

**AÇIK VE KAPALI DÖNGÜ GÜNEŞ TAKİP
ALGORİTMALARININ UZAKTAN KONTROLLÜ
(İNTERNET TABANLI) GERÇEK ZAMANLI GÜNEŞ TAKİP
SİSTEMLERİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül BAŞCOŞKUN

Danışman

Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

**İNTERNET ve BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİYÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

Eylül, 2018

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AÇIK VE KAPALI DÖNGÜ GÜNEŞ TAKİP
ALGORİTMALARININ UZAKTAN KONTROLLÜ (İNTERNET
TABANLI) GERÇEK ZAMANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ
ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI**

Betül BAŞCOŞKUN

Danışman

Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

**İNTERNET ve BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ
YÖNETİMİ**

ANABİLİM DALI

Eylül, 2018

TEZ ONAY SAYFASI

Betül BAŞCOŞKUN tarafından hazırlanan e Kapalı Döngü Güneş Takip Algoritmalarının Uzaktan Kontrollü (İnternet Tabanlı) Gerçek Zamanlı Güneş Takip Sistemleri Üzerinde Karşılaştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ...05/09.../2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr.Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU
Dumlupınar Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emre AKARSLAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

05/Eylül/2018

Betül BAŞCOŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AÇIK VE KAPALI DÖNGÜ GÜNEŞ TAKİP ALGORİTMALARININ UZAKTAN KONTROLLÜ (İNTERNET TABANLI) GERÇEK ZAMANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

Betül BAŞCOŞKUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Güneş enerjisi sistemleri günümüzde popülaritesini giderek arttırmaktadır. Ancak halen güneş enerjisi sistemlerinin tesis maliyetleri geleneksel enerji sistemlerinin maliyetleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir ve bu tür sistemlerin verimleri diğer enerji sistemlerine nazaran düşüktür. Güneş enerjisi sistemlerinin güneşi takip edebilen bir yapıya kavuşması sayesinde sahadaki verimlerinin artırılması mümkün olabilmektedir. Literatürde çok sayıda güneş takip sistemi bulunmaktadır. Diğer taraftan internet tabanlı sistemlerin yaygınlaşması güneş takip sistemlerinin kontrolünü ve otomasyonunu daha kullanışlı ve kolay izlenebilir hale getirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ilk olarak internet tabanlı güneş takip sistemleri araştırılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu aşamada gerçekleştirilen literatür taraması ile mevcut takip sistemleri ve algoritmaları derlenmiştir. Sonrasında ise küçük ölçekli internet tabanlı bir prototip güneş takip sistemi gerçekleştirilerek sistemden akım, gerilim gibi parametreler uzaktan kontrollü (internet tabanlı) olarak merkezi bir birime aktarılmıştır. Bununla birlikte prototipe internet üzerinden erişilebilmekte ve gerektiğinde müdahale edilebilmektedir.

2018, ix + 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş Takip Sistemleri, MPPT Uygulaması

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

COMPARISON OF OPEN AND CLOSED LOOP SUN TRACKING ALGORITHMS ON REMOTE CONTROLLED (INTERNET BASED) REAL TIME SOLAR TRACKING SYSTEMS

Betül BAŞCOŞKUN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Internet and Information Technology Management

Supervisor: Assoc. Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

Solar energy systems are increasingly popular nowadays. However, the cost of solar energy systems is much higher when compared to the cost of conventional energy systems, and the efficiency of such systems is lower than other energy systems. It is possible to increase the yield on the field thanks to the solar energy systems' ability to follow the sun. There are many solar tracking systems in the literature. On the other hand, the widespread use of internet based systems provides the monitoring and automation of solar tracking systems more convenient and easy to follow. In the scope of this thesis study, firstly internet based solar tracking systems were searched and their performances were compared. In this stage, literature review and existing tracking systems and algorithms have been compiled. Subsequently, a prototype solar tracking system with a small scale internet base was implemented and parameters such as current and voltage were transferred to the central unit remotely controlled (internet based). However, the prototype can be accessed over the internet and intervened if necessary.

2018, ix + 68 pages

Keywords: Solar Tracking Systems, MPPT Algorithms

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOğLU'na, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim ve aileme teşekkür ederim.

Betül BAŞCOŞKUN
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Güneş Enerjisi Sistemlerine Genel Bakış.....	2
2.1.1 Fotovoltaik Hücreler	3
2.1.2 Fotovoltaik Sistemler	4
2.1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	5
2.2 Güneş Vektörünün Hesaplanması	6
2.2.1 Güneşin Konumunu Belirleme	10
2.3 Güneş Takip ve Kontrol Stratejileri	12
2.3.1 Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	12
2.3.2 Eksenlerine Göre Güneş Takip Sistemleri.....	13
2.3.3 Kontrol Takip Mekanizmalarına Göre Güneş Takip Sistemleri.....	13
2.3.3.1 Yerçekimli (Pasif) Kontrol Mekanizması.....	13
2.3.3.2 Açık Döngü Kontrol Stratejileri	14
2.3.3.3 Kapalı Döngü Kontrol Stratejileri	15
2.3.3.4 Hibrit Döngü Kontrol Stratejileri	16
2.3.4 İzleme Yöntemlerine Göre Güneş Takip Sistemleri.....	17
2.3.4.1 Sensör Tabanlı Güneş Takip Sistemleri	18
2.3.4.2 Mikroişlemci Tabanlı Güneş Takip Sistemleri.....	18
2.3.4.3 Açık-Kapalı Döngü Güneş Takip Sistemleri.....	19
2.3.4.4 Akıllı Güneş Takip Sistemleri	19
2.4 Güneş Konum Algoritmaları ve Programları	19
2.4.1 Güneş Konum Algoritmalarına Genel Bakış	20
2.4.2 Güneş Konum Algoritmalarının Karşılaştırılması	20

2.4.3 Literatürde Yer Alan Güneş Konum Programları ve Algoritmaları	21
2.4.3.1 PSA (La Plataforma Solar de Almeria) Güneş Konum Algoritması.....	21
2.4.3.2 Helios Güneş Konum Algoritması	21
2.4.3.3 C Kodlu Güneş Konum Algoritması	21
2.4.3.4 SunCalc Java/C Kodları (Vladimir Agafonkin) ile Güneş Konumu	22
2.4.3.5 MatLab Güneş Konum Algoritması	22
2.4.3.6 SolPos Güneş Konum Algoritması.....	22
2.4.3.7 C ve C++ Dillerinde Güneş Konumu	22
2.4.3.8 Visual Basic ve VB.NET’de Güneş Konum Programları	23
2.4.3.9 Python’da Güneş Konum Programı.....	23
2.4.3.10 Pysolar, SunPy, NumPy ve LocationCalculation	23
2.4.3.11 Fortran Dilinde Güneş Konum Programları	23
2.4.3.12 PHP’de Güneş Konum Algoritmaları.....	24
2.4.3.13 NASA Jet Propulsion Lab HORIZONSWeb.....	24
2.4.3.14 Siemens Güneş Konum Yazılım Kütüphanesi	25
2.4.3.15 Beckhoff TwinCAT Güneş Konum Algoritması Yazılım Kütüphanesi	25
2.4.3.16 Diğer Güneş Takip Yazılımları	25
2.5 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT).....	26
2.5.1 Sabit Gerilim Metodu ile MPPT	26
2.5.2 Artan İletkenlik Metodu ile MPPT	26
2.6 Maksimum Güç Noktası İzleyicilerinin Sınıflandırılması	30
2.6.1 Dolaylı MGN İzleyiciler (Indirect Trackers).....	30
2.6.2 Doğrudan MGN İzleyiciler (Direct Trackers)	31
3. MATERYAL ve METOT	32
3.1 Uygulamanın Amacı	32
3.2 Kullanılan Algoritmalar ve Programlar.....	32
4. BULGULAR	37
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	43
6. KAYNAKLAR	44
EKLER	50
EK-1 SunPos Kütüphanesine Ait Kullanılan Kaynak Kodlar.....	50
EK-2 Arduino Mega2560’a Yüklenen Ana Kaynak Kodlar	55
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CdTe	Kadmiyum Tellürid
Cr	Krom
CuInSe ₂	Bakır İndiyum Diselenit
GaAs	Galyum Arsenit
Si	Silisyum
V _{oc}	Açık Devre Gerilimi

Kısaltmalar

CPV	Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik
CSP	Concentrating Solar Power (Odaklanmış Güneş Enerjisi)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
MGNİ	Maksimum güç Noktası İzleyici
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
NREL	National Renewable Energy Laboratory- U.S. Department of Energy (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı- Amerika Enerji Bakanlığı)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)
PV	Fotovoltaik
SPA	Solar Position Algorithm (Güneş Konum Algoritması)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma prensibi (YETAM, 2017)	3
Şekil 2.2 Fotovoltaik hücre elektriksel eşdeğer devresi (Würfel 2010, Nadia <i>et al.</i> 2018).....	3
Şekil 2.3 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (YEGM'2018)	5
Şekil 2.4 Güneş saati hesaplamalarında kullanılan boylamlar	6
Şekil 2.5 Q noktasının SQ güneş vektörü ile aydınlatıldığında güneş izleme azimut ve yükseklik/zenit açılarının hesaplanması	7
Şekil 2.6 Dünya üzerindeki boylamların derece olarak gösterimi	7
Şekil 2.7 Güneş sapma açısı	8
Şekil 2.8 Yükseklik ve zenit açıları.....	8
Şekil 2.9 Güneş panelinin konumuna ait enlem ve boylam bilgileri hesaplaması	9
Şekil 2.10 Güneş takip sistemlerinin sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.11 Eksenlerine Göre Güneş Takip Sistemleri	13
Şekil 2.12 Yerçekimi Kontrollü Güneş Takip Sistemi (Anderson <i>et al.</i> 2013).....	14
Şekil 2.13 Açık Döngü Kontrol Sistemi Çalışma Prensipleri (Prinsloo 2014b).	14
Şekil 2.14 Açık döngü güneş takip sistemlerinde PLC kullanılarak takip algoritmasına ait genel akış diyagramı (Prinsloo 2014b).....	15
Şekil 2.15 Hibrit döngü kontrol sistemi çalışma prensipleri genel akış diyagramı (Prinsloo 2014b)	17
Şekil 2.16 Sabit sistem ile takip sistemine sahip güneş panellerinin karşılaştırılması (Assaf 2014)	18
Şekil 2.17 Artan iletkenlik metodu ile MPPT akış diyagramı (Keskin vd. 2014)	27
Şekil 2.18 Güneş paneli akım/gerilim karakteristiği (Özdemir, 2007)	27
Şekil 2.19 Değiştir-Gözle metodu ile MPPT diyagramları.	28
Şekil 2.20 Değiştir-Gözle metodu ile MPPT akış diyagramı (Keskin vd. 2014).....	29
Şekil 2.21 Maksimum Güç Noktası'nın tespit edilmesi (Mountain-Climb Algorithm) 31	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Eş zamanlı elde edilen ortalama akım değerleri çizelgesi.	39
Çizelge 4.2 Eş zamanlı elde edilen ortalama akım karşılaştırma grafiği.	40
Çizelge 4.3 Eş zamanlı ortalama akımlarla elde edilen güç çizelgesi.	41
Çizelge 4.4 Eş zamanlı ortalama akımlarla elde edilen güç karşılaştırma grafiği.	42

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Servo motorların Arduino Mega 2560 mikrokontrolörüne montajı.	34
Resim 3.2 Kullanılan servo motorların yandan görünümü.	34
Resim 3.3 Eş tasarıma sahip prototiplerle ölçüm.	35
Resim 3.4 Devre elemanlarının aşırı ısınmadan korunumu ve fan tertibatı-1.	35
Resim 3.5 Devre elemanlarının aşırı ısınmadan korunumu ve fan tertibatı-2.	36
Resim 4.1 ESP 2586 Wi-Fi modüllerinin internete bağlantısı.	37
Resim 4.2 İnternet arayüzü ile sistemlere erişim ekranları.	37

1. GİRİŞ

Dünyada diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi Güneş enerjisi de, fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin yerini almaya başlamıştır. Güneş enerji sistemleri diğer enerji kaynaklarına nazaran yüksek kurulum maliyeti ve düşük verimliliği nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Güneş enerji kurulum maliyetleri yüksek olmasına karşılık diğer enerji sistemleri ile karşılaştırıldığında daha düşük idame maliyetlerine sahiptirler. Artan enerji ihtiyacına paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini arttıran çalışmalara başlanmıştır. Düşük verimliliğin sebepleri; Dünya ve Güneşin sürekli hareketliliği nedeniyle alınan Güneş ışınımının sabit olmaması, fotovoltaik hücrelerin maksimum gücü belli açılarda üretebilmesi, kötü hava şartları ve yüksek güç elde edebilmek için geniş yüzey alanı ihtiyacı olarak sayılabilir. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan fotovoltaik hücrelerin üretim materyalleri de etken olmakla birlikte, Güneş enerji sistemlerinde verim artışı sağlayabilmek için;

- Güneşten gelen ışınların fotovoltaik hücrelere uygun açıyla gelmesi,
- Sabit algoritma kullanılarak Güneş konumunun takibi,
- Güneş takip sistemlerinin dinamik olarak tasarlanması, yöntemleri

uygulanabilmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Güneş Enerjisi Sistemlerine Genel Bakış

Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde bulunan füzyon (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) ile açığa çıkan enerjidir. Güneş enerjisinin şiddeti atmosferin dışında yaklaşık 1370 W/m² değerinde olmakla birlikte, bunun atmosferin etkisi nedeniyle 0-1100 W/m²'lik kısmı Dünyaya ulaşabilmektedir (İnt.Kyn.1). Güneş enerjisinin Dünyaya ulaşan kısmının çok azı dahi insanların enerji ihtiyacından daha fazladır.

Çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilen güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar, özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme göstermiş ve maliyet bakımından düşmüştür.

Güneş ile Dünya arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji, bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır. Atmosferi aşarak Dünya'ya ulaşabilen Güneş ışınım oranı %50 olup, %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılmakta, %20'si ise atmosfer ve bulutlarda tutulmaktadır. Güneş sayesinde yeryüzünde yaşam mümkün olmaktadır. Okyanus dalgaları ve rüzgâr hareketleri güneş ışınmaları sonucu oluşan ısınma ile ortaya çıkmaktadır.

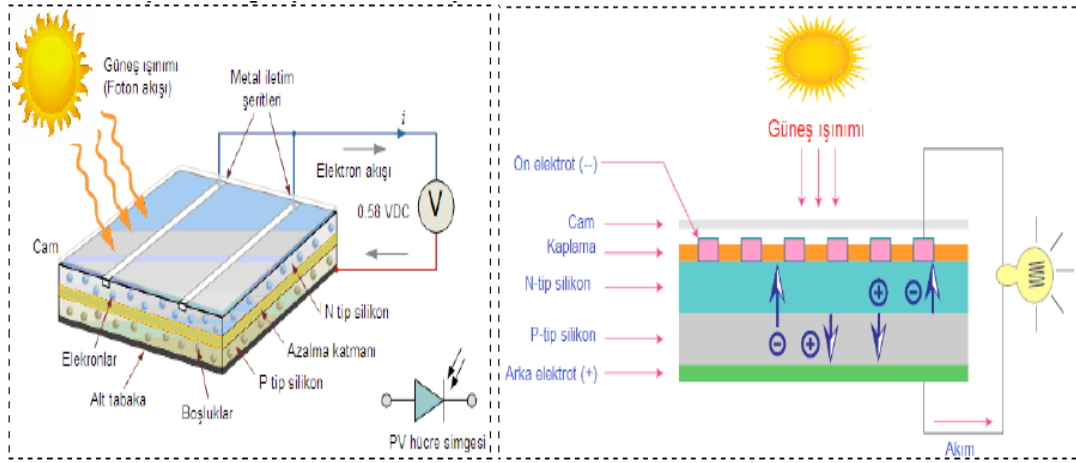
Güneş enerjisi teknolojileri malzeme, yöntem ve teknolojik düzey açısından farklılık göstermekle birlikte, bu teknolojiler iki ana başlık altında toplanabilmektedir:

- Fotovoltaik Güneş Teknolojileri: Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedirler.

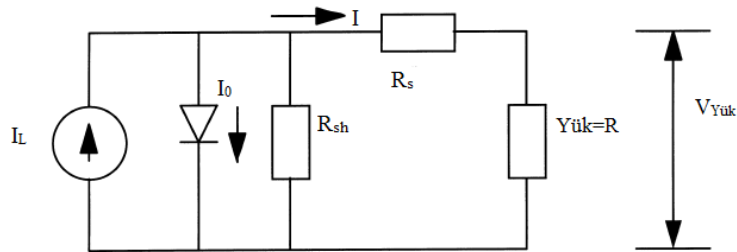
- Isıl Güneş Teknolojileri: Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin doğrudan kullanıldığı ya da elektrik enerjisine çevrildiği sistemlerdir.

2.1.1 Fotovoltaik Hücreler

Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen yarıiletken maddelerdir. Yüzey kalınlıkları genelde 0,1- 0,4 mm arasındadır. Fotovoltaik hücrelerin çalışması esası yüzeylerine gelen güneş ışınlarının elektrik gerilimine çevrimine dayanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma prensibi (YETAM, 2017)



Şekil 2.2 Fotovoltaik hücre elektriksel eşdeğer devresi (Würfel 2010, Nadia *et al.* 2018)

Fotovoltaik hücrelerin verimleri yapılarına (Si, GaAs, CdTe, CuInSe₂, vb.) bağlı olarak %5 ile %30 arasında değişmektedir. Güneş panellerinin paralel ya da seri bağlanması ile de üretilen güç miktarı düzenlenebilmektedir (Şekil 2.2).

