

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

İKİ-EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP MEKANİZMASINA
SAHİP 1 kW'LIK FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Yusuf ATALAY

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ahmet YILANCI

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 12.07.2016

Bornova-İZMİR

2016

Yusuf ATALAY tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “İki-Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 kW'lık Fotovoltaik Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza:

Jüri Başkanı :

Raportör Üye :

Üye :

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İki-Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 kW'lık Fotovoltaik Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

...../...../2016

İmzası

Adı-Soyadı



ÖZET**İKİ-EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP MEKANİZMASINA SAHİP 1
kW'LIK FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE
ANALİZİ**

ATALAY, Yusuf

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ahmet YILANCI

Temmuz 2016, 72 sayfa

Fotovoltaik sistemlerin performansları güneş ışıınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi değerlere göre değişim göstermektedir. Sistemin verimini en çok etkileyen unsur ise güneşin o anki konumuna göre oluşan güneş ışıınımı değeridir. Güneşin bulunduğu konum, zamana bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla sabit olarak duran fotovoltaik paneller güneşten yeterince faydalanamamaktadır.

Güneş takip sistemleri, güneşin konumuna göre fotovoltaik panelin eğimini ve yönünü ayarlayabilen sistemlerdir. Tek-eksenli güneş takip sistemlerinin yanı sıra iki-eksenli güneş takip sistemleri de kullanılmaktadır. Tek-eksenli sistemlerde fotovoltaik panelin sadece eğimi veya sadece yönü ayarlanabilirken iki-eksenli sistemlerde eğim ve yön değişkenlerinin ikisi de ayarlanabilmektedir. Bu takip işlemi sonucunda fotovoltaik sistemin performansı %57'lere kadar çıkabilmektedir.

Bu tezde, iki-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip 1 kW'lık fotovoltaik güç sistemi bilgisayar ortamında modellenmiş ve İzmir ili koşulları için MATLAB/SIMULINK ortamında simüle edilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler halihazırda kurulu olan eş bir sistemle karşılaştırılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Güneş takip sistemi, fotovoltaik modül, şarj regülatörü, akü, lineer motor, mikrodnetleyici.



ABSTRACT**MODELLING AND ANALYSIS OF 1 kW PHOTOVOLTAIC
POWER SYSTEM WITH TWO-AXIS SOLAR TRACKER
MECHANISM**

ATALAY, Yusuf

MSc in Department of Solar Energy

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ahmet YILANCI

July 2016, 72 pages

The performance of photovoltaic system varies according to values such as solar irradiance, temperature, and wind speed. The most important factor that determined the system efficiency is solar irradiation which depends of sun's current position. Current position of the sun varies depends on time. Thus, fixed photovoltaic panels can't get solar irradiance enough.

Solar tracker systems track the movement of the sun and sets it's azimuth and elevation angles accordingly. Single-axis solar trackers are used in photovoltaic systems as well as two-axis solar trackers. Although, single-axis solar trackers tracks only the sun azimuth or elevation axis, two-axis trackers tracks both azimuth and elevation axis. Thanks to tracking systems, photovoltaic systems performance can be increased up to 57%.

In this thesis, 1 kW photovoltaic power system with two-axis solar tracker mechanism is modeled and simulated for Izmir city with MATLAB/SIMULINK environment. Then, the proposed system is compared to currently employed system that operates under similar conditions. Furthermore, extensive discussion on the systems performance are provided.

Keywords: Solar tracker, photovoltaic module, charge regulator, battery, linear motor, microcontroller





TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yapmamı sağlayan ve her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Yard. Doç. Dr. Ahmet YILANCI hocama çok teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana sürekli destek olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Son olarak, bu çalışma kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenen 119M829 nolu projeye ait 'Güneş Enerjisi' sistemi kullanılmıştır. Bu nedenle TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı ve Önemi.....	5
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ.....	8
2.1 Birincil Enerji Kaynakları.....	9
2.2 Yenilenebilir Enerji Teknolojileri.....	10
2.2.1 Güneş enerjisi teknolojileri.....	10
2.2.2 Rüzgar enerjisi teknolojileri.....	12
2.2.3 Biyokütle enerjisi teknolojileri.....	13
2.2.4 Jeotermal enerji teknolojileri.....	14

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.2.5	Hidrolik enerji teknolojileri.....	16
2.2.6	Dalga ve gel-git enerjisi teknolojileri.....	17
2.3	Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kullanımı.....	18
3.	FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	22
3.1	Fotovoltaik İlke.....	22
3.2	Fotovoltaik Hücreler.....	22
3.2.1	Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi.....	24
3.2.2	Fotovoltaik hücre karakteristikleri ve çalışma koşullarının etkisi.....	24
3.3	Fotovoltaik Sistemler.....	26
3.3.1	Şebeke bağlantılı sistemler.....	27
3.3.2	Şebekeden bağımsız sistemler.....	28
3.3.3	Dünya'da ve Türkiye'de fotovoltaik sistemlerin kullanımı.....	29
4.	GÜNEŞİN KONUM HESABI VE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ.....	31
4.1	Güneş Geometrisi ve Açıları.....	31
4.2	Güneş Takip Sistemleri.....	34
4.2.1	Tek-eksenli güneş takip sistemleri.....	37

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.2	İki-eksenli güneş takip sistemleri.....	37
5.	SİSTEM TANITIMI VE MODELLENMESİ.....	39
5.1	Mevcut Sistemin Tanıtımı ve Özellikleri.....	39
5.2	Sistem ve Bileşenlerinin Modellenmesi.....	41
5.2.1	Fotovoltaik hücre.....	41
5.2.2	Akü.....	44
5.2.3	Tahrik mekanizması.....	46
5.2.4	Şarj regülatörü.....	48
5.2.5	İnvertör.....	49
5.2.6	Kontrol mekanizması.....	50
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
6.1	Sistemin Yük Altında Çalışması.....	59
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	64
	ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Birincil enerji kaynakları.....	9
2.2 Fotovoltaik sistem.....	11
2.3 Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrali.....	12
2.4 Rüzgar türbini iç yapısı.....	13
2.5 Dolaylı yoğuşmalı çevrim.....	15
2.6 Doğrudan yoğuşmasız çevrim.....	15
2.7 Hidroelektrik santrali (HES)	16
2.8 Değişik dalga ve gel-git enerjisi teknolojileri.....	18
2.9 Dünya güneş atlası.....	19
2.10 Türkiye güneş atlası.....	19
2.11 İllere göre ülkemizin kurulu rüzgar gücü dağılımı.....	20
2.12 (a) Dünya'da enerji kaynaklarının kullanımı, (b) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı.....	20
2.13 Ülkemizin yıllara göre toplam kurulu gücü.....	21
3.1 Güneş pilleri.....	22
3.2 Güneş pili iç yapısı.....	24
3.3 Güneş pili I-V ve P-V eğrileri.....	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.4 Güneş pili sıcaklık (T) ve ışıınım (G) değerlerinin I-V eğrisi üzerinde etkileri.....	25
3.5 Fotovoltaik hücre, panel ve dize.....	26
3.6 Şebeke bağlantılı sistem.....	27
3.7 Şebekeden bağımsız sistem.....	28
3.8 Dünya'da fotovoltaik panel üretimi.....	29
3.9 Dünya'da fotovoltaik kurulu güç.....	30
4.1 Azimuth ve Yükseklik açıları.....	32
4.2 Zaman denklemi (ET) ve güneşin sapma açısı (δ) değerlerinin günlere göre değişimi.....	33
4.3 Kameralı görüntü işleme yöntemi ile güneşin konumunun tespiti.....	36
4.4 Güneş takip sistemi çeşitleri.....	36
4.5 Tek-eksenli güneş takip sistemleri.....	37
4.6 İki-eksenli güneş takip sistemi.....	38
5.1 İki-eksenli kurulu güneş takip sistemi.....	40
5.2 Kurulu sistemin blok diyagramı.....	40
5.3 Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
5.4 Tek diyotlu güneş pili modeli.....	42
5.5 Güneş pili I-V grafiği.....	43
5.6 Güneş pili P-V grafiği.....	44
5.7 Akü eşdeğer devresi.....	44
5.8 Şarj regülatörü akış şeması.....	48
5.9 İnvertör modeli.....	49
5.10 İnvertör çıkış gerilimi.....	50
6.1 Değişik güneş ışıınımı değerleri için güneş pili I-V eğrileri.....	51
6.2 Değişik güneş ışıınımı değerleri için güneş pili P-V eğrileri.....	51
6.3 Değişik sıcaklık değerleri için güneş pili I-V eğrileri.....	52
6.4 Değişik sıcaklık değerleri için güneş pili P-V eğrileri.....	52
6.5 Gerçek zamanlı ölçümlerin alındığı E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü ölçüm kulesi.....	53
6.6 PVGIS tarafından sağlanan Sıcaklık ve Güneş Işıınımı verileri.....	53
6.7 E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden alınan Sıcaklık ve Güneş Işıınımı ölçümleri.....	54
6.8 İki farklı sıcaklık değerinde ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T=24\text{ }^{\circ}\text{C}$) güneş pili I-V eğrisi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.9 Sistemin PVGIS verileri ile elde edilen Ibat ve Iload simülasyon sonucu	55
6.10 Sistemin PVGIS verileri ile elde edilen Vbat ve ŞD simülasyon sonucu.	56
6.11 Sistemin gerçek zamanlı ölçüm verileri ile elde edilen Ibat ve Iload simülasyon sonucu.....	56
6.12 Sistemin gerçek zamanlı ölçüm verileri ile elde edilen Vbat ve ŞD simülasyon sonucu.....	56
6.13 Akü gerilimi (Vbat) simülasyon sonuçları ile kurulu sistem çıktısı.....	57
6.14 İki-eksenli güneş takip sistemi güneş takip açıları.....	58
6.15 Nisan ayı için 2-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaik sistem ve sabit panelli fotovoltaik sistem çıktıları.....	59
6.16 Sistemin yük altındaki akü akımı (Ibat) ve yük akımı (Iloadm) profili.....	60
6.17 Sistemin yük altındaki akü gerilimi (Vbat) ve şarj durumu (ŞD) profili...	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Çeşitli yapıdaki güneş pili verimleri.....	23
4.1 Değişik güneş takip sistemleri tarafından alınan güneş ışıınımı.....	34
5.1 Kurulu sistem bileşenleri ve özellikleri.....	39
5.2 Kurulu sistem bileşenlerinin maliyetleri.....	40
5.3 Akü gerilimi - Şarj durumu değerleri.....	46
5.4 Lineer motor parametreleri.....	47
6.1 Sistemin yük profili.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I_m	Güneş pili maksimum akımı.
V_m	Güneş pili maksimum gerilimi.
P_{max}	Güneş pili maksimum gücü.
I_{PV}	Güneş pili akımı.
I	Net güneş pili akımı.
I_d	Diyot akımı.
I_{sh}	Paralel direnç akımı.
V_{oc}	Güneş pili açık devre gerilimi.
R_s	Seri direnç değeri.
α	Diyot kalite faktörü.
N_s	Paneldeki seri bağlı hücre sayısı.
q	Elektron yükü.
k	Boltzman sabiti.
I_0	Diyot satürasyon akımı.
T	Çalışma sıcaklığı değeri.
G	Güneş ışıınımı değeri.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
G_n	Çalışma noktasındaki güneş ışıınımı değeri.
T_n	Çalışma noktasındaki sıcaklık değeri.
I_{sc}	Güneş pili kısa devre akımı.
K_i	Sıcaklık - akım sabiti.
E_g	Silikonun 25 °C'deki band genişliği.
$R_{şarj}$	Akü şarj direnci.
$V_{şarj}$	Akü şarj gerilimi.
$R_{deşarj}$	Aküdeşarj direnci.
$V_{deşarj}$	Aküdeşarj gerilimi.
$ŞD$	Akü şarj durumu.
$ŞD_m$	Akü maksimum şarj değeri.
n_s	Seri bağlı 2V'luk akü parçaları sayısı.
K_b	Akünün şarj-deşarj verimi.
D	Akü özboşalım değeri.
θ	Lineer motor dönüş açısı.
V_m	Motor giriş gerilimi.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
K_e	Emk kuvvet sabiti.
K_t	Ters-emk kuvvet sabiti.
J	Eylemsizlik momenti.
R	Elektriksel direnç.
L	Endüktans.
JD	Julian zamanı.
n	Yılda o anda bulunulan gün.
ET	Zaman denklemi.
δ	Güneş sapma açısı.
TST	Gerçek güneş zamanı.
LT	Yerel zaman.
L	Boylam açısı.
L_{st}	Güneş eksenine göre boylam açısı.
Δ	Yaz - kış parametresi.
ω	Saat açısı.
a	Azimuth açısı.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
h	Yükseklik açısı.
ϕ	Yerel enlem açısı.
DC	Doğru akım.
AC	Alternatif akım.
LDR	Işığa duyarlı direnç.
ABD	Amerika Birleşik Devletleri.
ARGE	Araştırma-geliştirme.
HES	Hidroelektrik santrali.
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı.
AIST	Japon Ulusal İleri Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Enstitüsü.
MPPT	Maksimum güç noktası izleyicisi.
PWM	Sinyal genişlik modülasyonu.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda fosil kaynakların artan kullanımı sonucu ortaya çıkan problemler, insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya itmiştir. Bu alanda her geçen gün yeni gelişmeler yaşanmakta ve özellikle fotovoltaik teknolojisinin de üzerinde önemle durduğu verimlilik konusu hakkında ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bir yandan farklı materyaller ile yüksek verimli hücreler üretilmeye çalışılırken, bir diğer taraftan kurulan sistemlerde fotovoltaik yüzeye gelen güneş ışınımından en verimli şekilde yararlanma üzerinde durulmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalar yeni bir çevre kirliliği oluşturmayacak şekilde düşünülmektedir.

Fosil kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan CO₂ gazı, küresel ısınmanın en önemli sebeplerindendir. Küresel ısınmanın dünya sıcaklığını artırma gibi çevresel sorunlarından dolayı buzullar erimekte ve deniz seviyesi yükselmektedir. Ayrıca yine fosil kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan SO₂ gazı da asit yağmurlarına sebep olmaktadır.

Fosil kaynakların çevresel etkilerinin yanında insan sağlığını da tehdit eden pek çok etkisi mevcuttur. Taşıtlar ve termik santraller tarafından fosil kaynakların kullanımı sonucu çevreye yayılan gazlar hava kirliliği yaratmakta ve yaşam kalitesini düşürmektedir. Oluşan hava kirliliği sonucunda astım ve akciğer kanseri gibi ciddi hastalıklar gözlemlenmektedir.

Günümüzde global bir problem haline gelmiş olan küresel ısınma, pek çok ülkeyi enerji konularında yeni önlemler almaya yönlendirmiştir. 1997 yılında imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne göre ülkelerin CO₂ salınımı değerlerini düşürmeleri için gerekli düzenlemeleri yapmaları zorunlu kılınmıştır. Ülkemizin 2009 yılında imzaladığı sözleşme çerçevesinde bir takım adımlar atılmış ve hedefler verilmiştir.

Son yıllarda oldukça önem kazanan yenilenebilir enerji kaynakların kullanımının artırılması belirtilen problemlerin önüne geçmedeki en önemli faktörlerdendir. Güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal, hidrolik ve dalga

enerjisi gibi çeşitleri bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı dünyada CO₂, SO₂ ve diğer zararlı gazların emisyonunu ve çevresel etkilerini azaltacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi de güneşin sonsuz enerjisi sebebiyle en önemli kaynaklardandır. Genel olarak ısınma ve elektrik üretme olmak üzere iki ana konuda kullanılan güneş enerjisi, güneşten gelen ışınımı elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerin enerji kaynağıdır. Bu sistemlerin performansının güneş ışınlarının dik olduğu zaman en üst seviyede olduğu düşünüldüğünde, sabit fotovoltaik sistemlerin güneşten yeterince yararlanamadıkları anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin performansları tek-eksenli veya iki-eksenli güneş takip sistemleri kullanılarak artırılabilir.

İşte bu çalışmada İzmir ili koşulları için iki-eksenli bir güneş takip sisteminin modellenmesi yapılmış ve simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulu olan eş bir sistemle sonuçlar karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde fotovoltaik endüstrisi hızlı bir büyüme içerisinde. Güneşin sonsuz enerji kaynağı olması, fotovoltaik sistemlerin kullanım ömürlerinin yüksek olması, bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olması fotovoltaik sistemlerin birçok ülkede yaygınlaşıp kullanılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, yeni sistemler de kuruldukça, bu sistemlerle ilgili tasarım ve analiz yapabilecek paket programlara olan ihtiyaç da artmaktadır. Geçmişte hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız simülasyon yapabilen, Fortran temelli PVSS (Goldstein ve Case, 1977), SOLCEL (Linn, 1977) ve farklı konumlardaki sistemler ile ilgili simülasyonlar ve maliyet analizleri yapabilen PVForm (Menicucci, 1985) programları kullanılmıştır. 1990'lı yılların ortalarında üretilmiş ve ilerleyen yıllarda daha da geliştirilmiş olan PVSYST (Mermoud, 1995) programı ise günümüzde hala en çok kullanılan fotovoltaik sistem tasarımı programlarından. Ayrıca çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili

alışmalar yapılabilen, Kanada Hükümeti tarafından geliştirilen ve enerji analizi, maliyet ve finansal analizi, emisyon analizi ve risk analizi gibi işlevleri olan RETScreen (RETScreen, 2016) ve Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiş hem küçük ölçekli, hem de büyük ölçekli tasarım ve analizler için kullanılan HOMER (HOMER Energy, 2015) programları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bunların yanında güç elektroniğı, robotik sistemler, kontrol sistemleri, yenilenebilir enerji gibi pek çok konuda akademisyenler, bilim adamları ve mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmakta olan MATLAB (MATLAB, 2016) programı SIMULINK eklentisi sayesinde birçok sistem için modelleme ve simülasyon imkanı sunmaktadır. Fotovoltaik sistem modellemesine de imkan tanıyan MATLAB/SIMULINK programı invertörlerle ilgili dizi çalışmalarında, fonksiyon ve veri çizimlerinde, Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT) algoritmalarını gerçeklemede ve tüm sistemle ilgili arayüz tasarlama ve izleme konularına yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Sumatri vd., 2015).

Güneş takip sistemleri, güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanmada üzerinde durulan konulardandır. Güneş takip sistemlerinin hem güneş ısı teknolojiler (düzlemsel ve odaklayıcı tip güneş kolektörleri) hem de fotovoltaik güç sistemlerinde kullanımı ile ilgili literatürde pek çok çalışma yapılmıştır (Rizal vd., 2013); (Poulek vd., 2016); (Skouri vd., 2016). Dış ortam sıcaklığı, nem, güneş ışınımı ve gölgelenme gibi faktörlerden etkilenen fotovoltaik sistemlerin enerji üretim verimleri güneş takip sistemleri yardımıyla artırılmaktadır (Kamala ve Joseph, 2013). Güneş ışığından daha etkin bir şekilde faydalanılmasını sağlayan güneş takip sistemlerinin, kurulu bir fotovoltaik güç sisteminin elektrik üretim miktarını %57'lere varan oranlarla artırabileceğı hesaplanmışken, bu sistemlerin artırılan enerjinin yaklaşık %3'lük gibi oldukça düşük bir kısmını harcadığı belirtilmiştir (Mousazadeh vd., 2009).

Güneş takip sistemleri, takip mekanizmalarına göre tek-eksenli veya iki-eksenli olarak ayrılırlar. Tek eksenli takip sistemleri güneşini sadece yatay veya sadece dikey açılarda takip ederken, iki-eksenli takip sistemleri ise her

iki açıda da güneşi takip etmektedirler. Mallick ve arkadaşları (Mallick vd., 2014) tek-eksenli güneş takip sistemini hareketli bir zemine yerleştirmiş ve ayrıca yansıtıcı kullanarak sistemin verimini yükseltip düşük maliyetli bir çalışma yapmışlardır. Yine bu kapsamda Ataei ve arkadaşları (Ataei vd., 2011) iki-eksenli güneş takip sisteminin DSP çipi tabanlı eZdspF2812 kartıyla bulanık mantık kontrolünü gerçekleştirmiştir. Ayrıca Vokas ve arkadaşlarının (Vokas vd., 2015) Yunanistan'ın sekiz farklı noktasında tek-eksenli ve iki-eksenli güneş takip sistemleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, sabit fotovoltaiik sistemlere göre, tek-eksenli güneş sistemlerinin %25.2, iki-eksenli güneş takip sistemlerinin ise %34.5 oranlarında bir performans artışı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Bunların yanında Titirsha ve arkadaşları (Titirsha vd., 2014), Bangladeş için yaptıkları çalışmada iki-eksenli güneş takip sistemine ek olarak sistemin önünde bir yansıtıcı yüzey kullanmış, bu yansıtıcı yüzey sayesinde sistemin verimini artırmış ve bu sistemi sabit duran bir başka sistemle kıyaslamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda %57 oranında bir enerji artışı kaydederek Bangladeş'in sınırlı fosil rezervlerine alternatif olacak ve artan enerji ihtiyacını karşılayabilecek olan bu sistem üzerinde tartışmışlardır.

Tek-eksenli ve iki-eksenli güneş takip sistemlerinin yanında Omarali ve arkadaşları (Omarali vd., 2015), üç-eksenli küresel bir sistem tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. İki-eksenli güneş takip sistemlerinin seri konfigürasyonlu olduklarını ve dolayısıyla takip sistemindeki takip hatasının iki ayrı lineer motor tarafından oluşturulduğunu belirtmiş ve sonuç olarak çok sayıda dişli mekanizması kullanmayan üç-eksenli küresel bir takip sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemin diğer takip sistemleri göre temel avantajının günümüzde yaygınlaşmaya başlayan elektrikli araçlar gibi mobil (taşınabilir) sistemler üzerinde, park ve açık havada hareket konumlarındayken rahatlıkla yerleştirilebilir olması olarak belirtmişlerdir.

Wu ve arkadaşları (Wu vd., 2016), Grassmann hat geometrisi kullanarak paralel mekanizmalı bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan bu sistem sayesinde geleneksel iki-eksenli güneş takip

sistemlerine oranla sürme torkunu önemli ölçüde düşürmüş ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltmışlardır. Çalışmada yüksek çıkış torkuna sahip özel bir aktuatör veya büyük dönüştürme oranlı özel bir redüktör sistemi kullanan seri mekanizmalı güneş takip sistemlerinin yatay eksendeki sürme torklarının 1300 N.m ile 1500 N.m aralığında olduğu, ancak tasarlanan sistem sayesinde her iki eksen de 5 N.m ile 25 N.m değerlerinde sürme torkları ile takip yapılabileceği kaydedilmiştir. Çalışma sonucunda paralel mekanizmanın, takip sisteminin boyutunu ve güç tüketimini azaltacağı vurgulanmış ve ayrıca diğer sistemlere oranla daha basit bir yapıda olduğu vurgulanmıştır.

