

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE PROTOTİPİNİN
ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik- Elektronik Müh. Merve AYDIN

**HAZİRAN 2016
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE PROTOTİPİNİN ÜRETİMİ

Merve AYDIN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 / 05 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 06 / 06 / 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Artan elektrik enerjisi ihtiyacına bağılı olarak, fosil yakıtlar yerine çevre için daha uyumlu olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi her geçen gün artmaktadır. Gelişen sanayi ve artan nüfus ile birlikte mevcut enerji kaynaklarının yetersiz kalacağı görülmektedir. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden maksimum şekilde faydalanmak amaçlanmıştır. Bunun için taşınabilir ve güneşi izleyen bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan güneş pili platformunun PIC18F452 mikrodenetleyicisi ile LCD üzerinden girilen konum verileri doğrultusunda güneşi takip etmesi sağlanmaktadır. Güneşin pozisyonunu takip eden platform, güneş ışınlarının üzerindeki güneş piline sürekli dik açı olacak ile gelmesi sağlanmaktadır.

Çalışmalarında bana yol gösteren, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca beni destekleyerek bilimsel çalışmalara teşvik eden çok kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Volkan AKTÜRK'e şükranlarımı sunarım. Hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme, kıymetli meslektaşım, en büyük destekçim babam Hayri AYDIN'a, bu süreçte varlığı bana en büyük güç olan, dualarını eksik etmeyen Annem'e ve çok değerli doktorum ablam Nihal AYDIN ÖREMİŞ'e çok teşekkür ederim.

Merve AYDIN

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Prototipinin Üretimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

06/06/2016

Merve AYDIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması.....	2
1.3. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	5
1.3.1. Güneş Pillerinin Modellenmesi ve Elektriksel Karakteristikleri.....	7
1.4. Güneş Pillerinden Maksimum Verim Alma Yöntemleri.....	9
1.5. Güneş Takip Sistemleri.....	10
1.6. Dünya'nın Hareketleri ve Güneş Açıları.....	12
1.6.1. Enlem Açısı (θ).....	12
1.6.2. Deklinasyon Açısı (δ).....	13
1.6.3. Saat Açısı (ω).....	13
1.6.4. Zenit Açısı (ψ).....	14
1.6.5. Yükseklik Açısı (α).....	15
1.6.6. Güneş Azimut Açısı (γ).....	15
1.6.7. Düzeltme Faktörü.....	16
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	18
2.1. Giriş.....	18
2.2. Güneş Konum Takibi Yapan Sistemin Elemanları.....	19
2.2.1. Fotovoltaik Güneş Paneli.....	19
2.2.2. Şarj Regülatörü.....	19
2.2.3. Akü.....	20
2.2.4. Optik Kodlayıcılı DA Motor.....	21

2.2.5.	Sınır Anahtarları.....	22
2.2.6.	Elektronik Kart.....	23
2.2.6.1.	PIC18F452 Mikrodenetleyicisi.....	23
2.2.6.2.	DS1302 Zamanlayıcısı.....	25
2.2.6.3.	L298N Motor Sürücü Entegresi.....	25
2.2.6.4.	LCD.....	26
2.2.6.5.	KA78T05 Pozitif Voltaj Regülatörü	27
2.3.	Sistemin Genel Çalışma Algoritması	27
2.4.	Elektronik Kartın Baskı Aşamaları	29
2.4.1.	Besleme Katı.....	29
2.4.2.	Kontrol Katı.....	30
2.4.3.	Zamanlama Katı.....	31
2.4.4.	Motor Sürücü Katı.....	32
2.5.	Elektronik Kartın Modellenmesi ve Simülasyonu.....	32
2.5.1.	Elektronik Kartın Gerçeklenmesi.....	35
2.6.	Güneş Panelinin Açılarının Belirlenmesi.....	36
2.7.	Güneş'in Doğu ve Batış Saatlerinin Hesabı.....	36
2.8.	Örnek Hesap ve Karşılaştırma.....	37
2.8.1.	Motor Adımlarının Belirlenmesi.....	42
2.9.	Sistemin Proton Compiler ile Derlenmesi ve Programlanması.....	43
2.10.	Önerilen Yöntemin Sisteme Uygulanması ve Sonuçlar	44
2.10.1.	Sabit Sistemlerle Güneş Takibi Yapan Hareketli Sistemlerin Karşılaştırılması..	46
2.10.2.	Verim Hesabı.....	49
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
4.	ÖNERİLER	52
5.	KAYNAKLAR.....	53

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE PROTOTİPİNİN
ÜRETİMİ

Merve AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2016, 55 Sayfa, 18 Ek Sayfa

Günümüzde artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte mevcut enerji kaynaklarının yetersiz kalacağı görülmektedir. Güneş panellerinden optimum şekilde yararlanmak için uygun güneş konum takibi yapmak önemli hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, gün boyunca güneş takibi yapan hem yatay olarak hem de kuzey-güney yönünde çift eksenli hareket edebilen fotovoltaik sistemi tasarlanmıştır. Yapılan çalışmanın en önemli kısmını oluşturan PIC18F452 tabanlı elektronik kart tasarımı, taşınabilir sistemin bulunduğu konum verileri yani enlem ve boylam değerleri doğrultusunda sisteme uygun pozisyon sağlamaktadır. Ayrıca yerel saate göre de güneşin günlük açılarının değişimi takip edilmektedir. Sistemin Proteus'ta simülasyonu yapıldıktan sonra LCD'de istenilen gün için açı ve saat değerleri kontrol edilebilmektedir. PIC18F452 için ara yüz olarak kullanılan Proton Compiler ile elektronik kartın sistematik şekilde yazılımı sağlanmıştır. Sistemde bulunan akü yardımıyla elektronik kart ve motorlar beslenirken, panel çıkışındaki regülatör yardımıyla akü uygun şekilde şarj edilmektedir. Güneş konum takibi yapan sistem verileri ile sabit konumlandırılmış fotovoltaik sistem verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, çalışmada tasarlanan ve prototipi üretilen güneş takip sisteminin uygunluğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikrodenetleyici, Fotovoltaik Pil, Akü, Güneş Takip Sistemi, Kronolojik Takip Sistemi

Master Thesis

SUMMARY

THE DESIGN AND PRODUCTION PROTOTYPE OF THE TWO-AXIS SOLAR
TRACKING SYSTEM

Merve AYDIN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2016, 55 Pages, 18 Added Pages

Today, existing energy sources are seen to be inadequate depending on growing population and developing technology. To follow position of the sun has optimally become very important to take advantage from the solar panels.

In this thesis, a photovoltaic system which can move both east-west direction and in a dual-axis vertically is designed. This system follows the sun throughout the day. Being the most important part of the study, the PIC18F452 based electronic card moves the panel optimally according to the angle of the sunlight and the latitude-longitude of its location. Also, this system can follow the change of the suns daily angle depending on the local time. After simulating on Proteus, the angle and the time values can be tracked by the LCD screen. With the Proton Compiler, the software for the PIC18F452 is programmed. While the battery feeds the electronic card and the motors, the regulator helps the battery to be charged. The solar tracker system is compared with the fixed solar systems and the results show that the presented system is a successful prototype.

Key Words: Microcontroller, Photovoltaic, Battery, Solar Tracking System, Chronologic Tracking System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Güneş ışığında fotovoltaik pilin temel çalışma mantığı.....	6
Şekil 1.2. Fotovoltaik pilin eşdeğer devresi	7
Şekil 1.3. Fotovoltaik pilin I-V ve P-V karakteristikleri	8
Şekil 1.4. Fotovoltaik panel sistemlerine ait bağlantı örnekleri	11
Şekil 1.5. Herhangi bir konumun enlem açısının gösterimi	12
Şekil 1.6. Deklinasyon açısının gösterilmesi.....	13
Şekil 1.7. Saat açısının belirlenmesi.....	14
Şekil 1.8. Zenit açısının gösterilmesi	14
Şekil 1.9. Yükseklik açısının gösterilmesi.....	15
Şekil 1.10. Güneş azimut açısının gösterimi	16
Şekil 2.1. Güneş takibi yapan sistemin genel şeması	18
Şekil 2.2. Kullanılan panelin elektriksel parametreleri	19
Şekil 2.3. Şarj regülatörü	20
Şekil 2.4. Akü.....	20
Şekil 2.5. Optik kodlayıcılı DA motor	21
Şekil 2.6. Redüktör motor bağlantısı	22
Şekil 2.7. Sınır anahtarı	22
Şekil 2.8. PIC18F452 dış görünüşü.....	23
Şekil 2.9. PIC18F452 portları.....	24
Şekil 2.10. Kristal osilatörün PIC'e bağlantısı	24
Şekil 2.11. DS1302 pin düzeni	25
Şekil 2.12. L298N motor sürücü entegresinin PIC18F452 ile bağlantısı.....	26
Şekil 2.13. LCD parlaklık ayarı.....	26
Şekil 2.14. 7805 entegresine ait devre şeması	27
Şekil 2.15. Güneş takip sistemine ait akış diyagramı	28
Şekil 2.16. Elektronik kartın baskı devre şeması.....	29
Şekil 2.17. Elektronik kartın besleme katı.....	30
Şekil 2.18. Elektronik kartın kontrol katı	31

Şekil 2.19. Elektronik kartın zamanlama katı.....	31
Şekil 2.20. Elektronik kartın motor sürücü katı.....	32
Şekil 2.21. Elektronik kartın simülasyonunun Proteus'ta gerçekleştirilmesi.....	34
Şekil 2.22. Elektronik kartın dizaynı	35
Şekil 2.23. Çift eksenli güneş konum takibi yapan panelin genel dizaynı	37
Şekil 2.24. Konum bilgilerine göre güneş açılarının değerlerinin ve doğuş-batış saatlerinin takibinin Excel'de gerçekleştirilmesi	41
Şekil 2.25. Mikrodenetleyiciye program yazdırılırken izlenecek adımlar	43
Şekil 2.26. PIC programlama kartı ile programın aktarılması.....	44
Şekil 2.27. Maksimum güç için tasarlanan güneş takip sistemi	45
Şekil 2.28. Öğle vakti hareketli panel çıkışından alınan akım-gerilim değerlerinden biri...45	
Şekil 2.29. 7 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç (saat-watt) grafiği	47
Şekil 2.30. 12 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç grafiği	48
Şekil 2.31. 20 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç grafiği	49
Şekil 2.32. Verim hesabının her iki sistem için karşılaştırılması	50

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Sistemde kullanılan şarj regülatörünün parametreleri.....	20
Tablo 2.2. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 7 Mayıs 2016'da alınan ölçümler	46
Tablo 2.3. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 7 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler.....	46
Tablo 2.4. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 12 Mayıs 2016'da alınan ölçümler.....	47
Tablo 2.5. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 12 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler.....	48
Tablo 2.6. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 20 Mayıs 2016'da alınan ölçümler.....	48
Tablo 2.7. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 20 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler.....	49

SEMBOLLER DİZİNİ

\emptyset	Enlem Açısı
δ	Deklinasyon Açısı
ω	Saat Açısı
ψ	Zenit Açısı
α	Yükseklik Açısı
γ	Güneş Azimut Açısı
Df	Düzeltilme Faktörü
η	Yüzdellik Verim
I_d	Diyot Akımı
V_d	Diyot Gerilimi
I_L	Foto Akımı
I_o	Ters Sızıntı Akımı
I_{sh}	Şönt Akımı
R_{sh}	Eşdeğer Şönt Direnci
R_s	Kayıplar

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji, toplumun kalkınma ve gelişmişlik düzeyini gösteren en önemli unsurlardan biridir. Ayrıca günümüzde enerjiye duyulan ihtiyaç, toplumu mevcut kaynakların haricinde enerji arayışına itmiştir. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme çabaları hız kazanmıştır. Ne yazık ki, fosil yakıt kullanarak enerji üretimi ve tüketimi doğaya oldukça zarar vermektedir. Bu durum tüm insanlığa sorumluluk yüklemektedir. Bu sebeple elektrik enerjisi üretiminde kaynak seçimi, çevresel etkiler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik sağlayan sistemler zorunlu hale gelmiş, bu yönde gelişen teknolojiler yaygınlaşmıştır.

Güneş enerjisi, kullanım kolaylığı, yenilenebilirliği, çevre dostu olmasıyla ve karmaşık teknolojiye gerek duymamasıyla oldukça caziptir. Türkiye konum itibarıyla iyi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ancak güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Son yıllarda yenilenebilir enerji sistemlerinde depolama elemanlarının maliyetleri uygun hale getirilmiş şebekeye etkin şekilde bağlanmıştır.

Güneş panellerinden alınan verimin artırılması için kullanılan en yaygın sistem tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemleridir. Tek eksenli sistemler güneş takip sistemini ekonomikleştirmenin en basit yoludur. Ancak çift eksenli sistemler enerji verimliliği açısından büyük avantaj sağlar.

Bu çalışmada, gün boyunca güneş takibi yapan hem doğu-batı hem de kuzey-güney olmak üzere çift eksenli hareket edebilen panel tasarlanmıştır. Yapılan çalışmanın en önemli kısmını oluşturan elektronik kart tasarımı, taşınabilir sistemin bulunduğu yerin konum verileri doğrultusunda sisteme uygun pozisyon sağlamaktadır. Sistem gün boyunca güneş ışığının değişen geliş açılara bağlı olarak paneli optimum şekilde hareket ettirmekte, panel gün ışığını düzlemin normali olacak şekilde almaktadır. Sistem gün içerisindeki açı değerlerine bağlı olarak üst motorlarla dikey hareketler yaparak açısını ayarlarken, doğu-batı motorlarıyla da batıya doğru belirlenmiş zaman aralıklarıyla hareket etmektedir. Bunun için PIC18F452 tabanlı elektronik kart tasarlanmış olup bu sayede sistem otomatik ve manuel olmak üzere iki türlü kontrol edilebilmektedir. Sistemin bulunduğu yerin konum bilgileri (enlem ve boylam) butonlar yardımıyla manuel olarak

elektronik karta girildiğinde, sistem otomatik olarak referans konumundan itibaren güneşin doğuş-batış saatlerini kartta bulunan saat entegresi yardımıyla hesaplayarak atacağı motor adım bilgisini mikroişlemci sayesinde belirleyip istenen konuma ulaşmaktadır. Adım bilgileri gün uzunluğuna bağlı olarak uygun matematiksel formüllerle mikrodenetleyiciye hesaplatılarak belirli zaman aralıklarında motorlara gerekli işaretler gönderilmektedir. Elektronik kartta bulunan butonlar yardımıyla girilen değerler, tarih ve saat verileri, enlem ve boylam bilgileri LCD'de okunabilmektedir. Buna bağlı olarak güneş ışını geliş açılarını bulan sistem oldukça pratik hareket etmektedir. Ayrıca enlem ve boylam değerleriyle birlikte doğuş-batış saatleri ve güneş ışınlarının geliş açıları takibi Excel programı yardımıyla da yapılmıştır. Bununla ilgili formüller Excel'e girilmiş olup enlem ve boylam değerlerinin yanı sıra yerel saate göre de güneşin günlük açılarının değişimi kontrol edilebilmektedir. Bu method PIC18F452'nin programlanmasında rahatlık sağlamıştır. Sistemin Proteus devre çizim programındaki simülasyonu yapıldıktan sonra LCD yardımıyla istenilen günde ki açı ve saat değerleri Proteus'ta kontrol edilerek, PIC18F452 için arayüz olarak kullanılan Proton Compiler derleyicisi ile elektronik kartın sistematik şekilde yazılımı sağlanmıştır. Sistemde bulunan akü yardımıyla elektronik kart ve motorlar beslenirken, panel çıkışındaki regülatör yardımıyla akü uygun şekilde şarj edilmektedir. Güneş konum takibi yapan taşınabilir sistem, güneş konum takibi yapmayan sabit fotovoltaik sistemlerle karşılaştırılmış ve önerilen sistem başarılı bir prototip olarak ortaya konmuştur.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde güneş takibi yapan sistemlerle ilgili birçok yöntem önerilmiş olup, uygulamalı olarak da sunulmuştur. Genelde güneş takip sisteminin olması gereken zamanlara karar vermek için GPS, mikroişlemci, denetleyici, elektronik sensörlü sistemler gibi kontrol devreleri ele alınmış, sabit sistemlerle karşılaştırılmıştır.

Değişen iklim koşulları nedeniyle fotovoltaik panellerin verimli kullanımı ekonomik problemlerden birisidir. Fotovoltaik paneller genellikle kırsal alanlarda daha kullanışlıdır. Fakat güneş ışığının yeterince olmadığı yerlerde ekonomik değildir. Bu nedenle panellerin eğim açıları üzerine ve güneş takip sistemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır [1].

Güneş takip sistemini kronolojik olarak yapmak yerine ışığa duyarlı foto direnç kullanılarak tasarlamak çok yaygındır ancak daha az verimlidir. Takip sistemini ışığa

duyarlı foto dirençler (LDR) ile gerçekleştiren Priyanjan ve Nitesh [2], Munnik, Abdul ve Arbai [3], Sangamesh, Kalyani ve Ravi [4], Mahmudul [5,6], Anusha ve Reddy [7], Soumen ve Nilotpal [8], J. Rizk [9,10], Siva ve Suryana [11], Choi, Kim ve Park [12] ile Othman ve arkadaşları [13] sistemlerini mikrodenetleyici yardımıyla kontrol etmişler, optimum montaj açısı belirlenmiş sabit sistemlere göre daha başarılı olduklarını göstermişlerdir.

Mounir ve Hamid [14], Joshua ve arkadaşları [15] ile I.G. Park [16] GPS ile belirledikleri belli konumlar doğrultusunda sistemlerini tasarlamışlar ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Yeryüzünde, güneş ışınımının özellikleri, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle ve güneş çevresindeki yörüngesiyle değişir. Bunun sonucunda güneşten gelen ışınlar ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar meydana gelir. Güneş enerjisinden etkili şekilde faydalanmak için bu açılara ve güneşin doğuş-batış saatlerine göre kronolojik olarak sistematik bir düzen geliştirilebilir.

