek olan fotovoltaik panellerin kullanımı maliyet yüksekliği nedeniyle sadece %0.04 oranında tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Son zamanlarda teknolojik ilerleme ve gelişmeler sayesinde güneş enerjisi üretimi ve depolanması yönündeki gelişmeler ve buna bağlı olarak maliyet düşüşlerinin hızla düşüşü beraberinde bu alana yatırım yapılmasını hızlandırmıştır.

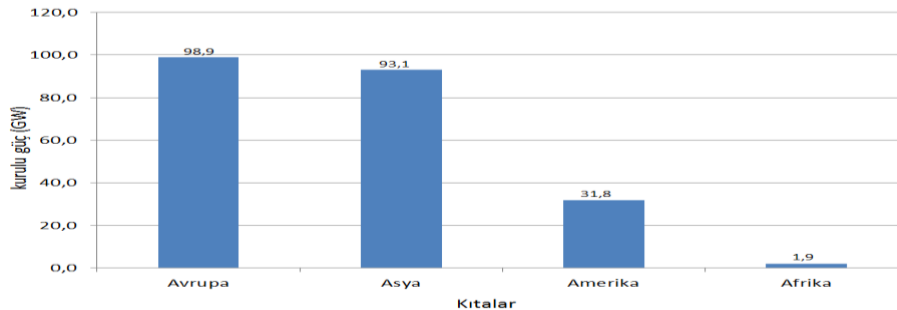
Bilhassa 2014 yılı sonrasında güneş enerji piyasasında %25 oranında bir büyümenin olduğu izlenmektedir. Güneş enerjisinde 2015 yılı itibariyle 50GW'lık bir kapasite artışının olduğu ve bunun küresel çapta 227GW kapasiteye ulaştığı da görülmektedir.

Güneş enerjisi kurulu bölgesel gücünden en fazla ölçekte kapasitenin Avrupa kıtasında olduğu daha sonra Asya ve Kuzey Amerika kıtalarının Avrupa kıtasını takip ettiği de izlenmektedir (Şekil 2.7).

Dünyada genel olarak en fazla güneş fotovoltaik sistem kapasite sıralaması, Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya'ya aittir. 2015 yılı güneş fotovoltaik sistem kişi başı kapasitesi yönünden Almanya'nın ilk sırada olduğu, onu Çin, Japonya ve ABD'nin sergiledikleri kapasite artış performansı ile izledikleri de görülmektedir. Türkiye ise güneş enerjisinden ısı elde etme yönüyle ilk sırada bulunan Çin, ABD ve Almanya'dan sonra gelmektedir (Çizelge 2.1).

Görüldüğü üzere Çin bu alanda çok önemli bir konumdadır. Fosil kaynaklara bağımlılık ülkede %100'lük yenilenebilir enerji kullanımını engellemektedir.

Avrupa'da 2014 yılında en yüksek kurulu güç açısından 2.4GW ile İngiltere birinci iken, Almanya 1.9GW ile ikinci, 927MW ile Fransa üçüncü olmuştur. 2015 yılında ise Avrupa'da Almanya ilk sırada yer alırken Yunanistan ile İtalya ise elektrik enerjisi ihtiyaçlarının %7'sinden fazlasını güneş enerjisinden karşılamıştır. Aynı yıl güneş kollektör kapasitesi açısından Türkiye ise Almanya'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır (Çizelge 2.1). Türkiye'nin mevcut potansiyelinin çok altında olduğu bir gerçek olmakla beraber bu alandaki yatırımlarda sürekli artış göstermektedir.



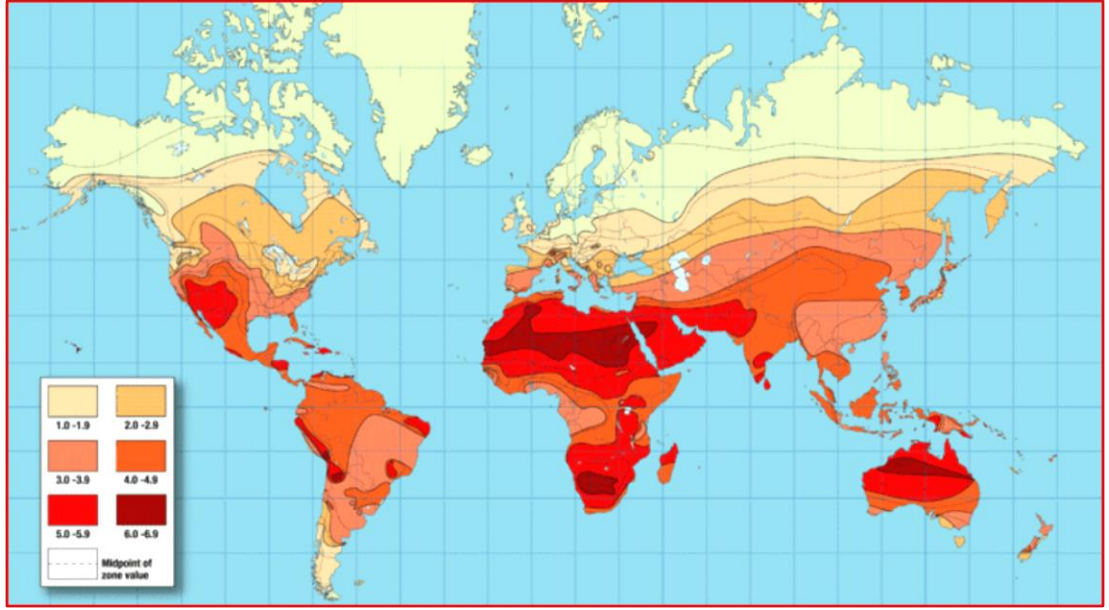
Şekil 2.7 Güneş Enerjisi Kurulu Gücünün
Kıtalara Göre Dağılımı (2015GW)

Çizelge 2.1 Yenilenebilir Enerjinin Ülkeler Bazında Toplam Kapasite Açısından Sıralaması (2015)

	1	2	3	4	5
ENERJİ					
Yenilenebilir Enerji (Hidrolik Dahil)	Çin	ABD	Brezilya	Almanya	Kanada
Yenilenebilir Enerji (Hidrolik Dahil Değil)	Çin	ABD	Almanya	Japonya	Hindistan
Kişi Başına Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Hidrolik Dahil Değil)	Danimarka	Almanya	İsveç	İspanya	Portekiz
Biyoenerji Üretimi	ABD	Çin	Almanya	Brezilya	Japonya
Jeotermal Enerji Kapasitesi	ABD	Filipinler	Endonezya	Meksika	Yeni Zelanda
Hidrolik Enerji Kapasitesi	Çin	Brezilya	ABD	Kanada	Rusya
Hidrolik Enerji Üretimi	Çin	Brezilya	Kanada	ABD	Rusya
Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi	İspanya	ABD	Hindistan	Fas	Afrika
Güneş Fotovoltaik Sistem Kapasitesi	Çin	Almanya	Japonya	ABD	İtalya
Kişi Başına Güneş Fotovoltaik Sistem Kapasitesi	Almanya	İtalya	Belçika	Japonya	Yunanistan
Rüzgar Enerjisi Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	İspanya
Kişi Başına Rüzgar Enerjisi Kapasitesi	Danimarka	İsveç	Almanya	İrlanda	İspanya
ISI					
Güneş Kollektörü Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	Türkiye	Brezilya
Kişi Başına Güneş Kollektörü Kapasitesi	Avusturya	Kıbrıs	İsrail	Barbados	Yunanistan
Jeotermal Isı Kapasitesi	Çin	Türkiye	Japonya	İzlanda	Hindistan
Kişi Başına Jeotermal Isı Kapasitesi	İzlanda	Yeni Zelanda	Macaristan	Türkiye	Japonya

Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü 363MW kapasiteye ulaşırken, bu tesislerin %49'u sadece dört ilde konumlanmaktaydı. Sektörün açık ara lider illeri; Kayseri, Konya, Denizli, Burdur şeklinde sıralanmaktaydı. Sektörde yaşanan sürekli gelişmelerden dolayı Konya ilinde dünyanın en büyük güneş enerji santrali kurulacaktır. 2016 yılında ise ilk lisanslı güneş enerji santrali kurulmasına Erzurum'da başlandı ve kısa sürede faaliyete geçirilip üretime başlanmıştır.

Güneş enerjisinden faydalanmayı arttırmak sadece ileri ve gelişmiş teknolojilerin kullanılması ile mümkündür. Maliyetlerin yüksek oluşu sebebiyle düşük seviyelerde kalan kullanım son yıllarda bu alanda artan yatırımlar ve bilhassa düşen teknolojik maliyetler sayesinde giderek yaygınlaşmayı sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine dünya ülkelerinin ayrı ve özel bir önem vermeleri dikkat çekmektedir. Elektrik üretiminde güneş enerjisinden azami ölçüde yararlanmak adına teşvik unsurları geliştirilmekte ve bu konuda yasal düzenlemeler yapılmaktadır.



Şekil 2.8 Dünya Ülkelerinde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi konum, yenilenebilir enerji kaynaklarından istifade edebilme, ondan yüksek oranda yararlanabilme açısından en önemli husustur. Güneşlenme süresini ve ışınım şiddetini etkilemesi bazı ülkeleri güneş tarlalarından aldıkları verim açısından avantajlı kılmaktadır. Bu ülkelerden, önemli güneş enerji potansiyeli barındıran, İspanya’da Avrupa’nın en büyüğü olma özelliğini taşıyan 590 megavat gücünde bir güneş enerjisi santralini kurmaya hazırlanan Iberdrola enerji şirketi yaptığı açıklamasında İspanya’nın Extremadura bölgesinde 13 hektarlık alanda Francisco Pizarro güneş enerjisi projesini gerçekleştirmeyi planladığını ve 300 milyon euro tutarındaki santral yatırımının 2022 yılında tamamlanacağını, bu yatırım sayesinde yaklaşık 375 bin kişinin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayacağını belirtmesi İspanya’nın önemli ölçüde güneş enerjisi potansiyeli barındırdığının bir göstergesidir.

Güneş enerjisi kurulu gücü 2007 yılı başlarında 8GW iken, 2017 yılı sonunda 402GW’a kadar ulaşmış olması güneşin küresel elektrik kurulu gücü artışının 2017 yılında %38’ini karşıladığı, konvansiyonel baz yük elektrik üretim kaynakları olan kömür, doğalgaz ve nükleer enerji kaynaklarını geride bıraktığını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kurulu gücünde, güneş enerjisinin artış lideri olduğu Uluslararası Enerji Ajansı tarafından ifade edilmektedir.

Fotovoltaik güneş enerjisi maliyetlerindeki aşırı düşüş sebebiyle logaritmik büyüme sürecinin temel sürükleyicisi konumundadır. 2010 yılından beri %83 düşüş

gösteren fotovoltaik modül fiyatları 2050 yılına kadar %71 oranında ilave yeni bir düşüş olacağına işaret etmektedir.

Seviyelendirilmiş fotovoltaik projelerde 2020 yılında enerji maliyetinin 6\$ sent/kWs seviyesine ineceği, fosil yakıt kökenli projelerin çoğunda güneş enerjisi projeleri ile ucuz maliyetli elektrik üretimi yapılması tasarlanmaktadır.

2.5.3 Coğrafi Konum ve Güneş Verimi Açısından Türkiye

36°–42° Kuzey-paralelleri ile 26°–45° Doğu-meridyenleri arasında bulunan Türkiye, coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisinden yüksek potansiyelde yararlanmaktadır. Bu özelliğinden dolayı Türkiye’de güneş tarlalarının kurulması durumunda yüksek oranda verim alınacaktır.

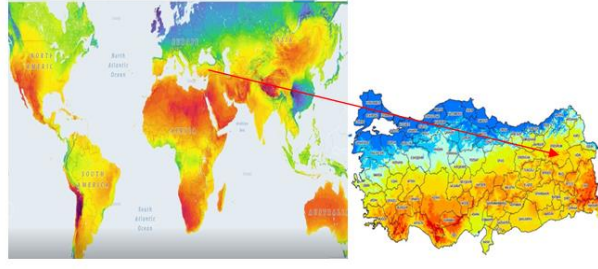
Yıllık ortalama güneş ışınımı Türkiye’de 1303 kWh/m²yıl olup güneşlenme süresi ise ortalama yıllık 2623 saattir. Bu veriler günlük olarak 3.6 kWh/m², yaklaşık olarak günde 7.2 saat ve toplam olarak 110 günlük güneşlenme süresi demektir. 9.8 TEP (ton eşdeğer petrol) ısıl uygulamalardan ayrılmak şartıyla yıllık 26.2 TEP enerji potansiyeli söz konusudur.

Ülke genelinin %63’lük alanında teknik ve ekonomik olarak yılın 10 ayında yararlanmak mümkün olup, bu oran tüm yıl süresince %17’dir.

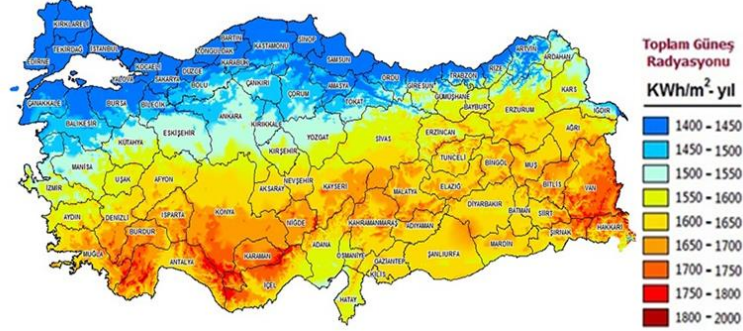
Türkiye’de Ocak 2017 tarihi itibarıyla 500’e yakın aktif santral, 691MWe civarı kurulu güç, yaklaşık 1022 GWh yıllık elektrik üretimi vardır.

Türkiye güneş enerjisinden elektrik üretiminde uluslararası derecelendirme listesine ilk defa 2017 yılında giriş yapmış; Çin, ABD, Hindistan ve Japonya’nın ardından 2017 yılında FV güneş enerjisi kurulu gücünü en çok arttıran 5. ülke olmuştur. 2015 yılında 248MW olan güneş enerjisi kurulu gücü 2018’in Temmuz ayının sonunda 4.8GW seviyesine yükselmiştir. 2014’ün sonundan bu yana elektrik enerjisi kurulu gücündeki net artışın yüzde 25’i güneş enerjisi alanında gerçekleşmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı güneş enerjisinde önümüzdeki 10 yılda 10GW kapasite artışı hedefini açıklamıştır. Bu hedeflere ulaşıldığında ise Türkiye’nin kurulu gücü 15GW düzeyine çıkacaktır.