İki-eksenli güneş takip sistemi üzerinde yeni bir çalışma yapmış olan Sohag ve arkadaşları (Sohag vd., 2015), çalışmalarında hem kamera yardımıyla görüntü işleme temelli hem de fotodirenç (LDR) sensörleri yardımıyla takip işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda sabit panel, LDR sensörlü iki-eksenli güneş takip sistemi ve hem LDR sensörlü hem de görüntü işleme özellikli sistemleri kıyaslamış ve yaptıkları sistemin daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca hibrit bir sistem olduğu için kamera veya LDR sensörlerdeki bir aksaklık sırasında sistemin yine takip işlemini sağlayacağı da vurgulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı ve Önemi

Fotovoltaik güç sistemlerinin performansları kuruldukları yer (coğrafik konum, topoğrafik koşullar, yere ait gölgelenme, yansıtma gibi özel durumlar) ve meteorolojik şartlara (güneş ışıınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi) göre değişim göstermektedir. Sistemin performansını en çok etkileyen unsur ise güneşin o anki konumuna göre üzerine gelen güneş ışıınımı değeridir. Güneşin hareketine göre, bulunduğu konum, zamana bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla sabit olarak duran fotovoltaik paneller güneşten yeterince faydalanamamaktadır.

Güneş takip sistemleri, güneşin konumuna göre fotovoltaik panelin eğimini ve yönünü ayarlayabilen sistemlerdir. Tek-eksenli güneş takip sistemlerinin yanı sıra iki-eksenli güneş takip sistemleri de kullanılmaktadır.

Tek-eksenli sistemlerde fotovoltaik panelin sadece eğimi veya sadece yönü ayarlanabilirken iki-eksenli sistemlerde eğim ve yön değişkenlerinin ikisi de ayarlanabilmektedir. Bu takip işlemi sonucunda fotovoltaik sistemin performansı coğrafi koşullara göre %57'lere kadar çıkabilmektedir (Rambhowan ve Oree, 2014).

Bu tez çalışmasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde ($38^{\circ}27'48''$ Kuzey enlemi ve $27^{\circ}14'13''$ Doğu boylamında) kurulu olan iki-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip, 1 kW gücündeki, şebekeden bağımsız, fotovoltaik güç sistemi, MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmiştir. Sistem, 4 adet, birbirine paralel olarak bağlı, 250 Wp gücündeki panellerden, 4 adet, 2 seri ve 2 paralel şekilde bağlı, her biri 12 V, 150 Ah değerlerindeki kurşun-asit jel akülerden, 1 adet MPPT şarj regülatöründen ve 1 adet 2000 VA'lık invertörden oluşmaktadır. Ayrıca sistemin iki-eksenli takip yapabilmesini sağlayan, 2 adet lineer motor tahrikli güneş takip mekanizması mevcuttur. Bu bilgilerle, MATLAB/SIMULINK ortamında yapılan modellemede, sistemin öncelikle fotovoltaik hücre modeli oluşturulmuş ve çıktıları gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra sistemin her bir parçası ayrı ayrı modellenmiş ve sonunda bu modeller birleştirilmiştir. Son olarak sistemin girişleri olan sıcaklık, güneş ışıınımı gibi değerler 'look-up table' bloklarıyla sisteme girilmiş ve her bir parçası fonksiyon blokları kullanılarak modellenmiş sistem normal çalışma koşulları ve yüklü çalışma koşulları için simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları mevcut sistemin gerçek zamanlı verileriyle karşılaştırılmış ve bulgular tartışılmıştır.

Tezin ilerleyen kısımları şu şekildedir. Bölüm 2'de birincil enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları "Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri" başlığı altında incelenmiş, Bölüm 3'te ise fotovoltaik sistemlerle ilgili bilgiler verilmiştir. Güneş takip sistemlerinin çeşitleri ve görevleri, güneşin konum hesapları gibi konulara Bölüm 4'te değinilmiş, Bölüm 5'te tezle ilgili olarak modellenen güneş takip sistemi anlatılmıştır. Bölüm 6'da "Bulgular ve Tartışma" başlığı altında yapılan çalışmanın çıktıları paylaşılmış ve bu çıktılar hâlihazırda kurulu eş sistemin verileri ile kıyaslanmış, son olarak da "Sonuç ve Öneriler" başlığı altında

Bölüm 6’da yapılan çalışmanın çıkarımları ve önerileri sunulmuştur.



2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ

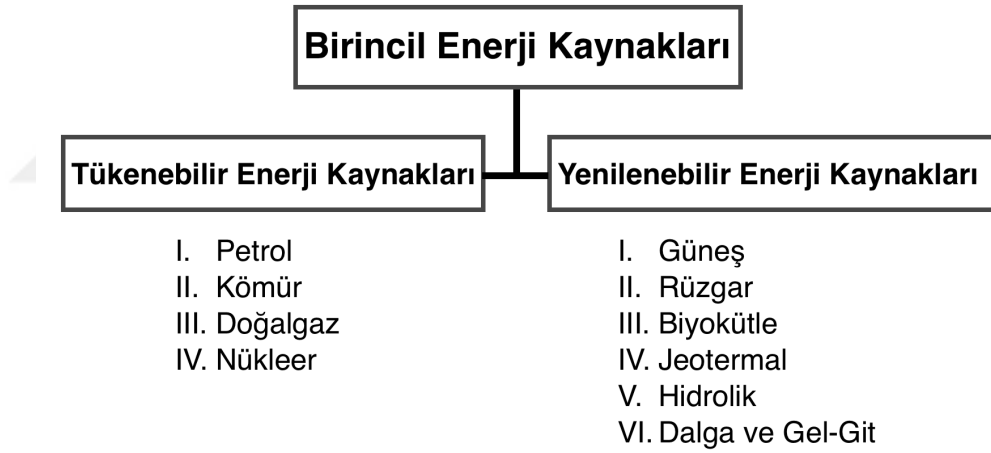
Günümüzde ulaşım, taşıma, haberleşme, üretim gibi hemen hemen tüm sektörleri enerjisiz olarak düşünmek mümkün değildir. Sanayi Devrimi ile birlikte önemi daha da artan enerji kullanımının büyük bir kısmı petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. 1973 yılında Arap ülkelerinin uyguladığı petrol ambargosu sonucu, enerji ihtiyacını petrolden karşılayan ülkeler zora girmiş ve ekonomik olarak darboğaz yaşamışlardır. Bu sebeple pek çok ülke olası başka sorunlarla karşılaşmamak için alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş ve yenilenebilir enerji kullanımının da önemi daha da artmıştır. Dahası, son yüzyılda fosil kaynakların kullanımı sonucu artan çevre kirliliği dünya ekolojik sistemini olumsuz yönde etkilemiştir. Fosil kaynakların kullanımı sonucunda CO₂ ve SO₂ gibi zararlı gazların emisyonu artmış, sera etkisi olarak adlandırılan, zararlı gazların atmosferde birikmesi sonucu dünyamıza gelen güneş ışınımının bir kısmının yeryüzü dışına yansıyamamasından kaynaklanan sıcaklık artışı gözlemlenmiş ve insan sağlığını olumsuz etkileyen bir çok olay görülmüştür. Bahsedilen sebeplerin yanında fosil kaynakların nüfus artışı ve ekonomik gelişmelerle birlikte, artan kullanım sonucu hızla tükenişi ve ülkeler tarafından imzalanan bazı protokoller sebebiyle yenilenebilir enerji kullanımı konusunda somut adımlar atılmış ve hedefler verilmiştir.

Enerji kaynakları, birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Birincil enerji kaynakları, doğadan elde edilen kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan, güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik, dalga ve gel-git enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından ve atık enerjisinden oluşmaktadır. Dünya'daki enerji tüketiminin %85'lik kısmını kömür, doğalgaz ve petrolden oluşan birincil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Benzin, mazot, hidrojen ve etanol gibi türlerden oluşan ikincil enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarının işlenmesi sonucu elde edilmektedir (Demirel, 2012).

Yenilenebilir enerji, doğa tarafından sürekli olarak yenilenen güneş, rüzgâr, su ve bitkiler gibi kaynakları kullanarak bu kaynaklardan enerjinin farklı biçimlerinin (elektrik, ısı, kimyasal, potansiyel veya mekanik enerjiler gibi) elde edildiği bir enerji kaynağıdır. ‘Temiz Enerji’ veya ‘Yeşil Enerji’ olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji, tükenbilir enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil türevli kaynaklar gibi çevre kirliliği yaratmamaktadır.

2.1 Birincil Enerji Kaynakları

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil türevli kaynakların yanı sıra nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarını da içinde bulunduran birincil enerji kaynakları herhangi bir dönüşümden geçmeden doğrudan kullanılabilen kaynaklar olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.1 Birincil enerji kaynakları

Günümüzde, tüketilen enerjinin öncelikli olarak petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil türevli kaynaklardan elde edilmesi nedeniyle bu yakıtların hızla tükenmesi ve bu kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan CO₂ gibi zararlı gazların emisyonu dünyamızın geleceği adına en önemli sorunlardandır. Ayrıca yapılan çalışmalarda 2013 - 2035 yılları arasında dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %37 oranında, karbon emisyonunun da %25 oranında artacağı öngörülmektedir (BP, 2015).

İşte bu gibi önemli sorunlara karşılık dünyada geçtiğimiz yıllardan itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarına önemli bir yönelim söz konusudur.

Sırasıyla ABD, Çin, Almanya, İspanya ve Brezilya gibi ülkeler yenilenebilir enerji kullanımında dünyada önemli bir konumdadırlar (Worldatlas, 2016).

2.2 Yenilenebilir Enerji Teknolojileri

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, dalga ve gel-git enerjisi şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu kaynaklardan farklı amaçlarla yenilenebilir enerji teknolojileri kullanılarak yararlanılabilir.

2.2.1 Güneş enerjisi teknolojileri

Yeryüzündeki enerjinin temel kaynağı olan güneşten, yıllık olarak, insanlığın ihtiyacı olan enerjinin yaklaşık 20000 katı enerji dünyamıza ulaşmaktadır. Yeryüzüne gelen bu enerjinin bir kısmı suları buharlaştırarak birtakım doğa olaylarının meydana gelmesini sağlamakta, bir kısmı bitkiler tarafından fotosentez için kullanılıp hayat döngüsünü sürdürmektedir. Geçmişten günümüze insanlık tarafından güneş enerjisi kullanılmış, fakat, bu enerjinin az bir bölümünden yararlanılabilmektedir.

Sonsuz enerji kaynağı olarak nitelendirilen güneşten alınan enerji kullanım alanı olarak 3 ana konuda incelenebilir:

1. Yapıların ısıtma ve soğutma işlemlerini sağlama;
2. Organik maddelerin sıvı, katı ve gaz yakıtlara kimyasal ve biyolojik dönüşümlerini sağlama;
3. Elektrik elde etme.

Yapılardaki elektrik harcamalarının büyük bir kısmının ısıtma ve soğutma işlemlerinden kaynaklandığı düşünüldüğünde, bu alanda güneş enerjisi kullanımı önem kazanmaktadır. Yapının çatısına yerleştirilen güneş enerjisi kolektörleri sayesinde sistemin tankında sıcak su depolanmakta ve kullanım sonucu döngüde soğuyan su bir pompa yardımıyla kolektörlere

iletilip ısıtılmaktadır. Ayrıca ek bir düzenek ile soğutma işleminde de kullanılabilen bu sistem güneş enerjisinden bu alanda yararlanılmasını sağlamaktadır (1).

Bununla birlikte, güneş enerjisi kullanarak gelişen bitkiler yakılarak enerji üretiminde kullanılmaktadırlar (2).

Ayrıca günümüzde güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmeye yarayan sistemler oldukça yaygınlaşmıştır. Güneşten alınan enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemler fotovoltaik sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemleri fotovoltaik paneller oluşturur. Fotovoltaik paneller ise belirli sayıdaki fotovoltaik hücrenin bir arada paralel veya seri bağlantısı ile oluşturulmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Fotovoltaik sistem (Worldindustrialreporter, 2013)

Güneş ışığından elektrik elde edilmesini sağlayan fotovoltaik sistemler gibi yine güneşin ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemler de mevcuttur. Şekil 2.3'de görülen ‘Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrali’ olarak adlandırılan bu santraller genel olarak yansıtıcı yüzey, alıcı ve enerji üretim santrali olarak 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Alıcının içerisinde yansıtıcı yüzeyden gelen güneş ışığı yardımıyla ısıtılan özel bir sıvı buhar jeneratörleri sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülür (3).



Şekil 2.3 Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrali (Cspworld, 2015)

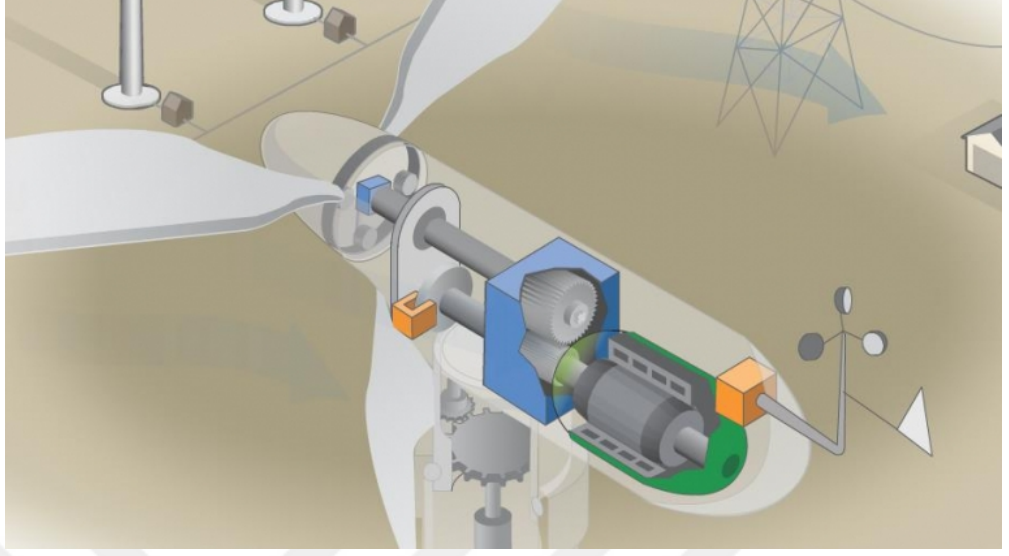
2.2.2 Rüzgar enerjisi teknolojileri

Rüzgar enerjisi de, güneş enerjisi gibi geçtiğimiz çağlardan bugüne popülerliğini kaybetmemiştir. Geçmişte, denizciler tarafından gemilerin hareketi ve çiftçiler tarafından tahılların un haline getirilmesi gibi işlemlerde kullanılmış olan rüzgar enerjisi günümüzde daha modern bir şekilde kullanılmaktadır.

Rüzgar enerjisinin kaynağının bol olması, çevreyi kirletmemesi gibi avantajlarının yanında esme şiddetinin ve periyodunun belirsiz olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Dahası, enerji üretimi için yüksek miktarlardaki hava kütesinin hareketi gerekmektedir. Günümüzde, rüzgar enerjisinden faydalanmamızı sağlayan rüzgar türbinleri, kurulduğu bölgenin rüzgar rejimine göre tasarlanmaktadır.

Rüzgar türbinleri genel olarak merkezi göbek etrafında dönen kanatlardan ve bu dönme hareketini elektrik enerjisine dönüştürecek dişli ve jeneratör sisteminden oluşmaktadır. Teorik olarak, enerji dönüşüm verimi Betz Yasası'na göre %59 olarak hesaplanmışken günümüzde pratik

uygulamalarda rüzgar türbinlerinin verimleri yaklaşık %40 civarındadır (Blackwood, 2015).



Şekil 2.4 Rüzgar türbini iç yapısı (U.S. Department of Energy, 2014)

AC güç üreten rüzgâr türbinlerinin güçleri günümüzde 8 MW'lara kadar çıkabilmektedir. Rüzgâr enerjisini en çok kullanan ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Almanya, İspanya ve Hindistan'dır.

2.2.3 Biyokütle enerjisi teknolojileri

Biyokütle enerjisi organik yapıdaki bitkiler, gübreler ve organik atıklar gibi maddelerden elde edilen yenilenebilir enerji çeşididir. Sonsuz bir kaynağa sahip olması, hemen hemen her yerde elde edilebilirliği ve çevre kirliliğini azaltması gibi önemli etkenlerden dolayı günümüzde oldukça popüler hale gelmiştir. Organik atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan enerjinin ısı veya elektrik gibi değişik enerji çeşitlerine çevrilmesinin yanı sıra biyokütleler, biyoyakıt adı verilen sıvı yakıtlara da dönüştürülebilmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu gibi avantajları bulunan ve günümüzde özellikle Brezilya'da araç yakıtı olarak yaygın bir şekilde kullanılan, şeker kamışı ve mısır bitkilerinden elde edilen etanol, bu alanda biyoyakıtların en önemli örneklerindendir. Ayrıca hayvan yağlarından ve bitkilerden elde edilen biyodizel ve biyogaz yine biyoyakıtlardandır.

Günümüzde tarımsal biyokütle, hayvansal atıklardan elde edilen biyokütle, ormansal biyokütle, şehrsel atıklardan elde edilen biyokütle, su bitkilerinden elde edilen biyokütle ve enerji bitkilerinden elde edilen biyokütle gibi çeşitleri bulunan biyokütle enerjisinin pek çok avantajı bulunmaktadır. Yakıldığında asit yağmurlarına sebep olan SO₂ ihtiva etmemesi, fosil kaynaklar gibi fiyat dalgalanmalarından etkilenmemesi, çevreci olması gibi özellikleri vardır.

Biyokütle enerjisi, elektrik, ısı, sıvı ve katı yakıtlar gibi ikincil enerji kaynaklarına ısısal, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle rahatlıkla dönüştürülebilmektedir. Yakma (doğrudan yakma ve piroliz), gazlaştırma, sıvılaştırma ve karbonlaştırma gibi çeşitleri bulunan, biyokütle enerjisini kullanılabilir enerjiye dönüştüren termo-kimyasal yöntemler günümüzde en fazla kullanılan yöntemlerdendir (Zobaa ve Bansal, 2012).

Dünyada biokütle enerjisi kullanımı bakımından Finlandiya, İsveç, Avusturya, Brezilya ve ABD önde gelen ülkelerdendir.

2.2.4 Jeotermal enerji teknolojileri

Dünya yüzeyinden merkezine yaklaşık 6500 km uzaklıkta bulunan çekirdek sıcaklığı yaklaşık olarak 5000°C'dir. Bu sıcaklık dünya yüzeyine doğru hareket etmekte ve yeraltı sularının veya kayaçların sıcaklığını artırmaktadır. İşte bu ısıdan elde edilen enerjiye jeotermal enerji adı verilmektedir.

Temel olarak jeotermal sistemlerde, jeotermal enerjinin 3 ana kullanım alanı bulunmaktadır. Borular yardımıyla yüzeye çıkarılan sıcak suyun veya su buharının buhar türbinine yönlendirilmesi ile ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü sağlanmaktadır. Burada kullanılan sıcak su tekrardan toprağa verilerek enerji dönüşümü sağlanmaktadır. Diğer yandan jeotermal enerjinin belirli bir ısı ihtiyacının karşılanmasında (konut/sera/bölge ısıtma, soğutma, kaplıcalarda sıcak su ihtiyacı gibi) direkt kullanımı da söz konusudur.

özellikle türbinler olmak üzere tüm parçaların bakımları planlı ve düzenli bir şekilde yapılması sonucunda %90 oranlarına varan yük kapasitesinde çalışabilmektedirler (Wadhwa, 2011).

Ülkemiz jeotermal 31500 MW'lık jeotermal enerji potansiyeli ile bu alanda dünyada ilk 10 ülke arasındadır. Jeotermal enerji kullanımında ise Dünya'da ilk 5 ülke arasında ve Avrupa'da lider konumdadır (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2009).

2.2.5 Hidrolik enerji teknolojileri

Hidroelektrik santraller (HES) kurularak su akışından elde edilen enerji türü olan hidrolik enerji dünyada yenilenebilir enerji kullanımı olarak ilk sırayı almaktadır. Yüksek verimlilikleri (yaklaşık %80 - 90), ucuz ve temiz olması hidrolik enerjisini bu alanda lider yapmıştır. Genel olarak elektrik üretiminde kullanılan hidrolik enerji, barajlardan elde edilmektedir. Barajlarda yüksekte bulunan su, bir kanal veya boru yardımıyla alt kısımdaki türbinlere yönlendirilir. Yukarıdan akan suyun etkisiyle dönen türbinlerden jeneratör vasıtasıyla elektrik üretilmektedir. Burada akan suyun kütlesi ve barajın yüksekliği üretilecek enerjiyi belirlemektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Hidroelektrik santral (HES) (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü)

HES kurulumundan önce, kurulacağı alan hakkında, ortalama yağış miktarı, zemin sağlamlığı, bölgenin jeolojisi ve kurulum için gerekli hammadde konularında araştırma yapılmaktadır. Daha sonra ise, barajın konumu ve şekli, baraj alanının kolay ulaşılabilir olması ve barajın yük merkezlerine uzaklığı gibi konularda çalışılarak yapılacak santralin ekonomik olarak uygun olması sağlanmaktadır.

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre ilk kurulumunda nispeten daha yüksek bir yatırım gerektiren HES, uzun kullanım ömürleri ve düşük bakım ve onarım maliyetleri sebebiyle Dünya'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

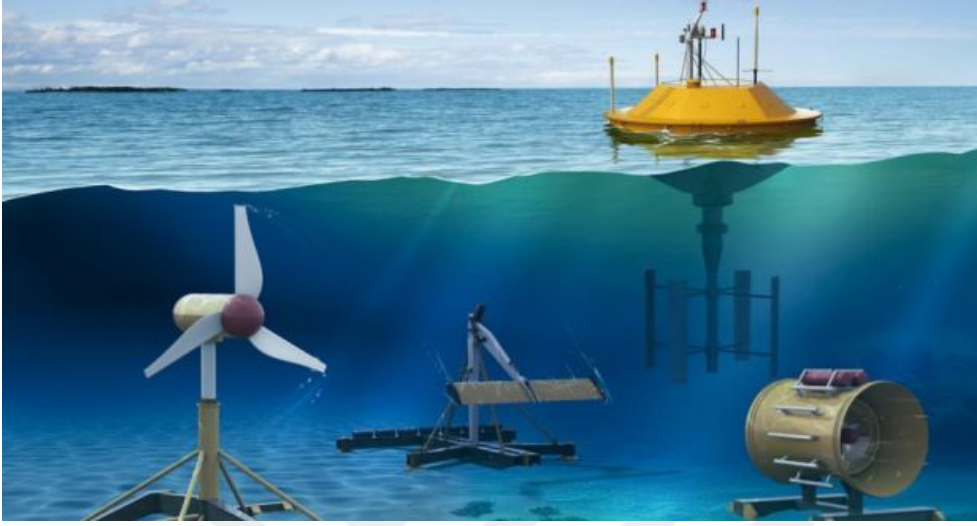
Ülkemizde enerji üretiminin yaklaşık %20'lik bir kısmı hidroelektrik santrallerinden sağlanmaktadır. Dünya'da toplam 970 GW'lık kurulu güce sahip hidrolik enerji kullanımı ise yaklaşık olarak %14 civarındadır. Bu alanda hidrolik enerjiyi en çok kullanan ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Brezilya ve Kanada'dır (Koç ve Şenel, 2013)

2.2.6 Dalga ve gel-git enerjisi teknolojileri

Dalga ve gelgit enerjisi genellikle mekanik bir parça yardımıyla okyanus veya denizlerdeki dalgalardan ve gel-git olayından yararlanarak üretilen yenilenebilir enerji çeşididir. Su yüzeyindeki rüzgar hareketinden oluşan dalgalardan ve ay ve güneşin çekim hareketinden oluşan gel-git olayları sırasında sudaki hareket enerjisi çeşitli aktarım parçaları ve bir jeneratör vasıtasıyla Şekil 2.8'de görüldüğü gibi değişik teknolojiler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Okyanuslardaki dalga ve gel-git enerjisi, güvenilir ve verimli bir şekilde kullanıldığı takdirde hem kinetik hem de potansiyel enerji seçeneği sunmaktadır. Günümüzde bu alanda birçok enerji çevrim teknolojisi kullanılmasına rağmen dalga ve gel-git enerjisi hala demo aşamasında olup istenilen seviyede yaygınlaşamamıştır. Yüksek maliyetleri ve çalışma alanlarının az olması bu alandaki dezavantajlardandır. Bunlara rağmen

günümüzde dalga ve gel-git enerjisi alanında kullanılan türbinlerin verimleri %30 ile %50 oranlarında olmaktadır. Dahası, servis ömürleri 25 yıla kadar çıkabilen türbinlerin güçleri de 200kW civarlarında olabilmektedir (Duffy vd., 2015).



