

**T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİİRT YÖRESİ İÇİN TEK EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLİ GÜNEŞ
PANELLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nihat BÜKÜN
(153111003)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Saadettin AKSOY

**Kasım-2017
SİİRT**

TEZ KABUL VE ONAYI

Nihat BÜKÜN tarafından hazırlanan “Siirt Yöresi İçin Tek Eksenli Güneş Takip Sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 16/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Saadettin AKSOY



Danışman

Prof. Dr. Saadettin AKSOY



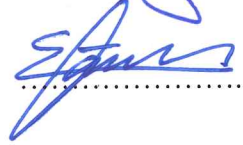
Üye

Doç. Dr. Fevzi HANSU

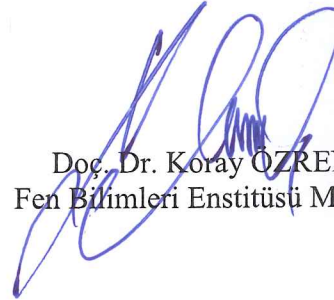


Üye

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Koray ÖZRENK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Siirt Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2017- SİUFEB-35 Nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan 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.

Nihat BÜKÜN



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.

ÖNSÖZ

Son yıllarda fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve bu tür kaynakların azalmasıyla beraber, yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde çok daha önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik sistemlerin kullanımı ve bu alanda yapılan yatırımlar gittikçe artmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panellerin verimliliği son derece önemli bir konudur. Verimliliği arttırmanın yollarından biri de güneş izleme sistemidir. Bu tez çalışmasında, güneşi takip eden hareketli panel ile sabit panel kurularak gerçek zamanlı ölçümler alınmış, enerji verimlilik artışı incelenmiştir.

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarından dolayı Danışman Hocam Prof. Dr. Saadettin AKSOY' a sonsuz teşekkürleri bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde hiçbir özveriden kaçınmayan ve asla haklarını ödeyemeyeceğim başta Annem ve Babam olmak üzere, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili eşim, saygıdeğer abilerim ve ablalarımaya yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Nihat BÜKÜN
SİİRT-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	9
3.1. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli	10
3.1.1. Siirt ili güneş enerjisi potansiyeli.....	12
4. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ	15
4.1. Enerji ve Enerji Kaynakları	15
4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumuna Bakış	15
4.2.1. Yenilenebilir enerjinin Türkiye’deki durumu	16
4.3. Güneş Pilleri	17
4.3.1. Güneş pillerinin tarihsel gelişimi	17
4.3.2. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması	19
4.3.3. Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler	21
4.4. PV Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	22
4.4.1. PV güneş sistemlerinin avantajları	22
4.4.2. PV güneş sistemlerinin dezavantajları	22
5. MATERYAL ve METOD	23
5.1. Güneş Takip Sistemleri.....	23
5.1.1. Tek eksenli güneş takip sistemi	23
5.2. Güneş Panelinin P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi	24
5.3. Sabit ve Hareketli Panellere İlişkin Deney Düzenekleri	27

6. DENEYSSEL SONUÇLAR ve ANALİZLER.....	311
6.1. Sabit ve Hareketli Panele İlişkin Deneysel sonuçlar	311
6.2. Gün Boyunca Sabit ve Hareketli Panelden Çekilen Enerjinin Hesabı	344
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	399
7.1. Sonuçlar	399
7.2. Öneriler	399
8. KAYNAKLAR	41
EKLER	433
ÖZGEÇMİŞ	555



TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Türkiye' nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	10
Tablo 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	11
Tablo 5.1. Deneyde kullanılan güneş panelinin yük direncinin değişimine akım, gerilim ve güç değerleri	25
Tablo E1.1. 4 Ağustos Cuma günü için hareketli ve sabit panelden elde edilen veriler	43
Tablo E1.2. 5 Ağustos Cumartesi günü için hareketli ve sabit panelden elde edilen veriler	45
Tablo E3.1. Power meter özellikleri	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Güneşten gelen ışınımın dağılımı.....	8
Şekil 3.2.	Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi	9
Şekil 3.3.	Dünya ışınım haritası.....	9
Şekil 3.4.	Türkiye'nin ışınım haritası	11
Şekil 3.5.	Siirt ili güneş ışınım haritası.....	12
Şekil 3.6.	Siirt ili global aylık ortalama radyasyon değerleri	12
Şekil 3.7.	Siirt ili aylık ortalama güneşlenme süreleri.....	13
Şekil 3.8.	Siirt ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları	13
Şekil 4.1.	Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücün dağılımı.....	15
Şekil 4.2.	Fotovoltaik gruplar	16
Şekil 4.3.	Güneş pilinin şematik gösterimi.....	18
Şekil 4.4.	Güneş enerji sisteminin şematik gösterimi örneği	19
Şekil 5.1.	Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi.....	22
Şekil 5.2.	Sabit ve hareketli panel şematik gösterimi (a) Hareketli panel şekli (b) Sabit panel şekli	23
Şekil 5.3.	Deneyde kullanılan sabit ve hareketli panel fotoğrafları.....	18
Şekil 5.4.	Panelin P-V karakteristiğine ilişkin deney düzeneği.....	19
Şekil 5.5.	Panele ilişkin I-V ve P-V karakteristik eğrileri (a) P-V karakteristiği (b) I-V karakteristiği.....	25
Şekil 5.6.	Panel gücünün yük direncine göre değişim eğrisi.....	26
Şekil 5.7.	Deney düzeneğinin şematik gösterimi	27
Şekil 5.8.	Deney düzeneği genel fotoğrafı	27
Şekil 5.9.	Deney düzeneğinde kullanılan cihaz fotoğrafları (a) Işık sensörü, Kontrolör , Lineer aktüatör, ve DC Power Meter (b) Radyasyon ölçüm cihazı	28
Şekil 6.1.	4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin voltaj değişim eğrileri.....	31
Şekil 6.2.	4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin akım değişim eğrileri.....	32
Şekil 6.3.	4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin güç değişim eğrileri.....	32
Şekil 6.4.	5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin voltaj değişim eğrileri	33
Şekil 6.5.	5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin akım değişim eğrileri.....	33
Şekil 6.6.	5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin güç değişim eğrileri.....	34
Şekil 6.7.	Sayısal integrasyon yöntemi ile yamuk kuralı grafiği.....	35
Şekil E5.1.	Sistemin kablo bağlantılarının yapılması.....	51
Şekil E5.2.	Sabit panel bağlantılarının yapılması.....	51
Şekil E5.3.	Güneş radyasyon cihazının monte edilmesi	52
Şekil E5.4.	Bilgisayar ve multimetrelerden eş zamanlı ölçüm alınması	52
Şekil E5.5.	Kurulan deneyin genel fotoğrafı.....	53

KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
DC	: Direct Current
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
E	: Radyoasyon Düzeyi
EİE	: Elektrik İşleri Etüt
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
I	: Akım
MGN	: Maksimum Güç Noktası
P	: Power
PV	: Photo Voltaic
PLC	: Programmable Logic Controller
V	: Voltage
W	: Watt

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
Ω	: Ohm
$^{\circ}\text{C}$: Santigrad Derece
Σ	: Gün Boyunca Elde Edilen Verileri Toplama Fonksiyonu
i_h	: Hareketli panel akımı
i_s	: Sabit panel akımı
p_h	: Hareketli panel gücü
p_s	: Sabit panel gücü
v_h	: Hareketli panel gerilimi
v_s	: Sabit panel gerilimi
W_h	: Hareketli panelden gün boyunca çekilen enerji miktarı
W_s	: Sabit panelden gün boyunca çekilen enerji miktarı
kwh	: Kilowatt saat
kjoule	: Kilojoule
km	: Kilometre

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ SİİRT YÖRESİ İÇİN TEK EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLİ GÜNEŞ PANELLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Nihat BÜKÜN

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman : Prof. Dr. Saadettin AKSOY

2017, 54 Sayfa

Günümüzde kullanımı hızla artan güneş panelleri, yenilenebilir enerji kaynağı olarak oldukça önemli bir yere sahiptirler. Güneydoğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli, Fotovoltaik (PV) panellerini kullanarak elektrik enerjisi üretimini önemli kılmaktadır. PV panellerin ürettiği enerji, panele düşen güneş ışınının şiddetinin yanı sıra, güneş ışınının panele gelme açısı ile de orantılıdır. Güneş ışını panele dik düşerse üretilen elektrik enerjisi en yüksek düzeyde olacaktır. Dolayısıyla güneş panellerinden maksimum düzeyde elektrik enerjisi elde edebilmek amacıyla literatürde güneş takip sistemleri (Sun Tracking Systems) ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Güneş takip sistemleri, güneş panellerinin tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki şekilde güneşin hareketini takip etmesine dayalı sistemlerdir. Verimliliğin yaklaşık %25-30 oranlarında artırıldığı tek eksenli kontrol sistemlerinde panel güneşi doğuşundan batışına kadar tek eksenli olarak izlenmektedir. Bu çalışmada; güneşlenme süresinin ve güneş şiddetinin dünya standartlarına göre oldukça yüksek olduğu Siirt yöresinde tek eksenli güneş takip sisteminin sabit sistemlere göre verimlilik artışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda biri hareketli, diğeri sabit olmak üzere iki adet 250 Watt'lık güneş paneli kullanılmıştır. Hareketli güneş paneli için, paneli güneşin doğuşundan batışına kadar dik konumda izleyecek olan bir izleme sistemi kullanılmıştır. İzleme sistemi radyasyon ölçüm sensörü, elektrikli doğrusal aktüatör (linear actuator), kontrol cihazı ve mekanik düzenekten oluşmaktadır. Sabit panel ise mekanik bir düzenek üzerinde uygun açıda yerleştirilmiştir. Eşdeğer omik yüklerin bağlandığı sabit ve hareketli panellerin yük akımı ve panel gerilimi, gerçek zamanlı akım ve gerilim ölçme ve kaydetme özelliğine sahip olan iki adet ölçüm cihazı ile gün boyunca beşer dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler kullanılarak sabit ve hareketli panelin ürettiği gücün gün boyunca değişimine bağlı olarak elde edilen toplam enerji değerleri hesaplanmıştır. Farklı çalışma koşullarında elde edilen deneysel sonuçlardan, hareketli panelden sabit panele göre %30-35 arası bir verim artışı sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Fotovoltaik (PV), Fotovoltaik Piller, Güneş İzleme Sistemi

ABSTRACT

MSc. THESIS

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR PANELS WITH SINGLE AXIS SOLAR TRACKER SYSTEM FOR SIIRT CITY ENVIRONMENT

Nihat BÜKÜN

**The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Siirt University
The Degree of Master of Science In Electrical&Electronics Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Saadettin AKSOY**

2017, 54 Pages

Solar panels, which are increasingly being used today, have a very important place as a renewable energy source. Solar energy potential in our country especially Southeastern Anatolia region, makes electric energy production important by using photovoltaic (PV) panels. The energy produced by PV panels is proportional to the intensity of the falling sunlight as well as the angle of sun rays. If the sunlight falls vertically, the electricity generation will be in maximum level. Therefore, there are various studies about sun tracking systems in the literature in order to obtain the maximum level of electric energy from solar panels. Sun tracking systems are based on the solar panels to follow the movement of the sun in two ways, single and double axis. In single-axis control systems where efficiency is increased by about 25-30%, the panel follows the single axis vertically from sunrise to sunset. In this study, the productivity increase of single axis solar tracking system compared to fixed systems in Siirt region, where sunshine duration and solar intensity are very high according to world standards, has been investigated. In experimental studies, we have used two 250 Watt solar panels that one is a stationary system and the other is a tracker system. For the moving solar panel, a tracking system is used that will follow the panel in an upright position from sunrise to sunset. Tracking system consists of radiation measurement sensor, electric linear actuator, control device and mechanical device. The fixed panel is placed at a suitable angle on a mechanical device. The load current and panel voltage of fixed and movable panels to which equivalent ohmic loads are connected are recorded with five minute intervals throughout the day with two measuring instruments with real time current and voltage measurement and recording capability. Using this stored data, the total energy values of the power produced by the stationary and moving panel during the day were calculated. Experimental results obtained under different working conditions showed that the efficiency of the mobile panel increased by 30-35% compared to the fixed panel.

Keywords: Energy Efficiency, Photovoltaic, Photovoltaic cells, Sun Tracking System

1. GİRİŞ

Son yıllarda özellikle fosil yakıtların çevreye olan zararları ve bu tür enerji kaynaklarının zamanla azalmasıyla beraber, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri sebebiyle temiz enerji kaynaklarına duyulan gereksinim giderek artmıştır. Öte yandan enerji kullanımındaki artışın karşılanması, tükenmekte olan fosil yakıtlar ve kullanılsa da kullanılsa da yalnız nükleer yakıtlarla mümkün görülmemekte ve ancak yenilenebilir enerjilerin kullanılması ve enerji kullanım veriminin artırılması şartlarına bağlı olmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan yöntem kömür gibi fosil yakıtların yakılması ile gerçekleştirilir. Fakat fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan karbondioksit gazı sebebiyle meydana gelen sera etkisi ve küresel ısınma olayı ortaya çıkar. Ayrıca çevre kirliliği gibi önemli bir sorunla da karşı karşıya bırakılmaktadır (İşcan ve ark., 2012). Bu nedenle, küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine, çevresel etkileri daha az olan, sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik imkânı sağlayan enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Hem fosil kaynakların sınırlı ve yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılmasını, geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Bu nedenle güneş enerjisinin de dâhil olduğu yenilebilir enerji kaynakları daha da önem kazanmıştır (Yılmaz, 2013).

Fotovoltaikler (PV) çevre kirletici etki oluşturmayan enerji üretim seçeneklerinin başında gelmektedir. Yerkürede bulunduğu konum açısından güneşlenme alanı ve süresi oldukça iyi olan ülkemizde güneş enerjisi alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, ülkemizde yılda metrekare başına 1100 kWh'lik güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında güneş enerjisi gelecek yıllar için ülkemizde özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesin'de yerli enerji kullanımının yaygınlaşması açısından önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olarak çekiciliğinin artmasındaki diğer faktörler güneş pillerinin yüksek güvenilirliği, kararlı performans artışı, üretim masraflarının azaltılması ve diğer bir husus olarak güneş pillerinin yakıt giderine sahip olmamasıdır. Güneş

enerjisi kullanımının birçok avantajına karşılık güneş panellerinin kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek ve kendilerini amorti edebilme süreleri ise oldukça uzun olma gibi dezavantajları da vardır (İşcan ve ark., 2012). Bu açıdan bazı teknolojik ve ekonomik zorlukların aşılması halinde özellikle ülkemizde güneş enerjisini daha da cazip hale getirecektir.

Bu tez çalışmasında; güneşlenme süresinin ve güneş şiddetinin dünya standartlarına göre oldukça yüksek olduğu Siirt yöresinde tek eksenli güneş takip sisteminin sabit sistemlere göre verimlilik artışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda biri hareketli, diğeri sabit olmak üzere iki adet 250 Watt'lık güneş paneli kullanılmıştır. Hareketli güneş paneli için, paneli güneşin doğuşundan batışına kadar dik konumda izleyecek olan bir izleme sistemi kullanılmıştır. İzleme sistemi radyasyon ölçüm sensörü, elektrikli doğrusal aktüatör (linear actuator), kontrol cihazı ve mekanik düzenden oluşmaktadır. Sabit panel ise mekanik bir düzenek üzerinde uygun açıda yerleştirilmiştir. Eşdeğer omik yüklerin bağlandığı sabit ve hareketli panellerin yük akımı ve panel gerilimi, gerçek zamanlı akım ve gerilim ölçme ve kaydetme özelliğine sahip olan iki adet ölçüm cihazı ile gün boyunca beşer dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler kullanılarak sabit ve hareketli panelin ürettiği enerji gücünün gün boyunca değişimine elde edilen toplam enerji değerleri hesaplanmıştır. Farklı çalışma koşullarında elde edilen deneysel sonuçlardan, hareketli panelden sabit panele göre %30-35 arası bir verim artışı sağlandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların Siirt Yöresi başta olmak üzere Güneydoğu Anadolu bölgesinde tarımsal sulamada ve enerji üretiminde kullanılan güneş paneli santrallerine uygulanması için gerekli teorik ve pratik bilgi birikimini oluşturmaktır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatüre bakıldığında güneş takip sistemi ile ilgili birçok bilimsel araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bazılarını tarihsel sıraya göre özetlenecek olursa;

Armakan (2003), yaptığı tez çalışmasında sabit bir güneş PV paneli ile belirli bir açısız hassasiyeti sağlayacak biçimde iki eksenle hareket edebilen güneş panelinin enerji kazanımını teorik olarak incelemiş ve karşılaştırmıştır. Belirli bir açısız hassasiyet altında çalışan iki eksenli güneş takip sisteminin, sabit bir sisteme göre dünya dışı güneş radyasyonu altında teorik hesaplamada yaklaşık %40 daha fazla enerji kazancı sağladığını tespit etmiştir (Armakan, 2003).

