

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOORDİNAT TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

Zeki İLCİHAN

EYLÜL 2019

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOORDİNAT TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

Hazırlayan
Zeki İLCİHAN

Danışman
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Doç. Dr. Mehmet Nuri ALMALI
Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

EYLÜL 2019

ONAY

Zeki İLCİHAN tarafından hazırlanan “**Koordinat Tabanlı Güneş Takip Sistemi Tasarımı**” adlı tez çalışması 18/09/2019 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

(Başkan),(Danışman)

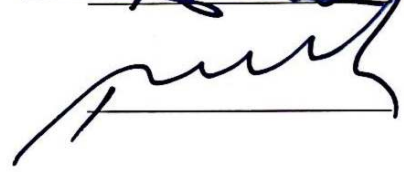
Doç. Dr. Mehmet Nuri ALMALI

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 25/12/2019 gün ve 53/94 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK

Enstitü Müdür V.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Koordinat Tabanlı Güneş Takip Sistemi Tasarımı**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim.
16/10/2019.


Zeki İLCİHAN

ÖZET

KOORDİNAT TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

Zeki İLCİHAN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Eylül 2019, 107 sayfa

Yaşadığımız çağda insan nüfusunun sürekli artması ve teknolojinin hızlı bir gelişim göstermesi kullanılan enerji miktarının da devamlı olarak artmasına sebep olmaktadır. Dünyada fosil yakıtların rezervlerinin azalması ve çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı, elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

YEK kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemlerinin başında fotovoltaik (FV) paneller gelmektedir. FV panellerin verimlerinin arttırılmasına yönelik çalışmaların çoğu FV hücrenin kimyasal yapısı ile ilgili olmuştur. FV panelin üzerine düşen güneş ışınımının, FV panel tarafından ne kadar elektrik enerjisi ürettiğine etki eden diğer bir faktör ise güneş ışınlarının FV panel yüzeyi ile yaptığı açıdır. Bu açı değeri ne kadar dik olursa FV panelin ürettiği elektrik enerjisi o kadar yüksek olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, güneş takip sistemlerinin (GTS) FV panellerin kazançlarına etkisinden bahsedilmiş olup, GTS çeşitleri detaylı olarak anlatılmıştır. GTS'lerin birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Koordinat tabanlı güneş takip sistemi (KTGTS) tasarlanabilmesi için gerekli olan güneş açıları ile ilgili bilgiler ve hesaplamalar verilmiştir. Bu bilgiler ışığında bir GPS modül, manyetik (pusula) ve ivmeölçer kullanılarak, gerekli olan açı bilgileri elde edilmiş olup, bu bilgiler geliştirilen bir yazılım ile Arduino Mega2560 mikrodenetleyicisi kullanılarak çift eksenli KTGTS tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem sabit açılı sistem ile karşılaştırılması yapılarak, %33-38 oranında kazancının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistemler, Güneş Takip Sistemi, Güneş Açılımları.

ABSTRACT

COORDINATE BASED SOLAR TRACKING SYSTEM DESIGN

Zeki İLCİHAN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

September 2019, 107 pages

Continuous the increase in human population in our age and with the rapid development of technology cause the amount of energy used to increase continuously. Due to the decrease in the reserves of fossil fuels in the world and the negative effects on the environment, the use of renewable energy sources (RES) in the production of electricity is increasing day by day.

Photovoltaic (PV) panels are the main methods of obtaining electrical energy from solar energy, which is a common one type of RES. Most of the efforts to increase the efficiency of PV panels have been related to the chemical structure of the PV cell. Another factor affecting how much electrical energy is generated by the solar panel once falling lights on the PV panel surface is the angle of solar rays. If the angle of solar rays is as much as steeper, a higher electrical energy is generated by the PV panel.

In this thesis, the effect of solar tracking systems (GTS) on the gains of PV panels is discussed. Also, conventional GTS types are explained in detail and they are compared with each other. A coordinate based solar tracking system (KTGTS) is proposed in this thesis. The proposed system needs some information and calculations for the solar angles. In order to obtain the solar angles, a GPS module, a magnetic compass and an accelerometer are used. These obtained the solar angles are used in an Arduino Mega2560 microcontroller to develop a program for desing a dual axis KTGTS. As compared to conventional fixed angle tracking system, the proposed tracking system enhances the gain by 33%-38%.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic System, Solar Tracking Systems, Solar Angles

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ'ye mekanik sistemin çizimlerini yapan Öğr. Gör. Emin EL'e, donanım ve yazılım alanında istişaresini eksik etmeyen sevgili dostum Abdullah Demirci'ye teşekkür ederim.



ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynakları teknolojinin gelişimi, fosil yakıtların azalması ve çevre kirliliği sebep olmasından dolayı, önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan güneş enerjisinden direk olarak elektrik enerjisi elde etmede fotovoltaik (FV) adı verilen güneş panelleri kullanılmaktadır. FV panellerin üretim maliyetlerinin azalması, elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisi kullanımının son yıllarda artmasına neden olmuştur.

FV panellerin en önemli dezavantajı güneşin mevsimler ve gün içinde geliş açısının sürekli değişmesidir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için güneş takip sistemleri geliştirilmiştir. GTS'ler ile FV panele güneşlenme süresi boyunca güneş ışınların dik bir açı ile gelmesi sağlanmaktadır. Bu sayede FV panel kazancı artırılmaktadır.

Optik algılayıcı kullanılan GTS'lerin en önemli dezavantajı ise gün içinde oluşan gölgelenme etkisi ve algılayıcıların kirlenmesinden dolayı oluşan değer farklılıkları sistemin düzgün çalışmayarak güneşi takip etmemesine neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla optik algılayıcı kullanılmayan koordinat verileri ile otonom olarak güneşi takip eden koordinat tabanlı bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu KTGTS'nin verimi gölge boyu yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bir başka deneysel çalışma olarak sabit eğimli sistem ile karşılaştırılarak güç analizi yapılmıştır.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
1.1.1. Biyoyakıt Enerjisi	5
1.1.2. Hidrojen Enerjisi.....	6
1.1.3. Hidroelektrik Enerjisi.....	7
1.1.4. Rüzgâr Enerjisi	7
1.1.5. Jeotermal Enerjisi	8
1.1.6. Gel-Git (dalga) Enerjisi.....	9
1.1.7. Güneş Enerjisi.....	9
1.2. Fotovoltaik Yapı	12
1.2.1. Fotovoltaik Hücrenin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	14
1.2.2. Fotovoltaik Hücrenin Modellenmesi	15
1.2.3. Fotovoltaik Hücrenin Akım-Gerilim ve Güç Özellikleri	17
1.2.4. Fotovoltaik Yapıda Verim (η).....	19
1.2.5. Maksimum Güç Noktası (MPP)	19
1.2.6. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	20
1.2.6.1. Tek Kristalli Silisyum (m-Si)	20
1.2.6.2. Çok Kristalli Silisyum (p-Si).....	20
1.2.6.3. Galyum Arsenit (GaAs)	21
1.2.6.4. Amorf silisyum (a-Si)	22
1.2.6.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe).....	22
1.2.6.6. Bakır İndiyum Diselenoid (CIS).....	22
1.2.6.7. Nano kristal (boyalı hücreler).....	23
1.2.7. Fotovoltaik Hücrelerin Karşılaştırılması	23
1.3. Fotovoltaik Sistemler	24