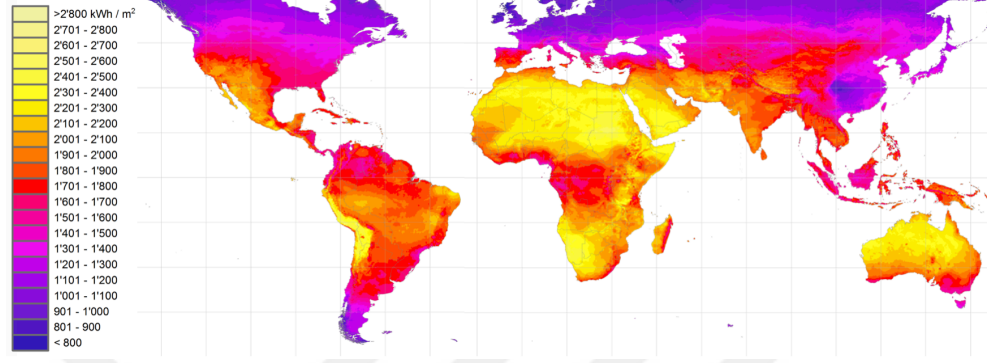
Şekil 2.8 Değişik dalga ve gel-git enerjisi teknolojileri (Irishtimes)

Diğer yenilenebilir enerji sektörlerine nazaran yeni ve gelişmekte olan dalga ve gel-git enerjisi sektöründe özellikle Avustralya, Şili, İrlanda, Yeni Zelanda, Güney Afrika ve ABD gibi ülkeler ortalama 40-60 kW/m²'lik güç yoğunluğu potansiyeli ile dünyada bu alanda öncü konumdadırlar (IRENA, 2014).

2.3 Dünya'da ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımı

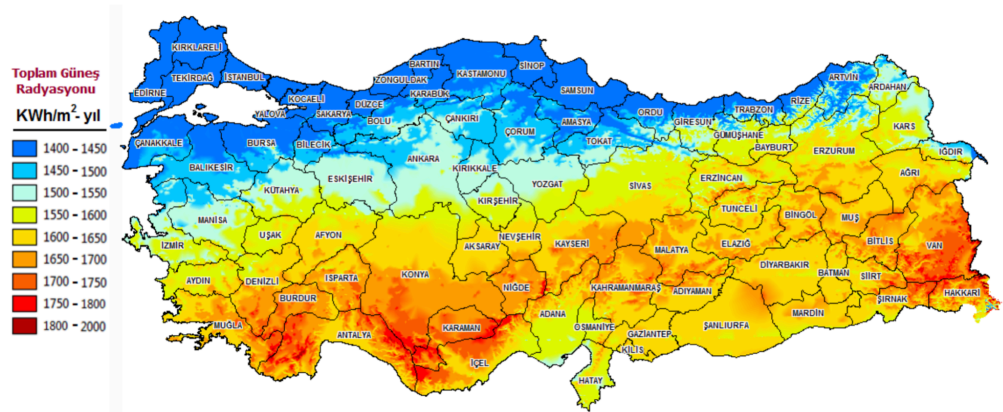
Dünya çapındaki ekonomik krize rağmen çoğu ülkenin gelecekte yaşanması öngörülen sorunların çözülmesi adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, son yıllarda bu kaynakların kullanımını önemli ölçülerde artırmıştır. Son birkaç yıldır küresel düzeyde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı yıllık yaklaşık %1.5 oranında artış göstermektedir. Bu kaynakların kullanımı sayesinde son 40 yıldır artan karbon emisyonu ilk defa 2014 yılında küresel çapta sabit kalmıştır (IEA, 2015). Ayrıca dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı bu alanda farkındalığı artırmış, ülkeleri iklim değişikliği konusundaki önlemlere yönlendirmiş, yeni iş kaynakları oluşturmuş ve enerjinin günümüzdeki modern enerji

kaynaklarından uzak kalan milyonlarca insana ulaşmasını sağlamıştır. Dahası Almanya, 8 Mayıs 2016 tarihinde yaptığı denemede, 57.6 GW olan enerji ihtiyacının %95'lik kısmını güneş (%45.2), rüzgar (%36), biyokütle (%8.9) ve hidrolik (%4.8) enerji santrallerinden karşılayarak yenilenebilir enerji kullanımında müthiş bir rekor kırmıştır (Populer Science, 2016).



Şekil 2.9 Dünya güneş atlası (Metenorm, 2015)

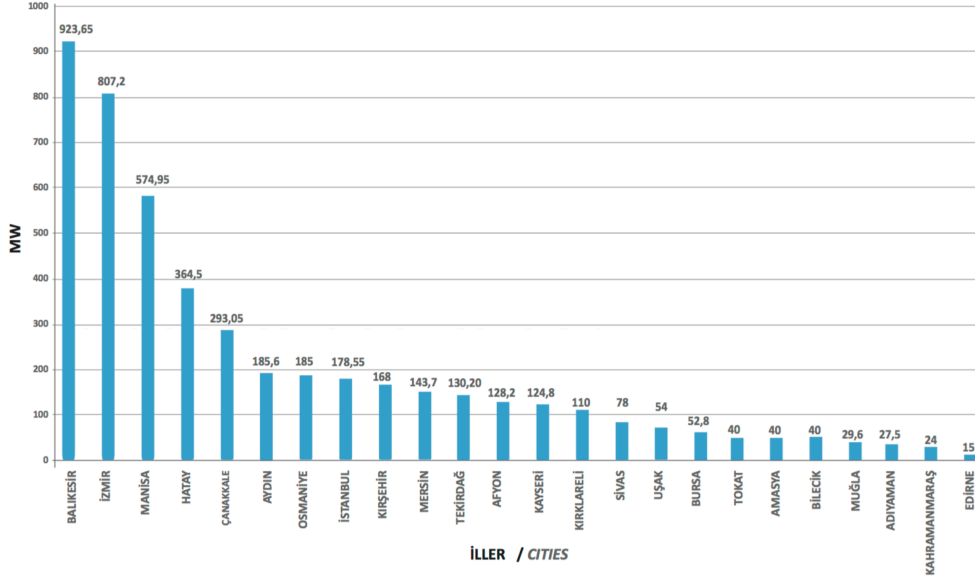
Dünya'nın güneş atlasına bakıldığında (Şekil 2.9), Güney Amerika, Afrika, Avustralya ve yengeç dönencesi yakınlarında bulunmakta olan ülkelere düşen güneş ışınımının yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Türkiye de bu alandaki önemli ülkeler arasındadır. Ülkemizin güneş atlasına bakıldığında ise de (Şekil 2.10), özellikle Antalya çevresinin başta olmak üzere güney kesimlerin yüksek güneş ışınımı aldıkları görülmektedir.



Şekil 2.10 Türkiye güneş atlası (EİE)

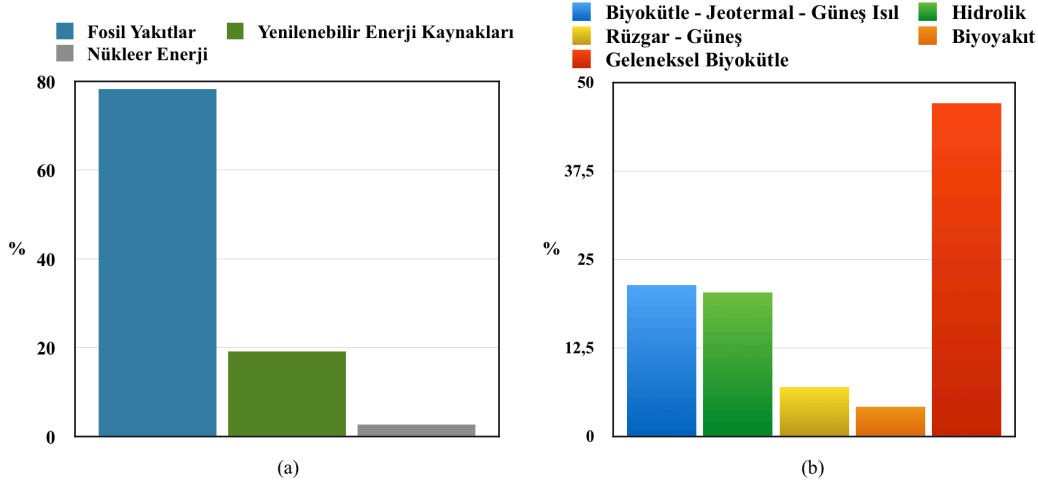
Rüzgar enerjisi kullanımına bakıldığında Çin, 145 GW kurulu gücüyle bu alanda Dünya'da ilk sırayı almaktadır. ABD 74 GW, Almanya 45 GW, Hindistan 25 GW, İspanya 23 GW, Birleşik Krallık 13 GW ve Kanada 11 GW güç değerleri ile bu alanda önemli ülkelerdendir (GWEC, 2016).

Türkiye'de 2015 yılı sonu itibariyle 4.6 GW değerine ulaşan rüzgar kurulu gücünün illere göre dağılımı Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 İllere göre ülkemizin kurulu rüzgar gücü dağılımı (TÜREB, 2016)

Jeotermal enerji kapasitesi olarak Dünya'da önemli ülkeler arasında olan Türkiye kurulu gücünü 2014 yılında %17 oranında artırarak 524 MW güç değerine çıkarmıştır. Bu alanda ABD 3.5 GW, Filipinler 1.9 GW, Endonezya 1.3 GW, Meksika 900 MW güç değerleri jeotermal kurulu gücü alanında ön sıralarda yer almaktadır (REN21, 2015).

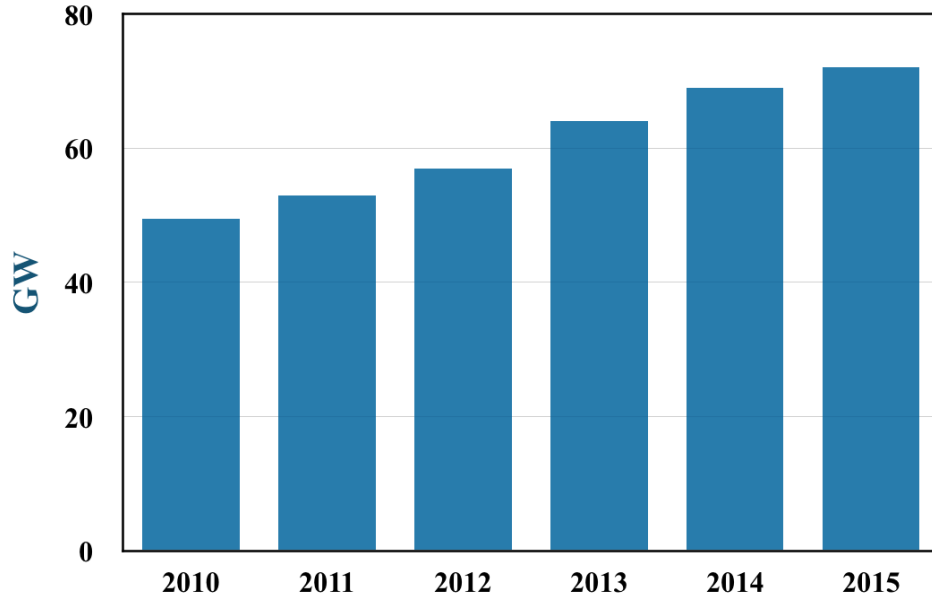


Şekil 2.12 (a) Dünya'da birincil enerji kaynaklarının kullanımı, (b) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (REN21, 2015)

Ülkemizde, yenilenebilir enerjinin 4653MW'lık kısmını rüzgâr enerjisi, 524 MW'lık kısmını jeotermal enerji, 317 MW'lık kısmını biyokütle

ve atık ısı enerjisi oluşmaktadır (Embassy of the Kingdom of the Netherlands, 2015). Bununla birlikte ülkemizin fotovoltaik kurulu gücü 443 MW değerine ulaşmıştır. (Enerji Enstitüsü, 2016)

Gerçekleşmesi düşünülen hedefler dâhilinde 2030 yılına gelindiğinde ülkemizin enerji ihtiyacının %50'lik kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması planlanmaktadır. Bununla birlikte 2023 yılına gelindiğinde toplam kurulu hidrolik gücün 36000MW, jeotermal gücün 2000MW, biyokütle gücünün 4000MW, rüzgâr gücünün 20000MW, fotovoltaik gücün ise 3000MW olması planlanmaktadır (WWF, 2014).



Şekil 2.13 Ülkemizin yıllara göre toplam kurulu gücü

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

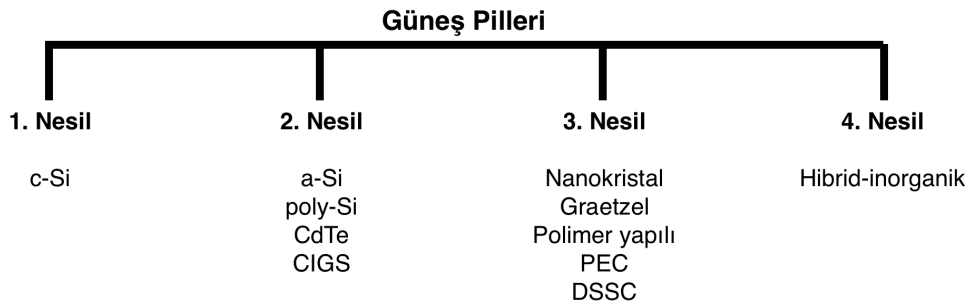
Fotovoltaik teknoloji, güneş ışınımını hareketli parça kullanmadan, fosil yakıt kullanmadan, çevreyi kirletmeden ve düşük bakım maliyetleri ile elektrik enerjisine dönüştürür. Kaynağının sonsuz enerji olarak tabir edilen güneş olması ve gün geçtikçe maliyetlerinin azalması fotovoltaik sistemleri günümüzde oldukça popüler hale getirmiştir.

3.1 Fotovoltaik İlke

Fotovoltaik etki ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Edmund Bequerel tarafından dile getirilmiştir. Bequerel yaptığı çalışmada, ışık altında gümüş kaplı platinyum elektrotun düşük de olsa bir elektrik akımı ürettiğini gözlemlemiştir. 1883 yılına gelindiğinde ilk güneş pili (solar cell) Charles Fritts tarafından bulundu. Verimi yaklaşık %1 olan bu hücrede selenyum ve altın kaplama kullanılmıştı. Daha sonra 1905 yılında Albert Einstein ışığın temel prensiplerini ve fotovoltaik etkiyi tanımlamıştır. Sonraları kendisine Nobel ödülü kazandıracak bu çalışmada Einstein, ultraviyole ışınlarının metal yüzeyinden elektron koparmaya yetecek enerjide olduklarını tespit etmiştir (Nelson, 2003).

3.2 Fotovoltaik Hücreler

Günümüzde kullanılan silikon tabanlı güneş pillerinin temelleri 1954 yılında ABD'deki Bell Laboratories tarafından atılmıştır (Knier, 2002).



Şekil 3.1 Güneş pilleri

Güneş pillerinin hammaddesi günümüzde hala yaygın olarak kullanılan

silikon yarıiletkenidir. Elektrik iletkenliği, bol ve ucuz oluşu silikonun popülerliğini devam ettirmesini sağlamıştır.

Güneş pilleri günümüzde temel olarak 4 kısma ayrılmaktadır (Şekil 3.1). Küresel pazarda en yaygın olarak kullanılan 1. Nesil güneş pillerinin temelini kristal yapıdaki silikon oluşturmaktadır. Monokristal ve polikristal yapılarındaki hücrelerin verimleri %25 oranına kadar çıkabilmektedir (NREL, 2016). Maliyetleri nispeten daha düşük olan, daha hafif ve esnek bir yapıdan oluşan 2. Nesil güneş pilleri aynı zamanda ince-film güneş pilleri olarak da adlandırılmaktadır. Bahsedilen avantajlarının yanında verimlerinin 1. Nesil güneş pillerine oranla daha düşük olması ve toksik etki göstermeleri sebebiyle 2. Nesil güneş pilleri henüz istenilen düzeyde yaygınlaşmamıştır.

Tablo 3.1 Çeşitli yapıdaki güneş pili verimleri (25°C, 1000 W/m², AM 1.5) (Green vd., 2015)

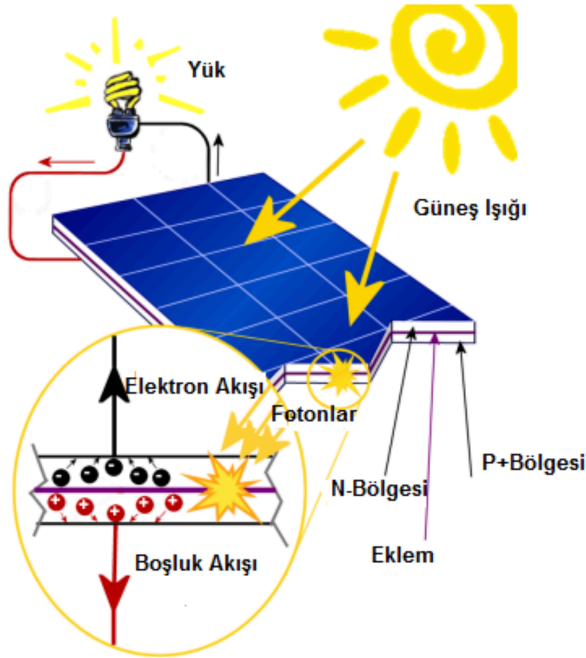
SINIF	VERİM (%)	TEST MERKEZİ
Monokristal	25.6	AIST
Polikristal	20.8	Fraunhofer-ISE
GaAs İnce Film	28.8	NREL
GaAs Polikristal	18.4	NREL
InP Monokristal	22.1	NREL
CIGS	21.0	Fraunhofer-ISE
CdTe	21.0	Newport
a-Si	10.2	AIST
Organik İnce Film	11.0	AIST
Perovskite İnce Film	15.0	AIST
Beş-Kavşaklı (Five-junction)	38.8	NREL
InGaP/GaAs/InGaAs	37.9	AIST
a-Si/nc-Si/nc-Si İnce Film	13.6	AIST

Organik (plastik) güneş pillerini içeren 3. Nesil güneş pilleri nanokristal ve polimer yapılar temellidir. 1. ve 2. Nesil güneş pillerinden yapısal olarak farklı olan 3. Nesil piller, düşük ışıktaki çalışabilme, düşük maliyet gibi özelliklere sahiptir. Çoklu-spektrum katmanlardan oluşan 4. Nesil güneş pilleri ise geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir. Yine

polimer yapı tabanlı olan 4. Nesil pillerde yüzeye gelen ışık çeşitli dalga boylarına çevrilerek en verimli şekilde absorbe edilir. Yapılan deneylerde verimleri %46 oranına (NREL, 2016) kadar çıkan 4. Nesil piller, diğerlerine nispeten daha verimlidir.

3.2.1 Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi güneş pili, güneş ışığı altında gelen fotonların pil yüzeyine çarpması sonucu elektronların hareketi sayesinde n-tip ve p-tip bölgeler arası bir potansiyel fark oluşturur. Gelen ışının gücüne bağlı olarak değişen bu potansiyel fark sayesinde pilin iki ucuna bağlanan yüke bir doğru akım (DC) akar.

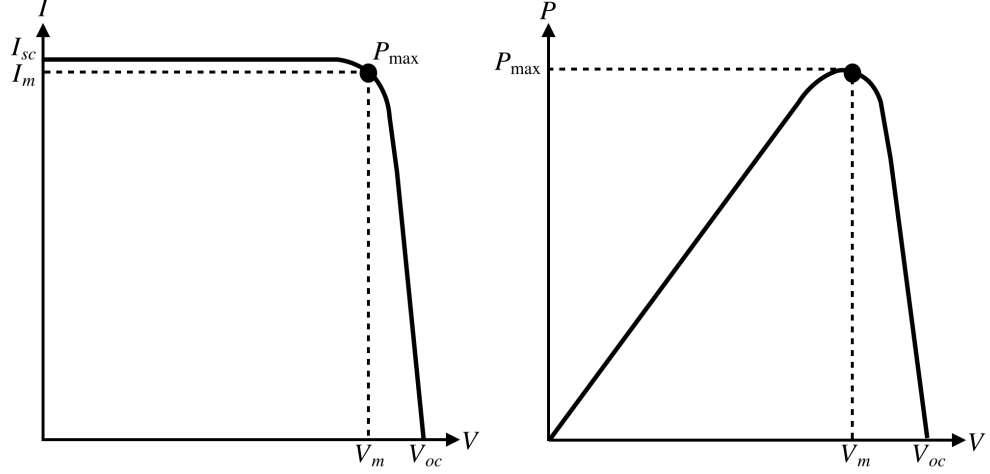


Şekil 3.2 Güneş pili iç yapısı (Mahmutselekoğlu, 2012)

3.2.2 Fotovoltaik hücre karakteristikleri ve çalışma koşullarının etkisi

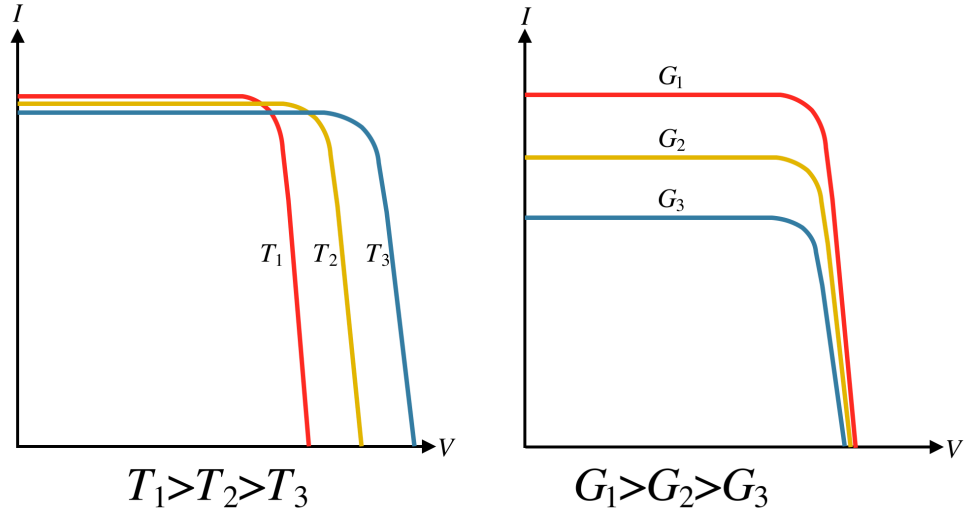
I-V (akım-gerilim) ve P-V (güç-gerilim) eğrileri, standart test koşulları altında (25°C , 1000 W/m^2 , AM 1.5), güneş pilinin güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilme kabiliyetini göstermektedir (Şekil 3.3). Burada I_{sc} güneş pilinin sıfır gerilimde yani kısa devre halindeki akımını,

V_{oc} ise sıfır akımda yani açık devre halindeki gerilim değerini temsil etmektedir. Yine aynı grafikler üzerindeki I_m ve V_m değerleri güneş pilinin maksimum akım ve maksimum gerilim değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.3 Güneş pili I-V ve P-V eğrileri (25°C , 1000 W/m^2 , AM 1.5)

Eğri üzerinde I_m ve V_m değerlerinin birleştiği P_{max} noktasında güneş pili maksimum güçte çalışmaktadır. Dolayısıyla I-V eğrisi üzerinde P_{max} noktası altında kalan alan en büyük değerini almaktadır.