Şenpınar (2006), çalışmasında güneş ışınlarından daha çok verim almak için sabit ve izleyici güneş panelleri kullanarak o bölgenin coğrafi koşullarını göz önüne alarak yıl içerisinde mevsimlere bağlı olarak değişen güneş ışınlarına göre güneş panellerine optimum eğim açısını hesaplayarak güneş ışığından elde edilen enerji miktarını artırmayı sağlamıştır (Şenpınar, 2006).

Bilgin (2006), tez çalışmasında güneş ışınlarının panel yüzeyine sürekli dik gelmesini sağlamak üzere güneş takip sistemleri kullanarak bu sistemlerin kullanımı neticesinde; panellerden elde edilen elektrik enerjisi miktarının % 37'lere kadar arttığını deneysel olarak tespit etmiştir. Bu çalışmasında, PV malzemelerin karakteristikleri incelenmiş ve güneş takibi yapmak üzere bir güneş takip sistemi tasarımı yaparak gerçekleştirmiştir (Bilgin, 2006).

Uzunok (2007), çalışmasında iki eksenli güneş takip sisteminin tasarlanması ve sabit sistemle güneş takip sistem eden sistem arasındaki verimi incelemiştir. İskenderun ilçesinde yaptığı ölçümler sonucu %17,07 oranında verim artışını tespit etmiştir. Ayrıca güneş takip sisteminin maliyet analizini de yapmıştır (Uzunok, 2007).

Karamanav (2007), tez çalışmasında güneş enerjisinin mahiyeti ve güneş ışınlarının dünyaya olan etkileri incelenmiş olup, fotovoltaj dönüşüm ilkeleri üzerinde durmuştur. Güneş pillerinin verimlilikleri ve kullanım alanları üzerinde tespitler yapmıştır. Bu tespitlerden önemlisi foto açısız etki deneysel çalışma yaparak ışınımın açısız etkisinin önemine vurgu yapmıştır (Karamanav, 2007).

Nakir (2007), çalışmasında PV güneş enerji sistemleri incelenerek bu sistemlerin verimliliğini artıran iki yöntem uygulaması yapmıştır. Bu yöntemler, güneş ışınlarından optimum bir şekilde faydalanmak üzere güneş takip sistemi ve sistemden yüke maksimum güç aktarımı sağlayan maksimum güç takip sistemleri üzerinde çalışma yapmıştır (Nakir, 2007).

Çalışkan ve Öztürk (2008), çalışmalarında farklı güneş takip sistemleri incelenerek, güneş takip sistemlerinin çalışma prensipleri, birbirlerine göre yararları ve sakıncaları, çalışma verimleri ve diğer özelliklerini deneysel olarak incelemiştir (Çalışkan ve Öztürk, 2008).

Tomson (2008), tek eksenli güneş panelinin deneysel olarak performans analizi çalışmasında bulundu. Simülasyon ve deney sonuçlarının kıyaslanması neticesinde, tek eksenli güneş izleyen sistemin; optimum bir şekilde güneşe bakan konumda yerleştirilmiş güneş paneline göre % 10 - %20 daha fazla verimli olduğunu belirtmiştir (Tomson, 2008).

Önal (2009), çalışmasında Türkiye ve dünyada güneş izleme sistemleri üzerine yapılmış olan çalışmaları kapsamlı bir şekilde ele almıştır. İzleme yöntemlerini içeren Türkiye iklim şartlarına uygun olarak, maksimum enerji eldesi için iki eksenli güneş izleme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan; Otomatik Güneş İzleme Sistemi'nin izlenmesi sensörlerle otomatik olarak sağlamıştır. Sabit güneş enerjisi sistemine oranla, tek eksenli güneş izleme sistemiyle; % 30 enerji kazancı sağladığını tespit etmiştir. Güneş iki eksenli izleyen sistemler ise; sabit olarak bir alana yerleştirilen panellerden; enerji üretim maliyeti düşük ve verimi çok yüksek olmaktadır. Çünkü bu sistemlerde; güneş ışınlarının PV yüzeye, izleme sistemi ile dik gelmesi sağlanıp enerji miktarı önemli ölçüde artar ve verim de % 40 oranında artmaktadır (Önal, 2009).

Sungur (2009), çalışmasında sabit konumda ve hareketli güneş izleme sistemlerinin enerji kazancını analiz etmiş, sistemin mekanik kontrol ünitesi ardından güneş panelinin konumu ve performans ölçümlerini yapmıştır. Tek eksene göre % 42,6 enerji kazancı hesaplamıştır ve panel sayıları artırılarak seri üretime geçildiğinde maliyetin düşüreceğini vurgulamıştır. İzlemenin kontrolünü ise PLC ile sağlamıştır (Sungur, 2009).

Tudorache ve Kreindler (2010), çalışmalarında tek eksenli bir güneş takip sistemi tasarlayarak hareketli mekanizmanın iki basit sensörle kontrol edilerek güneş ışığına göre güneş panellerinin konumunu değiştirilmiştir. Panellerin hareketiyle güneş enerjisinden optimum verim almayı amaçlamışlardır. Böylece güneş izleyici performansı ve özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir (Tudorache ve Kreindler, 2010).

Rüstemli ve ark. (2010)'nın Van İlinde yaptıkları çalışmada, su ısıtma ve sokak aydınlatması için bir güneş takip sistemi uygulaması yapmışlardır. Güneş hareketi ile güneş hareketi döndürmek için bir güneş takip cihazı kullanarak, sabit ve güneş takip sistemi arasındaki karşılaştırılma yapılmıştır. Güneş takip sisteminin verimliliği yaklaşık %29 oranında arttığını gözlenmiştir. Bu çalışma Sonucunda güneş takip sisteminin sabit sistemden daha etkili olduğu ve enerji üretkenliğini daha da artırabileceği sonucuna varılmıştır (Rüstemli ve ark., 2010).

Beyoğlu (2011), çalışmasında Balıkesir ilinde yapılacak uygulamaları teşvik etmesi ve çalışmalara referans olması düşünülerek, güneş enerjisi potansiyelinin incelenmesi, maksimum güç takip sistemli sabit ve 2-eksenli olmak üzere iki PV güneş enerji sisteminin kurulumu ve eşzamanlı olarak çalışma ve verimlerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Yapılan deneysel ölçümler sonucunda çift eksenli güneş takip sisteminin, sabit panelli sisteme göre %39 daha yüksek verim sağladığı görülmüştür (Beyoğlu, 2011).

Oral ve Uçan (2012), çalışmalarında sabit bir panele göre daha yüksek gerilim çıktısı üreten, uygulanabilir bir iki-eksenli güneş takip sisteminin belirlenmesini ve ortaya konulmasını hedeflemektedirler. Uygulanabilir bir güneş takipçisinin tasarlanması için en uygun yöntemin belirlendiği, küçük ölçekli bir güneş paneli, servo motorlar, kontrolör olarak Arduino işlemcisi ve gerilim geri beslemesini kablosuz ileten bir verici kullanarak iki eksenli bir güneş takip mekanizmasını oluşturmuşlardır. Güneş takip sistemi, elde edilen maksimum voltaj seviyesinin bulunduğu konumda sabit tutularak bir sonraki hareket eylemine kadar konumlarda değişiklik yapılmamış, mevcut konumlarda ise gerilim seviyelerinde önemli dalgalanmalara rastlanmadığını tespit etmişlerdir (Oral ve Uçan, 2012).

İşcan ve ark. (2012)'nin çalışmalarında güneşi sürekli olarak gün içerisinde iki yönde takip edebilen güneş takip sistemi devresi tasarlamıştır. Ayrıca yapılan sistemin gün içerisinde çalışma analizi yapılmış ve tasarlanan farklı güçler için maliyet analizi hazırlanmıştır. Çalışmalarında yazılım, otomatik kontrol sistemleri, elektrik makineleri, güç elektroniği ve mekanik gibi çalışma alanlarına ait birçok teknikten yararlanmıştır. Bu çalışmanın güneşten elde edilen enerjinin verimini yaptıkları deneysel ölçümlerle %40-55 oranında arttığı gözlemlenmiştir (İşcan ve ark., 2012).

Eskiçirak ve ark. (2012)'nin çalışmasında gün boyunca güneşi izleyebilen, güneş enerjisinden yararlanabilecek bir sistem kurmuşlardır. Güneş ışığı yoğunluğunu hissetmek için bağımlı dirençler kullanarak güneşin konumuna göre çalışır bir sistem tasarlamışlardır (Eskiçirak ve ark., 2012).

Özçelik ve Yılmaz (2012), yaptıkları çalışmada, PV sistemlerin güneş ışınım değerlerinin farklı olduğu durumlarda verimliliğin artırılmasına yönelik kıyaslamalar Matlab simulink ortamında güneş pilinin eşdeğer devresi ve DC dönüştürücü modellenerek, farklı ışınım değerlerinde çıkış değerleri ölçülmüş ve bu değerlere göre kıyaslama yapılarak yüksek performansın hangi durumda elde edilebileceği belirlemişlerdir. Bulutlu ortamda modüllerin tek bir DC dönüştürücüye ve aynı ortamda modüllerin iki DC dönüştürücüye bağlanması kıyaslanarak dönüştürücü sayısının artması çıkış gücünü artırdığı yaptıkları çalışmada gözlemlenmiştir. Güneş ışınım değerlerinin homojen olmadığı parçalı bulutlu ortamlarda dönüştürücü sayısının artması verimliliği yükseltmiştir. Bu durumda güneş ışınım değerlerinin homojen olduğu ortamlarda bir dönüştürücü kullanmak sistem maliyetini azaltacağı görülmektedir (Özçelik ve Yılmaz, 2012).

Rüstemli ve ark. (2013) çalışmasında PV panelin enerji kazancını artırıcı yöntemler ele alınmış ve enerji kazançlarını artıracak en önemli sistemlerin; güneş takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleridir. Özellikle güneş takip sisteminin önemine vurgu yapan Rüstemli ve arkadaşları güneş takip sistemleri ile PV panelin güneşi gün boyunca takip etmesi sağlanarak güneşten optimum düzeyde yararlanabilmesini belirtmişlerdir (Rüstemli ve ark., 2013).

Yılmaz (2013), tez çalışmasında Diyarbakır ilinde güneş takip sistemi üzerinde bir çalışma yapmıştır. İki eksenli takip sistemi ile sabit sistemin verimini tam olarak karşılaştırmak için iki sistem de aynı yere monte etmiş, aynı cins panel, şarj regülatörü, ölçü aleti ve akü kullanmıştır. İki eksenli hareketli sistemin verimini sabit sisteme göre bir yıllık ortalama %31.67 daha fazla olduğunu ve bu verimin kış aylarında %70, yaz aylarında %11 olarak deneysel ölçümlerle tespit etmiştir (Yılmaz, 2013).

Acakpovi ve ark. (2015)' nin çalışmasında 2-eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Mikrodenetleyicili işlem kartı kullanarak güneş takip eden sistemi kurmuşlardır. Çalışmalarında, güneş takip eden sistemin %10,7 oranında bir verim artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemin maliyet analizini yaparak bu sistemin avantajlarına vurgu yapmışlardır (Acakpovi ve ark., 2015).

Gündoğdu ve ark. (2016)' nin çalışmasında tek eksenli basit ve ekonomik güneş paneli takip sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Takip sisteminin kontrolü için bir kontrolcü devre ve güneş panelinin uçlarındaki gerilimi okuyabilmek için bir doğru gerilim ölçüm devresi tasarlanmıştır. Tasarımı yapılmış olan bu sistem mekanik parçalar ile bir araya getirilerek sistemin son hali verilmiştir. Panel sabit iken ve panel hareketli iken okunan değerler tabloya kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler incelendiğinde hareketli panelin verimliliğinin sabit panelin verimliliğine oranının daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir (Gündoğdu ve ark., 2016).

Arifoğlu ve ark. (2016)' nin çalışmasında, güneş enerjisini en verimli şekilde kullanmak amacıyla güneş takip eden güneş panel sisteminin prototipi anlatılmıştır. Hareketli panel sistemi ile güneşin doğumundan batımına kadar olan süre içerisinde, güneş ışınlarının gün boyu panele dik düşmesi sağlanmaktadır. Bu sayede güneş ışığından maksimum oranda yararlanılarak güneş enerjisinden maksimum değerde enerji elde edilmesi sağlanır. İmal edilen prototip enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullandığından dolayı çevreye de oldukça duyarlı olduğunu belirtmişlerdir (Arifoğlu ve ark., 2016).

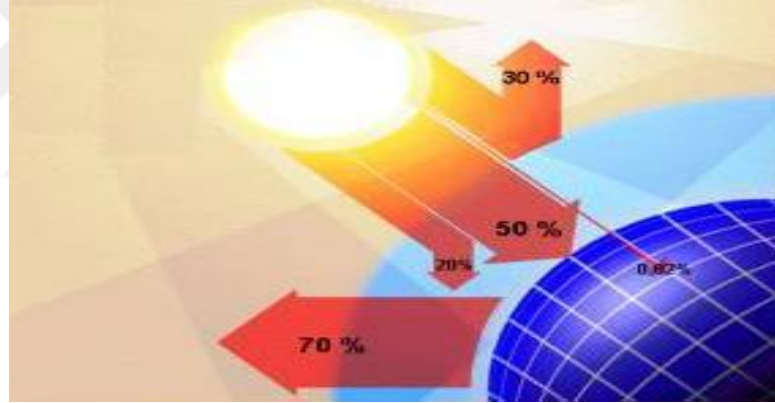
Altınışık (2016), tez çalışmasında 100 W'lık bir PV panelin verimliliğinin sıcaklıkla değişimi incelemiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan güneş panellerinin verimliliğinin su ile soğutularak artırılacağı göstermiştir. Ayrıca ortam sıcaklığı ve

güneş enerjisi düzeyi azaldıkça elde edilen verimlilik düzeyinin de azaldığı görülmüştür. 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 hesaplanabilirliğini göstermiştir (Altınışık, 2016).

Yılmaz (2017), çalışmasında iki eksenli güneş takip sisteminin verimliliğini artırmak için bir fırçalı sabit mıknatıslı doğru akım motoru kullanmıştır. Bu motorla sistemde ki panellerin Doğu-Batı ve Kuzey-Güney doğrultusundaki hareketini sağlamıştır. İki eksen için 3 W olarak ölçülüp buda mevcut güneş takip sistemi için harcanan güç miktarı azaltılması için önemlidir. Güneş takip sistemlerinin dezavantajı takip sisteminin maliyeti ve takip sırasında harcadığı enerjidir. Bu çalışmada, tasarladığı sistemde damperli motoru kullanması hem maliyeti düşürmüştür, hem de takip esnasında harcanan enerjiyi aza indirmiştir (Yılmaz, 2017)

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışınım enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneşten gelen ışınım dağılımı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Güneşten gelen ışınımın dağılımı (Url-1, 2017)

Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır (Url-1, 2017).