1.3.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler (On-Grid)	24
1.3.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid)	24
1.4. Fotovoltaik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları	25
1.4.1. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları	25
1.4.2. Fotovoltaik Sistemlerin Dezavantajları	26
1.5. Güneş Takip Sistemleri	26
1.5.1. Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması	27
1.5.1.1. Eksen Yapısına Göre	27
1.5.1.1.1. Tek Eksen Kontrollü	28
1.5.1.1.2. Çift Eksen Kontrollü	29
1.5.1.2. Kontrol Yapısına Göre	30
1.5.1.2.1. Pasif Güneş Takip Sistemleri	30
1.5.1.2.2. Aktif Güneş Takip Sistemleri	32
1.5.1.2.2.1. Aktif Algılayıcı Tabanlı Sistemler	33
1.5.1.2.2.1.1. Harici İki Taraflı FV Tabanlı Sistemler	33
1.5.1.2.2.1.2. Elektro-Optik Tabanlı Sistemler	34
1.5.1.2.2.2. Koordinat Tabanlı Sistemler	36
1.5.2. Güneş Takip Sistemlerinin Karşılaştırılması	36
1.5.3. Güneş Takip Sistemlerinin FV Hücre Kazancına Etkisi	37
1.6. Güneş Açılarları	39
1.6.1. Ana Güneş Açılarları	39
1.6.1.1. Enlem Açısı (ϕ)	40
1.6.1.2. Saat Açısı (ω)	40
1.6.1.3. Deklinasyon Açısı (δ)	41
1.6.2. Türetilen Güneş Açılarları	43
1.6.2.1. Güneş Geliş Açısı (θ)	43
1.6.2.2. Yüzey Azimut Açısı (γ)	43
1.6.2.3. Zenit Açısı (θ_z)	43
1.6.2.4. Güneş Yükseklik Açısı (α_s)	44
1.6.2.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)	45
1.6.2.6. Eğim Açısı (β)	45
1.6.3. Güneş Açısı Hesaplamaları	46
1.6.3.1. Güneş Geliş ve Zenit Açısı Hesaplamaları	46
1.6.3.2. Güneş Azimut Açısının Hesaplanması	47
1.6.3.3. Güneşin Doğuş ve Batış Açılarının Hesaplanması	50
1.6.3.4. Güneşin Gün Uzunluğu ve Doğuş-Batış Zamanının Hesaplanması	50
1.6.3.5. Takip Sistemli Yüzeyler İçin Açılar	51

1.6.4. Farklı Yaklaşımlar ile Hesaplanan Güneş Açısı Hesaplamalarının Karşılaştırılması	53
1.6.5. PSA (La Plataforma Solar de Almeria) Güneş Konum Algoritması	55
2. MATERYAL VE YÖNTEM	60
2.1. Materyal	60
2.1.1. Mekanik Sistemin Tasarlanması.....	60
2.1.2. Elektriksel Donanım Parçaları.....	67
2.1.2.1. Güneş paneli	67
2.1.2.2. Düşey ve Yatay hareket motorları	68
2.1.2.3. LSM303 Pusula ve İvme Modülü.....	69
2.1.2.4. L298 Motor Sürücü.....	70
2.1.2.5. GPS Modül.....	71
2.1.2.6. LCD Keypad Modül	72
2.1.2.7. Arduino Mega 2560	73
2.2. Yöntem.....	75
2.2.1. KTGTS Tasarımında İzlenecek Yol	75
2.2.2. Yazılım.....	77
2.2.2.1. Ana Programa Ait Akış Diyagramı	78
2.2.2.2. Başlangıç Ayarlarına Ait Akış Diyagramı	79
2.2.2.3. GPS Modülüne Ait Akış Diyagramı	80
2.2.2.4. Güneş Açısı Konumunun Hesaplanmasına Ait Akış Diyagramı.....	81
2.2.2.5. Panelin Düşey ve Yatay Konum Bilgisinin Hesaplanmasına Ait Akış Diyagramı	82
2.2.2.6. Motor Kontrol hareketine Ait Akış Diyagramı	83
2.2.2.7. LCD Ekran Ait Akış Diyagramı.....	84
2.2.3. KTGTS Kontrol Devresi	86
2.3. Tasarlanan Veri kaydedicisi	87
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	88
3.1. KTGTS ile Sabit Eğimli Sistemin Karşılaştırılması	88
3.2. KTGTS'nin Gölge Boyu ile Veriminin Hesaplanması	91
4. SONUÇ	94
5. KAYNAKLAR	95
6. EKLER	100
EK 1.	100
EK 2.	100
EK 3.	103
ÖZGEÇMİŞ	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi	11
1.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	12
1.3. Farklı FV hücrelerin karakteristik değerleri	18
1.4. Farklı FV hücrelerinin 1kWp için gerekli alanlarının karşılaştırılması	23
1.5. Her ayın 1'i için ölçülen ve hesaplanan deklinasyon açısı değerleri	42
1.6. Bilim insanlarının hesapladıkları güneş parametreleri	54
1.7. 1990-2005 yılları arasında farklı algoritma ve hesaplamaların performansları.....	54
1.8. 1990-2005 PSA algoritması ile Michalsky algoritmasının karşılaştırılması	55
2.1. FV panel teknik özellikleri	68
2.2. Düşey ve Yatay hareket motorlarının teknik özellikleri	69
2.3. L298 modül pinleri ve görevleri	71
2.4. Arduinio Mega2560 teknik özellikleri	74
3.1. KTGTS verim değerleri	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

SEKİL

Sayfa

1.1. 2006-2030 yılları arası öngörülen dünya üzerindeki enerji görünümü	5
1.2. 2007-2019 biyodizel kullanım oranları (2019 yılı biyodizel sanayi derneği tah.)	6
1.3. Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası.....	9
1.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	11
1.5. Farklı FV maddelerin verimleri ve bant aralıkları	13
1.6. FV hücrenin yapısı ve çalışma prensibi	14
1.7. İdeal FV hücrenin eşdeğer devresi.....	15
1.8. Pratikte kullanılan FV hücrenin eşdeğer devresi	16
1.9. FV hücrenin akım-gerilim eğrisi.....	17
1.10. FV hücrenin Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim özellikleri.....	18
1.11. Tek kristal FV hücre.....	20
1.12. Çok kristal yapıli FV hücre.....	21
1.13. GaAs yapıli FV hücre.....	21
1.14. Bakır indiyum diselenid FV hücre	22
1.15. Şebeke bağlantılı sistem için örnek bağlantı düzeneği.....	24
1.16. Şebekeden bağımsız sistem için örnek bağlantı düzeneği.....	25
1.17. Güneşin mevsimlere göre hareketi.....	26
1.18. FV panel yüzeyine düşen ışı nım	27
1.19. Farklı konfigürasyona sahip tek eksen takip sistemleri, (a)TSAT, (b)HSAT,(c)VSAT	28
1.20. Farklı konfigürasyona sahip çift eksen takip sistemleri,(a)TTDAT,(b)HDAT,(c)AADAT	29
1.21. Yer çekimi kullanan sistemlere örnek uygulama	30
1.22. Pasif takip sisteminin çalışma prensibi	31
1.23. Deneyde kullanılan solar kurutucu.....	32
1.24. İki taraflı FV hücre	33
1.25. Tasarlanan harici iki taraflı FV tabanlı GTS	34
1.26. Algılayıcı montaj çeşitleri.....	34
1.27. FV panel üzerine yönlendirici montaj şeklinde yerleştirilen algılayıcı düzeneği.....	35
1.28. Algılayıcı kullanılan çift eksen takip sistemi blok şeması	35
1.29. Yapılan çalışmanın akım, gerilim ve güç eğrileri	37
1.30. Enlem: 39°45'N Boylam:102°52'W Denver CO şehrinin aylara göre günlük güneş ışı nımını kWh/m ² (Panel açısı = Enlem açısı)	38

1.31. Enlem: 37°49'S Boylam: 144°58'E Avustralya-Melbourne şehrinin aylara göre günlük güneş ışınlamı kWh/m ² (Panel açısı = Enlem açısı)	38
1.32. Enlem (ϕ), saat (ω) ve deklinasyon (δ) açılarının görünümü	40
1.33. Saat açısının gün içerisindeki değişimi	41
1.34. Deklinasyon açısının yıllık değişimi	41
1.35. Zenit, açısının yaz ve kış mevsimlerindeki görünümü	44
1.36. Zenit açısı ile güneş yükseklik açısının görünümü	44
1.37. Zenit, güneş azimut ve güneş yükseklik açısı	45
1.38. Yatay düzlemdeki panel eğim açısı	45
1.39. Kuzey yarımkürede olup güneye yönlendirilmiş bir yüzey için oluşan açılar dünya yüzeyindeki görünüşü	48
1.40. Whillier (1965) gün uzunluğu ve güneşin batış zamanını gösteren cetvel	51
1.41. Ekliptik koordinat sistemi ve açıları	57
2.1. KTGTS'nin üç boyutlu katı model resmi	60
2.2. Tam gövde montaj resmi	61
2.3. Düşey hareket motoru taşıyıcısı	62
2.4. Düşey hareket motoru mili	63
2.5. Üst gövde	63
2.6. Üst gövde azimut motoru ve düşey hareket milinin rulmanının eklenmiş hali	64
2.7. Alt gövde (sehpa)	64
2.8. Mekanik tasarım montaj resimleri	65
2.9. Mekanik tasarım montaj resimleri	66
2.10. Elektriksel blok şeması	67
2.11. FV panel	67
2.12. (a) Düşey hareket motoru, (b) Yatay hareket motoru	68
2.13. LMS303 pusula ve ivme modülü	69
2.14. LMS303 pusula ve ivme modülü iç yapısına ait devre şeması	70
2.15. L298 DC motor sürücü modülü	70
2.16. GPS modülü	72
2.17. GPS modül programı ile alınan bilgiler	72
2.18. LCD keypad	73
2.19. Arduinio Mega2560	74
2.20. Yükseklik ve azimut açısı arasındaki ilişki	75
2.21. Yükseklik ve azimut açılarını hesaplayan programın simülasyon çıktısı	76