2.1.2 Fotovoltaik Sistemler

Güneş hücreleri, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilir. Güneş panelleri, akümülatörler, denetim cihazları ve elektronik devreler birlikte kullanılarak güneş enerji sistemlerini oluştururlar. Bu sistemler şebekeye bağlı ya da tamamen bağımsız olarak tasarlanabilmektedirler. Ayrıca jeneratörler ile birlikte de tasarlanmış sistemler bulunmaktadır.

Şebekeye bağlı sistemlerde üretilen elektrik enerjisinin şebekeye aktarımı, potansiyelin yetmediği durumlarda ise şebekeden elektrik enerjisi desteği sağlanabilmektedir. Bu çeşit sistemlerde enerji depolama ihtiyacı bulunmamaktadır. Daha çok küçük güç gerektiren kullanım alanlarına sahip şebekeye bağlı sistemlerde, üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilerek şebekeye uyumluluğu yeterli olmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerji akümülatörlerde depolanmakta ve gerekli yük bunlardan alınmaktadır. Güneş ışımalarının yeterli olmadığı durumlarda elektrik enerjisi akümülatörlerde depolanan enerjiden sağlanmaktadır. Akümülatörlerin aşırı şarj ya da deşarj olarak zarar görmesini engellemek maksatlı denetim birimleri kullanılmaktadır.

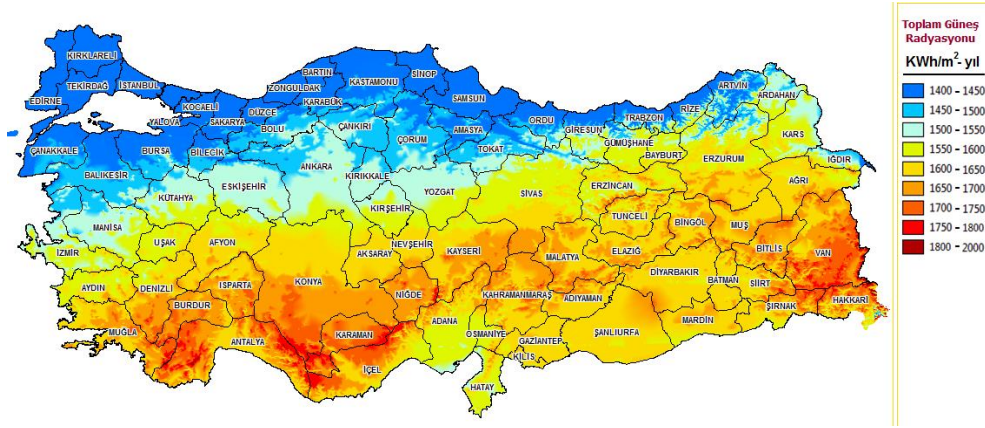
Şebeke uyumlu sistemlerde, invertör vasıtasıyla DC gerilim, şebeke gerilimine (220 V 50 Hz.) dönüştürülmektedir. Sistemlerin bazılarında da maksimum güç noktası izleyici cihazları bulundurularak maksimum verimle çalışmaları sağlanmaktadır.

Güneş enerji sistemlerinin elektrik şebeke dağıtımının bulunmadığı noktalarda kullanıldığı uygulama sahalarına;

- İletişim sistemleri,
- Enerji dağıtım uygulamaları,
- İklimlendirme sistemleri,
- Trafik işaret ve işaretçileri,
- Aydınlatma sistemleri,

- Su pompalama sistemleri,
- Çeşitli gözlem noktaları,
- Alarm/ikaz cihazları,
- Meteoroloji istasyonları, örnek verilebilmektedir.

2.1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli



Şekil 2.3 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (YEGM’2018)

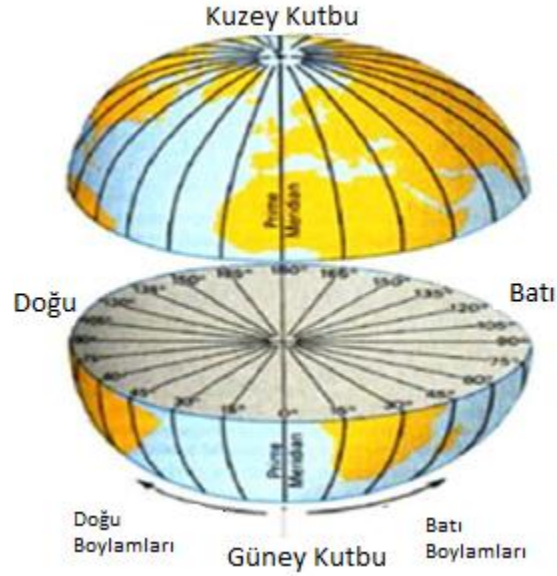
Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) (Şekil 2.3) göre, bir yılda güneşlenme toplamı 2.741 saate karşılık ortalama toplam 1.527 kWh/m².yıl olarak ölçülmektedir. Güneş enerjisi teknolojileri metot, kullanılan materyal ve teknolojik seviye bakımından farklılıklar göstermekle beraber iki ana grupta toplanabilmektedir. Bunlar: Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP) (ışımadan direkt elektrik üretimi) ve Isıl Güneş Teknolojileri (ısıdan elektrik üretimi).

Türkiye’de 2017 yılı sonu itibari ile kurulu güneş enerjisi santrali alanı yaklaşık 20.000.000 m²'ye ulaşmış ve 823.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmektedir.

Yine aynı dönem için, işletilmekte olan 3616 adet Güneş Enerji Santrali, kurulu gücün yaklaşık %4’ünü oluşturmaktadır ve 3.421 MW’lık enerji üretimleri bulunmaktadır. 2017 yılı içerisinde Güneş enerji sistemlerinden elde edilen elektrik üretimi 2.684 GWh olmuş; bu değer toplam enerji üretimimizin %0.91’ini oluşturmuştur (İnt.Kyn.2).

2.2 Güneş Vektörünün Hesaplanması

Güneş vektörü veya Güneş'in konumu, yeryüzünde belirli bir Q noktasına ait, belirli bir yerel saat ve mevsimde, Güneş'in azimut ve yükseklik açılarına ait değerler hesaplanması ile tanımlanır.



Şekil 2.4 Güneş saati hesaplamalarında kullanılan boylamlar

Bir güneş takip sisteminin tasarımı ve kurulumunda birçok güneş parametresinin dikkate alınması gerekmektedir. Bunların en başında Güneş Saati Parametresi gelmektedir. Saat parametreleri hesabında dünyanın kendi eksenini çevresinde bir tam dönüşünün başlangıç saati Greenwich üzerindeki boylam referans alınarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.4). Greenwich'in doğusunda yer alan boylamlarda Greenwich saatine ekleme (+), batısındaki boylamlarda ise çıkarma (-) işlemi yapılarak yerel saat hesaplanmaktadır. Dünya üzerinde 360 boylamın olduğu varsayılmakta ve her bir boylam arasında 4 dakikalık fark bulunmaktadır. Dünya'nın Güneş etrafında bir tam turu 365 gün olarak hesaplanmakta ve Güneş Saati hesaplamalarında yılın ilk günü (01 Ocak) değeri 1, son günü değeri (31 Aralık) 365 olarak kullanılmaktadır. Güneş Saati, Güneş'in uzaydaki konumunun hesaplanmasında öncelikli bir parametre olup aşağıda sunulan denklemlerle hesaplanmaktadır (Zerubavel 1982).

$$\text{Güneş Saati} = \text{Yerel saat} + 4(L_{ST} - L_{LOC}) + E_{OT}$$

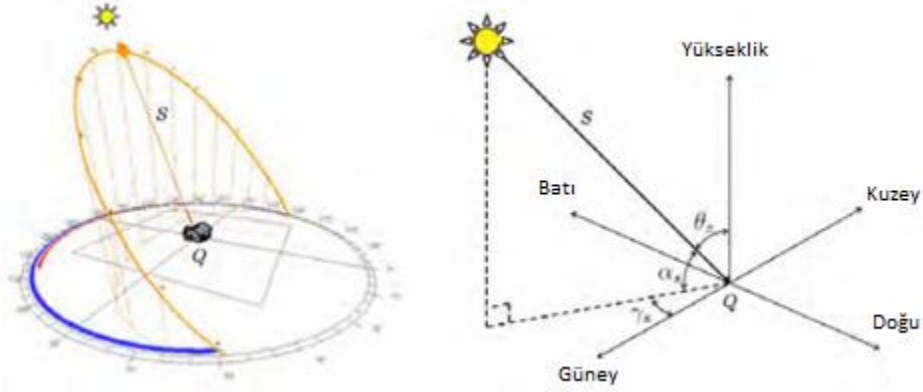
L_{ST} : Greenwich'in doğu/batısına göre boylam (+/-)

L_{LOC} : Yerel standart meridyen zamanı (Timezone * 15°)

E_{OT} : $229.2(0.000075+0.001868\cos\beta-0.03277\sin\beta-0.014615\cos2\beta-0.04089\sin2\beta)$

β : (Yılın içinde olunan günü-1)*360/365

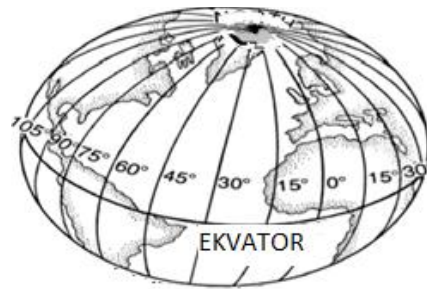
Güneş sistemlerinden maksimum verim alabilmek için konum ve yön tespitinde dikkate alınması gereken diğer parametreler; enlem, geliş açısı, ışık şiddeti, eğim açısı, yön açısı, Güneş azimut açısı, sapma açısı, eğim açısı, yükseklik açısı ve zenit açısıdır (Siemens 2011, Nadia *et al.* 2018) (Şekil 2.5, Şekil 2.6).



Şekil 2.5 Q noktasının SQ güneş vektörü ile aydınlatıldığında güneş izleme azimut ve yükseklik/zenit açılarının hesaplanması

Aşağıda açıklanan Dünya açıları, Güneş'in konumunun herhangi bir düzlemde belirlenebilmesi için gerekli olan açılardır (Reda and Anderas 2008b).

Güneş vektörünün hesaplanmasında kullanılan terimler:

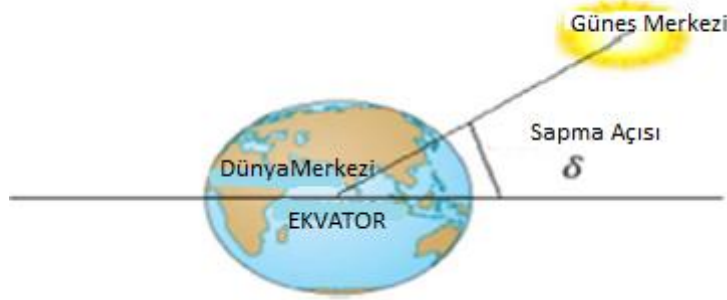


Şekil 2.6 Dünya üzerindeki boylamların derece olarak gösterimi

Enlem (ϕ): Ekvatorun kuzeyi veya güneyi ile güneş panelinin yaptığı açı,

Boylam (ζ): Greenwich'e göre güneş panelinin doğu-batı pozisyon açısı,

Sapma (δ): Güneş'in öğle saatlerinde Ekvator'a göre açısal pozisyonu,



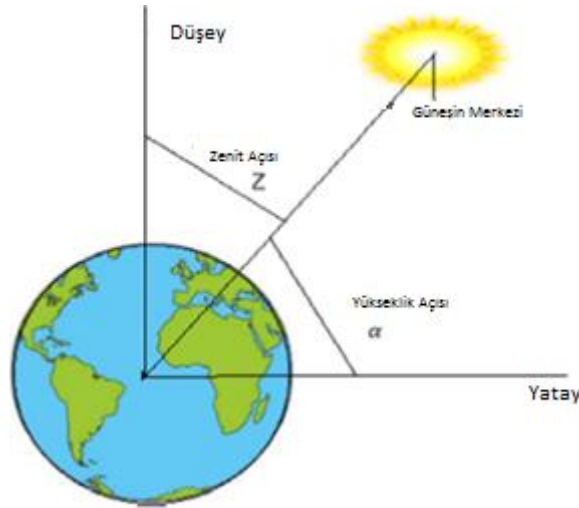
Şekil 2.7 Güneş sapma açısı

Yüzey azimut açısı (γ): Eğim yönünün yerel meridyene doğru sapması (Şekil 2.7),

Güneş azimut açısı (γ_s): Güneş'in güneyden saat yönünde lokal meridyene veya yüzey azimutuna göre açısı,

Yükseklik açısı (α): Gözlemciden güneş vektörü yükseklik açısı (Şekil 2.8),

Zenit açısı (θ_z): Yatay bir yüzeyde güneş vektörü zıt açısı ($90^\circ - \alpha$) (Şekil 2.8),

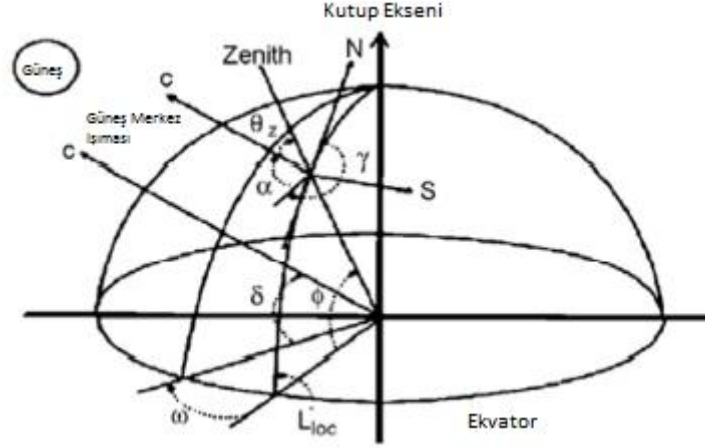


Şekil 2.8 Yükseklik ve zenit açıları

Işıma ve yansıma açısı (θ): Gelen güneş ışınması ile yüzey arasındaki açı,

Güneş saati açısı (ω): Öğlen 12'de 0 derece ve 24 saatin 360 derece kabul edilerek hesaplandığı güneş saatinin derece olarak hesaplanması ile bulunan açıdır.

GPS'ten alınan verilerle güneş ışımalarının hesaplanmasında, güneş panelinin konumuna ait enlem ve boylam bilgileri astronomik prensiplere dayalı olarak aşağıda yer alan denklem ile hesaplanabilmektedir (Prinsloo and Dobson 2015).



Şekil 2.9 Güneş panelinin konumuna ait enlem ve boylam bilgileri hesaplaması

$$\text{Güneş Saati} = \text{Yerel Saat} + 4 \times (L_{ST} - L_{LOC}) + E$$

$$E = 229.2 (0.000075 + .001868 \times \cos \beta - 0.04089 \times \sin 2\beta)$$

$$\beta = \frac{360}{365} \times (n - 1)$$

$$\delta = 23.45 \times \sin \left(\frac{360}{365} \times (284 + n) \right)$$

$$\cos \theta_z = (\cos \phi \times \cos \delta_s \times \cos \omega) + (\sin \phi \times \sin \delta_s)$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \times \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \times \sin \phi - \sin \gamma_s}{\sin \theta_z \times \cos \phi} \right) \right|$$

Denklemlerle hesaplanan günün herhangi bir saatine ait güneş konum vektörü hesaplanmasında, güneş panelinin azimut açısı yatay konumlandırma, zenit/yükseklik açısı dikey konumlandırma kullanılmaktadır (Şekil 2.9). Ayrıca literatürde yer alan NOAA'ya (National Oceanic and Atmospheric Administration/ US Department of Commerce) ait dünya üzerinde herhangi bir noktaya ait gün doğumu, gün batımı, öğle saati gibi hesaplamaların yer aldığı denklemlere NOAA'ya ait internet adresinden de erişilebilmektedir (İnt.Kyn.5). NOAA'nın algoritmasından daha az karmaşık olduğu kabul edilen bir diğer denklem ise ITACA'ya (Institute for the Applications of

Advanced Information and Communication Technologies; Valencia, Spain)ait internet adresinde yer almaktadır (İnt.Kyn.6).

2.2.1 Güneşin Konumunu Belirleme

Güneş panellerinin, güneş ışınlarını yakalama performanslarını iyileştirmek ve onu faydalı bir enerji biçimine dönüştürmek, büyük ölçüde güneş ışınlarının yayılma özelliklerinin anlaşılmasına bağlıdır.

Gerekli güneş takip doğruluğu derecesi, güneş enerjisi sisteminin özelliklerine bağlı olmakla birlikte, genelde daha yüksek bir izleme doğruluğu, daha yüksek bir çıkış gücünü ortaya çıkaracaktır (Prinsloo and Dobson 2015, Blanco-Muriel *et al.* 2001).