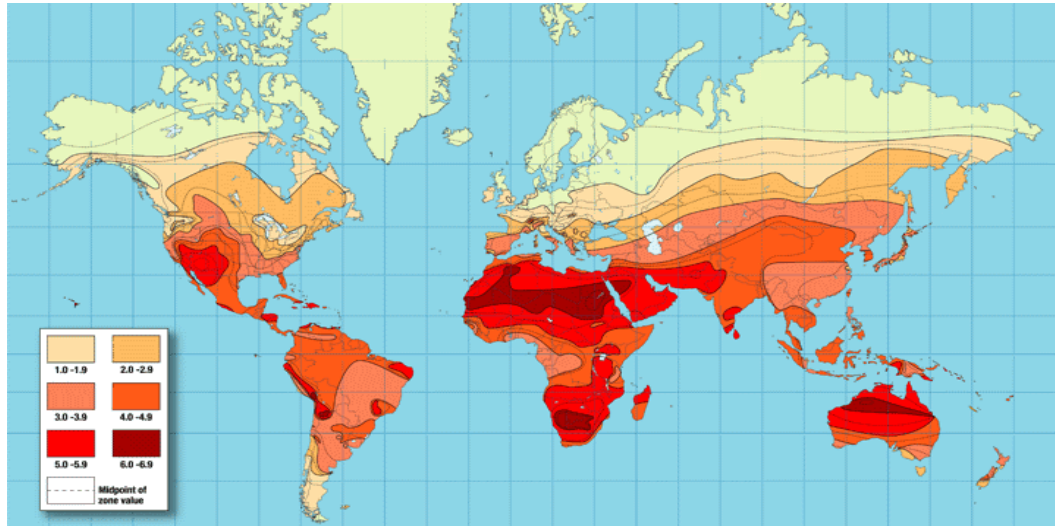
Dünya üzerine dağılan güneş ışınımı, güneşe olan uzaklık ve ışınların geliş açısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir noktadaki güneş ışınımı, yerin coğrafi

konumuna, dünyanın yıllık devinimi esnasında güneş ile arasındaki açının ve mesafenin değişimine ve günlük atmosfer olaylarına göre değişim göstermektedir. Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi (Url-2, 2017)

Dünya üzerinde güneş ışığı dağılımını gösteren Güneş enerjisi ışınım haritası Şekil 3.3’ de verilmiştir. Haritada koyu renkte işaretlenen bölgelerde, güneş enerjisi potansiyeli yüksek, açık renkte işaretlenen bölgelerde daha düşüktür. Şekil 3.3’ten görüldüğü gibi güneş ışınım şiddeti en fazla olan bölgeler ekvatora yakın olan bölgelerdir.



Şekil 3.3. Dünya ışınım haritası (Url-2, 2017)

3.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)’ de mevcut bulunan 1966 - 2007 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti

verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt (EİE) idaresi tarafından yapılan çalışmaya göre;

- Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, bu da günlük toplam 7,2 saate eşittir.
- Ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m² bu da günlük toplam 3,6 kWh/m² ye eşittir. Tablo 3.1'de aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir.

Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir(Url-3, 2017).

Tablo 3.1. Türkiye' nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam (kcal/cm ² -ay)	Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NİSAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.40	343.0
EYLÜL	10.60	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.90	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat /gün

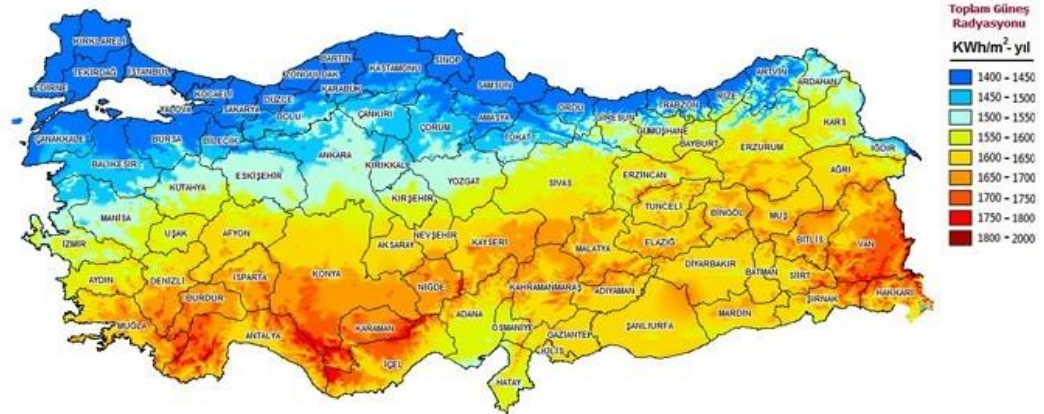
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılında EİE ile DMİ arasında işbirliği yapılarak, ülkemizin gerçek güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla yeni bir proje başlatılmıştır. Çeşitli illerde yeni gözlem istasyonları kurularak enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri alınmaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla olacağı öngörülmektedir.

Ülkemizin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin coğrafi bölgelerimize göre dağılımı Tablo 3.2'de görülmektedir (Url-3, 2017).

Tablo 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (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

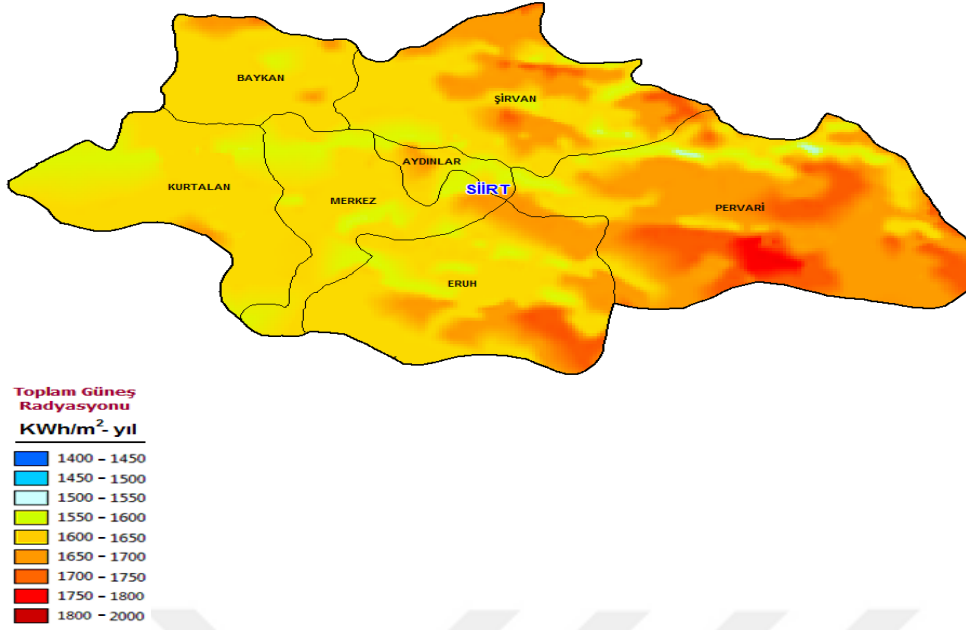
Türkiye güneş ışınım haritası Şekil 3.4'te verilmiştir. Haritada ışınım miktarının yüksek olduğu yerler koyu kırmızı tonlarda, ışınım miktarının az olduğu bölgeler ise koyu mavi tonlarda gösterilmiştir. Türkiye için güney bölgelerinin daha çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu buradan da görülmektedir.



Şekil 3.4. Türkiye'nin ışınım haritası (Url-4, 2017).

3.1.1. Siirt ili güneş enerjisi potansiyeli

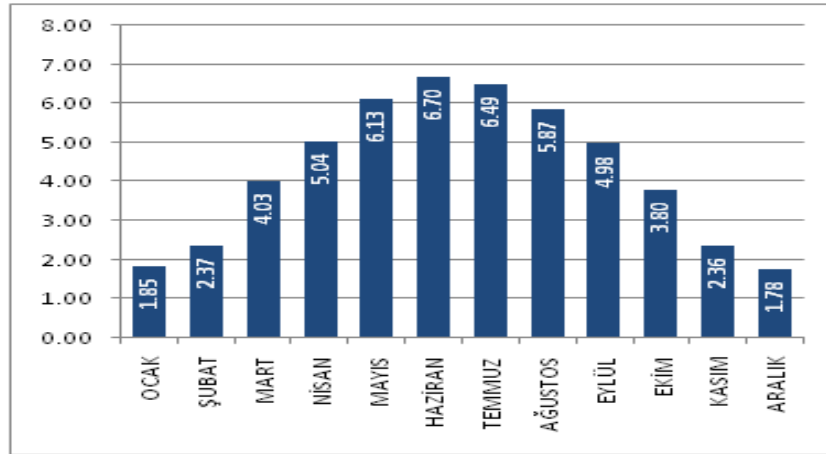
Bu tez çalışmamızda özellikle Siirt yöresi başta olmak üzere Güney Doğu Anadolu Bölgesi güneş enerjisi potansiyeli hakkında bilgi edinmemizi ayrıca bu bölgede kurulacak güneş enerjisi tesisi için önemli bir kaynak olacaktır. Siirt yöresi güneş ışınım şiddetine bakıldığında Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli için önemli bir yer olduğu görülmektedir. Siirt ilimizin güneş ışınım şiddeti Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Siirt ili güneş ışınım haritası (Url-5, 2017)

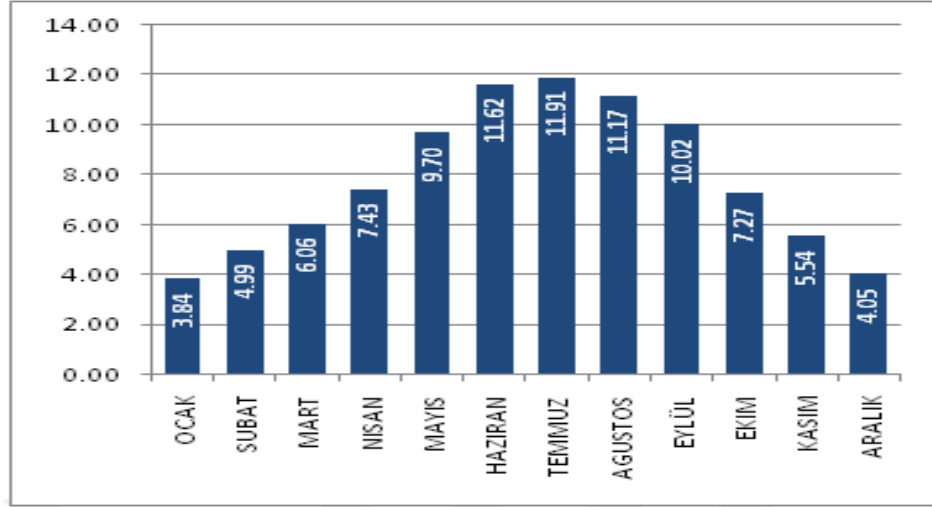
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi Siirt ili yıl genelinde yıllık ortalama 1700-1750 KWh/m²- yıl güneş ışınım potansiyeline sahiptir.

Siirt ilinin aylık ortalama radyasyon değerleri, en düşük Aralık ayında 1.78 kWh/m²-gün ve en yüksek Haziran ayında 6.70 kWh/m²-gün olmak üzere değişim göstermektedir. Siirt ili aylık ortalama radyasyon değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



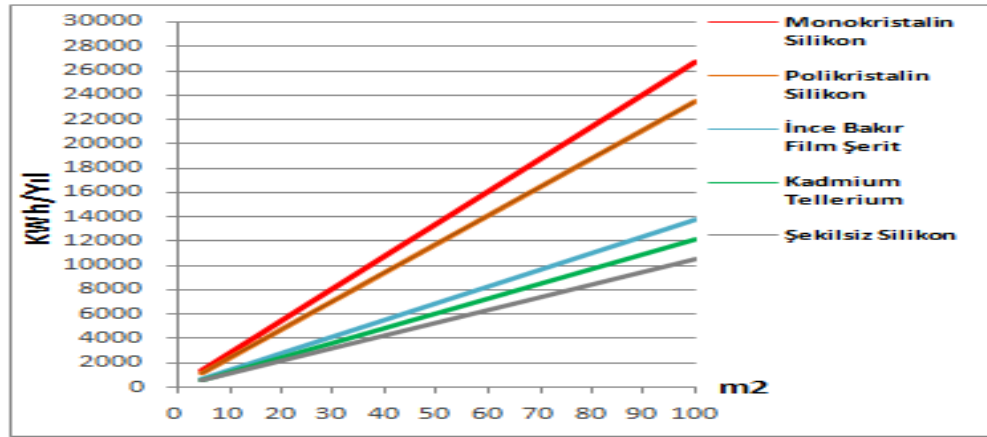
Şekil 3.6. Siirt ili global aylık ortalama radyasyon değerleri

Siirt ilimiz aylık ortalama güneşlenme süreleri, en düşük Aralık ayında 4.05 saat ve en yüksek Temmuz ayında 11.91 saat olmak üzere değişim göstermektedir. Siirt ili aylık ortalama güneşlenme süreleri Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Siirt ili aylık ortalama güneşlenme süreleri

Siirt ili güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında grafiklerden görüldüğü gibi güneş enerjisinden elektrik elde etmek için önemli konuma sahiptir. Bölgede tarımsal sulamanın çokça görüldüğü bu açıdan kullanılacak güneş panellerinde önemli ölçüde verimlilik artışı sağlanabilir.



Şekil 3.8. Siirt ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları (Url-5, 2017)

Siirt ilinde farklı yapıda hazırlanmış PV paneller için yıllık enerji üretim miktarları Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü PV panellerden yıllık elde edilen enerji miktarı en yüksek Monokristalin Silikon iken en düşük enerji üreten PV panel ise Şekilsiz Silikon panel olduğu görülmektedir(Url-5, 2017).

4. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ

4.1. Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, iş yapabilme yeteneğidir. Enerji kaynakları, genel olarak iki gruba ayrılmaktadır: yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları. Yenilenebilir enerji kaynağı, kendini kısa zamanda, yeniden kolayca dolduran ve doğal olarak yenileyen enerji kaynağıdır. Yenilenemez enerji kaynağı ise, bizim tükettiğimiz ve kısa zamanda yeniden üretilmediğimiz enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları (birincil enerji kaynakları), ikincil enerji kaynaklarını (elektrik ve hidrojen enerjisi gibi) üretmek için kullanılır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına, petrol ürünleri (benzin, dizel akaryakıtlar ve propan gibi), doğal gaz, kömür, uranyum (nükleer enerji) örnek verilebilir. Milyonlarca yıl önce yaşayan bitki ve hayvanların artıklarının toprak altında kalması ile oluşmuş kömür, petrol, doğal gaz ve propan gibi fosil yakıtlar, yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Uranyum madeni, katı bir maddedir ve maden ocaklarından çıkartılır. Daha sonra nükleer güç santrallerinde kullanılan yakıtı dönüştürülür. İkincil enerji kaynakları, enerji taşıyıcıları olarak da adlandırılır. Çünkü enerjiyi kullanılır bir formda, bir yerden diğerine taşırlar. En iyi bilinen iki enerji taşıyıcı, elektrik ve hidrojenidir. Çok fazla miktarda enerji gereksinimi olduğu zaman, birincil enerji kaynakları yerine, elektrik veya hidrojen enerjisini kullanmak daha kolay olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına; güneşten sağlanan güneş enerjisi (elektriğe ve ısıya dönüştürülebilir), rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji (dünyanın içindeki ısıdan elde edilen), biokütle enerjisi (ağaçlardan sağlanan odun, mısırdan sağlanan etanol ve sebze yağlarından elde edilen biyodizel) ve barajlardaki hidrotürbinlerden sağlanan hidrogüç örnek verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel özellikleri arasında çevresel açıdan temiz (çevre dostu) olması ve sera etkisi oluşturabilecek gazlar salgılamaması, büyük ölçekli kullanım için gerekli kaynağı sağlayabilmesi sayılabilir (Bedeloğlu ve ark., 2010).