2.22. Pusula programının simülasyon çıktısı.....	77
2.23. Ana programa ait akış diyagramı	79
2.24. Başlangıç ayarları akış diyagramı	79
2.25. GPS modüle ait akış diyagramı.....	80
2.26. Güneşin açısal konumunun hesaplanmasına ait akış diyagramı	81
2.27. Panelin düşey ve yatay konum bilgisinin hesaplanmasına ait akış diyagramı	82
2.28. Düşey motora ait akış diyagramı	83
2.29. Yatay motora ait akış diyagramı	84
2.30. LCD ekrana ait akış diyagramı	85
2.31. KTGTS kontrol devresi	86
2.32. Deneyde kullanılan veri kaydedicisi	87
3.1. Sabit eğimli sistem ile KTGTS deney düzeneği.....	88
3.2. Kontrol ünitesinin görünümü.....	88
3.3. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin gerilim grafiği.....	89
3.4. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin akım grafiği	89
3.5. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin güç grafiği	90
3.6. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin gerilim grafiği.....	90
3.7. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin akım grafiği	91
3.8. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin güç grafiği	91
3.9. (a) Çubuk ile gölge arasındaki açı (θ), (b) Deney düzeneği	92

SİMGELER DİZİNİ

I_{FV}	FV hücre akımı
I_0	Sızıntı akımı
I_D	Diyot akımı
q	Elektronun elektrik yükü
k	Boltzman sabiti
T	Sıcaklık
V_{OC}	Açık devre gerilimi
I_{SC}	Kısa devre akımı
P_{MP}	Maksimum güç değeri
R_S	Diyota bağlı seri direnç
R_{SH}	Şönt direnç
P_{in}	Hücreye gelen ışınım gücü
$\emptyset$	Enlem açısı
ω	Saat açısı
δ	Deklinaşyon açısı
θ	Güneş geliş açısı
θ_Z	Zenit açısı
γ	Yüzey azimut açısı
α_S	Güneş yükseklik açısı
γ_S	Güneş azimut açısı
β	Panel eğim açısı
Jd	Julian günü denklemi
n	Gün saati denklemi
L	Ortalama boylam denklemi
g	Ortalama anormalik güneş denklemi
l	Ekliptik boylam denklemi
ep	Ekliptik eğrisi denklemi
ra	Doğru yükseklik derecesi
$gmst$	Greenwich'e göre ortalama sideral zaman denklemi
$lmst$	Yerel'e göre ortalama sideral zaman denklemi

KISALTMALAR DİZİNİ

FV	Fotovoltaik
GTS	Güneş takip sistemi
KTGTS	Koordinat tabanlı güneş takip sistemi
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
GPS	Global positioning system – Küresel konumlama sistemi
PLC	Programmable logic controller – Programlanabilir mantıksal denetleyici
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
DSP	Dijital sinyal izleme
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
RES	Rüzgâr enerji santrali
GEPA	Güneş enerjisi potansiyeli haritası
EİE	Elektrik işleri etüt idaresi
MOCVD	Metal organik kimyasal buhar depo tortusu
FF	Dolgu faktörü
MPP	Maksimum güç noktası
m-Si	Tek kristalli hücre
p-Si	Çok kristalli hücre
GaAs	Galyum arsenit
CdTe	Kadmiyum tellürid
CIS	Bakır indiyum diselenid
Off-grid	Şebekeden bağımsız
On-grid	Şebekeye bağımlı
TSAT	Eğik tek eksen takip
HSAT	Yatay tek eksen takip
VSAT	Dikey tek eksen takip
TTDAT	Kutup eğimli çift eksen takip
HDAT	Yatay çift eksen takip
AADAT	Azimet yüksekli çift eksen takip
LDR	Foto direnç
RTC	Real time clock
NREL	ABD ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı

PSA	La plataforma solar de almeria
CIEMAT	Centre for energy enviroment and technology research
IMU	Inertial mensurement unit
UART	Donanimsal seri port
ASCII	American standart code for information interchange



1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ve dünya nüfusunun sürekli artmasından dolayı, dünyada kullanılan enerji miktarı da sürekli artmaktadır. Artan bu enerji talebine karşı yeryüzünde rezerv kapasitesi azalmakta olan, çevre kirliliği ve küresel ısınmaya sebebiyet veren petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarla uzun süre karşılamak pek mümkün olmadığından dolayı bilim insanlarını yeni enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapmaya sevk etmektedir [1].

Gelecek yüzyılda rezerv kapasitesi azalan ve buna bağlı olarak tükenmesi öngörülen enerji kaynaklarının yerini alacak olan ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Doğal koşullar kullanılarak elde edilen enerji kesintisiz ve süresiz olduğundan diğer enerji kaynaklarına göre daima daha cazip olmaktadır. YEK kullanılarak üretilen enerji ile çevre kirliliği ve küresel ısınmanın da önüne geçilerek gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakılması sağlanabilmektedir. Biyoyakıt enerjisi, hidrojen enerjisi, hidrolik enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, gel-git enerjisi ve güneş enerjisi başlıkları altında YEK kaynaklarını sıralayabiliriz.

Dünyada 2018 yılı içerisinde üretilen elektrik enerjisinin %73,5 yenilenebilir olmayan kaynaklardan, %26,5 ise yenilenebilir enerji kaynaklarındandır [2]. Bu duruma ülkemiz açısından baktığımızda, 2018 yılında elektrik üretiminin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğalgazdan, %19,8'i hidrolik kaynaklardan, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneş enerjisinden, %2,5'inin jeotermal kaynaklardan ve %1,4'ünün yenilenebilir atık, atık sular ve sıvı yakıtlardan karşılandığı görülmektedir [3]. Bu verileri bakıldığında da ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin ağırlıklı (%67,5) olarak sıvı yakıtlar, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlar karşılamakta olduğumuz görülmektedir. Bu ülkemiz açısından büyük bir sorun olmaktadır çünkü fosil yakıtlarının temininde büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülke konumunda olup her yıl milyarlarca dolar dış ülkelere elektrik enerjisi temin edebilmek için harcanmaktadır.

Ülkemiz için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri güneş enerjisidir. Güneş insanlık tarihi boyunca toplumlarda, her zaman en üst seviyede önemsenmiş ve güneşin yeryüzüne verdiği enerjinin insanlık hayatının devam edebilmesi olmazsa olmaz olduğu bu yüzden güneşin yaşam demek olduğu her toplum tarafından kabul edilmiştir. Diğer enerji kaynakları ile güneş enerjisinin arasındaki en önemli fark güneş enerjisinin temiz ve hiçbir şekilde çevresel kirliliğe sebebiyet vermeden elde edilmesidir.

Güneş enerjisinden faydalanılma ilk başlarda, güneşin ısıtma özelliğinden yararlanılarak, giysilerin kurutulması ve sıcak su elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Güneş enerjisinden direk olarak elektrik enerjisi elde etme ise yarı iletken teknolojinin gelişimi ile geliştirilen fotovoltaik

(FV) hücre yapısı vasıtasıyla sağlanmaktadır. FV hücre teknolojisi ile güneş enerjisi, elektrik enerjisi kaynaklarından biri haline gelmiştir [4].

FV panellerde elektrik enerjisi üretimi maliyetlerin yüksek olmasından dolayı FV panellerde elektrik enerjisi üretim kazançlarının arttırılmasına yönelik çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerin en önde olanları ise güneş takip sistemleri, soğutma sistemleri ve gölgelenme etkisinin azaltılması şeklinde sıralanabilir [4].

Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için FV panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, FV panelde güneşlenme süresi en yüksek seviyede olur [4,5].