Güneşin konumunu belirlemede, atmosferik etkiler ve konum etkisi, farklı eğimli yüzeylerde güneş ışınlarının pozisyonu, güneş ışınlarının bileşenleri hesaplanması, algoritmalarda kullanılan tanımlar, rakamlar ve denklemler müteakip maddelerde ele alınmaktadır.

Doğruluk ve kararlılık, bir yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemi (CSP- Concentrating Solar Power) için öncelikli tasarım parametrelerinden ikisi olduğundan, genel literatürde çeşitli kontrol stratejisi seçenekleri önerilmiş, test edilmiş ve rapor edilmiştir. Bunlar, açık döngü kontrol sistemleri, kapalı döngü kontrol sistemleri ve ikisinin entegre edilmesinden oluşan hibrit döngü kontrol sistemleridir.

Açık döngü kontrol sistemleri ve kapalı döngü kontrol sistemlerinde dikkate alınması gereken 4 ana kategori bulunmaktadır. Bunlar:

1. Güneşin Konumu: CSP sistemine göre güneş vektörünün SQ (γ_s , θ_s) konumu,
2. Efektif yönlendirme sistemi: Güneş panellerinin güneş ışınlarının dik açı ile alabilmesi için gerekli olan yönlendirme sistemi,

3. Kontrol Girdileri: Güneş vektörü algoritmaları, fotodiyotlar, kamera vb.,
4. Kontrol Sistemi: Elektrik motorları ve yönlendiricilerin belirlenen kontrol dizileri ve durum diyagramlarına göre hareketini sağlayan sistemdir.

CSP sistemlerinde optik bileşenleri etkinleştirmek için güneş izleyicisi kullanılacağından, izleme doğruluğu ve mekanik kararlılık ana unsurlardan ikisi durumundadır.

Modern endüstriyel programlanabilir lojik kontrollü (PLC) güneş yoğunlaştırıcı ve izleme sistemlerinde mevcut eğilim, pasif denetleyiciler olarak da adlandırılan açık döngü denetleyicileri kullanmaktır. Bu denetleyiciler, güneş yoğunlaştırıcı sisteminin hareketini yönlendirmek için NREL (National Renewable Energy Laboratory- US Department of Energy) ve CIEMAT (Centre for Energy Environment and Technology Research) tarafından geliştirilen Güneş konum algoritmaları benzeri Güneş konumlandırma algoritmalarını kullanmaktadırlar (İnt.Kyn.3).

Kapalı çevrim kontrolörleri (veya aktif kontrolörler), kontrolörün Güneş'in hareketini ve yoğunlaştırıcı sisteminin Güneş'e doğru dinamik olarak konumlandırılmasını sağlamak için ışığa duyarlı elektronikler kullanarak optimum izleme hassasiyetine ulaşmaktadır. Daha karmaşık alternatifler, kamera tabanlı çözümleri içermekte; ancak bunlar, görüntü işleme için elektronik hassasiyet ve işlem gücü gereksinimleri nedeniyle PLC tabanlı kontrolör çözümlerinden daha az tercih edilmektedirler (Prinsloo and Dobson 2015).

Güneş enerji sistemlerinde, Güneş'in konumunun doğrulukla izlenmesi optik alıcılardan toplanan ve güç dönüşüm ünitesine aktarılan enerji ile orantılı olarak verimi arttırmaktadır.

Kontrol mekanizmaları sayesinde Güneş'in konumunun gerçek zamanlı olarak takibi ile iki (two-axis) eksenli veya çift/çift (dual/bi-axis) eksenli hareket kontrolünün olduğu konsantre güneş takip sistemlerinde (CSP) güneş ışığının güneş panelinin merkez

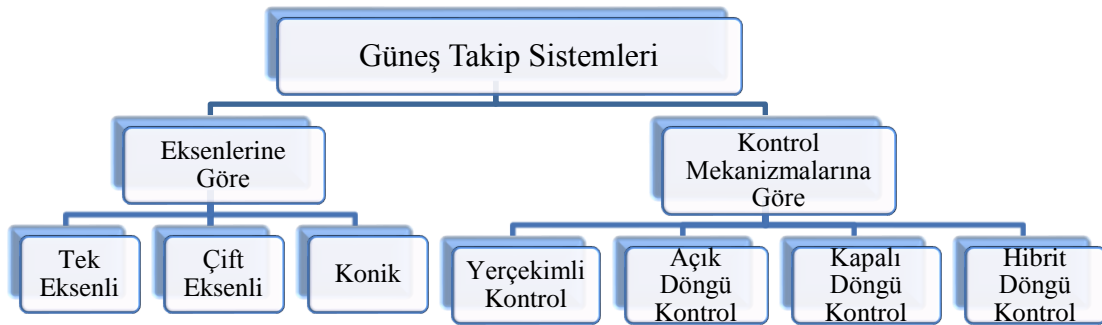
noktasına aktarımı sağlanabilmektedir. Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) verileri Güneş'in açısını ve yüksekliğini içeren güneş vektörünün SQ (γ_s , θ_s) gerçek zamanlı elde edilmesi için kullanılabilir (Reda and Andreas 2008a).

2.3 Güneş Takip ve Kontrol Stratejileri

Güneş panellerinin odak noktalarının Güneş'i takip ederek maksimum enerjiyi sürekli olarak elde edebilmeleri için güneş takip ve kontrolü gereklidir. Güneş takibinin doğruluğu ve kararlılığı güneş takip sistemleri tasarımının en öncelikli özellikleridir. Sistemlerin doğruluk derecelerini arttırmak amacıyla çeşitli kontrol stratejileri izlenmektedir. Açık döngü kontrol stratejileri, kapalı döngü kontrol stratejileri ve her ikisinin birleşiminden oluşan hibrit döngü kontrol stratejileri, literatürde yer alan kontrol stratejileridir.

2.3.1 Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş takip sistemlerini takip eksenleri ve kontrol mekanizmalarına göre iki ana başlık altında sınıflandırmak mümkündür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Güneş takip sistemlerinin sınıflandırılması

2.3.2 Eksenlerine Göre Güneş Takip Sistemleri

Tek eksenli güneş takip sistemlerinde güneş panellerinin hareketi yalnız bir eksende gerçekleştirilmektedir. Diğer güneş enerji sistemlerine oranla takip oranı ve buna bağlı olarak da verimliliği düşük sistemlerdir. Çift eksenli sistemlerde Güneş konumunun takibi her iki yönde de yapılabilmektedir. Konik tasarımlarda iç mekanizmada elde edilen spinle yaklaşık 20 kat daha fazla enerji üretimi hedeflenmektedir (Aman Garg *et al.* 2015) (Şekil 2.11).

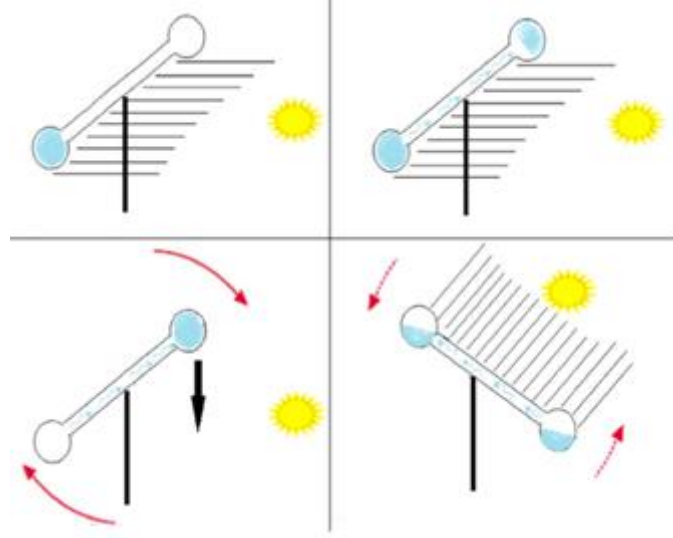


Şekil 2.11 Eksenlerine Göre Güneş Takip Sistemleri

2.3.3 Kontrol Takip Mekanizmalarına Göre Güneş Takip Sistemleri

2.3.3.1 Yerçekimli (Pasif) Kontrol Mekanizması

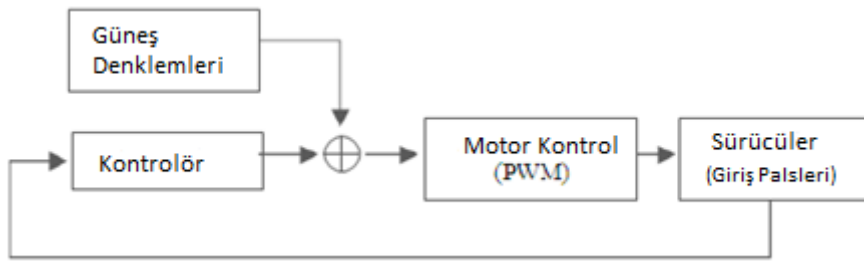
Yerçekimli kontrol mekanizmasına sahip güneş takip sistemlerinde, güneş panellerinin her iki tarafında ya da tek taraflı olarak içi sıvı dolu tüpler kullanılmaktadır. Bu sıvılar ısıya duyarlı ve genişleme katsayıları yüksektir. Güneş panelinin ağırlık merkezi genişlerken yer değiştiren sıvıların hareketine bağlı olarak değişmekte, böylece güneş panelinin Güneş'e doğru yönelmesi sağlanmaktadır (Andersan *et al.* 2013) (Şekil 2.12). Yerçekimli kontrol mekanizmaları, herhangi bir motor, teçhizat vb. ilave sistem gerektirmediğinden pasif kontrollü sistemler olarak da adlandırılmaktadırlar (Anderson *et al.* 2003).



Şekil 2.12 Yerçekimi Kontrollü Güneş Takip Sistemi (Anderson *et al.* 2013)

2.3.3.2 Açık Döngü Kontrol Stratejileri

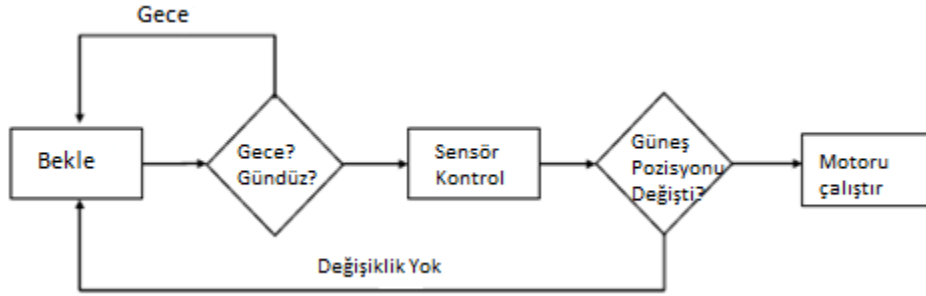
Açık döngü kontrol stratejilerinde, PLC (Programmable Logic Controller) yardımıyla mevcut güneş panellerinin açısı ile güneş ışınma açısının kontrolü yapılarak, gerekli motor kontrol sinyalleri belirlenmektedir (Şekil 2.13). Açık döngü kontrol sistemlerinde Güneş'in pozisyonu astronomik algoritmalarla hesaplanmaktadır (Reda and Andreas 2008).



Şekil 2.13 Açık Döngü Kontrol Sistemi Çalışma Prensipleri (Prinsloo 2014b).

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın boylam ve enlem koordinatları verildiğinde, güneş vektörü astronomik algoritmalar yardımıyla hesaplanabilmektedir (Şekil 2.14). Güneş vektörü SQ (γ_s , θ_s), yatay hizalama için gereken yoğunlaştırıcı azimut açısını ve dikey hizalama için gereken zenit açısını tanımlamaktadır. Açık döngü güneş takip sistemlerinde genelde NREL SPA (National Renewable Energy Laboratory-Güneş

Konum Algoritması) üzerine kurulan programlar kullanılmaktadır. NREL SPA, azimut ve zenit solar konumlama kontrolü ile 64 bitlik aritmetik doğruluk sağlamaktadır. Algoritma, $\sim 0.0003^\circ$ uç doğruluğu ile sağlanmakta ve güneş izleme hassasiyetlerini $\sim 0.05^\circ$ 'den daha iyi desteklemektedir (Reda and Andreas 2008a).



Şekil 2.14 Açık döngü güneş takip sistemlerinde PLC kullanılarak takip algoritmasına ait genel akış diyagramı (Prinsloo 2014b)

Açık döngü kontrol sistemlerinin en önemli dezavantajı sadece astronomik algoritma parametrelerini kullanmasıdır. PLC kontrol sistemi, kusurlu kurulum, kalibrasyon hataları, kurulum vезaman parametreleri hatalarını tespit edememekte ve düzeltememektedir.

2.3.3.3 Kapalı Döngü Kontrol Stratejileri

Kapalı döngü güneş takip kontrolünde, gözlemcinin güneş hareketini gözlemlemek için ışığa duyarlı elektroniklerin yardımı ile optimal güneş takip hassasiyeti sağlanmaktadır. Optik geri besleme sayesinde, güneş yoğunlaştırıcı sistemi en uygun güneş işaretleme konumuna ulaşmak için dinamik olarak yönlendirilebilir. Bu sistemlerde sensörlerin tipi ve hassasiyeti ile birlikte kontrolör sisteminin zekâ seviyesi de çok önemli olmaktadır.

Kapalı döngü kontrol yöntemi, tipik olarak kapalı devre güneş izleme kontrol modu altında PLC'ye geri bildirim vermek için uygulanmakta ve kusurlu kurulum, küçük mekanik hatalar veya küçük yanlış hizalamaların getirdiği bazı izleme hatalarını ortadan kaldırmaya veya en azından azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Kapalı döngü güneş izleme kontrol uygulamalarının bir kısmında, güneş sensörü güneş panellerinin çerçevesi üzerine monte edilmekte, bu şekilde, PLC kontrol cihazı güneş panelinin mevcut konumunu izleyebilmekte ve bunu güneş sensörü ile gözlemlenen/ölçülen güneşin gerçek pozisyonu ile karşılaştırabilmektedir. Güneş sensörü daha sonra kapalı döngü güneş takip kontrolüne veri aracı olarak kullanılmaktadır (Juang and Radharamanan 2014).

Kapalı döngü güneş kontrol sistemlerinde, PLC güneş vektörünü/pozisyonunu astronomik bir algoritmadan hesaplamak yerine, güneş sensörü sinyallerinden güneş pozisyonunu hesaplamakta ve güneş panelini yönlendirmek amacıyla kullanılan motorların aralıklarla hareketini sağlamaktadır. Güneş sensörleri yerine kamera görüntüleri ile entegre edilmiş kapalı döngü takip sistemleri de bulunmakla birlikte, bunlar endüstriyel ölçekli ticari güneş takip sistemlerinde popüler değildirler.

Çoğu sağlam endüstriyel PLC tabanlı kontrol sistemleri, güneşin konumunu daha doğru tespit etmek için gerekli olan karmaşık görüntü işlemlerini gerçekleştirebilecek kapasiteye sahip bulunmamaktadır. Ayrıcatoz, yağmur, statik elektrik ve yıldırım gibi tipik çalışma ortamı tehlikelerinin hepsi kamera tabanlı güneş izleme sistemlerinin kullanımına engel teşkil etmektedir (Melo *et al.* 2017).

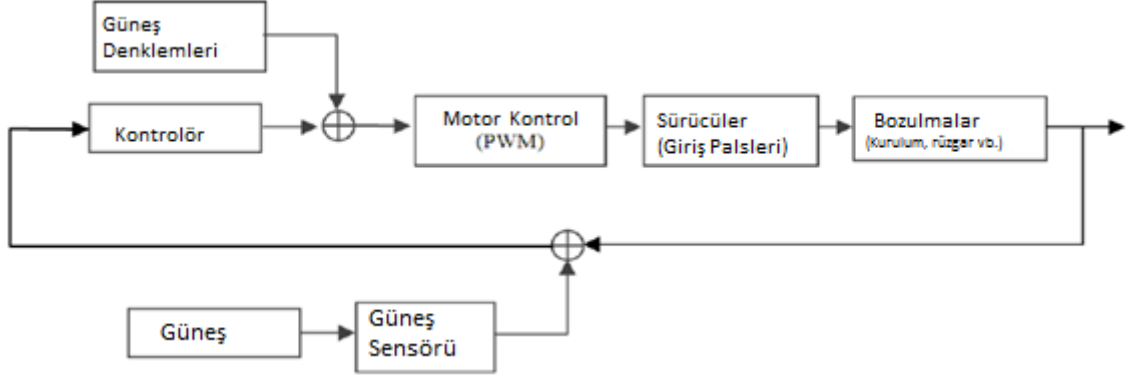
Kapalı döngü güneş izleme kontrolünün dezavantajlarından biri, PLC sisteminin uzun bir bulut örtüsü periyodundan kurtulmakta sorun yaşayabilecek olmasıdır. Astronomik algoritma kullanılmadığından, güneşin optik gözlem aracı (güneş sensörü/görüntüleme kamerası) görüş alanının dışına çıkması güneş vektörünü belirlemeyi zorlaştırabilmektedir.

2.3.3.4 Hibrit Döngü Kontrol Stratejileri

Hibrit döngü kontrol sistemlerinde, güneşin dinamik davranışını kontrol maksadıyla açık döngü ve kapalı döngü kontrol stratejilerinin kombinasyonu kullanılmaktadır. Hibrid kontrol sistemlerinde, astronomik algoritma ile güneş konumu hesaplanırken aynı zamanda sensörler yardımıyla güneşin pozisyonunun doğruluğu gözlemlenmekte

ve kontrol edilmektedir (Şekil 2.15).