4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumuna Bakış

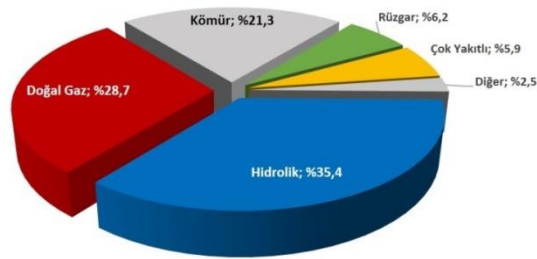
Günlük hayatımızda ve çeşitli sektörler de vazgeçemeyeceğimiz çeşitli faaliyetleri gerçekleştirmek için ihtiyaç duyduğumuz enerji, günümüzde, çok daha önemli hale gelerek ülkelerin ekonomik ve siyasi geleceklerini de belirleyecek bir

duruma gelmiştir. Günümüzdeki hızla artan nüfus ve teknolojideki ilerlemelere paralel olarak enerji ihtiyacı sürekli artarken özellikle fosil esaslı mevcut olan enerji kaynaklarının dünya üzerinde, kısıtlı ve tükenmekte olması, araştırmacıları yeni enerji kaynakları bulma ve geliştirmeye yöneltmektedir. Bunun yanında, son yıllarda, küresel ısınmanın fosil madde esaslı yakıtların da etkisiyle, dünyadaki yaşamsal faaliyetleri tehdit edecek bir boyuta ulaşması, enerjinin, çevresel açıdan en az zarar verecek biçimde üretimi, iletimi ve tüketiminin gerçekleştirilmesi konusuna ilginin çok daha fazla yoğunlaşmasına sebep olmuştur (Url-6, 2017).

4.2.1. Yenilenebilir enerjinin Türkiye'deki durumu

Ülkemizde 2015 yılında üretilen yaklaşık 260 milyar kilowatt saatlik (kWh) elektrik enerjisinde doğal gaz yakıtlı santrallerin payı %37,8 olarak gerçekleşmiştir. Doğal gazın yanında, 2015 yılında üretilen elektriğin %28,4'ü kömürden, %25,8'i hidrolik enerjiden, %4,4'ü rüzgârdan, %1,3'ü jeotermal kaynaklardan, %1,6'sı asfaltit ve petrol yakıtlı sıvı yakıtlardan, %0,6'sı biyogazdan temin edilmiştir.

2015 yılı sonu itibarı ile Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü 74.000 MW'a yaklaşmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi bu kurulu gücün %35,4'ünü hidrolik (barajlı ve akarsu) kaynağa dayalı üretim tesisleri, %28,7'sini doğal gaz çevrimli santraller, %21,3'ünü kömür santralleri, %6,2'ini rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri, %5,9'unu çok yakıtlı santraller, %0,8'ini jeotermal kaynaklı terminaller ve %1,7'sini diğer kaynaklar oluşturmaktadır (Url-7, 2017).



Şekil 4.1. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücün dağılımı

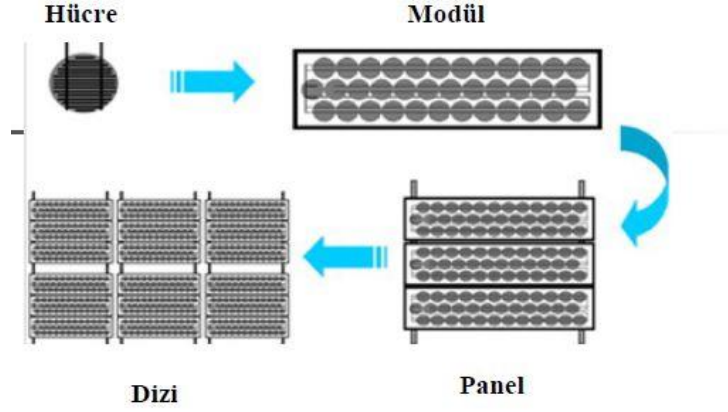
Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), 1981 yılında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca (ETKB) enerji kaynaklarının kullanımı ile yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konularında görevlendirilmiş ve 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile ise sanayi, ulaşım ve enerji sektörleri ile

binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalarda yeni görevler üstlenmiştir. EİEİ'nin faaliyet raporuna göre, ülkemizdeki yenilenebilir enerji üretiminde en önemli payı, hidroelektrik ve biokütle enerjisi almaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin payının ise şuan az olmakla birlikte gelecekte artması beklendiği belirtilmiştir (Bedeloğlu ve ark., 2010).

4.3. Güneş Pilleri

4.3.1. Güneş pillerinin tarihsel gelişimi

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (PV) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek PV olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında PV diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren PV diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. PV güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir. 1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır.

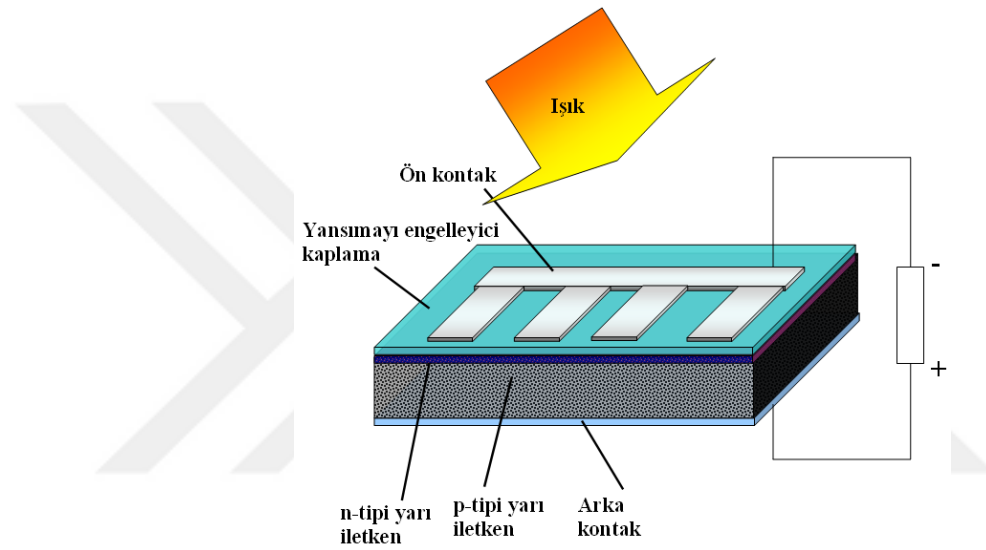


Şekil 4.2. Fotovoltaik gruplar

Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954’lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki “1. petrol bunalımı”nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika’da, Avrupa’da, Japonya’da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu nedenle daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan PV sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklediği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuvarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, PV sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir (Karamanav, 2007).

4.3.2. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması

Güneş pilleri ya da fotovoltaik piller, yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarındadır. Kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. PV etki silisyum gibi yarıiletken maddelerin içinde oluşur. Fotopil denen fotovoltaik hücreler, bir P-N denklemi, yani iki katmanlı bir yarı iletken bölge içerir. Bunların birindeki (“delik” diye de adlandırılan ve + elektrik yüküyle sonuçlanan) elektron azlığı ve diğerindeki (- yük sağlayan) fazlalığı, bu bölgenin her iki tarafında bir elektrik alanının oluşmasına yol açar.

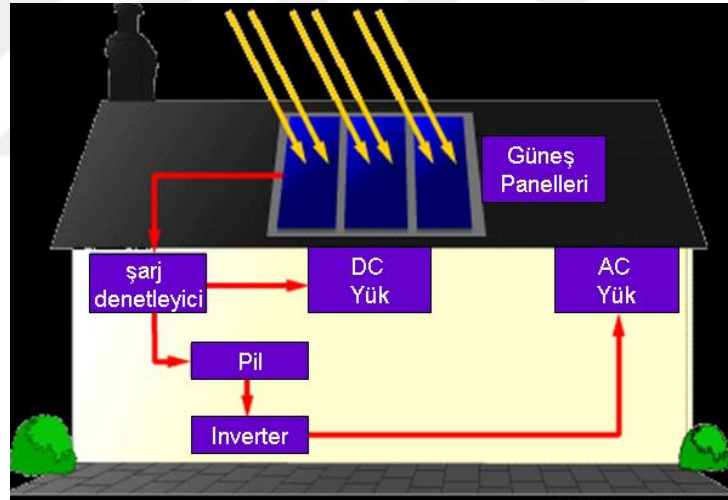


Şekil 4.3. Güneş pilinin şematik gösterimi

Yarıiletken tarafından emilen ışık akısının fotonları, yarıiletken parçanın iki tarafında ayrı ayrı toplanan elektron delik çiftlerini oluşturur. Bunun sonucunda, eklemin aydınlanan yüzüyle ve buraya düşen ışığın yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı meydana gelir. Açık, güneşli bir havada 1 desimetre çapında bir fotopil, yaklaşık olarak 1 Watt üretir. Verimi, kullanılan malzemeye göre değişir. Fotopiller genellikle çok kristalli ya da amorf (biçimsiz) silisyumdan yapılıdır. Çok kristalli silisyum yüksek güvenilirliğinden ve yüksek veriminden dolayı (%10-14) ilgi çekmektedir. Buna karşılık amorf silisyumu verimi daha düşük (%7). Bununla birlikte, daha ince katmanlar halinde kullanılabilirdiğinden daha az masraflıdır. Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarıiletken maddelerden yapılmaktadır. Yarıiletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenik, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını kullanarak doğrudan elektrik

enerjisine dönüştüren yarıiletkenleri içeren ve mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temizlerden birisi olan yapılarıdır (Şüyun, 2009).

Güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan MGN (maksimum güç noktası) izleyici cihazı bulunur. Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin blok şeması Şekil 4.4'te verilmiştir (Şüyun, 2009).



Şekil 4.4. Güneş enerji sisteminin şematik gösterimi (Url-8, 2017).

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler
- Hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma

- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma (Beyoğlu, 2011).

4.3.3. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır. PV hücre yapımında en çok tercih edilen materyallerin başında gelir.

Galyum Arsenik (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilmesi tahmin edilmektedir.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcı Hücresel: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır (Şüyun, 2009).

4.4. PV Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde elektrik üretimi için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan diğer yöntemlere göre fotovoltaik yapıların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

4.4.1. PV güneş sistemlerinin avantajları

- Herhangi bir fosil yakıtı ihtiyacı duymaz ve herhangi bir sisteme bağlantı gereksizdir bağımsız bir şekilde elektrik üretebilir.
- PV yapısında hareketli parçalar olmadığından elektrik üretiminde kullanılan hareketli sistemlere (Hidroelektrik veya rüzgâr türbinleri, jeneratörler vb.) göre daha az bakıma ihtiyaç duyarlar.
- Enerji girdisi hemen her yerde ücretsiz temin edilebilmektedir. Önemli artılardan biri de taşıma ve depolama gibi sorunları yoktur.
- Güçlü rüzgârlar, nem ve ısı, kar ve buzlanma gibi doğa olaylarına dayanıklıdır.
- Genelde enerji üretimi noktasıyla kullanım noktası arasında mesafeler çok kısa olduğu için oluşabilecek kayıplar yok denecek kadar azdır.
- Modüller bir yapıya sahip olduğundan güç çıkışı kolaylıkla artırılabilir. Mevcut modüllere yenilerinin eklenmesi ile çıkış gücü artırılabilir.
- Elektrik şebekesinden bağımsız çalışabileceği gibi inverter ve trafo grupları ile enterkonnekte sisteme enerji verebilir.
- Çevreye herhangi bir atık madde bırakmadığından çevre uyumludur (Nakir, 2007).

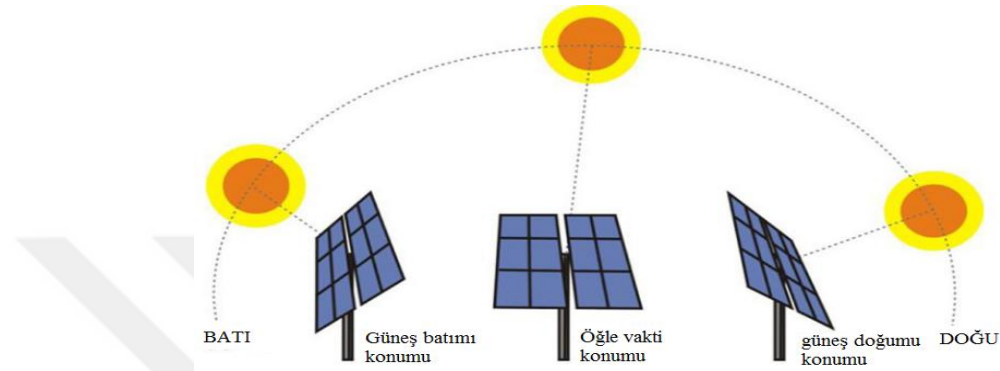
4.4.2. PV güneş sistemlerinin dezavantajları

- Büyük güçler üretilebilmesi için diğer sistemlere göre çok geniş alanlara ihtiyaç duyar.
- Işınımın olmadığı akşam saatlerinde enerji üretmez. Dolayısıyla şebekeden bağımsız yapılarda depolama sistemine ihtiyaç duyar.
- Kırılgan yapıda olduklarından modüllerin çerçevelendirilmesi gerekmektedir.
- Güneş pilleri yüksek üretim teknolojisi gerektirmeleri nedeniyle maliyetleri yüksektir (Nakir, 2007).

5. MATERYAL ve METOD

5.1. Güneş Takip Sistemleri

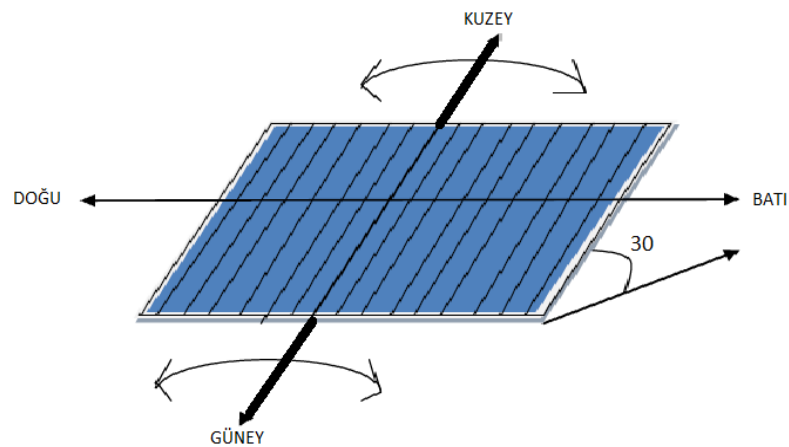
Güneş panellerinin tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere 2 şekilde güneşin hareketini takip etmesine dayalı sistemlerdir. Güneş takip sisteminin asıl amacı panelin güneş ışınlarını dik olarak almasını sağlayarak panelden alınan verimin artırılması amaçlanır.