Şekil 3.4 Güneş pili sıcaklık (T) ve ışınım (G) değerlerinin I-V eğrisi üzerindeki etkileri

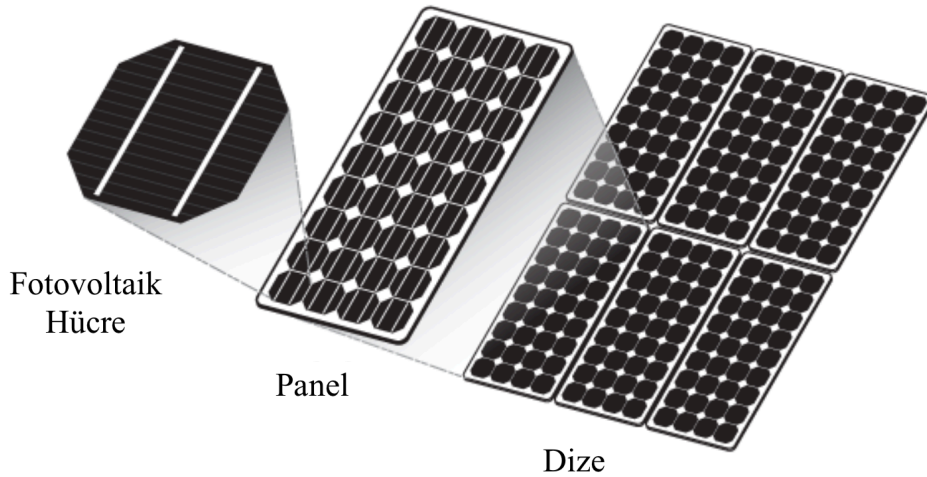
Şekil 3.4'te ise sıcaklık (T) ve ışınım (G) değerlerinin güneş pili üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi güneş pili ısındıkça akım değeri çok az bir değişim gösterirken gerilim değeri düşmektedir. Bir diğer

yandan ışıının artması da hücre akımını artırmaktadır. Artan ışıının değerlerinde gerilim artışı da çok küçük olmaktadır. Sonuç olarak hücrelerin yüksek ışıının ve düşük sıcaklıkta en verimli şekilde çalıştıkları anlaşılmaktadır. Ayrıca yine nemli ve tozlu ortamlarda güneş pillerinin I-V eğrisi üzerinde değişimler olmaktadır.

3.3 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler, fotovoltaik panellerin ihtiyaca göre istenilen güçte seri veya paralel bağlanmasıyla meydana getirilen fotovoltaik dizeler tarafından oluşturulmaktadır. Her bir fotovoltaik panel de güneş pillerinin yine istenilen panel gücüne göre seri ve paralel bağlantılı şekilde oluşturulmaktadır (Şekil 3.5).

Güneş ışıının zamanla değişmesi sebebiyle fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerji çoğu durumlarda işlenerek veya depolanarak kullanılabilir. Bunun yanında havalandırma, sulama gibi nispeten elektrik sürekliliğinin daha az önemli olduğu işlemler için depolama sistemi ve şebeke bağlantısı olmayan fotovoltaik sistemler kullanılabilir.



Şekil 3.5 Fotovoltaik hücre, panel ve dize (Samlexsolar)

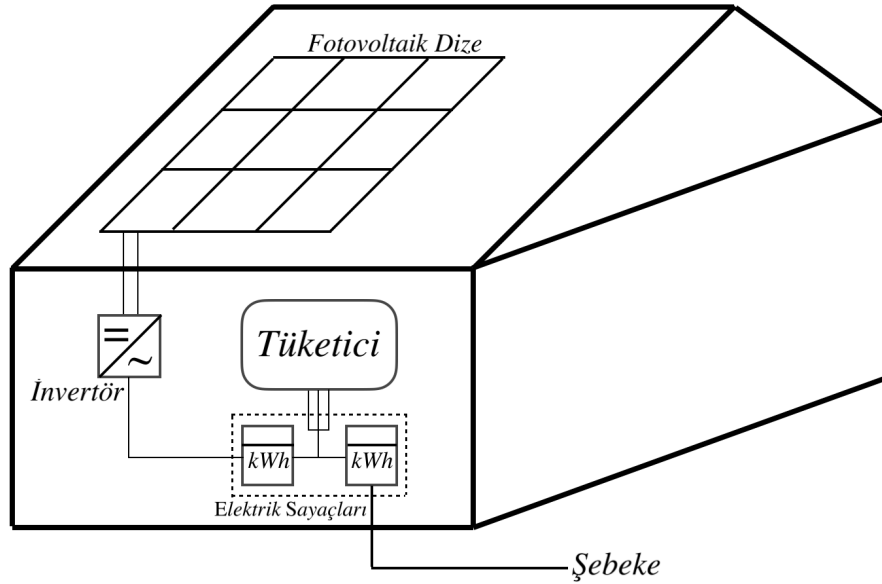
Elektrik depolama maliyetinin yüksek olması sebebiyle, genellikle 1kW ve üzeri güce sahip fotovoltaik sistemler şebekeye bağlanmakta ve akü grubu kullanmamaktadır. Günümüzde fotovoltaik sistemler şebeke

bağlantılı ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere 2 kısma ayrılmaktadır.

3.3.1 Şebeke bağlantılı sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde, fotovoltaik dize tarafından üretilen doğru (DC) enerji invertör (evirici) ismi verilen elektronik cihaz sayesinde alternatif (AC) enerjiye dönüştürülür ve bir elektrik sayacı üzerinden tüketiciye sunulur (Şekil 3.6). Tüketicinin o anki ihtiyacına göre, fotovoltaik dizeden gelen enerjinin yeterli olmaması durumunda yine başka bir elektrik sayacı üzerinden şebekeden enerji alınabilmektedir.

Opsiyonel olarak, fotovoltaik dizenin ürettiği enerjinin, o anki tüketimden büyük olması durumunda bu enerji fazlası şebekeye iletilebilmektedir. Bu sistemin en önemli parçalarından biri olan invertörler, şebeke elektriği ile aynı kalitede enerji dönüştürebilme yeteneğine sahip olmalıdır.



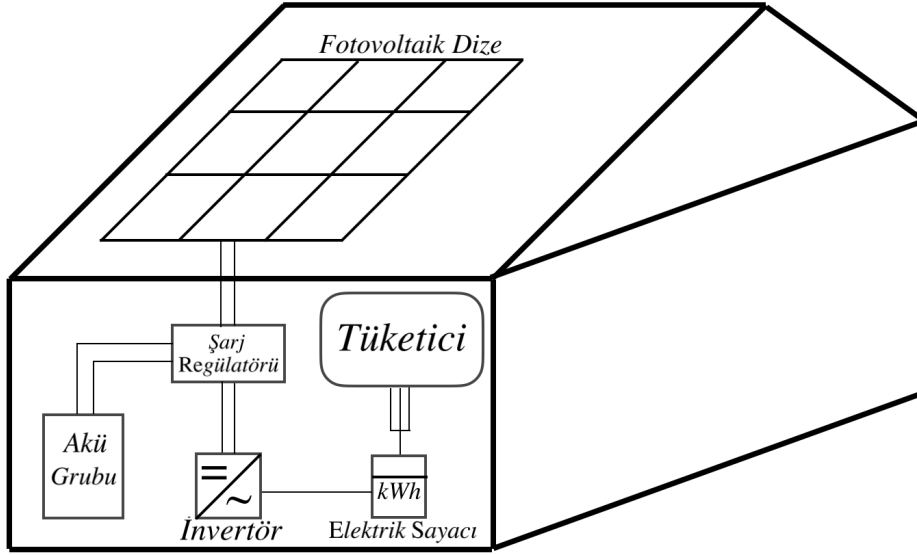
Şekil 3.6 Şebeke bağlantılı sistem

Hem şebeke bağlantılı, hem de şebekeden bağımsız sistemler tarafından kullanılabilen invertörler, enerjiyi kullanacak yüklerin durumuna göre çeşitlenebilmektedir. Yükün ihtiyacı olan dalga türüne (kare, sinüs vb.)

göre ve verimliliklerine göre de seçilebilen invertörlerin garanti süreleri genel olarak 10 yıl civarında olmaktadır. Performansları nominal çalışma gücü, kesme kapasitesi, verim ve harmonik bozulma gibi parametrelere bağlı olan invertörler, fotovoltaik panel tarafında veya tüketici tarafında bir problem ile karşılaşıldığında enerjiyi kesmekte ve sistemin zarar görmesini engellemektedir.

3.3.2 Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler genellikle elektrik şebekesinden uzak ve nispeten daha az enerji tüketen ihtiyaçlar için kurulan sistemlerdir. Genel şeması Şekil 3.7'deki gibi olan şebekeden bağımsız



Şekil 3.7 Şebekeden bağımsız sistem

sistemlerde, fotovoltaik dizeden üretilen enerji ihtiyaca göre kullanılmakta ve enerji fazlası ise akü grubunu şarj etmektedir. Fotovoltaik dizenin yetersiz olduğu zamanlarda veya hava karardığında tüketiciye akü grubundan enerji sağlanır.

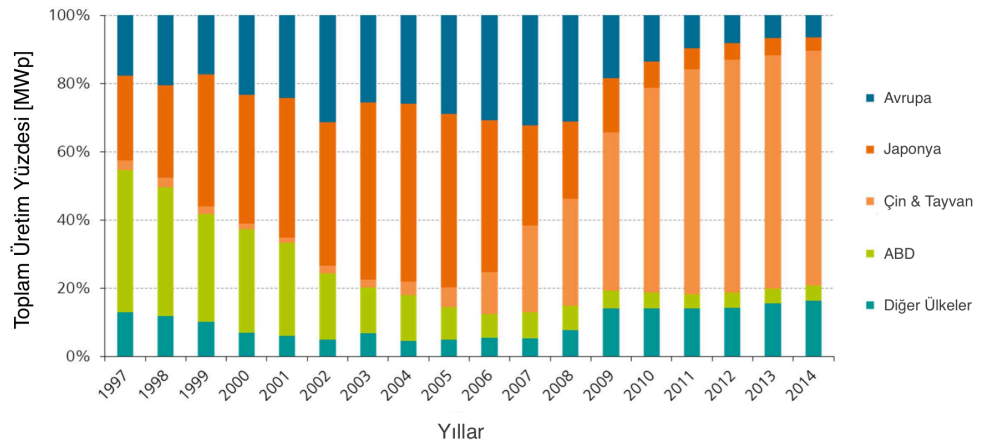
Hem pazarda sıkça nikel-kadmiyum, nikel-çinko, lityum-iyon, kurşun-asit vb. gibi türleri ile fotovoltaik sektöründe sıkça karşılaşılan, hem de günümüzde üzerinde pek çok araştırma-geliştirme (ARGE) faaliyeti yapılmakta olan aküler özellikle şebekeden bağımsız sistemler için yüksek

şarj-deşarj verimi, düşük öz-boşalım değeri ve uzun ömürlü olmaları gibi özelliklere sahip olmalıdırlar. Fotovoltaik sistem uygulamalarında en yaygın kullanılan akü tipi ise kurşun-asit akülerdir.

Akülerin şarj edilmesi sırasında şarj regülatörü adı verilen elektronik cihaz kullanılmaktadır. Neredeyse tüm akülü depolama sistemlerinde kullanılan şarj regülatörleri, akülerin verimli ve etkin bir şekilde şarj edilmesini sağlarken, enerji girişi ve çıkışı arasında izolasyon olduğundan herhangi sorun durumunda fotovoltaik dizeyi veya akü grubunu korumaktadır (Hagbini vd., 2013). Bununla birlikte sahip oldukları kontrol mekanizması sayesinde akü grubunun çeşidine, bağlantı durumuna ve sıcaklıklarına göre şarj ve deşarj olaylarını ayarlayabilmektedirler.

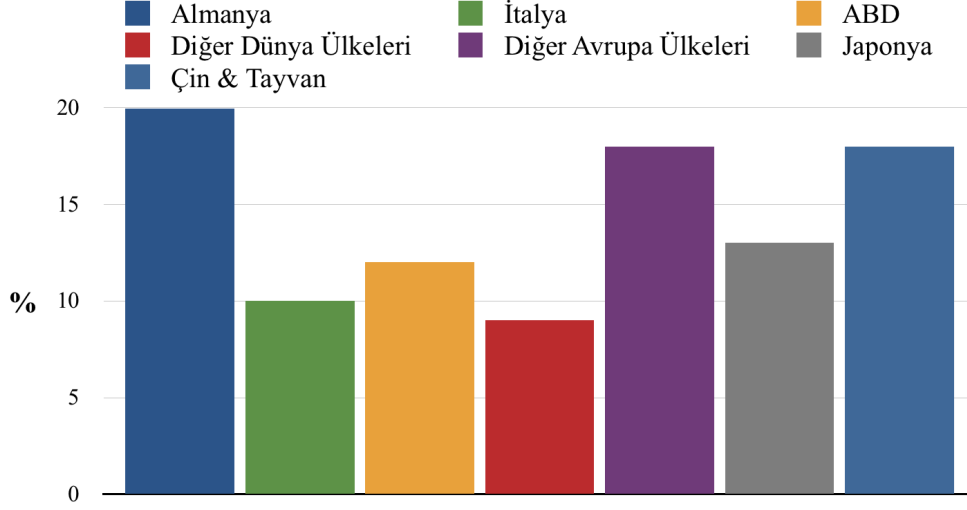
3.3.3 Dünya'da ve Türkiye'de fotovoltaik sistemlerin kullanımı

2014 yılının başları itibariyle küresel çapta toplam 150 GW'lık kurulu güce sahip olan fotovoltaik sistemler, gün geçtikçe popülerliğini artırmaktadır. Avrupa'da Almanya ve İtalya, dünya çapında ise Çin, Japonya ve ABD fotovoltaik pazarının önde gelen ülkelerindendir. 2050 yılına gelindiğinde fotovoltaik enerji üretiminin yaklaşık %16 olması planlanırken bu alanda en büyük adım %11'lik 2010 hedefinin gerçekleştirilmesi olmuştur (IEA, 2014).



Şekil 3.8 Dünya'da fotovoltaik panel üretimi (Fraunhofer, 2016)

Dünya' da 2014 yılının sonlarına gelindiğinde şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız toplam fotovoltaik kurulu güç (Şekil 3.9), 183GW değerine ulaşmıştır (Fraunhofer, 2016).



Şekil 3.9 Dünya'da fotovoltaik kurulu güç (Fraunhofer, 2016)

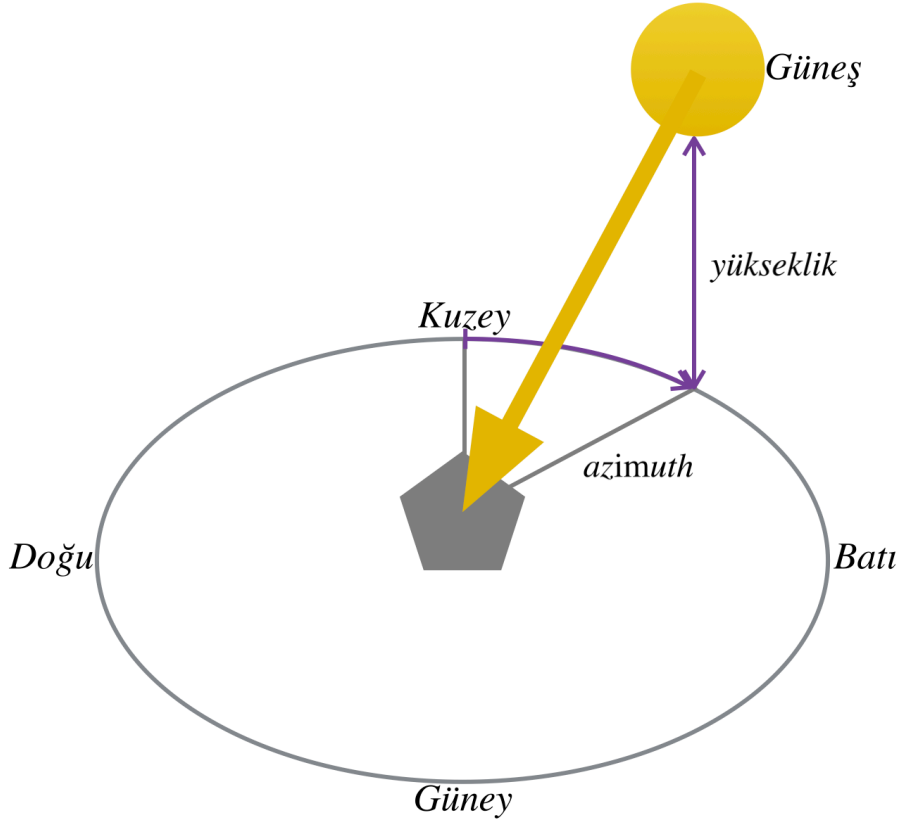
Türkiye, güneş ışınım değerleri olarak Avrupa'da önemli bir konumda bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri 2993 saat ve 2956 saatlik ortalama güneşlenme süresiyle ve 1460 kWh/m^2 ve 1390 kWh/m^2 'lik güneş ışınım değerleriyle ülkemizde en uygun konumlarda bulunmaktadırlar (Kılıç, 2015). 2003-2013 yılları arasında enerji ihtiyacı yaklaşık olarak iki katına çıkan ülkemizde, 2015-2023 yılları arası da yine enerji ihtiyacı artışında %5.5'lik bir oran öngörülmektedir (Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, 2014). Ülkemizde son yıllarda hızla gelişen fotovoltaik enerji üretiminin, 2023 yılına gelindiğinde toplam 3GW'lık kurulu güce ulaşması hedeflenmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013).

4. GÜNEŞİN KONUM HESABI VE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Güneşin yörüngedeki hareketinden dolayı, bulunduğu konum hem günlere hem de mevsimlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sebeple sabit fotovoltaik paneller güneş ışınımından yeterince faydalanamamaktadır (Özçelik vd., 2011). Güneşin hareketini takip ederek fotovoltaik panelin en verimli şekilde çalışmasını sağlayan güneş takip sistemleri günümüzde 3 farklı yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntemde güneşin gökyüzünde 15° /saat'lik bir hızla ilerlediği kabul edilmekte ve bu harekete göre güneş takip sistemi kontrol edilmektedir. İkinci yöntemde ise gelen ışığın yoğunluğunu ölçen LDR sensörleri yardımıyla takip sistemi konumlandırılmaktadır. Son olarak üçüncü yöntemde bulunulan konum ve zaman bilgilerinden güneşin konumu hesaplanır ve takip sisteminin güneşi izlemesi sağlanır. Her üç yöntemin de bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Birinci yöntem basit yapıdadır fakat hassasiyeti düşüktür. İkinci yöntem basit yapıda ve yüksek hassasiyettedir fakat gölgelenme gibi olaylarda ve havanın bulutlu olması durumunda sistem çalışamaz hale gelir. Üçüncü yöntem ise her konumda en etkili çözümü sunar fakat kontrol algoritması zordur (Wei ve Shaouyan, 2012).

4.1 Güneş Geometrisi ve Açıları

Dünya'nın biri kendi etrafında, biri de güneşin etrafında olmak üzere iki tane yörüngesi bulunmaktadır. Bu sebeple güneş ışığı azimuth ve yükseklik açıları olarak karakterize edilmiştir (Şekil 4.1). Dünya üzerindeki herhangi bir yüzeye düşen güneş ışınımı, güneş ısı kazancı, güneş kolektör açıları ve gölgelenme gibi değerlerin hesaplanabilmesi için güneşin gökyüzündeki hareketi kesin olarak bilinmelidir.



Şekil 4.1 Azimuth ve Yükseklik açıları

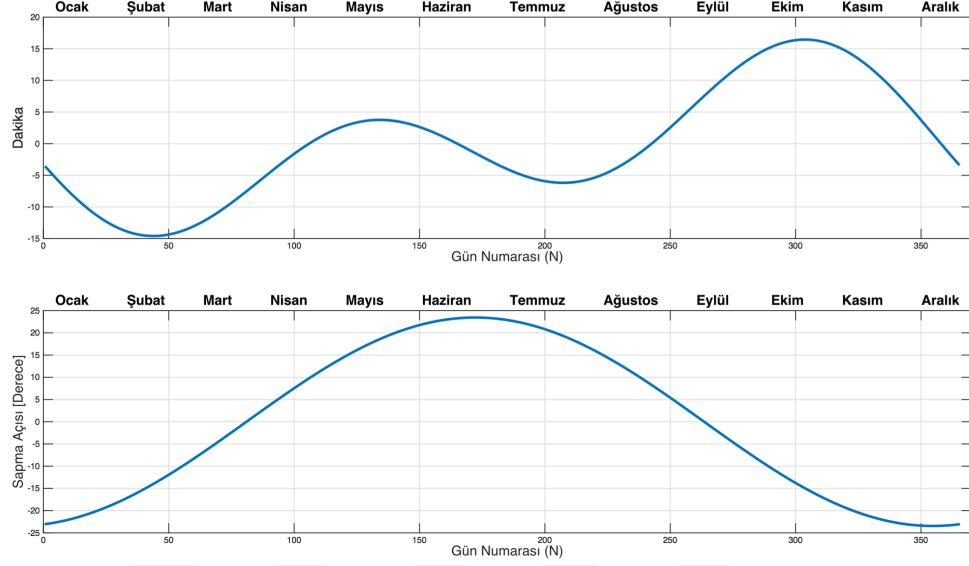
Bu açıların hesaplanması şu sırayla olmaktadır:

$$JD = (n - 81) \frac{360}{365} \quad (4.1)$$

burada JD Julian zamanı, n ise yılda o an bulunulan gündür. Örneğin 12 Ocak tarihinde $n = 12$, 5 Şubat tarihinde $n = 35$ olmaktadır. Dünya'nın güneş yörüngesinde yaptığı hareketle ilgili olarak yörüngesel hızı yıl boyunca değişim göstermektedir. Güneş etrafında elips şeklindeki yörüngesi olan Dünya hareketi sırasında 3 Ocak tarihinde güneşe en yakın, 4 Temmuz tarihinde ise en uzak konumda bulunmaktadır. Böylece Dünya'nın elips şeklindeki yörüngesindeki yarı yıllık (Ekim - Mart ayları arası) hızı, yıllık ortalama hızından fazla; diğer yarı yıllık (Nisan - Eylül ayları arası) hızı, yıllık ortalama hızından düşük olmaktadır (Kalogirou, 2009). JD değerinin bir fonksiyonu olan zaman denklemi (ET) ve güneşin sapma açısı (δ) aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

$$ET = 9.87\sin(2JD) - 7.53\cos(JD) - 1.5\sin(JD) \quad (4.2)$$

$$\delta = 23.45\sin(JD) \quad (4.3)$$



Şekil 4.2 Zaman denklemi (ET) ve güneşin sapma açısı (δ) değerlerinin günlere göre değişimi

Daha sonra,

$$TST = (LT - \Delta - 4(L - L_{st}) + ET) \quad (4.4)$$

hesaplanır. Bu denklemde gerçek güneş zamanı (TST), yerel zaman (LT), boylam açısı (L), güneş merkezine göre boylam açısı (L_{st}) ve (Δ) parametrelerinden oluşmaktadır. Bulunulan mevsim kış ise $\Delta=1$ saat, yaz ise $\Delta=2$ saat olarak alınır. Daha sonra saat açısı (ω) değeri hesaplanır:

$$\omega = (TST - 12) \frac{360}{24} \quad (4.5)$$

Son olarak güneşin azimuth (a) ve yükseklik (h) açıları hesaplanır:

$$h = \sin^{-1}(\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta) \quad (4.6)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cosh} \quad (4.7)$$

Burada ϕ , yerel enlem açısıdır.