Anita [17], Abir ve Ishaque [18], Li Sze ve Michael [19], Zhan ve arkadaşları [20], M. Anish [21], Te-Jen ve arkadaşları [22] ile Xiaodong ve arkadaşları [23] güneş takip sistemini güneş açıları doğrultusunda gerçekleştirmişler, farklı mikrodenetleyiciler kullanarak sistemlerini kontrol etmişlerdir. Böylece fotovoltaik sistem, güneş açılarını ve sistemin bulunduğu konumun yerel saatini dikkate almıştır.

Aleksandar ve arkadaşları ışığa duyarlı CdS foto direnç kullanarak PIC16F877 tabanlı güneş takip sistemi gerçekleştirmiş ve ölçümler yapmıştır. Güneş açılarına bağlı olarak hesapladıkları doğuş-batış saatlerine bağlı olarak PICBASIC PRO dili kullanarak motorlara belirli bir zamanda sabit $3,75^\circ$ adım attırarak, dikey hareketleri de ışığa duyarlı sensörler kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sabit sistem ile gerçekleştirdikleri sistem arasında akım-gerilim karşılaştırmaları yaparak sistemlerinin yaklaşık %13,33 daha verimli olduğunu sunmuşlardır [24].

Nader Barsoum PIC16F84A kullanarak iki tane LDR yardımıyla bir kontrol devresi tasarlamış ve güneş takibi yapmıştır. Ancak LDR ışığa duyarlı bir sensör olduğu için gün içerisindeki yapay ışıklardan da etkilenmiş ve bu durum güç kaybına yol açmıştır. [25].

Khan ve arkadaşları ise ATMEGA32 mikroişlemcisini kullanarak CdS foto direnç yardımıyla basit bir güneş konum takibi yapan sistem tasarlamışlardır. 15 dakikada $3,5^\circ$ batıya doğru adım atacak şekilde programlanan sistem güneş battıktan sonra başlangıç pozisyonuna dönerek güneşin doğmasını beklemektedir [26].

Zolkapli ve arkadaşları arduino ve 2 servo motor kullanarak çift eksenli LDR foto dirençli basit bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. C programlama dili yardımıyla sistem gerçekleştirilmiş olup başarılı bir takip sistemi elde edilmiştir [27].

Ahmed ve Amer (2014) güneş takip sistemi için bir algoritma tasarlamış, buna göre bir sistem uygulamaya koymuşlardır. Amaçları yağmurlu ve bulutlu günlerde de güneşten maksimum verim alabilmek olmuştur. Arduino kullanarak gerçekleştirdikleri sistemde yüke göre çekilen akım ve gerilim değerlerini ölçerek maksimum güç takibi yapmışlar ve günün belirli vakitleri için ölçümler alarak kendi sistemlerinin diğerlerinden, sistemlerinin diğerlerinden %10 daha fazla verimli olduğunu ispatlamışlardır [28].

Fengtao, STC12C5A32S2 mikroşilemci ile güneşin deklinasyon açısını göz önünde bulundurarak güneş takip sistemi tasarlamış, saat açısı ve azimut açısı değerlerini tasarladığı kontrol kartına tanıtarak konum takibi yapmıştır [29].

Omar, programlanabilir lojik kontrol tabanlı çok yönlü güneş takip sistemi tasarlamış, açı ve saat değerlerine bağlı olarak kronolojik bir sistem gerçekleştirmiştir. Siemens logo PLC yardımıyla gerçekleştirdiği program oldukça pratik olmuştur. 2 tane adım motoru kullanarak sisteme doğu-batı ve dikey hareketleri vererek, sisteminden günlük ölçümler almıştır. Matlab/simulink kullanarak simülasyonunu gerçekleştirmiş olup sabit sistemle karşılaştırmalar yaparak üretilen güce bağlı olarak günlük verim hesapları çıkarmıştır [30].

Wang ve Chang DSP tabanlı çift eksenli hareket edebilen güneş takip sistemi tasarlamışlar, maksimum güç noktası takibi yapabilmek için akım ve gerilim değerlerini hesaplayan sistem güneş açı değerlerine göre yapılmıştır. Tasarlanan elektronik kısımda panelin dönüş açısı ve optimum montaj açısı belirlenmiş, sistemin ne kadar etkili olduğunu onaylamak için PID denetleyicileri kullanılmıştır. Mikroşilemci tabanlı olarak sunulan sistem iki motorlu tasarlanmıştır. Denetleyiciler ise azimut ve yükseklik açılarının kontrolü için kullanılmış olup, geri besleme sinyalleri elektronik pusula ve ivme sensörlerine göre belirlenmiştir [31].

Ersan, Yasin ve Ayberk (2015) taşınabilir güneş takip sistemi tasarlamışlar, oluşturdukları elektronik sistemde RF tabanlı USB kullanmışlar ve böylece üretilen gücü bilgisayardan takip edebilmişlerdir. Güneşin pozisyonunu takip edebilen panelde 2 adet LDR kullanılmıştır [32].

Tao ve Guo (2010) güneş azimut açıları ve yükseliş açılarını göz önünde bulundurarak güneş ışınlarını yoğunlaştırarak GPS ile uygun konum belirleyerek güneş takip sistemini tasarlamışlardır [33].

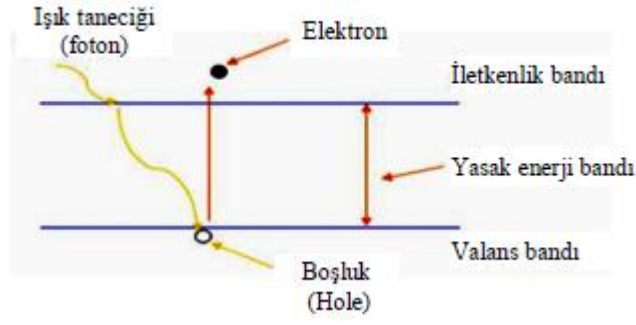
Sidek ve arkadaşları (2014) taşınabilir çift eksenli hareket edebilen güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Elektronik kontrol sistemini coğrafik değerlere bağlı matematiksel formüllere göre algoritma oluşturarak karşılaştırılmıştır. GPS modülü ve dijital pusula sensörü kullanarak panelin konumunu belirlemişlerdir. Ayrıca mikrodenetleyici tabanlı izleme sistemine PID kontrolörü yerleştirilmiş ve böylece sistem mutlak kodlayıcının geri besleme sinyali ile güneş konum takibini daha hassas yapabilmıştır. Güneşi hassas şekilde takip eden sistem ile güneş takibi yapmayan sabit açılı fotovoltaik sistem karşılaştırılmıştır. GPS modülü için ayrı bir PIC kullanılan sistem pratik olmasa da başarılı sonuçlar vermiştir [34].

Weibo (2015) Arduino mikrodenetleyicisini kullanarak GPS tabanlı tasarladığı güneş takip sisteminde optimum montaj açısı belirleyip sistemini kurmuştur. Sistemin, çift eksenli hareket eden sistemler kadar verimli olmadığı görülse de sistem diğerlerinden daha az masraflı olmuştur [35].

Bu çalışmada taşınabilir güneş takip sistemi tasarlanmış olup sistemin bulunduğu yerin konum verilerine göre sisteme uygun pozisyon sağlayan PIC18F452 tabanlı elektronik kart tasarımı gerçekleştirilmiştir. Güneşin geliş açılarına göre hem doğu-batı hem de kuzey-güney yönünde hareketini sağlayan sistemden, GPS ve LDR kullanılan sistemlere göre daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

1.3. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Fotovoltaik piller üzerlerine güneş ışığı düştüğünde, ışınım enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerden oluşan düzeneklerdir. Yani üzerine düşen ışık elektrik akımına dönüştürülür. Fotovoltaik (PV) hücre, fotovoltaik sistemin temel ünitesidir. Modül veya diziler güneşe yönelen bir destek iskeleti yardımıyla PV sistemi oluştururlar.



Şekil 1.1. Güneş ışığında fotovoltaik pilin temel çalışma mantığı

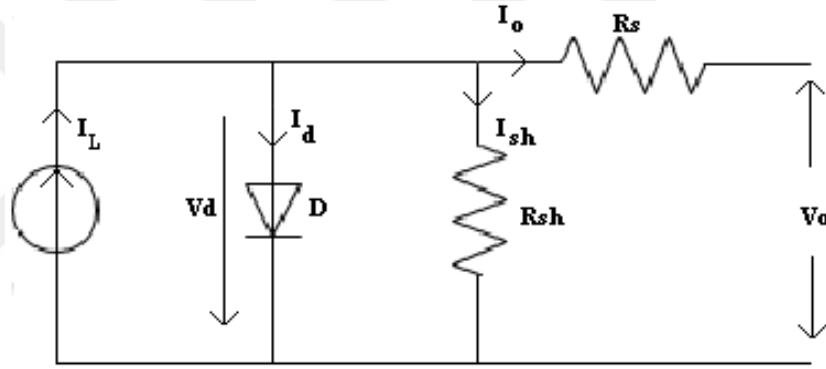
Fotovoltaik paneller, pn jonksiyonunu içeren bir tasarımdır. Elektronik ve fotovoltaik panel uygulamalarında, üst bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı enerji aralığı ile ayrılmıştır. Yarıiletkenlerde, valans bandı tamamen dolu ve iletkenlik bandı tamamen boştur. Bu nedenle iletken halde bulunmazlar. Yarıiletkenlerde dıştaki elektronları atomlarından ayırmak için gereken enerji miktarı düşüktür. Bu da nispeten daha küçük enerji aralığı olması durumunu ifade eder. Bu yüzden, elektronlar yüksek ısıya maruz kalarak veya bir fotonla uyarılarak valans bandından iletkenlik bandına geçiş için gerekli enerjiyi alabilirler (Şekil 1.1). Bu durumda iletkenlik bandındaki elektronlar ve valans bandındaki boşluklar yardımı ile iletkenlik oluşabilir. Yarıiletkendeki toplam akım, iletkenlik bandındaki elektron akımı ile valans bandındaki boşluk akımına eşittir. Valans bandındaki elektronlar kolayca uyarılarak, valans bandında boşluklar oluştururlar. Elektronun çok hızlı bir şekilde artması yarıiletkeni n tipi, boşlukların artması yarı iletkeni p tipi yapar. N tipi yarıiletkenlerde elektronlar çoğunluk taşıyıcıları, boşluklar azınlık taşıyıcıları ve p tipinde ise boşluklar çoğunluk taşıyıcıları, elektronlar azınlık taşıyıcıları olarak isimlendirilir [36]. Sıcaklık değiştiği zaman bazı elektronlar enerji seviyelerinde değişiklik gösterir. Fotonla etkileşme sonucunda n tipinden elektronlar p tipine doğru akar ve benzer şekilde p tipinden boşluklar n tipine doğru akar. Sonuçta n tipi pozitif yüklenirken, aynı zamanda p tipi negatif yüklenir ve arda bir potansiyel bölge oluştururlar. Bunun sonucunda, serbest elektronların hareketinden dolayı bir elektrik akımı meydana gelir.

Panel tarafından üretilen akım üzerine düşen ışık miktarıyla doğru orantılıdır. Bununla birlikte, ışık yoğunluğu kadar panel alanın artması da oluşacak olan akım miktarının artmasını sağlar. Panel üstüne düşen ışık seviyesine bağımlı olarak elde edilen akım ve gerilimin miktarı değişir [36].

Güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi güneş ışığının panel üzerindeki etkisiyle orantılıdır. Güneş hücreleri birleşerek güneş modüllerini ve modüllerde birleştirilerek güneş panellerini oluştururlar [37].

1.3.1. Güneş Pillerinin Modellenmesi ve Elektriksel Karakteristikleri

Fotovoltaik pil Şekil 1.2’de görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı ile birlikte modellenebilir. I_d diyot akımı, I_L fotovoltaik pil tarafından üretilen foto akım, I_0 ters sızıntı akımı, I_{sh} eş değer şönt direncinden geçen akım olmak üzere, V_d diyot gerilimi, R_{sh} eşdeğer şönt direnci ve R_s fotovoltaik pilde üretilen enerjinin pil kontaklarına iletilmesi esnasında oluşan kayıplar olarak gösterilirler.



Şekil 1.2. Fotovoltaik pilin eşdeğer devresi

Basitleştirilmiş eşdeğer devrenin akım-gerilim (I-V) denklemleri, Kirchhoff yasasına göre aşağıdaki gibi çıkartılabilir. T mutlak sıcaklık (K°), k Boltzman sabiti (1.38×10^{-23}), q elektron yükü ve n boyut faktörüdür [38].

$$I_d = I_0 [e^{(qV_o / nKT)} - 1] \quad (1.1)$$

$$I_{sh} = V_d / R_{sh} = \frac{V_o + I_0 R_s}{R_{sh}} \quad (1.2)$$

$$I = I_L - I_d - I_{sh} \quad (1.3)$$

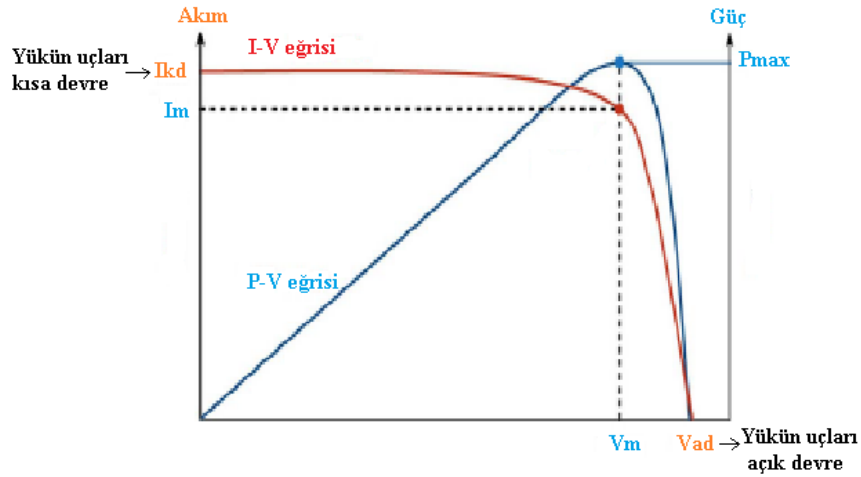
$$V_o = V_d - I_0 R_s \quad (1.4)$$

$$I_o = I_L - I_d \left([e^{((V_d - I_o R_s) / nKT)} - 1] - \frac{V_o + I R_s}{R_{sh}} \right) \quad (1.5)$$

R_{sh} çok büyük olduğu varsayıldığından I_{sh} sıfır kabul edilir. Güneş pili sıcaklık, güneş ışınım yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi koşullardan etkilendiğinden fotovoltaik pildeki ısı transferi de bu durumdan etkilenir [38].

PV sistemler Şekil 1.3'de görüldüğü gibi karakteristik I-V eğrisinde, yüke bağlı olarak herhangi bir noktada çalışabilmektedir. Fotovoltaik pilin elektriksel performansını açık devre gerilimi V_{ad} ve kısa devre akımı I_{kd} belirler. Kısa devre akımı, çıkış uçları kısa devre edilerek maksimum güneş ışığında uç akımı ölçülerek belirlenir. Açık devre gerilimi de maksimum hücre gerilimini verir. PV pil, maksimum gerilim V_M ve maksimum akım I_M durumunda maksimum güce ulaşır [39].

Fotovoltaik güneş pilinin elektriksel özellikleri, pilin yükten nasıl etkilendiğiyle ilişkilidir. Bu nedenle I-V ve P-V karakteristikleri günün belirli saatlerinde ortam sıcaklığı göz ardı edilerek yük açık konumda iken ve kısa devre durumunda iken ampermetreden ve voltmetreden ölçülen değerlerin kaydedilip grafik olarak çizilmesidir [38].



Şekil 1.3. Fotovoltaik pilin I-V ve P-V karakteristikleri

PV sistemi oluşturulurken istenilen çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda (N_s adet) pil seri bağlanırken, istenilen akımı elde etmek için de yeterli sayıda (N_p adet) kol paralel bağlanır. Daha sonra fotovoltaik panelin bağlantı devresi kullanılarak yapılan ölçümler yardımıyla panelin akım ve gerilimi bulunur. Panel akımına I_{PANEL} gerilimi için

de V_{PANEL} dersek paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla (1.6) ve (1.7) formülleriyle hesaplanır [40].

$$I_{pil} = \frac{I_{PANEL}}{N_p} \quad (1.6)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{PANEL}}{N_s} \quad (1.7)$$

Panelin çıkış gücü ve bir tek pil gücü (1.8) ve (1.9)'deki gibidir.

$$P_{PANEL} = V_{PANEL} \cdot I_{PANEL} \quad (1.8)$$

$$P_{PIL} = V_{PIL} \cdot I_{PIL} \quad (1.9)$$

Bir fotovoltaiik sistemden alınacak maksimum güç ortam sıcaklığından etkilenir. Çalışma sıcaklığının artması fotovoltaiik pilin çıkış gerilimini olumsuz etkiler. Dolayısıyla akım da etkilenir. Bu nedenle güneş enerjisinin termik uygulamalarında fotovoltaiik piller soğuk ortamlar için tercih edilir [41].

Fotovoltaiik pil karakteristiklerinde sıcaklık arttıkça pil çıkış geriliminin azalmasının nedeni yarı iletken malzemenin ısınarak iletme girmesidir. P-N eklem bölgesinde artan kayıplar pilde ısı olarak harcanır. Bu nedenle fotovoltaiik piller modellenirken eşdeğer devrelerine seri ve paralel dirençler yerleştirilir [42].

PV sistemin karakteristikleri incelendiğinde, I-V ve P-V ilişkilerinin klasik doğru akım kaynaklarından farklı olduğu görülür. Maksimum güç, maksimum akım ve gerilimin olduğu bölgede değildir. Işık şiddeti fotovoltaiik sistemler için temel enerji kaynağı olduğundan soğuk ve güneşli ortamlar güneş pilleri için ideal ortamlardır.

1.4. Güneş Pillerinden Maksimum Verim Alma Yöntemleri

Güneş pillerinden maksimum verim almak için çeşitli yöntemler vardır. Bunların başında optimum montaj açısı belirlenmiş sabit sistemler gelir. Maksimum güç noktası izleyicileri ve yoğunlaştırıcılar bu yöntemlerdendir.