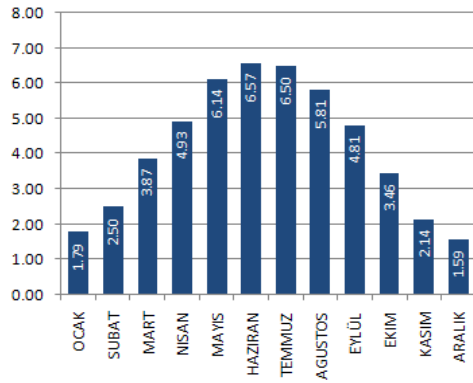


Şekil 2.9 Dünya ve Türkiye Işınım Haritası

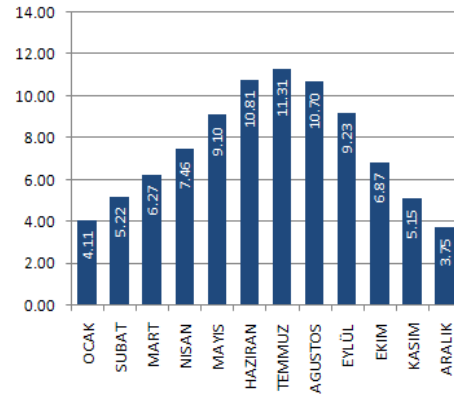


Şekil 2.10 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Haritada ışınım miktarının yüksek olduğu yerler koyu kırmızı tonlarda, ışınım miktarının az olduğu bölgeler ise koyu mavi tonlarda gösterilmiştir. Türkiye için güney bölgelerinin daha çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2.11 Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



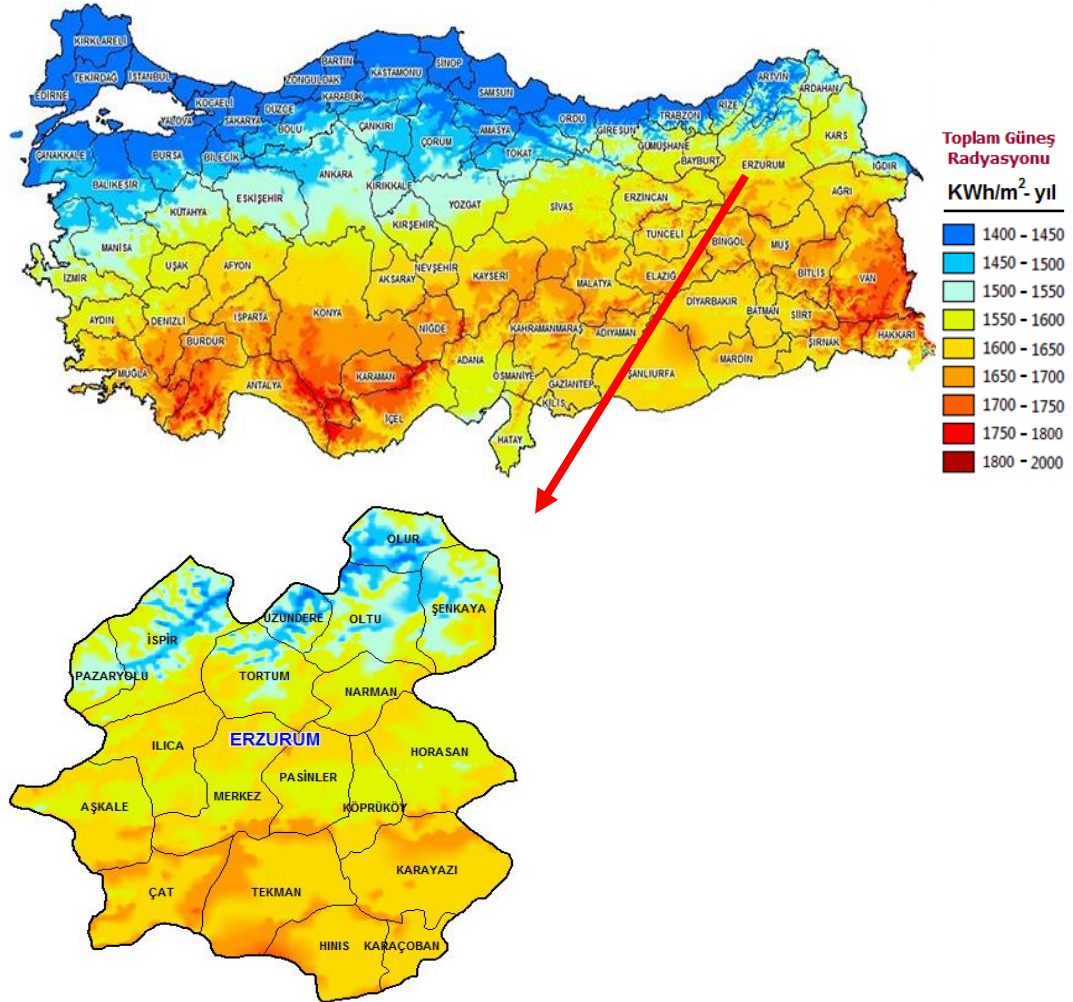
Şekil 2.12 Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)

Türkiye'nin en fazla güneş alan ve enerji bakımından en zengin bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi, üçüncü sırada ise Erzurum İli'nde içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi gelmektedir.

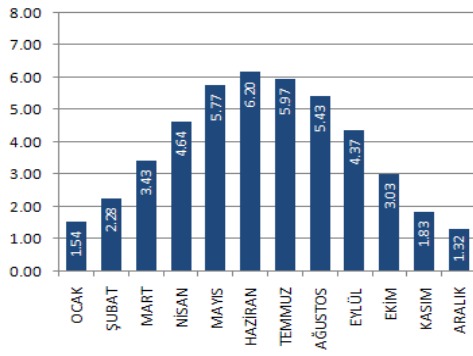
Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süreleri (Saat/Yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

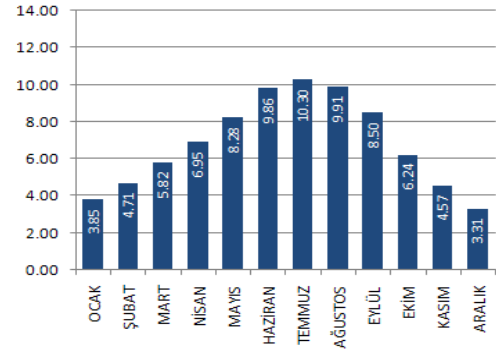
2.5.4 Erzurum İli'nin Güneş Enerji Potansiyeli



Şekil 2.13 Erzurum İli'nin Işınım Haritası



Şekil 2.14 Erzurum Global Radyasyon Değerleri (KWh/ m²-gün)



Şekil 2.15 Erzurum Güneşlenme Süreleri (Saat)

Erzurum koordinatları; enlem 39 9056 ve boylam 41 2658 şeklinde, Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içinde yer alan bir ildir. Erzurum'un rakımı 1890, yüzölçümü ise 25 066 km²'dir.

Erzurum güneş enerjisi potansiyeli açısından ülkemizin önde gelen bölgelerinden bir tanesidir. Coğrafi konumu itibariyle yakın ülke pazarlarına da kolay erişim imkanı sunmakta olan ilin özellikle güney ilçelerinde güneş enerjisi potansiyeli göreceli olarak artmaktadır.

Metrekarede yıllık ortalama 1700kWh, günlük 4.63kWh güneş radyasyonu değerlerine ve günlük ortalama 7 saatin üzerinde güneşlenme süresine sahip olan Erzurum güneş enerjisine dayalı yatırımlar için gelecek vadetmektedir. Sahip olduğu bu potansiyel ile dünyada güneş enerjisi kullanımında lider olan Almanya'nın potansiyelinin nerdeyse bir buçuk katıdır.

Yüksek rakımı dolayısıyla düşük yoğunluktaki havanın güneş ışınları üzerine olumsuz etkisi daha azdır. Yüksek güneş ışınımı değerlerinin yanı sıra soğuk iklimi ile fotovoltaik panellerin daha uzun süre daha yüksek verimde çalışmasını sağlayan bir özelliğe sahiptir. Türkiye'de ilk Güneş Enerjisi Lisans Başvurusu Erzurum için yapılmış ve ilk önlisans alınmıştır.

Şebekenin ulaşmadığı ancak enerji ihtiyacı doğan bölgelerde iletim hattı kurulum maliyeti yüksektir. Bunun yerine şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmasının maliyeti ve kurulumu daha avantajlıdır.

Fotovoltaik sistemler elektrik satışı amacıyla şebekeyle bağlantılı olarak kullanılabilir. Şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri sulama sistemlerinde, yayla evlerinde kullanımına, hayvancılıkta değişik uygulamalarda vardır. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin ürettiği elektriğin satışı yapılabildiği gibi kendi tüketim ihtiyacının karşılaşmasında kullanılıp mahsuplaşma da yapılabilir.

Erzurum ilinde yapılacak olan güneş enerjisi yatırımlarında ortalama geri dönüş süreleri 5-6 yıl dolaylarındadır. Burada kurulacak 1MW gücünde bir tarla tipi güneş enerjisi santralinin kurulum maliyeti 0.9€/W ile 1.1€/W arasında değişmektedir. Bu tesis yıllık yaklaşık 1.5 milyon kWh elektrik üretir. Bu elektriğin satışıyla yaklaşık 200 000\$ gelir sağlanır.

1MW'lık bir GES'in anahtar teslim kurulum maliyeti yaklaşık 1.000.000€'dur. Böyle bir tesis için yaklaşık 20.000 m² alan gerekir. Tesis kendini yaklaşık 6 yılda geri ödemektedir. 1MW'lık bir sistem için yıllık ortalama üretim 108.000kWh ve kazanç 14.364,00\$ dır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 1MW Gücünde Bir Sistem için Yıllık Minimum Üretim ve Kazanç

AYLAR	GÜNLÜK İŞİNİM DEĞERİ kW-saat/ m ²	AYLIK İŞİNİM DEĞERİ kW-saat/ m ²	AYLIK ELEKTRİK ÜRETİMİ kW-saat	% 14 KAYIPLA AYLIK ELEKTRİK ÜRETİMİ kW-saat	KAZANÇ (\$ USD)
OCAK	2.04	63.1	62 900	54 100	7 195.30
ŞUBAT	2.58	72.2	69 400	59 700	7 940.10
MART	3.68	114.0	105 000	90 500	12 036.50
NİSAN	4.55	136.0	122 000	105 000	13 965.00
MAYIS	5.63	175.0	154 000	132 000	17 556.00
HAZİRAN	6.76	203.0	175 000	150 000	19 950.00
TEMMUZ	6.89	214.0	181 000	156 000	20 748.00
AĞUSTOS	6.79	210.0	178 000	153 000	20 349.00
EYLÜL	6.36	191.0	165 000	142 000	18 886.00
EKİM	4.76	148.0	133 000	114 000	15 162.00
KASIM	3.31	99.2	93 900	80 800	10 746.40
ARALIK	2.04	63.2	62 900	54 100	7 195.30
ORTALAMA	4.63	141.0	125 000	108 000	14 364.00
YILLIK		1 690.0	1 500 000	1 290 000.00	172 570.00

2.5.4.1 Erzurum İli'nde Yapılmış Güneş Enerji Santralleri Örnekleri

Erzurum Büyükşehir Belediyesi'nin hazırladığı Güneş Enerjisi Santralleri Projesi (GES) kapsamında Aziziye ilçesinde 2.4MW ve Yakutiye ilçesi 2.5MW olmak üzere toplam 4.9MW kurulu gücü olan tesislerin yapımı tamamlanmıştır. Bu tesislerin aylık yaklaşık ortalama elektrik üretimi 700MW, yıllık üretimi de 8 400 MW'dır. Birbirinden farklı güç ve enerji üretim kapasitelerine sahip olan santrallerde üretilen enerjinin aylık belediyesinin bütçesine katkısı 500 000.00 TL yıllık ise 6 000 000,00 TL olarak gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Tesiste 2 600 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu (konut, resmi daire, sanayi, çevre aydınlatması, metro ulaşımı gibi) tüm elektrik enerjisi, konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise 2 700 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapılmaktadır.



Şekil 2.16 Erzurum 4.9MWe Gücünde Güneş Enerji Santrali

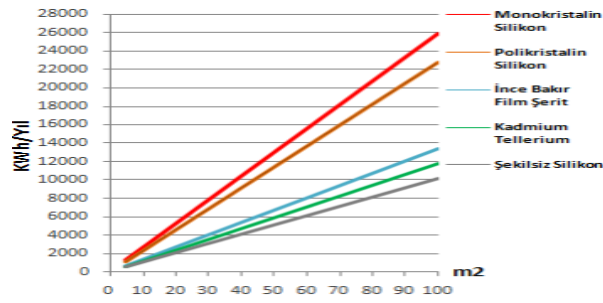


Şekil 2.17 Erzurum 4.9MWe Gücünde Güneş Enerji Santrali'ne Ait İnvörtörler



Şekil 2.18 Erzurum 4.9MWe GES
Ana Dağıtım Panosu

Şekil 2.19 Ana Dağıtım
Panosu



Şekil 2.20 Erzurum PV Tipi-Alan-Üretilebilecek
Enerji (KWh-Yıl)

2.5.4.2 Erzurum İli'ndenki 4.9MW Gücünde Güneş Enerji Santralinin Maliyet Açısından Değerlendirmesi

Çizelge 2.4 Erzurum 4.9MW Gücünde GES'in Yaklaşık Maliyeti (2019 Yılı)

Malzeme	Ölçü	Yaklaşık Maliyet	Miktar	Tutar
120x10mm ² Bakır Bara (10.68 kg/m)	kg	40	550	22 000
Galvanizli ve Galvanizli Cıvatalı Demir Direk (BAHH)	kg	3.5	31 500	110 250
HAWK St-Alüminyum İletken	kg	4	10 500	42 000
Galvanizli sacdan güneş enerji sistemleri taşıyıcıları, MESNETLER	kg	10.2	465 000	4 743 000
36kV İzole Eldiven	çift	170	6	1 020
36kV İzole Halı	metrekare	45	30	1 350
36kV İzole Sehpa	adet	80	6	480
36kV, 630A, 16kA Modüler Giriş/Çıkış Hücresi (Hava Yalıtımlı)	Adet	10 000.00	6	60 000
30-36/3/0.1/3 kV Modüler Gerilim Trf.Hücresi (Hava Yalıtımlı)	Adet	12 000.00	2	24 000
36kV, 630A, 16kA Modüler Kesicili Çıkış Hücresi (Hava Yalıtımlı)	Adet	20 000.00	13	260 000
36 kV, 630A, 16kA Akım ve Gerilim Ölçü Hücresi (Hava Yalıtımlı)	Adet	10 000.00	6	60 000
36kV, 630kVA Beton Köşk (Trafo dâhil) Tip 1C (2 Yük Ayırıcısı+1 Sigortalı Yük Ayırıcısı+Trafo+AG Panosu) (Hava Yalıtımlı)	Adet	45 000.00	2	90 000
36kV, 1600kVA Beton Köşk (Trafo dâhil) Tip 1C (2 Yük Ayırıcısı+1 Sigortalı Yük Ayırıcısı+Trafo+AG Panosu) (Hava Yalıtımlı)	Adet	70 000.00	4	280 000
36kV, Beton Köşk TİP 2A-B/H (2 Yük Ayırıcısı+1 Sigortalı Yük Ayırıcısı+1 Kesici) (Hava Yalıtımlı)	Adet	40 000.00	2	80 000
PB1, Prefabrik Beton Trafo Köşkü	Adet	28 552.92	1	28 552.92
PB2, Prefabrik Beton Trafo Köşkü	Adet	37 105.95	1	37 105.95

Çizelge 2.4 Erzurum 4.9MW Gücünde GES'in Yaklaşık Maliyeti (2019 Yılı)
(Devamı)