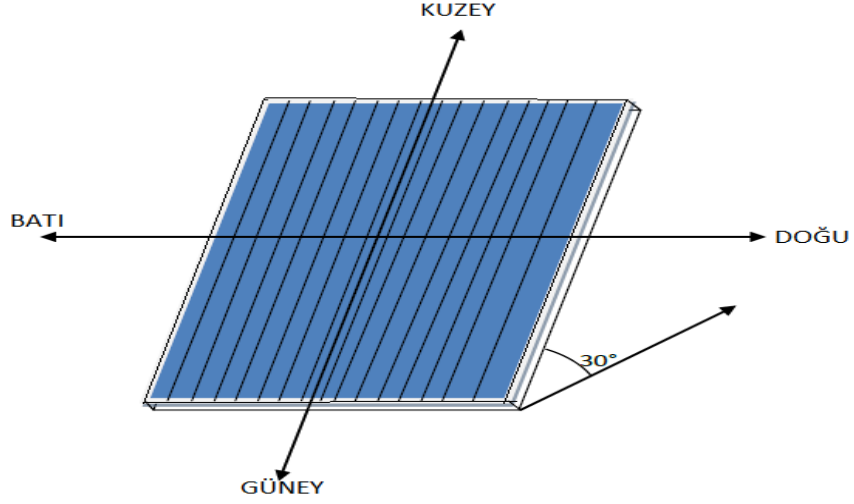
Şekil 5.1. Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi

5.1.1. Tek eksenli güneş takip sistemi

Bu kontrol sistemlerinde panel sadece tek eksenli hareket etmektedir. Siirt ili koordinatları göz önünde bulundurularak sabit panel enine eksenli boyunca 30° lik açıyla Kuzey-Güney doğrultusunda yerleştirilmiştir. Hareketli panel ise Doğu-Batı yönünde boyuna eksenli boyunca hareket etmektedir. Deneyde kullanılan panelin genel ve şematik gösterimi aşağıdaki Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir.



a) Hareketli panel



b) Sabit panel

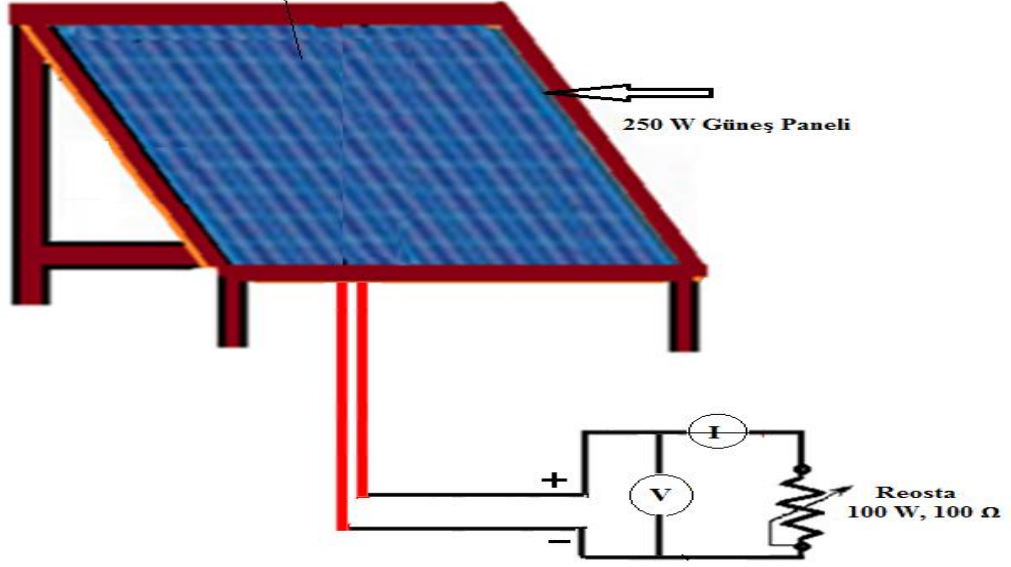
Şekil 5.2. (a) Sabit panel, (b) hareketli panel şematik gösterimi



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan sabit ve hareketli panel fotoğrafları

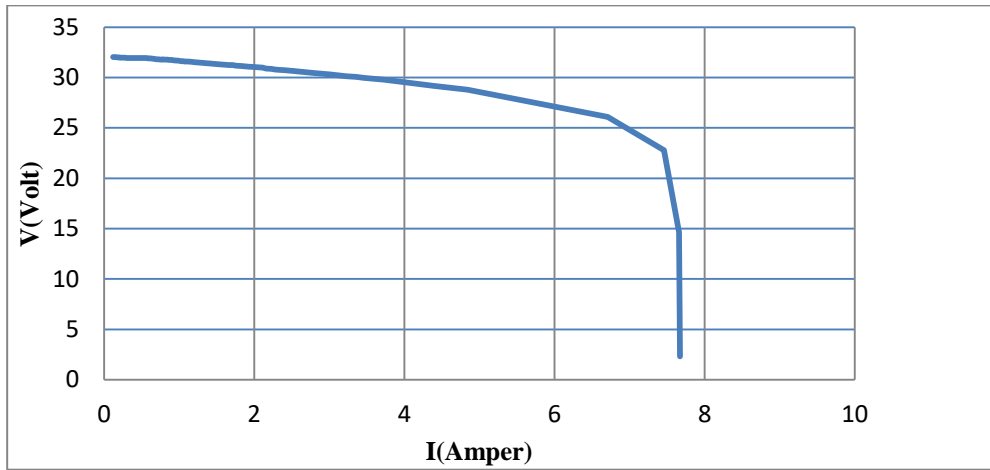
5.2. Güneş Panelinin P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi

Bu tez çalışmasında öncelikle deneylerde kullanılacak olan 250 W'lık güneş panellerinin P-V karakteristiği elde edilmiştir. Bu amaçla şematik gösterimi Şekil 5.4'te verilmiş olan deney düzeneği kurulmuştur.



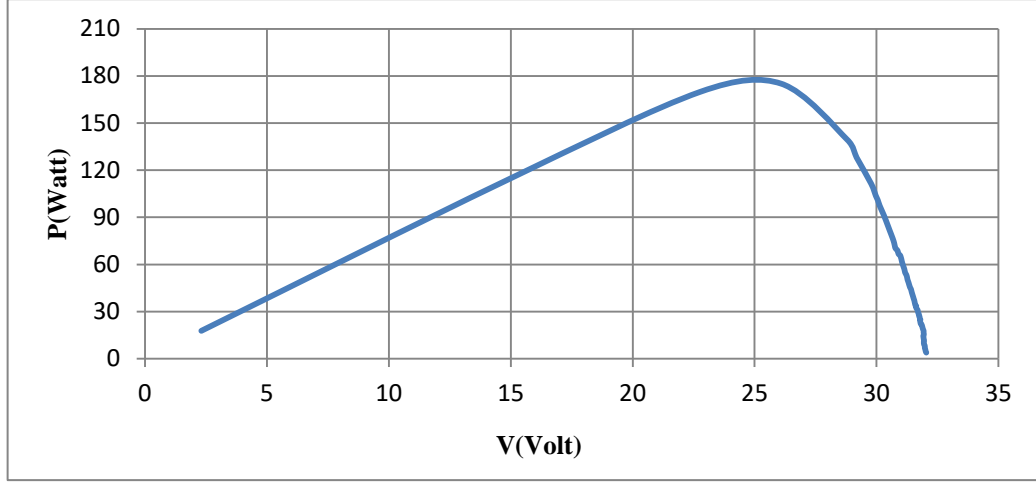
Şekil 5.4. Panelin P-V karakteristiğine ilişkin deney düzeneği

Şekilde şematik gösterimi verilen deney düzeneğinde 822 Watt/m^2 radyasyon düzeyi ve 45°C ortalama sıcaklığı için, 100 W'lık ayarlı reostanın direnci sıfır değerinden başlayarak $10,88 \Omega$ değerine kadar kademeli olarak arttırılmıştır. Her direnç artım değeri için ölçülen yük akımı ve yük gerilim değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.



a) I-V karakteristiği

Tablodaki ölçüm değerleri kullanılarak deneyde kullanılan panele ilişkin I-V ve P-V karakteristik eğrileri Şekil 5.5 a ve b'de verilmiştir.



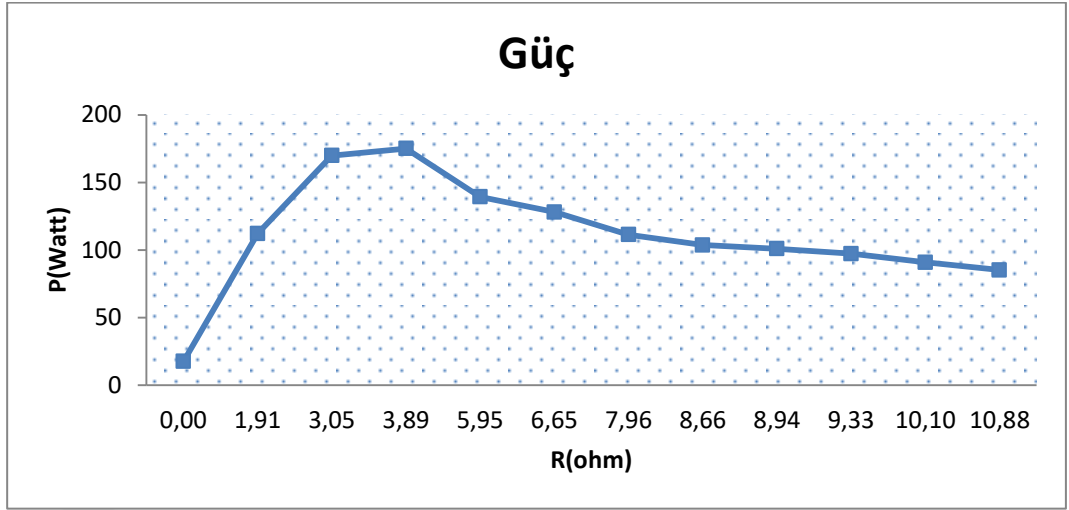
b) P-V karakteristiği

Şekil 5.5. Panele ilişkin (a) I-V karakteristiği, (b) P-V karakteristik eğrisi

Tablodaki ölçüm değerlerinden $R_y=3.89 \Omega$ için panelden maksimum güç çekildiği görülmüştür. Tablodaki veriler incelenecek olursa maksimum gücün çekildiği noktada akım 6,71 gerilim ise 26,09 olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan güneş panelinin yük direncinin değişimine akım, gerilim ve güç değerleri

Ayarlı Dirence Göre Maksimum Gücün İzlendiği Nokta				
Ölçüm	I (Akım)	V(Gerilim)	P (Güç)	R(Direnç)
1	7,67	2,309	17,71	0,00
2	7,66	14,65	112,22	1,91
3	7,46	22,77	169,86	3,05
4	6,71	26,09	175,06	3,89
5	4,84	28,80	139,39	5,95
6	4,39	29,18	128,10	6,65
7	3,74	29,78	111,38	7,96
8	3,46	29,97	103,70	8,66
9	3,36	30,05	100,97	8,94
10	3,23	30,13	97,32	9,33
11	3,00	30,31	90,93	10,10
12	2,80	30,45	85,26	10,88

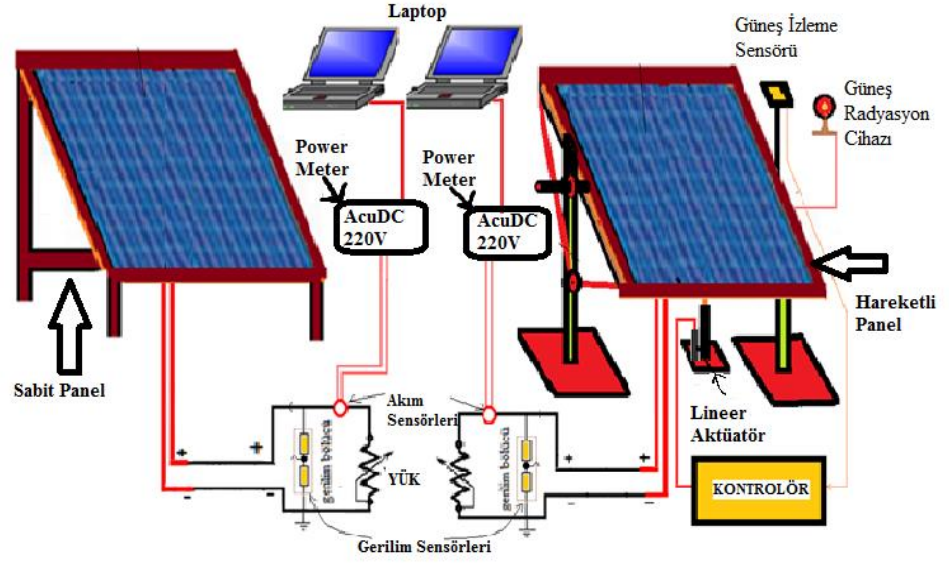


Şekil 5.6. Panel gücünün yük direncine göre değişim eğrisi

Tablo 5.1'deki veriler kullanılarak, panelden çekilen gücün yük direncine göre değişim eğrisi şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6'dan görüldüğü gibi maksimum gücün $R_y=3,89 \Omega$ 'da çekildiği görülmektedir. Sabit ve hareketli panel için kurulacak deney düzeneğinde yük dirençlerinin $R_y=3,89 \Omega$ seçilmesinin uygun olacağı görülmüştür.

5.3. Sabit ve Hareketli Panellere İlişkin Deney Düzenekleri

Tez çalışmasında amaçlanan deneysel ölçümleri elde edebilmek için; Siirt Üniversitesi Kezer Yerleşkesinde, tek eksen hareketli güneş takip sistemli 250 W'lık güneş paneli ile eşdeğer güçte sabit panel sistemi deneysel olarak kurulmuştur. Her iki güneş paneline eşdeğer $3,89 \Omega$ 'luk omik yükler bağlanarak 2 farklı günde gün boyunca deneyler yapılmıştır. Panellere bağlanan akım ve gerilim sensörleri üzerinden güç ölçüm (power meter) cihazı aracılığıyla 5 dakika aralıklarla gün boyunca veriler okunup, bilgisayar ortamına uygun bir ara yüz programı ile kaydedilmiştir. Her iki panelden gün boyunca 5 dakikalık aralıklarla ölçülen voltaj ve akım değerleri kullanılarak, hareketli panelin sabit panele göre verimlilik artışı incelenmiştir. Siirt Üniversitesi Kezer yerleşkesinde kurulan sistemin şematik gösterimi ve fotoğrafı sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Şematik gösterimi verilen 5.7’de verilen deney düzeneğinde hareketli ve sabit panel konularak her bir panele akım ve gerilim sensörleri bağlanmıştır. Hareketli panel lineer aktüatör ve güneş izleme sensörü ile gün boyunca güneş ışınları dik olarak panelin üzerine düşmesini sağlamaktadır. Her iki panele bağlanan güç ölçer cihazı aracılığıyla gün boyunca veriler uygun bir ara yüz programı ile bilgisayara aktarılıp kaydedilmiştir.



Şekil 5.8. Deney düzeneği genel fotoğrafı



a) Işık sensörü, Kontrolör, Lineer aktüatör, ve DC Power Meter



b) Radyasyon ölçüm cihazı

Şekil 5.9. Denei düzeneğinde kullanılan cihaz fotoğrafları

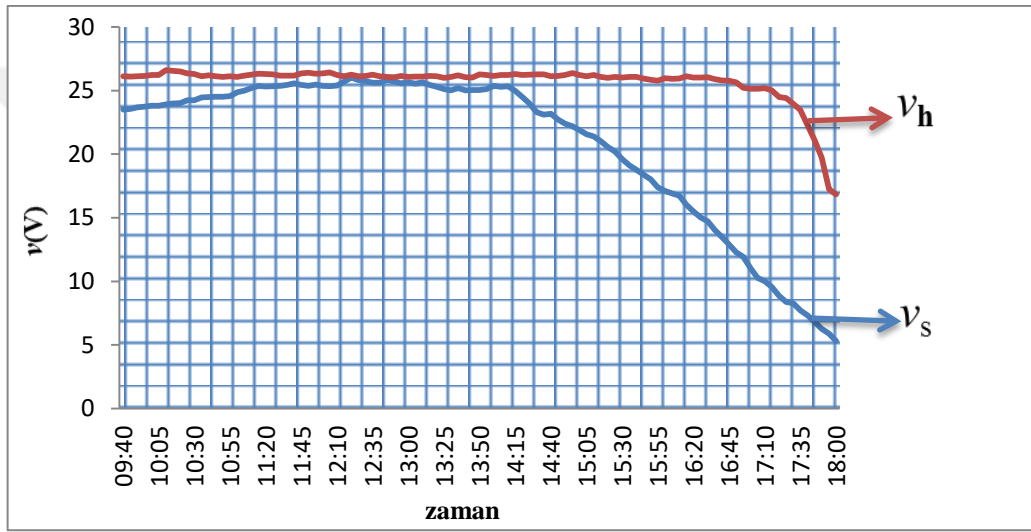
Deney süresince güneşin radyasyon düzeyini gerçek zamanda ölçmek için uygun özelliklere sahip olan bir radyasyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan güneş izleme sensörü (ışık sensörü), kontrolör, lineer aktüatör ve verileri anlık olarak kaydeden power meter fotoğrafları Şekil 5.9 a’da radyasyon ölçüm cihazının fotoğrafı ise Şekil 5.9 b’de verilmiştir.