4.2 Güneş Takip Sistemleri

Güneş takip sistemleri, fotovoltaik panellerin, yansıtıcıların veya herhangi başka optik cihazların güneşi takip etmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde gün içerisinde konumu sürekli olarak değişen güneşten gelen enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Değişik güneş takip sistemleri tarafından alınan güneş ışıınımı (Kalogirou, 2009)

Takip Modu	Alınan Güneş Işınımı (kWh/m ²)			Takip İşlemi Sonucu Gelen Işınımı Kullanabilme (%)		
	Ekinokslar	Yaz Ekinoksu	Kış Ekinoksu	Ekinokslar	Yaz Ekinoksu	Kış Ekinoksu
2-Eksenli Takip	8.43	10.60	5.70	100	100	100
1-Eksenli Doğu-Batı Kutupsal Takip	8.43	9.73	5.23	100	91.7	91.7
1-Eksenli Kuzey-Güney Yatay Takip	7.51	10.36	4.47	89.1	97.7	60.9
1-Eksenli Doğu-Batı Yatay Takip	6.22	7.85	4.91	73.8	74.0	86.2

Güneş enerjisi uygulamalarının gelişimi için kritik bir rol oynayan güneş takip sistemleri, özellikle yüksek sıcaklıklı yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santralleri gibi güneşi doğrudan elektrik veya ısı enerjisine dönüştürmede kullanılan sistemler için önem arz etmektedir. Bu gibi sistemlerde, gün içerisinde sistem üzerine gelen güneş ışıınının yüksek hassasiyetli takip işlemi sonucu en verimli şekilde kullanılması

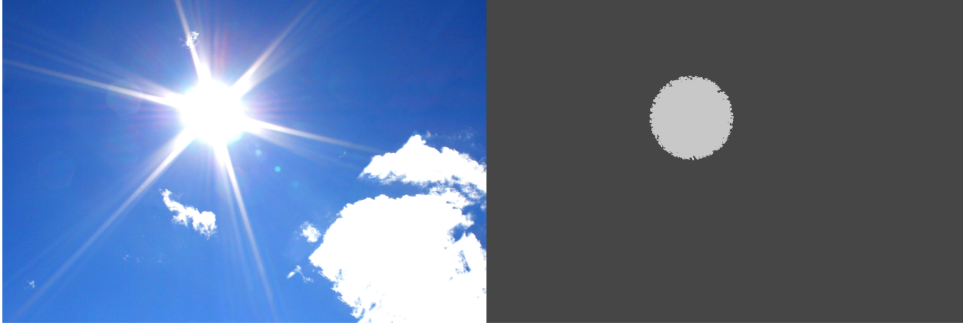
amaçlanmaktadır. Santralin maksimum güçte çalışması için de yüksek hassasiyetli takip sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Güneş takip sistemleri genellikle aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır:

1. Aktarma ve mekanik sürme sistemi: Lineer motorlar ve çeşitli dişli sistemleri;
2. Elektrik motorları: Mekanik sürme için gerekli, akım, frekans ve hız kontrollü AC ve DC elektrik motorları
3. Akü grubu: Enerji depolamak için gerekli aküler
4. Ölçüm cihazları: Eğim sensörleri, LDR, rüzgar sensörü, sıcaklık sensörü, nem sensörü, basınç sensörü ve piranometre
5. Kontrol sistemi: Programlanabilir gömülü sistem ve güneş takip algoritması
6. Mekanik şasi: Takip sistemi iskeleti.

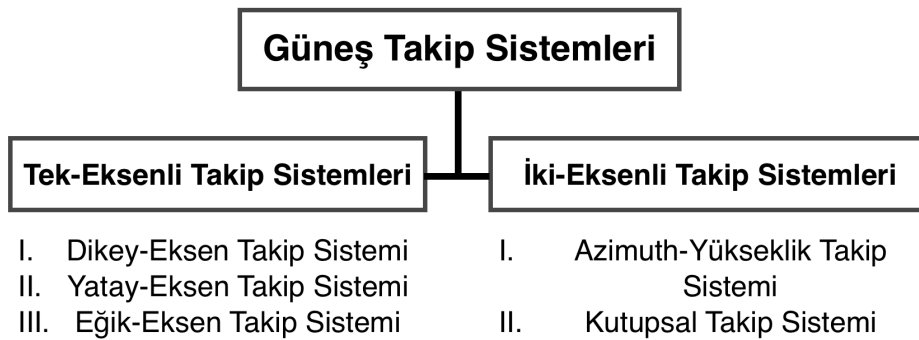
Günümüzde güneş takip sistemleri genellikle açık-çevrim (open-loop), ve kapalı-çevrim (closed-loop) olmak üzere 2 ana türde kontrol edilip sürülmektedirler. Açık-çevrim kontrollü güneş takip sistemlerinde güneşin o anki konumu herhangi başka bir geri besleme almadan sistemin o anki zaman, gün, ay ve yıl değerlerinden hesaplanır. Daha sonra motorlara gerekli komutlar gönderilerek sistemin konumlandırılması sağlanır. Kapalı-çevrim kontrollü güneş takip sistemlerinde ise takip eksenine gören güneş panelinin sağında, solunda ve/veya yukarısında, aşağısında konumlandırılmış ışığa duyarlı optik sensörler tarafından veya kamera görüntüleri sayesinde ölçülen verilere göre güneşin konumu belirlenir. Güneşin daha dik olarak gördüğü taraftaki sensörün çıkış değeri diğer taraftaki sensörün çıkış değerinden farklı olacağından, mikrodnetleyici içerisine yüklenmiş olan kod tarafından bu değerler kıyaslanır ve sonuç olarak motorlara gerekli konumlandırma komutları gönderilir.

Kapalı-çevrim kontrollü güneş takip sistemlerinde geri besleme parçası olarak ışığa duyarlı cihazların yanında kameralı görüntü işleme yöntemi de kullanılmaktadır. Ayrıca açık-çevrim kontrollü güneş takip sistemlerinde de takip hatasını azaltmak için kullanılabilen kameralı görüntü işleme yöntemi yüksek çözünürlük ve hassasiyet sunan bir yöntemdir (Şekil 4.3). Bunların yanında kapalı-çevrim kontrollü güneş takip sistemlerinin eğim açı değerlerinin kontrolü için de çeşitli açı ve eğim sensörleri, ivmeölçer, jiroskop ve dijital pusula sensörü gibi sensörler de kullanılmaktadır (Prinsloo ve Dobson, 2014).



Şekil 4.3 Kameralı görüntü işleme yöntemi ile güneşin konumunun tespiti

Açık-çevrim kontrollü güneş takip sistemleri, kapalı çevrim kontrollü güneş takip sistemlerine göre daha ucuz, güvenilir ve basit yapıda olmalarına rağmen performansları daha düşük olabilmektedir. Kapalı-çevrim kontrollü güneş takip sistemleri daha verimli bir takip işlemi sağlasa da gölgelenme veya bulutlanma gibi olaylarda geri-besleme sinyalleri kaybolabilmektedir (Huynh vd., 2013).

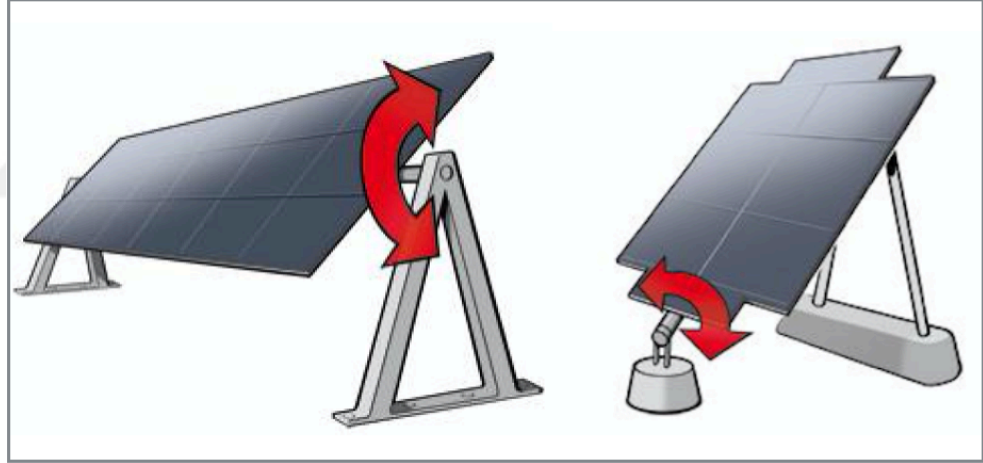


Şekil 4.4 Güneş takip sistemi çeşitleri (Chong vd., 2014)

Güneş takip sistemleri, tek-eksenli ve iki-eksenli güneş takip sistemleri olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (Şekil 4.4).

4.2.1 Tek-eksenli güneş takip sistemleri

Tek-eksenli güneş takip sistemleri, güneşi sadece yatay eksende veya sadece dikey eksende takip etmektedir (Şekil 4.5). Yatay eksende hareket eden tek-eksenli güneş takip sistemleri genellikle güneşin öğle vakti tam tepede ve günlerin de kısa olduğu tropik kuşakta kullanılır. Dikey eksende hareket eden tek-eksenli güneş takip sistemleri ise güneşin çok yükselmediği yüksek enleme sahip ve günlerin uzun sürdüğü bölgelerde tercih edilmektedir. Çeşitli kontrol algoritmalarının kullanıldığı bu sistemler sayesinde sistemin verimi yaklaşık %20 oranlarında artmaktadır (Yao vd., 2014).



Şekil 4.5 Tek-eksenli güneş takip sistemleri

4.2.2 İki-eksenli güneş takip sistemleri

İki-eksenli güneş takip sistemleri, güneşi hem yatay hem de dikey eksende takip etmektedir (Şekil 4.6). Bu şekilde hem sadece yatay eksen takip eden, hem de sadece dikey eksen takip eden sistemlerin avantajları bir arada kullanılmış olmaktadır.

İki eksenli güneş takip sistemlerinde sistemin verimi sabit fotovoltaik panellere göre %40 oranlarında artmaktadır (Banerjee, 2015). Ayrıca iki-eksenli güneş takip sistemi ile gerçekleştirilen uygulamalarda, yaz aylarında, kış aylarına göre daha fazla verim artışı gözlenmiştir (Fathabadi, 2016).



Şekil 4.6 İki-eksenli güneş takip sistemi

5. SİSTEM TANITIMI VE MODELLENMESİ

Bu kısımda halen Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulu olarak bulunan iki-eksenli sistemin tanıtımı yapılmış ve gerçek özellikleri ile birlikte MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmiştir.

5.1 Mevcut Sistemin Tanıtımı ve Özellikleri

Fotovoltaik panellerin birbirine paralel olarak bağlandığı 1kWp değerindeki güce sahip iki-eksenli güneş sisteminin bileşenleri ve sistem özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Oluşturulan fotovoltaik dizenin çıkış enerjisi, MPPT şarj regülatörü yardımıyla ikisi seri, diğer ikisi birbirine paralel bağlı 24V-300Ah'lik değerlere sahip akü grubunu şarj etmekte ve fazlalık enerji yüke aktarılmaktadır.

Tablo 5.1 Kurulu sistem bileşenleri ve özellikleri

BİLEŞEN ADI	ADET	MARKA-MODEL	TEMEL ÖZELLİKLER
Fotovoltaik Panel	4 adet	CET EnerjiCWT-250-60P	P _{max} = 250W, V _{oc} = 37.63V, I _{sc} =8.59A, Verim = %15.4
Akü	4 adet	Deeppower NPD15012	12V, 150Ah, Kurşun-asit jel akü
Şarj Regülatörü	1 adet	Schneider MPPT 60-150	24V sistem gerilimi, akü bağlantılı
Güneş Takip Sistemi	1 adet	Sat Control SM44M1V4P	İki-eksenli takip mekanizması
İnvertör	1 adet	Tommatech 2KVA	24V gerilim, 1.6kW güç

Bileşenlerinin maliyetleri Tablo 5.2'de verilmiş olan sistemde olası problemlerde kullanılmak üzere yedeklenmiş, ek olarak 1 adet akü ve 1 adet fotovoltaik panel bulunmaktadır.

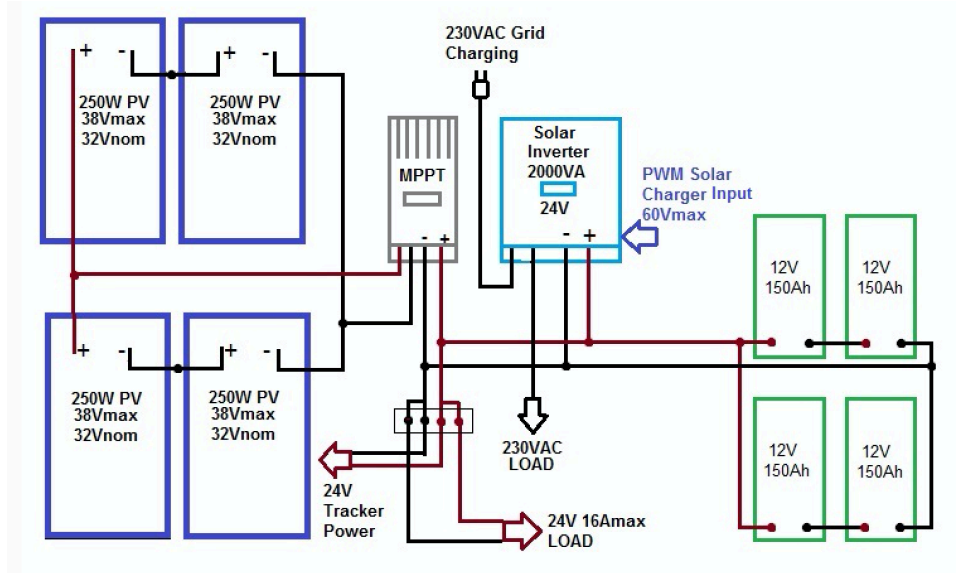
100°'lik yatay eksen (azimuth) takibi ve 75°'lik dikey eksen (elevation) takip kabiliyeti olan açık-çevrim kontrollü iki-eksenli güneş takip sistemi, 2 adet lineer motor ile hareket eksenlerinde tahrik edilmektedir (Şekil 5.1).

Tablo 5.2 Kurulu sistem bileşenlerinin maliyetleri

BİLEŞEN ADI	ADET	BİRİM FİYATI	TUTAR
Fotovoltaik Panel	5 adet	255,00 \$	1275,00 \$
Akü	5 adet	295,00 \$	1475,00 \$
MPPT Şarj Regülatörü	1 adet	570,00 \$	570,00 \$
Güneş Takip Sistemi	1 adet	1600,00 \$	1600,00 \$
İnvertör	1 adet	430,00 \$	430,00 \$
Pano ve Kabloalama	1 adet	550,00 \$	550,00 \$
TOPLAM			5900,00 \$



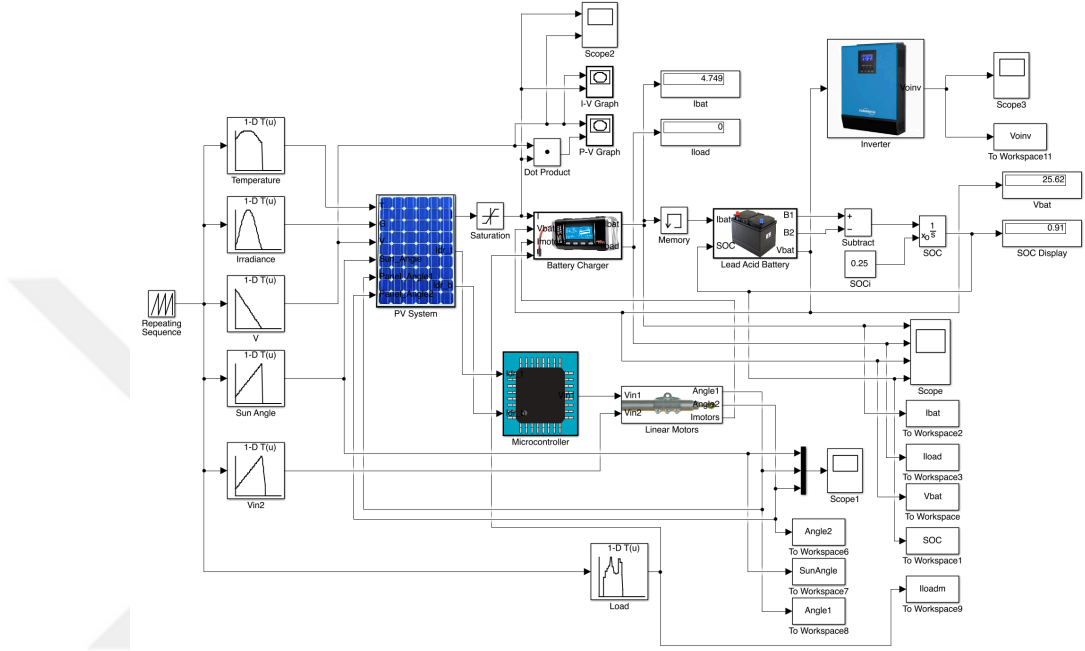
Şekil 5.1 İki-eksenli kurulu güneş takip sistemi



Şekil 5.2 Kurulu sistemin blok diyagramı

5.2 Sistem ve Bileşenlerinin Modellenmesi

Günümüzde mühendisliğin birçok dalında modelleme, analiz, simülasyon işlemlerinde yoğun olarak kullanılan MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak yapılan iki-eksenli güneş takip sisteminin genel diyagramı Şekil 5.3'deki gibidir.



Şekil 5.3 Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli

Modellemede PVGIS (PVGIS, 2016) üzerinden alınmış olan Nisan ayına ait ışınlım ve sıcaklık değerleri kullanılmış ve güneşin sabah doğumundan akşam batımına kadar yatay ekseninde saatte 15°'lik bir hızla ilerlediği kabul edilmiştir (Wu vd., 2016).

5.2.1 Fotovoltaik hücre

Fotovoltaik hücre modellemesi tek diyotlu güneş pili modeli kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.4).

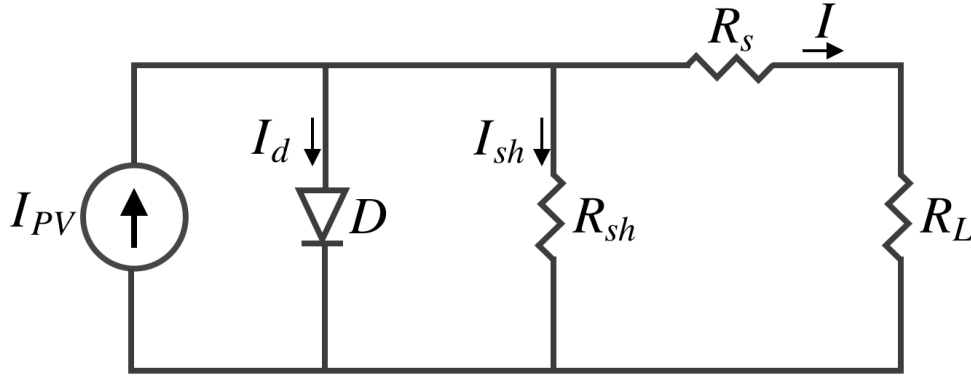
Güneş pili akımı I_{PV} ;

$$I_{PV} = I + I_d + I_{sh} \quad (5.1)$$

şeklindedir. Burada I net güneş pili akımı, I_d diyot akımı ve I_{sh} ise paralel direnç akımını temsil etmektedir. Diyot akımı I_d şu şekilde yazılabilir;

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{oc} + IR_s)}{\alpha N_s k T}} - 1 \right) \quad (5.2)$$

Burada V_{oc} güneş pili açık devre gerilimini, R_s seri direnç değerini, α diyot kalite faktörünü, N_s paneldeki seri bağlı hücre sayısını, q elektron yükünü, k Boltzman sabitini, T standart koşullardaki çalışma sıcaklığını (298K) ve I_0 diyot satürasyon akımını temsil etmektedir. Paralel direnç



Şekil 5.4 Tek diyotlu güneş pili modeli

akımı I_{sh} ;

$$I_{sh} = \frac{V_{oc} + IR_{sh}}{R_{sh}} \quad (5.3)$$

olarak yazılırsa net güneş akımı(I);

$$I = I_{PV} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{oc} + IR_s)}{\alpha N_s k T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc} + IR_{sh}}{R_{sh}} \quad (5.4)$$

şeklinde olacaktır.