Malzeme	Ölçü	Yaklaşık Maliyet	Miktar	Tutar
Bakımsız akü-redresör grubu 24 V 26 Ah	Adet	600	6	3 600
Bakımsız akü-redresör grubu 110 V 26 Ah	Adet	1 250.00	2	2 500
36kV, 15/5 A Akım Trafosu	Adet	828.20	18	14 907.6
36kV, 25/5 A Akım Trafosu	Adet	828.20	36	29 815.2
36kV, 15/5-5 A Akım Trafosu	m	1 048.26	12	12 579.12
Akım Trafosu Termik Değer Frakı 36kV 630 A 25/5 A lth=1000 In (Katsayı=2)	Adet	977.52	12	11 730.24
36kV, 25/5-5 A Akım Trafosu	Adet	1 048.26	24	25 158.24
Akım Trafosu Termik Değeri Farkı 36kV 630 A 25/5 A lth=800 In (Katsayı=1,8)	Adet	879.77	24	21 114.48
30-36/3/0.1/3 kV Gerilim Trafosu	Adet	1 315.49	18	23 678.82
33/0.4-0.231kV,630 kVA Hermetik Trafo	Adet	35 004	2	70008
33/0.4-0.231kV, 1250 kVA Hermetik Trafo	Adet	54 076.34	4	216 305.36
1kV, 4x 50c mm ² NYY Kablo (yeraltına-toprak kanala ana kablo)	m	120	5975	717 000
35kV, 1x50s/16 mm ² XLPE Kablo (yeraltına-toprak kanala ana kablo)	m	150	960	144 000
35kV, 1x95s/16 mm ² XLPE Kablo (yeraltına-toprak kanala ana kablo)	m	45	4500	202500
35kV, 1x95s/16 mm ² Alüminyum Kablo, XLPE Yalıtkanlı, PVC Dış Kılıflı (yeraltına-toprak kanala ana kablo)	m	69.48	2259	156 955.32
1kV, 1x185s mm ² NYY Kablo (beton kanala, direğe, duvara)	m	40	480	19 200
1kV, 1x240s mm ² NYY Kablo (beton kanala, direğe, duvara)	m	50	1120	56 000
35kV, 1x95s/16 mm ² XLPE Kablo (beton kanala, direğe, duvara)	m	20	180	3 600
35kV, 1x50s/16 mm ² XLPE Kablo (aynı toprak kanala ilave döşenen)	m	150	1920	288 000
35kV, 1x95s/16 mm ² XLPE Kablo (aynı toprak kanala ilave döşenen)	m	20	9000	180 000
35kV, 1x95s/16 mm ² Alüminyum Kablo, XLPE Yalıtkanlı, PVC Dış Kılıflı (aynı toprak kanala ilave döşenen)	m	23.11	4518	104 410.98
35kV, 1x95s/16 mm ² Alüminyum Kablo XLPE Yalıtkanlı Dış Kılıflı (Aynı Toprak kanala ilave döşenen)	Adet	118.28	66	7 806.48
35kV,1x150s/25 mm ² YE3SV Dahili Büzüşmeli Kablo Başlığı	Adet	130.04	3	390.12
35kV,1x240s/25 mm ² YE3SV Dahili Büzüşmeli Kablo Başlığı	Adet	149.14	4	596.56
35kV,1x150s/25 mm ² YE3SV Dahili Büzüşmeli Kablo Başlığı	Adet	172.44	3	517.32
35kV,1x150s/25 mm ² YE3SV Dahili Büzüşmeli Kablo Başlığı	Adet	189.3	4	757.2
35kV, 1x50s/16 mm ² Ayrılabilen (geçmeli) ekranlanmış Kablo Başlığı	Adet	390	36	14 040
35kV, 1x95s/16 mm ² Ayrılabilen (geçmeli) ekranlanmış Kablo Başlığı	Adet	200	30	6 000
Yalnız B.A.H.H. Proje Düz.Sabit Masraf	Adet	5 000.00	6	30 000
10 kVA, en az 20 dakika akü besleme süreli, Üç faz giriş üç faz çıkışlı Kesintisiz Güç Kaynağı	Adet	10 000.00	2	20 000
En az 300 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel, En az 60 Hücreli	Adet	670	19600	13 132 000
En az 60 kW güçlü solar inverter, Bağımsız MPPT sayısı en az 3 olan	Adet	18 450.00	84	1 549 800
6 mm ² solar kablo, H1Z2Z2-K Solar Kablo	m	4	110524	442 096
Ftp Cat 6H Halojen Free 4x2x23 AWG, Bakır Data Kabloları 30x3.5 mm ebadında şartnamesine uygun galvanizli çelik lama, Bina ihata iletkeni tesisatı (TS EN 62305-1/2/3/4)	m	15	8000	120 000
Toprak elektrodu (Levha) elektrolitik bakır	Adet	250	112	28 000
MC4 Konnektör	Adet	3.5	3220	11 270
İç İhtiyaç Tablosu	Adet	1 700.00	6	10 200
Scada Sistemi	Adet	14 000.00	6	84 000
Enerji İzleme Sistemi	Adet	3 300.00	6	19 800
DC Kombiner Box	Adet	500	84	42 000
Yangın Söndürme Sistemi	Adet	1 250.00	6	7 500
Otoproduktör Giriş Hücresi	Adet	29 000.00	2	58 000
IP CCTV Sistemi	Adet	217 000.00	2	434 000
Çevre Aydınlatma Sistemi	Adet	150 000.00	2	300 000

Çizelge 2.4 Erzurum 4.9MW Gücünde GES'in Yaklaşık Maliyeti (2019 Yılı)
(Devamı)

Malzeme	Ölçü	Yaklaşık Maliyet	Miktar	Tutar
42 M2 Prefabrik Çatılı Ev (Temel Betonlu Rogar Dahil)	Adet	74 300.00	2	148 600
4.9 Mw Ges (85 Dönüm Arazi) Zemin Etüdü ,Harita , Mevzi İmar Ve Toprak Koruma Projelerinin Yapılması	Adet	72 000.00	1	72 000
Çift Yönlü Üç Fazlı Aktif Reaktif Sayç x/5A, x/100	Adet	10 500.00	12	126 000
Akım Trafosu 36kV 630 A 25/5-5-5 A 800 In	Adet	4 200.00	12	50 400
Akım Trafosu 36kV 630 A 25/5-5-5 A 1000 In	Adet	5 400.00	6	32 400
Gerilim Trafosu 33 0,1/Ö3/ 0,1/Ö3/0,1/Ö3	Adet	3 600.00	18	64 800
Fider Koruma Rölesi	Adet	10 000.00	2	20 000
GES Ana Dağıtım Panosu 1250 kVA Temini ve Montajı	Adet	70 500.00	4	282 000
GES Ana Dağıtım Panosu 630 kVA Temini ve Montajı	Adet	60 000.00	2	120 000
Çok Sert Kayalarda Güneş Panel Ayaklarının Delik Delme Makinesi İle Delinmesi	Adet	196	3550	695 800
Makina İle Her Cins Toprak Zeminde Reglaj	km	100 000.00	5	500 000
Galvanizli borudan düz çit direği imali ve montajı	Adet	150	1350	202 500
Galvanizli kafes telden çit yapılması	m ²	80	5400	432 000
Granülometrik Çakıl Serilmesi	m ³	100	404	40 400
Makine İle yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)	m ³	1.5	30000	45 000
Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	192.15	1	192.15
42 M2 Prefabrik Çatılı Ev (Temel Betonlu Rogar Dahil)	Adet	74 300.00	2	148 600
4.9 Mw Ges (85 Dönüm Arazi) Zemin Etüdü ,Harita , Mevzi İmar Ve Toprak Koruma Projelerinin Yapılması	Adet	72 000.00	1	72 000
Çift Yönlü Üç Fazlı Aktif Reaktif Sayç x/5A, x/100	Adet	10 500.00	12	126 000
Akım Trafosu 36kV 630 A 25/5-5-5 A 800 In	Adet	4 200.00	12	50 400
Akım Trafosu 36kV 630 A 25/5-5-5 A 1000 In	Adet	5 400.00	6	32 400
Gerilim Trafosu 33 0,1/Ö3/ 0,1/Ö3/0,1/Ö3	Adet	3 600.00	18	64 800
Fider Koruma Rölesi	Adet	10 000.00	2	20 000
GES Ana Dağıtım Panosu 1250 kVA Temini ve Montajı	Adet	70 500.00	4	282 000
GES Ana Dağıtım Panosu 630 kVA Temini ve Montajı	Adet	60 000.00	2	120 000
Çok Sert Kayalarda Güneş Panel Ayaklarının Delik Delme Makinesi İle Delinmesi	Adet	196	3550	695 800
Makina İle Her Cins Toprak Zeminde Reglaj	km	100 000.00	5	500 000
Galvanizli borudan düz çit direği imali ve montajı	Adet	150	1350	202 500
Galvanizli kafes telden çit yapılması	m ²	80	5400	432 000
			Toplam	27 297 588.06
			Fiyat Farkı %20	5 459 517.612
			KDV %18	4 913 565.851
			Genel Toplam	37 670 671.52



Şekil 2.21 Erzurum 4.9MW GES (Aralık 2019)

Sabit sistemli Erzurum 4.9MW gücündeki Güneş Enerji Santrali maliyetinin yaklaşık olarak değeri 37 670 671.52TL ilgili resmi belgelerde kayıt altındadır. Sabit eksenli sistem ile tek eksenli hareketli sistemin yapım maliyeti arasındaki farkın, hareketli sistemde yaklaşık %10 daha fazla olduğu yapılan araştırmalarda yer almaktadır (Shah ve ark.).

Buna göre 4.9MW gücünde tek eksenli hareketli sistem için yaklaşık maliyet; $37\ 670\ 671.52\ \text{TL} \times 1.10 = 41\ 437.339\ \text{TL}$ olur.

2.6 Güneş Hücre Çeşitleri ve Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Edilmesi

Güneş enerjisinden farklı alanlarda ve farklı biçimlerde yararlanılmasının yanı sıra günümüzde iki farklı teknoloji kullanılarak elektrik enerjisi üretimi de yapılmaktadır.

2.6.1 Güneş Hücreleri

Güneş hücreleri, fotovoltaiik (PV) güneş elektriği sistemleri olarak da adlandırılmaktadır. Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaiik (PV) güneş elektriği sistemleri yarı iletken malzemelerden yapılmaktadır. Güneş pilleri dünyada bol miktarda bulunan silisyumun (si) %98 oranında kullanımı ile üretilir. Silisyum saf halde değildir.

Genel yapısı Silisyumdioksit'tir (SiO_2 , kuvars). Saflaştırma işlemi maliyeti yüksektir. Bu sebeple güneş pilleri yüksek maliyetle üretilir. Silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenit, gibi yarı iletken özellikte olan maddelerden güneş pilleri üretilmektedir. Bu maddeler n ya da p tipi katkılandırılarak güneş pili üretimi gerçekleştirilir. Güneş hücreleri üç katagoridedir;

Birinci Nesil: Bu kategoriye Kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si) oluşturur.

İkinci Nesil: İnce film güneş hücrelerinden (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS) oluşur.

Üçüncü Nesil: Nano teknolojiye bağlı güneş hücreleri (Tandem, Supertandem, Intermediate Band Solar Cells vs.).

2.6.1.1 Kristal silisyum güneş hücreleri

Üreticiler için güneş ışınlarını yutma oranının düşüklüğüne rağmen %12-16 oranında verimli olması yönü ile öncelikli olarak tercih edilme sebebidir. 25 yıllık garanti ömrü olan ve pazar payının %93'ünü oluşturan bu hücreler üretici firmalarca

tercih edilme sebebir. Wafer diye adlandırılan ince silikon dilimleri yaklaşık olarak 0.17mm kalınlığındadır. Polikristal (mc-Si) ve Monokristal (c-Si veya SIN) olarak ikiye ayırmak mümkündür.

- **Monokristal (c-Si, SIN);** Verimlerinin %15-18 gibi yüksek bir oranda olması sebebiyle uzun vadeli yatırımlarda ideal olarak değerlendirilir. 4-6 yıl arasında maliyetini geri öder. 20 yılda bir sürede %7 oranında verim kaybı olur.
- **Polikristal (mc-Si);** %12-15 oranında verimleri olan polikristal hücrelerin kristal yapıları tam homojen değildir. Bu sebeple ucuzdurlar. 2-4.5 yıl arasında ilk yatırım maliyetini geri öderler. 20 yılda %14 oranında verim kaybı olur.

2.6.1.2 İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

Düşük verimden dolayı %7 oranında pazar payı olan bu hücrelerde ışık yutma oranı yüksektir. Fiyat açısından düşük fiyatlıdırlar. 1-4 µm arasında ince yapıda olan paneller %7-14 arasında verimlilik sağlamaktadır.

- **Amorf Silisyum;** Teoride %27'lik verimi olan a-Si'un pratikteki verimi %8 ila %10 arasındadır. 1.5-3.5 yıl arasında maliyetini geri öder. İlerleyen zamanlarda %21 oranında verim kaybı olur.
- **Kadmiyum Tellürid;** Üretim maliyeti düşük olan Kadmiyum Tellürid hücrelerinde 1 cm² yüzeyde %17.8390 cm²'de %11 oranında bir verim elde edilmiştir.
- **Bakır İndiyumDiselenid;** %11-14 oranında verimli olup cam ve esnek yüzeyle birlikte kullanılabilir.
- **Galyum Arsenit;** Laboratuvar ortamında %25 ve %28 oranında bu malzeme kullanılmak suretiyle (optik yoğunlaştırıcı) verim alınabilmektedir. Galyum Arsenit (GaAs) güneş pilleri optik yoğunlaştırıcıli sitemlerde ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır.

2.6.1.3 Üçüncü Nesil (Tandem, Supertandem, Intermediate Band Solar Cells)

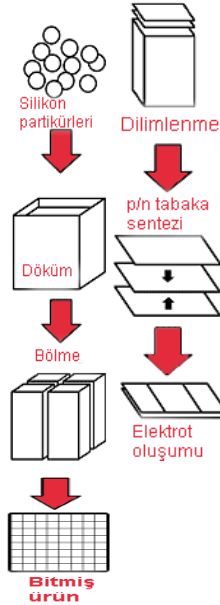
Bu teknolojide araştırmalar henüz sonuçlandırılmadığı için üretime henüz başlanılmamıştır. Üretime başlanması halinde yüksek verim sunacağından dolayı enerji hususunda büyük bir gelişme sağlamı olacaklardır.

2.6.2 Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP)

Odaklanmış güneş enerjisi sayesinde ısı elde edilen bu sistemlerde, ısıyı hem doğrudan hem de elektrik üretiminde de kullanmak mümkündür.

2.6.3 Güneş Panellerinin Üretim Süreci

%99.9999 saflıkta Si elde etmek için SiO_2 (kum, kuvars) saf hale getirilir. Daha sonra plaka plaka ayrılır. Saf hale getirmek için ham halde olan silikon önce eritilir. Daha sonra cüruf tabakasının oluşmasının ardından temiz olan kısım ayrılır. Ayrılan bu oluşum külçe külçe kesilir. n-tipi ve p-tipi silikon yonga tabakaları bu dilim külçelerden üretilir. Bu şekilde elektrik üretimi oluşabilir. Elektrik akımı oluşturmak maksadıyla elektronlarda yonga tabakasına eklenmiştir. "Güneş Pili" olarak adlandırılır. Voltajı arttırarak güneş pili ile elektrik üretimi elde etmek için plakaları seri bağlamak gerekir. "Güneş Modülü" üretmek için ise cam ve kapsülle desteklenmesi gerekir.