6. DENEYSEL SONUÇLAR ve ANALİZLER

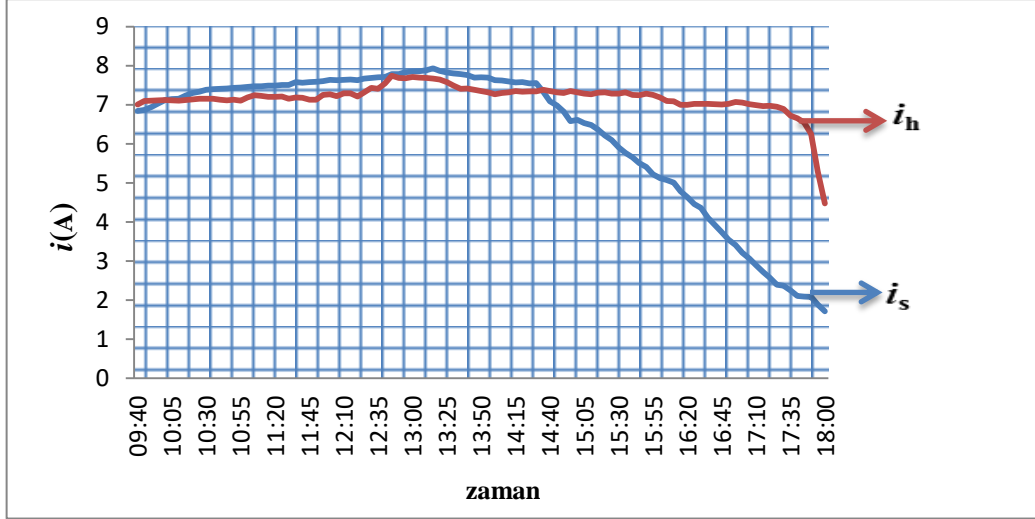
6.1. Sabit ve Hareketli Panele İlişkin Deneysel sonuçlar

04 Ağustos 2017 tarihinde açık ve güneşli bir günde yapmış olduğumuz deneyde sabit ve hareketli panelden Saat 9:40' tan akşam 18:00'e kadar 5 dakika aralıklarla elde edilen ölçüm ve hesaplanan ani güç verileri ekte verilen Tablo E1.1' de verilmiştir. Tablo E1.1'deki ölçüm değerleri kullanılarak sabit ve hareketli panelin voltaj (v), akım (i) ve güç (p) eğrileri sırasıyla Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'deki grafiklerle karşılaştırmalı olarak çizilmiştir.



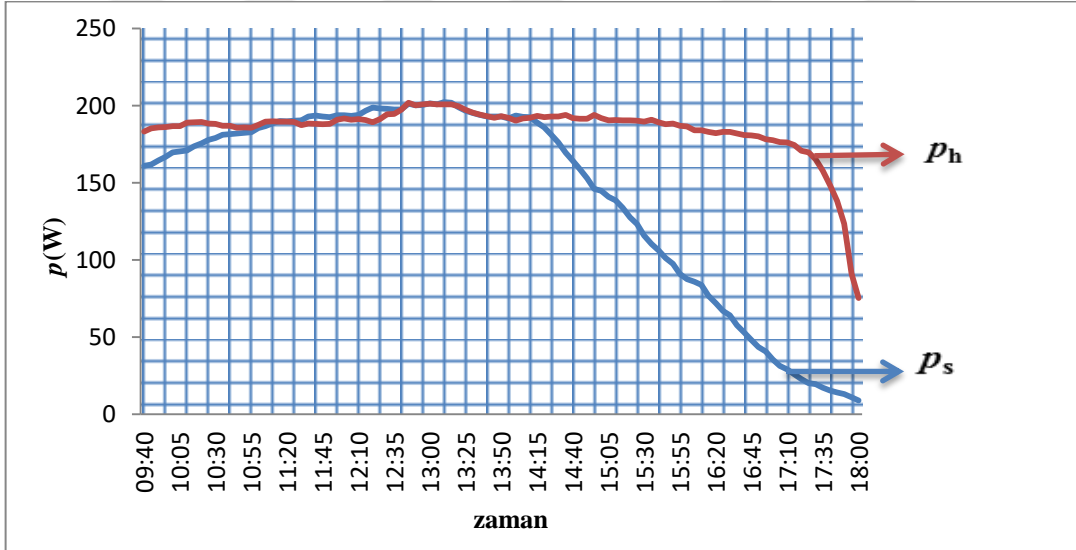
Şekil 6.1. 4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin voltaj değişim eğrileri (v_s : Sabit panel gerilimi, v_h : Hareketli panel gerilimi)

Şekil 6.1'deki grafikten hareketli panelden sabah ve akşam saatlerinde elde edilen voltaj değerleri sabit panele göre yüksek olduğu, öğle vakitlerinde ise güneş ışınları her iki panele dik gelmesi sebebiyle öğle saatleri 12:30-14:00 civarlarında elde edilen voltaj değerleri ise birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. 4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin akım değişim eğrileri (i_s : Sabit panel akımı, i_h : Hareketli panel akımı)

Şekil 6.2' de 4 Ağustos günü yapılan ölçümler sonucu hareketli ve sabit panele ilişkin akım eğrileri verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere akım değişim eğrileri hareketli panelin gün boyunca sabit olarak devam ettiği sabit panelin ise güneş ışınlarının etkisini kaybetmesiyle oldukça azaldığı yapılan deneysel sonuçlarda gözlemlenmiştir.

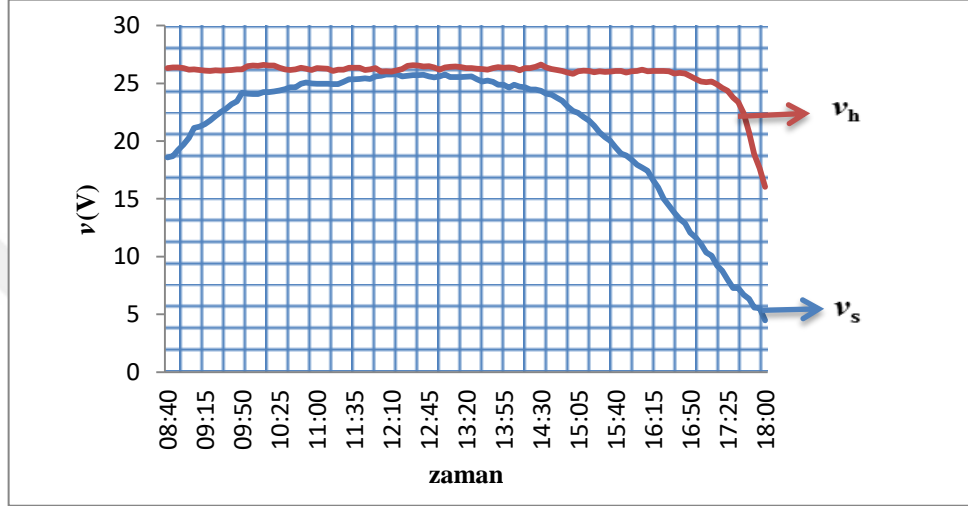


Şekil 6.3. 4 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin güç değişim eğrileri (p_s : Sabit panel gücü, p_h : Hareketli panel gücü)

04 Ağustos 2017 tarihinde yapmış olduğumuz ölçümlere ilişkin 6.3'deki p_s ve p_h eğrilerini karşılaştırdığımızda sabah ve akşam saatlerinde hareketli ve sabit panel arasında oldukça fazla güç farkı olduğu, öğlen saatlerinde ise her iki panelden ölçülen

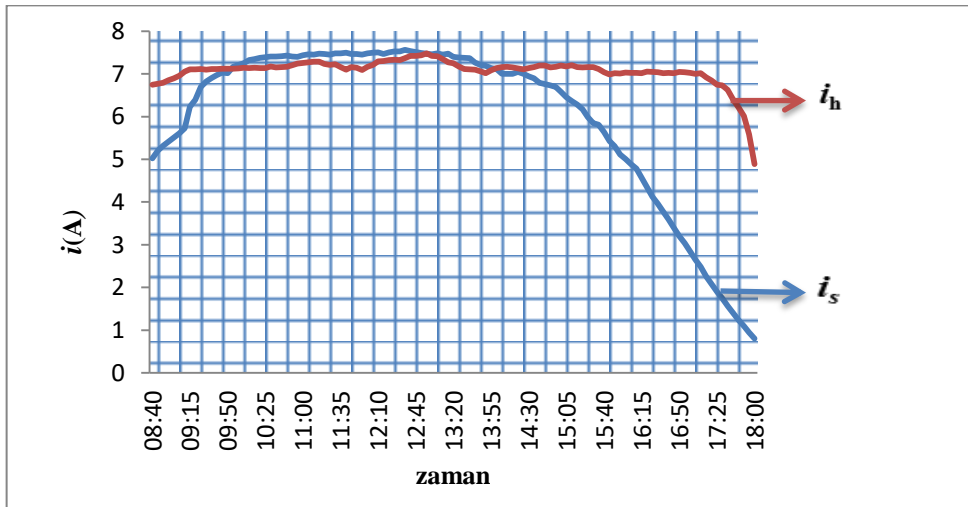
güç değerleri güneşin iki panele de dik gelmesi sebebiyle yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

05 Ağustos 2017 tarihinde saat 08:40' ta başlayıp 5 dakika aralıklarla saat 18:00'e kadar ölçüm yaptığımız deneyde hareketli ve sabit panelden elde edilen veriler kullanılarak çizilen v , i ve p verilerinin zaman göre değişim eğrileri sırasıyla Şekil 6.4, 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

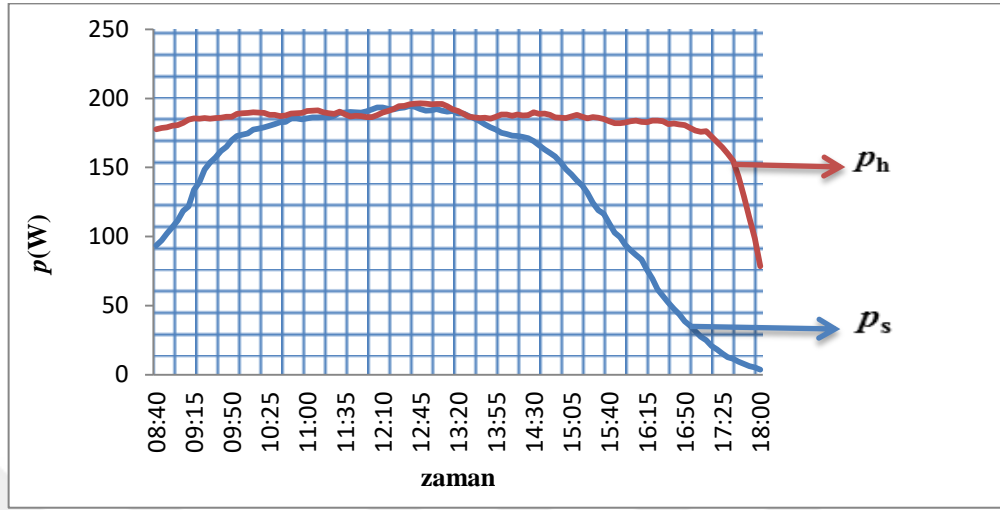


Şekil 6.4. 5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin voltaj değişim eğrileri (v_s : Sabit panel gerilimi, v_h : Hareketli panel gerilimi)

5 Ağustos 2017 tarihinde Şekil 6.4'te verilen hareketli ve sabit panele ilişkin gerilim eğrileri incelenecek olursa öğle saatlerinde her iki panelden yaklaşık 26-27 V olarak ölçüldüğü akşam saatlerine doğru ise hareketli panelin 23-25 V olarak ölçüldüğü sabit panelin ise 10-15 V'lara kadar düştüğü görülmüştür.



Şekil 6.5. 5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin akım değişim eğrileri (i_s : Sabit panel akımı, i_h : Hareketli panel akımı)

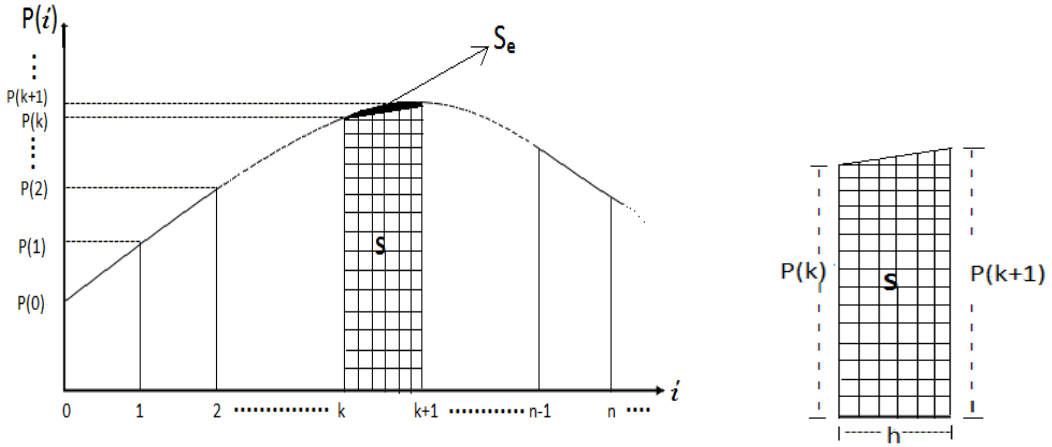


Şekil 6.6. 5 Ağustos günü için elde edilen hareketli ve sabit panelin güç değişim eğrileri (p_s : Sabit panel gücü, p_h : Hareketli panel gücü)

Şekil 6.6 ile verilmiş olan hareketli ve sabit panelden gün boyunca çekilen toplam enerji karşılaştırıldığında, sabit panelden çekilen enerji artışının güneş ışınlarının panele dik gelme açılarının değişmesi sebebiyle öğlen saatleri dışında oldukça azaldığı açıkça görülmektedir. Hareketli panelden çekilen enerji artışının ise gün boyunca yaklaşık olarak sabit olduğu görülmektedir.

6.2. Gün Boyunca Sabit ve Hareketli Panelden Çekilen Enerjinin Hesabı

4 Ağustos 2017 ve 5 Ağustos 2017 tarihlerine ilişkin Şekil 6.3 ve Şekil 6.6'daki sabit ve hareketli panele ilişkin güç eğrilerinin altındaki alanları ayrı ayrı hesaplayarak her bir panelin gün boyunca $3,89 \Omega$ 'luk yük dirençleri üzerinde harcadıkları enerji miktarlarını hesaplayabiliriz. Söz konusu eğrilerin Tablo E.1.1 ve E.1.2 ile verilen ölçüm değerleri kullanılarak dikdörtgen veya yamuk kuralı ile sayısal integrasyon işlemi ile gerçekleştirilebilir. Daha küçük hata ile sayısal integrasyon için öngörülen yamuk kuralı ile integral alma işleminin yaklaşık ifadesi aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.7. Sayısal integrasyon yöntemi ile yamuk kuralı grafiği

$$S_T = S + S_e \quad S_T = \text{Toplam Alan}, S = \text{Yaklaşık Alan}$$

$$S = \left[\frac{P(k) + P(k+1)}{2} \right] \cdot h \cong S_T \quad (6.1)$$

Yukarıdaki Şekil 6.7'deki k . ve $k+1$. ölçüm değerleri için yamuk kuralı ile verilen sayısal integrasyon ifadesi tüm p_i , $i=1,2,\dots,n$ ölçüm değerleri için göz önüne alınırsa; sabit ve hareketli panele ilişkin güç eğrilerinin altında kalan yaklaşık alan hesabı aşağıdaki Denklem 6.2 ile verilebilir.

$$W \cong \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(p_i + p_{i+1})}{2} \cdot h = \frac{h}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (p_i + p_{i+1}) \quad (6.2)$$

Burada n ölçüm değerleri h ise saat cinsinden ölçüm aralığıdır. Denklem (2)'deki ifade kullanılarak 4 Ağustos 2017 tarihine ilişkin Tablo E1.1' deki güç ölçüm verileri kullanılarak sabit ve hareketli panellerden gün boyunca çekilen yaklaşık enerji miktarını aşağıdaki Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 ile hesaplayabiliriz. Burada 0,083 değeri $h=5$ dakika ölçüm aralığının saat cinsinden değeridir.

$$W_s \cong \frac{0,083}{2} \cdot \sum_{i=1}^{100} (p_i + p_{i+1}) = 1.184,67 \quad (6.3)$$

$$W_h \cong \frac{0,083}{2} \cdot \sum_{i=1}^{100} (p_i + p_{i+1}) = 1.544,15 \quad (6.4)$$

Burada W_s , sabit panelden W_h ise hareketli panelden gün boyunca çekilen enerji miktarının toplamıdır. Bu enerji miktarlarını kullanarak, hareketli panelin sabit panele göre elde edilen günlük ortalama enerji artışı;

$$\frac{W_h - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{1.544,15 - 1.184,67}{1.184,67} \cdot 100 \cong \%31 \quad (6.5)$$

olarak elde edilir. Yani hareketli panelin sabit panele göre gün boyunca enerji verimliliği yaklaşık %31 olarak elde edilir.