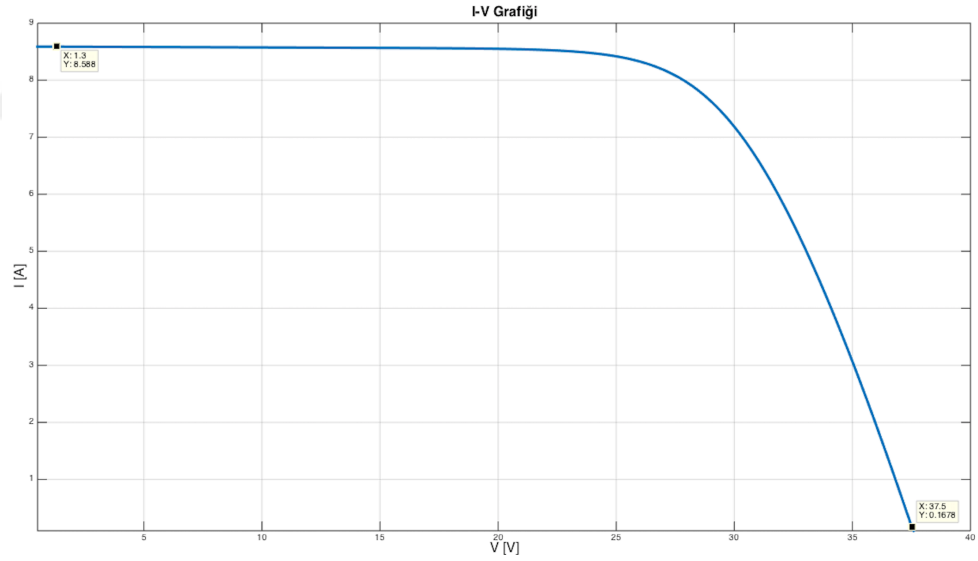
Ayrıca güneş pili akımı I_{PV} ;

$$I_{PV} = \frac{G}{G_n} (I_{sc} + K_i(T - T_n)) \quad (5.5)$$

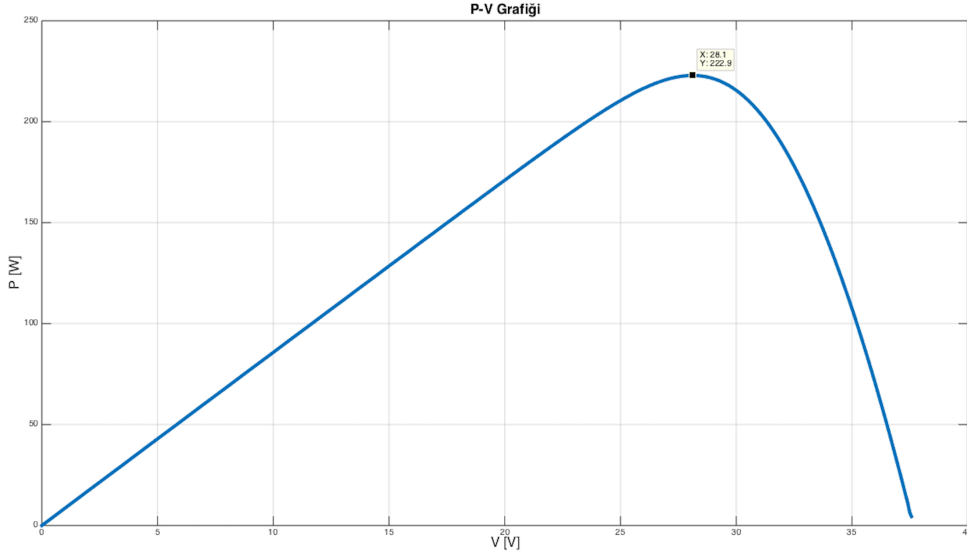
şeklinde yazılır. Burada G standart koşullardaki güneş ışınlam değerini (1000W/m^2), G_n çalışma noktasındaki güneş ışınlam değerini, I_{sc} güneş pilinin kısa devre akım değerini, K_i sıcaklık akım sabitini, ve T_n çalışma noktasındaki sıcaklık değerini temsil etmektedir [K]. Diyot saturasyon akımı I_0 ;

$$I_0 = I_d \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left(\frac{qE_g}{ak} \right) \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)} \quad (5.6)$$

şeklindedir. Burada E_g silikonun 25°C 'deki band genişliğidir. Simülasyon sonunda elde edilen akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



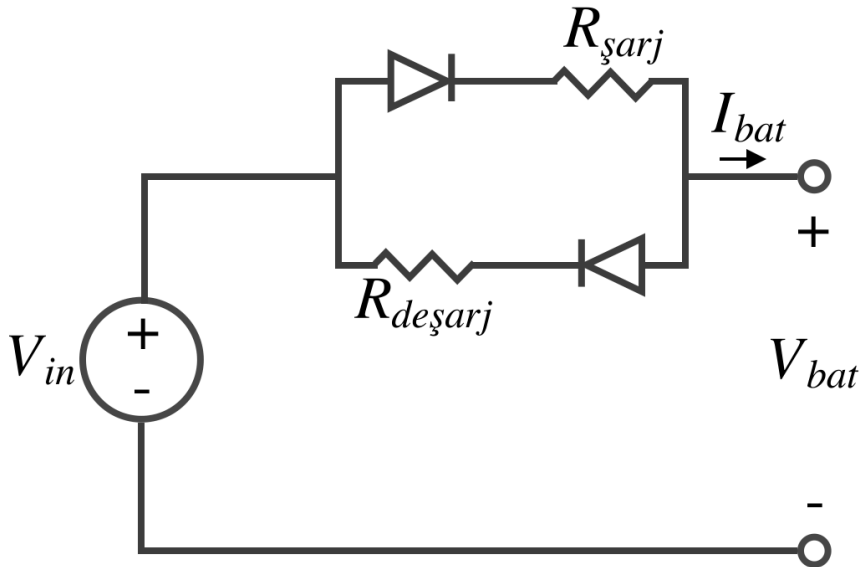
Şekil 5.5 Güneş pili I-V grafiği



Şekil 5.6 Güneş pili P-V grafiği

5.2.2 Akü

Modellenen kurşun-asit akünün şarj ve deşarj olmak üzere iki tane çalışma modu bulunmaktadır. Aküye gelen akımın pozitif olması durumunda şarj, negatif olması durumunda ise deşarj durumları gerçekleşmektedir. Akünün her iki çalışma modu için eşdeğer devresi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Akü eşdeğer devresi

Akünün şarj vedeşarj modları denklemleri aşağıdaki gibidir. Şarj durumunda iken şarj direnci $R_{şarj}$ ve şarj gerilimi $V_{şarj}$ değerleri:

$$R_1 = R_{şarj} = (0.758 + \frac{0.139}{(1.06 - ŞD(t))n_s}) \frac{1}{ŞD_m} \quad (5.7)$$

$$V_{in} = V_{şarj} = (2 + 0.148ŞD(t))n_s \quad (5.8)$$

şeklindedir. Burada $ŞD$ akünün o anki şarj durumunu yüzde olarak temsil ederken, $ŞD_m$ ise akünün maksimum şarj değerini temsil etmektedir. Ayrıca n_s seri olarak bağlanmış 2V' luk akü parçalarını temsil etmektedir. Örneğin 12V değerindeki bir akü için $n_s=6$ olmaktadır.

Deşarj durumunda iken ise deşarj direnci $R_{deşarj}$ ve deşarj gerilimi $V_{deşarj}$ değerleri:

$$R_1 = R_{deşarj} = (0.19 + \frac{0.1037}{(ŞD(t) - 0.14)n_s}) \frac{1}{ŞD_m} \quad (5.9)$$

$$V_{in} = V_{deşarj} = (1.986 + 0.124ŞD(t))n_s \quad (5.10)$$

şeklinde olmaktadır.

Akünün t anındaki şarj durumu ($ŞD$) değeri:

$$ŞD(t) = ŞD(t - 1) + \frac{1}{3600} \int_{t-1}^t (\frac{K_b V_{in} I_{bat}}{ŞD_m} - ŞD(t - 1)D) dt \quad (5.11)$$

şeklindedir. Burada K_b akünün şarj-deşarj verimi, D ise akünün özboşalım değeridir.

Son olarak akü devresinin genel denklemi:

$$V_{bat} = V_{in} + I_{bat}R_1 \quad (5.12)$$

olarak verilir. Akünün gerilimine göre şarj durumu değeri Tablo 5.3' de verilmiştir (Chin vd. 2011).

Tablo 5.3 Akü gerilimi - Şarj durumu değerleri

Akü Gerilimi [V]	Şarj Durumu (%)
12.63V	100
12.54V	90
12.45V	80
12.39V	75
12.27V	60
12.18V	50
11.97V	25
11.76V	Boş

Simülasyon değerleri olarak 24V'luk akü grubu için $n_s=12$, $K_b=0.3$, $D=15.10^{-6}$ ve $\$D_m=100$ olarak seçilmiştir.

5.2.3 Tahrik mekanizması

İki-eksenli güneş takip sisteminin tahrik mekanizması 2 adet lineer motordan oluşmaktadır. Bu motorlar yardımıyla fotovoltaiik dize hem yatay hem de dikey eksenlerde hareket ettirilmektedir.

Lineer motorların dönüş açısı (θ) ve giriş gerilimi(V_m) arasındaki transfer fonksiyonu şu şekildedir:

$$\frac{\theta(s)}{V_m(s)} = \frac{1}{s} \left(\frac{K_e}{(Js + K_t)(R + Ls) + (K_e + K_t)} \right) \quad (5.13)$$

Burada K_e emk kuvvet sabiti, K_t ters emk kuvvet sabiti, J eylemsizlik momenti, R elektriksel direnç ve L endüktans değerlerini temsil etmektedir. Bu değerler Tablo 5.4'deki gibi alınmıştır (Gregor vd., 2015).

Tablo 5.4 Lineer motor parametreleri

Parametre	Değeri
Emk kuvvet sabiti K_e	0.031 V.s/rad
Ters emk kuvvet sabiti K_t	0.031 V.s/rad
Elektriksel direnç R	1.425 Ω
Endüktans L	0.0015 H
Eylemsizlik momenti J	$27 \cdot 10^{-6}$ kg.m ²

Bu parametreler ile oluşturulan transfer fonksiyonu ise:

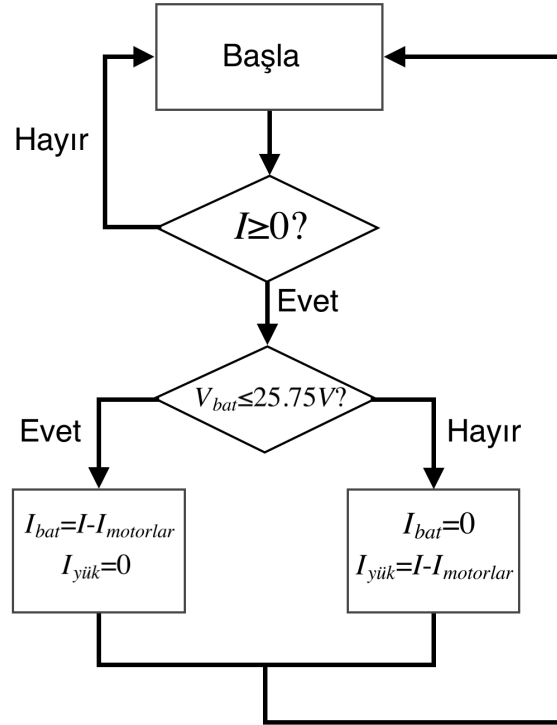
$$\frac{\theta(s)}{V_m(s)} = \left(\frac{0.031}{4.05 \cdot 10^{-8} s^2 + 3.848 \cdot 10^{-5} s + 9.655 \cdot 10^{-4}} \right) \quad (5.14)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca her iki lineer motorunda uyku konumunda 20mA ve çalışma durumunda maksimum 500mA değerlerinde akım çekeceği belirtilmiştir. Bu durumda toplam 12.5 saatlik (750dk) bir güneşlenme süresinde, 75°'lik bir açı değeri tarayacak 1 numaralı motor yaklaşık 22.73dk, 100°'lik bir açı değeri tarayacak 2 numaralı motor ise yaklaşık 30.3dk çalışma konumunda olacaktır. Böylece tüm gün (24saat = 1440dk) zamanı düşünüldüğünde, fotovoltaik sistem önceki konumuna tekrar geleceğinden motorlar 45.46dk ve 60.6dk çalışacaklardır. Yine tüm

gün düşünülürken 1 numaralı motor ortalama 35.15mA, 2 numaralı motor ise ortalama 40.2mA akım değerlerinde çalışacaktır.

5.2.4 Şarj regülatörü

Şarj regülatörü bir yandan akü grubunu olası sorunlara karşı fotovoltaiik sistemden izole edip korurken bir yandan da, yine akü grubunun verimli ve güvenli bir şekilde şarj olmasını sağlamaktadır. Modelleme için kullanılan akış şeması Şekil 5.8'de verilmiştir.

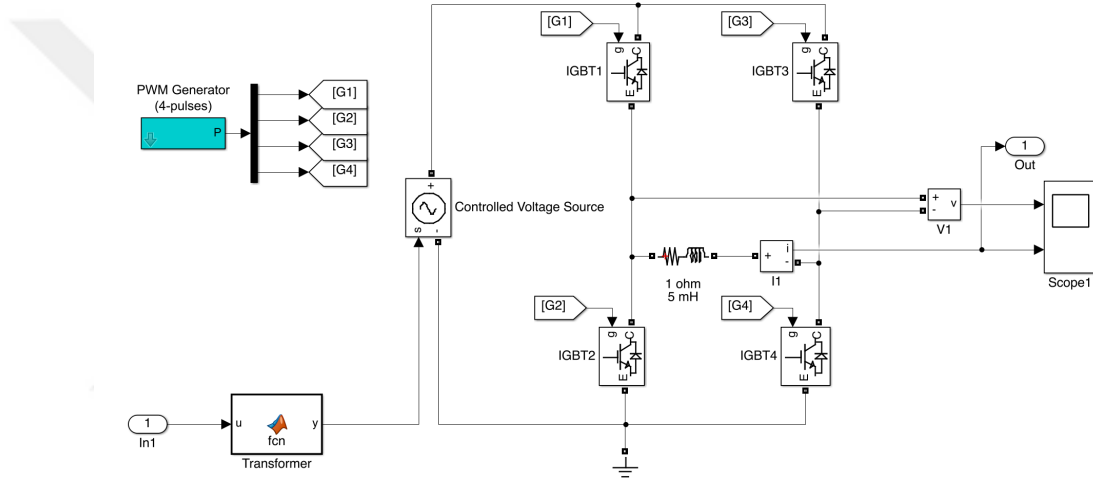


Şekil 5.8 Şarj regülatörü akış şeması

Şarj regülatörü öncelikle fotovoltaiik sistem akımını kontrol etmektedir. Sistem akımının sıfırdan büyük olması durumunda akü gerilimini kontrol eden şarj regülatörü akü grubu gerilim değerinin 25.75V değerinden küçük olması durumunda fotovoltaiik sistem akımı ile akü grubunu şarj ederken, gerilim değerinin 25.75V değerinden büyük olması yani akü grubunun tam şarj durumunda olması durumunda ise gelen enerjiyi yüke aktarmaktadır.

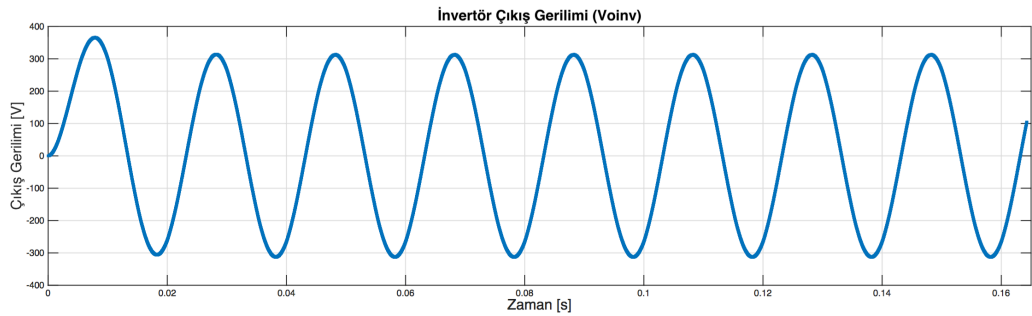
5.2.5 İnvörtör

Fotovoltaik panel tarafından üretilen DC gücü çeşitli devre elemanları ve cihazlar yardımıyla AC güce dönüştüren invörtör, çalışması için AC güç gerekli cihazlara besleme sağlamaktadır (Şekil 5.9). Batarya üzerinden alınan DC güç ilk olarak bir trafo yardımıyla 220V'luk şebeke gerilimi seviyesine çıkarılmaktadır. Daha sonra piyasada yaygın olarak kullanılmakta olan PWM (Pulse-width Modulation) tekniği ile anahtarlama transistörleri yine sırasıyla şebeke frekansı olan 50Hz frekans değerinde anahtarlama ve üretilen AC güç çıkışa verilmektedir.



Şekil 5.9 İnvörtör modeli

Yapılan invörtör modellemelerinde G1 ve G4 anahtarları ile G2 ve G3 anahtarlarının aynı anda kapalı konumda olmamasına dikkat edilmelidir. Bununla birlikte yapılan tasarımlarda anahtarların sırayla anahtarlama sırasında, araya belirli bir zaman aralığı konulmaktadır. Aksi halde invörtör kısa devre olmakta ve kullanılamaz hale gelmektedir.



Şekil 5.10 İnvörtör çıkış gerilimi

5.2.6 Kontrol mekanizması

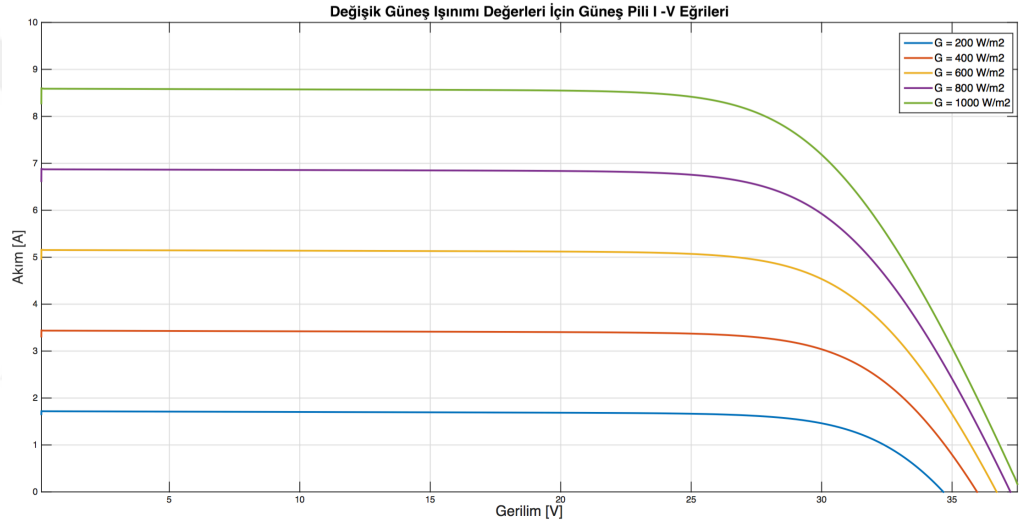
Modellenen iki-eksenli güneş takip sisteminin kontrol mekanizmasını ise 2 adet LDR sensör ve 1 adet mikrodnetleyici oluşturmaktadır. LDR sensörler üzerine düşen ışınımına göre direnç değeri değişen sensörlerdir. Işınım yüksek iken düşük değerde, ışınım düştüğünde veya karanlık ortamlarda ise yüksek değerde olan bu direnç değeri, mikrodnetleyici tarafından okunur ve anlamlandırılır. Daha sonra her iki sensörden alınan değerler kıyaslanmakta ve motorlara gerekli sinyal gönderilerek fotovoltaiik sistem dikey (elevation) ekseninde hareketi kontrol edilmektedir.



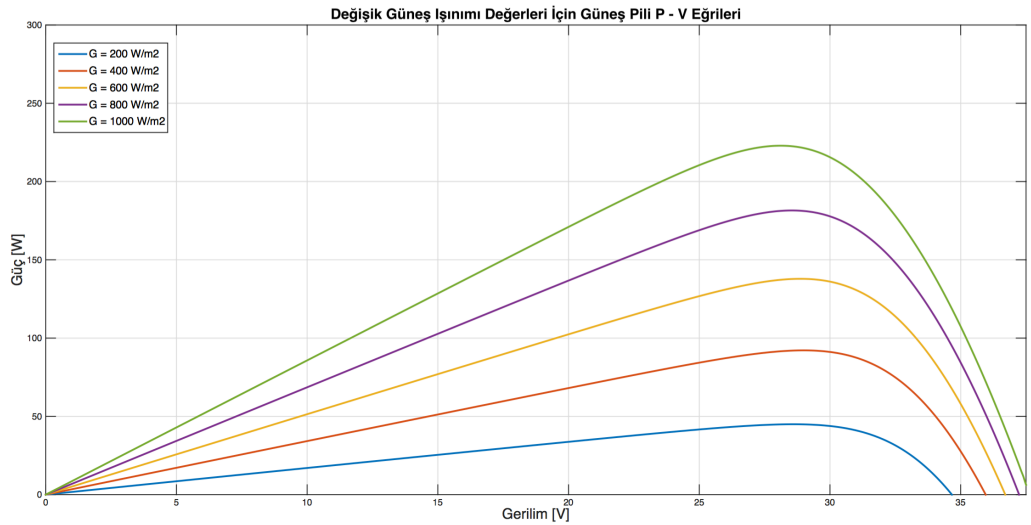
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan modelleme ve simülasyon çalışmaları sonucunda sistem çıktıları incelenmiş ve ayrıca bu veriler kurulu sistemle karşılaştırılmıştır.

İlk olarak modellenen fotovoltaik hücreye ait değişik sıcaklık ve güneş ışınımı değerleri için elde edilen I - V ve P - V grafikleri simüle edilmiştir. Görüldüğü gibi güneş ışınımının azalması ile birlikte, fotovoltaik hücrenin akım değeri de düşmektedir (Şekil 6.1). Bununla birlikte fotovoltaik hücrenin çıkış gücünde de düşüş gözlenmektedir (Şekil 6.2).

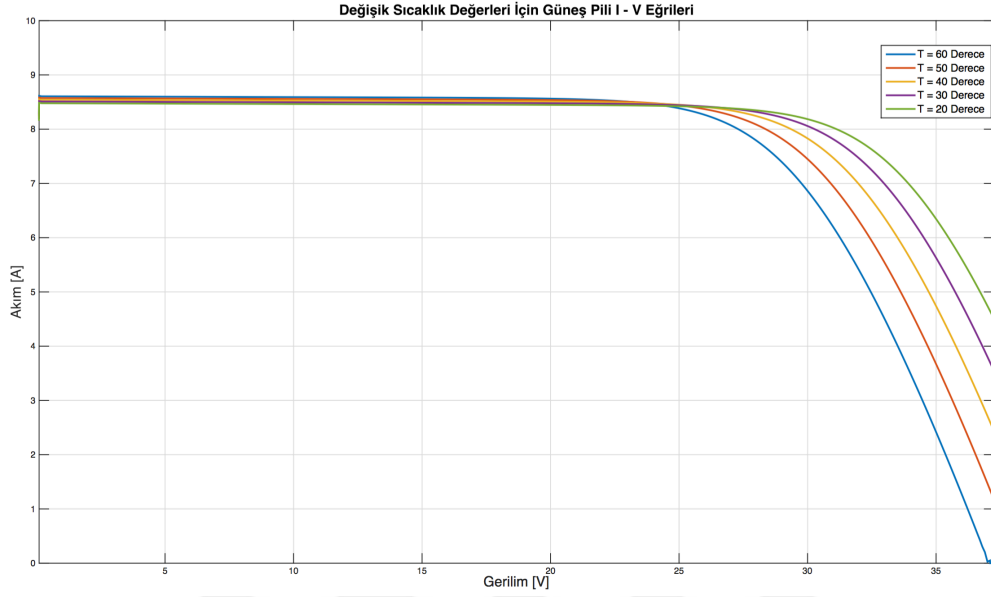


Şekil 6.1 Değişik Güneş Işınımı Değerleri İçin Güneş Pili I - V Eğrileri (T=25 C, AM 1.5)

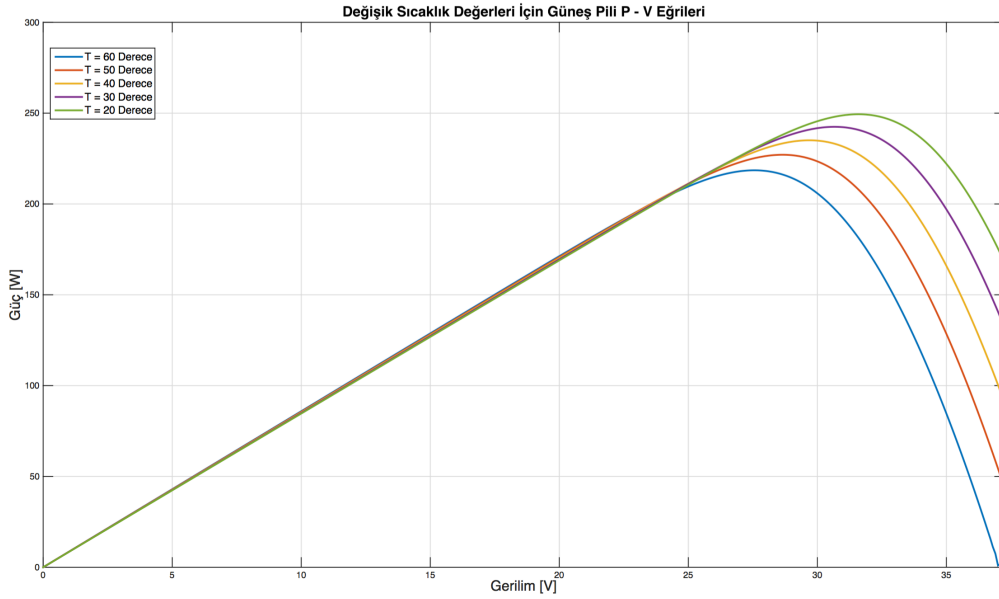


Şekil 6.2 Değişik Güneş Işınımı Değerleri İçin Güneş Pili P - V Eğrileri (T=25 C, AM 1.5)

Yine modellenen fotovoltaik hücreye ait değişik sıcaklıklardaki I - V ve P - V grafikleri aşağıdaki şekillerde verildiği gibidir.