Şekil 2.22 Güneş Paneli
Üretim şeması



Şekil 2.23 Hücre



Şekil 2.24 Modül

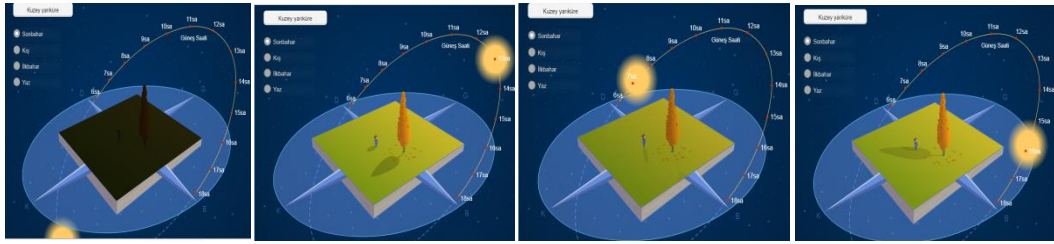


Şekil 2.25 Dizi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Güneş Takip Sistemi

Güneş takip sistemleri, fotovoltaik panellerden en verimli şekilde enerji üretmek için gün boyunca güneş ışığını takip edecek şekilde tasarlanan sistemlerdir. Çalışma yapıları ile ayçiçeklerine benzetilebilirler. İlk güneş takip mekanizması 1927 yılında C. Finster tarafından tanıtılmıştır. Bu sistem gerçek zamanlı takip yapabilen, güneşin konumunu tespit etmek için zayıf bir sistem idi. Daha sonra güneşin konumunu otomatik olarak tespit eden bir sistem 1963 yılında A. Saavendra tarafından yapılmıştır. 1975 yılına gelindiğinde Raymond H. Mcfee tarafından güneşin konumu 0.5° ile 1° hata farkıyla, ayna kullanılarak tespit edilmiştir. İlk ticari amaçlı tasarlanan güneş takip sistemi 1980 yılında Mark E. Dorian ve David H. Nelson tarafından tanıtılmıştır. Tanıtılan sistem, kollektörler ile gelen güneş ışınımının aynı yerde toplanması esas alınarak tasarlanmıştır (Menak, 2018).



Şekil 3.1 Sonbaharda güneşin izlediği yol

Bu çalışmalar ışığında güneşten en uygun şekilde enerji verimi elde etmek için çeşitli güneş takip yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler kontrol yapısına göre, sürücü tipine göre ve eksen tipine göre 3 ana başlıkta sınıflandırılabilir;

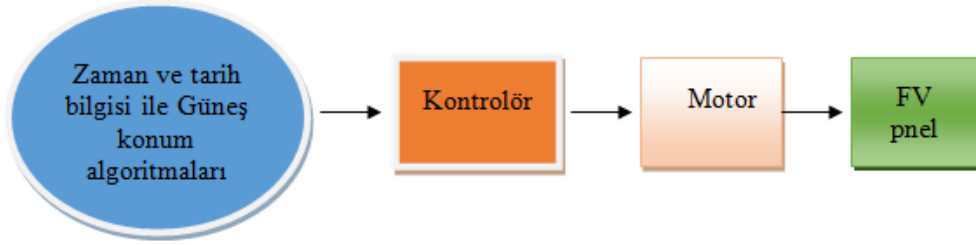
- Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi
 - Açık Döngü Sistemi
 - Kapalı Döngü Sistemi
- Sürücü Tipine Göre Güneş Takip Sistemi
 - Pasif Sistem
 - Aktif Sistem
- Eksen Tipine Göre Güneş Takip Sistemi
 - Tek Eksenli Sistem
 - Çift Eksenli Sistem

3.1.1 Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi

Güneş takip sistemlerinde kontrol yapısına göre açık çevrim kontrollü ile kapalı çevrim kontrollü olmak üzere iki tür kontrol yapısı bulunmaktadır.

3.1.1.1 Açık Çevrim Sistemler

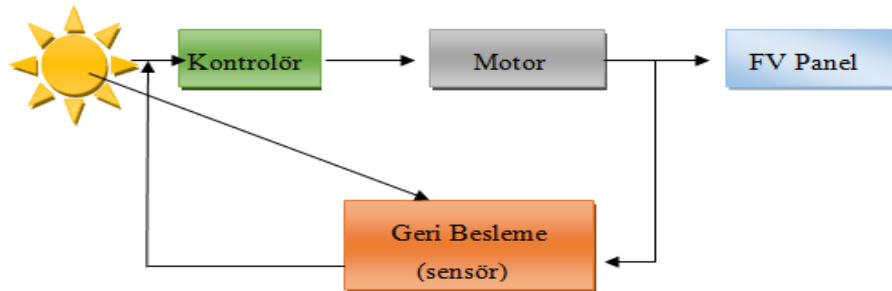
Açık çevrim yapısına göre çalışan sistemlerde çıkış bilgisi girişe verilmez. Bu kontrol yapısında sistemde herhangi bir sensör kullanılmaz. Sistemin girişine zaman ve tarih bazlı veriler girilir ve güneş konumunu tespit eden çeşitli algoritmalar kullanılarak güneş takibi yapılması sağlanır. Kapalı çevrim ile kıyaslandığında daha ucuz ve daha basittir (Menak, 2018).



Şekil 3.2 Açık Döngü Kontrol Yapısının Genel Gösterimi

3.1.1.2 Kapalı Çevrim Sistemler

Kapalı çevrim kontrol geri besleme prensibine göre çalışır. Yani sistemde bulunan sensörler yardımıyla çıkış verisi girişe aktarılarak, güneş panelinin konum kontrolü yapılır. Güneş panellerinin ışık miktarının fazla olduğu yöne dönmesi prensibi ile çalışan sistemlerde sensörler gün içerisinde belirli zamanlarda ışık miktarını sorgulayarak hangi yöne doğru hareket etmesi gerektiğini belirler ve motorlar sayesinde dönüş hareketi gerçekleşir.



Şekil 3.3 Kapalı Döngü Kontrol Yapısının Genel Gösterimi

3.1.2 Sürücü Tipine Göre Güneş Takip Sistemi

Sürücü tipine göre güneş takip sistemi, Aktif güneş takip sistemi ile Pasif güneş takip sistemi olarak iki ana başlığa ayrılır.

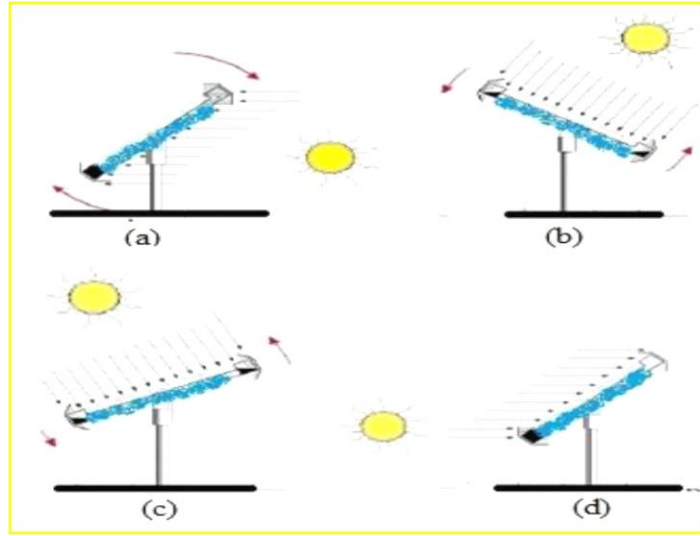
3.1.2.1 Aktif Güneş Takip Sistemi

Aktif güneş takip sistemleri sensör, motor, denetleyici gibi elektronik aksamlar kullanılarak gün boyunca otomatik olarak güneş ışınlarının panele dik gelmesini sağlayan sistemlerdir. Tahrik mekanizması olarak DC motorlar, servo motorlar, redüktörlü motorlar, lineer aktüatörler ve dişli sistemler kullanılır.

Denetleyici olarak mikroişlemci tabanlı kontrol kartları veya PLC kullanılabilir. Sensör olarak ışığa duyarlı algılayıcılar veya küçük güneş pilleri kullanılır. Çeşitli şekilde tasarlanan sensörler panelin ön tarafına konumlandırılır. Sensörler ışığa duyarlı oldukları için ışığın yoğun olduğu taraftan gelen sinyallere göre bir denetleyici vasıtasıyla paneli ışığa yönlendirecek motorları uyararak güneşe yönelme sağlanır. Işığa duyarlı sensör tipleri LDR'ler ve küçük güneş pilleridir.

3.1.2.2 Pasif Güneş Takip Sistemi

Pasif güneş takip sistemlerinde panelin güneşe doğru yönlendirilmesi tahrik mekanizması olmadan sağlanır. Pasif güneş takip sistemleri termo-hidrolik aktüatör, çift metalli termal aktüatör ve biçim belekli alaşımlar ile kategorize edilebilir (Singh ve ark., 2018). Pasif sistemlerde genellikle bir kimyasal maddenin (freon) genişlemesinden kaynaklanan durumlar söz konusudur. İki özdeş silindirik tüpün her biri panelin karşılıklı kenarlarına kısmi basınç altında bir sıvı ile doldurulur. Güneş ışığının geldiği taraftaki sıvı ısınarak genişir ve bir tüpten diğerine sıvı akışı gerçekleşir. Bu sayede dengede duran güneş panelinin ağırlık merkezi, paneli güneşe yönlendirecek şekilde yer değiştirir. Sistem aktif sistemlere göre basit, düşük maliyetli ancak yavaştır. Hava şartlarına bağlı olarak düşük sıcaklıklarda çalışmama durumu söz konusudur (Clifford ve Eastwood, 2004).



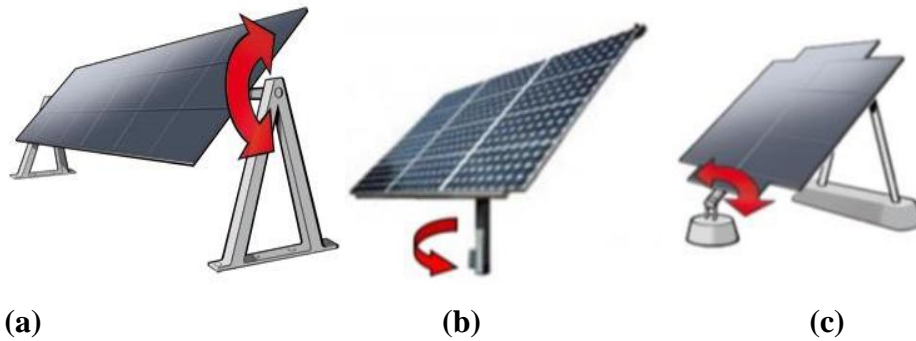
Şekil 3.4 Güneş takibi yapan pasif bir izleyici sistemi

3.1.3 Eksen Tipine Göre Güneş Takip Sistemi

Eksen tipine göre güneş takip sistemi, tek eksenli güneş takip sistemi ile çift eksenli güneş takip sistemi olarak iki ana başlığa ayrılır.

3.1.3.1 Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi

Tek eksenli güneş takip sistemleri, tek eksenle (dikey, yatay) hareket ederek güneş takibi yapar. Genellikle yıl içerisinde belli aralıklarla eğim açısı manuel olarak ayarlanıp, doğu-batı yönünde otomatik hareket sağlanır. Tek eksenli sistemler çift eksenli sistemlere göre maliyet açısından daha ekonomiktir ama verimlilik açısından daha düşük verime sahiptir.



Şekil 3.5 (a, b, c) Tek Eksenli Güneş Takip Sistemlerinin Gösterimi



Şekil 3.6 Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi

3.1.3.2 Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi

Çift eksenli sistemler hem yatayda hem de düşeyde iki eksenli hareket edebilme mekanizmasına sahip sistemlerdir.

İki eksenli kontrol sistemlerinde Güneş'in gökyüzündeki konumunu belirten iki açı değeri ile takip gerçekleştirilir. Bu kontrol sisteminde eksenlerden biri azimuth eksen, diğeri ise zenith ekseninde hareket etmektedir.

İki eksenli kontrol sistemi ile panel verimliliği %30-40 oranlarında iyileştirilebilir. Azimuth eksen panelin doğu-batı hattındaki hareketinin, zenith eksen ise panelin yüksekliğinin ayarlandığı eksenlerdir.



Şekil 3.7 Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Gösterimi



Şekil 3.8 Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi

3.2 Deney Düzenliğinin Kurulması

3.2.1 Sistem İçin Panel Seçimi ve Özellikleri

Çalışmada biri sabit sistemde diğeri takip sisteminde kullanılmak üzere 10 Watt güç üretebilen yarı iletken malzemeden oluşan olan iki adet güneş paneli kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de kullanılan panellere ait teknik değerler gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 Güneş Paneli Teknik Özellikleri

Maksimum Güç (P_{max})	10W
Modül Çıkışı Güç Aralığı	%5 (9.5-10.5W)
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	18.18V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	0.55A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	22.59V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	0.57A
Maksimum Sistem Gerilimi	1000V DC
Hücre Tipi ve Boyutu	Poly 31.2x52 mm

Çizelge 3.2 Güneş Paneli Mekanik Özellikleri

Boyutlar	330x250x25mm
Hücre Sayısı	36 (4x9)
Ağırlık	1.5 kg
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı	2400/5400 Pa
Bağlantı Kutusu	IP 65

Çizelge 3.3 Güneş Paneli Sıcaklık Katsayısı

Sıcaklık Katsayısı (I) sc	0.045%/°C
Sıcaklık Katsayısı (V) oc	-0.34%/°C
Sıcaklık Katsayısı (P)	-0.46%/°C



Şekil 3.9 Deneyde Kullanılan Panel

3.2.2 Sistem İçin Akü Seçimi ve Özellikleri

Aküler diğer adıyla bataryalar, elektrik enerjisinin kimyasal enerji olarak depo edilmesini sağlayan ve elektrik imkanının bulunmadığı hallerde de depolanan bu enerjiyi hizmete sunan depolama elemanlarıdır. Herhangi bir sisteme kablo ile bağlı olmadan iletişim kuran, teknolojiye erişim sağlayan, ulaşımı dolayısıyla hayatımızı kolaylaştıran cihazların, araçların pekçoğu akü ile çalışmaktadır. Kara taşıtları, deniz araçları, bilgisayarların güç kaynakları, taşınabilir aydınlatma aletleri, akülü oyuncaklar bunlara en iyi örnektir. Akü ve pil sistemlerine teknolojik gelişmelerden dolayı günümüzde çok iş düşmektedir. Piyasada en çok tutulan ve tercih edilen aküler kurşun asitli ve jel akülerdir. Kullanım ömrü akülerin dolma-boşalma sayısına bağlı olarak ifade edilmektedir. Tam olarak dolma ve tam olarak boşalma işlemi akülerde tam devir olarak nitelendirilir. Aküleri çok fazla şarj ve deşarj işlemine tabi tutmamak gerekir. Bu sebeple solar sistemlerde akülerin sağlıklı olarak şarj olabilmeleri için şarj kontrol cihazlarına gereksinim duyulur ve kullanılır. İçerisinde jel-jöle kıvamında elektrolit bulunan akülere Jel Akü yani Solar Akü denir. Sıcaklık ve titreşimin etkilediği ağır çevresel şartlara dayanıklı akülerdir. Bu yüzden yenilenebilir enerji sistemlerinde özellikle tercih edilirler.

Bu tez çalışmasında ana konunun tek eksenli ve sabit takip sistemlerinde yer alan ve kullanılan panellerin verimlerinin incelenmesi olmasından dolayı herhangi bir cihaz çalıştırmaya ihtiyaç duyulmayacaktır. Sadece takip sisteminde yer alan lineer

aktüatörlerin çalışmasına yönelik ihtiyaca uygun düşük akımı destekleyen akü kullanılmıştır.