Hibrit döngü stratejisini kullanan sistemlerde hem açık hem de kapalı döngü sistemlerin avantajları birlikte kullanılmaktadır.



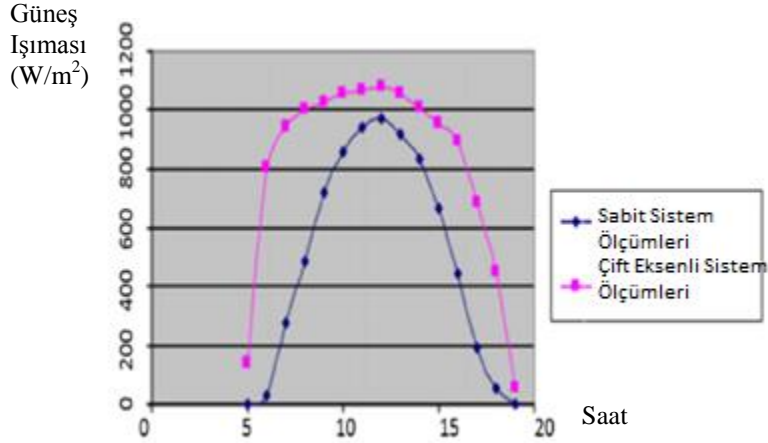
Şekil 2.15 Hibrit döngü kontrol sistemi çalışma prensipleri genel akış diyagramı (Prinsloo 2014b)

2.3.4 İzleme Yöntemlerine Göre Güneş Takip Sistemleri

Küçük ölçekli Güneş enerji sistemlerinde sabit panel kullanımı en etkin çözüm olmakla birlikte, sistemin üretmesi beklenen enerji miktarı arttıkça güneş takip sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Güneş enerjisinden maksimum faydalanabilmek amacıyla kullanılan takip sistemlerini kullandıkları izleme yöntemlerine göre 4 ana kategoride incelemek mümkündür. Bunlar;

- Sensör Tabanlı Güneş Takip Sistemleri,
- Mikroişlemci Tabanlı Güneş Takip Sistemleri,
- Açık-Kapalı Döngü Güneş Takip Sistemleri,
- Akıllı Güneş Takip Sistemleri'dir.

Bununla birlikte, sağlanan enerji verimliliğini arttırabilmek maksadıyla yukarıda sıralanan takip sistemlerinin birden fazlasının entegrasyonu ile oluşturulan takip sistemleri de kullanılmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Sabit sistem ile takip sistemine sahip güneş panellerinin karşılaştırılması (Assaf 2014)

2.3.4.1 Sensör Tabanlı Güneş Takip Sistemleri

Işık sensörleri diğer bir deyişle ışık dedektörleri, ışığın takibi ve ışık enerjisinin akım ve gerilime çevrilmesi amacıyla (fotodiyot, fototranzistörler vb.) kullanılmaktadırlar. Elektro-optik sensörler ışık seviyesinde meydana gelen değişimi elektronik sinyale çeviren sensörlerdir. Optik sensörler ışığın yoğunluk değeri değişiminin takip edilebildiği LDR'ler, yoğunluk sensörleri gibi sensörler olup sensör tabanlı takip sistemlerinin ana çalışma esası bu sensörlerden gelen verilerin değerlendirilmesine dayanmaktadır.

2.3.4.2 Mikroişlemci Tabanlı Güneş Takip Sistemleri

Mikroişlemci tabanlı Güneş takip sistemleri, sensörler yerine Güneş pozisyonunun hesaplandığı algoritma ve matematiksel hesaplamalar baz alınarak tasarlanmaktadır. Günümüzde bir çok takip sistemi PIC (Peripheral Interface Controller), Arduino vb. ucuz mikrokontrolörler kullanılarak tasarlanmaktadır. Mikroişlemci tabanlı takip sistemlerinde sensör kullanılmadığından, meteorolojik şartlardan, sensör hatalarından etkilenme gibi dezavantajlar yaşanmamaktadır (Roth *et al.* 2005, Kamala and Joseph 2014).

2.3.4.3 Açık-Kapalı Döngü Güneş Takip Sistemleri

Güneş takip sistemlerinin incelenmesinde diğer bir kategoriye de Açık-Kapalı Döngü takip sistemleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Açık döngü takip sistemlerinde matematiksel hesaplamalar baz alınmakta olup, güneş takibi bu hesaplamalardan elde edilen verilere dayalı olarak, takip sistemlerindeki motorların yada yönlendirici mekanizmanın aktivasyonu ile sağlanmaktadır. Kapalı döngü takip sistemlerinde ise sensörlerle birlikte kullanılan hesaplamalar izleyici mekanizmayı aktive etmektedir. Kapalı döngü sistemlerde sensörlerden gelen geri bildirim de kullanılırken açık döngü sistemlerde yalnızca matematiksel hesaplamalar kullanılmaktadır.

2.3.4.4 Akıllı Güneş Takip Sistemleri

Günümüzde yapay zeka kullanan Güneş takip sistemleri de literatürde yerlerini almaya başlamıştır. Bu sınıfta yer alan takip sistemlerinde bulanık mantık (fuzzy logic), sinir ağları (neural networks) ya da her ikisinin bir arada kullanıldığı tasarımlar kullanılmaktadır (Kalogirou and Sencan 2010, Louchene *et al.* 2007, da Silva *et al.* 2017). Akıllı Güneş takip sistemlerinde maksimum verimin elde edildiği Maksimum Güç Noktası (MPP), yükün sıcaklıkla değişiminin bulanık mantıkla kontrolü ile takip edilmektedir (Parsons *et al.* 2017).

2.4 Güneş Konum Algoritmaları ve Programları

Güneş Konum Algoritmaları (SPA-Solar Position Algorithm), belirlenen yer ve saat için güneşin konumunu içeren algoritmalarıdır. Güneş enerjisi sistemlerinin Güneş'i takip edebilen bir yapıya kavuşması sayesinde sahadaki verimlerinin artırılması mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda literatürde Güneş'in konumunu takip eden algoritma ve programları yer almaktadır. Güvenilir bir güneş takip sistemi, kapalı havalarda bile Güneş'i doğru açıda kararlılıkla izleyebilmelidir.

2.4.1 Güneş Konum Algoritmalarına Genel Bakış

Kapalı döngü güneş takip sistemlerinde, güneş takip sensörü gölgelendiğinde veya bulutlar tarafından Güneş engellendiğinde Güneş'in pozisyonu izlenememektedir.

Açık döngü sistemlerde ise; açık döngü sensörleri ya da güneş takip algoritmaları sayesinde Güneş'in konumu takip edilebilmektedir. Açık döngü sensörü encoder gibi görev yaparak güneş panellerinin özel formüller ya da güneş konum algoritmaları ile hesaplanan güneş açılarında konumlanmasını sağlamaktadır (Chong *et al.* 2014). Güneş takip sistemlerinde, güneş vektörünün azimut ve yükseklik açılarının, belirli bir konum için verilen tarih ve saatte, güneşin konumunu belirleyen algoritmalarla hesaplanabileceği ortaya konulmuştur (Prinsloo and Dobson 2015).

Bu tür izleme yaklaşımları, mekanik yapının hassas olması ve hizalamanın mükemmel şekilde yapılması kaydıyla 0.2°'lik bir izleme doğruluğunu sağlayabilmektedir. Genellikle, bu algoritmalar hesaplama karmaşıklıkları nedeniyle mikroişlemci yazılım algoritmalarına entegre edilmişlerdir.

2.4.2 Güneş Konum Algoritmalarının Karşılaştırılması

Güneş vektörü hesaplanmasına ilişkin en güvenilir algoritma NREL tarafından geliştirilen Güneş Konum Algoritması (Solar Position Algorithm (SPA))'dır. SPA'nın 2000 yılından 6000 yılına kadarki kozmik değişiklikler de dikkate alınarak saptanan belirsizlik sapması yalnızca ± 0.0003 'tür (Reda and Andreas 2008).

Bunun yanısıra Grena tarafından geliştirilen Grena &PSA güneş takip algoritması NREL ile karşılaştırıldığında, işlem hızı ve entegrasyon kolaylığı açısından NRElden daha fazla önerilebilmektedir (İnt.Kyn.4). Meeus tarafından 1988'de geliştirilen güneş konumlama algoritmasının da doğruluğu 0.0003 derecedir, ancak bu algoritmanın işletilmesi için gerekli işlem zamanı ve gücü ihtiyacı daha fazladır (Meeus 2001). Bu nedenle Meerus algoritması, karmaşık yapısı ve hesaplama zamanının uzunluğu nedeniyle hızlı algortimalar arasında yer alamamaktadır.

Bir diğerk bilinen hızlı algoritma ise Duffie and Beckman'a ait PSA algoritmasıdır. Bu algoritmanın en önemli özelliğı kolayca bir PLC'de (Programmable Logic Controller) uygulanabilmesidir (Duffie and Beckman 2006).

Foto-diyotlar, foto transistörler, ışık bağımlı sinyaller gibi geri besleme sensörleri, rezistanslar, güneş sensörleri, işlenmiş kamera görüntüleri veya azimut ve yükseklik açılarındaki anlık hataların düzeltilmesi SPA algoritmalarındaki hesaplanan açı değerlerinin düzeltilmesi için kullanılmaktadır.

2.4.3 Literatürde Yer Alan Güneş Konum Programları ve Algoritmaları

Literatürde, güneş takip sistemlerinde kullanılan birçok güneş konum algoritmaları, yazılımları ve kaynak kodları bulunmaktadır. Aşağıda genel olarak bu algoritma ve yazılımlar listelenmiştir:

2.4.3.1 PSA (La Plataforma Solar de Almeria) Güneş Konum Algoritması

İspanya Fen ve Yenilik Bakanlığına bağılı CIEMAT (Centre for Energy Environment and Technology Research) tarafından geliştirilen PSA güneş takip algoritmasına, birime ait internet adresinden ulaşılabilir (İnt.Kyn.7). PSA güneş enerji sistemleri konusunda dünyanın en büyük AR-GE merkezi olarak kabul edilmektedir.

2.4.3.2 Helios Güneş Konum Algoritması

Açık kaynak kodlu Helios Güneş Takip Yazılımı'dır. Sunpos SPA Helios dilinde yazılmış olan en yaygın güneş konum uygulamasıdır.

2.4.3.3 C Kodlu Güneş Konum Algoritması

Güneş takip sistemi geliştiricilerinin kullandığı en popüler algoritmalarından biri de NREL tarafından geliştirilmiştir.C kodlarına NREL'e ait internet adresinden

erişilebilmekte ve indirilebilmektedir (İnt.Kyn.8).

2.4.3.4 SunCalc Java/C Kodları (Vladimir Agafonkin) ile Güneş Konumu

SunCalc, herhangi bir yer ve zaman için Güneş'in ışıma döngüsünün (doğuş zamanı, batış zamanı, şafak vakti vb.) hesaplanabildiği, Vladimir Agafonkin tarafından geliştirilen küçük bir JavaScript kütüphanesidir. Kaynak kodlarına SunCalc'a ait internet adresinden ulaşılabilir (İnt.Kyn.9).

2.4.3.5 MatLab Güneş Konum Algoritması

Fang'ın geliştirdiği MatLab SPA, kompleks hesaplamalar içeren Güneş konumunun hesaplanması açısından güneş mühendisliğinin temelleri arasında yer almaktadır (İnt.Kyn.10).

2.4.3.6 SolPos Güneş Konum Algoritması

SolPos, Yenilenebilir Kaynaklar Veri Merkezi (RreDC- The Renewable Resource Data Center) tarafından geliştirilmiş olup; Güneş'le ilgili kaynak araştırmalarına yardımcı olacak veri ve araçları içermektedir. Detaylı verilere RreDC internet adresinden ulaşılabilir (İnt.Kyn.11).

2.4.3.7 C ve C++ Dillerinde Güneş Konumu

Güneşin batışı, doğuşu ve maksimum güneş ışıma noktasını hesaplamak için, Visual Studio 2008 çözümü ve Astronomy ve AstronomyTest ile birleştirilmiş C# programı bulunmaktadır. Programın indirilebileceği adres "<http://guideving.blogspot.nl/2010/08/sun-position-in-c.html>" dır.

2.4.3.8 Visual Basic ve VB.NET’de Güneş Konum Programları

Tanner tarafından geliştirilen VSOP87, gezegenlerin Güneş merkezli, ekliptik boylam, enlem ve mesafelerini 1 ark saniye hassasiyetle binlerce yıl için ölçülebilen bir VB fonksiyonudur (Tanner 2014). GeoStars kütüphanesi konumlama, işaretleme ve araştırma durumları için kullanılabilir. OpenArcGlobe veya GlobeControl uygulamaları ise .NET kategorisinde yer alan güneş takip uygulamalarıdır.

2.4.3.9 Python’da Güneş Konum Programı

Güneş takip programlarından biri de Harvard Üniversitesince geliştirilen Python SPA’dır. Python SPA ile gün doğumu/batımı, alacakaranlığın başlangıç/bitiş zamanı, herhangi bir tarih ve boylamdaki gün uzunluğu hesaplanabilmektedir. SUNRISET.C’ye Harvard Üniversitesi web sayfasından ulaşılmaktadır (İnt.Kyn.12).

2.4.3.10 Pysolar, SunPy, NumPy ve LocationCalculation

Python dilinde yazılmış birden fazla Güneş takip yazılımı bulunmaktadır. Bunlardan Pysolar, dünya üzerindeki herhangi bir noktanın Güneş ışınmasını hesaplamak için kullanılan Python kütüphanesidir. Pysolar’a web adresinden ulaşılmaktadır (İnt.Kyn.13). Diğer uygulama açık kaynak kodlu SunPy’a ise kendi internet adresinden (İnt.Kyn.14), NumPy Package uygulamasına ise kendi web adresinden (İnt.Kyn.15), Location Calculation Python yazılımına ise “<https://github.com/pingswept/pysolar/wiki/examples>” adresinden ulaşılmaktadır.

2.4.3.11 Fortran Dilinde Güneş Konum Programları

Michalsky tarafından geliştirilen metod literatürdeki diğer Fortran güneş takip programlarına göre daha az güç gerektirmekte ve daha hızlı çalışmaktadır. Ancak hesaplamalar 1950-2050 yılları arası için 0.01° doğrulukla geçerlidir. Fortran 90 kodlarına GitHub’a ait web adresinden erişilmektedir (İnt.Kyn.16).

Where is the Sun?? Fortran'da yazılmış bir Güneş konum algoritmasıdır. Bu algoritmaya internet üzerinden erişilmektedir (İnt.Kyn.17). Ayrıca Zimmerman tarafından geliştirilen, belirli bir konum, yerel saat, meridyen, için Güneşin konumunu, azimut ve zenit açılarını, öğlen saatini ve diğer parametreleri (atmosfer kalınlığı vb.) hesaplayan Fortran uygulamasına Zimmerman'a ait internet adresinden erişilmektedir (İnt.Kyn.18).

2.4.3.12 PHP'de Güneş Konum Algoritmaları

Schlyter tarafından geliştirilen PHP uygulaması ile Güneş'in konumu 20 ve 21'inci yy. için 1-2 arcsaniye hata ile hesaplanabilmektedir. Uygulamaya Stjarnhimlenin web adresinden erişilmektedir (İnt.Kyn.19).

Petrov tarafından PHP'de geliştirilen diğer bir uygulama olan, Solar Position Calculator'a internet üzerinden erişilebilmektedir (İnt.Kyn.20).

Ayrıca, PHP Procedure ile Güneş konumunu ve yörüngesini hesaplayan uygulamaya Snipplr'a ait web sayfası adresinden (İnt.Kyn.21), gün doğumu/gün batımı/alacakaranlık saatlerine ulaşabileceğiniz "date.sun.info" uygulamasına ise php.net adresinden erişilmektedir (İnt.Kyn.22).

2.4.3.13 NASA Jet Propulsion Lab HORIZONSWeb

NASA Jet Propulsion Lab (JPL) Güneş Sistemi Dinamikleri Grubu tarafından geliştirilen HORIZONS web arayüzü ile Güneş'in, Ay'ın, gezegenlerin ve diğer gök cisimlerinin yörüngesel hareketleri takip edilebilmektedir. HORIZONS web arayüzüne "http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi" adresinden ulaşılmaktadır (NASA 2014).

2.4.3.14 Siemens Güneş Konum Yazılım Kütüphanesi

Siemens Güneş takip sistemlerinde kullanılmak üzere kendi yazılım kütüphanesini oluşturmuştur. NREL'in güneş takip algoritmasının kullanıldığı bu uygulama Siemens S7-1200 PLC ile kullanılmakta, Güneş'in belli gün, yıl ve lokasyon için konumu hesaplanmaktadır. Siemens'in endüstriyel hareketli Güneş Takip Sistemleri (Siemens Simatic S7-1214C PLC TIA) için geliştirilen bu uygulamanın örnek kodlarına Bytex'e ait internet adresinden erişilebilmektedir (İnt.Kyn.23).