Yoğunlaştırıcı sistemlerin temel amacı güneş ışığı miktarını merceklerle toplayarak solar hücrenin alanını azaltmaktır. Ancak yoğunlaştırıcı optiği düz panellerden daha pahalı olduğundan düz panellerin uygun şekilde güneş takibi yapması daha ekonomik ve daha verimli olur. Ayrıca yoğunlaştırıcılar yoğun güneş ışınımından dolayı yüksek sıcaklıkta çalışırlar bu da düşük verime neden olur.

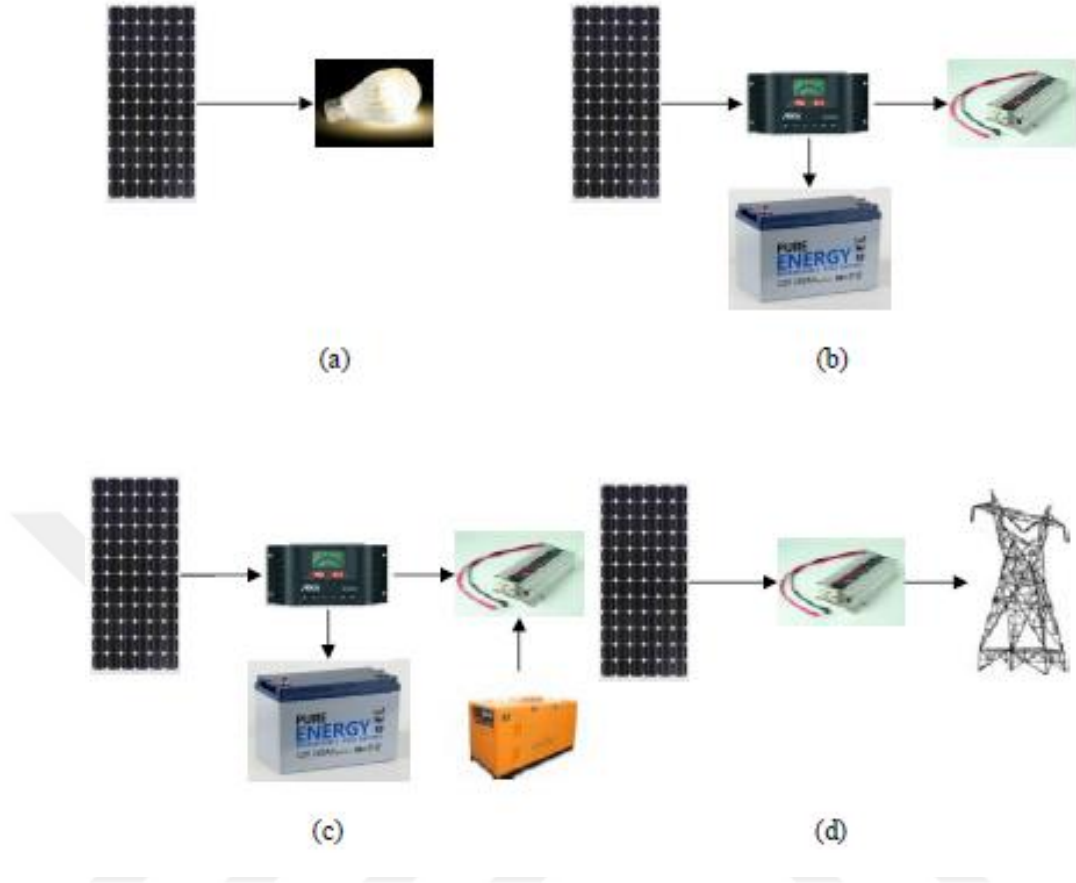
Fotovoltaik panellerden oluşan sistemin bir lineer olmayan I-V karakteristiği vardır. Sistemin maksimum güç izleme noktası güneşlenmeyle değişir. Maksimum güç noktasında güneş panelinin çalışmasını sağlamak ve yük ile panel arasında dengeyi sağlamak için bir dönüştürücüye ihtiyaç duyulmaktadır. İzleyici sistemin algoritması, gelen güneşlenme miktarına göre, maksimum güç noktasına karşılık gelen fotovoltaik panel gerilimini ayarlar. Bu işlem, maksimum noktaya karşılık gelen bir referans gerilimi ile panel geriliminin sürekli olarak karşılaştırılmasıyla yapılır. Maksimum güç izleyici sistemler üzerine değişik çalışmalar da mevcuttur [43,44].

Fotovoltaik panel sistemleri elektriksel yüklere göre tasarlanır. Sistem içindeki çalışmalarda farklı yüklerle karşılaşılabilir ve bu durum enerji talebini artırabilir. Çalışma sürecinde, ani akım talebi panel çıkış geriliminin geçici olarak düşmesine neden olur [45]. Geçici yük durumlarında, büyük panellerden ziyade yeterli batarya kullanılmalıdır.

Sabit montajlı paneller güneş açılarına göre en uygun ortalama açı değeri bulunarak tasarlanır. Bu paneller yılda %10-%30 daha fazla güç çıkışı sağlarken güneş konum takibi yapan sistemler yıllık %25-%40 daha fazla verim sağlamaktadır. Herhangi bir zaman diliminde güneşin konumunu hesaplamak için bazı açıların bilinmesi gerekir. Herhangi sabit ya da hareketli bir fotovoltaik panel sistemi için düzleme gelen güneş ışınlarının değeri panelin bulunduğu yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik göstermektedir. Panelin konumu, eğimi gibi hesaplamalar güneşin yüzey üzerindeki ışınmasını değiştirir. Bu yüzden güneş ışığına bağlı olarak güneşin pozisyonunu belirlemek gerekir.

1.5. Güneş Takip Sistemleri

Güneş enerjisi sistemleri Şekil 1.4'te görüldüğü gibi fotovoltaik panel bağlantı şekillerine göre birkaç çeşittir. Bu sistemler fotovoltaik panelin doğrudan yüke bağlı olduğu (a), fotovoltaik panel kontrolör-akü-inverter bağlantısı (b), yedek jeneratör ve akülü sistem (c) ve şebeke bağlantılı sistemler (d) olarak tanımlanabilir.



Şekil 1.4. Fotovoltaik panel sistemlerine ait bağlantı örnekleri

Fotovoltaik panel sistemlerinin amacı, kurulu oldukları yerde ürettikleri enerji ile yüklerin enerji ihtiyacını karşılamaktır. Eğer fazla bir enerji üretimi olursa bu durumda şebekeye katkıda bulunurlar. Bu nedenle şebeke bağlantılı sistemler kendi aralarında şebekeden bağımsız (off grid) ve şebekeye bağımlı (on grid) sistemler olarak ayrılırlar [46].

Bu tez çalışmasında kullanıldığı gibi şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde üretilen enerji doğru akım olduğundan ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanım olacağından enerji akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji direk doğru akım ile çalışan cihazları besleyebilir, herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıma verilebilir. Ancak çalıştırılmak istenen cihazlar şebeke elektriğine uygun olan alternatif akım ile çalışıyor ise bir evirici (inverter) vasıtası ile 220 Volt AA akıma dönüştürülerek kullanılır. Bataryanın şarj ve deşarjı regülatör yardımıyla kontrol edilir. Regülatörler

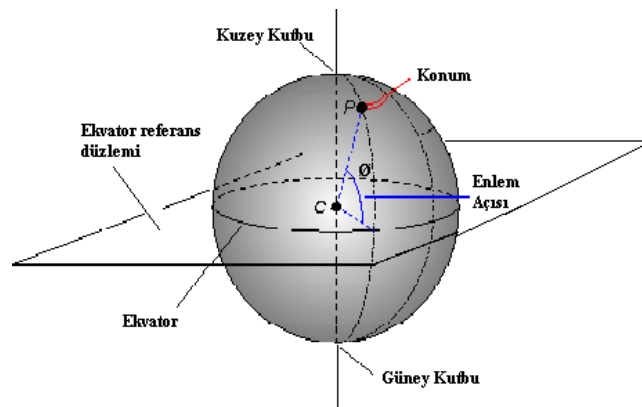
akünün şarj ve deşarj miktarının belirli sınırlar içerisinde kalmasına yardımcı olur. Aküler aşırı şarj ve deşarja karşı korundukları için daha uzun süreli kullanılmış olur.

1.6. Dünya'nın Hareketleri ve Güneş Açıları

Dünya'nın kendi eksenini etrafında ve Güneş'in etrafında olmak üzere iki hareketi mevcuttur. Bilindiği üzere kendi eksenini etrafındaki hareketini 24 saatte, Güneş'in etrafındaki hareketini 365,256 günde tamamlamaktadır. Dünya'nın dönüş eksenini ile yörünge düzleminin normali arasındaki açı $23,45^\circ$ olduğu için Güneş ve Dünya'nın birbirlerine göre konumları yıl içerisinde değişiklik gösterir. Bu konumları belirlemek için bazı tanımlamalara ihtiyaç vardır [47]. Özellikle güneş enerjisi sistemlerinde yüzeye gelen ışınımın hesaplanmasında, ayrıca panelin konumunun ve açısının belirlenmesinde bu kavramlar oldukça önemlidir. Herhangi bir konumdaki panel yüzeyine gelen güneş ışınları o güne ait zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Dolayısıyla bilinmesi gereken belli başlı açılar vardır. Güneş enerjisinden verimli bir şekilde faydalanmak için bu açılara göre paneller güneş konum takibi yapmalıdır.

1.6.1. Enlem Açısı (θ)

Herhangi bir yerin ekvator merkezine göre oluşan açıdır. Açı, konum kuzeyde ise pozitif, güneyde ise negatif kabul edilir. Enlem açısı güneş yükseklik açısını hesaplamada kullanılır. Türkiye 36° - 42° kuzey enlemleri ile 26° - 45° doğu boylamları arasında yer alır. Herhangi bir konumun enlem açısı Şekil 1.5'de gösterilmiştir.



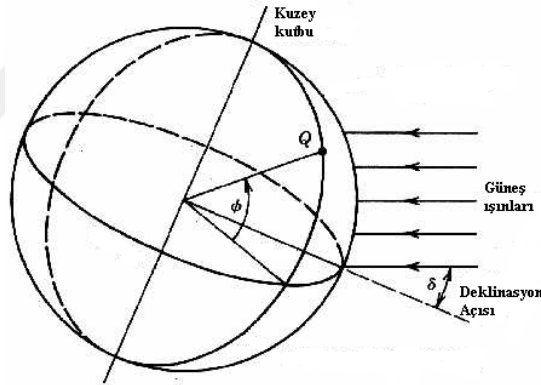
Şekil 1.5. Herhangi bir konumun enlem açısının gösterimi

1.6.2. Deklinasyon Açısı (δ)

Deklinasyon açısı güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Eğer Dünya'nın eksenini eğik olmasaydı deklinasyon açısı 0° olurdu. 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde güneş ışınları ekvatora dik gelir. Bu tarihte gece ve gündüz süreleri eşittir. Bu durumda deklinasyon açısı 0° olur.

Yörünge düzlemi ile ekvator düzlemi arasındaki açı 21 Haziran'da en fazla $23,45^\circ$ olurken, 21 Aralık'ta en düşük $-23,45^\circ$ olur [48]. Deklinasyon açısı Şekil 1.6'da belirtilmiştir. 1 Ocak'tan itibaren gün sayısına n dersek, deklinasyon açısı (1.10)'da ki gibi bulunabilir.

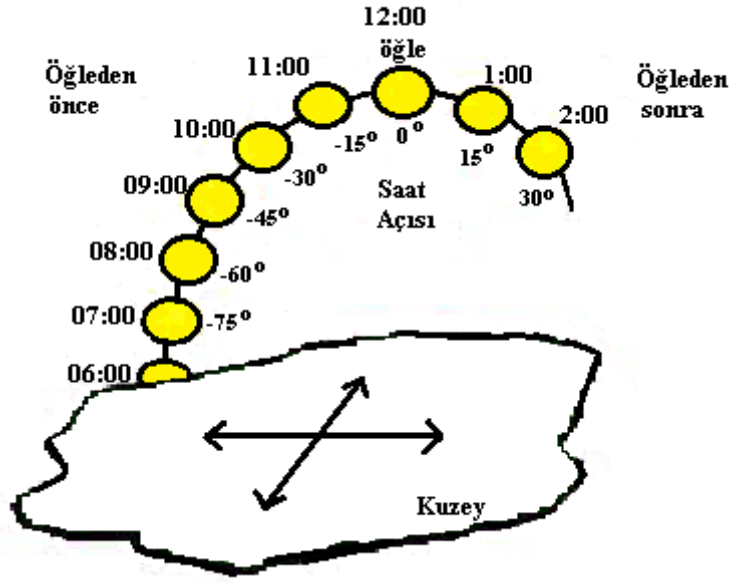
$$\delta = 23,45 \sin [360 \cdot ((284 + n) / 365)] \quad (1.10)$$



Şekil 1.6. Deklinasyon açısının gösterilmesi

1.6.3. Saat Açısı (ω)

Saat açısı, güneş ışınlarının bulunduğu yörünge ile ele alınan konumun boylamı arasındaki açıdır. Saat açısı, Güneş'e göre öğle saatinden itibaren önce ise negatif, sonra ise pozitif olarak ele alınır. Dünya'nın güneş etrafında 365° dönüşünün 24 saate bölünmesi ile dünyanın güneş çevresinde 1 saatte yaptığı açı bulunur [48]. Saat açısının belirtilmesi Şekil 1.7'de gösterilmiştir ve saat açısı 1.11'deki gibi bulunur.



Şekil 1.7. Saat açısının belirlenmesi

$$\omega = 15 \times (\text{GS}-12)$$

(1.11)

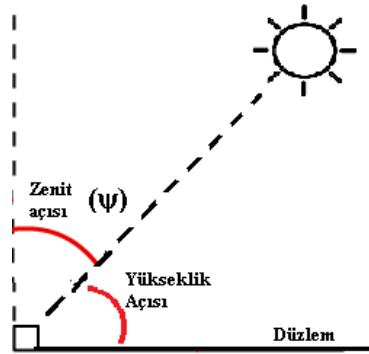
GS: Gerçek saat

1.6.4. Zenit Açısı (ψ)

Güneş ışınımı ile yatay düzlemin normali arasındaki açıya zenit açısı denir. Zenit açısı diğer açılara bağlı olarak 1.12'deki gibi hesaplanır. Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

$$\cos(\psi) = \sin(\theta) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega)$$

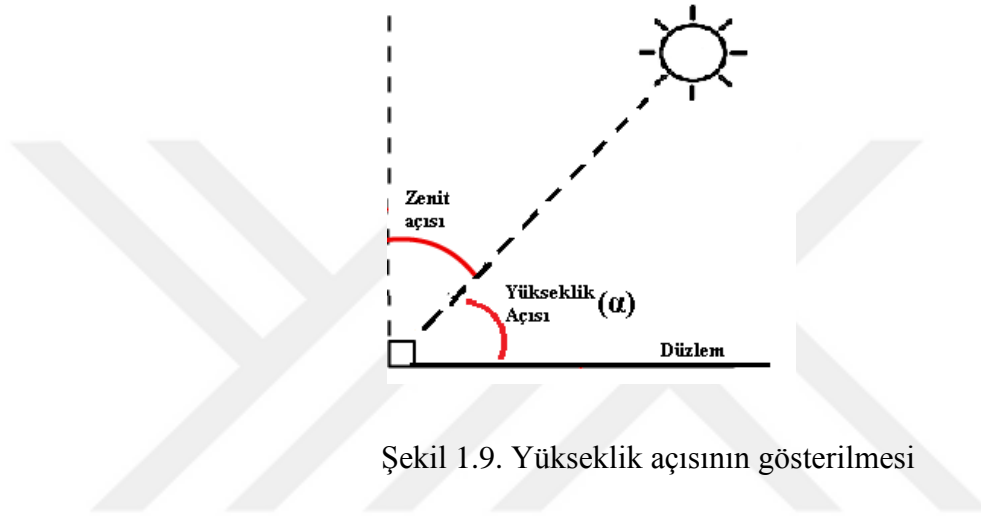
(1.12)



Şekil 1.8. Zenit açısının gösterilmesi

1.6.5. Yükseklik Açısı (α)

Güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıya yükseklik açısı denir. Panelin gün içerisindeki güneş konum takibi bu açıya bağlı olarak yapılır. Güneş yükseklik açısı en küçük 21 Aralık'ta yaklaşık $26,5^\circ$ değerini alırken, en büyük değerini 21 Haziran'da yaklaşık $73,5^\circ$ ile alır [48].



Şekil 1.9. Yükseklik açısının gösterilmesi

Yükseklik açısı Şekil 1.9' da gösterilmiştir ve 1.13'deki gibi hesaplanır. Diğer açılara bağlı olarak 1.14'deki gibi bulunur.