Çizelge 3.4 Sistemde Kullanılacak Akü Teknik Özellikleri

Akü Teknik Özellikleri	
Nominal Gerilim (V)	12V
Nominal Kapasite (A)	7Ah
Ağırlığı	1.5kg
Boyutları	6 x 9 x 15 cm



Şekil 3.10 Deneyde Kullanılan Akü

3.2.3 Sistem İçin Lineer Aktüatör Seçimi ve Özellikleri

Lineer (doğrusal) aktüatörler içerisindeki DC motorun açısal hareketine bağlı olarak, lineer bir hareket sağlayan mekanizmalardır. Hidrolik ve elektriksel olmak üzere iki türde üretilmektedir. Lineer aktüatördeki DC motorun ileri ve geri hareketine bağlı olarak aktüatörün mil boyunun uzaması ve kısalmasıyla itme ve çekme işlemleri gerçekleşir. 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.

- **Sistemde Kullanılacak Lineer Aktüatör Özellikleri:** Tasarlanan güneş takip sisteminde doğu-batı aktüatörü +12V ileri besleme ile mil boyunun uzamasıyla paneli doğu tarafına çevirir. -12V geri besleme ile mil boyunun kısalmasıyla paneli batı yönüne çevirir. 0V ile aktüatör çalışmaz dolayısıyla mil boyunun değişmesi söz konusu değildir. Oluşturulan bloğun girişine, lineer aktüatör sistem bloğu çıkışı olan mil

uzunluğu bağlanmıştır. Bu hareketler ile mil boyuna bağlı olarak doğu-batı panel açısı değişimi gerçekleşir. Bu sayede her bir mil boyu uzunluğuna karşılık gelen açđ değeri bloğun çıkışından güneş takibi yapan panelin doğu-batı açısı olarak elde edilir. Güneş takip sistemleri için lineer aktüatör seçimi yapılırken en önemli kriter sistemi hareket ettirilecek yükün ağırlığıdır. Yanlış yapılan mekanik sistemler hem aktüatörü zorladđđ gibi hem de daha fazla enerji harcayarak akünün daha erken deşaj olmasına sebep olabilecektir.



şekil 3.11 Deneyde Kullanılan Lineer Aktüatör

Çizelge 3.5 Lineer Aktüatör Teknik zellikleri

Yük Kapasitesi (Tork) N	400 N
Giriş Voltajı	12V DC
Çalışma Gücü	15 W
Uzunluk	25 mm
Limit Sivi	Var
Aşırı Yük Koruması	Var
IP Sınıfı	IP66
Çalışma Sıcaklıđđ	+5°C ~ +40°C

3.2.4 Sistem İçin Arduino Uno Seçimi ve özellikleri

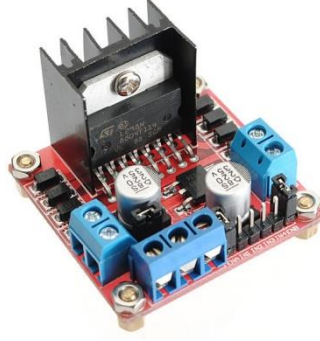
Arduino son yıllarda robotik projelerde kullanılan, üzerinde giriş çıkış portları ve mikrodenetleyici bulunan bir devre kartıdır. Geniş sensrađđ, anlaşılır kod yapısı ve arayüzü sayesinde birçok elektronik sistemde tercih edilmektedir. Kullanım amacına göre, uno, mega, esplora, due, lilypad gibi türleri bulunmaktadır. Uygun fiyatı ve sağlıklı besleme ile dayanıklı olması sebebiyle tez çalışmamızda tek eksenli takip sistemimiz için kullanılmıştır.



Şekil 3.12 Arduino Uno

3.2.5 Sistem İçin Motor sürücü (L298N) Seçimi ve Özellikleri

Tez çalışmamızda L298N model numarasına sahip motor sürücü kullanılmıştır. Lineer aktüatöre iki yönde hareket kazandırabilmek amacıyla motor sürücüyü ihtiyaç duyulmuştur. Robotik projelerde arduino devre kartı ile oldukça fazla kullanılan sürücü kartı PWM özelliği sayesinde motora iki yönde akım verebilmekte bu sayede motorlar iki farklı yönde hareket kazanabilmektedir.



Şekil 3.13 Motor sürücü (L298N)

3.2.6 Sistem İçin LDR (Light Dependent Resistor) Seçimi ve Özellikleri

Bağımlı direnç anlamına gelmektedir. Aslında bir nevi dirençtir. Ancak direnç değeri aldığı ışık şiddetine göre değiştiği için sensor olarak da adlandırılır. Üzerine düşen ışık miktarı arttığında direnci azalır, ışık şiddeti azaldığında ise direnç değeri artmaktadır. Tez çalışmamızda arasında ince bir engel bulunan 2 LDR nin değerlerinin yakın olması durumunda aktüatöre sürekli tahrik vermemesi için yazılım ile ışık şiddeti farkın belirli bir değer aralığına gelmesi beklenmiştir.

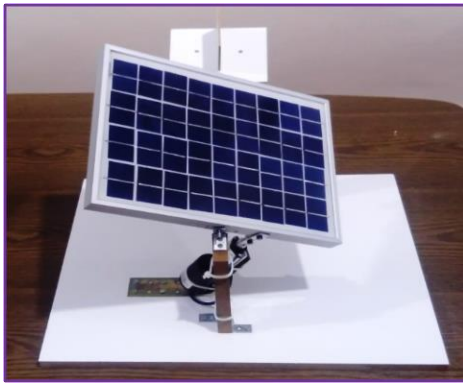


Şekil 3.14 LDR Sensörü

3.3 Tasarlanan Protip ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

Oluşturulan bloğun girişine, lineer aktüatör sistem bloğu çıkışı olan mil uzunluğu bağlanmıştır. Bu sayede her bir mil boyu uzunluğuna karşılık gelen açı değeri bloğun çıkışından güneş takibi yapan panelin doğu-batı açısı olarak elde edilir. Dolayısıyla 27° - 140° arasında her bir doğu-batı yönünde panel açısına karşılık gelen bir yüzey azimut açısı değeri oluşur. Güneş daha fazla batıya yöneldiğinde en son ayarlanan panelin dönme açı değeri durur ve bu noktadan sonra yüzey azimut açısı sabit olarak kalacak olduğu değeri okuyacaktır. Bu prensibe göre veri setinde her bir doğu-batı yönünde panel açısına karşılık gelen yüzey azimut açısı hazır veri tablosu bloğuna eklenerek yüzey azimut açısı modellenmiştir.

Yapmış olduğumuz sistemde DC veya Servo motor olmadan sisteme esneme özelliği (uzama-kısalma) bulunan Lineer Aktüatörlü motor kullanılmış ve bu sayede motorların harcadığı enerji en aza indirilmiştir.



Şekil 3.15 Tasarlanan Prototip (Tek Eksenli Hareketli Güneş Paneli)



Şekil 3.16 Tasarlanan Prototip (Hareketli Güneş Paneli Arka Kısım)

Yapılan fotovoltaik sistemde;

- ❖ 2 adet 10W gücünde Fotovoltaik modül kullanılmıştır.
- ❖ 2 adet 12V 7Ah Kuru Tip Akü kullanılmıştır.
- ❖ 1 adet 12VDC 25mm 40 kg Lineer Aktuatör Motor kullanılmıştır.
- ❖ 1 adet Aurdino Uno, 2 adet LDR sensör, 1 adet (L298N) Motor Sürücü kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının saha uygulamaları Erzurum İli Palandöken İlçesi'nde gerçekleştirilmiştir.

25 Ağustos 2019 ve 13 Ekim 2019 tarihlerinde saha uygulaması yapılmıştır. Uygulama yapılan günlerde bulutlanma yok denecek kadar az bir oranda olup gün içerisinde herhangi bir yağmur olayı gerçekleşmemiştir.



Şekil 3.17 Deney Düzeneginin Kurulumu

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasında kurulan panellerin ürettiği güç değerleri izlenmiş sabit sistem ve hareketli takip sistemler arasındaki farklar ve panel verim değerleri ortaya konmuş ve bu iki sistem karşılaştırılmıştır.

Güneşlenme süresi açısından ülkemizdeki iller incelendiğinde Erzurum İli'nin Güneş enerji santralleri için uygun olduğu görülmektedir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Erzurum İli hava şartları istatistikleri incelendiğinde (Çizelge 4.1) yılda Ortalama Güneşlenme Süresi (saat) 82.7 saat, yağmursuz ve açık hava gün sayısının ise yılın 2/3 civarında olduğu görülmektedir. Türkiye'de ortalama güneşlenme süresi en fazla olan Antalya ili'nin 98.0 saat, en az olan Giresun İli'nin ise 27.4 saat olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 İllere Ait Genel İstatistik Verileri (Erzurum)

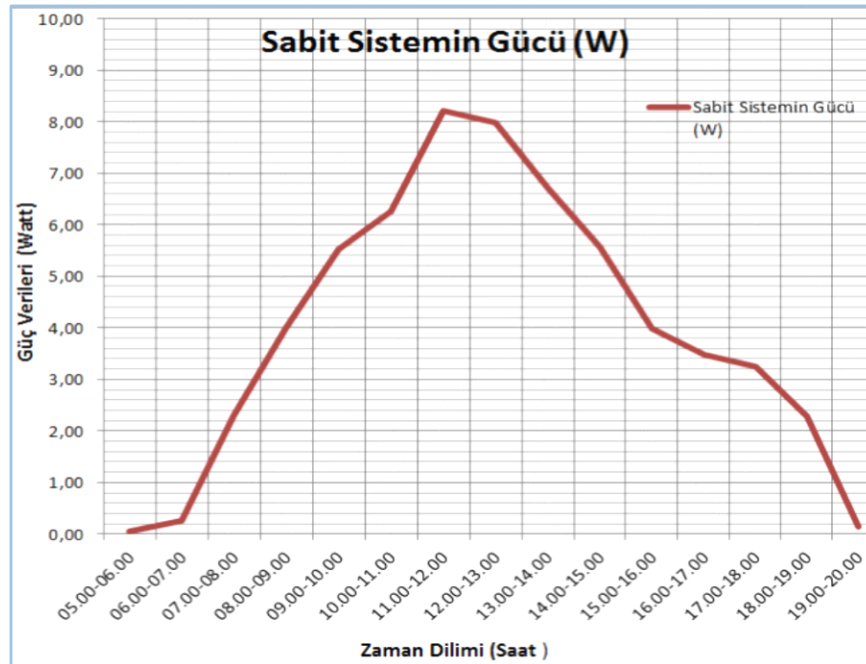
Ölçüm Periyodu (1929-2018) Erzurum (Aylar)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması
1	-9.2	-4.0	-14.0	3.2	11.3	22.5
2	-7.7	-2.4	-12.6	4.4	11.1	26.8
3	-2.4	2.6	-7.1	5.1	12.4	34.9
4	5.4	10.9	0.0	6.3	13.7	53.0
5	10.7	16.8	4.4	7.9	16.2	73.8
6	14.9	21.7	7.3	10.2	11.0	49.0
7	19.3	26.5	11.2	11.2	6.7	26.6
8	19.5	27.2	11.2	10.7	5.2	23.5
9	14.7	22.6	6.5	9.0	5.2	23.5
10	8.1	15.1	1.8	6.8	9.7	48.3
11	1.0	6.8	-3.7	4.8	9.3	33.1
12	-5.9	-1.0	-10.3	3.1	10.7	22.8
Yıllık	5.7	11.9	-0.4	82.7	122.5	432.0

Ölçüm yapılan 25 Ağustos Pazar Günü hava durumu güneşli ve bulutlanma yok denecek kadar az, hava sıcaklığı en yüksek 21° en az ise 13° olup 776 hPa basınca ve %60 nem oranına, 4 km/h kuzey-doğudan esen rüzgarlı bir gün olup yapılan deney sonucunda elde edilen veriler aşağıda (çizelge 4.2) gösterilmektedir.

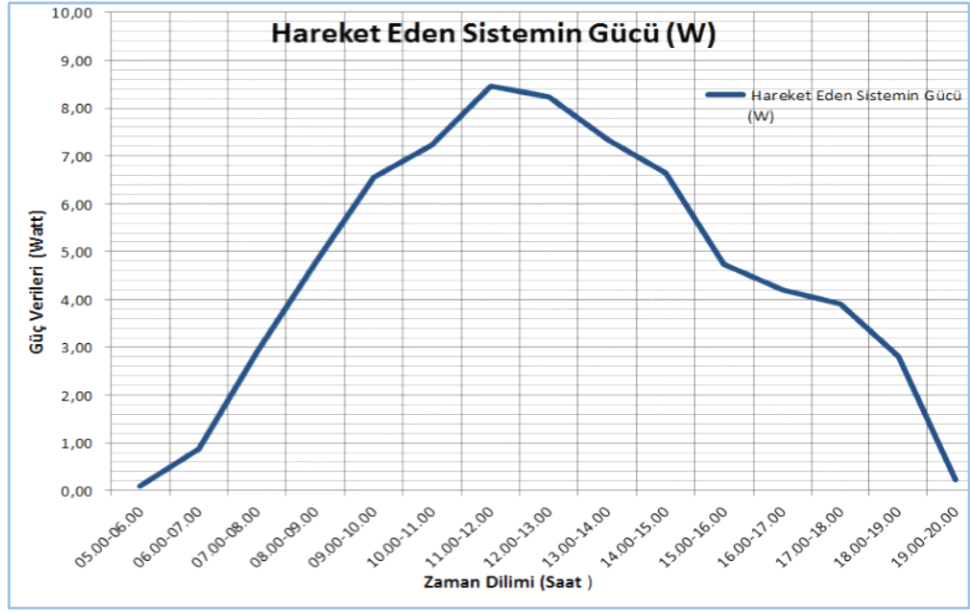
Çizelge 4.2 25 Ağustos 2019 Günü yapılan deney sonucu elde edilen güç değerleri

Saat Dilimi	Sabit Sistemin Gücü (W)	Hareket Eden Sistemin Gücü (W)
05.00-06.00	0.05	0.09
06.00-07.00	0.25	0.87
07.00-08.00	2.31	2.89
08.00-09.00	4.01	4.78
09.00-10.00	5.53	6.56
10.00-11.00	6.25	7.22
11.00-12.00	8.21	8.47
12.00-13.00	7.99	8.24
13.00-14.00	6.73	7.35
14.00-15.00	5.56	6.64
15.00-16.00	3.98	4.73
16.00-17.00	3.48	4.19
17.00-18.00	3.25	3.91
18.00-19.00	2.28	2.82
19.00-20.00	0.15	0.24
Toplam Güç	60.03	69.00

Bu verilerden sabit eksenli PV panelin ve hareketli PV panelin gücünün grafik halindeki durumu (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) aşağıda gösterilmiştir.