2.4.3.15 Beckhoff TwinCAT Güneş Konum Algoritması Yazılım Kütüphanesi

Beckhoff tarafından geliştirilen TwinCat Güneş takip algoritması yazılım kütüphanesi GPS koordinatlarına göre bir konuma ait, bir yıl boyunca güneş vektörü açılarının, gün doğumu/gün batımı ve öğlen saatinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Hava sıcaklığı, deniz seviyesinden yüksekliği, basınç, atmosferik ışıma gibi değerler girilerek uygulamada doğruluk derecesi artırılabilir. Uygulama kaynak kodları ve daha fazla bilgiye Beckhoff'a ait internet adreslerinden erişilmektedir (İnt Kyn.24-25).

2.4.3.16 Diğer Güneş Takip Yazılımları

Yukarıda adı geçen uygulamaların haricinde literatürde bir çok Güneş takip uygulaması bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; Panasonic'in astronomik hesaplamaları kullanarak geliştirdiği Güneş takip yazılımı, Mikrokontrolörler için geliştirilen (Arduino, PIC vb.) C kodlamaları, Excel'de geliştirilen Güneş konum cetvelleri, Basic, QBasic and UBasic kodlamaları, HP'e ait C dili ile yazılan HP41-CX Güneş konum yazılımı, Java ve Flash'da geliştirilen GeoStar gibi birçok Güneş konum yazılımı verilebilmektedir.

2.5 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

Güneş enerji sistemlerinden en yüksek gücü elde edebilmek ve verimi en yüksek değerde tutabilmek MPPT yöntemleri ile sağlanabilmektedir. Literatürde yer alan maksimum güç noktası algoritmalarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür. 1) Sabit Gerilim Metodu ile MPPT, 2) Artan İletkenlik Metodu ile MPPT, 3) Değiştir-Gözle Metodu ile MPPT. Literatürde kullanılan algoritmaların uygulama yöntemleri farklı olduğundan bazıları maksimum güç noktasına daha hızlı ulaşırken bazıları yavaş ancak istikrarlıdır (Erdoğan vd. 2014).

2.5.1 Sabit Gerilim Metodu ile MPPT

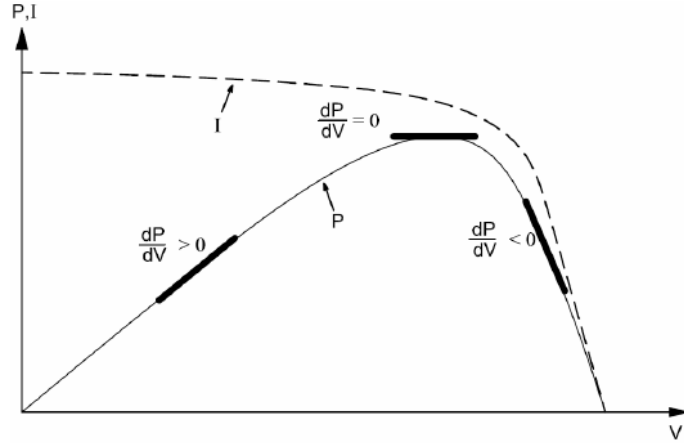
Sabit gerilim metodu, fotovoltaik modülün açık devre gerilimi (Voc) referans alınarak maksimum güç noktası hesabı yapan bir algoritma tabanında çalışmaktadır.

Yapılan araştırmalar maksimum güç noktası gerilimi ile açık devre gerilimi arasında doğrusal bir fonksiyonel bağıntı olduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu bu değer panelin üretim tekniği ve çevresel faktörler gibi parametrelerle değişim gösterse de genellikle %76 olarak alınmaktadır.

Sabit gerilim metodu ile maksimum güç noktası takibi yöntemi oldukça basit, karmaşık devreler gerektirmeyen ve ucuz bir yöntemdir. Ancak panelin açık devre gerilim değerini elde edebilmek için yükün sistem üzerinden ayrılması gerekliliği ve bu esnada güneş enerjisinden faydalanmada kesintiler meydana getirmesi olumsuz yanları olarak kabul edilmektedir.

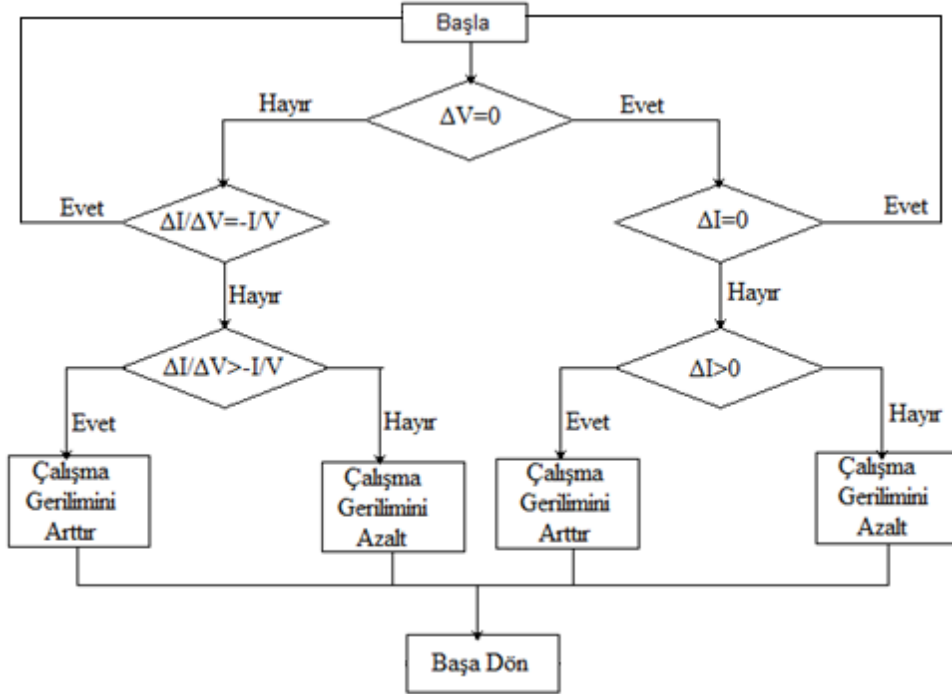
2.5.2 Artan İletkenlik Metodu ile MPPT

Artan iletkenlik metodu ile MPPT algoritmasının temeli, fotovoltaik modülün çıkış gücü eğiminin sıfıra eşit olan değeri maksimum güç noktası, sıfırdan büyük olan değerleri maksimum güç noktasının solu, sıfırdan küçük olan değerleri yeri maksimum güç noktasının sağ olarak belirlemesine dayanmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Güneş paneli akım/gerilim karakteristiği (Özdemir 2007)

- $dP/dV=0$ durumunda sistem maksimum güç noktasındadır,
- $dP/dV>0$ durumunda sistem maksimum güç noktasının solundadır,
- $dP/dV<0$ durumunda sistem maksimum güç noktasının sağındadır (Çelik 2015).



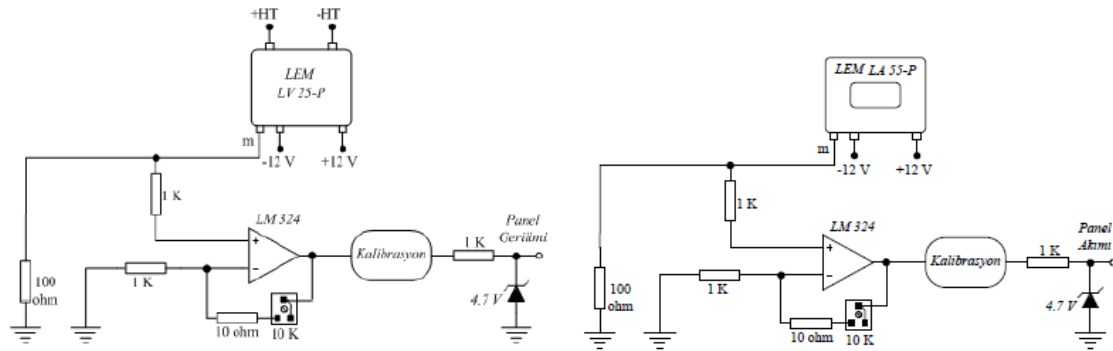
Şekil 2.18 Artan iletkenlik metodu ile MPPT akış diyagramı (Keskin vd. 2014)

Artan iletkenlik ile maksimum güç noktası takibi algoritmasının en önemli avantajı hızlı bir şekilde değişim gösteren çevresel faktörlere kolaylıkla uyum sağlamasıdır. Bu algoritma ile gerçekleştirilen çalışmalarda maksimum güç noktasında meydana gelen dalgalanmanın diğer metotlara göre daha az olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple maksimum güç noktasını daha yüksek bir verimle yakalamaktadır (Şekil 2.18).

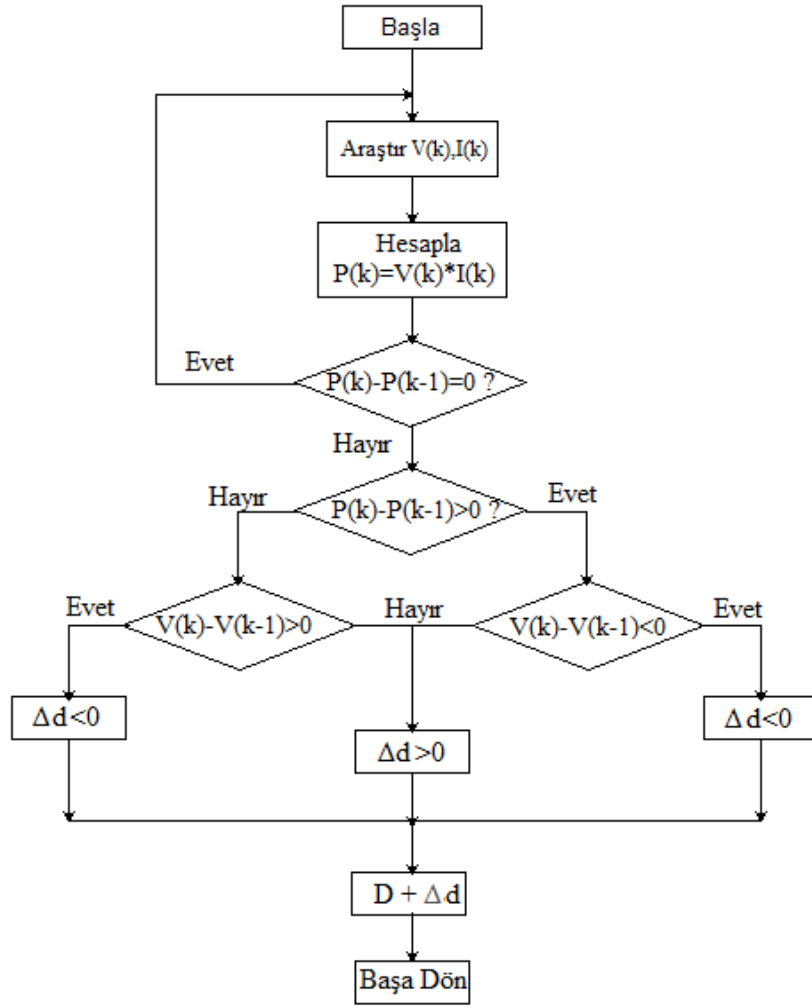
Bu algoritmanın en önemli dezavantajı kontrol yöntemindeki matematiksel ve mantıksal işlem hacminin yoğun olması sebebi ile tepki hızında meydana gelebilecek görece yavaşlamadır. Söz konusu tepki yavaşlaması günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan hızlı mikro denetleyicilerle aşılabilmektedir (Şekil 2.19).

2.5.3 Değişir-Gözle Metodu ile MPPT

Değişir-Gözle metodu ile MPPT yönteminde fotovoltaik panelin çıkış gücü sürekli olarak izlenmektedir. Bu nedenle panelin sadece akım ve gerilim değerlerinin anlık olarak okunması yeterli olmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.19 Değişir-Gözle metodu ile MPPT diyagramları.



Şekil 2.20 Değiştir-Gözle metodu ile MPPT akış diyagramı (Keskin vd. 2014)

Panelin çıkış gücünün değişimi ile kontrol değişkeninin değişimi arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak referans değerinin artırılmasına ya da azaltılmasına karar verilmektedir. Böylelikle dönüştürücünün darbe genişlik oranının, gücü maksimum noktada tutacak şekilde ayarlanması sağlanmaktadır. Bu yöntemin en önemli dezavantajı çevresel faktörlerin ani değişimlerine yavaş tepki vermesi ve maksimum güç noktasını yanlış yerde arayabilmesidir. Ancak işlem hacminin az olması ve kontrolünün kolay olması sebebi ile sıklıkla tercih edilen algoritmalar arasında yer almaktadır (Keskin vd. 2014) (Şekil 2.20).

2.6 Maksimum Güç Noktası İzleyicilerinin Sınıflandırılması

Yukarıda belirtildiği gibi bir fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasını belirlemek ve izleyebilmek maksadıyla literatürde çok sayıda algoritma ve strateji geliştirilmiştir. Bu algoritmalar genel olarak doğrudan ve dolaylı MGNİ (Maksimum Güç Noktası İzleyicileri) sistemleri olmak üzere iki başlıkta toplanabilmektedir.

2.6.1 Dolaylı MGN İzleyiciler (Indirect Trackers)

Dolaylı MGNİ'ler maksimum güç noktasının ölçümler ve basit kabuller vasıtasıyla bu noktadaki fotovoltaik pil geriliminin hesaplanması prensibine dayanarak çalışmaktadırlar. Bu sistemler mevsimsel, konumsal, açık devre gerilim değerleri vb. bağlı olarak uygulama açısından farklılıklar göstermektedir.

Fotovoltaik panelin çalışma gerilimi mevsimsel olarak ayarlanabilmektedir. Bu sistemde yaz aylarında pil ısısının yüksek olması sebebiyle daha düşük MGN gerilimi, kış aylarında düşük pil ısısına bağlı olarak yüksek MGN gerilimi ölçülmesi beklenmektedir.

Çalışma gerilimi modül sıcaklığına göre de ayarlanabilmektedir. Fotovoltaik panelin açık devre geriliminin pilin yapılmış olduğu materyale ait değerle (örneğin silikondan yapılanlar için 0,8 vb.) çarpılarak MGN gerilimi hesaplanabilmektedir. Fotovoltaik pile ait açık devre gerilimi belirli aralıklarla ölçülür. Bu işlem, yükün örneğin 2 dakika aralıklarla çok kısa sürelerde (örneğin 1ms) devre dışına alınarak gerçekleştirilmektedir. Bazı sistemlerde ise güneşin azimut ve yükseklik (altitude) açılarına göre tasarım yapılmaktadır.

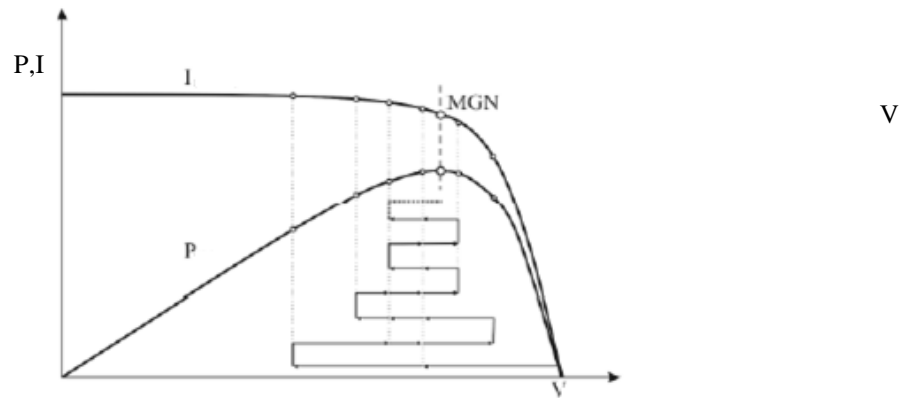
Fotovoltaik sistemin tesis edileceği yere ait güneş açılarının değişimi bir veri tabanına aktarılmakta, MGNİ'nin hareketi bu veri tabanına göre gerçekleşmektedir. Dolaylı MGN izleyiciler, maksimum güç noktası için yaklaşık değerlere göre çalışmaktadırlar. Bu izleyicilerin avantajı basit yapıda olmaları, dezavantajı ise pilin eskimesi veya kirlenmesi gibi pil kaynaklı oluşabilecek arızalara duyarlı olmamalarıdır.

2.6.2 Doğrudan MGN İzleyiciler (Direct Trackers)

Doğrudan MGNİ sistemlerinde, optimal çalışma noktası fotovoltaik panelden alınan güç, gerilim veya akım değerlerinden elde edilmektedir. Buna bağlı olarak zaman içerisinde farklı sebeplerle sistemin performansında ortaya çıkabilecek değişikliklerden etkilenmesi sonucu daha doğru izleme yapabilmektedirler. Doğrudan MGN İzleyicilerin uygulamaları aşağıdaki temel prensipleri kullanmaktadırlar.

- I-V karakteristik eğrisinin belirlenen kısmının belirli aralıklarla taranması prensibine dayanarak çalışan MGNİ sistemlerinde, sistemin çalışma gerilimi DC/DC konvertörce ortaya çıkarılan bir gerilim çerçevesindedir. Elde edilen maksimum güce karşılık gelen gerilim ayarlanmaktadır. Daha kolay yöntem olarak, DC/DC konvertörün çıkış akımını ölçmek ve bu değeri en yüksek değere çıkarmak kabul edilmektedir. Bu yöntem de maksimum verim için uygun olacaktır.