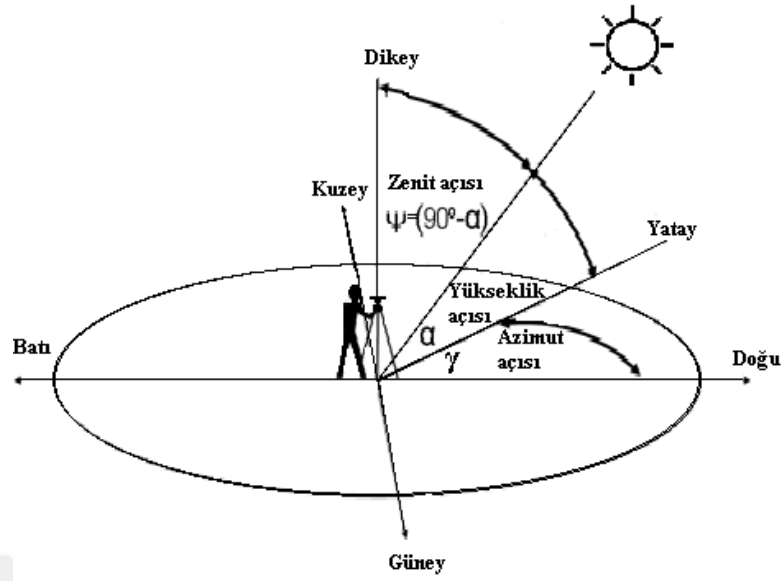
$$\alpha = 90 - \psi \quad (1.13)$$

$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta) \cos(\theta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\theta)] \quad (1.14)$$

1.6.6. Güneş Azimut Açısı (γ)

Güneş-dünya doğrultusunun izdüşümünün, doğu-batı doğrultusu ile yapmış olduğu açıya güneş azimut açısı (γ) denir [48]. Saat 12:00' da $\gamma = 180^\circ$ olur ve 1.15'de ki gibi hesaplanır. Şekil 1.10'da gösterilmiştir [48].

$$\gamma = \sin^{-1} [\cos(\delta) \sin(\omega) / \cos(\alpha)] \quad (1.16)$$



Şekil 1.10. Güneş azimut açısının gösterimi

Tüm bu açılara ek olarak güneşin batış derecesi (GB°) (1.17)' de ki gibi hesaplanır.

$$GB^\circ = \text{Cos}^{-1}[-\tan(\delta) \tan(\theta)] \quad (1.17)$$

Güneşin batışı, derece olarak belirlendikten sonra 15'e bölünerek güneş batışının, yerel öğle saatinden kaç saat sonra olduğu bulunur. Güneşe göre öğle vakti, güneşin doğuşu ve batışı arasındaki sürenin tam ortası olduğundan, süreler toplamı günün toplam uzunluğunu verir. Güneş azimut açısının 0° olduğu, yani güneş yükseklik açısının en yüksek olduğu saat 12 olarak varsayılır. Buna güneş saati denir. Standart saat zamanı ile güneş saati yani yerel saat kavramları birbirinden farklıdır.

1.6.7. Düzeltme Faktörü

Dünya'nın yörüngesinde belirli bir düzensizlik vardır. Güneş doğuş ve batış saatlerinin hesaplanmasında bu faktör oldukça önemlidir [48].

Ara değerler aşağıdaki gibi hesaplanarak G7'e bağlı düzeltme faktörü (D_f) formülü 1.18'deki gibi bulunur.

$$G2 = (360/365) \times (\text{Boylam} - 1)$$

$$\begin{aligned}G_3 &= 0,001868x\text{Cos}(\text{Arctan}G_2) \\G_4 &= 0,03207x\text{Sin}(\text{Arctan}G_2) \\G_5 &= 0,0014615x\text{Cos}(\text{Arctan}(2xG_2)) \\G_6 &= 0,04089x\text{Sin}(\text{Arctan}(2xG_2)) \\G_7 &= (0,000075+G_3-G_4-G_5-G_6)\end{aligned}$$

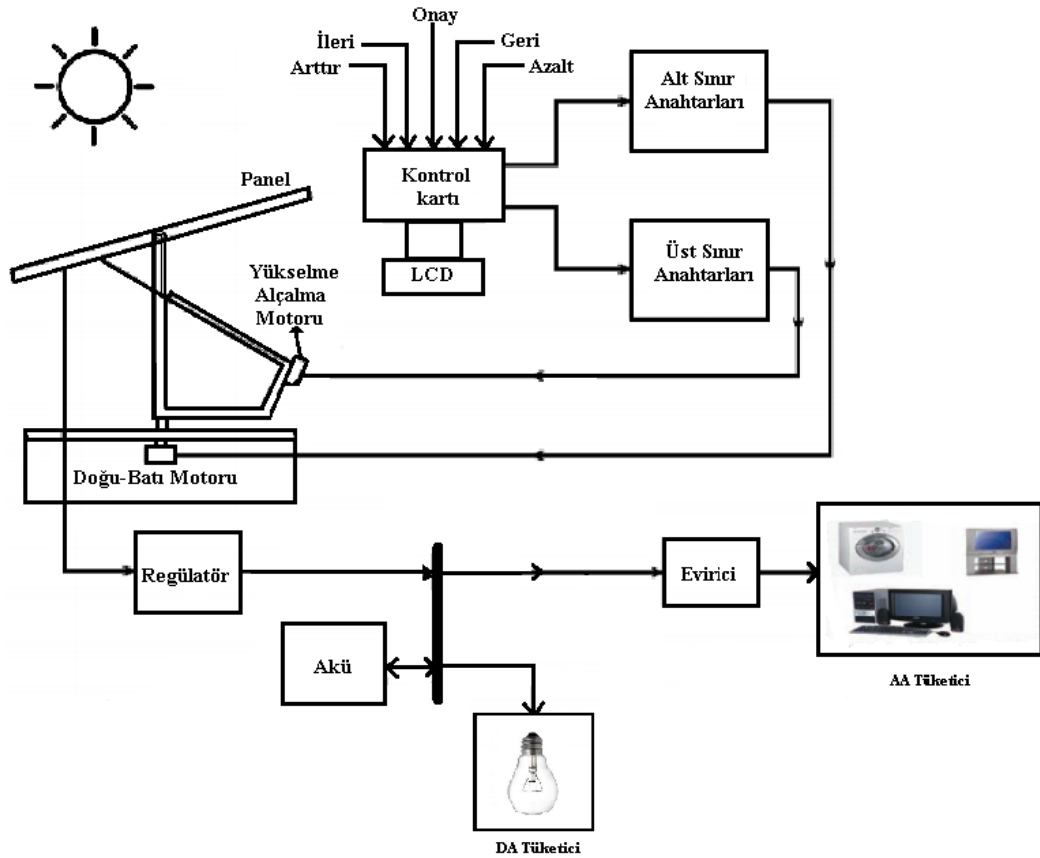
$$Df = (229,2)xG_7 \tag{1.18}$$



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Güneş takip sistemi, panelle birlikte akü şarj denetim cihazı AA tüketiciler için evirici, DA tüketiciler için tasarlanan akü ve sistemi denetleyen elektronik karttan oluşmaktadır. Güneşin hava koşullarına bağlı olarak yetersiz gelmesi durumunda akü sisteme girmekte olup, aşırı şarj ya da deşarj durumunda regülatör, sistemi kontrol eder. Şebeke uyumlu alternatif akımın ya da gerilimin gerekli olduğu uygulamalarda, tercihe bağlı olarak sisteme evirici eklenerek akümülatördeki 12 V'luk DC akü gerilimi, 220 V - 50 Hz' lik sinüs dalgasına dönüştürülmektedir. Işınları dik açı ile üzerine alacak şekilde gün boyunca güneş takibi yapacak olan panel, hareket bilgilerini, sistemi denetleyen elektronik karttan almaktadır. Sistemin temel elemanları Şekil 2.1'de görülmektedir.





Şekil 2.1. Güneş takibi yapan sistemin genel şeması

2.2. Güneş Konum Takibi Yapan Sistemin Elemanları

2.2.1. Fotovoltaik Güneş Paneli

Güneş panelleri üzerlerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren yarıiletken yapılardır. Güneş panellerinin üzerlerine ışık düştüğü takdirde potansiyel fark meydana gelir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda fotovoltaik hücre birbirlerine seri ya da paralel bağlanır. Sistemde kullanılan güneş paneli 70 Watt'lık olup boyutları 77 cm - 67 cm' dir. Panele ait elektriksel parametreler ve panelin tipi Şekil 2.2'de verilmiştir.

 PERLIGHT		Solar Module Type: PLM-070P/12	
Out Peak Power(Pm):	70W	Power Tolerance:	0/+3%
Open Circuit Voltage(Voc):	22.3V	Max.Power Voltage(Vmp):	18.3V
Short Circuit Current(Isc):	4.17A	Max.Power Current(Imp):	3.83A
No. of cells:	36		
Size of Module(Length*Width*Thickness): 771*676*35mm			
All datas at standard test condition(STC):			
AM=1.5		E=1000W/m ² Tc=25°C	
Attention!			
Never connect or disconnect under load current.		<small>PRODUCED IN CHINA www.perlightsolar.com</small>	

Şekil 2.2. Kullanılan panelin elektriksel parametreleri

2.2.2. Şarj Regülatörü

Şarj regülatörünün amacı panelden gelen enerjiyi düzenleyerek aküde depolanmasını sağlamak ve enerjiyi kullanabilir duruma getirmektir. Güneş ışığı yardımıyla fotovoltaik panelden elde edilen gücün bir kısmı yük üzerinde kullanılmakta olup fazla olanı ise aküde depolanmaktadır. Akülerin kullanım ömrünü uzatmak için panelle akü arasında şarj denetleyicilerine ihtiyaç duyulur. Regülatör, akünün şarjını ve deşarjını kontrol eder. Akünün şarjı belirli bir değerin üzerine çıktığı zaman veya deşarj değeri belirli bir değerin altına düştüğü zaman otomatik olarak akünün devreye girip çıkmasını sağlar. Sistemde kullanılan şarj regülatörüne (Şekil 2.3) ait özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Şarj regülatörü

Tablo 2.1. Sistemde kullanılan şarj regülatörünün parametreleri

Sistem voltajı	V	12/24
Maksimum yük akımı	A	10
Maksimum panel şarj akımı	A	10
Çalışma sıcaklığı		-40 - 60°C
Şarj yolu		PWM
Ağırlık	g	200

2.2.3. Akü

Enerjinin depolanmasını ve dönüşümünü sağlayan çok fazla akü vardır. Sistemde kullanılan akü kuru tip akü olup Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Akü

2.2.4. Optik Kodlayıcı DA Motor

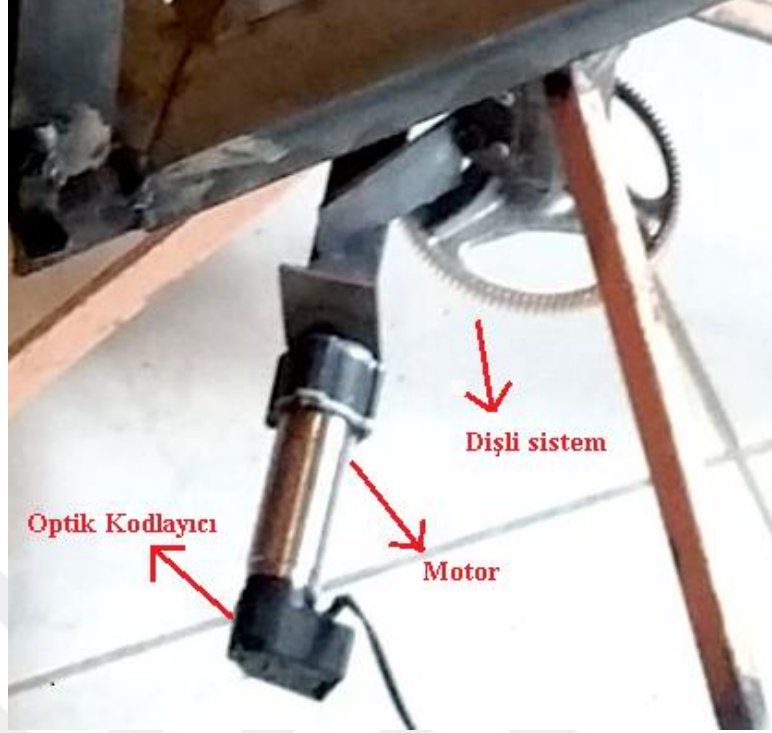
Güneş konum takibi yapan hareketli sistem iki yönlü hareket yapmaktadır. Yatay ve düşey hareketler birbirinden bağımsız çalışmaktadırlar. Sistemde kullanılan optik kodlayıcı DA motorlar dönme hareketini sayısal işarete çevirirler. Bu sayede motorun dönme miktarı ve hızı hakkında bilgi alınabilir. Motor şaftına takılan disk eşit aralıklarda delikler içerir. Böylece motor dönerken optik alıcı ve vericiler delikleri sayar. Şekil 2.5 sistemde kullanılan optik kodlayıcı DA motor türünü göstermektedir.



Şekil 2.5. Optik kodlayıcı DA motor

Kodlayıcı sayesinde panelin, güneşin doğuş ve batış noktaları arasındaki sistematik hareketi hassaslaştırılmıştır. Motorun attığı darbe sayıları rahatlıkla hesaplanarak, sistemin hareketi formülleştirilmiştir.

Sistemde kullanılan motorlar 1/63 dönme oranına sahip olup 5 volt ile çalışmaktadırlar. Bu oran motorun milinin dakikada 63 tur attığını gösterir. Sistemin hareketi için gerekli olan momenti artırmak için redüktör motor bağlantısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Redüktör motor bağlantısı

2.2.5. Sınır Anahtarları

Sistemde kullanılan iki sınır anahtarı en uzun gün için hesaplanan güneş batış noktasına ve panelin maksimum yattığı noktaya konulmuştur. Yani sınır anahtarları 21 Haziran'daki gün uzunluğuna ve açı değişkenlerine göre ayarlanmıştır. Sistemde kullanılan sınır anahtarları Şekil 2.7'deki gibidir.



Şekil 2.7. Sınır anahtarı

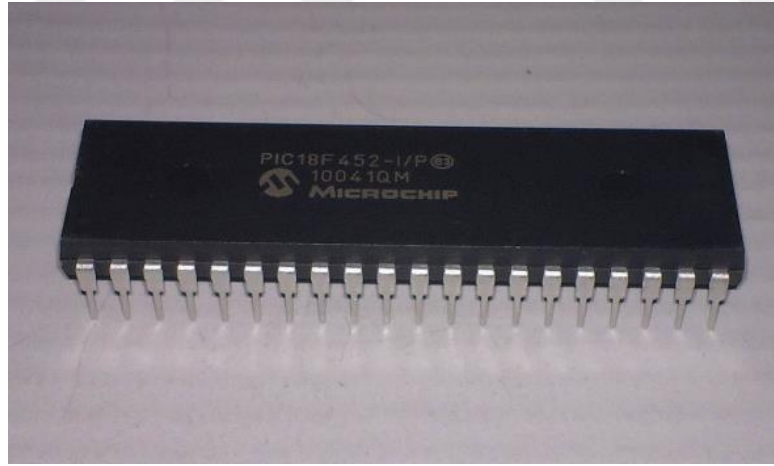
2.2.6. Elektronik Kart

2.2.6.1. PIC18F452 Mikrodenetleyicisi

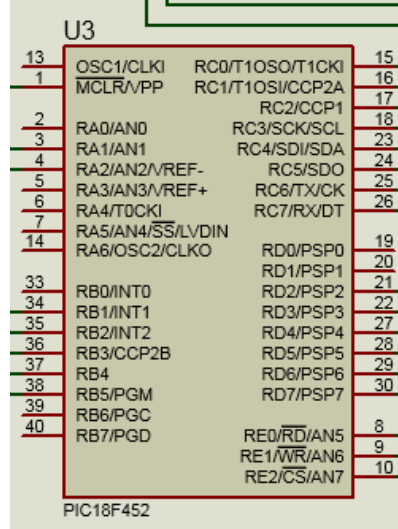
Mikrodenetleyici seçerken çalışma frekansı, hafızası, pin sayıları göz önünde bulundurulur. PIC18F452 mikrochip firmasının ürettiği bir denetleyici olup ucuz ve eldeki verileri kullanarak matematiksel ve mantıksal işlevleri rahatlıkla yürüttüğü için tercih edilmiştir. Mikrodenetleyici, Proton IDE ile derlenmiştir. Proton IDE, PIC18F452'nin paralel ve seri portları hakkında bilgi verir. Böylece mikrodenetleyicinin elektronik karta yerleşimi planlanabilir. Komut seti çok fazla olduğu için matematiksel hesaplamalarda kolaylık sağlar [49].

Sistemde kullanılan mikrodenetleyici, 32K byte flash belleğe, 10 bit analog-dijital dönüştürücüye, 250 byte EEPROM hafızaya ve A, B, C, D, E portlarına sahiptir. Portlar arasında seri haberleşmeler mevcut olup denetleyici 5 volt ile çalışmaktadır.

Kullanılan PIC18F452 40 pin olup dış görünüşü ve portları Şekil 2.8'de ve Şekil 2.9'da sırasıyla gösterilmiştir.



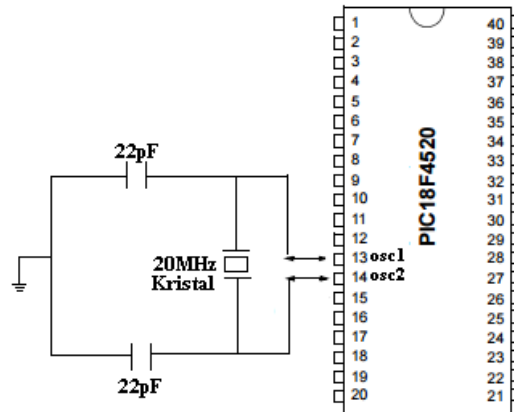
Şekil 2.8. PIC18F452 dış görünüşü



Şekil 2.9. PIC18F452 portları

A portu alt ve üst sınır anahtarları, B portu buton bilgileri, C portu alt ve üst motor adımları, D portu LCD ve E portu DS1302 için programlanmıştır.

PIC18F452 için kullanılan osilatör tipi HS (High Speed) olup 20 MHz' dir. Osilatör tipini belirleyen kodlar Proton IDE derleyicisinden faydalanarak yazılmış ve konfigürasyon ayarları yapılmıştır. Kristal ve kondansatör kullanılarak yapılan osilatör zamanlamanın önemli olduğu yerlerde kullanılır. PIC'in 13. ve 14. pinlerine bağlı olan osilatörün genel bağlantı şeması Şekil 2.10'da gösterilmiştir [50].



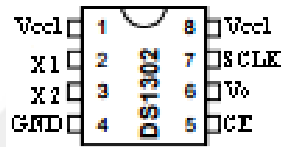
Şekil 2.10. Kristal osilatörün PIC'e bağlantısı

PIC18F452 için kullanılan osilatör kondansatörler yardımıyla PIC için üretilen 20 MHz'lik kare dalga'nın düzgün olmasını sağlar.