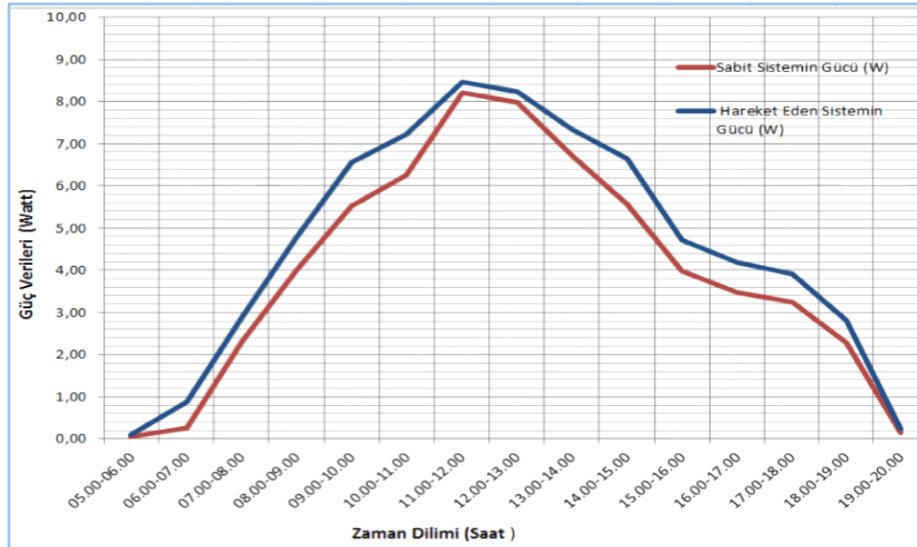


Şekil 4.1 25.08.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu sabit PV panel güç değişim değerleri



Şekil 4.2 25.08.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu hareketli PV panel güç değişim değerleri

Sabit eksenli PV panelin ve Tek eksende hareket eden PV panelin güç değişim değerlerini aşağıda aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Grafik 4.3).



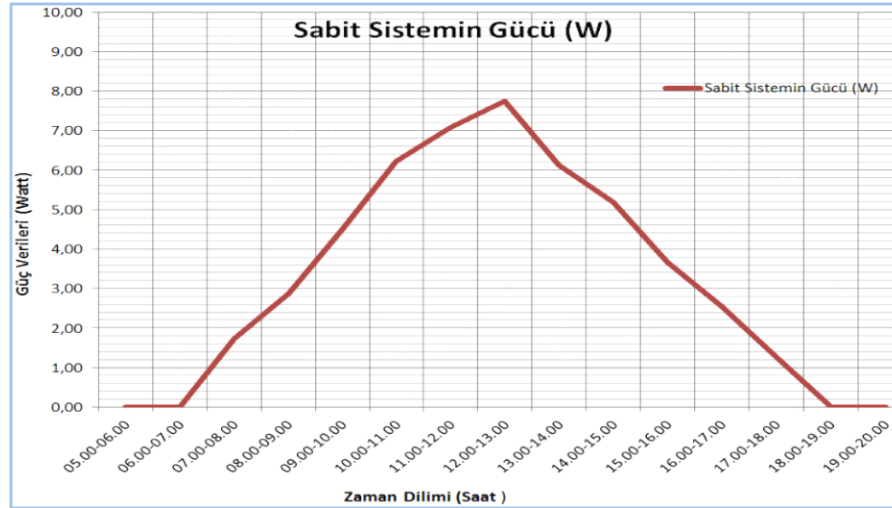
Şekil 4.3 25.08.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu PV panel güç değişim değerleri

Bir diğer ölçüm yapılan 13 Ekim Pazar Günü ise hava açık ve hafif parçalı bulutlu, hava sıcaklığı en yüksek 12° en az ise 7° olup 776 hPa basınca ve %63 Nem oranına, 4.1 km/h batıdan esen rüzgarlı bir gün olup yapılan deney sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

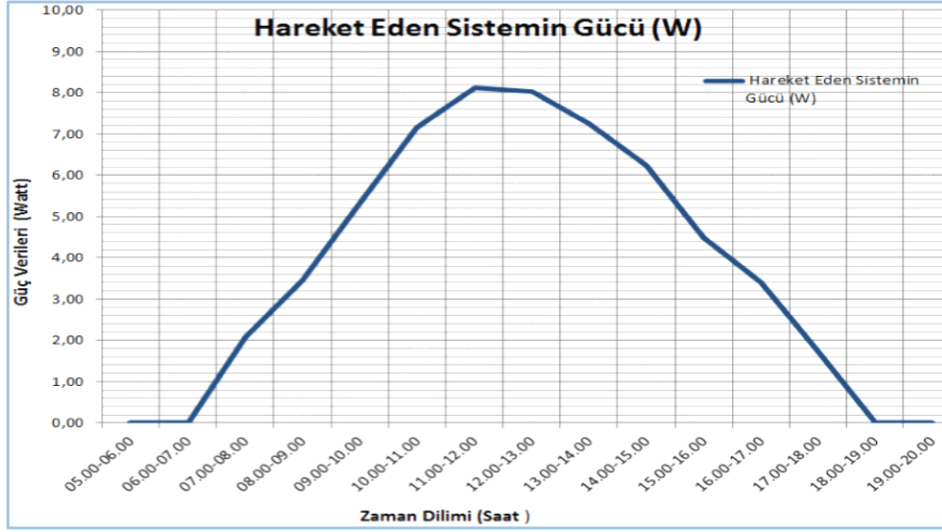
Çizelge 4.3 13 Ekim 2019 Günü yapılan deney sonucu elde edilen güç değerler

13 Ekim 2019 deney sonuçları		
Saat Dilimi	Sabit Sistemin Gücü (W)	Hareket Eden Sistemin Gücü (W)
05.00-06.00	0	0
06.00-07.00	0	0
07.00-08.00	1.73	2.08
08.00-09.00	2.88	3.46
09.00-10.00	4.51	5.32
10.00-11.00	6.22	7.15
11.00-12.00	7.38	8.12
12.00-13.00	7.75	8.02
13.00-14.00	6.12	7.24
14.00-15.00	5.18	6.24
15.00-16.00	3.67	4.48
16.00-17.00	2.54	3.41
17.00-18.00	1.27	1.71
18.00-19.00	0	0
19.00-20.00	0	0
Toplam Güç	49.25	57.23

Bu verilerden sabit eksenli PV panelin ve hareketli PV panelin gücünün grafik halindeki durumu (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) aşağıda gösterilmiştir.

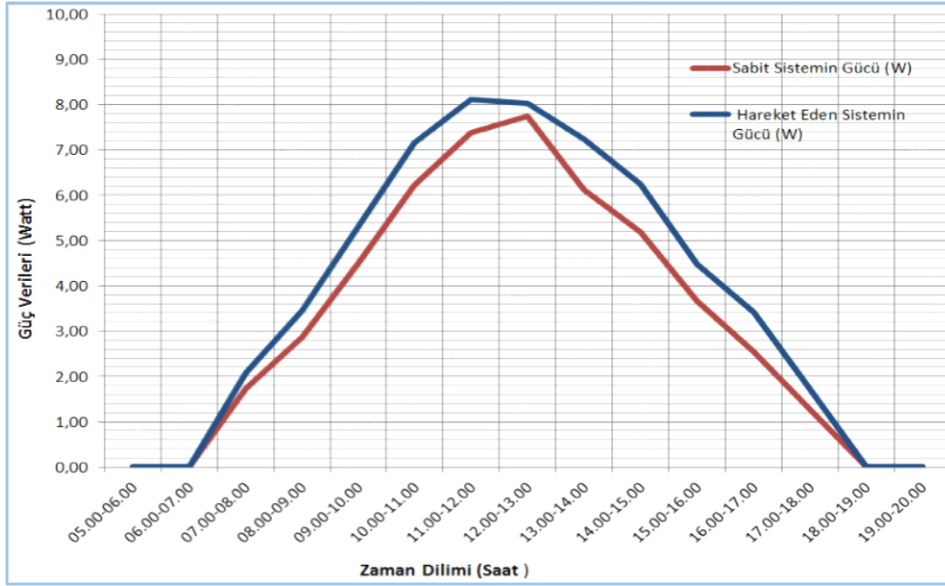


Şekil 4.4 13.10.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu sabit PV panel güç değişim değerleri



Şekil 4.5 13.10.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu hareketli PV panel güç değişim değerleri

Sabit eksenli PV panelin ve Tek eksende hareket eden PV panelin güç değişim değerlerini aşağıda aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 13.10.2019 tarihinde yapılan deney çalışması sonucu PV panel güç değişim değerleri

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kalkınma programları ve gelişmişlik açısından çok önemli bir yere sahip olan enerji, günümüzde bütün dünya ülkelerinin ekonomik olarak büyümelerinin en önemli temel unsurudur. Bilhassa gelişmekte olan ülke kalkınma planlarının ortak değeri enerji politikalarıdır. Hem elektrik enerjisi ve hem de diğer kullanım yönleriyle enerji, stratejik öneme haiz bir sektördür. Bu nedenle Türkiye, sahip olduğu enerjisini en etkin ve verimli bir şekilde kullanmak durumundadır. Hatta enerji gereksiniminin uygun maliyetli, çevre dostu, yeterli, güvenli, sürekli olarak karşılanabilir nitelikte olması temel bir zorunluluktur (Kılıç, 2003).

2030-2050 yıllarına kadar yenilenemeyen enerjilerin, yenilenebilir enerji kaynakları ile %50 oranında ikame edilebilmesine yönelik çalışmaların merkezi ve yerel yönetimlerin ve sivil toplum kuruluşlarının bu anlamdaki yardımları önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak bireysel yaşam tarzlarının değiştirilmesine yönelik toplumsal bilgilendirme çalışmaları yapılmalıdır (Atagündüz, 2001).

Güneşlenme oranı açısından Avrupa ülkelerinden oldukça fazla değerlere sahip olan ülkemizde malesef geçmişte bu alanda girişim ve yatırım olmamıştır.

Ancak son 6 yılda yerel yönetimler ve özel sektör bağlamında önemli sayıda büyük projeler devreye alınmış ve birçok şehirde mini-orta ölçekli güneş tarlaları ve rüzgâr santralleri kurulmuş olup, yenilenebilir enerjiye yönelim ciddi manada artmıştır.

Yapılmış olan bu tez çalışmasında 1 adet lineer aktüatör kullanılarak bir takip sistemi tasarlanmış ve verim sonuçları incelenmiştir. Söz konusu sistemlerin enerji üretirken yüksek ısıya (sıcaklığa) maruz kaldığı ve bu durumun enerji üretimi için katkı sağlayan elektronik cihazların verimlerinin düşmesine de sebep olduğu da dikkate alındığında, yıl genelinde Erzurum İli'nde yaşanan serin ve soğuk havanın oluşabilecek verim kaybını önleyebileceği ve daha az seviyeye düşürebileceği tabii bir durumdur. Yeni teknolojilerin takibi ve üretimi yenilenebilir enerji konusunda etkili bir güç olabilmek ve küresel rekabet ortamında söz sahibi olmak açısından çok önemlidir. Ekonomiye yerel kaynak unsurlarının katkısının kazandırılması-katılması anlamında yeni teknoloji üretimi hem teknoloji çağının gerisinde kalmamak ve hem

de ülkemizin sahip olduğu alternatif enerji kaynak potansiyelini aktif kılmak açısından çok önemlidir.

Yapılan bu çalışmada 10W gücünde iki sistem kurulmuş olup, sistemlerden biri sabit olarak konumlandırılmış, diğeri ise tek eksenle güneşi takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan akü, günlük kullanımda tam şarj olduktan sonra 2 saat sistemi besleyecek özelliktedir.

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

Gerçek şartlarda kurulum 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 ve kar yükü değerlerinde dikkate alınması gerektiği için, bağı olarak kurulum maliyetlerinde artması kaçınılmaz olacaktır.

Sistemlerin deney sonuçlarına göre incelemesi yapılan iki tarihte de sabah 06:00 ile 07:00 arasında ilk değerlerin elde edildiği görülmektedir. Sabahın ilk ışıklarında elde edilen küçük çapta enerji değerlerinde tek eksenli sistem verimi sabit sisteme göre %248 oranında fazla çıkmaktadır. Ancak kullanılan wattmetrenin hassasiyet değerlerinin kullanılan mini ebatta güneş panelinin teknik özellikleri ile kıyaslanmasında dikkate alınmamıştır. Özellikler 05:00 ile 06:00 saatlerinde inceleme yapılan ortamda sokak aydınlatmaları aktif olduğu için, ölçüm sonuçlarına olumsuz etki etme ihtimali bulunduğundan ilk ölçüm sonuçlarına dayanarak çıkarımda bulunulmamıştır. Erzurum ilinde yapılan bu tez çalışmasının ölçüm yapılan her iki günde de hava gayet açık ve bulutsuz olmakla birlikte gölgelenme yapacak herhangi bir etken olmamıştır. Sistem sonuçları incelendiğinde sabah ve akşam saatlerinde %22.7 lere varan bir tek eksenli takip sistemi avantajı olmasına rağmen toplam üretim değerlerinin kıyaslanmasının daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Öğle saatlerinde her iki sistem birbirlerine çok yakın sonuçlar üretmekle birlikte akşam saatlerinde tek eksenli sistem verimi %20.3 civarlarında ölçülmüştür.

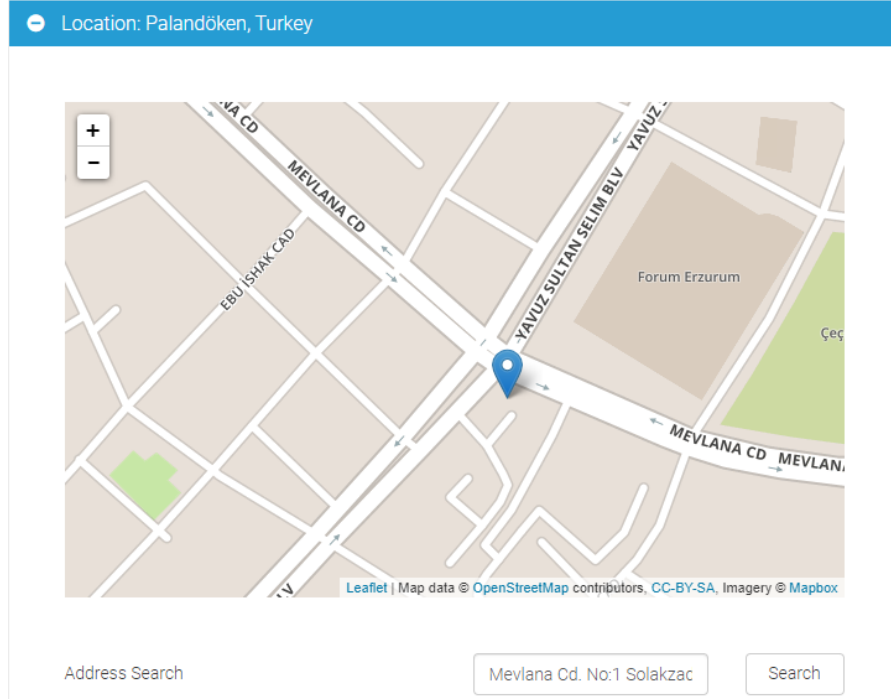
Kullanılan lineer aktüatörün harcadığı enerji değeri düşölerek hesaplama yapılmıştır. Lineer aktüatörün minimum enerji harcaması için yazılan programda iki

LDR arasındaki ışık kıyaslamasını 15'er dakikalık dilimler halinde yapması istenmiştir. Çünkü algoritmanın sürekli olarak çalışması bulutlanma veya bazı dış etkenlerden dolayı lineer aktüatörün ileri veya geri sürekli çalışmasını sağlayacağı için elde edilmesi beklenen verimde olumsuz etki yaratacaktır. Panelin güç skalasının dar olması ve ölçüm cihazının hassasiyet aralığının sebep olabileceği düşünülerek benzer çalışmanın tam boyutta ve daha yüksek güçlü panel kullanılması durumunda daha sağlıklı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Büyük sistemler ile birlikte akıllı inverter kullanıldığında ise aynı zamanda akü şarj bilgileride daha sağlıklı görülebilecektir. Lineer aktüatör içerisinde bulunan limit anahtarı sayesinde son konuma geldiğinde sürücüden tahrik komutu gelse bile hareket gerçekleşmeyecektir. Güneşin doğuş ve batış aralığı düşünüldüğünde -30, +30 eğim derecesi boyunda bir hareket yapmaktadır. Lineer aktüatör 15 dk'lık zaman aralığında normalde gün boyu 48 adım hareket etmesi gerekirken gün doğumu ve gün batımı saatleri ile güneşin tepede olduğu saatlerde iki LDR arasındaki hareket şartını sağlamadığı için sadece 30 adım hareket edecektir.