Denklem 6.3 ve 6.4'ten elde edilen enerji toplamı, sırasıyla sabit ve hareketli panelden 8 saat süre boyunca elde edilen enerji toplamlarıdır. Bu enerji toplamlarını 8 saate bölersek her bir panelin gün boyunca bir saatte üretmiş oldukları ortalama enerji miktarı Watt.Saat veya KWatt.Saat cinsinden ifade edecek olursak:

Sabit panel için;

$$W_s = \frac{1.184,67}{8} = 148,08 \text{ (Watt. Saat)} = 0,14808 \text{ (KW. Saat)}$$

hareketli panel için;

$$W_h = \frac{1.544,15}{8} = 193,01 \text{ (Watt. saat)} = 0,19301 \text{ (KW. Saat)}$$

olarak elde edilir.

Gün boyunca üretilen ortalama enerji miktarları joule (Watt.Sn) veya KJoule cinsinden elde edecek olursak:

Sabit panel için;

$$W_s = 148,08 \times 3600 = 533.088 \text{ (joule)} \cong 534 \text{ (KJoule)}$$

hareketli panel için;

$$W_h = 193,01 \times 3600 = 694.836 \text{ (joule)} \cong 695 \text{ (KJoule)} \text{ olarak elde edilir.}$$

5 Ağustos 2017 tarihinde Saat 08:40-18:00 arası yaptığımız ölçümler sonucu hareketli ve sabit panele ilişkin Tablo E1.2' de verilmiş olan güç ölçüm verileri ve enerji hesabı için verdiğimiz Denklem 2'deki genel ifade kullanılarak yük dirençlerinin eşdeğer ve sabit olduğu sabit ve hareketli panellerden çekilen enerji toplamı:

Sabit panel için;

$$W_s \cong \frac{0,083}{2} \cdot \sum_{i=1}^{112} (p_i + p_{i+1}) = 1.285,28 \quad (6.6)$$

Hareketli panel için;

$$W_h \cong \frac{0,083}{2} \cdot \sum_{i=1}^{112} (p_i + p_{i+1}) = 1.704,86 \quad (6.7)$$

olarak elde edilir.

Bu enerji miktarlarını kullanarak, 5 Ağustos Cumartesi günü hareketli panelin sabit panele göre elde edilen günlük ortalama enerji artışı;

$$\frac{W_h - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{1.704,86 - 1.285,28}{1.285,28} \cdot 100 \cong \%33 \quad (6.8)$$

olarak elde edilir. Yani hareketli panelin sabit panele göre gün boyunca enerji verimliliği yaklaşık %33 olarak elde edilir.

Denklem 6.6 ve 6.7'den elde edilen enerji toplamı, sırasıyla sabit ve hareketli panelden 9 saat süre boyunca elde edilen enerji toplamlarıdır. Bu enerji toplamlarını 9 saate bölersek her bir panelin gün boyunca bir saatte üretmiş oldukları ortalama enerji miktarı watt.saat veya kwatt.saat cinsinden ifade edecek olursak;

$$W_s = \frac{1.285,28}{9} = 142,80 \text{ (Watt. Saat)} = 0,14280 \text{ (KW. Saat)}$$

$$W_h = \frac{1.704,86}{9} = 189,42 \text{ (Watt. Saat)} = 0,18942 \text{ (KW. Saat)}$$

Gün boyunca üretilen ortalama enerji miktarları joule (Watt.Sn) ve KJoule cinsinden elde edecek olursak, sabit panel için;

$$W_s = 142,80 \times 3600 = 514.080 \text{ (Joule)} \cong 515 \text{ (KJoule)}$$

Hareketli panel için;

$$W_h = 189,42 \times 3600 = 681.912 \text{ (Joule)} \cong 682 \text{ (KJoule)} \text{ olarak elde edilir.}$$

5 Ağustos günü verimin daha yüksek çıkmasının sebebi; daha erken ölçüm yapıldığında sabahın ilk saatlerinde hareketli panelin sabit panele göre daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Güneşin sabah panellere düştüğü andan itibaren ölçüm yapıldığında verimin %40 düzeyine yaklaşabileceği aşıkardır.



7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; tek eksenli güneş takip sistemli 250 W'lık güneş paneli ile aynı güçte sabit olarak en uygun biçimde konumlanmış eşdeğer güneş paneli deneysel olarak kurulmuştur. Her iki güneş paneline omik yük bağlanarak gün boyunca ölçümler yapılmıştır. Her iki panelden gün boyunca elde edilecek olan ani güç değişimleri ölçülerek, hareketli panelin sabit panele göre verimlilik artışı incelenmiştir. Deneysel işlemlerimiz sonucunda iki farklı gün boyunca sabit ve hareketli panel için elde edilen Akım, Gerilim ve Güç değerlerini kullanarak hareketli panelin sabit panele göre verimlilik artışı incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerden hareketli panelin sabit panele göre yaklaşık %30-35 arasında daha verimli olduğu görülmüştür. Bu çalışmamız ile Siirt yöresi başta olmak üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kurulmakta ve kurulacak olan güneş panellerinin güneş izleme sistemli olarak kurulmasının bölge ve ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca Güneydoğu Anadolu bölgesinde önem arz eden tarımsal sulamada kullanılan güneş panellerinin güneş izleme sistemi kullanılarak yapılması durumunda önemli ölçüde verimlilik artışı sağlanacaktır. Böylece önemli bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin daha verimli kullanılması sonucu ülke ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

7.2. Öneriler

Yaptığımız çalışma başta Siirt yöresi olmak üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi için tek eksenli güneş takip sisteminin verimlilik artışını 250 W'lık güneş panelleriyle kullanılarak araştırılmıştır. Aynı sistem için çift eksenli güneş takip sistemi kullanılarak yıl boyunca enerji verimlilik artışı araştırılabilir.

Güneş takip sistemleri verimi artırmakla beraber kurulum maliyetlerini de yükseltmektedir. Güneş enerjisi kullanımının birçok avantajına karşılık güneş panellerinin kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek ve kendilerini amorti edebilme süreleri ise oldukça uzun olma gibi dezavantajları da vardır. Güneş takip sisteminin kurulum maliyet analizi yapılarak amortisman hesabı yapılabilir.



8. KAYNAKLAR

- Arifoğlu, B., Çamur, S., Beşer, E.K., Beşer, E., 2009, Güneş Panellerinin Üretim Kapasitesini Arttıracak, Güneşi Takip Edebilen Güneş Panel Sisteminin Prototipi, *Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği*, 124-128.
- Acakpovi, A., Asabere, N.Y., Sunny, D.B., 2015, Low Cost Two-Axis Automatic Solar Tracking System, *Foundation of Computer Science FCS*, New York, ABD, 3(8), 46-53.
- Altınışık, U., 2016, Su Soğutma ile Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt.
- Armakan, E., 2003, Analysis Of Two- Axis Sun Tracking System, Master Of Science, *Dokuz Eylül University Izmir Institute of Technology*, İzmir.
- Beyoglu, M.F., 2011, Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Bilgin, Z., 2006. Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çalışkan, H., Öztürk, H.K., 2008, Güneş Takip sistemlerinin İncelenmesi, 2. *Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 96-111.
- Eskiçırak, U., Akyol, T., Karakaya, M.B., 2012, Sun Tracking System, *İstanbul Aydın University Journal*, 4(14), 1 - 6.
- Gündoğdu, K., Kabadayı., H.S., Öztürk, A., 2016, Fotovoltaik Paneller İçin Güneş Takip Edebilen Basit ve Ekonomik Bir Sistem Tasarımı, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 634-639.
- İşcan, S., Karayel, R., Özcan, Z.O., Gürleyen, Ş., 2012, Güneş Takip Sistemi (2 Yönlü), *Proje Tabanlı Mekatronik Çalıştayı*, Ilgaz, Çankırı.
- Karamanav, M., 2007, Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Nakir, İ., 2007, Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS Ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Oral, G., Uçan, O.N., (2012) Solar Tracking Systems and A Two-Axis Active Prototype With Stepwise Movement, *İstanbul Aydın University Journal*, 3(4), 693-700.
- Önal, M.A., 2009, İki Eksenli Güneş İzleme Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Özçelik, M.A., Yılmaz, A.S., 2012, PV Sistemlerde Farklı Işınım Değerlerinde Verimliliğin Arttırılması, *2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh. Sempozyumu*, Bursa, 811-814.
- Rustemli, S., Dinçadam, F., Demirtas, M., 2010. Performance Comparison of the Sun Tracking System and Fixed System in the Application of Heating and Lighting, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 35(2B), 171–183.
- Rustemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., Cengiz, M.S., 2013, Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 141-147.
- Sungur, C., 2009, Multi-Axes Sun-Tracking System With PLC Control For Photovoltaic Panels İn 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.

- Tomson, T.,2008, Discrete Two-Positional Tracking Of Solar Collectors, *Renewable Energy*, Tallin, Estonia, 33(3), 400-405.
- Tudorache, T., Kreindler, L., 2010, Design Of A Solar Tracker System For PV Power Plants, *Acta Polytechnica Hungarica*, Hungary, 7(1), 23-39.
- Uzunok, S., 2007, Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya.
- 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.
- Url-1<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx>,[Ziyaret Tarihi: 04 Haziran 2017].
- Url-2<<http://www.gunessistemleri.com/potansiyel.php>>,[Ziyaret Tarihi:5 Haziran 2017].
- Url-3<<http://www.nukte.org/node/163>>, [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2017].
- Url-4<<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> >, [Ziyaret Tarihi: 17 Haziran 2017].
- Url-5<<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/56.aspx>>,[Ziyaret Tarihi: 17 Temmuz 2017].
- Url-6<<http://www.solar-academy.com/menus/fotovoltaik-teknolojisi>>,[Ziyaret Tarihi: 19 Temmuz 2017].
- Url-7< http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa >, [Ziyaret Tarihi: 21 Temmuz 2017].
- Url-8<<http://www.limitsizenerji.com/fotovoltaik-sistemler-ve-bileenleri/>>,[Ziyaret Tarihi: 29 Temmuz 2017].

EKLER

EK-1 4 ve 5 Ağustos Günlerinde Hareketli ve Sabit Panelden Elde Edilen Veriler

E1.1. 4 Ağustos Cuma günü için hareketli ve sabit panelden elde edilen veriler

Saat	v_s	i_s	p_s	v_h	i_h	p_h
09:40	23,5	6,85	160,975	26,12	7,02	183,232
09:45	23,55	6,88	161,930	26,1	7,10	185,310
09:50	23,68	6,95	164,552	26,13	7,11	185,863
09:55	23,11	7,03	162,533	26,15	7,12	186,136
10:00	23,81	7,13	169,694	26,21	7,12	186,694
10:05	23,8	7,15	170,265	26,22	7,12	186,686
10:10	23,91	7,16	171,076	26,59	7,11	189,002
10:15	23,99	7,24	173,664	26,55	7,13	189,302
10:20	24,02	7,31	175,538	26,51	7,15	189,414
10:25	24,23	7,34	177,776	26,34	7,16	188,496
10:30	24,23	7,39	179,084	26,29	7,16	188,271
10:35	24,46	7,41	181,126	26,13	7,16	187,020
10:40	24,49	7,41	181,569	26,2	7,14	186,937
10:45	24,51	7,42	181,889	26,11	7,12	185,799
10:50	24,52	7,44	182,380	26,06	7,13	185,834
10:55	24,55	7,45	182,873	26,11	7,11	185,694
11:00	24,86	7,47	185,605	26,06	7,20	187,515
11:05	24,99	7,48	186,850	26,16	7,25	189,634
11:10	25,01	7,48	187,100	26,25	7,24	189,948
11:15	25,36	7,49	189,972	26,32	7,21	189,636
11:20	25	7,50	187,475	26,29	7,21	189,603
11:25	25,34	7,51	190,253	26,26	7,22	189,492
11:30	25,37	7,51	190,478	26,18	7,16	187,463
11:35	25,45	7,59	193,038	26,18	7,19	188,313
11:40	25,56	7,57	193,515	26,18	7,19	188,103
11:45	25,45	7,59	193,064	26,36	7,13	188,002
11:50	25,36	7,59	192,558	26,39	7,13	188,210
11:55	25,47	7,61	193,801	26,79	7,26	194,378
12:00	25,37	7,64	193,801	26,36	7,27	191,655
12:05	25,34	7,63	193,370	26,42	7,22	190,834
12:10	25,4	7,64	194,081	26,21	7,30	191,299
12:15	25,5	7,65	195,152	26,11	7,30	190,633
12:20	26,02	7,64	198,741	26,24	7,21	189,295
12:25	25,82	7,67	198,091	26,11	7,33	191,307
12:30	25,74	7,69	197,889	26,14	7,44	194,368
12:35	25,62	7,71	197,453	26,25	7,41	194,625
12:40	25,61	7,72	197,632	26,11	7,55	197,227
12:45	25,7	7,79	200,306	26,06	7,75	201,965
12:50	25,71	7,79	200,204	26,05	7,69	200,325