2.2.6.2. DS1302 Zamanlayıcısı

DS1302 entegresi gerçek zamanlı bir sayaç olup saat, saniye, dakika, ay, yıl gibi tüm işleyiş ve işlevleri sayarak yönetir. Bu zamanlayıcı -40 C° ile $+85\text{ C}^\circ$ arasında çalışabildiği için güneş takip sistemlerinde geniş kullanım alanına sahiptir. Şekil 2.11’de pin düzeni gösterilmiştir. X1 ve X2 pinleri 32,768 kHz’lik kristal osilatör içindir [50].

Zamanlayıcı entegresine ilişkin yetkilendirme, data hattı ve saat bilgilerini Proton IDE’ye tanımlarken Shout komutu kullanılmıştır.

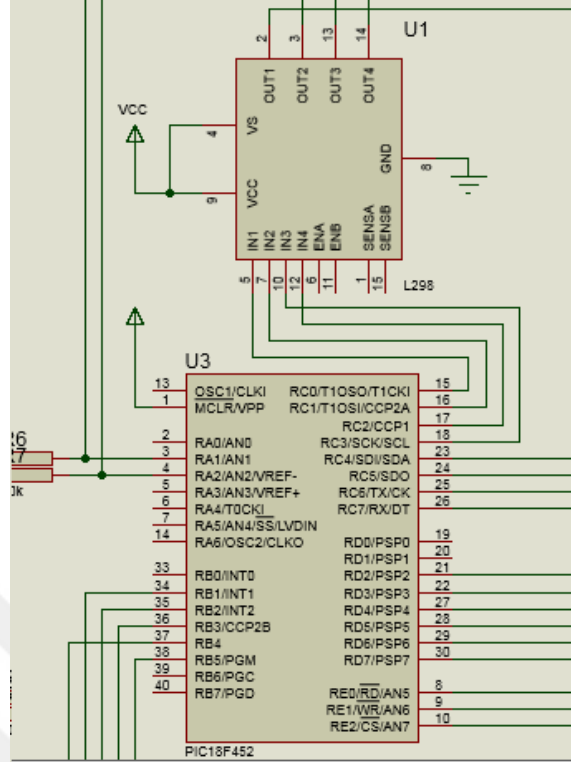


Şekil 2.11. DS1302 pin düzeni

2.2.6.3. L298N Motor Sürücü Entegresi

L298N motor sürücü entegresi 2 ampere kadar dayanıklı olduğundan tercih edilmiştir. 2 adet H köprüsü içerir. Bu köprüler dc motorları sürmek için gereklidir. Toplamda 15 adet entegre bacağı içerir. Entegrenin Vss bacağı ile toprak arasındaki 100nF’lık kondansatör küçük salınımları yok ettiği için çok önemlidir. Sistemin yapım aşamasında 100nF’lık kondansatörlerin kullanılmadığı durumlarda sistemin bir süre çalışıp durduğu görülmüştür. Kondansatörler sisteme ilave edildiğinde sistem sorunsuz çalışmıştır.

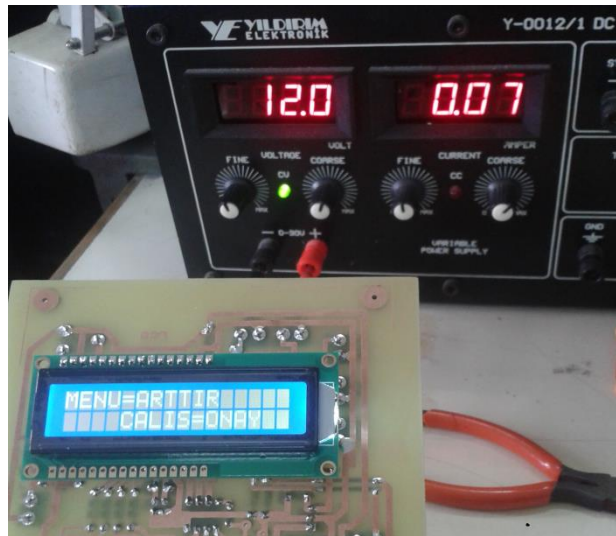
IN1, IN2, IN3 ve IN4 girişleri motorun ileri ve geri yöndeki hareketleri için PIC’ten alınan girişlerdir. OUT1, OUT2, OUT3 ve OUT4 çıkışları motor uçlarına bağlanır. Şekil2.12’de sürücüye ait entegre ayaklarının isimleri ile PIC18F452 arasındaki bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 2.12. L298N motor sürücü entegresinin PIC18F452 ile bağlantısı

2.2.6.4. LCD

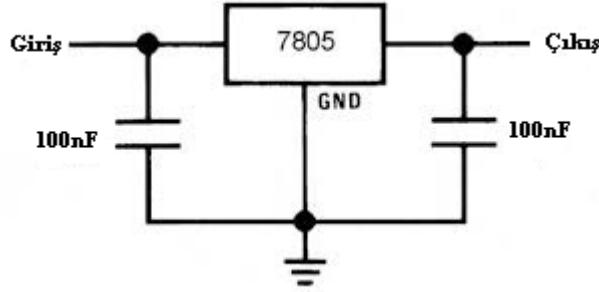
Sistemde kullanılan LCD tipi Hitachi olarak yetkilendirilmiş, V_{SS} şase ve V_{dd} besleme olarak belirlenmiştir. V_{EE} ile parlaklık ayarı sağlandıktan sonra LCD'nin iki satırı kullanılmak üzere programlanmış ve 4 hattı kullanılmıştır.



Şekil 2.13. LCD parlaklık ayarı

2.2.6.5. KA78T05 Pozitif Voltaj Regülatörü

7805 entegresi motorlar, PIC18F452 ve LCD için ayrı ayrı 5 voltluk besleme sağlamıştır. Giriş, çıkış ve GND uçlarına sahiptir. Şekil 2.14’de 7805 entegresine ait devre şeması gösterilmiştir. 7805 entegreleri, güneş takip sisteminde, regülatör çıkışından alınan 12 voltu 5 volta indirgeyerek diğer elemanlar için uygun gerilim sağlamaktadır. Bu entegre zener diyotun ters polarlanma özelliğinden yararlanılarak yapılmıştır. Giriş gerilimi yani 12 volt, zener diyotun geriliminden büyük olduğundan, zener diyot ters yönde iletme geçer ve çıkış gerilimini 5 volta düşürür.

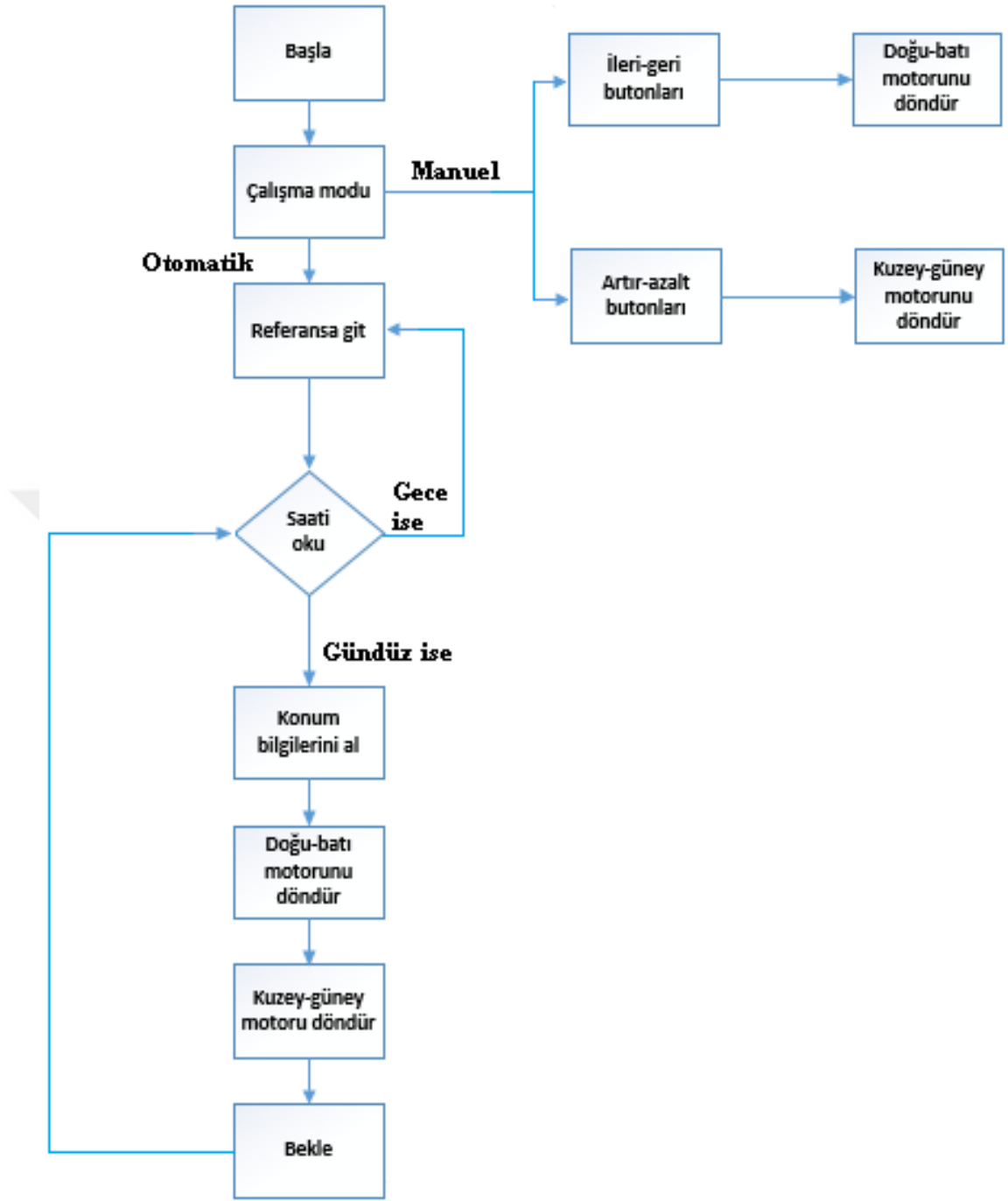


Şekil 2.14. 7805 entegresine ait devre şeması

2.3. Sistemin Genel Çalışma Algoritması

Şekil 2.15’de verilen algoritma, güneş takip sisteminin çalışma prensibini anlatmaktadır. Sisteme enerji verildiği takdirde elektronik karttaki osilatörden işaret alan PIC18F4520 çalışmaya başlar. Mikroişlemci önce zamanlamaya bakar. Gece olması durumunda panel referans konumunda güneşin doğuş saatini bekler. Güneşin doğuş saati geldiğinde motorlar mikroişlemciden aldığı adım bilgileri doğrultusunda paneli doğu yönünde hareket ettirir. Güneşin gün içerisinde değişen yükseliş açısına göre kuzey-güney motorları devreye girer. Açığa bağlı olarak değişen motor adımlarına göre panel gün içerisinde ışınları üzerine dik alacak şekilde yükselip alçalarak hareket eder. Güneşin batış saati geldiğinde panel başlangıç konumuna dönerek güneşin doğuşunu bekler.

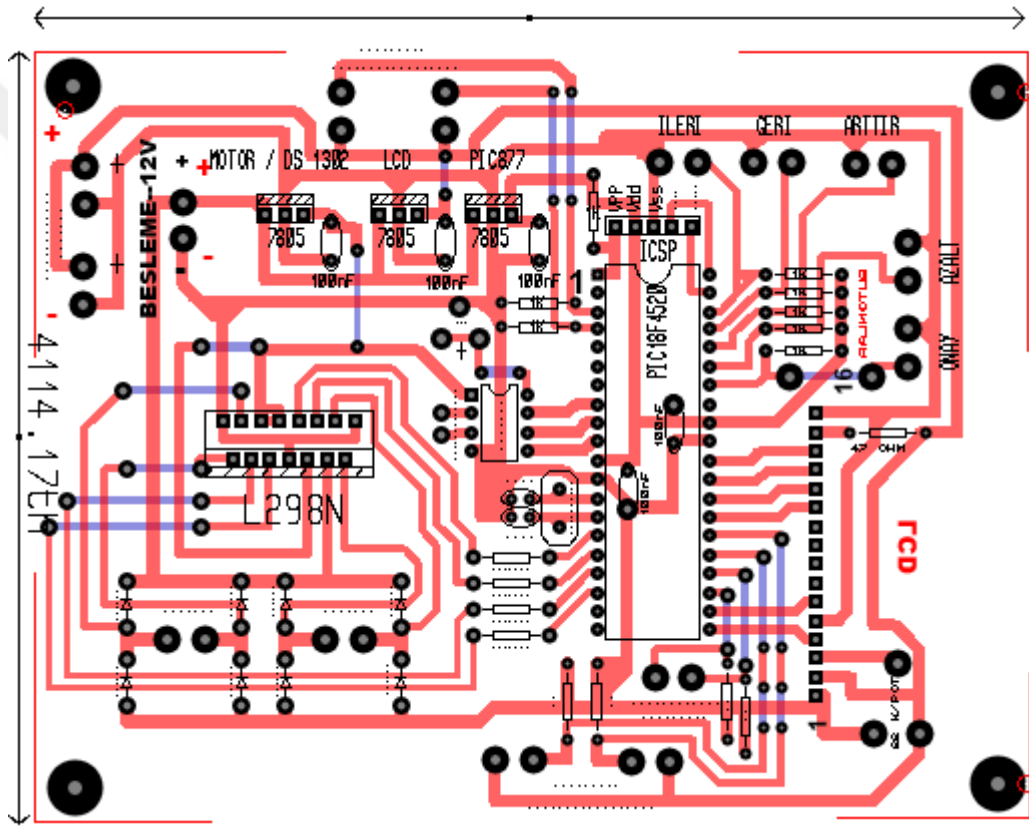
Sistem manuel moda alındığında ileri-geri ve artır-azalt butonlarıyla sisteme çift eksenli istenildiği kadar darbe uygulanabilir.



Şekil 2.15. Güneş takip sistemine ait akış diyagramı

2.4. Elektronik Kartın Baskı Aşamaları

Elektronik kart besleme katı, kontrol katı, zamanlama katı ve motor sürücü katı olmak üzere 4 bölümden oluşur. Şekil 2.16'da elektronik kartın baskı devre şeması verilmiştir. Besleme katı 12 voltluk aküden beslenmektedir. Kontrol katı PIC18F4520'den, zamanlama katı DS1302'den, sürücü katı da L298N motor sürücü entegresinden oluşmaktadır. Ara elemanlar olarak yer alan kondansatör ve dirençler katalog bilgilerine göre yerleştirilmiştir.

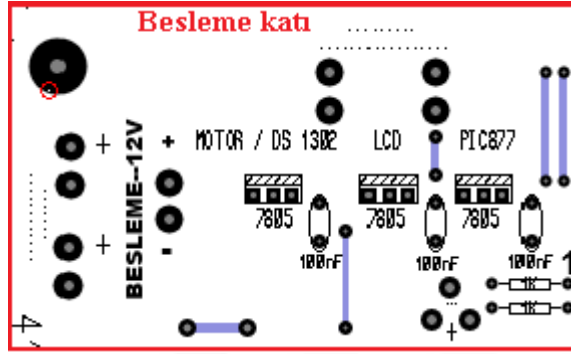


Şekil 2.16. Elektronik kartın baskı devre şeması

2.4.1. Besleme Katı

Besleme katı Şekil 2.17' de görüldüğü üzere besleme girişleri, 3 tane 7805 entegre ve saat pilinden oluşmuştur. 7805 entegreler kartın aküden aldığı 12 voltluk beslemeyi 5 volta düşürerek, LCD, sürücü ve mikroişlemci için ayrı ayrı uygun gerilim sağlamaktadır. KA78T05 entegreler uygun filtrelemeler için çıkışlarına 100 nF kondansatörler ister. Başka

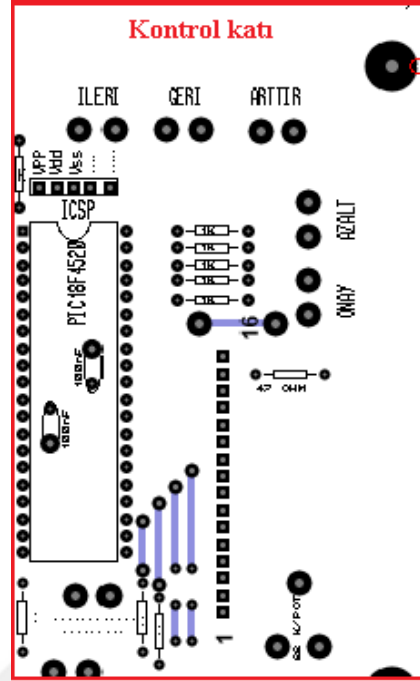
hiçbir bileşene gerek duyulmadığından bu entegreler tercih edilmiştir. Saat pili DS1302 çipi enerji yokken bilginin hafızada kalması için kullanılır. Pil şarjlı olup yaklaşık olarak 2 yıl süre için sistemi besleyebilir.



Şekil 2.17. Elektronik kartın besleme katı

2.4.2. Kontrol Katı

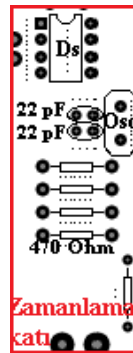
DS1302 çipi yazılımla mikroişlemciye tanıtıldıktan sonra PIC18F4520 zamanlamaya bakarak çalışmaya devam eder. Enerji kesilmesi durumunda saat, pili olduğu için devamlı çalışır. Şekil 2.18'de görülen bölüm üzerindeki ileri, geri, artır, azalt, onay butonlarıyla enlem, boylam, gün ve saat değişkenleri girilip LCD üzerinden takip edilerek ayarlanabilir. Mikroişlemci üzerinde yer alan header, işlemciye dataları aktarma konusunda rahatlık sağlamıştır. Kartta bulunan osilatör 20 MHz'lik kristal içerir ve bu yapı denetleyici için gerekli kare dalgayı üreterek işlemciyi tetikler.