Yapılan tez çalışmasında iki sistem arasında verim kıyaslama yapılmak istendiğinde; tek eksenli takip sistemi sabit sisteme oranla 25 Ağustos'ta yapılan ölçüm sonucunda %14.94 ve 13 Ekim'de yapılan ölçüm sonuçlarına göre ise %16.20 oranında daha verimli olduğu görülmektedir. Bu iki günde yapılan tüm ölçümlere göre deneyin ortalaması alındığında tek eksenli hareketli sistemin sabit sisteme göre %15.57 oranında daha verimli olduğu görülmüştür.

Tez çalışması 10 watt güce sahip mini paneller kullanılarak yapılmıştır. Günlük hayata dair daha net görüş sunabilmesi için mini panellerde elde edilen verileri 2 farklı simülasyon programı kullanarak 4 adet 250 watt güce sahip paneller üzerinde değerlendirilecektir. Simülasyon için kullanılacak olan programlar PvSol ve PvWatts'dır.

PvSOL programına göre 4 adet 250 watt güneş paneli içeren sistemin yıllık tahmini üretim değeri için; programın giriş ekranında tez çalışmasının yapıldığı konum bilgisi haritadan seçilmiştir.



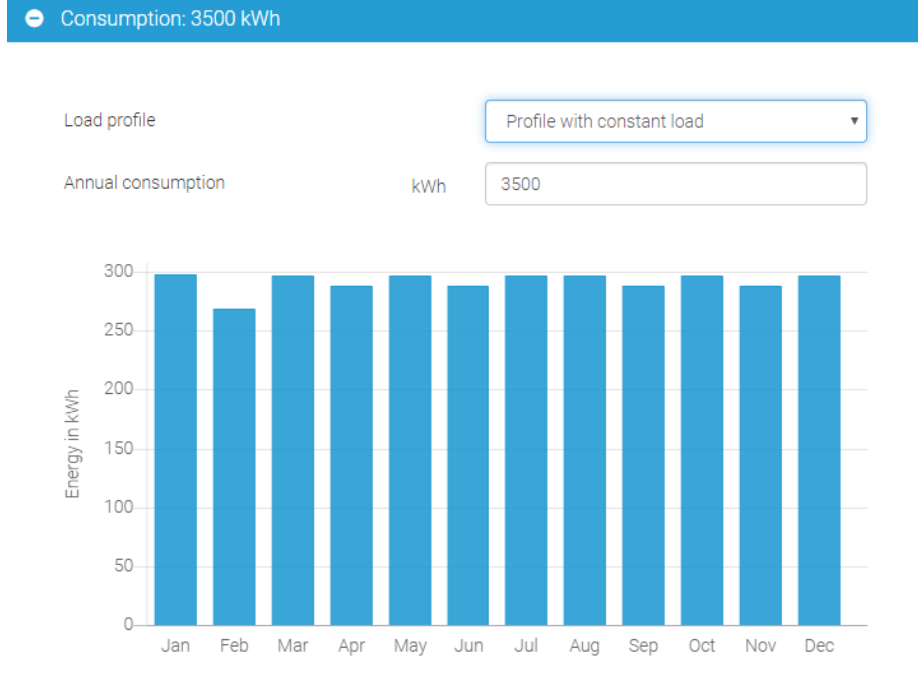
Şekil 5.1 DeneY Çalışmasının Yapıldığı Konum

Seçilen konum bilgisine göre program mevcut konumun sıcaklık ve ışınım değerleri görülmektedir.



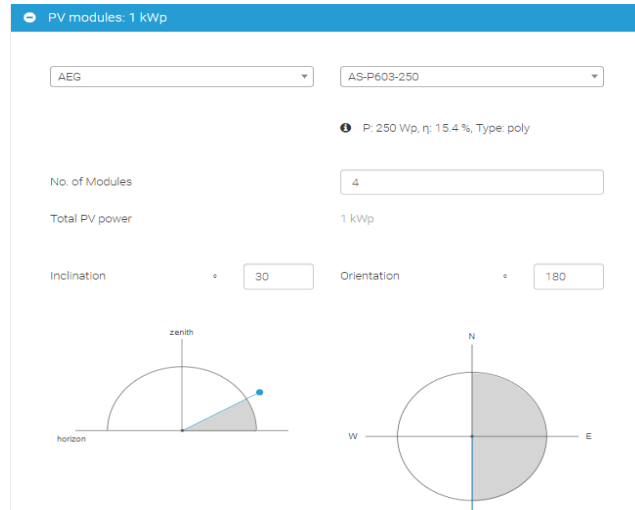
Şekil 5.2 DeneY Yapılan Konumun Sıcaklık ve Işınım Değerleri

PvSOL programında aynı zamanda kurulması planlanan bir sisteme göre tüketim değerleri veya tüketim profili seçilmektedir. Sistemimiz için sabit bir yük değeri seçilmiştir.



Şekil 5.3 Sistemin Yıllık Ürettiği Enerji

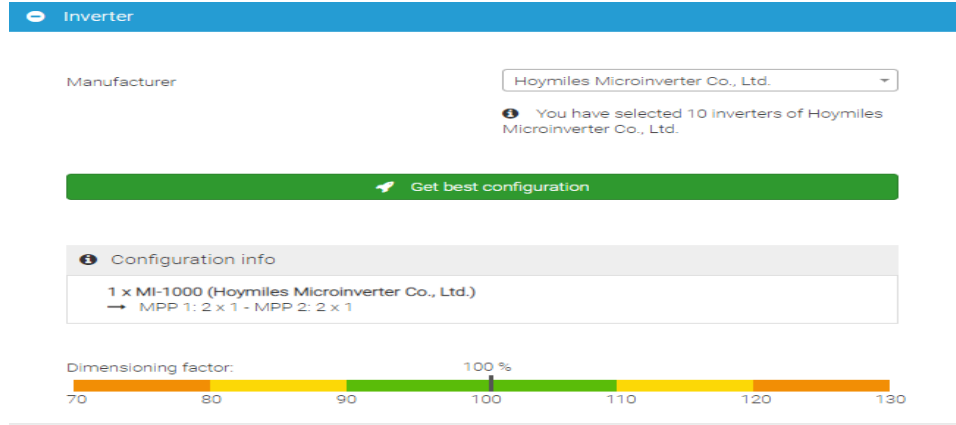
Tez çalışmasında kullanılan lineer aktuatöre uygun ve montaj planlaması için hesaplı olabilecek bir sistem için 4 adet 250W güneş paneli tahmini olarak seçilmiştir. Sistem 1kWp güce sahip olacak ve 30° açı ile kurulacaktır. Bu bilgilere göre gerekli ayarlamaların yapıldığı ekran Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 1kWp Güce Sahip Sistem İçin Program Ekranı

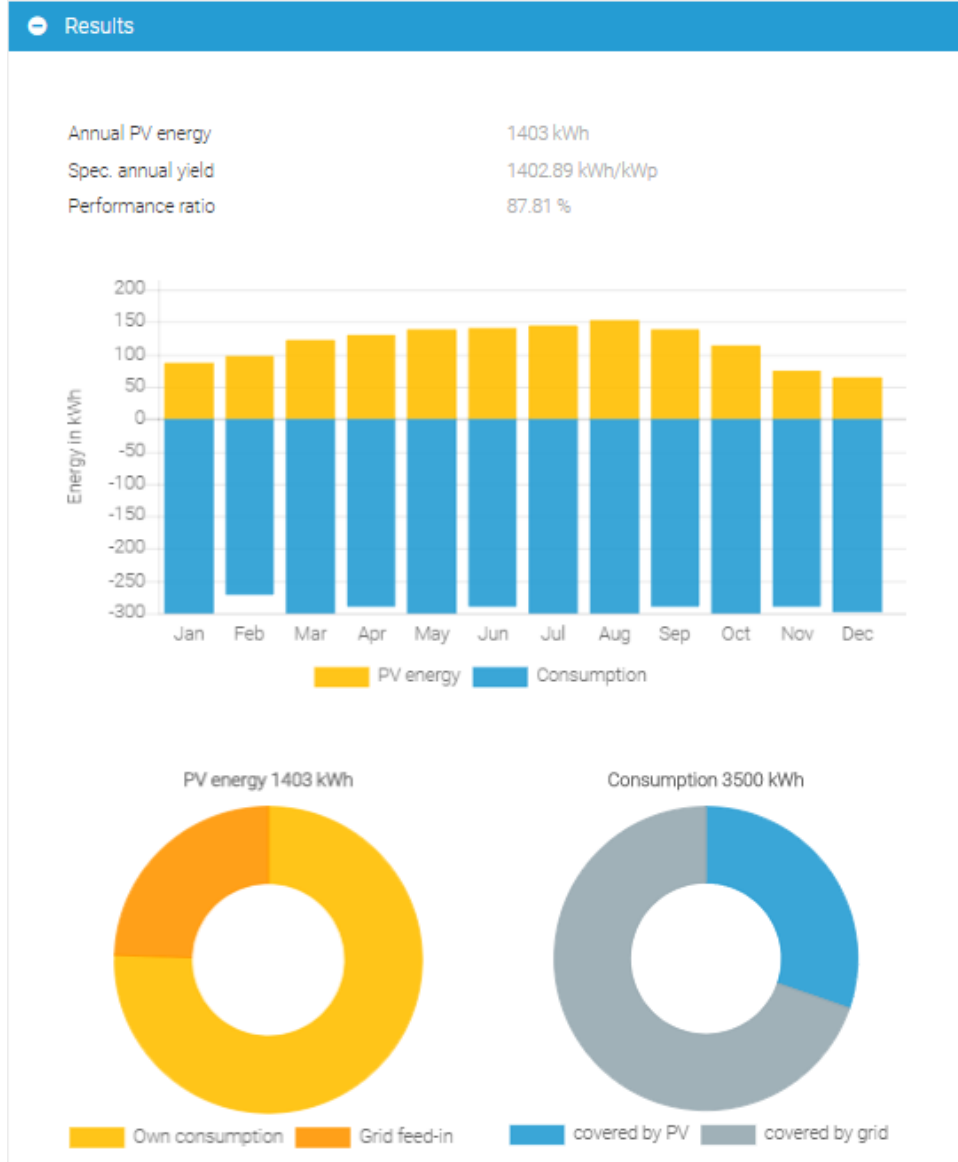
Panelin üzerine düşmesi muhtemel gölge ve panelin kirlenme oranı ile ilgili bilgiler varsa girilmektedir.

Panel çıkışına bağlanacak inverter seçimleri model seçilerek girilmiştir.



Şekil 5.5 1kWp Güce Sahip Sistem için İnverter Seçimi Ekranı

Get best configuration linkine tıklayarak sistemin en iyi performans sonuçları görülmektedir. Şekil 5.6’da sistemin verim değerleri ve tüketim miktarına göre oranı yer almaktadır.



Şekil 5.6 Sistemin Verim Değerleri ve Tüketim Miktarına Göre Oranı

Sistem ilgili diğer veriler çizelge 5.1 de görülmektedir. Bu veriler ışında 4 adet 250W güce sahip güneş panelinin yıllık 1403kWh güç üretmesi beklenmektedir.

Çizelge 5.1 Pv-Sol Programı Sistem Bilgileri

Yıllık PV Enerji	1403kWh
Kendi Tüketimi	1059kWh
Grid Beslemesi	344 kWh
Kendi güç tüketimi	75.5%
Tüketim	3500kWh
PV Kapsamında Tüketim	1059kWh
Grid KapsamındaTüketimi	2441kWh
Güneş Kesri	30.3%
Kaçınılan CO2 Emisyonu	751kg/year

Simulasyonu yapılacak diğer program PvWatt uygulamasıdır. PvSol programında olduğu ilk olarak muhtemel sistemin kurulacağı konum seçilmesi gerekmektedir. Şekil 5.7’de konum Erzurum olarak seçilmiştir.

Resource Data Map

The blue rectangle on the map indicates the NREL NSRDB grid cell for your location. If your location is outside the NSRDB area, the map shows a pin for the nearest available NREL international data site instead of a rectangle. If you want to use data for a different NSRDB grid cell, double-click the map to move the rectangle. *Dragging the rectangle will not move it.* Use the Legacy Data Options check boxes to show pins for legacy data sites. Click a legacy data pin to use legacy data instead of the recommended NSRDB data. See [Help](#) for details.



Şekil 5.7 PvWatt İçin Konum Seçimi

SYSTEM INFO

Modify the inputs below to run the simulation.

DC System Size (kW):	<input type="text" value="1"/>	i
Module Type:	<input type="text" value="Standard"/>	i
Array Type:	<input type="text" value="Fixed (open rack)"/>	i
System Losses (%):	<input type="text" value="9.61"/>	i Loss Calculator
Tilt (deg):	<input type="text" value="30"/>	i
Azimuth (deg):	<input type="text" value="180"/>	i

[+ Advanced Parameters](#)

RETAIL ELECTRICITY RATE

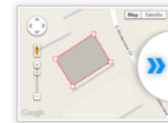
To automatically download an average annual retail electricity rate for your location, choose a rate type (residential or commercial). You can change the rate to use a different value by typing a different number.

Rate Type:	<input type="text" value="Residential"/>	i
Rate (\$/kWh):	<input type="text" value="No Default - Enter Value"/>	i

[RESTORE DEFAULTS](#)

Draw Your System

Click below to customize your system on a map. (optional)



Şekil 5.8 Sistem Bilgileri Program Ekranı

Konum seçimi yapıldıktan sonra kurulacak sistemin ne kadar güce sahip olacağı, modül tipinin ne olacağı, nasıl bir alana kurulacağı, muhtemel sistem kayıpları ve kaç derece açı ile kurulacağı bilgileri girilmiştir.

Çizelge 5.2 Sistemin PvWatts Programına Göre Aylık ve Yıllık Toplam Üretim Değerleri

Sistem Sonuçları		
Aylar	Güneş Radrasyonu (kWh/m²/gün)	AC Enerji (kWh)
Ocak	2.29	66
Şubat	3.45	88
Mart	3.79	104
Nisan	3.83	100
Mayıs	4.54	118
Haziran	5.98	146
Temmuz	5.64	140
Ağustos	5.14	125
Eylül	5.09	122
Ekim	4.31	112
Kasım	3.43	90
Aralık	2.35	67
Yıllık	4.15	1278

Tüm bu değerler girildikten sonra Aylık ve yıllık toplam üretim değerleri rapor olarak verilmiştir.