Abdallah vd. [6], Ürdün için, Siemens PLC LOGO ünitesini kullanarak çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Takip sistemini güneşlenme süresini 4 eşit zamana ayırarak, hesaplanan zenit ve azimut açılarına göre step motorları hareket ettirmektedir.

Huang vd. [7], mikrodenetleyici ve DC motorlar kullanılan iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlar. Gerçekleştirilen bu sistemde bulanık mantık ve yapay sinir ağları kullanarak, sistemin otomatik olarak çalışmasını sağlamışlardır.

Bilgin [8], güneş takip sistemi tasarımı gerçekleştirilmesi adlı yüksek lisans tez çalışmasında, FV malzemelerin karakteristiklerini inceleyerek bir iki eksenli güneş takip sistemi tasarımı yapmıştır. Yaptığı ölçümler ile güneş takip sisteminin sabit açılı sisteme göre %30 civarında verim kazanç artışı gözlemlenmiştir.

Tomson [9], tek eksenli bir güneş takip sistemi tasarlayarak sabit panel ile karşılaştırılmasını yaparak, hareketli sistemin sabit sisteme göre yaklaşık %20'ye yakın daha verimli olduğunu belirtmiştir.

Berrera vd. [10], yaptıkları bu çalışmada yedi farklı MPPT algoritmasını, iki farklı ışınım değişimi altında inceleyerek karşılaştırmışlar sonuç olarak P&O algoritmasının en yüksek performans gösterdiğini görmüşler P&O algoritmasına en yakı ise IC algoritması olduğunu söylemişler.

Chihchiang vd. [11], yaptıkları çalışmada, maksimum güç noktası izleme tekniklerinin güneş sistemleri için güç uygulamalarında kullanıldığından bahsederek MPPT algoritmasının dijital sinyal işlemci (DSP), temelli kontrolör ve iki algılayıcı kullanıldığında izleme sürecinde güç kayıplarını azalttığından bahsetmişler.

Orhun [12], bu çalışmada üç farklı FV panelleri (monokristal, polikristal ve ince film) sabit ve hareketli sistem üzerinde, değişik güneş algoritmaları kullanarak güneş takip sistemini sabit sistemler ile karşılaştırarak performanslarını gözlemlenmiştir.

Yousif [13], yüksek lisans tezi adı altında yaptığı bu çalışmada, ATmega16L mikro denetleyici, DC motor ve optik algılayıcı kullanarak tasarlamış olduğu iki eksenli güneş takip sistemini sabit sistem ile karşılaştırmıştır. %31,5 oranında güneş takip sisteminin daha verimli olduğunu tespit etmiştir.

Marinescu vd. [14], yaptıkları iki eksenli güneş takip sisteminde, enlem, boylam, tarih ve saat bilgilerini kullanan bir algoritma gerçekleştirerek hassasiyeti ayarlanabilen bir güneş takip sistemi tasarlamışlar.

Sungur [15], Konya ili içinde yaptığı çalışmada, iki eksenli bir güneş izleyici sistemin kontrolünü PLC ile sağlamıştır, sabit konumlu bir panel ile hareketli paneli bir yıl boyunca karşılaştırarak analiz yapmıştır. Sonuç olarak hareketli sistemin %42,6 daha fazla enerji kazancının olduğunu tespit etmiştir. Panel sayısının artırarak maliyetin daha da düşeceğini söylemiştir.

Uzunok [16], Hatay ilinde yapılan bu çalışmada, güneş takip sistemini sabit açılı sistem ile karşılaştırılması yapılarak %17,07 oranında kazanç tespit etmiştir.

Salah vd. [17], elektromekanik özellikli iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlar. Bu güneş takip sistemini PLC ile açık döngü sistemli olarak kontrolünü sağlamışlar ve bu sistemim 32° eğime sahip bir sabit panel ile karşılaştırıp %41,34 hareketli sistemin daha verimli olduğunu tespit etmişler.

Bükün [18], yüksek lisans tez çalışmasında tek eksenli güneş takip sistemini farklı güneş panelleri kullanarak birbirleri ile karşılaştırmıştır. Yaptığı bu çalışmada sabit eğimli sistemi hareketli sistem ile karşılaştırarak, hareketli sistemin, sabit eğimli sisteme oranla %30-35 oranında daha kazançlı olduğunu tespit etmiştir.

Seme vd. [19], yaptıkları çalışmada iki eksenli güneş takip sistemi tasarlayıp, bu sistemde diferansiyel çevrim ve güneş radyasyonundan yararlanılarak güneş açıları için farklı bir algoritması çalışması gerçekleştirmiştir.

Prinsloo [20], sabit eğimli bir sistem ile PLC kontrolörüne sahip iki eksenli güneş takip sistemini karşılaştırmıştır. Yaptığı ölçümlerle izleyici sistemin sabit eğimli sisteme göre %39,27 oranında kazancının daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Lubitz [21], çalışmasında Amerika'da 217 coğrafi alan için, güneş takip sistemlerinin kazancını araştırmıştır. Sabit eğimli sistem, güneş azimut açısına bağlı tek eksen güneş takip sistemi ve çift eksenli güneş takip sistemlerinin bu 271 farklı bölgede kullanılması ilişkin çalışmaları inceleyerek karşılaştırmıştır. Tek eksenli sistemin sabit eğimli sisteme ortalama %29, çift eksenli sistemin ise sabit eğimli sisteme göre ortalama %34 daha verimi olduğunu belirtmiştir.

Bu tez çalışmasında gün içerisinde açılar ile yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarını FV panel yüzeyine dik gelmesini sağlayan, güneşi gün boyunca takip eden bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. İki eksenli tasarlanan bu güneş takip sisteminin hareketini sağlaması için iki adet düşük devirli DC motor kullanılmıştır. Mikrodenetleyici, GPS'den (global positioning system) koordinat (enlem ve boylam) ve zaman (tarih ve saat) verileri ile elektronik pusula ve ivme ölçerden yön ve açı bilgisini alarak yazdığımız yazılım aracılığı ile sistemin hareket kontrolünü sağlamaktadır. Sistemin doğu-batı ekseninde çalıştırılması ile güneşi gün boyu, kuzey-güney yönünde çalıştırılması ile sistemin güneşi yıl boyu takip etmesi sağlanmıştır.

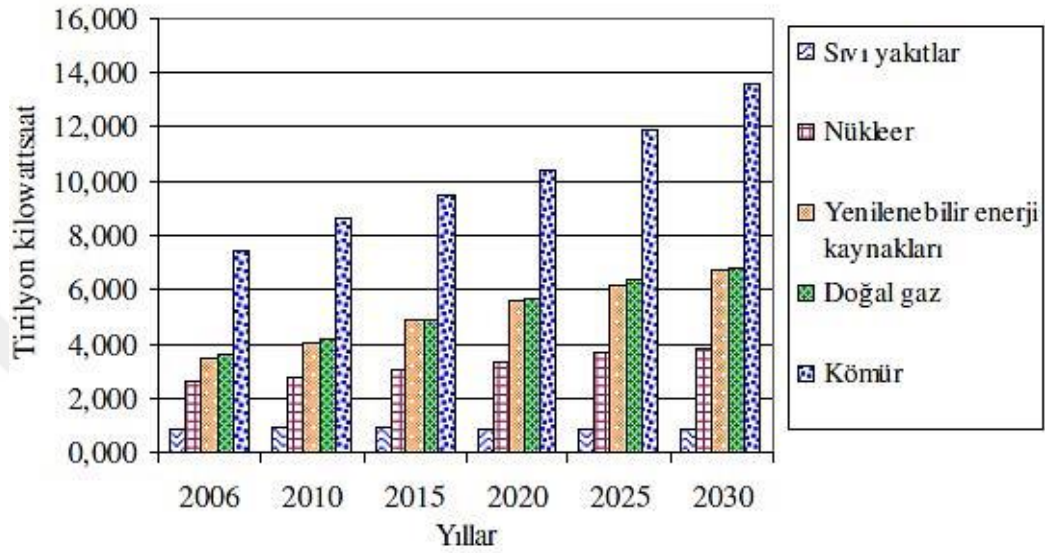
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, adından da anlaşılacağı gibi sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Doğanın kendi çevrimi içerisinde olup daha sonrada mevcut olan bir enerji türüdür. 10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun “Tanımlar ve kısaltmalar” başlıklı üçüncü maddesinin birinci fıkrasının (8) numaralı bendinde, “Yenilenebilir enerji kaynakları kısa adıyla (YEK): Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını,”; yine üçüncü maddenin birinci fıkrasının (11) numaralı bendinde, “Bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynakları: rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal ya da nehir tipi ya da rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarını, ...” ifade etmektedir” şeklinde tanımlanmaktadır [22,23].