Şekil 2.18. Elektronik kartın kontrol katı

2.4.3. Zamanlama Katı

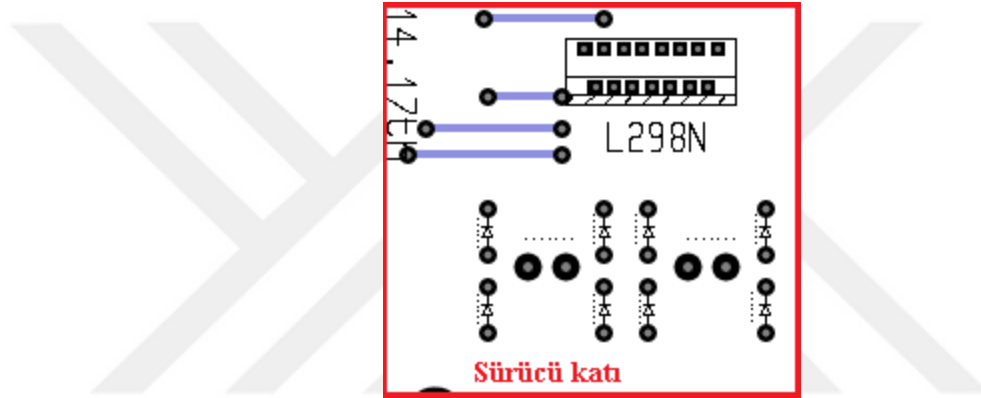
Zamanlama katı, DS1302 çipinden oluşur. Bu işlemcinin en faydalı özelliği saniye, dakika, saat, gün, ay ve yıl saymasıdır. Küçük bir pilden beslenir. Çok küçük güç tüketimine sahip olduğu için tercih edilmiştir. Ön bellekteki RAM sayesinde hızlı çalışır ve saat bilgilerini korur. PIC18F4520 ile senkron seri haberleşme sağlayarak denetleyicinin ne zaman çalışacağını belirler. DS1302 entegresi hemen yanında bulunan küçük bir kristal yardımıyla çalışmaya başlar. Zamanlama katı Şekil 2.19' da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Elektronik kartın zamanlama katı

2.4.4. Motor Sürücü Katı

Motor sürücü katı başlıca L298N sürücü entegresinden oluşur. Buna bağlı olarak H köprüleri içerir. H köprüleri motorları iki yönde de sürmeye yarayan faydalı bir çeviricidir. 4 adet transistör kullanılarak yapılır ve anahtarlamaı sağlar. L298N kullanılmasının nedeni 3 ampere kadar dayanıklı olabilmesi ve 2 tane motor sürebilmesidir. PIC ile sürücü entegresi arasına küçük bir direnç konulmasının nedeni ise entegreden gelen ters akımın denetleyiciye zarar vermesini önlemektir. Elektronik kartın motor sürücü bölümü Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Elektronik kartın motor sürücü katı

2.5. Elektronik Kartın Modellenmesi ve Simülasyonu

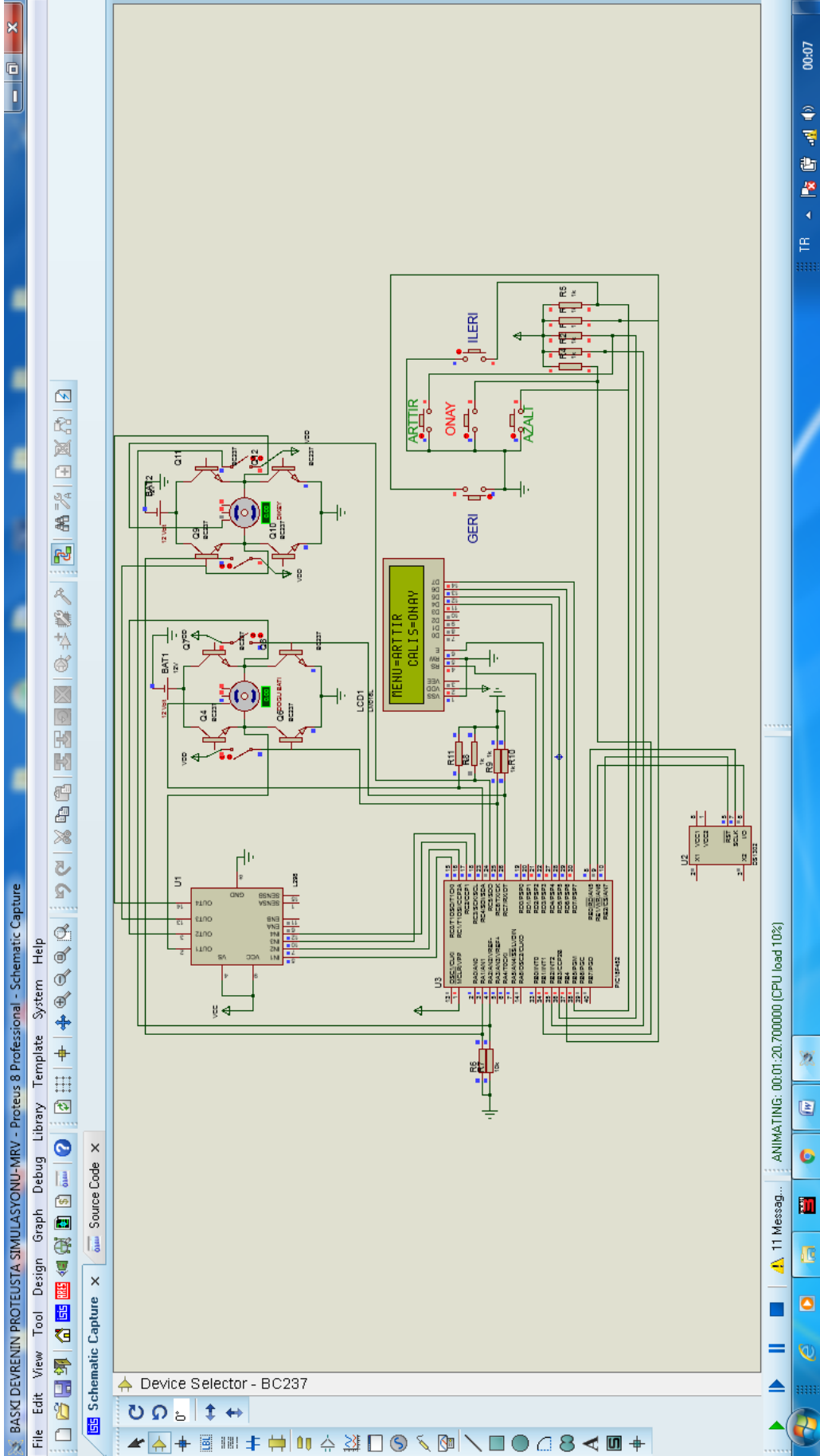
Sistemin elektronik kartının tamamının Proteus’ta hazırlanmış simülasyonu Şekil 2.21’de verilmiştir. L298N sürücü entegresinin, doğu-batı ve kuzey-güney motorlarının simülasyonda yerleşimi Şekil 2.21’de gösterilmiş olup, enerji verilmesi durumunda sistemin çalıştığı LCD’de görülmektedir.

PIC18F4520 mikroişlemcisi ile DS1302 çipinin bağlantı noktaları verilmiş, enlem, boylam ve saat ayarlarının yapıldığı butonlar simülasyona yerleştirilmiştir. Butonlar ile istenilen ayarlar LCD üzerinden takip edilmekte olup işlemcilerin katalog bilgilerine bağlı olarak gerekli direnç ve kondansatörler devreye eklenmiştir.

Sistem düzgün bir şekilde çalışıyor olup, istenilen gün, enlem ve boylama bağlı olarak güneşin doğuş ve batış saatlerini LCD’den okuma fırsatı sunmaktadır. Excel yardımıyla enlem ve boylama bağlı olarak çıkartılan güneşin doğuş batış saatlerinin yanı

sıra güneş yükseliş açıları, yazılımdan çağrılarak LCD'den okunabilir. Excel, LCD' den okunan değerlerin kontrolü açısından büyük fayda sağlamıştır.

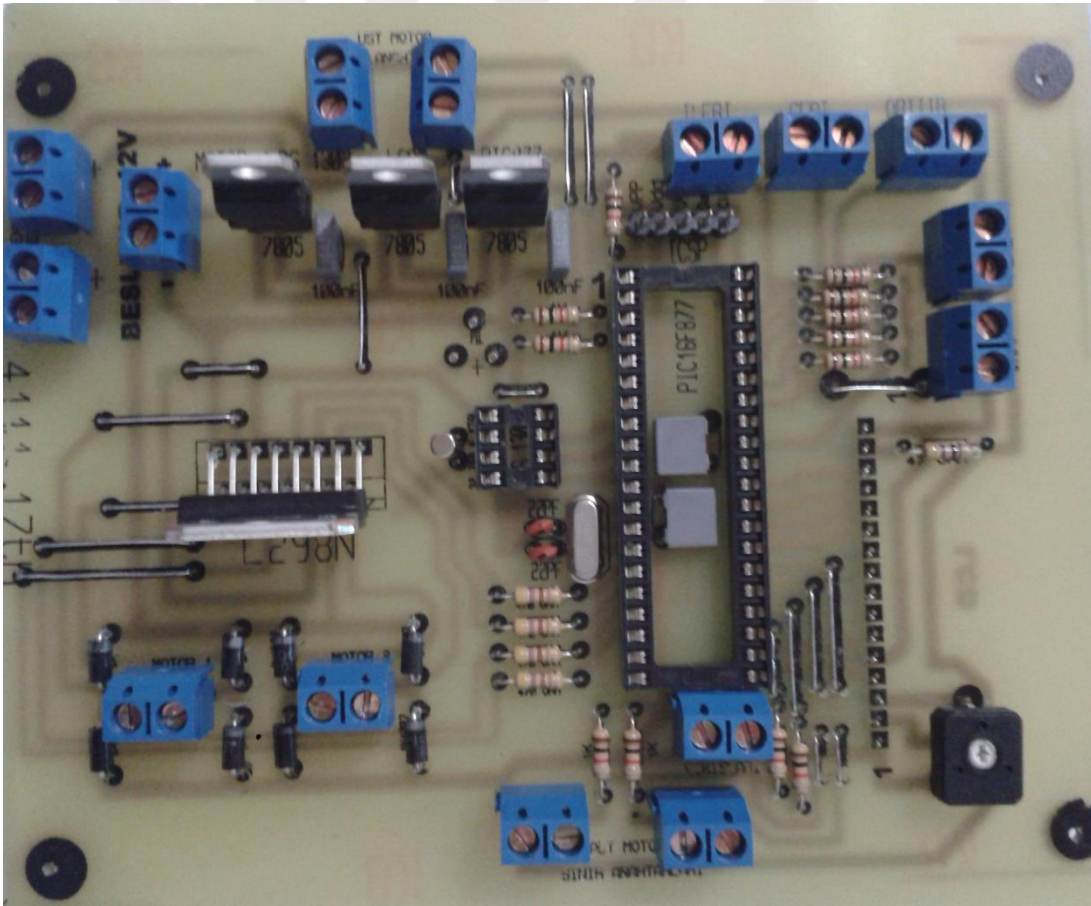




Şekil 2.21. Elektronik kartın simülasyonunun Proteus'ta gerçekleştirilmesi

2.5.1. Elektronik Kartın Gerçeklenmesi

Şekil 2.22’de verilen kontrol kartı öncelikle bakır plaket üzerine çizdirilmiş ve baskı devresi çıkartılmıştır. Daha sonra devre elemanları üzerine yerleştirilmiştir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli kısım bakır üzerinde temiz çalışmak olmuştur. Kısa devre olması gereken yerleri dikkatli lehimlemek ve bakırın iletimi açısından fazla tozlu ortamlara maruz kalmasını önlemek önemli noktalardandır. Ayrıca L298N sürücüsü için soğutucu kullanmak devre açısından daha sağlıklı olabilir. Baskı devrenin yollarına, başlıca mikrodenetleyici olmak üzere tüm entegre ayaklarının katalog bilgilerine bakılarak karar verilmiştir.



Şekil 2.22. Elektronik kartın dizaynı

2.6. Güneş Panelinin Açılarının Belirlenmesi

Güneş panellerinden maksimum verim alınması için kendi yüzeylerine gelen ışınımın 90° olması çok önemlidir. Bu nedenle güneş konum takibi yapan sistem güneş ışığını maksimum seviyede alır. Paneller için yüzey azimut açılarının ve güneşin yükseliş açısının konum takibinin optimum ayarlanabilmesi için bilinmesi gerekir. Takip sistemli paneller bu açılar doğrultusunda programlanır. Kuzey-güney motorlarıyla panel, ışığı dik açıyla almaya çalışır. Bunu yaparken gün içerisinde saat açısına bağlı olarak değişen yükseliş açısını baz alır. Bu sayede diğer açı kavramlarına bağlı olarak sistem pozisyonunu alır.

Günlük yatay olarak dönen panel, gün ışığını öğle vaktinde normal olarak alması ve ışığı sürekli panelin normali üzerine gelecek şekilde takip etmesi için güneş geliş açısının değeri (yükseklik açısı) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\alpha = \text{Sin}^{-1} [\cos(\delta) \cos(\Theta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\Theta)] \quad (1.19)$$

Yüzeyin başlangıçtaki montaj için verilecek eğimi sabit olmalıdır. Türkiye 21 Haziran'da en büyük güneş yükseliş açısını alır. Bu açı Trabzon için yaklaşık 73° dir. O halde panelin optimum montaj açısını belirlerken güneş yükseliş açısının, 90° den farkı alınarak panelin yatay düzlemle yaptığı açı bulunduktan sonra panel sisteme monte edilebilir. Kuzey-güney motorlarıyla sistem hesaplanan motor adımlarına göre derecesini ayarlayıp gün ışığını normali üzerine gelecek şekilde takip etmelidir.

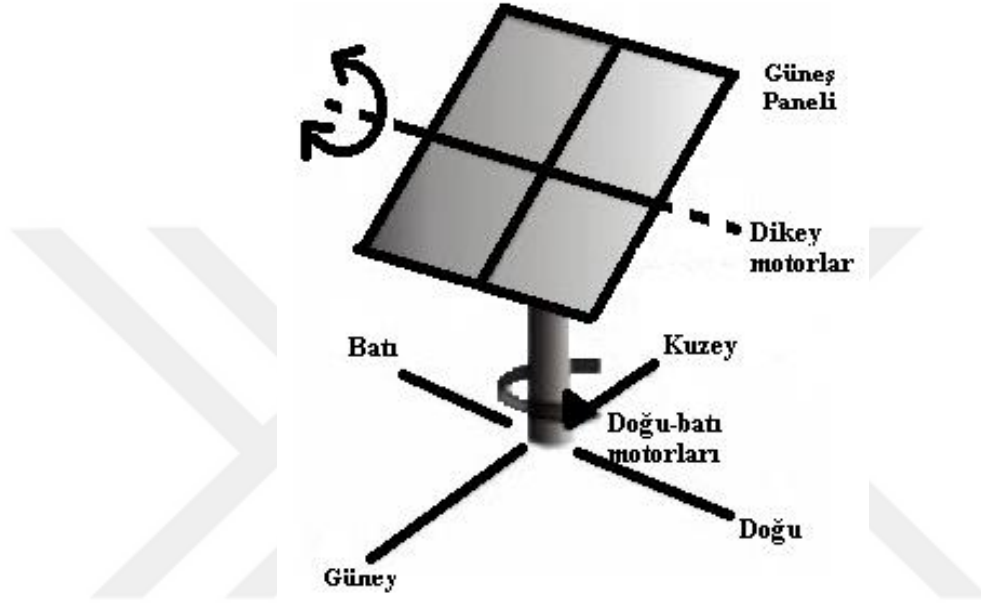
2.7. Güneş'in Doğuş ve Batış Saatlerinin Hesabı

Kronolojik takip sistemi doğrudan güneşin yıl içerisindeki hareketiyle ilgilidir. Coğrafi bölgenin konumuna göre hesaplanan doğuş batış vakitleri ve güneşin geliş açıları denetleyici yardımıyla sisteme aktarılır. Bu sisteme değişken olarak enlem boylam bilgisi girildikten sonra saat bilgisini DS1302 saat entegresinden alır. Böylece panel, yılın tarih ve saatlerine göre güneşin pozisyonunu hesaplayarak ışınımı yüzeyine dik alacak şekilde alıp güneş konum takibi yapar.

Sistem doğu-batı yönünde sadece güneşin doğuş vaktinden batış vaktine kadar olan süre boyunca hareket eder. Güneş battıktan sonra doğu-batı motoru durur, saat entegresinden aldığı bilgilere göre gece 00:00'dan sonra güneşin doğuş vaktini beklemek

üzere harekete geçip doğuş vaktindeki konumunu alır ve bekler. Güneş doğuş vakti geldiğinde, sistem gün uzunluğu boyunca attığı doğu-batı motor adımlarının birim zamandaki değerine göre batıya doğru döner.

Güneşin doğuş batış vakitlerinin açı değerlerine bağlı olarak bulunması sistemi programlamada kolaylık sağlamıştır.



Şekil 2.23. Çift eksenli güneş konum takibi yapan panelin genel dizaynı

2.8. Örnek Hesap ve Karşılaştırma

41° kuzey enlemi ve 39° doğu boylamı koordinatlarında olan Trabzon, 30 Mayıs öğleden sonra yerel saat 15:00 için güneşin yükseklik (α) ve azimut açısını (γ), bunlara bağlı olarak da güneşin doğuş ve batış saatlerini bulalım.