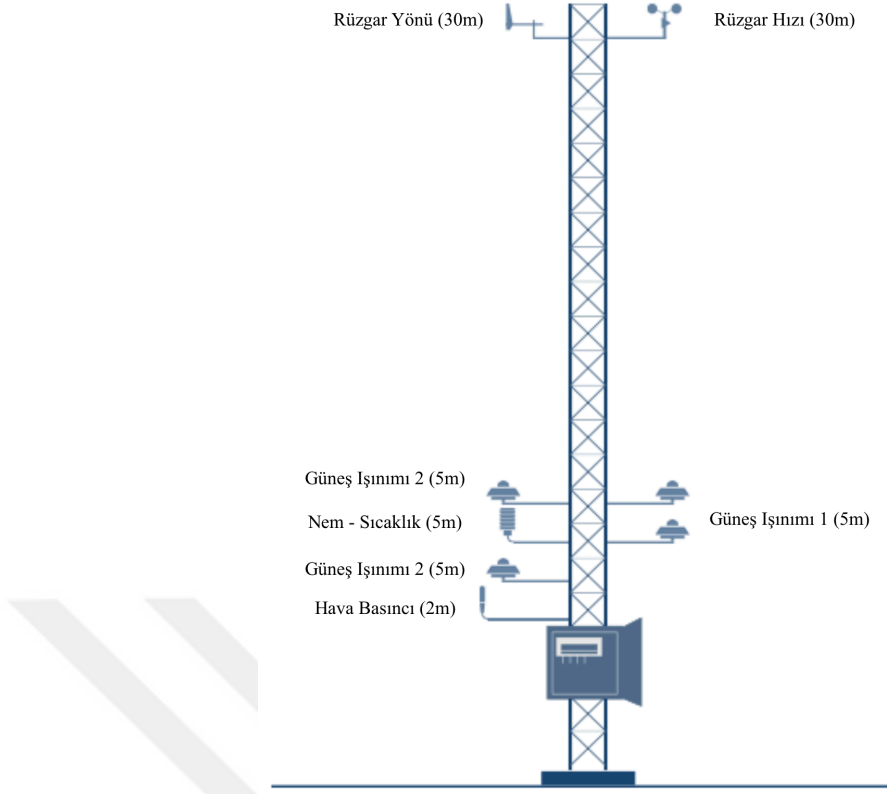


Şekil 6.3 Değişik Sıcaklık Değerleri İçin Güneş Pili I - V Eğrileri (G=1000 W/m², AM 1.5)



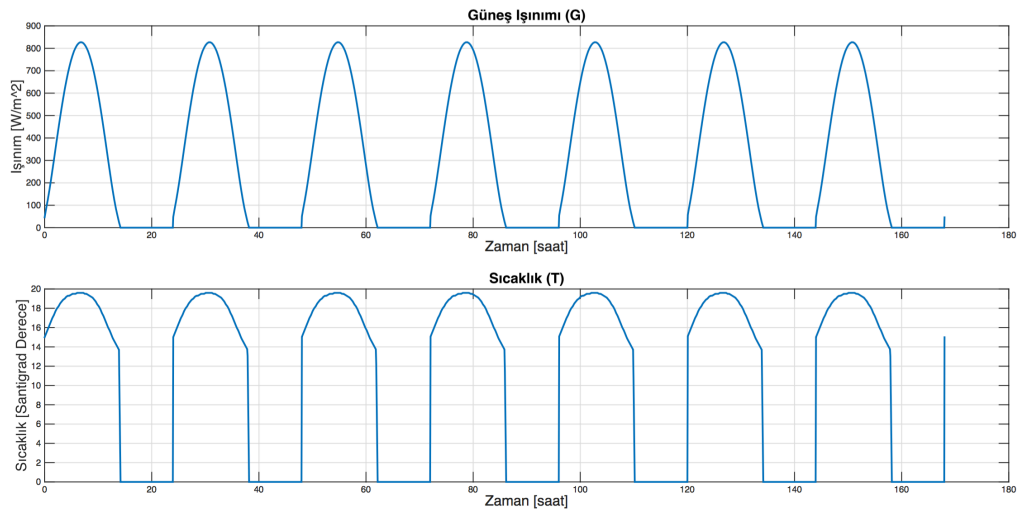
Şekil 6.3 Değişik Sıcaklık Değerleri İçin Güneş Pili P - V Eğrileri (G=1000 W/m², AM 1.5)

Modellemesi yapılan sistem öncelikle PVGIS tarafından sağlanan sıcaklık ve güneş ışıınımı değerleri ile simüle edilmiş, daha sonra aynı simülasyon E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü'ndeki ölçüm kulesinden alınan sıcaklık ve güneş ışıınımı verileri ile yapılmıştır (Şekil 6.5).



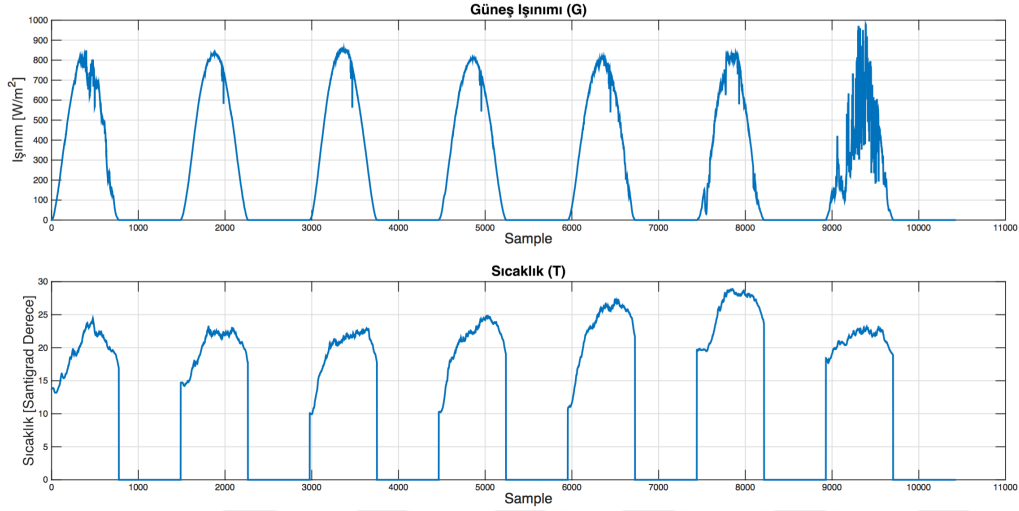
Şekil 6.5 Gerçek zamanlı ölçümlerin alındığı E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü ölçüm kulesi

PVGIS ve E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden alınan Nisan ayının ilk haftasına ait veriler Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de gösterildiği gibidir.

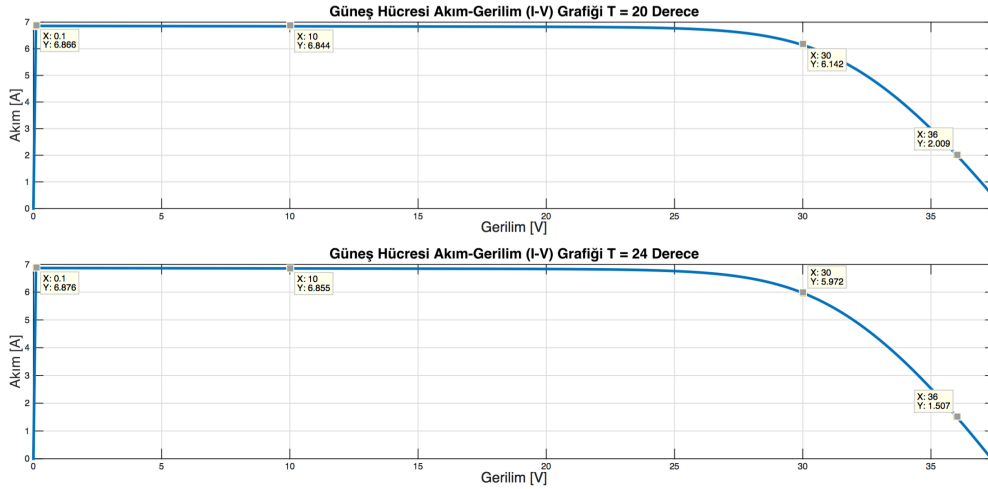


Şekil 6.6 PVGIS tarafından sağlanan Sıcaklık ve Güneş Işınımı verileri

Görüldüğü gibi her iki şekildeki ışıınım değeri uyusmaktadır. Şekil 6.7'deki ışıınım değeri ne bakıldığında 7. günde gerçekteşen bulutlu hava durumu neticesinde ışıınım değeri dalgalanmıştır. Sıcaklık değeri ne bakıldığında ise gerçekte ölçüm verilerinin PVGIS verilerinden ortalama 3-4 °C daha yüksek olduğı görülmektedir. Görülen bu sıcaklık farkının güneş hücresi akım-gerilim (I-V) grafiğine etkisi Şekil 6.8'te görüldüğü gibidir.



Şekil 6.7 E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden alınan Sıcaklık ve Güneş Işıınımı ölçümleri

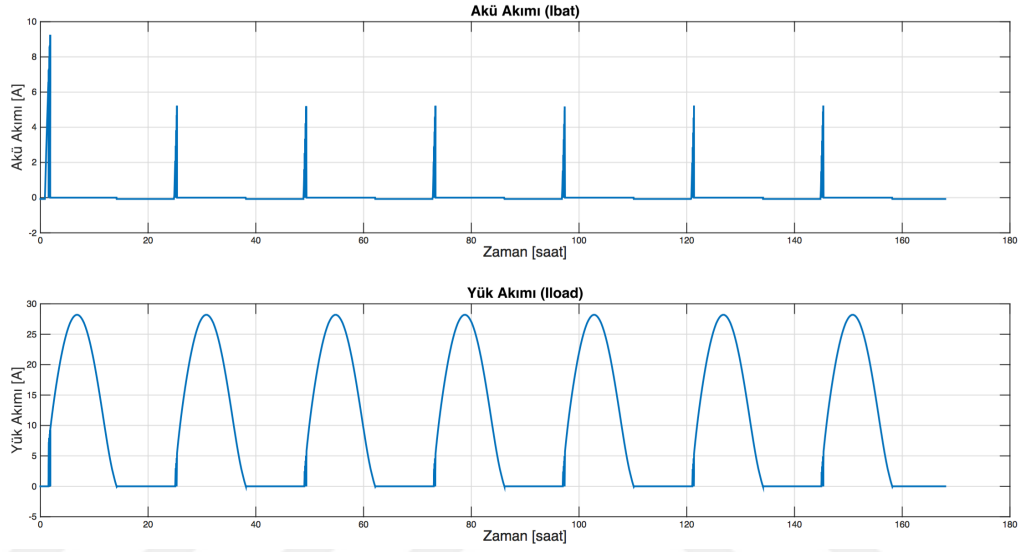


Şekil 6.8 İki farklı sıcaklık değeri ne (T=20 °C, T= 24 °C) güneş pili I-V eğrisi

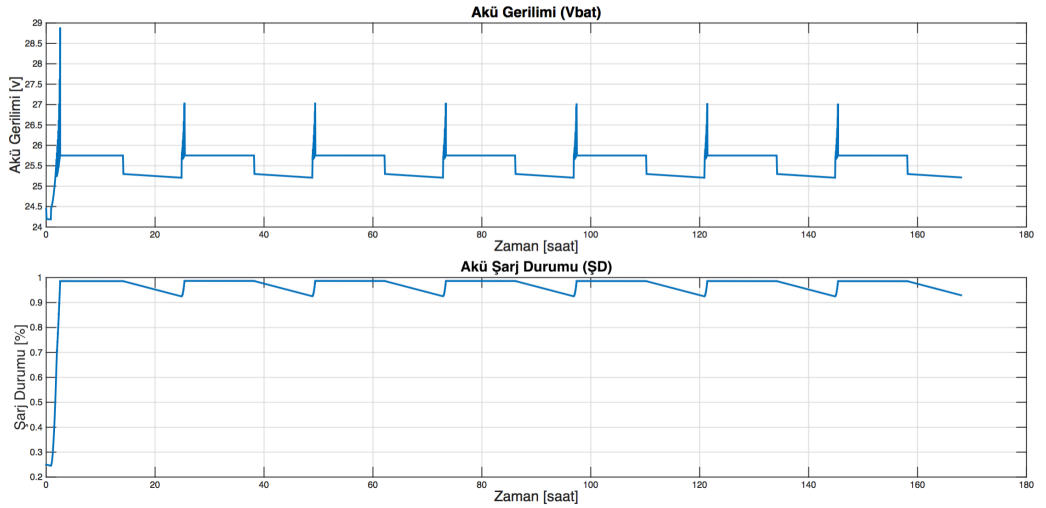
Önceki bölümlerde değinilmiş olan (Bkz. Şekil 3.4) I-V grafiğine bakıldığında 3-4 °C'lık sıcaklığın güneş hücresinin çıkış akımı üzerindeki

etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Fakat büyük çaplı sistemler göz önüne alındığında bu değerin etkisi göz ardı edilememektedir.

Modellenen iki-eksenli güneş takip sisteminin PVGIS'ten alınan sıcaklık (T) ve güneş ışınlı (G) değerleri ile akü akımı (I_{bat}), yük akımı (I_{load}), akü gerilimi (V_{bat}) ve şarj durumu (ŞD) sonuçlu simülasyonu Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir.



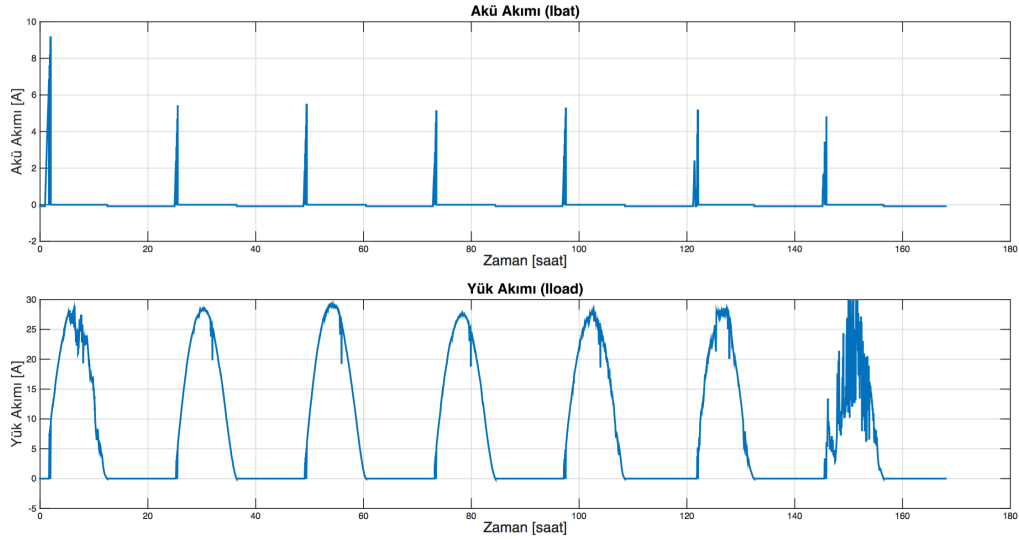
Şekil 6.9 Sistemin PVGIS verileri ile elde edilen I_{bat} ve I_{load} simülasyon sonucu



Şekil 6.10 Sistemin PVGIS verileri ile elde edilen V_{bat} ve ŞD simülasyon sonucu

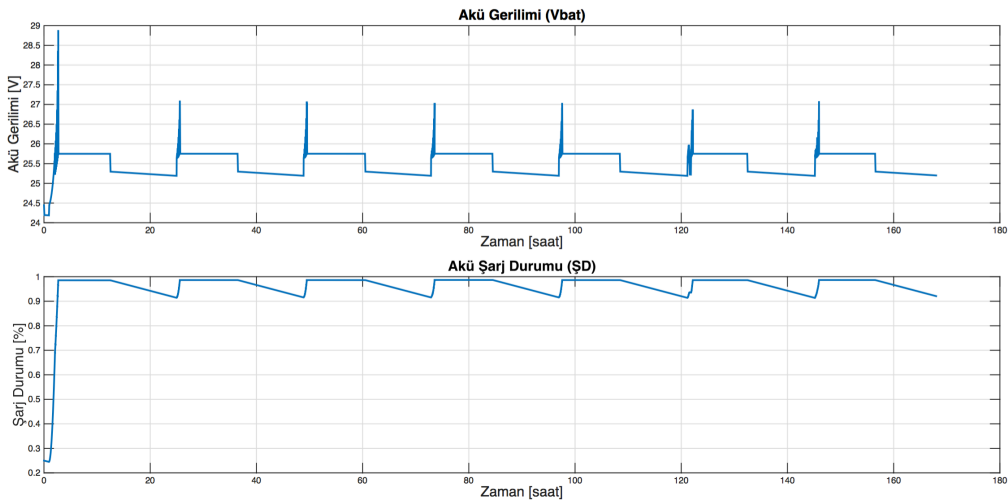
Yine aynı sistemin gerçek sıcaklık ve güneş ışınlı ölçüm değerleri ile yapılmış simülasyonu Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir. Yapılan

tüm simülasyonlar için akünün ilk şarj durumu olarak $\text{ŞD} = 0.25$ seçilmiştir. Şekil 6.9 ve Şekil 6.11 göz önüne alındığında akü akımı değerleri (I_{bat}) her iki sistem için de yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Akünün ilk durumu için ($\text{ŞD} = 0.25$) ilk gün tam şarj seviyesine çıkmakta, akü tamamen şarj olduktan sonra ise fotovoltaik panelden gelen akım yüke aktarılmaktadır. Gün içinde bulutlanma gibi olaylar nedeni ile Şekil 6.11'de görülen yük akımı (I_{load}) değerleri değişim göstermektedir.



Şekil 6.11 Sistemin gerçek zamanlı ölçüm verileri ile elde edilen I_{bat} ve I_{load} simülasyon sonucu

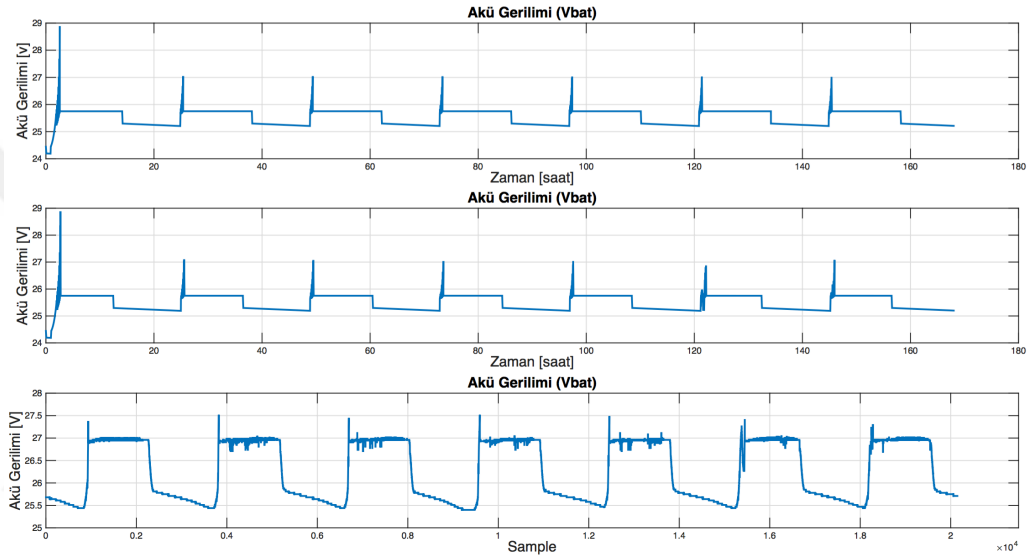
Şekil 6.10 ve Şekil 6.12 göz önüne alındığında ise her iki simülasyon için de akünün tamamen şarj olması durumunda akü gerilimi (V_{bat}) 25.75V olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.12 Sistemin gerçek zamanlı ölçüm verileri ile elde edilen V_{bat} ve ŞD simülasyon sonucu

Yaklaşık olarak Nisan ayı için 12.5 saatlik güneşlenme süresi düşünüldüğünde her iki simülasyon için akü şarj durumu (ŞD) değeri 0.986 olmaktadır. 11.5 saatlik gece süresinde de aküler lineer motorları besleneceğinden Şekil 6.10'daki simülasyon için gece sonunda ŞD değeri 0.925 olurken, Şekil 6.12'deki simülasyon için ise 0.92 olmaktadır.

Son olarak Şekil 6.13'de kurulu sistem üzerinden alınan akü gerilimi değerleri PVGIS verileri ve gerçek zamanlı ölçüm verilerinden elde edilen akü gerilimi değerleri kıyaslanmıştır.

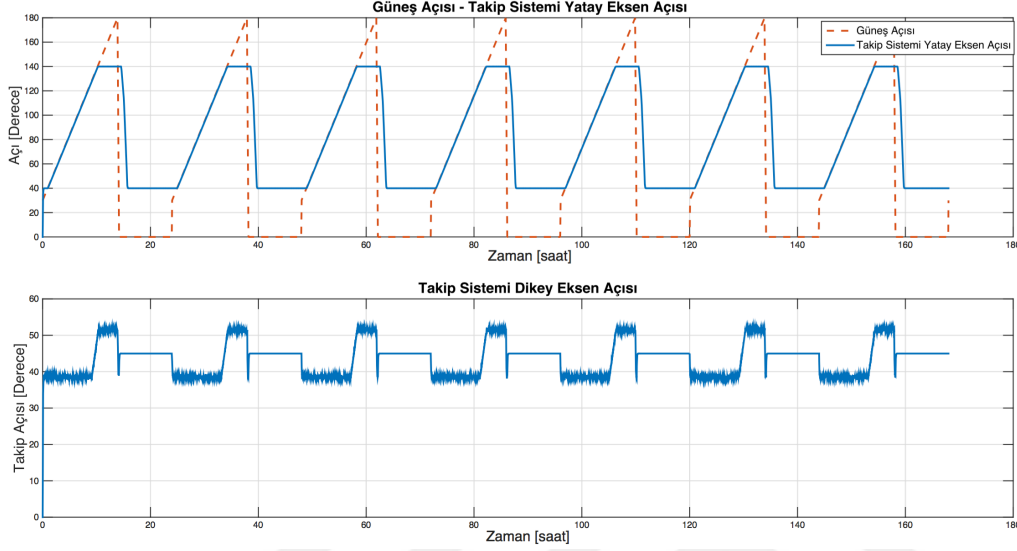


Şekil 6.13 Akü gerilimi (Vbat) simülasyon sonuçları ile kurulu sistem çıktısı

Şekil 6.13'den de anlaşılacağı gibi simülasyonlarda akü şarj durumunda iken akü gerilimi $V_{bat} = 25.75$ V değerinde tutulurken, kurulu sistem çıktısında ise bu değer $V_{bat} = 26.96$ V değerinde olmaktadır. Gece durumunda ise modellenen sistem lineer motorları beslediği için akü gerilimi $V_{bat} = 25.30$ V değerinde tam şarj durumundan gece boyunca $V_{bat} = 25.20$ V değerine düşmektedir. Kurulu sistem çıktısında ise tam şarj durumunda akü gerilimi $V_{bat} = 25.81$ V değerinde olmakta ve gece boyunca $V_{bat} = 25.44$ V değerine düşmektedir.