- İkinci yöntemde, çalışma gerilimi belirli aralıklarla değiştirilerek güç veya akımdaki artış hesaplanmaktadır. Artışın durduğu veya azalmaya başladığı nokta Maksimum Güç Noktası olarak belirlenir (Şekil.2.20). Eğer akım veya güç, gerilimin her artışında artıyorsa, MGN'e ait hesaplamalar ileriye, tersi durumda geriye doğru sürdürülmektedir. Hesaplamalara bağlı olarak maksimum güç noktası tespit edilir ve çalışma noktası gerçek MGN civarında bir salınım yapar (Onat ve Ersöz 2009, Ort 2016) (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Maksimum Güç Noktası'nın tespit edilmesi (Mountain-Climb Algorithm)

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Uygulamanın Amacı

Bu çalışmada ulaşılmak istenen amaç; literatürde mevcut olan Güneş takip sistemi yöntemlerinden PLC tabanlı kapalı döngü Güneş takip sistemi ile dünyanın en büyük güneş enerji sistemleri Ar-Ge Merkezi olarak kabul edilen İspanya Fen ve Yenilik Bakanlığına bağlı CIEMAT (Centre for Energy Environment and Technology Research) PSA (La Plataforma Solar de Almeria) tarafından geliştirilmiş C programlama dilinde yazılan SunPos güneş takip algoritmalarının gerçekleştirilerek verimliliklerinin karşılaştırılması ve tasarlanan Güneş Takip Sisteminin internet tabanlı olarak uzaktan kontrolünün sağlanmasıdır.

İki farklı algoritmanın verimliliklerinin karşılaştırılması aşamasında, aynı şartların sağlanabilmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda algoritmaların eş zamanlı koşturulması ve aynı güneş ışınımlarında ürettikleri güçlerin karşılaştırılması istenilen amaca erişilmesini sağlayabilmektedir.

3.2 Kullanılan Algoritmalar ve Programlar

Güneş takip sistemlerinin kontrol stratejilerinden biri olan açık döngü kontrol stratejisinin gerçekleştirilmesi amacıyla SunPos güneş takip algoritması tasarlanan prototiplerin birinde, kapalı döngü kontrol stratejisinin gerçekleştirilmesi amacıyla 4 adet LDR foto direnci kullanılarak gerçekleştirilen sensör tabanlı algoritma diğer prototipte kullanılmıştır.

Tasarlanan prototipsistemlerin her birinde, mikrokontrolör olarak birer adet Arduino Mega 2560 mikrokontrolör, ikişer adet servo motor, birer adet üretilen güç ölçümü için ina219 DC akım modülü, internet bağlantısını sağlamak amacıyla birer adet ESP8266 Wi-Fi modülü, ışık sensörü olarak dörder adet LDR, hesaplanan akım ve gerilim değerlerinin depolanması amacıyla mikro SD kart modülü, zaman bilgisi için birer adet RTC modülü, birer adet 85*55*2,5 mm güneş paneli ve çeşitli devre elemanları kullanılmıştır.

Açık döngü modunda yapılan testlerde PSA (La Plataforma Solar de Almeria) tarafından geliştirilmiş SunPos güneş takip algoritması arduinoya uyarlanarak kullanılmıştır. Bu algoritmaya ait program kodlarına “<http://www.psa.es/sdg/sunpos.html>” adresinden ulaşılmıştır.

Kapalı döngü modunda yazılan kodun çalışma mantığı, LDR’lerin ürettikleri dirençlere bağlı olarak servo motorların harekete geçirilmesine ve güneş panelinin yönlendirilmesine dayanmaktadır.

Her iki prototipe de aynı program yüklenmiştir. Prototiplerin aynı anda aynı modda çalışması sağlanarak kalibreleri yapılmış, açılış değerleri ve zaman verileri eşitlenmiştir. Bu işlem sayesinde ölçümlerin kurulum kaynaklı farklılıkları ortadan kaldırılmıştır.

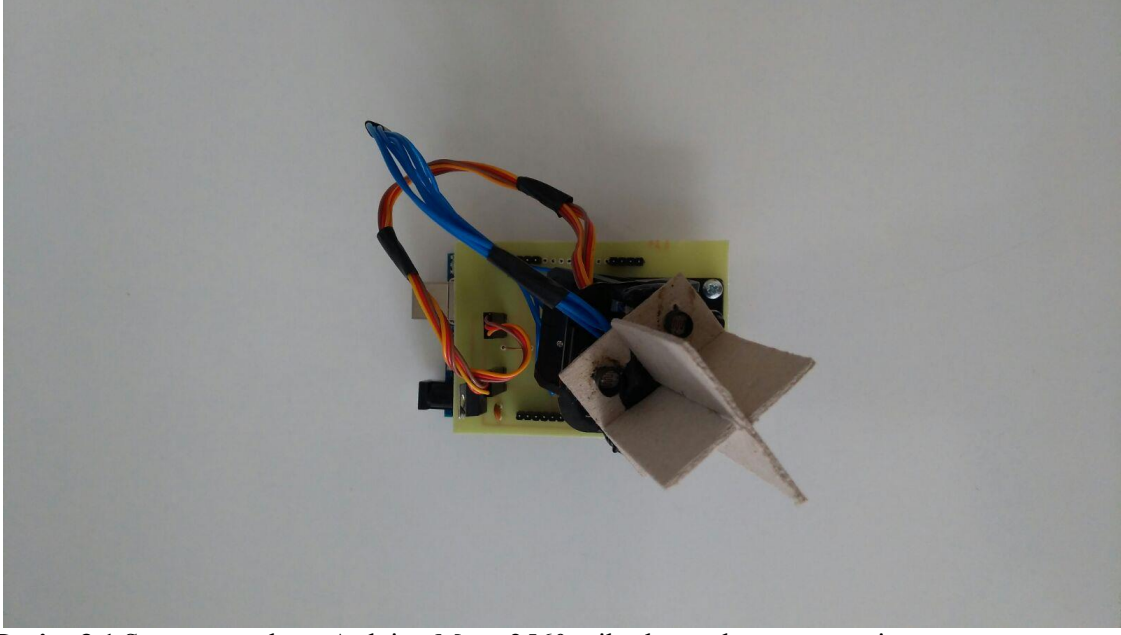
Yapılan ölçümler esnasında kullanılan devre elemanları ve modüllerin aşırı ısınmasını engellemek amacıyla gölgelik tasarlanmış ve kullanılan fanla ısının düşürülmesi sağlanmıştır.

Mikrokontrolörlere yüklenen ana kaynak kodun içerisinde her bir modüle ait kütüphaneler:

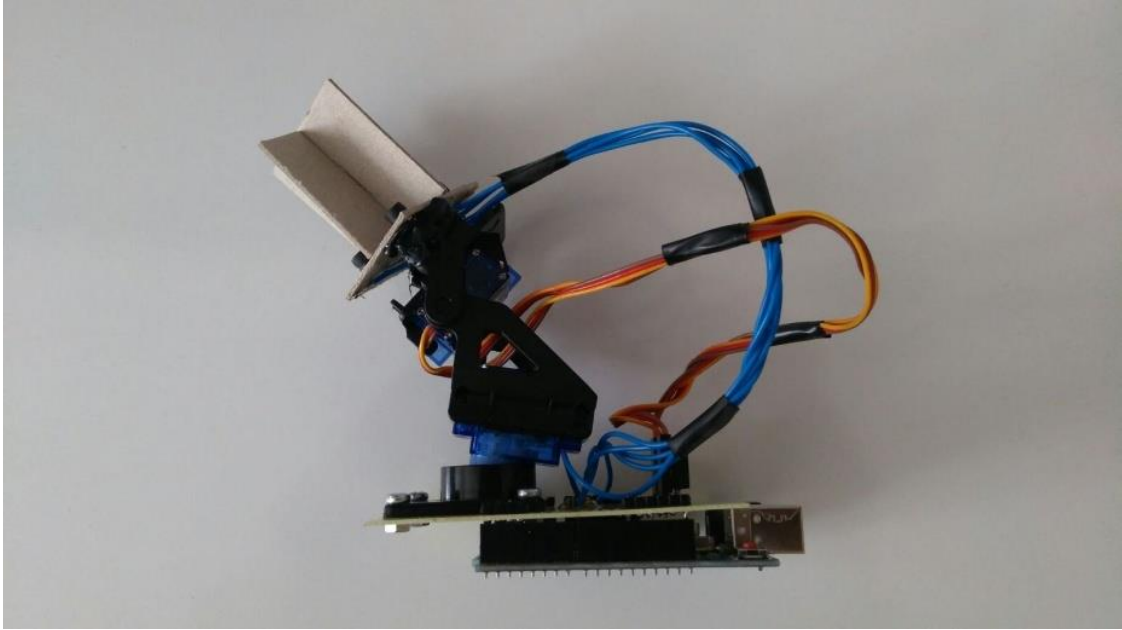
- 1- Saat modülü (RTC)kütüphanesi,
- 2- Akım modülü (Ina219) kütüphanesi,
- 3- SD kart modülü (SDFast) kütüphanesi,
- 4- Servo motorlara ait (Servo.h) kütüphanesidir.

Bunlara ek olarak SunPos kütüphanesi de kaynak kod içinden çağırılmaktadır. SunPos kütüphanesine ait kullanılan kaynak kodlar EK-1’de, mikrokontrolöre yüklenen ana kaynak kodlar EK-2’de yer almaktadır.

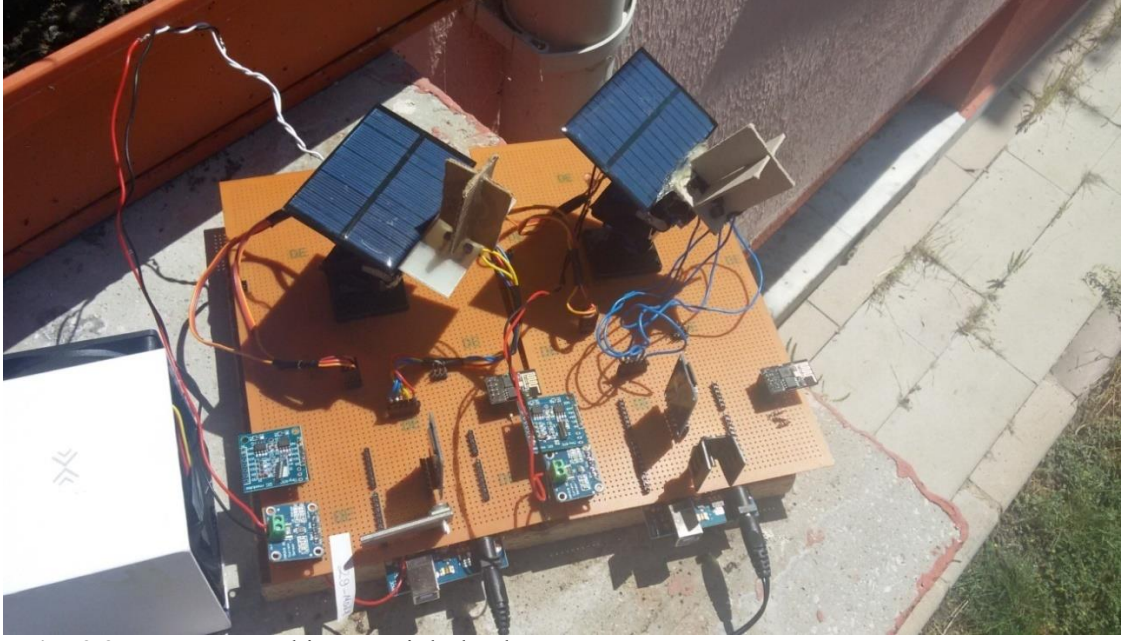
Tasarlanan prototiplere ait görseller Resim 3.1-5’te yer almaktadır.



Resim 3.1 Servo motorların Arduino Mega 2560 mikrokontrolörüne montajı.



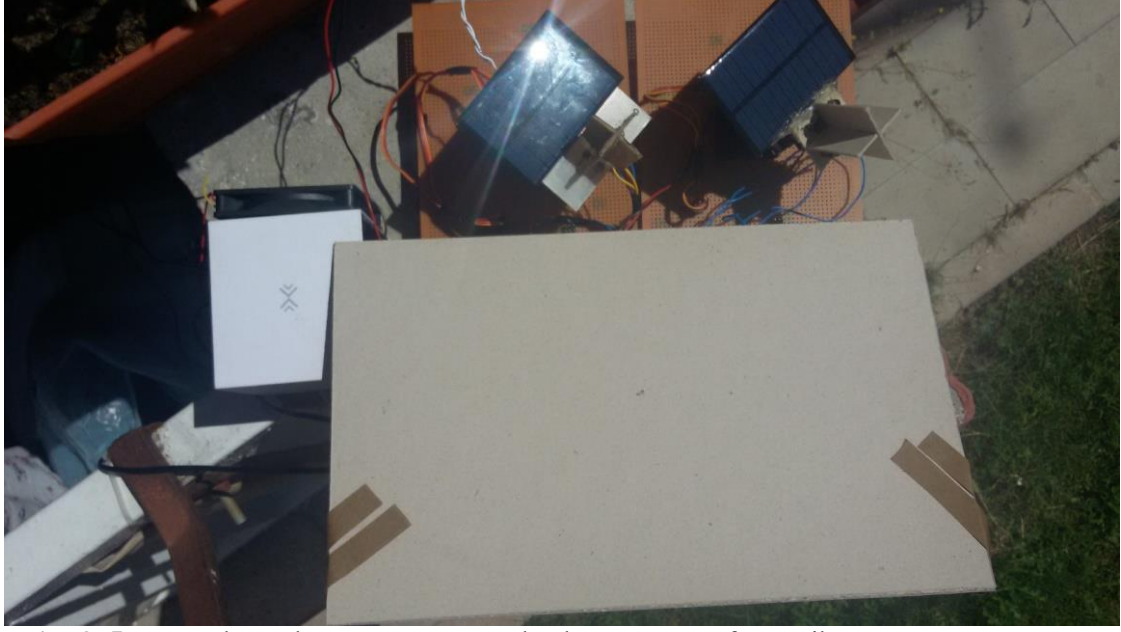
Resim 3.2 Kullanılan servo motorların yandan görünümü.



Resim 3.3 Eş tasarıma sahip prototiplerle ölçüm.



Resim 3.4 Devre elemanlarının aşırı ısınmadan korunumu ve fan tertibatı-1.



Resim 3. 5 Devre elemanlarının aşırı ısınmadan korunumu ve fan tertibatı-2.

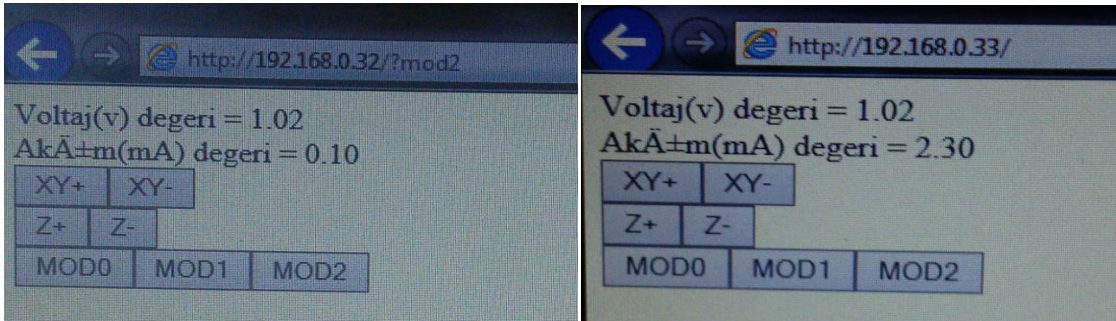
4. BULGULAR

Tasarlanan Güneş Takip Sistemi prototiplerine yüklenen programda Mod0, Mod1 ve Mod2 olmak üzere 3 farklı çalışma modu tanımlanmıştır. Sisteme internet üzerinden erişilebilmekte (Resim 4.1) ve çalıştığı mod değiştirilebilmektedir. Mod0 seçildiğinde sisteme manuel kumanda edilerek güneş panelinin açı değerleri değiştirilmektedir. Hazırlanan internet arayüzünde XY ve Z düzlemlerinde hareket kontrolü gerçekleştirilmektedir. Programda seçilen Mod1 değeri ile sistemin LDR sensörlerinden alınan verilere göre çalışması sağlanmaktadır. Bu modda herhangi bir konum bilgisi kullanılmamaktadır. Seçilen Mod2 değeri ile ise, sistemin SunPos algoritmasını kullanarak, sensörlerden veri almadan, mevcut konum bilgisine dayalı hesaplanan Güneş pozisyonuna bağlı takip sistemi gerçekleştirilmektedir. Mod2 seçildiğinde Ankara için 32 boylam, 39 enlem değerleri alınarak testler gerçekleştirilmiştir.

MAC Adresi	Süre	RSSI (dBm)	IP Adr	Host(Barındırcı) Adı	Mod	Hız (Kbps)
18 FE 34 DE 7E 81 51		-40	192.168.0.33	ESP_DE7E81	g	6000
2C 3A E8 20 E5 45 69		-40	192.168.0.32	ESP_20E545	n	6000

Resim 4.1 ESP 2586 Wi-Fi modüllerinin internete bağlantısı.