12:55	25,58	7,84	200,470	26,15	7,68	200,910
13:00	25,56	7,85	200,748	26,2	7,72	202,264
13:05	25,55	7,86	200,874	26,18	7,70	201,586
13:10	25,65	7,89	202,302	26,1	7,70	200,840
13:15	25,45	7,93	201,920	26,15	7,68	200,806
13:20	25,28	7,88	199,080	26,11	7,65	199,663
13:25	25,12	7,83	196,639	26,25	7,59	199,159
13:30	24,89	7,81	194,316	26,28	7,50	197,023
13:35	24,88	7,79	193,915	26,19	7,42	194,227
13:40	24,86	7,76	192,963	26,04	7,42	193,227
13:45	25,05	7,70	192,935	26,01	7,39	192,196
13:50	25,04	7,71	193,033	26,26	7,35	193,139
13:55	24,91	7,70	191,707	26,23	7,32	192,082
14:00	25,36	7,63	193,573	26,14	7,28	190,196
14:05	25,29	7,62	192,811	26,23	7,31	191,636
14:10	25,33	7,60	192,483	26,23	7,32	192,109
14:15	24,96	7,57	189,022	26,29	7,35	193,352
14:20	24,49	7,59	185,855	26,21	7,34	192,460
14:25	23,99	7,56	181,244	26,55	7,35	195,089
14:30	23,31	7,56	176,154	26,56	7,35	195,163
14:35	23,09	7,34	169,527	26,46	7,39	195,486
14:40	23,18	7,09	164,393	26,11	7,35	192,013
14:45	22,73	6,99	158,883	26,15	7,32	191,441
14:50	22,39	6,83	152,857	26,23	7,31	191,611
14:55	22,19	6,58	146,077	26,58	7,36	195,496
15:00	21,89	6,62	144,846	26,51	7,32	194,106
15:05	21,57	6,54	140,960	26,32	7,29	191,978
15:10	21,38	6,48	138,628	26,83	7,27	195,108
15:15	21,01	6,38	133,960	26,06	7,31	190,576
15:20	20,56	6,21	127,739	26	7,32	190,395
15:25	20,01	6,10	122,061	26,08	7,29	190,224
15:30	19,6	5,91	115,856	26,03	7,29	189,730
15:35	19,13	5,77	110,418	26,08	7,32	190,898
15:40	18,78	5,66	106,295	26,58	7,25	192,811
15:45	18,39	5,51	101,366	25,95	7,25	188,065
15:50	18,02	5,41	97,560	25,85	7,29	188,369
15:55	17,39	5,22	90,828	25,76	7,26	186,889
16:00	17,11	5,12	87,637	25,96	7,19	186,626
16:05	16,75	5,08	85,057	25,92	7,10	184,084
16:10	16,73	5,01	83,817	26,01	7,10	184,541
16:15	16,02	4,79	76,800	26,11	7,01	182,953
16:20	15,5	4,64	71,982	26,01	7,00	182,122
16:25	15,03	4,46	67,094	26,03	7,03	182,965
16:30	14,71	4,37	64,224	26,04	7,03	182,962
16:35	14,04	4,11	57,704	25,89	7,03	182,003

16:40	13,48	3,93	52,976	25,8	7,02	181,013
16:45	12,88	3,74	48,197	25,76	7,01	180,681
16:50	12,29	3,55	43,617	25,64	7,03	180,180
16:55	11,92	3,41	40,683	25,21	7,07	178,347
17:00	11,01	3,22	35,452	25,14	7,06	177,555
17:05	10,27	3,07	31,498	25,13	7,02	176,328
17:10	10,02	2,90	29,058	25,18	6,99	176,113
17:15	9,56	2,73	26,080	25,02	6,97	174,421
17:20	8,87	2,57	22,823	24,89	6,98	173,624
17:25	8,39	2,40	20,102	24,41	6,95	169,744
17:30	8,29	2,37	19,672	23,95	6,90	165,181
17:35	7,2	2,15	15,480	23,48	6,72	157,821
17:40	7,01	2,11	14,791	23,11	6,66	153,817
17:45	6,81	2,09	14,233	22,95	6,65	152,618
17:50	6,27	2,08	13,067	20,75	6,26	129,848
17:55	5,9	1,20	7,080	17,23	5,29	91,205
18:00	5,31	1,10	5,841	16,83	5,15	86,675

E1.2. 5 Ağustos Cumartesi günü için hareketli ve sabit panelden elde edilen veriler

Saat	v_s	i_s	p_s	v_h	i_h	p_h
08:40	18,01	5,03	90,536	26,32	6,85	180,292
08:45	18,71	5,20	97,329	26,37	6,87	181,162
08:50	19,22	5,31	102,097	26,38	6,89	181,758
08:55	19,71	5,42	106,730	26,31	6,90	181,539
09:00	20,27	5,51	111,708	26,18	6,90	180,642
09:05	21,13	5,61	118,518	26,2	6,96	182,352
09:10	21,25	5,73	121,741	26,16	7,06	184,585
09:15	21,46	6,23	133,782	26,1	7,11	185,571
09:20	21,78	6,40	139,348	26,08	7,11	185,298
09:25	22,16	6,70	148,428	26,12	7,12	185,844
09:30	22,53	6,82	153,632	26,1	7,10	185,310
09:35	22,8	6,90	157,388	26,13	7,11	185,863
09:40	23,2	6,98	161,843	26,15	7,12	186,136
09:45	23,45	7,04	164,971	26,21	7,12	186,694
09:50	24,2	7,01	169,739	26,22	7,12	186,686
09:55	24,11	7,17	172,893	26,49	7,13	188,741
10:00	24,08	7,21	173,713	26,55	7,13	189,302
10:05	24,08	7,25	174,628	26,51	7,15	189,414
10:10	24,24	7,32	177,510	26,6	7,14	189,924
10:15	24,23	7,35	178,115	26,55	7,15	189,700
10:20	24,3	7,37	179,188	26,53	7,14	189,424
10:25	24,38	7,39	180,241	26,35	7,14	188,007
10:30	24,48	7,41	181,299	26,21	7,18	188,083
10:35	24,67	7,41	182,829	26,16	7,15	187,070

10:40	24,67	7,42	183,002	26,2	7,16	187,644
10:45	24,97	7,43	185,477	26,36	7,17	188,948
10:50	25,07	7,41	185,643	26,26	7,20	189,177
10:55	24,99	7,40	184,951	26,15	7,25	189,457
11:00	24,95	7,44	185,653	26,32	7,26	190,952
11:05	24,96	7,46	186,252	26,29	7,27	191,181
11:10	24,97	7,46	186,151	26,26	7,29	191,330
11:15	24,94	7,48	186,427	26,08	7,29	190,071
11:20	24,94	7,47	186,252	26,18	7,23	189,360
11:25	25,14	7,45	187,368	26,18	7,22	188,889
11:30	25,35	7,48	189,694	26,36	7,22	190,425
11:35	25,36	7,49	189,845	26,35	7,16	188,640
11:40	25,38	7,50	190,223	26,35	7,10	187,006
11:45	25,44	7,47	189,935	26,16	7,16	187,358
11:50	25,39	7,47	189,689	26,22	7,14	187,263
11:55	25,59	7,45	190,748	26,31	7,09	186,512
12:00	25,66	7,48	191,962	26,01	7,17	186,518
12:05	25,78	7,50	193,350	26,04	7,21	187,853
12:10	25,77	7,51	193,404	26,01	7,30	189,743
12:15	25,8	7,47	192,597	26,14	7,30	190,900
12:20	25,59	7,51	192,079	26,25	7,33	192,281
12:25	25,66	7,52	193,066	26,51	7,38	195,644
12:30	25,7	7,53	193,495	26,56	7,35	195,216
12:35	25,72	7,56	194,546	26,55	7,37	195,647
12:40	25,73	7,54	193,927	26,45	7,42	196,338
12:45	25,59	7,51	192,258	26,48	7,42	196,455
12:50	25,51	7,49	191,095	26,39	7,44	196,315
12:55	25,61	7,47	191,409	26,17	7,48	195,804
13:00	25,78	7,46	192,241	26,39	7,43	195,972
13:05	25,55	7,48	191,165	26,43	7,42	195,978
13:10	25,55	7,45	190,424	26,45	7,35	194,275
13:15	25,55	7,47	190,961	26,4	7,28	192,086
13:20	25,56	7,40	189,067	26,33	7,25	190,971
13:25	25,59	7,39	189,033	26,33	7,17	188,891
13:30	25,36	7,38	187,131	26,26	7,11	186,761
13:35	25,17	7,37	185,478	26,23	7,11	186,364
13:40	25,25	7,27	183,492	26,17	7,10	185,859
13:45	25,13	7,21	181,162	26,33	7,06	185,916
13:50	24,89	7,19	179,034	26,4	7,02	185,249
13:55	24,87	7,14	177,547	26,35	7,08	186,637
14:00	24,62	7,12	175,196	26,38	7,14	188,380
14:05	24,87	7,00	174,115	26,31	7,16	188,406
14:10	24,72	7,00	173,114	26,13	7,17	187,326
14:15	24,67	7,00	172,739	26,33	7,16	188,417
14:20	24,45	7,04	172,226	26,31	7,13	187,617

14:25	24,45	7,00	171,248	26,43	7,11	187,944
14:30	24,35	6,94	169,062	26,63	7,13	189,978
14:35	24,09	6,90	166,149	26,38	7,16	188,907
14:40	24,01	6,79	163,100	26,25	7,20	189,000
14:45	23,73	6,76	160,510	26,15	7,20	188,175
14:50	23,48	6,73	158,044	26,06	7,15	186,329
14:55	22,69	6,70	151,910	25,94	7,17	185,912
15:00	22,6	6,58	148,708	25,82	7,20	185,775
15:05	22,45	6,46	144,915	26,04	7,18	186,915
15:10	22,09	6,37	140,669	26,11	7,20	188,044
15:15	21,78	6,28	136,800	26,06	7,16	186,616
15:20	21,34	6,17	131,625	25,96	7,15	185,640
15:25	20,75	5,99	124,376	26,04	7,16	186,525
15:30	20,33	5,85	118,931	25,99	7,16	186,062
15:35	20,03	5,81	116,394	26,01	7,12	185,061
15:40	19,44	5,64	109,603	26,07	7,04	183,585
15:45	18,92	5,43	102,736	26,06	7,08	184,505
15:50	18,75	5,31	99,525	25,94	7,02	182,125
15:55	18,4	5,11	94,079	26,04	7,01	182,514
16:00	17,96	5,01	89,998	26,08	7,04	183,473
16:05	17,69	4,89	86,539	26,18	7,03	183,915
16:10	17,42	4,78	83,320	26,05	7,03	183,001
16:15	16,11	4,57	73,623	26,06	7,02	182,811
16:20	15,58	4,35	67,711	26,07	7,06	183,924
16:25	15,02	4,13	61,988	26,08	7,05	183,864
16:30	14,39	3,96	56,941	26,04	7,04	183,400
16:35	13,82	3,77	52,129	25,95	7,02	182,065
16:40	13,27	3,60	47,745	25,91	7,02	181,940
16:45	12,87	3,40	43,707	25,94	7,02	181,969
16:50	12,08	3,20	38,680	25,63	7,05	180,589
16:55	11,65	3,04	35,381	25,37	7,04	178,529
17:00	11,07	2,84	31,483	25,15	7,03	176,679
17:05	10,36	2,65	27,485	25,21	7,00	176,520
17:10	10,07	2,48	24,984	25,15	7,01	176,402
17:15	9,23	2,26	20,851	24,9	6,98	173,802
17:20	8,78	2,08	18,236	24,61	6,90	169,809
17:25	7,99	1,90	15,165	24,36	6,85	166,890
17:30	7,27	1,75	12,715	23,78	6,83	162,417
17:35	7,28	1,57	11,422	23,38	6,75	157,815
17:40	6,32	1,41	8,880	22,41	6,40	143,491
17:45	6,35	1,24	7,868	20,76	6,22	129,106
17:50	5,58	1,10	6,116	18,87	6,01	113,465
17:55	5,01	0,94	4,724	17,65	5,58	98,558
18:00	4,2	0,81	3,381	16,05	4,89	78,485

EK-2 Kullanılan PV Panelin Teknik Özellikleri:

Modül Verimi: 15,18
Maksimum Güç: 250 W
Maksimum güç voltajı: 31,46 V
Maksimum güç akımı: 8,01 A
Açık devre voltajı: 37,98 V
Kısa devre akımı: 8,52 A
Maksimum Güç: 250 W

Kullanılan PV Panel Mekanik Özellikleri:

Ölçü: 1652 mm (L) x 997 mm (W) x 42 mm (D)
Ağırlık: 20 Kg.
Güneş Hücresi: 60 Polikristal Tip 6" Silikon Hücre (156 mm x 156 mm)
Ön Cam: Temperli/Temperli Antireflekte Cam
Arka Tabaka: Kompozit Film, Renk Beyaz
Çerçeve: Alüminyum Çerçeve (Eloksal Kaplamalı)

EK-3 AcuDC 221 V Power Meter Teknik Özellikleri:

Tablo E3.1. Power meter özellikleri

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Metering			
Parameters	Accuracy	Resolution	Range
Voltage	0.2%	0.01V	0~1200V
Current	0.2%	0.005A	0.005~9999A
Power	0.5%	0.01W	0.01~12,000,000W
Energy	0.5%	0.1kWh	0.1~99999.9kWh
Drift with Temperature: <100ppm/°C			
Stability: 0.5%/year			
Voltage			
Input Range	Direct Input: 0~600V (Use Voltage Hall Effect Sensor: 0~1000 V)		
Input Impedence	2M Ω		
Load	<0.2W		
Accuracy	0.2%		
Current			
Input Range	0~10A (Direct input) 0~9999A (Extra current shunt or Hall Effect element, with programmable range)		
Shunt	50~100mV (programmable)		
Hall Effect Sensor	0~5V, 0~4V, 0~20mA, 4~20mA		
Power Consumption	2W (max)		
Accuracy	0.2%		
Digital Input (DI)			
Optical Isolation	2500Vac rms		
Input Form	Contact with Power Supply		
Input Resistance	2K Ω (typical)		
Input Voltage Range	16~30Vdc		
Close Voltage	>16Vdc		
Max Input Current	20mA		

Analog Output (AO)	
Output Range	4~20mA or 0~5V
Resolution	12bit
Output Capability	4~20mA Max Resistance: 500 Ω 0~5V Max Current: 20 mA

Communication	
Type	RS485, Half Duplex, Optical Isolated
Protocol	Modbus RTU
Baud Rate	1200~19200bps
Isolate Voltage	2500Vac

Relay output (RO)	
Output Form	Mechanical Contact, Form A
Max Load Voltage	250Vac/30Vdc
Max Load Current	3A
On Resistance	100M Ω (Max)
Isolate Voltage	4000Vac
Mechanical Endurance	5 \times 10 ⁶ cycles

Power Supply	
Input	(P1) 100-240Vac, 50/60Hz 100-300Vdc (P2) 20~60Vdc
Power Consumption	2W

Operating Environment	
Operation Temp	-25°C~+70°C
Storage Temp	-40°C~+85°C
Humidity	5%~95% Non-condensing
Altitude	2000m

EK-4 DT185 Solar Datalogger Güneş Işığı Kayıt Cihazı:

Işık ölçüm aralığı : 0 ... 1999 w/m²

Işık ölçüm hassasiyeti : ±5% ... +10 w/m²

Işık ölçüm çözünürlüğü : 1 w/m²

Ayarlanabilir kayıt aralıkları : 2 sn, 5 sn, 10 sn, 30 sn, 1 dk, 5 dk, 10 dk, 30 dk,
1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat, 24 saat

Ekran : Yok

Veri kayıt periyodu : 2 saniyeden 24 saate kadar

Hafıza kapasitesi : 32000 okuma

Boyutları : 190 x 35 x 30 mm

Ağırlık : 68 gr.

Alarm özelliği : Sadece görsel alarm

Güç kaynağı : 1 adet 3.6V LS14250 pil

Saklama sıcaklığı : 0°C ... 50°C

Çalışma sıcaklığı : -10°C ... 60°C

EK-5 Deney Düzeneği ile İlgili Tanıtıcı Resimler



Şekil E5.1. Sistemin kablo bağlantılarının yapılması



Şekil E5.2. Sabit panel bağlantılarının yapılması



Şekil E5.3. Güneş radyasyon cihazının monte edilmesi



Şekil E5.4. Bilgisayar ve multimetrelerden eş zamanlı ölçüm alınması



Şekil E5.5. Kurulan deneyin genel fotoğrafı



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nihat BÜKÜN
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır- 05.01.1987
Telefon : 0544 565 61 59
E-posta : nbukun@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe,	İl,	Bitirme Yılı
Lise	: Yunus Emre Lisesi			2004
Üniversite	: Erciyes Üniversitesi Merkez	Kayseri		2011
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi Merkez	Siirt		2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-Devam	Batman Gençlik Hiz. Ve Spor İl Müd.	Elk.-Elktrnk Müh.

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

YABANCI DİLLER

İngilizce

ULUSLAR ARASI YAYINLAR

Bukun, N., Şahin, M., Determination Of Wind Energy Potential Of Campus Area Of Siirt University, International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16), September 01-03, 2016, (853-859), Konya, Turkey.

Bukun N., Menak R., Aksoy S., Tek Eksenli Güneş İzleme Sistemi İle Güneş Panellerindeki Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis) Oct 27-29, 2017, Bitlis, Turkey