Yenilenebilir Enerji kaynaklarını şu şekilde tanımlayabiliriz: Enerji kaynağının, doğal ortamında bulunuyor ve sürdürülebilir olmalı, birim zamanda enerji kaynağında üretilen ve çekilen enerjinin birbirine eşit olmalı, enerji kaynağının oluşumu; Güneş, Dünyanın hareketine (dönüşüne) ve yer çekimine bağlı olmalıdır [22,23].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada hızlı bir gelişim göstererek tüketimindeki artışın yıllık %3'ler seviyesinde olması beklenmektedir. Petrol fiyatlarındaki dalgalanma ve fosil enerji kaynaklarının çevreye olan olumsuz etkisi göz önüne alındığında, dünyanın yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgisi artmıştır. Devletler özel fonlar kurarak enerji yatırımcılarına bu kaynaklara yönelim için teşvikler sunmaktadırlar. Fosil yakıtlar içerisinde bulunan kömür ve doğalgaz elektrik üretiminde en fazla yere sahiptirler. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları hızlı bir şekilde bu fosil yakıtlarını payını azaltmaya çalışmaktadır. Bu alanda yapılan araştırmalara

göre yenilenebilir enerji kaynaklarında 2006 ile 2030 yılları arasında öngörülen ortalama yıllık büyüme artışının %2,9 olması tahmin edilmektedir. Şekil 1.1’de 2006 ile 2030 yılları arasında öngörülen enerji görünümü verilmektedir. Öngörülen büyümenin rüzgâr ve hidroelektrik santrallerinde olması beklenmektedir. Bu dönemde hükümet politikalarının, yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırılmasında önemli rol oynayacağı öngörülmektedir [24,25,26].



Şekil 1.1. 2006-2030 yılları arası öngörülen dünya üzerindeki enerji görünümü [24]

1.1.1. Biyoyakıt Enerjisi

Biyoyakıt, içeriklerinin hacim olarak en az %80’i son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde edilmiş, her türlü yakıt olarak tanımlanabilir. Biyoetanol, biyogaz, biyodizel ve biokütle olarak değerlendirilebilir [23].

Biyodizel, soya, ayçiçeği, aspir ve kanola gibi yağlı tohumlu yapıya sahip bitkilerinden elde edilen bitkisel içerikli yağlar veya hayvansal yağlar kullanılarak üretilen bir yakıt türüdür, bu sebeple biyodizel petrol içermez, fakat petrol kökenli dizellerle karıştırılarak yakıt olarak kullanılır. Biyodizel bitkisel bir ürün olduğu için sera etkisini artırıcı bir etki göstermez [27]. Şekil 1.2’de Türkiye’de 2007-2019 yılları arasında üretilip harmanlanan biyodizel kullanım oranları görünmektedir.



Şekil 1.2. 2007-2019 Biyodizel kullanım oranları (2019 yılı biyodizel sanayi derneği tah.) [28]

Biyoetanol, hammaddesi mısır, nişasta, şeker pancarı, buğday veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin mayalanması ile elde edilen ve belirli oranlarda benzin ile karıştırılarak, kullanılan bir yakıttır [23].

Biyogaz organik yapıya sahip maddelerin (bitkisel, hayvansal, endüstriyel ve evsel atıklar) oksijensiz bir ortamda biyolojik olarak parçalanması (anaerobik fermentasyon) sonucunda ortaya çıkan gazlar, genel olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Bu teknoloji ile organik yapıya sahip atık ve artık olan maddelerden hem enerji elde edilerek kullanılmasına hem de atıkların tekrar doğaya kazandırılmasına imkân sağlamaktadır [27].

Biyoyakıt kullanımının avantajları genel olarak çevre için düşük emisyon değerlerine ulaşılması, tarımsal sektörde ekonomik olarak gelişim ve büyüme diyebiliriz. Biyoyakıtın dezavantajları ise bu enerjinin üretiminin yüksek maliyeti, üretim yöntemindeki yetersizlik ve teknik sorunlar ve uygulamalardaki sınırlamalar yer almaktadır [23,27].

1.1.2. Hidrojen Enerjisi

Evrenin temel enerji kaynaklarından biri olan hidrojen enerjisi, güneş ve yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıt kaynağıdır. Bilinen bütün yakıtlar içerisinde, hidrojen birim kütle başına oranına göre en yüksek enerji kapasitesine sahiptir. 1 kg hidrojen ile bazı yakıtlar ile karşılaştırılması yapıldığında, 2,8 kg petrol ve 2,1 kg doğalgaz eşdeğerinde

enerjiye sahip olduğu görülmekte olup hidrojenin diğ r petrol yak tlarına göre yaklaşık %33 daha verimli olduğu söylenebilir [23].

Yakıt olarak kullanılan hidrojende, yanma sonucunda ortaya su veya su buhar  çıkar, yani diğ r yakıtlar gibi atmosfere zehirli gazlar değıl de su veya su buhar n  verir. Yapılan araştırmalar da günümüz şartlarında diğ r yakıtlar ile hidrojenin maliyetini karşılaştırdığında, hidrojenin üç kat daha maliyetli olduğunu, ancak hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda, hidrojen üretiminde kullanılan teknolojik gelişmeler ile doğru orantılı olarak maliyetinin azalacağı söylenmektedir. Hidrojenin depolanmasında ihtiyaç fazlası olan elektrik enerjisinin kullanılması günümüz şartların da geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir [23,27].

1.1.3. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerji su yardımıyla elde edilir. Suyun kuvvetinden yararlanma bin yıllık bir dönemde su çarkları ile başlamıştır, bu çarklar ile tah lları öğütmek, sulama suyunu dağıtmak için kullanılmaktadır. Günümüzde ise suyun gücünden büyük ölçekli elektrik üretiminde faydalanılmaktadır.

Hidroelektrik enerji, temel mantığı suyun potansiyel enerjisinin, kinetik enerjisine dönüştürülmesiyle sağlanan enerjidir. Belli bir yükseklikten boru vasıtasıyla düşürülen su, türbine getirilerek suyun potansiyel enerjisi türbini çevirerek kinetik enerjiye dolayısıyla türbinin de bağlı olduğu generatörü döndürmesiyle elektrik enerjisine dönüşmektedir. Hidroelektrik enerji dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır [24,26].

1.1.4. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisinden medeniyetler binlerce yıldır faydalanmaktadır. Sümerler M  3500 yıllarında tahıl öğütmeyi kanatları kumaş malzemeden yapılmış yel değirmeni ile gerçekleştirerek rüzgâr enerjisinden yararlanmışlardır. Yel değirmenleri yıllar içerisinde daha geliştirilerek günümüzde kullanılan dikey sistem rüzgâr trib nlerine benzerlikleriyle dikkat çekmektedir. İlk rüzgâr türbini Amerika'nın Cleveland şehrinde 1888 yılında kurulmuş ve elektrik üretiminde kullanılmıştır [23].

Rüzgâr enerji santralleri (RES) temel olarak rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemlerin bakım ve onarım maliyetleri, karmaşık bir yapıya sahip

olmadıkları için azdır, dağlık ve ormanlık alanlarda, kırsal bölgelerde, adalarda deniz bölgelerinde kullanılmaktadırlar [23,26].

Rüzgâr türbinleri kuruldukları arazinin yaklaşık %5'inin kullanılmaz hale getirmektedirler. Türbinlerin kanatları yerden çok yüksekte bulunmaktadır, bu sayede kullanılan arazi tarım veya başka amaçlar için kullanılabilir. Rüzgâr türbinleri rüzgâr olduğu müddetçe (gece ve gündüz) her zaman enerji üretebilmektedirler [27].

Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa rüzgâr atlası sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de Kurulu RES projelerinde, kurulu gücün üretime oranı %30-40 seviyelerindedir. Ülkemizde ilk rüzgar türbini 1998 yılında Alaçatı'da toplamda 1.5 MW güce sahip 3 adet 500 kW'lık türbin ile gerçekleştirilmiştir [23].