Modellenen iki-eksenli güneş takip sisteminin güneşi takip açıları Şekil 6.14'da verilmiştir. Hem kapalı-çevrim kontrollü, hem de açık-çevrim kontrollü olarak gerçekleştirilen takip işleminde, dikey eksen, panelin üst ve altına konumlandırılmış olan LDR sensörleri tarafından ölçülüp

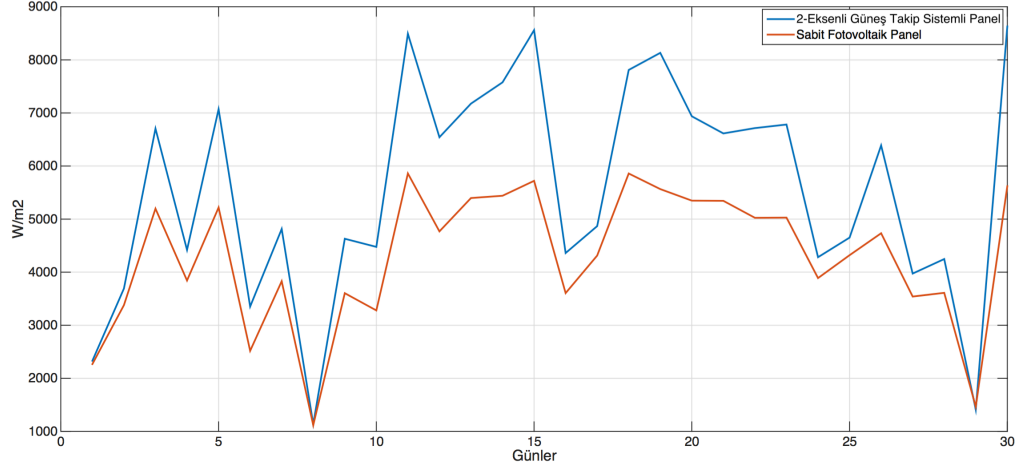
mikrodenetleyici tarafından işlenen güneş ışınım değerlerine göre, yatay eksen ise hesaplanan güneş hızına göre takip işlemini gerçekleştirmektedir. Simülasyonda LDR sensörler tarafından oluşturulan rasgele ışınım değerleri kullanılmıştır.



Şekil 6.14 İki-eksenli güneş takip sistemi güneş takip açıları

Elde edilen sonuçlarda, yatay ve dikey eksen açıları için 12.5 saatlik gündüz süresinde takip işlemi gerçekleştirilmiştir. Yatay eksen açısı için 40° ve 140° açıları arasında 100° 'lik bir takip işlemi gerçekleştirildikten sonra havanın kararması ile birlikte sistem eski konumunda konumlandırılmıştır. Dikey eksen açısı için ise LDR sensörleri tarafından 'rand' komutu kullanılarak oluşturulan değerlere göre takip işlemi gerçekleştirilmiş ve havanın kararması ile birlikte sistem 45° 'lik bekleme konumunda konumlandırılmıştır.

Son olarak, HOMER (HOMER Energy, 2015) programı kullanılarak Nisan ayı için, 2-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaik sistem ve sabit panelli fotovoltaik sistem çıktıları karşılaştırılmıştır (Şekil 6.15). Elde edilen sonuçlarda 2-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaik sistemin sabit panelli fotovoltaik sisteme göre %29.6'lık oranla daha fazla performanslı olarak çalıştığı gözlemlenmiştir.



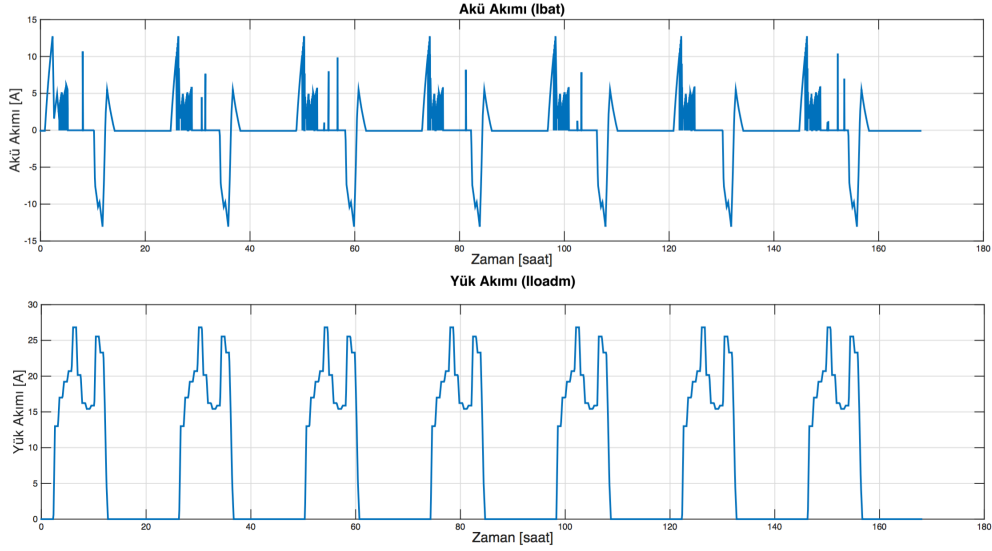
Şekil 6.15 Nisan ayı için 2-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaik sistem ve sabit panelli fotovoltaik sistem çıktıları

6.1 Sistemin Yük Altında Çalışması

Modellenen sistemin PVGIS verileri ile Tablo 6.1'de verilen 10 saatlik yük profili için simülasyonu yapılmıştır. Modellenen yük profili için, yük akımı (Iloadm) ve akü akımı (Ibat) Şekil 6.16'da verilmiştir.

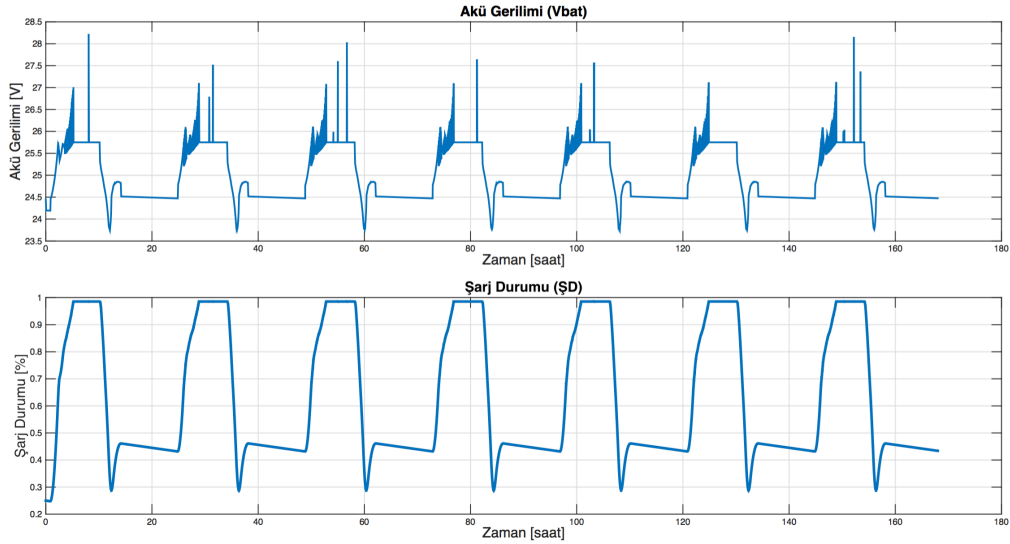
Tablo 6.1 Sistemin yük profili

Saat	Ortalama Yük (kW)
0	0.000
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
6	0.000
7	0.000
8	0.000
9	0.430
10	0.495
11	0.533
12	0.691
13	0.519
14	0.418
15	0.397
16	0.409
17	0.658
18	0.600
19	0.000
20	0.000
21	0.000
22	0.000
23	0.000



Şekil 6.16 Sistemin yük altındaki akü akımı (Ibat) ve yük akımı (Iloadm) profili

Şekil 6.16'da görüldüğü gibi Ibat değerinin pozitif olduğu, sistemin gün içinde çalıştığı büyük kısmında, fotovoltaik panel tarafından üretilen güç, yük tarafından harcanan güçten büyük olmuş ve bu durumda akü şarj olmuştur. Gün batımına yaklaşıldığında ise fotovoltaik panel tarafından üretilen güç, yüke harcanan güçten daha küçük olduğundan, bu durumda akü grubu devreye girmiş ve gerekli güç akü grubu tarafından sağlanmıştır. Şekil 6.17'de yükte çalışma için akü gerilimi (Vbat) ve şarj durumu (ŞD) değerleri verilmiştir.



Şekil 6.17 Sistemin yük altındaki akü gerilimi (Vbat) ve şarj durumu (ŞD) profili

Yukarıda belirtildiği gibi sistemin güneşten yararlandığı gündüz süresinin sonlarına doğru fotovoltaik panelden gelen güç yeterli

olmadığından, yük akü grubu tarafından beslenmiştir. Bu durumda ŞD değeri %30'lara kadar düşmüş, daha sonra yük akımı sıfırlanmış ve akü grubu fotovoltaik panel tarafından gelen güç ile şarj edilmiş ve gün batımında ŞD değeri %47 oranına çıkmıştır. Gece ise takip sisteminin eski konumuna gelmesi ve sistemin uyku konumunda beklemesi için akü grubundan besleme sağlanmış ve ŞD değeri %43 değerine inmiştir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuç olarak iki-eksenli bir güneş takip sisteminin MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesi yapılmış ve bu model hem gerçek zamanlı ölçüm verileri ile hem de PVGIS verileri ile simüle edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modellemesi yapılmış olan güneş takip sistemi hem açık-çevrim kontrollü hem de kapalı-çevrim kontrollü olarak sürülmektedir. Ayrıca halihazırda kurulu olan eş bir sistemin çıktıları da yapılan çalışma ile karşılaştırılmış ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bununla birlikte sistemin iki adet lineer motor tarafından sürülen iki eksendeki güneş takip açıları da verilmiştir. Kapalı-çevrim kontrol yapısındaki geri-besleme sinyallerini oluşturan LDR sensörleri sistemin dikey eksendeki kılavuzlarıdır. Modelde bu sensörler tarafından oluşturulan rasgele (random) veriler mikrodenetleyici tarafından karşılaştırılmış ve takip işlemi gerçekleştirilmiştir. Açık-çevrim kontrollü olan yatay eksen takibinde ise güneşin saatlik ilerleme hızı elde edilmiş ve takip işlemi gerçekleştirilmiştir.

İki eksen de yapılan takip işlemi sonucunda Nisan ayı için yaklaşık 12.5 saatlik gündüz süresinde akü grubu ilk olarak şarj edilmiş ve tam şarj durumuna gelindiğinde ise sistemden gelen akım yüke iletilmiştir. 11.5 saatlik gece durumunda ise akü grubu lineer motorları beslemiştir. Bu süreçte lineer motorlar sistemi eski konumuna getirmekte ve daha sonra uyku konumunda kalmaktadır.

Yine Nisan ayı için yapılan 2-eksenli güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaiik sistem ile güneş takip mekanizmasına sahip olmaya sabit panelli fotovoltaiik sistemin performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçta güneş takip mekanizmasına sahip fotovoltaiik sistemin %29.6'lık daha fazla performansla çalıştığı bulunmuştur.

Son olarak sistemin Tablo 6.1'de verilen yük profilinde çalışması incelenmiş ve bulgular verilmiştir.

İleride sistemin tüm ayları içeren yıllık simülasyonu yapılacak ve elde edilen veriler gerçek sistem verileri ile kıyaslanacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ataei, E., Afshari, R., Pourmina, M.A., and Karimian, M.R.,** 2016, Design and Construction of a Fuzzy Logic Dual Axis Solar Tracker Based on DSP, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60: 1419-1429
- Banerjee, R.,** 2015, Solar Tracking System, International Journal of Scientific and Research Publications, 5(3), 7p
- Blackwood, M.,** 2015, Maximum Efficiency of a Wind Turbine, Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two, 6(2), 10p
- British Petrol (BP),** 2015, Energy Outlook 2035, 98p
- Chin, C.S., Babu, A., and McBride W.,** 2011, Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink, Renewable Energy, 36: 3075-3090
- Chong, K.K., Wong, C.W., Tunku, U., and Rahman, A,** 2014, General Formula for On-Axis Tracking System, no: Ch3, pp. 263-291
- Cspworld,** 2015, "Solar One - Solar Two", <http://www.cspworld.org/cspworldmap/solar-one-solar-two> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2016)
- Demirel, Y.,** 2012, Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling, Springer, UK, 507p
- Duffy, A., Rogers M., and Ayompe, L.,** 2015, Renewable Energy and Energy Efficiency, Wiley, UK, 262p
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE),** "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası", <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim tarihi: 22 Haziran 2016)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Embassy of the Kingdom of the Netherlands**, 2015, Renewable Energy Turkey: Opportunity?, 24p
- Enerji Enstitüsü**, 2016, "Türkiye'nin yakıt cinslerine göre kurulu elektrik gücü", <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/> (Erişim tarihi: 22 Haziran 2016)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, "Güneş", <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim tarihi: 28 Mayıs 2016)
- Fathabadi, H.**, 2016, Novel high accurate sensorless dual-axis solar tracking system controlled by maximum power point tracking unit of photovoltaic systems, Applied Energy, 173: 448-459
- Fraunhofer**, 2016, Photovoltaics Report, 43p
- Goldstein, L. H, and G. R. Case**, 1977, PVSS – A Photovoltaic System Simulation Program Users Manual, SAND77-0814. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, June 1977.
- Green, M.A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., and Dunlop, E.D.**, 2015, Solar cell efficiency tables, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 23:805-812
- Gregor, R., Takase, Y., Rodas, J., Carreras, L., Gregor, D., and Lopez, A.**, 2015, Biaxial Solar Tracking System Based on the MPPT Approach Integrating ICTs for Photovoltaic Applications, International Journal of Photoenergy, 2015, 10p
- Global Wind Energy Council (GWEC)**, 2016, "Global Installed Wind Power Capacity in 2015", <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Global-Installed-Wind-Power-Capacity-MW---Regional-Distribution.jpg> (Erişim tarihi: 22 Haziran 2016)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hagbin, S., Lundmark, S., Alaküla, M., and Carlson, O., 2013, Grid-Connected Integrated Battery Chargers in Vehicle Applications: Review and New Solution, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 60: 459-47

HOMER Energy, 2015, "The Homer Microgrid Software", <http://www.homerenergy.com/software.html> (Erişim tarihi: 17 Haziran 2016)

Huynh, D.C., Nguyen, T.M., Dunnigan, M.W., and Mueller, M.A., 2013, Comparison between Open- and Closed-Loop Trackers of a Solar Photovoltaic System, 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT) , 6p

International Energy Agency (IEA), 2014, Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy, 60p

International Energy Agency (IEA), 2015, World Energy Outlook, 12p

International Renewable Energy Agency (IRENA), 2014, Wave Energy Technology Review, 28p

Irishtimes, 2014, " Powerful potential if conditions were right to harness it", <http://www.irishtimes.com/business/powerful-potential-if-conditions-were-right-to-harness-it-1.1927157> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2016)

Kalogirou, S.A., 2009, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Academic Press, USA, 760p

Kamala, J., and Joseph, A., 2013, Solar Tracking for Maximum and Economic Energy Harvesting, International Journal of Engineering and Technology, 5(6) : 5030-5037

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılıç, F.Ç.**, 2015, Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis ve Makina, 56(671): 28-40s
- Knier, G.**, 2002, "How do Photovoltaics Work?", <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/> (Erişim Tarihi: 17 Nisan 2016)
- Koç, E., ve Şenel, M.C.**, 2014, Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 54(639): 32-44s
- Linn, J. K.**, 1977, Photovoltaic System Analysis Program – SOLCEL, SAND77- 1268. Sandia National Laboratories, Albuquerque.
- Mahmutselekoğlu, 2012**, "Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Genel Bir Bakış ve Bir Uygulama", <http://www.mahmutselekoglu.com.tr/gunes-enerjisinden-elektrik-uretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html> (Erişim tarihi: 22 Haziran 2016)
- Mallick, T.C., Munna, M.S., Barua, B., and Rahman, K.M.**, 2014, A Design & Implementation of a Single Axis Solar Tracker with Diffuse Reflector, The 9th International Forum on Strategic Technology, 4p
- MATLAB**, 2016, "Matlab: The Language of Technical Computing", <http://www.mathworks.com/products/matlab/> (Erişim tarihi: 17 Haziran 2016)
- Menicucci, D. F.**, 1985, PVFORM – A New Approach to Photovoltaic System Performance Modeling, 18th IEEE PVSC, Las Vegas.
- Mermoud, A.**, 1995, Use and Validation of PVSYST, A User-Friendly Software for PV-system Design, 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, France.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Metenorm, 2015, "Yearly sum of Global Horizontal Irradiation",
http://www.meteonorm.com/images/uploads/demo_uploads/ghi_v715_hr.png (Erişim tarihi: 22 Haziran 2016)

Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., and Sharifi, A., 2009, A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 1800-1818

Nelson, J., 2003, The Physics of Solar Cells, Imperial College Press, 363p

National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2016, Best Research - Cell Efficiencies, 1p

Omarali, B., Taunyazov, T., Nyetkaliyev, A., and Shintemirov, A., 2015, System Integration of a Solar Sensor and a Spherical Parallel Manipulator for a 3-Axis Solar Tracker Platform Design, 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 6p

Ozcelik, S., Prakash, H., and Chaloo, R., 2011, Two-Axis Solar Tracker Analysis and Control for Maximum Power Generation, Procedia Computer Science, 6: 457-462

Populer Science, 2016, Populer Science Türkiye, Sayı:50

Poulek, V., Khudysh, A., and Libra, M., 2016, Self powered solar tracker for Low Concentration PV (LCPV) systems, Solar Energy, 127: 109-112

Prinsloo, G., and Dobson, R., 2014, Solar Tracking, 511p

PVGIS, "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps",
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe> (Erişim tarihi: 24 Nisan 2016)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rambhowan, Y., and Oree, V.,** 2014, Improving the dual-axis solar tracking system efficiency via drive power consumption optimization, *Applied Solar Energy*, 50(2): 74-80
- Renewable Energy Policy Network (REN21),** 2015, *Renewables 2015 Global Status Report*, 251p
- RETScreen,** 2016, "RETScreen", <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465> (Erişim tarihi: 17 Haziran 2016)
- Rizal, Y., Wibowo, S.H., and Feriyadi,** 2013, Application of solar position algorithm for sun-tracking system, *Energy Procedia*, 32: 160-165
- Samlexsolar,** "Solar (PV) Cell, Module, Array", <http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-cell-module-array.aspx> (Erişim tarihi: 11 Nisan 2016)
- Skouri, S., Ali, A.B.H., Bouadila, S., Salah, M.B., and Nasrallah, S.B.,** 2016, Design and construction of sun tracking systems for solar parabolic concentrator displacement, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 1419-1429
- Sohag, M.H.A., Hasan, M.M., Khatun, M.M., and Ahmad, M.,** 2015, An Accurate and Efficient Solar Tracking System Using Image Processing and LDR Sensor, *Proceedings of International Conference on Electrical Information and Communication Technology*, 6p
- Sumatri, S., Surekha, P., and Kumar, L.A.,** 2015, *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*, Springer, Switzerland, 790p

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Titirsha, T., Siddique, A.R.M., Afrin, F., Sanjidah, S., and Rabbani, A., 2014, Introducing Dual Axis Solar Tracker with Reflector to Increase Optimal Electricity Generation in Bangladesh, 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology, 6p

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), 2016, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 89s

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, 2014, "Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri", <http://www.teias.gov.tr/TürkiyeElektrikİstatistikleri/istatistik2014/istatistik2014.htm> (Erişim tarihi: 17 Nisan 2016)

U.S. Department of Energy, 2014, " HOW DO WIND TURBINES WORK?", <http://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2016)

Vokas, G.A., Zoridis, G.C., and Lagogiannis, K.V., 2015, Single and dual axis PV energy production over Greece: Comparison between measured and predicted data, Energy Procedia, 74: 1490-1498

Wadhwa, C.L., 2011, Generation, Distribution, and Utilization of Electrical Energy, New Academic Science, India, 482p

Worldatlas, "Top 15 Countries Using Renewable Energy", <http://www.worldatlas.com/articles/top-15-countries-using-renewable-energy.html> (Erişim tarihi: 15 Nisan 2016)

Worldindustrialreporter, 2013, " Boffins Produce Solar Cell from Wood Pulp", <https://worldindustrialreporter.com/boffins-produce-solar-cell-from-wood-pulp/> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2016)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wei, W., and Shaoyuan, L.,** 2012, Model Predictive Control of 2-axis Solar Tracker for Solar Energy System, Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, 6p
- Wu, J., Zhang, B., and Wang, L.,** 2016, Optimum design and performance comparison of a redundantly actuated solar tracker and its nonredundant counterpart, Solar Energy, 127: 36-47
- Wu, J., Chen, X., and Wang, L.,** 2016, Design and Dynamics of a Novel Solar Tracker With Parallel Mechanism, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 21(1): 88-97
- World Wide Fund for Nature (WWF),** 2014, Turkey's Renewable Power, 95p
- Yao, Y., Hu, Y., Gao, S., Yang, G., and Du, J.,** 2014, A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies, Renewable Energy, 72: 88-98
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü,** "Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli",
http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx
 (Erişim tarihi: 10 Nisan 2016)
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü,** 2009, "Türkiye'de Jeotermal Enerji",
http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/jeotermal/13turkiyede_jeotermal_enerji.html
 (Erişim tarihi: 15 Nisan 2016)
- Zobaa, A.F., and Bansal, R.C.,** 2012, Handbook of Renewable Energy, World Scientific, Singapore, 847p

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Yusuf

Soyadı: ATALAY

Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Yeri: Antalya

Doğum Tarihi: 22.06.1991

E-mail Adresi: yatalay07@gmail.com

Telefon: 5071547655

Adres: Gediz Üniversitesi, Elektrik-
Elektronik Müh. Böl., 35665,
Menemen, İzmir

Lisans Eğitimi: Ege Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Uzmanlık Alanları: Kontrol sistemleri
Fotovoltaik sistemler
Gömülü sistemler
Güç elektroniği
Elektrikli araçlar