30 Mayıs yılın 151. günüdür.

Deklınasyon açısı:

$$\delta = 23,45 \sin [360. ((284 + n) / 365)]$$

$$\delta = 23,45 \sin [360. ((284 + 151) / 365)]$$

$$\delta = 21,898^\circ$$

Saat açısı:

$$\omega = 15 \times (\text{GS}-12)$$

$$\omega = 15 \times (15-12)$$

$$\omega = 45^\circ$$

Güneş yükseklik açısı:

$$\alpha = \text{Sin}^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varnothing) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varnothing)]$$

$$\alpha = \text{Sin}^{-1} [\cos(21,898) \cos(41) \cos(45) + \sin(21,898) \sin(41)]$$

$$\alpha = 47,71^\circ$$

Azimet açısı:

$$\gamma = \text{Sin}^{-1} [\text{Cos}(\delta) \text{Sin}(\omega) / \text{Cos}(\alpha)]$$

$$\gamma = \text{Sin}^{-1} [\text{Cos}(21,898) \text{Sin}(45) / \text{Cos}(47,71)]$$

$$\gamma = 77,18^\circ$$

Güneş batış derecesi:

$$\text{GB} = \text{Cos}^{-1}[-\tan(\delta) \tan(\varnothing)]$$

$$\text{GB} = \text{Cos}^{-1}[-\tan(21,898) \tan(41)]$$

$$\text{GB} = 110,4521^\circ$$

Ara değerler:

$$\text{H2} = \text{Güneşin batış derecesi} / 15$$

$$\text{H2} = 7,36$$

$$\text{H3} = (4(\text{Boylam}-27)+\text{G8}) / 60$$

$$\text{H3} = 0,86$$

$$\text{H4} = 12-\text{H2}-\text{H3}$$

$$\text{H4} = 3,76$$

$$\text{H5} = \text{H4} \times 60$$

Güneş doğuş dakikası:

$$\text{H5} = 46 \pmod{60}$$

$$\text{H7} = \text{tabanayuvarlaH4+yaz saati}$$

Güneş doğuş saati:

$$H7 = 4$$

Güneşin doğuş vakti:

4:46

Ara değerler:

$$L3 = (4(\text{Boylam}-32)+G8) / 60$$

$$L4 = 12-H2-L3$$

$$L4 = 18,82$$

$$L5 = L4 \times 60$$

Güneş batış dakikası:

$$L5 = 49 \pmod{60}$$

$$L7 = \text{tabanayuyarla}L4 + \text{yaz saati}$$

Güneşin batış saati:

$$L7 = 19$$

Güneşin batış vakti:

19:49

Ara Değerler:

$$F2 = 2 \times H2$$

$$F2 = 14,72$$

$$F3 = F2 \times 60$$

$$F3 = 43 \pmod{60}$$

Günün toplam uzunluğu:

43 dakika

$$F8 = \text{tabanayuyarla}F2$$

Günün toplam uzunluğu:

F8 = 14 saat

Günün toplam uzunluğu:

14 saat 43 dakika

Sistemin bu hesaplamalarına ilişkin Şekil 2.24'deki gibi Excel tablosu oluşturularak bu konum bilgileri doğrultusunda panelin hareketli olacağı zaman dilimleri rahatlıkla görülmüş, sistemin yazılımı aşamasında karşılaştırılmalar yapmaya olanak tanımıştır.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	DEĞER GİRİNİZ		DENKLİNASYON AÇISI	SAAT AÇISI (DERECE)	GÜNÜN TOPLAM UZUNLUĞU (SAAT)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	GÜNEŞİN DOĞUŞ SAATI	GÜNEŞİN BATIŞ SAATI	SAATİ GİRİNİZ	SAATAÇI W	Ara değer	YÜKSELİŞ AÇISI
2	ENLEM BOYLAM	GÜN SAYISI	429,0410959	-0,349424293	14,72694752	147,9452055	7,363473758	7,363473758	18	90	4,29E-17	0,247195717
3	41	39	21,89848302	1,927752922	883,616851	-0,001583206	0,867304662	0,533971328			0,244686	14,16327132
4	Yaz saati	1		110,4521064	43,61685102	0,017020513	3,76922158	18,82950243			0,244686	
5					DAKİKA	0,000638166	46,15329479	49,7701458				
6					43	-0,036785906	SAAT	SAAT				
7					SAAT	0,017619021	4	19				
8					14	4,038279704	DAKİKA	DAKİKA				
9							46	49				
10												
11							GÜN UZUNLUĞU SAĞLAMASI					
12							SAAT	DAKİKA				
13							15	3				

Şekil 2.24. Konum bilgilerine göre güneş açılarının değerlerinin ve doğuş-batış saatlerinin takibinin Excel’de gerçekleştirilmesi

2.8.1. Motor Adımlarının Belirlenmesi

Tasarlanan sistemde en uzun gün için motorların toplam atacağı pals yani adım sayıları sisteme yüklenen yazılım sayesinde LCD’de okunmuştur. 21 Haziran’ın en uzun gün olduğu göz önünde bulundurulduğunda Trabzon için en uzun gün süresi 15 saat 17 dakika yani 917 dakikadır. Panelin doğu-batı yönündeki dönüşlerini belirleyen optik kodlayıcılı DA motorların adım sayısı en uzun güne göre LCD’de 6950 darbe olarak okunmuştur. O halde doğu-batı motorunun 1 dakikadaki adım sayısı $6950 / 917 = 7,58$ olarak bulunmuştur. Bu değer mekanik sistemde çok hassas olduğundan, panelin doğu-batı yönündeki hareketi, doğu-batı motorlarının 5 dakikada 38 darbe olacak şekilde programlanmasıyla sağlanmıştır. Panel, güneşin batış zamanına 5 dakika veya daha az dakika kala durursa, güneşin doğuş vakti için diğer günü bekler.

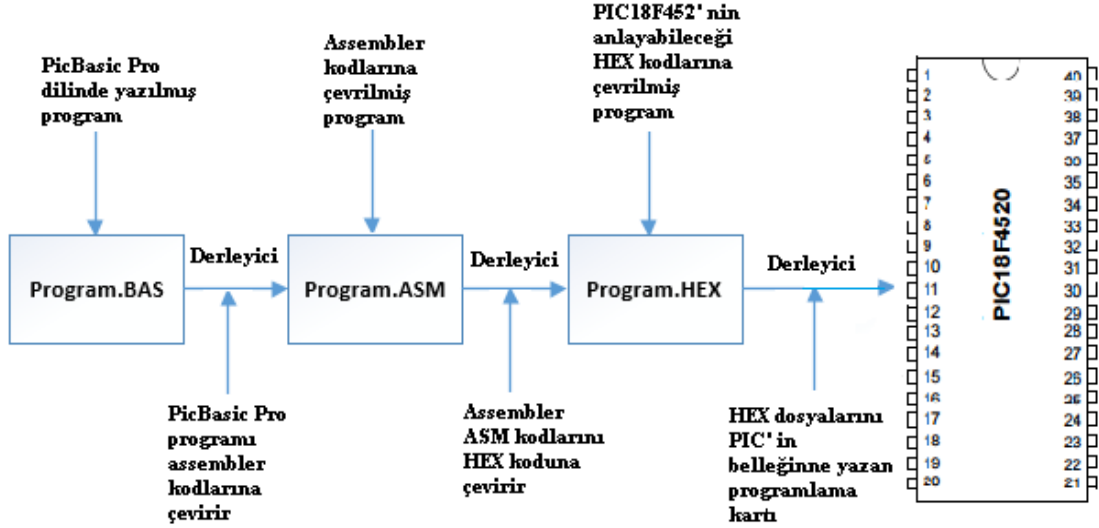
Saat 00:00 olduğunda panel, güneşin doğuş zamanına uygun olarak pozisyon alıp güneşin doğuşunu bekler. Güneş doğduğunda ise doğu-batı yönünde ki sistematik takibine başlayarak elektrik üretmeye devam eder.

Örneğin, 1 ocak ile 21 Haziran tarihleri arasında ki gün uzunluğu farkı 177 dakika olup bu 1341 darbe sayısına karşılık gelmektedir. Dolayısıyla 1 ocakta panel 00:00 dan sonra 1341 darbelik farkın bulunduğu noktaya gelip, güneşin doğuşunu bekler.

Doğu-batı motor adımlarının belirlenmesi gibi kuzey-güney motor adım sayılarını hesaplamalarda da benzerlikler vardır. Tasarlanan sistemde en uzun gün için kuzey güney motoru 67 dereceye karşılık 1470 darbe atmıştır. Yani 1 derece yaklaşık 22 darbe yapar. Bu çok hassas olduğundan mekanik sistem 1 saat aralıklarla yükseliş açısını kontrol edip kendisini konumlandırmaktadır. Doğu-batı motoru 5 dakikada bir konumlanırken kuzey-güney motoru saatte bir açısını düzenler. Dişli 360 derece olarak düşünüldüğünde 1440 dakikaya karşılık gelir. Bu da 5 dakikanın 1,25 derece olduğunu gösterir. Bu nedenle redüktör 288 dişli olarak düşünülmüştür. Kuzey-güney motoru saatte bir güneş geliş açısı hesabını yaparken, motor o dereceye karşılık gelen darbe sayısını tamamlar ve sistem güneşi düşey olarak takip etmeye çalışır. Motor adımlarının belirlenmesine ait açıklamalı yazılım Ek’te sunulmuştur.

2.9. Sistemin Proton Compiler ile Derlenmesi ve Programlanması

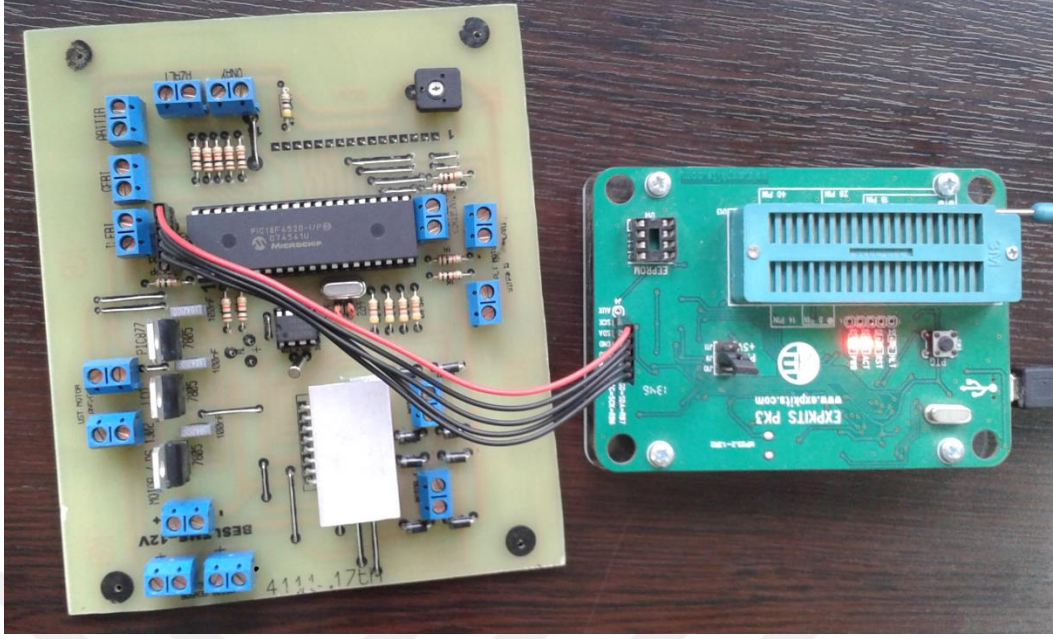
Sistemin Proton IDE aracılığıyla sisteme yazdırılıp aktarılması Şekil 2.25'teki aşamalarla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.25. Mikrodenetleyiciye program yazdırılırken izlenecek adımlar

Mikrodenetleyici Proton IDE yardımıyla derleyiciye tanıtıldıktan sonra .BAS ile donanımsal özellikler sisteme aktarılır. Donanımsal özellikler timer, ADC gibi özelliklerdir. Mikronun konfigürasyon ayarları yapıldıktan sonra adım adım derleyiciye mikrodan yapmasını istediğimiz komutları gireriz. PIC Hex dosyalarını tanır, bu nedenle sistem hex kodlarına çevirilir.

Pickit3 yardımıyla Proton IDE ile yazılmış program derlenerek HEX dosyası şeklinde PIC18F452'e aktarılır. Şekil 2.26'da görülen programlama kartı Pickit3 arayüzü sayesinde mikrodenetleyiciye istenilen yazılımı aktarır.



Şekil 2.26. PIC programlama kartı ile programın aktarılması

PIC programlama yaparken teknik özelliklerine bakılarak elektronik karta header yerleştirilmiştir. Bu sayede mikrodenetleyici programlanırken zorluk yaşanmamıştır.

2.10. Önerilen Yöntemin Sisteme Uygulanması ve Sonuçlar

Şekil 2.27 ve Şekil 2.28'de görüldüğü üzere güneş konum takibi yapan sistemden ölçümler alınmıştır. Doğu-batı motorlarının 5 dakikada bir, kuzey-güney motorlarının da saatte bir konumunu belirlemesiyle ölçülen akım-gerilim değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sistem, aynı boyutlardaki sabit 45° konumlandırılmış panellerle karşılaştırılmış ve verim hesabı yapılmıştır.

Panelin oturtulduğu beşgen şeklindeki düzenek 12 saat dilimine bölündüğünü düşünülmüştür. Böylece panelin hareketi esnasında hangi saat diliminde olduğu takip edilebilmiştir. Bu nedenle sistemin aynı zamanda bir kronolojik takip sistemi olduğu görülebilir. LCD'de okunan saat değeriyle karşılaştırıldığında panelin yaklaşık hangi saat aralıklarında olabileceği tahmin edilebilir.



Şekil 2.27. Maksimum güç için tasarlanan güneş takip sistemi



Şekil 2.28. Hareketli panel çıkışından alınan akım-gerilim değerlerinden biri

2.10.1. Sabit Sistemlerle Güneş Takibi Yapan Sistemlerin Karşılaştırılması

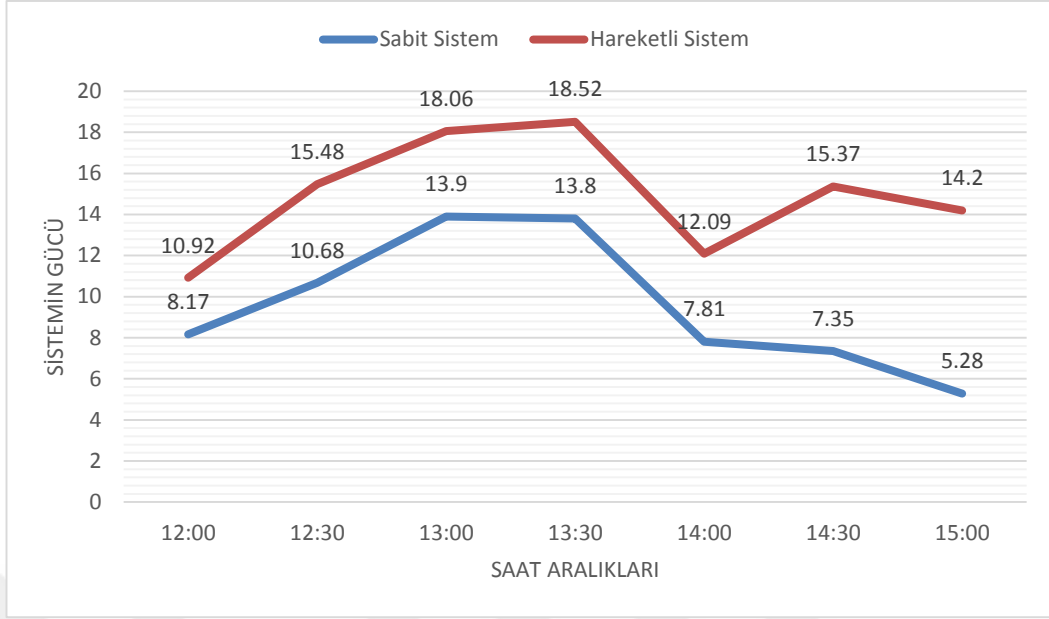
Tablo 2.2 ve 2.3'te Trabzon'da 7 Mayıs 2016'da sabit sistem ve hareketli sistemden alınan ölçüm sonuçları verilmiş ve Şekil 2.29' da ki gibi grafiklendirilmiştir. Böylece güneş konum takibi yapan sistemin başarılı bir düzenek olduğu rahatlıkla görülmüştür.

Tablo 2.2. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 7 Mayıs 2016'da alınan ölçümler

Saat	V_{ad} (V)	I_{kd} (A)	Güç(W)
12:00	13,62	0,6	8,172
12:30	13,88	0,77	10,68
13:00	13,89	1,001	13,9
13:30	12,93	0,89	19,8
14:00	12,03	0,65	7,81
14:30	11,67	0,63	7,35
15:00	11,00	0,48	5,28

Tablo 2.3. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 7 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler

Saat	V_{ad} (V)	I_{kd} (A)	Güç(W)
12:00	13,64	0,801	10,92
12:30	13,903	1,11	15,48
13:00	13,78	1,31	18,06
13:30	13,93	1,33	18,52
14:00	12,89	1,25	12,09
14:30	12,77	1,2	15,37
15:00	12,8	1,21	14,20



Şekil 2.29. 7 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç (saat-watt) grafiği

Şekil 2.29'a göre saat 14:30 için grafiğin beklenenin dışında bir tepe yapmasının nedeni o an güneşin önüne bulut gelmesinden kaynaklı olabilir.

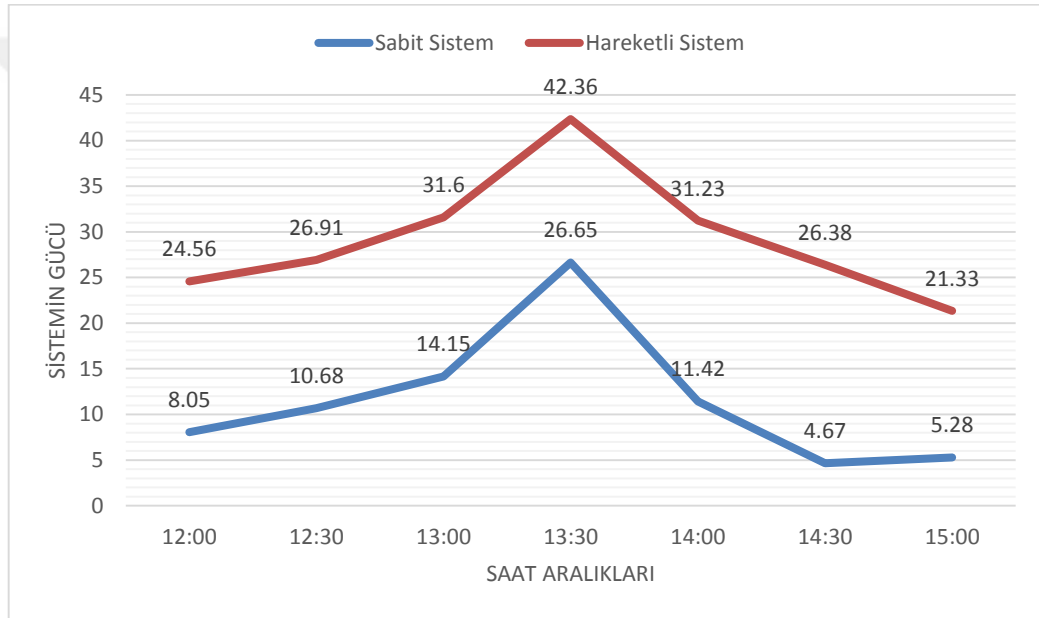
Benzer şekilde 12 Mayıs 2016 ve 20 Mayıs 2016'da aynı ölçümler alınarak karşılaştırılmalar tekrarlanmıştır.