Rüzgâr enerjisinin aynı güneş enerji gibi, küresel iklim değişikliklerine önüne geçilecek faydalar sağlamaktadır. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminde neredeyse çevreye hiç kirlilik vermemesiyle diğer enerji kaynaklarıyla rekabet emektedir.

1.1.5. Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji yer ve ısı kelimelerinde türetilmiştir. Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde sıcaklığı sürekli 200 °C 'den fazla olan ve erimiş mineral, tuzlar ve gazlar içeren sıcak su ya da buhara jeotermal kaynak, bunlardan üretilen enerji ise "jeotermal enerji" olarak tanımlanmaktadır [23]. Bu enerji türü ile elektrik enerjisi üretimi, jeotermal su buharın gücü ile üretilir, bu elektrik üretim yöntemi termik santral yapısına çok benzemektedir. Jeotermal bir alanda açılan bir kuyu ile yeryüzüne sondaj yolu ile çıkarılan jeotermal akışkan belli ayırıcılar kullanılarak buhar ve su olarak ayrıştırılır. Ayrıştırma sonucunda buhar türbine gönderilerek, türbinin hareket etmesi sağlanıp türbine bağlı olan generatör tarafından elektrik enerjisi üretimi sağlanır [23].

Ülkemizin jeotermal enerji kullanım kapasitesi yaklaşık 1229 MW gücünde olup, Dünyada jeotermal enerji potansiyeli bakımından 31.500 MW ile 7. Sırada, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı bakımından ise 5. Sıradadır [2].

Türkiye'de bulunan jeotermal alanlar büyük çoğunluğu orta ve düşük sıcaklığa sahip alanlardır. Tespit edilen jeotermal kaynakların büyük çoğunluğu ısıtmaya uygun sıcaklık aralığının da (%95) olup, bu jeotermal kaynaklar genel olarak Orta Anadolu, Batı ve Kuzeybatı 'da bulunmaktadır. Şekil 1.3 'de Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası [23]

1.1.6. Gel-Git (dalga) Enerjisi

Gel-git dalgacık enerjisinde denizlerde Ay'ın dünyanın yerçekimine etki ettiği durumdan kaynaklanan denizlerdeki dalgaların yükselmesi ve alçalmasından oluşan hareketinden faydalanılarak özel olarak tasarlanmış türbinler ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistem gel-git durumlarının olmadığı bölgelerde sadece deniz dalgalarının kıyıya gelip gitmesi hareketinin yoğun olduğu yerlerde de kullanılmaktadır. Gel-git enerjisi elde edilmesinde özel tasarlanmış türbinin yanına gel-git barajının da kurulması gerekmektedir.

1.1.7. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında temelini oluşturur. Dünyadaki hayatın temel enerji kaynağı da güneştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş panelleri ile sağlanmaktadır. Güneşin dünyaya gönderdiği bir günlük enerji, tüm insanlığın bir gün boyunca ihtiyaç duyacağı enerjinin neredeyse on bin katı kadardır. Güneş enerjisinden ısı ve elektrik enerjisi olarak faydalanabiliyoruz. Güneşin yaydığı ve Dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıınım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş ışıının şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir. Ancak yeryüzünde bu değer $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden çok fazladır. Güneşten gelen bu enerjinin

büyükliğini ifade edebilmek için şöyle bir örnek verebiliriz, Dünyadaki elektrik santrallerinin toplam gücü 2,9 TW olup, güneşten gelen gücün 61.000 de birinden azdır. Tartışılan nükleer santrallerinin dünyadaki kurulu güçleri toplamı 0,4 TW yakındır. Güneşten gelen güç bu nükleer gücün 527.000 katı kadardır [18,29].

Güneş enerjisi dünyamız ve yaşamımız için hayati öneme sahip temel bir enerji kaynağıdır. Özellikle canlıların yaşam döngüsünü sürdürülmesinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Bugün dünyamızda kullandığımız çeşitli enerji kaynaklarının büyük çoğunluğu güneşin sağladığı çeşitli reaksiyonlar sonucu oluşmuştur. Güneş enerjisi ile gündüz direk ve gece dolaylı olarak aydınlatılabilmekte, yeryüzü ısıtılmakta, elektrik enerjisi üretilmekte, yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmekte ve örneklerini sayamayacağımız birçok yarar sağlayabilmektedir [29,30]. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [4,29].

Güneş enerjisinin avantajları:

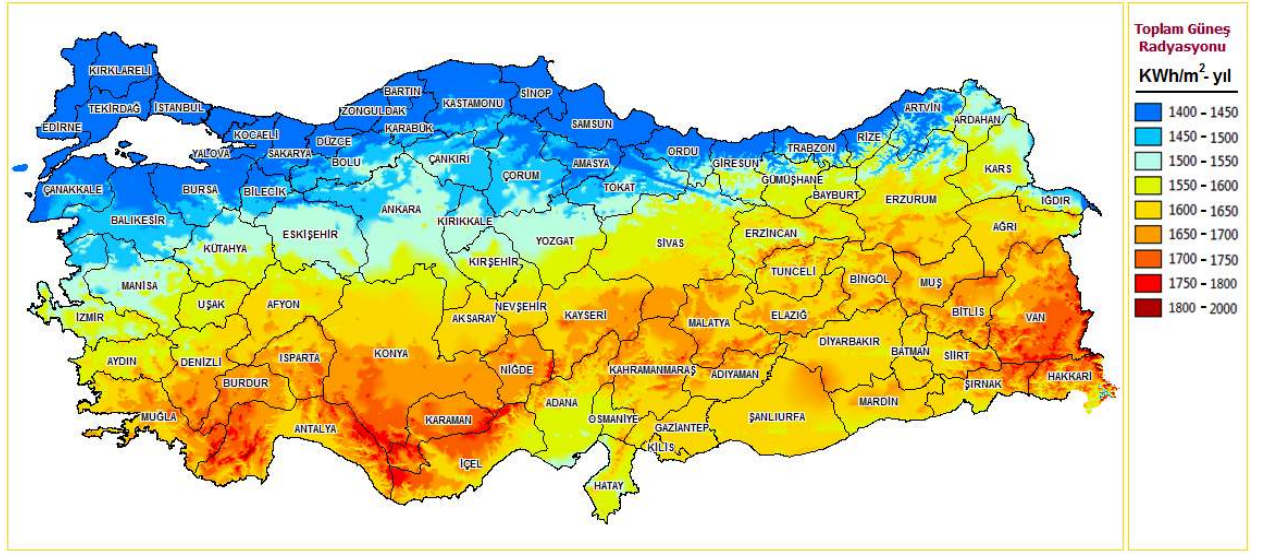
- Güneş enerjisi bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağı olup, çevreyi kirletici atıkları yoktur.
- Dışa bağımlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Güneş enerjisi, enerjiye ihtiyaç duyulan hemen her yerde yararlanmak mümkündür.
- İşletme masrafları çok azdır.
- Birçok uygulaması ile karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.

Güneş enerjisinin dezavantajları:

- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında, güneş ışıınımı az ve geceleri hiç yoktur.
- Güneş ışıınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları sınırlıdır.
- Birim yüzeye gelen güneş ışıınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Güneş ışıınımının faydalanılan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için sistemin çevresinin açık olması gölgelenmemesi gerekmektedir.
- Güneş enerjisinde elektrik enerjisi üretiminde ilk yatırım maliyeti oldukça fazladır.

Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok gelişmiş ülkeye göre çok daha avantajlı bir konumdadır. Türkiye Elektrik Etüt İdaresi tarafından Türkiye'nin mevcut güneş enerji potansiyelini detaylıca gösteren güneş enerjisi

potansiyeli haritası (GEPA) adı verilen bir harita hazırlanmıştır [29]. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası Şekil 1.4'de verilmiştir. Harita geçmiş yıllardaki veriler göz önüne alınarak hazırlandığından dolayı günümüz şartları ile karşılaştırıldığında ülkemizin bilinen güneş enerjisi potansiyelinin aksine daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) verilerine göre; Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2636,89 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1524,18 kWh/m²-yıl (günlük toplam 4,18 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir[4,29]. Çizelge 1.1'de Türkiye'nin aylara göre ortalama güneş enerjisi potansiyeli verilmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [29]

Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi [29]

Aylar	Aylık Toplam (Kcal/cm ² -ay)	Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme süresi (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam (Yıllık)	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Şekil 1.4’de görüldüğü gibi Akdeniz bölgesi ve Van gölü çevresi güneş enerji potansiyeli açısından Türkiye’nin en yüksek bölgeleridir. Güneş enerji potansiyelinin en düşük olduğu bölgeler ise Marmara ve Karadeniz bölgeleridir [29]. Türkiye’nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin yıllık ortalama dağılımları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Bu verilere dayanarak güneş enerji santralleri çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir [29].