Her 3 modda da elde edilen akım-gerilim değerleri SD kartta oluşturulan zaman, akım ve gerilim adlı dosyalara ayrı ayrı kaydedilmektedir. İnternet arayüzü ile sistemin meydana getirdiği akım ve gerilim değerleri anlık olarak uzaktan da izlenebilmektedir (Resim 4.2).



Resim 4.2 İnternet arayüzü ile sistemlere erişim ekranları.

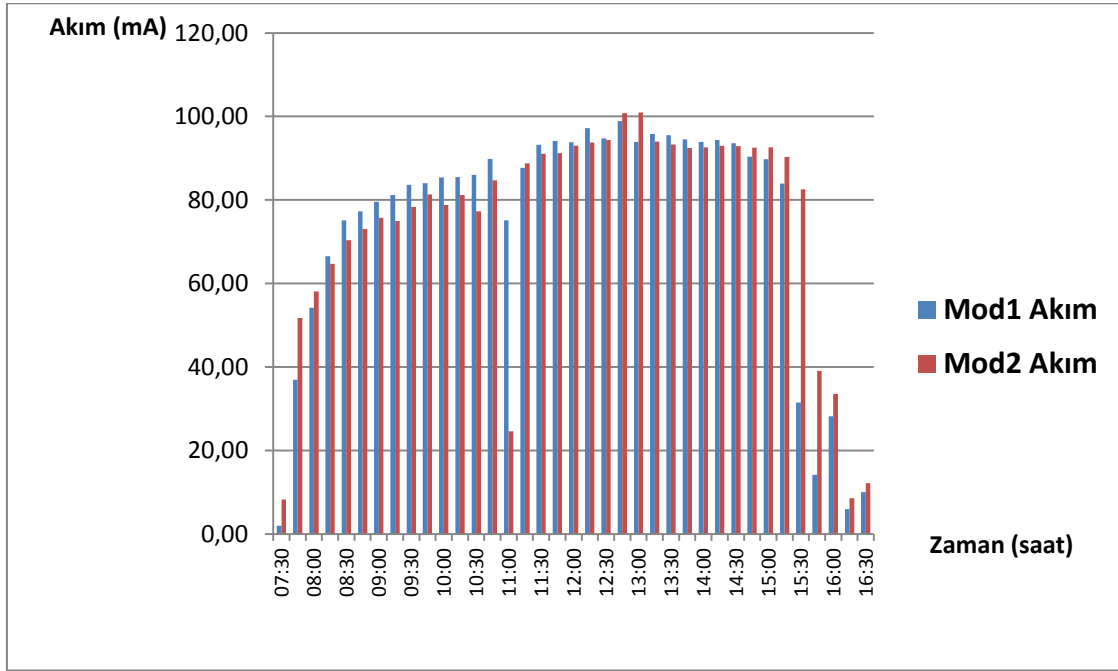
Tasarlanan sistemlerde her 15 dakikada bir Güneş'in konumu kontrol edilerek bir dakika boyunca veri alınmaktadır. Saat başı, 15, 30 ve 45'inci dakikalarda, kullanılan algoritmalarından bağımsız ortalama 100'er değer kaydedilmektedir. Bu kapsamda Mod1 algoritmasının yüklü olduğu sistemde toplam 3696, Mod2 algoritmasının yüklü olduğu sistemde toplam 3776 adet değer ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu değerlendirmelerde bu ölçülen değerlerin ortalamaları dikkate alınarak karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur.

Sistemlerden birinde Mod1 değerinde Mod2 seçilerek alınan ortalama akım değerleri Çizelge 4.2'de, karşılaştırma grafiği Çizelge 4.3'te yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Eş zamanlı elde edilen ortalama akım değerleri çizelgesi

Zaman	Mod1 Ortalama Akım Değerleri	Mod2 Ortalama Akım Değerleri
07:30	2,00	8,24
07:45	36,92	51,75
08:00	54,22	58,13
08:15	66,54	64,70
08:30	75,09	70,35
08:45	77,24	73,08
09:00	79,56	75,76
09:15	81,15	74,93
09:30	83,61	78,36
09:45	84,01	81,32
10:00	85,39	78,80
10:15	85,49	81,17
10:30	85,98	77,25
10:45	89,80	84,73
11:00	75,14	24,62
11:15	87,67	88,73
11:30	93,20	91,07
11:45	94,13	91,19
12:00	93,79	92,97
12:15	97,16	93,72
12:30	94,74	94,35
12:45	98,92	100,83
13:00	93,92	100,97
13:15	95,79	93,98
13:30	95,54	93,27
13:45	94,49	92,47
14:00	93,87	92,60
14:15	94,37	92,95
14:30	93,57	92,90
14:45	90,34	92,55
15:00	89,75	92,60
15:15	83,90	90,29
15:30	31,47	82,56
15:45	14,17	39,07
16:00	28,20	33,57
16:15	6,01	8,59
16:30	10,05	12,18

Çizelge 4.2 Eş zamanlı elde edilen ortalama akım karşılaştırma grafiği

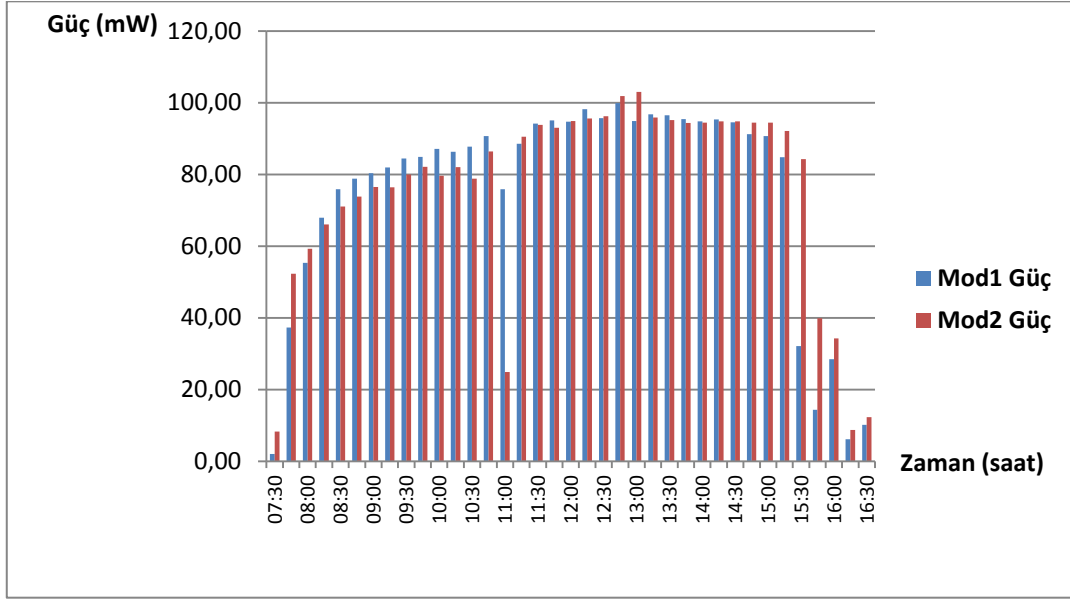


Sistemlerin iki farklı modda eş zamanlı olarak çalıştırılması ile elde edilen ortalama akım değerleri ile elde edilen güç değerleri Çizelge 4.3'te, karşılaştırma grafiği Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Eş zamanlı ortalama akımlarla elde edilen güç çizelgesi

Zaman	Mod1 Ortalama Güç Değerleri	Mod2 Ortalama Güç Değerleri
07:30	2,05	8,32
07:45	37,29	52,27
08:00	55,30	59,29
08:15	67,87	65,99
08:30	75,84	71,05
08:45	78,78	73,81
09:00	80,36	76,52
09:15	81,96	76,43
09:30	84,45	79,93
09:45	84,85	82,13
10:00	87,10	79,59
10:15	86,34	81,98
10:30	87,70	78,80
10:45	90,70	86,42
11:00	75,89	24,87
11:15	88,55	90,50
11:30	94,13	93,80
11:45	95,07	93,01
12:00	94,73	94,83
12:15	98,13	95,59
12:30	95,69	96,24
12:45	99,91	101,84
13:00	94,86	102,99
13:15	96,75	95,86
13:30	96,50	95,14
13:45	95,43	94,32
14:00	94,81	94,45
14:15	95,31	94,81
14:30	94,51	94,76
14:45	91,24	94,40
15:00	90,65	94,45
15:15	84,74	92,10
15:30	32,10	84,21
15:45	14,31	39,85
16:00	28,48	34,24
16:15	6,13	8,76
16:30	10,15	12,30

Çizelge 4.4 Eş zamanlı ortalama akımlarla elde edilen güç karşılaştırma grafiği



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının olduğu gibi fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin yerini almaya başlamıştır. Güneş enerji sistemleri diğer enerji kaynaklarına nazaran yüksek kurulum maliyeti ve düşük verimliliği nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Güneş enerji sistemlerinin kurulum maliyetleri yüksek olmasına karşılık, diğer enerji sistemleri ile karşılaştırıldığında daha düşük idame maliyetlerine sahiptirler. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte artan enerji ihtiyacı güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini arttıran çalışmaların yapılmasını zorunlu kılmıştır. Literatürde Güneş enerji sistemlerinin verimliliğini arttıran birçok algoritma ve program kullanılmaktadır.

Çalışmalarımızda dünyanın bir numaralı güneş enerjisi Ar-Ge Merkezi olarak kabul edilen CIEMAT tarafından geliştirilen SunPos algoritması ile çalışan açık döngü bir Güneş takip sistemi ile Arduino Mega 2560 kullanarak tasarladığımız kapalı döngü bir Güneş takip sisteminin verimliliklerinin karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

Her iki sistem aynı gün ve saatte, aynı yerde test edildiğinde elde edilen akımların ortalamaları ile yapılan değerlendirme neticesinde Güneş'in battığı ve doğduğu saatlerde Mod2'yi (açık döngü) kullanan, diğer zaman dilimlerinde ise Mod1'i (kapalı döngü) kullanan bir hibrit algoritmanın daha verimli çalışacağı öngörülmüştür. Ancak bu durumun algoritmaların tasarlanan sistem üzerinde farklı iklim şartları altında test edilerek doğrulanması gerekmektedir. Bu tür çalışmalar ileride yapılacak araştırmalarda kullanılmak üzere konu üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılara önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

Alata, M., Al-Nimr, M., and Qaroush, Y. (2005). Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control. *Energy Convers. Manag.*, **46**: 1229-45.

Aman Garg, K., Parveen, R. and Kumar, S. S. (2015). Solar tracking: An efficient method of improving solar plant efficiency. *Int. J. Electr. Electron. Eng.*, **07**: 1-5.

Anderson, E., Dohan, C. and Sikora, A. (2003). Solar panel peak power tracking system. *Worcester Polytechnic Institute*, **12**: 28-30.

Assaf, E.M. (2014) Design and implementation of a two axis solar tracking system using plctechiniques by an inexpensive method. *Int. J. Acad. Sci. Res.* **2**(3): 54-65.

Azman, A. (2011). Study of renewable energy potential in Malaysia. In: Proceedings Siemens. Control of CPV Solar Trackers: Applications & Tools Report, Siemens AG, Germany.

Blanco-Muriel, M., Alarcon-Padilla, D. and Lopez, T. (2001). Computing the solar vector. *SolarEnergy*, vol **70**(5): 431-441.

Chen, J-H, Yau, H-T and Hung, T-H. (2015). Design and implementation of FPGA-based Taguchi-chaos-PSO sun tracking systems. *Mechatronics*, **25**: 55-64.

Chong, K.-k., Wong, C.-w., Tunku, U. and Rahman, A. (2014). General Formula for On-Axis Sun-Tracking System. *Universiti Tunku Abdul Rahman Malaysia*, **3**: 263-291.

Çelik, Ö. (2015). Novel Hybrid MPPT Method For Grid Connected Photovoltaic Systems with Partial Shading Conductions. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Da Silva, I. N. (2017). Artificial Neural Network Architectures and Training Processes, in Artificial Neural Networks. *Springer*. **2**: 21-28.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (2006). Solar Engineering of Thermal Processes. 4. Edition, Wisconsin, USA.
- Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M. ve Ertunç, H. M. (2014). Güneş Panelleri İçin Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Tasarımı, TOK 2014 Bildiri Kitabı, 11-13 Eylül, Kocaeli.
- Huang, Y. (2009). The design and implementation of a solar tracking generating power system. *Eng. Lett.*, **17**(4): 1-5.
- Juang, J-N. and Radharamanan R. (2014). Design of a solar tracking system for renewableenergy. In: Proceedings of Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1) 2014. IEEE.
- Kalogirou, S. and Sencan, A. (2010). Artificial intelligence techniques in solar energy applications. *INTECH Open Access Publisher*; 2010-**22**.
- Kamala, J. and Joseph, A. (2014). Solar tracking for maximum and economic energy harvesting. *Int. J. Eng. Techno.*, **5**: 5030-5037.
- Kayri, I. and Gencoglu, M. T. (2017). Prediction of power production from a single axisphotovoltaic system by Artificial Neural Networks. In: Proceedings of 14th internationalconference on engineering of modern electric systems (EMES) 2017. IEEE.
- Keskin, Y. E., Başoğlu M. E., Tekdem İ. G. ve Çakır B. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde Değiştir-Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması, Eleco-2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa.

- Kou, Q, Klein, S. A. and Beckman, W. A. (1998). A Method For Estimating The Long-Term Performance Of Direct-Coupled PV Pumping Systems.
- Kurak, E., Erdemir, V. ve Dursun, B. (2016). PV Sistemi İçin Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı ve Uygulaması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **4**: 581-592.
- Louchene, A., Benmakhlouf. A and Chaghi, A.(2007). Solar tracking system with fuzzy reasoning applied to crisp sets. *Revue des Energies Renouvelables*, **10**(2): 231-40.
- Melo, A. G. (2017). Development of a closed and open loop solar tracker technology. *Acta Scientiarum Technology*, **39**(2): 177-83.
- Nayak, S. R. and Pradhan, C. R. (2012). Solar tracking application. *IOSR J. Eng.* **2012:2**, Article ID 12781281.
- Onat, N. ve Ersöz, S. (2009). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKSEM'09, Diyarbakır.
- Ort M. İ. (2016). FV Sistemlerde Güneşin Takip Eden Sistem Tasarımı ve MPPT Kontrolü ile enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir Ş. (2007). Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyici En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Parsons R. (2017). Comparison of light trapping in silicon nanowire and surfacetextured thin-film solar cells. *Appl. Sci.* **7**(4): 427.

- Prinsloo, G. and Dobson, R. (2015). Solar Tracking, High Precision Solar Position Algorithms, Programs, Software, and Source-Code for Computing the Solar Vector, Solar Coordinates & Sun Angles in Microprocessors, PLC, Arduino, PIC and PC-Based Sun Tracking Device or Dynamic Sun Following Hardware. 1st edn, ISBN:978-0-620-61576-1.
- Reda, I. and Andreas, A. (2008a). Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. NREL/TP-560-34302 WU1D56D0 nolu Raporu, Colorado.
- Robles, A. C., Ospino, C. A. and Casas Naranjo, J. (2017). Dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems. Spain.
- Roth, P., Georgiev, A. and Boudinov, H. (2005). Cheap two axis sun following device. *Energy Convers. Manag.* **46**(7): 79-92.
- Salas, V. (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for standalone photovoltaic systems. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **90**(11): 1555–78.
- Würfel, P. (2010). How Solar Cells Work. Optical Nanostructures for Photovoltaics, OSATechnical Digest (CD) (Optical Society of America, 2010), USA.
- YETAM, Hacettepe Üniversitesi Yeni ve Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Fotovoltaik Çalıştayı Bildirisi, 05.10.2017, Ankara.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx>, 04.05.2018
- 2) <http://www.emo.org.tr/>, 04.05.2018
- 3) <http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/spa>, 15.05.2018
- 4) <http://www.scribd.com/doc/94455998/Grena-2008-An-Algorithm-for-the-Computation-of-the-Solar-Position>, 20.05.2018
- 5) <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>, 15.05.2018
- 6) <http://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-3-calculating-solar-angles/>, 02.05 2018
- 7) <http://www.psa.es/sdg/sunpos.htm>, 02.05.2018
- 8) <http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/spa/>, 02.05.2018
- 9) <http://github.com/mourner/suncalc>, 03.05.2018
- 10) <http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/Taisugar/gh-dss/pdf/solar0menu.pdf>, 03.05.2018
- 11) <http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/solpos/>, 11.05.2018
- 12) http://cxc.harvard.edu/mta/ASPECT/tool_doc/pydocs/Ska.Sun.html, 11.05.2018
- 13) <http://pysolar.org/>, 11.05.2018
- 14) <http://sunpy.org/>, 11.05.2018
- 15) <http://numpy.scipy.org/>, 12.05.2018
- 16) <http://jpjustiniano.wordpress.com/2011/07/11/where-is-the-sun-solar-position-algorithms/>, 11.05.2018
- 17) <https://github.com/jpjustiniano/Subroutines>, 12.05.2018
- 18) <http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/f77.html>, 18.05.2018
- 19) <http://www.stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html#5>, 15.04.2018
- 20) <http://sts.ustrem.org/SourceCode/SPTS%20-%20PHP.pdf>, 12.05.2018
- 21) <http://snipplr.com/view/42266/php-sun-position>, 03.05.2018
- 22) <http://php.net/manual/en/function.date-sun-info.php>, 02.05.2018
- 23) <http://www.bytex.it/Article/eng/Complete-Solar-Tracking-example-code-with-Siemens-S7-1200-Tia-Portal.html>, 12.05.2018
- 24) http://www.beckhoff.co.za/english.asp?twincat/twincat_solar_position_algorithm.htm, 20.05.2018