Tablo 2.4. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 12 Mayıs 2016'da alınan ölçümler

Saat	$V_{ad}(V)$	$I_{kd}(A)$	Güç(W)
12:00	13,42	0,6	8,052
12:30	13,88	0,77	10,68
13:00	14,01	1,01	14,15
13:30	14,10	1,89	26,65
14:00	13,43	0,85	11,42
14:30	11,67	0,4	4,67
15:00	11,00	0,48	5,28

Tablo 2.5. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 12 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler

Saat	Vad(V)	Ikd(A)	Güç(W)
12:00	13,64	1,801	24,56
12:30	14,09	1,91	26,91
13:00	15,8	2,00	31,6
13:30	17,3	1,993	42,36
14:00	18,19	2,01	31,23
14:30	18,67	2,1	26,38
15:00	13,8	1,545	21,33



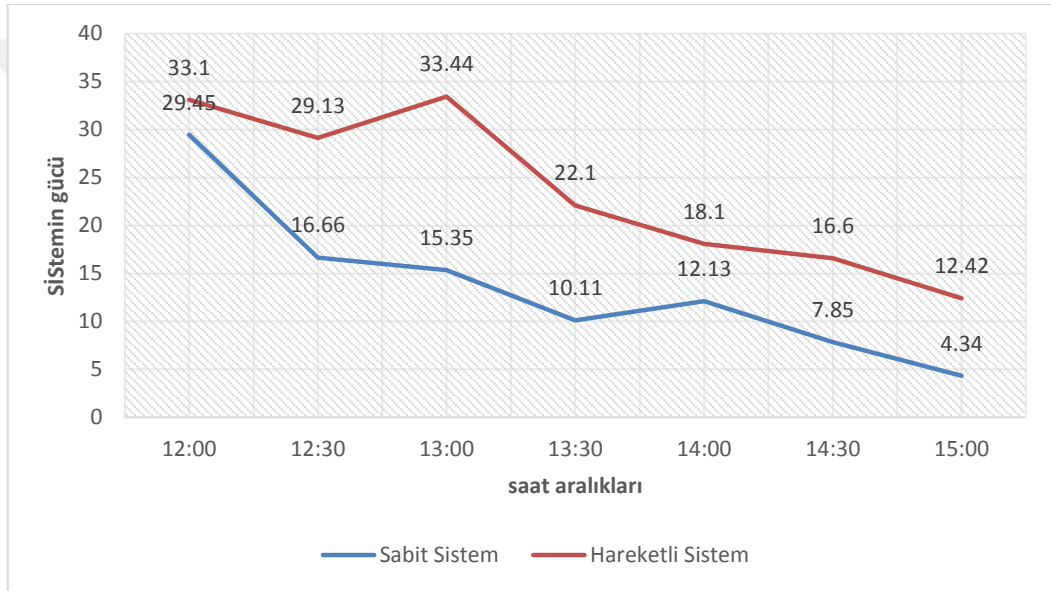
Şekil 2.30. 12 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç grafiği

Tablo 2.6. Trabzon için yatayla 45 derece açı yapan kuzey yönünde yerleştirilmiş sabit panelden 20 Mayıs 2016'da alınan ölçümler

Saat	Vad(V)	Ikd(A)	Güç(W)
12:00	18,41	1,6	29,456
12:30	17,18	0,97	16,66
13:00	16,9	0,91	15,35
13:30	14,30	0,707	10,11
14:00	15,0	0,809	12,13
14:30	11,72	0,67	7,857
15:00	9,05	0,48	4,34

Tablo 2.7. Trabzon için çift eksenli güneş takibi yapan sistem için 20 Mayıs 2016'da panelden alınan ölçümler

Saat	Vad(V)	Ikd(A)	Güç(W)
12:00	18,94	1,801	33,1
12:30	17,19	1,69	29,13
13:00	18,8	1,779	33,44
13:30	15,66	1,40	22,1
14:00	16,9	1,06	18,100
14:30	15,09	1,1	16,6
15:00	13,8	0,91	12,42



Şekil 2.31. 20 Mayıs 2016 sabit ve hareketli sistem için zaman-güç grafiği

2.10.2. Verim Hesabı

Sistemde kullanılan panel 70 Watt'lık olup her üç gün için saat 13:30'da aldığımız güç değerlerine bağlı olarak verim hesabı yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.32'de sunulmuştur. Hareketli sistemin verimi sabit sisteme göre çok daha yüksek elde edilmiştir.

$$\eta = (P_{\text{çıkış}}/P_{\text{panel}})*100$$

7 Mayıs 2016 için verim hesapları:

$$n_{1sabit} = (13,8 / 70) * 100 = \%19,7$$

$$n_{1hareketli} = (18,52 / 70) * 100 = \%26,45$$

12 Mayıs 2016 için verim hesapları:

$$n_{2sabit} = (26,55 / 70) * 100 = \%37,9$$

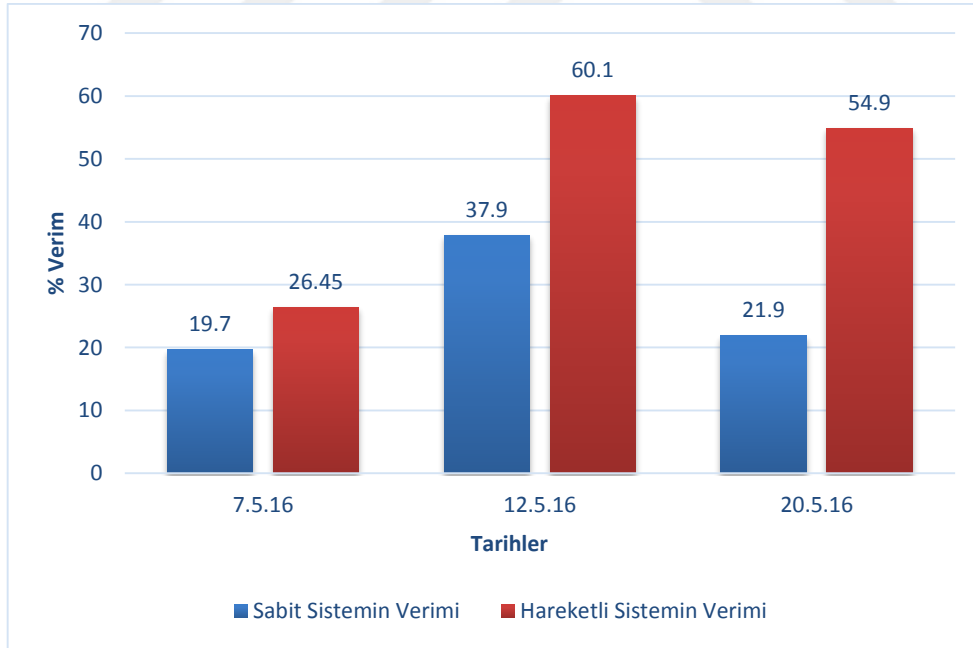
$$n_{2hareketli} = (42,36 / 70) * 100 = \%60,1$$

20 Mayıs 2016 için verim hesapları:

$$n_{3sabit} = (15,35 / 70) * 100 = \%21,9$$

$$n_{3hareketli} = (38,44 / 70) * 100 = \%54,9$$

Sabit sistem için bulunan verim değerleri ile hareketli sistem için bulunan verim değerleri, kendi aralarında ortalamaları alınarak karşılaştırmalar yapıldığında, hareketli sistemin sabit sisteme göre ortalama %47 daha verimli olduğu görülmüştür.



Şekil 2.32. Verim hesabının her iki sistem için karşılaştırılması

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 70 W'lık kuzey yönünde 45 derece sabit açıyla konumlandırılmış güneş paneli ölçümleri ile güneş açılarına göre konum takibi yapan ve yine 70 W'lık panelin çıkış güçleri bulunarak verim hesabı karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca panele güneş açıları doğrultusunda uygun konum sağlamak ve ilgili hesaplamalar sayesinde kronolojik takip yapmak başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır.

Hareketli kısım güneşi 90 derece takip etmiş olup, sabit sistemle karşılaştırılmaları ve sistem analizi, 7, 12 ve 20 Mayıs 2016 tarihlerinde alınan sonuçlar doğrultusunda yapılmıştır.

Verilen günlerde ve belirli saatlerde panelden elde edilen verimlilik sabit sistem için sırasıyla %19,7, %37,9 ve %21,9 iken aynı zaman diliminde hareketli sistem için %26,45, %60,1 ve %54,9 olarak elde edilmiştir.

Hareketli sistem sabit sisteme göre daha maliyetli olsa da güç açısından karşılaştırıldığında sabit sisteme göre ortalama %47 daha verimli olduğu görülmüştür. Güç ve maliyet birlikte düşünüldüğünde, hareketli sistemi kullanmanın daha avantajlı olduğu görülmektedir.

4. ÖNERİLER

Tasarlanan sistemde güneş açılarına göre panelin hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Güneş ışınım değerleri belli olduğundan sistemin hangi bölgeler için daha etkili olacağı bulunup, o bölgedeki konum verileri doğrultusunda sistem tasarlanabilir.

Işınım ve sıcaklık parametreleri güneş pillerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu değerlerin güneş takip sistemlerindeki etkileri göz önüne alınarak daha verimli sistemler tasarlanabilir.

Güneş takip sistemlerini kullanırken sistemlere entegre edilen ek güç harcayan elemanlar optimum güç tüketimi göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Böylece sistemden daha fazla verim alınabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Samimi, J. ve Soleimani, E.A., Optimal Sizing Of Photovoltaic Systems In Varied Climates, Elsevier. Solar Energy, 60, 2, (1997) 97-107.
2. Sharma, P. ve Mahotra, N., Solar Tracking System using Microcontroller, Proceeding of 2014 1st International Conference on Non Conventional Energy,78 (2014) 77-79.
3. Haryanti, M., Abdul, H. ve Arbai, Development of Two Axis Solar Tracking Using Five Photodiodes, Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), 80, (2014) 40–44.
4. Sangamesh, M., Kalyani, B. ve Ravi, N., Designing of Dual-axis Solar Tracking System with Remote Monitoring, International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), 10, (2015) 1524–1527.
5. Mahmudul, H., An Accurate and Efficient Solar Tracking System Using Image Processing and LDR Sensor, Proceedings of International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 91, (2015) 522–527.
6. Mahmudul, H. ve Sahananda, S., Study and analysis of existing solar PV sytem in urban area of Bangladesh, International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE),_11, (2014) 317–320.
7. Anusha, K. ve Reddy, S.C., Design and Development of Real Time Clock based efficient Solar Tracking System, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) 3, 9 (2009) 1219-1223.
8. Soumen G. ve Nilotpal H., Solar Tracking System using AT89C51 Microcontroller and LDR, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4, 12, (2014) 403-407.
9. Rizk, J., Hellany, A. ve Light Sensors for Solar Trackers, Recent Researchers in Environment, Energy Planning Seminar, 2, (2011) 176-181.
10. Rizk J. ve Chaiko, Y., Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels, in Proc. World Academy of Science Engineering and Technology, 88 (2008) 2-3.
11. Siva, S. ve Suryana, K., Automatic Dual Axis Sun Tracking System using LDR Sensor, International Journal of Current Engineering and Technology Conference, 4, 5, (2014) 3214-3217.
12. Choi, J., Kim, D. ve Park, K., Design of Fuzzy Controller based on PC for Solar Tracking System, International Conference on Smart Manufacturing Application, 87, 9, (2008) 508-513.

13. Othman, N. ve Manan, M., Performance Analysis of Dual-axis Solar Tracking System, 2013 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, 4, 91 (2013) 370-375.
14. Mounir, L. ve Hamid, E., Solar Tracking Systems for solar concentrator field of heliostats – Innovation, Performance and adaptation to small – scale applications, International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) 102, 6 (2014) 175–180.
15. Joshua, D., Jipin, T. ve Divya, P., WSN based Tracking for a Concentrating Solar Thermal Energy System, 1.st IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) 4, 1 (2013) 203-207.
16. Park I.G., Development of Player-owned Golf GPS System Powered by Solar Cell, Computer Science and Convergence Information Technology (ICCIT), 3, 3 (2010) 893-896.
17. Anita, K., Efficient Vertical Dual Axis Solar Tracking System, International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems CIICS, (2016) 1-4.
18. Abir, A. ve Ishaque, M., Towards a Novel Sensorless Dual Axis Solar Tracking Algorithm for Bangladeshi PV Modules, 17th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), (2014) 102-104.
19. Li, C. ve Abiera M., Optimization of Solar Panel with Solar Tracking and Data Logging, IEEE Student Conference on Research and Development, December (2013) 15-19.
20. Zhan, T. ve Lin, W., Design and Implementation of Dual-axis Solar Tracking System IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference, 10, 46 (2013) 276-277.
21. Anish, M., Design and Performance Analysis of Automated two-axis Solar Tracking System for Steam Generation, Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), April (2013) 432-437.
22. Te-Jen, S. ve Chien, L., Solar Tracking Control System based on a hybrid BFO/PSO, IEEE 2nd International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE), February (2013) 482-485.
23. Xiadong, Z., Research on Intelligent Solar Tracking System Based on LPC2131, 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, September (2012) 429-432.
24. Alexander, S., Sladjana, S. ve Ferid, S., Microcontroller based Solar Tracking System, 9th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable, Broadcasting Services, October (2009) 518-521.

25. Nader, B., Implementation of a Prototype for a Traditional Solar Tracking System, Third UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation, 62, 3, (2009) 23-30.
26. Khan, M. ve Tanzil, S., Design and Construction of an Automatic Solar Tracking, 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE), December (2010) 326-329.
27. Zolkapli, M., High Efficiency Dual-Axis Solar Tracking Development using Arduino, International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment (TIMEE), June (2013) 43-47.
28. Ahmed, A. ve Amer, A., A PV Solar Tracking System: Design Implementation and Algorithm Evaluation, 5th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), April (2014) 1-6.
29. Fengtao, Z., Research of Solar Tracking Controller based on the STC12C5A32S2, IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications, 8, 14 (2014) 1049-1051.
30. Omar, T., Programmable Lojic Controller Based Design and Implementation of Multiple Axes Solar Tracking System, The First International Conference of Electrical, Communication, Computer, Power and Control Engineering, December (2013) 488-492.
31. Wang, C. ve Chang, W., Design of a DSP-based biaxial Solar Tracking System, 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS), Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS),_December (2014) 892-895.
32. Ersan, K., Yasin, K. ve Ayberk, C., A Single-Axis Solar Tracking System and Monitoring Software, 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), June (2015) 17-22.
33. Tao, Y. ve Guo, W., Study on Tracking Strategy of Automatic Sun-tracking System based on CPV Generation, International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, (2010) 506-509.
34. Sidek, M. ve Hasan, W., GPS based Portable Dual-Axis Solar Tracking System Using Astronomical Equation, IEEE International Conference Power and Energy (PECON) 5, 14 (2014) 245-249.
35. Weibo L. Sun Tracker: Design Build and Test, IEEE 81st Vehicular Technology Conference, May (2015) 1-5.
36. Kentli, F.ve Yılmaz, M., Fotovoltaik Panellerin Güç Artırımında Kullanılan Yöntemler, 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Mayıs 2013, Diyarbakır, 42-49.

37. Oparaku, O., Assesment of the Cost Effectiveness of Photovoltaic System For Telecommunications in Nigeria, Taylor and Francis.Int.J.of Solar Energy, 22, 123-129.
38. Theodoros, P., A Power Sensing Circuit for Solar Cells MPP Tracking, Conference on Design of Circuits and Integrated Circuits (DCIS), Nov. (2014) 1-6.
39. Karanjkar, D.S., Development of Linear Quadratic Regulator Based PI Controller for Maximum Power Point Tracking in Solar Photovoltaic System, Recent Advances in Engineering and Computational Sciences, March (2014) 1-6.
40. Fıratoğlu, Z.A. ve Yeşilata, B., Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 1 (2003) 147-158.
41. Altın, V., Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması, Bilim ve Teknik Dergisi, (2006) 463.
42. Altaş, İ.H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik – 3e Dergisi, 47 (1998) 66-71.
43. Veerachary, M., Senjyu, T. ve Uezato, K., Neural Network-Based Feedforward Maximum Power Point Tracking Control For IDB Converter-Supplied PV System, Taylor and Francis, Int.J.of Solar Energy, 89, 5, (2003) 403-420.
44. Veerachary, M., Senjyu, T. ve Uezato, K., Neural Network-Based Feedforward Maximum Power Point Tracking Control For IDB Converter-Supplied PV System, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic, 38, I (2014) 262-269.
45. Rausehenbach, H.S., Solar Cell Array Design Handbook: Power Sensing, The Principles And Technology Of Photovoltaic Energy Conversion. New York, (1980) 17-132.
46. Master, E., Güneş Panelleri İçin Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 2012, 15-100.
47. Öztürk, H., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2008.
48. Beckman William A. ve Duffle John A., Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY and SONS, INC, Canada, 1991, 888.
49. Altınbaş, O., Mikrodenetleyiciler ve PIC programlama. İstanbul: Altaş Yayınevi, 2000.
50. Dinçer, G., PIC Mikrokontrolör Uygulama Devreleri. İstanbul: Era Bilgi Sistemleri Yayınevi, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Merve AYDIN, 1990 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Trabzon'un Akçaabat ilçesinde tamamlamış olup, 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı sene Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektrik Makinaları dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