Çizelge 1.2. Türkiye’nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [29]

Bölge	Toplam güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

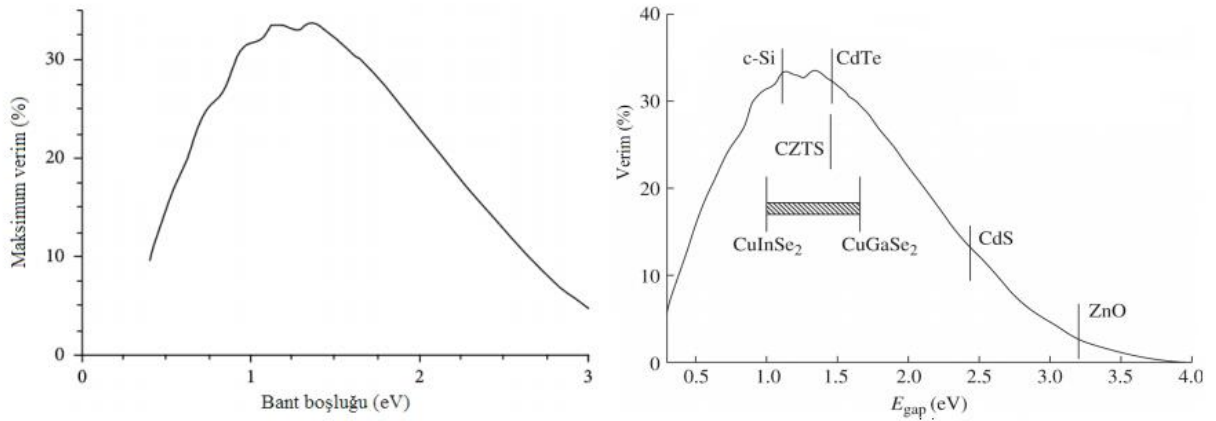
Güneş enerjisinden temel noktada iki farklı yöntem ile yararlanılmaktadır. Bunları termal ve elektriksel olarak ayırabiliriz. Termal güneş enerjisi sistemlerinde, güneş enerjisi kolektörleri kullanarak sıcak su temini sağlanabilmektedir. Elektriksel sistemler ise güneş panelleri veya güneş bacaları kullanılarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretme temeline dayanmaktadır. Son on yıllarda nano teknolojinin de gelişimi ile beraber güneş enerjisinden çok farklı metotlarda faydalanılma yöntemleri bulunmuştur.

1.2. Fotovoltaik Yapı

Güneş enerjisinde doğrudan elektrik enerjisi üretmeye sağlayan yapılara Fotovoltaik (FV) denilmektedir. Latincede ışık anlamına gelen photo ve potansiyel fark diğer bir deyişle gerilimin birimi volta kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. 1839 yılında FV yapı ilk olarak Edmond Becquerel adlı bilim adamı tarafından, elektrolit bir sıvı içerisinde bulunan altın kaplamalı platinyum elektrota güneş ışınımının etkisi gözlemlenirken farkına varılmıştır [31]. Daha sonra W.G. Adams ve R.E. Day 1876 yılında FV özellik ilk defa katı bir yarı iletken (selenyum) maddesinde görülmüştür, takip eden yıllarda Charles Fritts, altın ile farklı bir metal arasına selenyum maddesini koyarak ilk FV paneli hazırlamıştır [32,33]. 1900 yıllara gelindiğinde Planck ışığın parçacık yapısı hakkındaki makalesi ile bu yönde çalışmalar hız kazandırmış olup, ileriki yıllarda Wilson foton ile katıların özellikleri arasındaki bağlantıyı üzerine yaptığı çalışmasını

yayınladı, 1940’larda Schottky ve Mott ilk yarı iletken diyotun teorisini geliştirdiler, Brattain, Bardeen ve Schotky ilk bipolar transistörü yaptılar [8,33]. İlk FV yapının bulunmasından (1876), sonra verimi yaklaşık %1 olan ilk FV hücrenin üretilmesi arasında geçen zaman yaklaşık 50 yıl olmuştur. FV hücre veriminin artırılmasına yönelik en büyük gelişme ise 1954 yılında Pearson, Chapin ve Fuller tarafından yaklaşık %6 verime sahip olan, silikon maddeden yapılmış ilk FV hücreyi üretmişlerdir [31].

Bu çalışmadan sonra 1958 yılında FV hücre ilk defa Vanquard I orbittin uydusunda kullanılmıştır, ileriki yıllarda galyum arsenik yapılı FV hücreler 1960’da üretilmiştir. Verim olarak galyum arsenik yapılı hücreler silikon yapılı olanlardan daha kötü olmasına rağmen, silikon hücrelere göre en büyük avantajı çok yüksek sıcaklıkta bile çalışıyor olmalarıydı. Bu yapı 1965 yılında Venera 2 ve Venera 3 Rus yapımı uzay araçlarına enerji sağlamak amacı ile kullanılarak, takip eden yıllarda uzaya gönderilen araçların birçoğunda kullanılmıştır [8,31]. Şekil 1.5’de farklı FV maddelerin verimleri ve bant aralıkları verilmiştir.

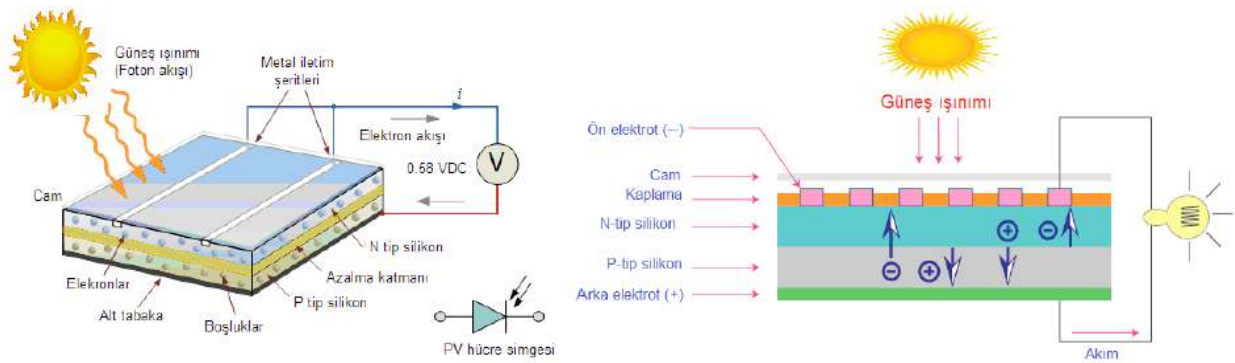


Şekil 1.5. Farklı FV maddelerin verimleri ve bant aralıkları [37]

FV hücrelerde meydana gelen bu gelişmeler, doğrudan cihazlar ve yarı iletken malzemeler üzerinde yapılan birçok teori, teknolojik ve deneysel çalışmalardan kaynaklandığı görülmektedir. Yarı iletken malzemeler üzerinde ileri teknoloji ve farklı yöntemler kullanılarak, üretimleri yapılmaya devam edilmektedir. Günümüzde yarı iletkenler üzerine yapılan çalışmalarda P-N özelliğine sahip MOCVD (metal organik kimyasal buhar tortusu) tekniğiyle üretilen bir FV hücrede, elde edilmiş en yüksek hücrenin verimi yaklaşık %27,6 olarak elde edilmiştir [8,33].

1.2.1. Fotovoltaik Hücresinin Yapısı ve Çalışma Prensibi

FV hücreler yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde olup, yüzey alanları birkaç santimetre kare olan yarı iletken malzemelerden meydana gelir. Bu hücrenin katı hal yapısı, temel olarak eklem bölgesi üst yüzeye yakın bulunan geniş alanlı bir P-N diyottur. Şekil 1.6'da güneş ışığına tutulan FV hücrenin yapısı görülmektedir. Güneş ışığına maruz kalan FV hücre, güneş ışığını direk olarak elektrik enerjisine dönüştürür. FV hücreler paralel ve seri bağlanarak istenilen güçteki elektrik enerjisi üretirebilmektedir [34,35,36].