Pv-Sol simülasyon programı verileri ve tez çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçları birleştirdiğimizde;

Çizelge 5.3 Program Sonuçları ve Tez Veri Sonuçlarının Birleştirilmesi

	Sabit Sistem	Tek Eksenli Hareketli Sistem	Tek Eksenli Sistem Aktüatör Kaybı	Tek Eksenli Sistemin Net Kazancı
PvSol	1 403 kWh	$(1403 * \%15.57) + 1403 = 1 621.44$	18.2 kWh	1 603.24
PvWatts	1 279 kWh	$(1279 * \%15.57) + 1279 = 1 478.14$	18.2 kWh	1 459.94

Sistem için gerekli ekipmanların güncel fiyatları ve üretilen enerjinin elde ettiği kazançlar hesap edildiğinde;

Çizelge 5.4 250 Wp Gücünde 4 adet Panel ile Oluştulan Sistem Maliyetleri

	Sabit Sistem	Tek Eksenli Hareketli Sistem
Güneş Paneli 4 adet	575*4=2 300 TL	575*4=2 300 TL
Mekanik sistem	350 TL	590 TL
Lineer Aktüatör	-	550 TL
Akü 400 Ah akü	3 300 TL	3 300 TL
İnverter 2400 Watt	1 330 TL	1 330 TL
Kablo vb. Ekipman	250 TL	250 TL
Toplam	7 530 TL	8 320 TL

Çizelge 5.5 250 Wp Gücünde 4 adet Panel ile Oluştulan Sistemlerin Amorti Süreleri ve Üretilen Enerjilerin Karşılaştırması

	PvSol Sabit Sistem Getirisi	PvSol Tek Eksen Takip Sistem Getirisi	PvWatts Sabit Sistem Getirisi	PvSol Tek Eksen Takip Sistem Getirisi
Üretilen Enerji kWh	1403 kWh	1603.24 kWh	1279 kWh	1459.94 kWh
Enerji fiyat değeri *	996.41 TL	1138.62 TL	908.34 TL	1036.84 TL
Sistem Amorti Süresi	7530/996.41 =7.55 yıl	8320/1138.6 =7.30 yıl	7530/908.34 =8.28 yıl	8320/1036.8 =8.02 yıl

(*Enerjinin Aralık 2019 kilowatt değeri = 0.7102 TL)

Bu çalışmayı Erzurum ili özelinde inceleyecek olursak, üretime 2019 Ağustos ayında başlamış olan 4.9MW gücünde GES için tek eksenli sistem maliyeti yaklaşık olarak;

$$41\ 437.339\ \text{TL}=37\ 670\ 671.52\ \text{TL} \times 1.10\ \text{olur.}$$

Buna karşın yaklaşık %15.57 oranında yüksek enerji elde edileceği dikkate alındığında hareketli sistemin çok daha fazla kazanç getireceği ortadadır. Sistemin 1MW'lık kısmına ait günlük üretim yaklaşık 6 MWh kadardır. 0.4MW'lık kısmı için yaklaşık 2.5MWh, 0.5MW'lık kısmı içinse yaklaşık 3.2MWh'tir. Sistemde yaklaşık olarak günlük üretim 29.7MWh'tir.

Sabit ve hareketli sistemler için amorti süreleri ve üretimleri karşılaştırılacak olursa;

Çizelge 5.6 4.9 MW Gücünde Sistemlerin Amorti Süreleri ve Üretimleri

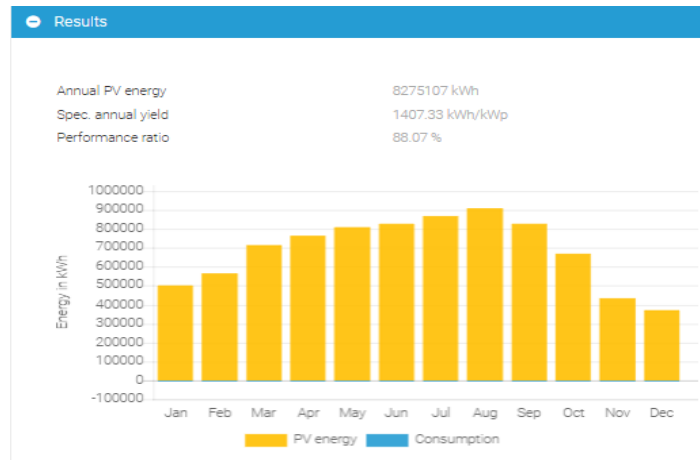
		Erzurum 4,9 MW Ges Sabit Sistem Getirisi	4,9 MW Ges Tek Eksenli Takip Sistemi Getirisi
Üretilen Enerji kWh		10840500 kWh	12466575 kWh
Enerji fiyat değeri * 0.7102		7 698 923.10 TL	8 853 761.56 TL
Sistem Amorti Süresi		37 670 671.52/7 698 923.10 = 4.89 yıl	41 437 339 /8 853 761.56 = 4.68 yıl

Bu sisteme ait veriler şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9 Erzurum GES Aylık Verileri

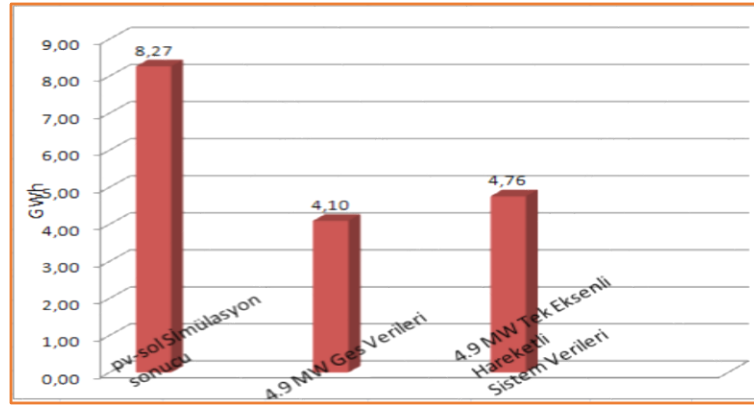
4.9MW gücünde bir sistemi Pv-Sol programında simülasyonunu gerçekleştirdiğimizde elde edilen veriler şekil 5.14 ve şekil 5.15 ‘te gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Sistemin Bir Yıllık Üretimi

Çizelge 5.7 Sistemin Pv-Sol Programına Göre 1 Yıllık Üretimi

Yıllık PV Enerji	8275107 kWh
Kendi Tüketimi	386343 kWh
Grid Beslemesi	7888764 kWh
Kendi güç tüketimi	47%
Tüketim	3500 kWh
PV Kapsamında Tüketim	386343 kWh
Grid Kapsamında Tüketimi	2014 kWh
Güneş Kesri	11038.4%
Kaçınılan CO2 Emisyonu	4427182 kg/year



Şekil 5.11 Sistemlerin Grafik Olarak Karşılaştırması

Yapılan çalışmada tek eksenli hareketli güneş takip sisteminin sabit konumlandırılan sisteme göre daha verimli ve kazançlı olduğu, elde edilen sayısal veriler ve gözlemler sonucunda anlaşılmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Abdallah, S. (2004). The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. *Energy Conversion and Management*, 45(11–12), 1671–1679.
- Akcanca, M.A. (2017). İller Bankası A.Ş. Bölge Müdürlüğü Binalarında Lisanssız Elektrik Üretimi İle Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Sistem Uygulanabilirliğinin İncelenmesi: Konya Bölge Müdürlüğü Hizmet Binası İçin Örnek Proje Uygulaması, İller Bankası A.Ş. Uzmanlık Tezi.
- Altınışik, U. (2016). Su Soğutma ile Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt.
- Anonim, (2019). Enerji Kaynakları Nelerdir.<https://www.enerjiportali.com/enerji-nedir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>-(Erişim tarihi: 21.06.2019).
- Anonim, (2019). Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>-(Erişim tarihi: 21.06.2019).
- Anonim, (2019).Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi ve Türkiye uygulaması <http://dspace.marmara.edu.tr/handle/11424/39166>-(Erişim tarihi: 21.06.2019).
- Anonim, (2019). Güneş Enerjisi Nasıl Elde Edilir?<http://ekolojist.net/gunes-enerjisi-nasil-elde-edilir/>-(Erişim tarihi: 21.06.2019).
- Anonim, (2019). Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü .http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx-(Erişim Tarihi: 18.06.2019).
- Anonim, (2019). TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018. Yayın No: MMO 691 Oda Raporu.Nisan 2018.Ankara. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf-(Erişim Tarihi:17.06.2019).
- Anonim, (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üreten Tesislerin Kurulu Güç Değişimi.<http://www.yegm.gov.tr>-(Erişim Tarihi: 20.05.2019).
- Anonim, (2019). Türkiye’nin Güneşi Çatıdan Yüksелеcek. *Gündergi*.<https://www.gunder.org.tr/wp-content/uploads/Gu%CC%88ndergi-Ekim-2019-Kapak-Web.pdf> – (Erişim Tarihi: 20.05.2019).
- Anonim, (2019). EİGM/ETKB 2016 Genel Enerji Denge Tablosu. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf sayfa34- (Erişim Tarihi:13.04.2019).
- Anonim, (2019). Dünyada Güneş Enerjisi ve Türkiye’nin Potansiyeli. <https://nexten.com.tr/tr/dunyada-gunes-enerjisi-turkiyenin-potansiyeli/> - (Erişim Tarihi: 21.05.2019).
- Anonim, (2019). Güneş Hücreleri. <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php><https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes->(Erişim Tarihi: 13.05.2019).

- Anonim, (2019). Bloomberg New Energy Finance, (BNEF)2018.New Energy Outlook 2018. <https://bnef.turl.co/story/neo2018?teaser=true-> (Erişim Tarihi:15.05.2019).
- Anonim, (2019). Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı. Erzurum Yenilenebilir Enerji Potansiyeli.http://erzurumdayatirim.kudaka.org.tr/dokumanlar/Erzurum_Yeni_lenebilir_Enerji_Potansiyeli.pdf- (Erişim Tarihi: 15.05.2019).
- Anonim, (2019). IRENA, 2018. Renewable Power Generation Costs in 2017. <https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/-> (Erişim Tarihi:15.05.2019).
- Anonim, (2019). TEİAŞ Elektrik Kurulu Gücü İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-> (Erişim Tarihi: 13.05.2019).
- Anonim, (2019). PvWatts Programı,<https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> (Erişim Tarihi:10.12.2019).
- Anonim, (2019). Pv-Sol Programı, <https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>. (Erişim Tarihi: 10.12.2019).
- Anonim, (2012). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi”. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, 522EE0421, MEB, 2012 Ankara. http://www.solaracademy.com/menus/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri-Kaynaklari_Onemi.164622.pdf (erişim tarihi: 29.01.2019).sf:14-15-16.
- Armakan, E. (2003). Analysis of two axis sun tracking sistem. İzmir Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Atagündüz, Gürbüz. (2001). “Dünya İklim Modelleri ve İklim Değişim Hızını Yavaşlatacak Bazı Tedbirler”, Türkiye 3. Enerji Sempozyumu, “Küreselleşmenin” Enerji Sektöründe Yapısal Değişim Programı ve Ulusal Enerji Politikaları, 5-6-7 Aralık Ankara, ss.253-262.
- Atalay, Y. (2016).’ İki-Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 Kw’lık Fotovoltaik Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi” Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L.T. Güneş Enerjisi Anabilim Dalı 2016 İzmir.
- Aydın, M. Yeşilata, B. (2006). “Eğim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik Pv Sistem Sehpaı”.
- Bakos, G. C. (2006). Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. Renewable Energy, 31(15), 2411–2421.
- 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, Balıkesir.
- Bilgin, Z. (2006). Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bingöl, O., Altıntaş A., Öner, Y., (2006). Mikrodenetleyici Tabanlı Güneş Takip Sistemi Ve Uygulaması, Cilt 12, Sayı 2, Sayfalar 243–248 *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.

- Boyacı, Ö., Kocaman, Ç., (2018). MATLAB/Simulink Üzerinden Gerçek Zamanlı Gömülü Sistem Tabanlı Güneş Takip Sisteminin Tasarımı Ve Uygulaması, *Anka E-Dergi Journal Of Phoenix* (Teknik Ve Sosyal Bilimler Dergisi) Cilt 3/Sayı 1.
- Clifford, M. J., Eastwood, D. (2004). Design of a novel passive solar tracker, 77, 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.06.009>.
- Çalışkan, H., Öztürk, H.K., (2008). Güneş Takip sistemlerinin İncelenmesi, 2. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 96-111.
- Çukurçayır, M. Akif, Sağır H ., (2008) “Enerji Sorunu, Çevre Ve Alternatif Enerji Kaynakları” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* Sayı 20 (257-278).
- Demirel, Y., (2012). Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling, Springer, UK, 507p.
- Demirtaş, M., (2006) Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması, *Politeknik Dergisi*, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü Cilt: 9 Sayı: 4 s.247-253, 2006.
- Demirtaş, M. (2009). Plc Kontrollü Güneş Takip Sistemi Tasarım Ve Uygulaması. *Technological Applied Sciences*, 4 (3), 315-329.
- Gül, F., (2016). Fotovoltaik Panellerle Enerji Üreten Sistemin (Kaman-Kırşehir Güneş Enerji Sistemi Örneği) Kurulumu, Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Benzer Uygulamaların Belediyeler Açısından İncelenmesi, İller Bankası A.Ş. Uzmanlık Tezi.
- Gündoğdu, K., Kabadayı, H.S., Öztürk, A., (2016). Fotovoltaik Paneller İçin Güneş Takip Edebilen Basit Ve Ekonomik Bir Sistem Tasarımı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, *Düzce, Türkiye Bilim ve Teknik Dergisi* Cilt:4, Sayı:2 634-639.
- Karamanav, M., (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kılıç, Ahmet Mahmut. (2003). “Türkiye ve Enerji Gerçeği”, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 3-4 Ekim 2003, Kayseri, ss. 361-368.
- Menak, R. (2018). Çift eksenli güneş takip sistemi tasarımı ve modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Siirt.
- Nakir, İ., (2007). Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS Ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Önal, M.A., (2009). İki Eksenli Güneş İzleme Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Rüstemli, S., Dinçer, F., (2011). Van ili Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisi Üretiminin Mevcut Durumu ve Geleceği, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 16 (1) :22-33, 2011.

- Shah, I. A. ve Ark., (2017). "Energy Yield and Economic Analysis of Tracker Controlled" *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering* 5(3): 56-66.
- Sevgili, S.O., (2017). Birden Fazla Belediyenin Birlikte Güneş Enerjisi Santrali Kurmaların Bireysel Kurulum İle Maliyet Yönünden Karşılaştırılması, İller Bankası A.Ş. Uzmanlık Tezi.
- Singh, R., Kumar, S., Gehlot, A., Pachauri, R., (2018). An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 (August 2017), 3263-3278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.018>.
- Sungur, C., (2009). Multi-axes sun-tracking sistem with PLCkontrolfor photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy*, 34(4), 1119–1125.
- Şenpınar, A., (2006). Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Elazığ, 36-41.
- Tırmıkçı A.C., (2018). İki Eksen Güneş İzleyen Hareketli Güneş Sistemi ve En Uygun Yıllık Eğim Açısı İle Konumlandırılmış Sabit Güneş Sisteminin Gerçek Zaman Karşılaştırması, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Elk-Elk Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi.
- Tomson, T., (2008). Discrete Two-Positional Tracking Of Solar Collectors, *Renewable Energy*, Tallin, Estonia, 33(3), 400-405.
- Uzunok, S., (2007). Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- Varış, Ç. (2017). Çift eksenli güneş takip sisteminin pilot uygulaması, üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yılmaz M., (2013). Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, M., (2017). İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğinin Arttırılması, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Batman, 7(1/2), 56-62.
- Yücel, M., Kılıçarslan, Y., Yıldırım, M., (2018). Güneş Takip Sistemiyle Çalışan Güneş Panellerinin Sulama Uygulamasında Verimlilik Düzeyleri, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Dergisi*, 2018:6 123-130 Cilt 6, Sayfalar 123 – 130.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	İlknur ELTAS
Doğum Tarihi	30.08.1988
Uyruğu	T.C.
Telefon	0505 217 30 42
E-Posta Adresi	nureltas@gmail.com
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kırıkkale Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	14.01.2013
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	24.01.2020