- 25) http://www.beckhoff.co.za/english.asp?twincat/twincat_plc.htm., 12.05.2018
- 26) <https://cdn.intechopen.com/pdfs-wm>, 04.05.2018
- 27) http://www.industry.usa.siemens.com/topics/us/en/solar/solar-north-america-events/IntersolarNorthAmerica2012/Documents/Siemens_solar_tracking_control.pdf, 08.05.2018

EKLER

EK-1 SunPos Kütüphanesine Ait Kullanılan Kaynak Kodlar

```
// This file is available in electronic form at http://www.psa.es/sdg/sunpos.htm
```

```
#ifndef __SUNPOS_H
```

```
#define __SUNPOS_H
```

```
// Declaration of some constants
```

```
#define pi 3.14159265358979323846
```

```
#define twopi (2*pi)
```

```
#define rad (pi/180)
```

```
#define dEarthMeanRadius 6371.01 // In km
```

```
#define dAstronomicalUnit 149597890 // In km
```

```
struct cTime
```

```
{
```

```
    int iYear;
```

```
    int iMonth;
```

```
    int iDay;
```

```
    double dHours;
```

```
    double dMinutes;
```

```
    double dSeconds;
```

```
};
```

```
struct cLocation
```

```
{
```

```
    double dLongitude;
```

```
    double dLatitude;
```

```
};
```

```
struct cSunCoordinates
```

```
{
```

```
    double dZenithAngle;
```

```
    double dAzimuth;
```

```

};
void sunpos(cTime udtTime, cLocation udtLocation, cSunCoordinates
*udtSunCoordinates);
#endif
#include "sunpos.h"
#include <math.h>
void sunpos(cTime udtTime,cLocation udtLocation, cSunCoordinates
*udtSunCoordinates)
{
    // Main variables
    double dElapsedJulianDays;
    double dDecimalHours;
    double dEclipticLongitude;
    double dEclipticObliquity;
    double dRightAscension;
    double dDeclination;
    // Auxiliary variables
    double dY;
    double dX;
    // Calculate difference in days between the current Julian Day
    // and JD 2451545.0, which is noon 1 January 2000 Universal Time
    {
        double dJulianDate;
        long int liAux1;
        long int liAux2;
        // Calculate time of the day in UT decimal hours
        dDecimalHours = udtTime.dHours + (udtTime.dMinutes
            + udtTime.dSeconds / 60.0 ) / 60.0;
        // Calculate current Julian Day
        liAux1 =(udtTime.iMonth-14)/12;
        liAux2=(1461*(udtTime.iYear + 4800 + liAux1))/4 +
(367*(udtTime.iMonth

```



```

        - 2-12*liAux1))/12- (3*((udtTime.iYear + 4900
+ liAux1)/100))/4+udtTime.iDay-32075;
dJulianDate=(double)(liAux2)-0.5+dDecimalHours/24.0;
// Calculate difference between current Julian Day and JD 2451545.0
dElapsedJulianDays = dJulianDate-2451545.0;
}
// Calculate ecliptic coordinates (ecliptic longitude and obliquity of the
// ecliptic in radians but without limiting the angle to be less than 2*Pi
// (i.e., the result may be greater than 2*Pi)
{
    double dMeanLongitude;
    double dMeanAnomaly;
    double dOmega;
    dOmega=2.1429-0.0010394594*dElapsedJulianDays;
    dMeanLongitude = 4.8950630+ 0.017202791698*dElapsedJulianDays; //
Radians
    dMeanAnomaly = 6.2400600+ 0.0172019699*dElapsedJulianDays;
    dEclipticLongitude = dMeanLongitude + 0.03341607*sin(
dMeanAnomaly )
        + 0.00034894*sin( 2*dMeanAnomaly )-0.0001134
        -0.0000203*sin(dOmega);
    dEclipticObliquity = 0.4090928 - 6.2140e-9*dElapsedJulianDays
        +0.0000396*cos(dOmega);
}
// Calculate celestial coordinates ( right ascension and declination ) in radians
// but without limiting the angle to be less than 2*Pi (i.e., the result may be
// greater than 2*Pi)
{
    double dSin_EclipticLongitude;
    dSin_EclipticLongitude= sin( dEclipticLongitude );
    dY = cos( dEclipticObliquity ) * dSin_EclipticLongitude;
    dX = cos( dEclipticLongitude );
}

```

```

dRightAscension = atan2( dY,dX );
if( dRightAscension <0.0 ) dRightAscension = dRightAscension + twopi;
dDeclination = asin( sin( dEclipticObliquity )*dSin_EclipticLongitude );
}
// Calculate local coordinates ( azimuth and zenith angle ) in degrees
{
double dGreenwichMeanSiderealTime;
double dLocalMeanSiderealTime;
double dLatitudeInRadians;
double dHourAngle;
double dCos_Latitude;
double dSin_Latitude;
double dCos_HourAngle;
double dParallax;
dGreenwichMeanSiderealTime = 6.6974243242 +
0.0657098283*dElapsedJulianDays
+ dDecimalHours;
dLocalMeanSiderealTime = (dGreenwichMeanSiderealTime*15
+ udtLocation.dLongitude)*rad;
dHourAngle = dLocalMeanSiderealTime - dRightAscension;
dLatitudeInRadians = udtLocation.dLatitude*rad;
dCos_Latitude = cos( dLatitudeInRadians );
dSin_Latitude = sin( dLatitudeInRadians );
dCos_HourAngle= cos( dHourAngle );
udtSunCoordinates->dZenithAngle = (acos(
dCos_Latitude*dCos_HourAngle
*cos(dDeclination) + sin( dDeclination )*dSin_Latitude));
dY = -sin( dHourAngle );
dX = tan( dDeclination )*dCos_Latitude -
dSin_Latitude*dCos_HourAngle;
udtSunCoordinates->dAzimuth = atan2( dY, dX );
if ( udtSunCoordinates->dAzimuth <0.0 )

```

```

        udtSunCoordinates->dAzimuth = udtSunCoordinates->dAzimuth
+ twopi;
    udtSunCoordinates->dAzimuth = udtSunCoordinates->dAzimuth/rad;
    // Parallax Correction
    dParallax=(dEarthMeanRadius/dAstronomicalUnit)
        *sin(udtSunCoordinates->dZenithAngle);
    udtSunCoordinates->dZenithAngle=(udtSunCoordinates->dZenithAngle
        + dParallax)/rad;
    }
}

```

EK-2 Arduino Mega2560'a Yüklenen Ana Kaynak Kodlar

```
#include <Wire.h> // akım modülünün kullandığı haberleşme
#include "RTCLib.h"// saat modülü kütüphanesi
#include <Servo.h>//servo kütüphanesi
#include <Adafruit_INA219.h>//akım modülü kütüphanesi
#include <SPI.h>// sd kartın kullandığı haberleşme
#include "SdFat.h"// sd karta veri işlemeyi kolaylaştıran bir kütüphane
#include "sunpos.h"// güneş konumu hesaplama kütüphanesi

RTC_DS1307 RTC;//saat modülünü kullanmak için oluşturduğumuz değişken
Adafruit_INA219 ina219;// akım modülünü kullanmak için oluşturulan değişken
const int chipSelect = 53;// spi haberleşmedeki sd kartı aktif etmeye yarayan değişken

//Akım modülüne ait kütüphanede yer alan değişkenler
float shuntvoltage = 0;
float busvoltage = 0;
float current_mA = 0;
float loadvoltage = 0;
float energy = 0;

SdFat SD;// Sd karta bilgi yazmak için kullanılan değişkenler
File TimeFile;
File VoltFile;
File CurFile;

// servo tanımlamaları
```

```
Servo servoxy;  
Servo servoz;  
  
//servoların hangi açıda duracağını belirlediği değişken ve mod  
double xy=90;  
double z=100;  
int mod=0;  
double xy1=90;  
double z1=100;  
  
//ldr sensörlerinin bağlı olduğu pinleri tutan değişkenler  
int sensor[]={ A0,A1,A2,A3 };  
int sensordeger1;  
int sensordeger2;  
int sensordeger3;  
int sensordeger4;  
  
int sensordegerzson;  
int sensordegerxyson;  
  
//esp8266 wifi bilgileri  
#define ag_ismi "NetMASTER Uydunet-9999999"  
#define ag_sifresi "XXXXXXXX"  
int yil;  
int ay;  
int gun;  
int saat;
```

```

int dakika;

int saniye;

void setup() {
  Serial.begin(115200); // serial monitor başlatıldı
  //_____esp8266
  başlatılıyor_____
  _____

  Serial.println("AT"); //ESP modülü ile bağlantı kurulup kurulmadığının kontrolü
  delay(5000); //ESP ile iletişim için bekleme

  if(Serial.find("OK")){ //esp modülü ile bağlantı kurulduğunda modül "AT"
  komutuna "OK" komutu ile geri dönüş yapıyor

  Serial.println("AT+CWMODE=1"); //esp modülünün WiFi modunu STA şekline
  getirerek modülün başka ağlarla bağlantısı sağlanıyor

  delay(2000);

  String baglantiKomutu=String("AT+CWJAP=\"")+ag_ismi+"\", \""+ag_sifresi+"\"";

  Serial.println(baglantiKomutu);

  delay(10000);

  Serial.print("AT+CIPMUX=1\r\n");

  delay(1000);

  Serial.print("AT+CIPSERVER=1,80\r\n");

  delay(1000);

  }

  else{

  Serial.println("ERROR");

```

```
}  
  
// _____  
_____  
  
Wire.begin();//i2c haberleşme başlatıldı  
RTC.begin();// saat modülü çalıştırıldı  
if (! RTC.isrunning()) { // saatin çalışıp çalışmadığı kontrol ediliyor  
Serial.println("RTC is NOT running!");  
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled  
RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));  
}  
  
  
//servoların hangi pine bağlı olduğu tanımlandı  
servoxy.attach(5);  
servoz.attach(6);  
  
  
//sensörler input olarak tanımlandı  
pinMode(sensor[0],INPUT);  
pinMode(sensor[1],INPUT);  
pinMode(sensor[2],INPUT);  
pinMode(sensor[3],INPUT);  
  
SD.begin(chipSelect);//spi haberleşme sd kart için başlatıldı  
  
ina219.begin();//akım modülü başlatıldı  
  
}
```

```
void loop() {  
  
    zamann();  
    ina219values();  
    sd_yazdirma();  
  
    internete_baglan();  
    if(mod==0)  
        mod0();  
    if(mod==1)  
        mod1();  
    if(mod==2)  
        mod2();  
  
    servoxy.write(xy);  
    servoz.write(z);  
    /*Serial.print("mod=");  
    Serial.println(mod);  
    Serial.print("xy degeri:");  
    Serial.print(xy);  
    Serial.print("zdegeri:");  
    Serial.println(z);*/  
    //kontrol satiri  
    delay(50);  
}
```



```
}
```

```
void internete_baglan(){  
    if(Serial.available(>0)){  
        if(Serial.find("+IPD,")){  
            String metin;/* = "<head> XY degeri = ";  
  
            metin+=xy;  
            metin+="</head>";  
            metin += "<br><head> z degeri = ";  
            metin+=z;  
            metin+="</head>";  
            metin += "<br><head> MOD = ";  
            metin+=mod;  
            metin+="</head>";*/  
            metin+= "<head> Voltaj(v) degeri = ";  
            metin+=loadvoltage;  
            metin+="</head>";  
            metin += "<br><head> Akim(mA) degeri = ";  
            metin+=current_mA;  
            metin+="</head>";  
  
            metin += "<br><a href=\" ?xy+\"><button type='button'>XY+</button></a>";  
            metin += "<a href=\" ?xy-\"><button type='button'>XY-</button></a>";  
            metin += "<br><a href=\" ?z+\"><button type='button'>Z+</button></a>";  
            metin += "<a href=\" ?z-\"><button type='button'>Z-</button></a>";  
            metin += "<br><a href=\" ?mod0\"><button type='button'>MOD0</button></a>";
```

```

metin += "<a href=\" ?mod1\"><button type='button'>MOD1</button></a>";
metin += "<a href=\" ?mod2\"><button type='button'>MOD2</button></a>";

String cipsend = "AT+CIPSEND=";

cipsend += "0";

cipsend += ",";

cipsend += metin.length();

cipsend += "\r\n";

Serial.print(cipsend);

delay(500);

Serial.println(metin);

buton();

Serial.println("AT+CIPCLOSE=0");

}

}

}

void buton(){

String gelen = "";

char serialdenokunan;

while(Serial.available()>0){

serialdenokunan = Serial.read();

gelen +=serialdenokunan;

}

Serial.println(gelen);

if((gelen.indexOf(":GET /?xy+")>1)){

xy1-=10;

```

```

}
if((gelen.indexOf(":GET /?xy-")>1)){
xy1+=10;
}
if((gelen.indexOf(":GET /?z+")>1)){
z1-=10;
}
if((gelen.indexOf(":GET /?z-")>1)){
z1+=10;
}
if((gelen.indexOf(":GET /?mod0")>1)){
mod=0;
}
if((gelen.indexOf(":GET /?mod1")>1)){
mod=1;
}
if((gelen.indexOf(":GET /?mod2")>1)){
mod=2;
}
gelen="";
}

void ina219values() { // akım ve voltaj bilgilerinin hesaplandığı fonksiyon
shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
current_mA = abs(ina219.getCurrent_mA());
loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);

```

```

    /*Serial.print(loadvoltage);
Serial.print(" ");
Serial.print(current_mA);
Serial.println(" ");*/
}

void sd_yazdirma(){ // sd karta yazılacak verilerin ayarlandığı fonksiyon

    if(dakika==0||dakika==15||dakika==30||dakika==45){
        TimeFile =SD.open("TIME.txt",FILE_WRITE);
        if(TimeFile){
            TimeFile.print(saat);
            TimeFile.print(".");
            TimeFile.println(dakika);
            TimeFile.close();
        }

        VoltFile = SD.open("VOLT.txt", FILE_WRITE);
        if (VoltFile) {
            VoltFile.println(loadvoltage);
            VoltFile.close();
        }

        CurFile = SD.open("CUR.txt", FILE_WRITE);
        if (CurFile) {
            CurFile.println(current_mA);
            CurFile.close();
        }
    }
}

```

```

}
    delay(500);}

void mod0(){
    xy=xy1;
    z=z1;
    if(xy<2){
        xy=2;}
    else if(xy>178){
        xy=178;}
        if(z<2){
    z=2;}
    else if(z>178){
    z=178;}
    }
void mod1(){
    sensordeger1=analogRead(sensor[0]);
    sensordeger2=analogRead(sensor[1]);
    sensordeger3=analogRead(sensor[2]);
    sensordeger4=analogRead(sensor[3]);

    int yukari=sensordeger1+sensordeger2;
    int alt=sensordeger3+sensordeger4;
    int sag=sensordeger1+sensordeger4;
    int sol=sensordeger2+sensordeger3;

```

```

int zfark=yukari-alt;
int xyfark=sag-sol;

if(abs(zfark-sensordegerzson)>5){
  if(zfark>0){
    z-=1;}
  else{
    z+=1;}
  }
if(abs(xyfark-sensordegerxyson)>5){
  if(xyfark>0){
    xy+=1;}
  else{
    xy-=1;}
  }
sensordegerzson=zfark;
sensordegerxyson=xyfark;
/*Serial.print(sensordegerzson);
Serial.print(",");
Serial.print(sensordegerzson);
Serial.println();*/

if(xy<2){
  xy=2;}
else if(xy>178){
  xy=178;}

```

```

    if(z<2){
z=2;}
else if(z>178){
z=178;}
}

void mod2(){
    cTime zaman;

zaman.dHours = saat;
zaman.dMinutes = dakika;
zaman.dSeconds = saniye;
zaman.iDay = gun;
zaman.iMonth = ay;
zaman.iYear = yıl;

    cLocation konum;

konum.dLatitude = 39; // Ankara boylam
konum.dLongitude =32; // Ankara enlem

    cSunCoordinates koor;

koor.dAzimuth ;
koor.dZenithAngle ;

    sunpos(zaman,konum, &koor);

xy =koor.dAzimuth;
z=koor.dZenithAngle;

```

```

xy=xy-90;

    if(xy<2){
        xy=2;}
else if(xy>178){
        xy=178;}
xy=180-xy;
z=90-z;
z=180-z;
    if(z<85){
z=85;}
else if(z>170){
z=170;}
}
void zamann(){
DateTime now = RTC.now();
yil=now.year();
ay=now.month();
gun=now.day();
saat=now.hour();
dakika=now.minute();
saniye=now.second();
/*Serial.print(saat);
Serial.print(".");
Serial.println(dakika);*/
}

```


ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Betül BAŞCOŞKUN
Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA, 1979
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : bbascoskun@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Batıkent Lisesi, (1993-1997)
Lisans : Hava Harp Okulu Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, (1997-2001)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, İnternet ve Bilişim Teknolojileri
Anabilim Dalı, (2016-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Hava Kuvvetleri Komutanlığı 1997-Halen
Yayımları (SCI ve diğer) :
Diğer konular :