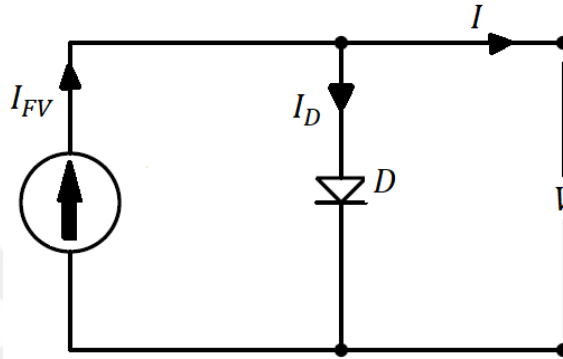
Şekil 1.6. FV hücrenin yapısı ve çalışma prensibi [37]

FV hücreler P tipi silikon ile N tipi silikon malzemeler birleştirilerek oluşturulurlar. Bu malzemelerin birleşme bölgelerinde bir elektrik alan oluşur, oluşan bu elektrik alan temelde diyot gibi davranan FV hücrede elektronların hareketinin, P tipi malzemeden N tipi malzemeye doğru geçişine karşı koyarken aksi yönde elektron geçişini karşı koyamaz. Güneş ışığı birleşme yüzeyine geldiğinde oluşan foton enerjisi malzemeye etki ettiğinde hareketli elektronlar ve boşlukların oluşmasına sebebiyet verir. Bu sayede birleşme yüzeyinde bir potansiyel fark oluşmakta ve bu potansiyel fark ile akım akışı sağlanarak DC bir kaynak meydana gelir [34,36].

Bu DC gerilimin ortaya çıktığı yer Fermi seviyesi olarak isimlendirilir. Fermi birbiri arasında izolasyona sahip iki malzemedeki elektronların kimyasal potansiyel farklarıdır. Bu iki malzeme birleştirildiğinde eklem yeni bir termodinamik dengeye yaklaşır. Böyle bir denge ancak iki malzemedeki Fermi seviyeleri eşit olunca elde edilir. Bur da Fermi seviyesinin başlangıçtaki farkına eşit gerilime sahip olan iki malzeme arasındaki gerilim farkı sağlanana kadar bir malzemedeki diğerine olan elektron akışı ile ortaya çıkar işte foton akımının ortaya çıkmasına sebep bu gerilimdir [34,36].

1.2.2. Fotovoltaik Hücresinin Modellenmesi

FV hücre yapısının çalışmasının daha net anlaşılması için eşdeğer bir elektrik devresinin oluşturulması gerekir. İdeal bir FV hücresinin elektriksel eşdeğer devresi, bir diyot ve buna paralel bağlı bir akım kaynağı şeklinde olabilir. İdeal FV hücre için eşdeğer model Şekil 1.7’de görülmektedir. Işık şiddeti ile orantılı olan akım kaynağı, FV hücre akımını (I_{FV}) meydana getirmektedir. FV hücresinin P-N geçiş bölgesini D diyotu ifade etmektedir [34,36,39].



Şekil 1.7. İdeal FV hücresinin eşdeğer devresi

Bu eşdeğer devreye, Kirchhoff akım kanunu uygulayarak denklem (1.1) elde edilir [38,39].

$$I = I_{FV} - I_D = I_{FV} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (1.1)$$

Burada:

I_{FV} (FV hücre akımı): FV hücre üzerine düşen ışıma ile doğru orantılı değeri değişir.

I_0 (Sızıntı akımı): Ters doyma akımıdır.

I_D (Diyot akımı): Kaynak üzerinden geçebilecek ters akımları önleyen akımı ifade eder. Denklem (1.2) de diyot akımı verilmiştir.

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (1.2)$$

I : Yük akımıdır,

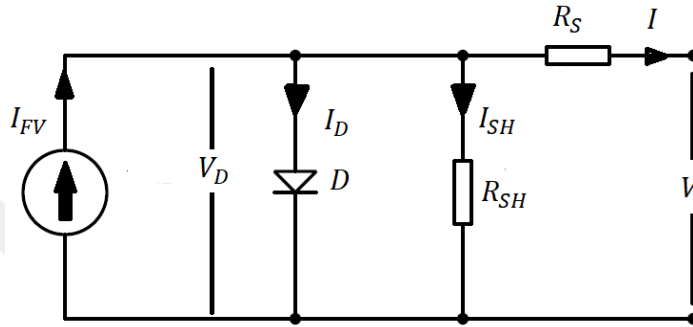
q : Elektronun elektrik yükü,

A : Diyot emisyon faktörü,

k : Boltzman sabiti,

T : Mutlak sıcaklıktır,

İdeal FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi ile en uygun bir gösterim elde edilmektedir. Fakat pratikte kullanılan FV hücrelerde gerilim kayıpları söz konusudur. Gerilim kaybını seri bağlı bir direnç ile (R_S) sızıntı akımını da diyota paralel bağlı bir direnç (R_{SH}) yardımı ile görebiliriz. Bu durum şekil 1.8’de gösterilmektedir [38,39,40].



Şekil 1.8. Pratikte kullanılan FV hücrenin eşdeğer devresi [34]

Burada diyota paralel bağlı R_{SH} direnci P-N eklemleri boyunca hareket eden elektronlardan kaynaklanan kaybı belirler. İçinden geçen I_{SH} akımı ise R_{SH} direncinin eklem gerilimi etkisi ile ortaya çıkan akımdır ve denklem (1.3) ifade edilmiştir [34,36].

$$I_{SH} = \left(\frac{V_D}{R_{SH}} \right) = \left(\frac{V + IR_S}{R_{SH}} \right) \quad (1.3)$$

Buradan yük akımı,

$$I = I_{FV} - I_D - I_{SH} \quad (1.4)$$

Denklem (1.2) ve (1.3), denklemleri denklem (1.4)’de yerine konursa,

$$I = I_{FV} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_S)}{nkT} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_S}{R_{SH}} \right) \quad (1.5)$$

FV hücre için bu denklem ile genel bir matematiksel model elde edilmiş olur [36].

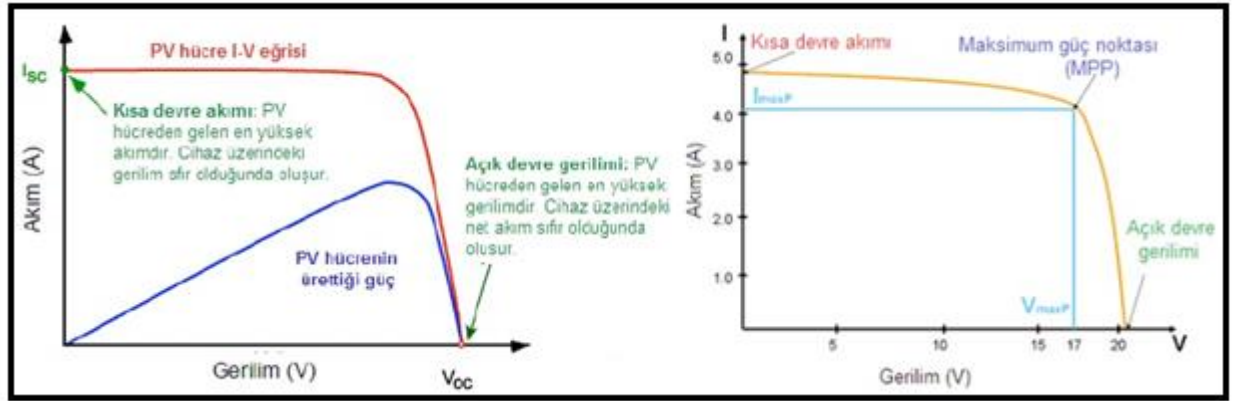
1.2.3. Fotovoltaik Hücresinin Akım-Gerilim ve Güç Özellikleri

Bir FV hücresinin akım-gerilim özellikleri aşağıdaki teknikler ile belirlenebilir [37].

- Işık şiddetinin sabit olduğu bir ortamda, FV hücre uçlarına bağlı bir ayarlı direncin minimum değerinden maksimum değerine getirilerek direnç üzerindeki gerilime göre dirençten akan akımın ölçülmesi ile.
- Karanlık bir ortamda DC bir kaynak kullanılarak FV hücresinin diyot gibi kullanılması ile akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi ile.
- FV hücresinin bulunduğu ortamın ayarlı bir ışık kaynağı ile ışık şiddetinin farklı değerlerinde akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi ile.

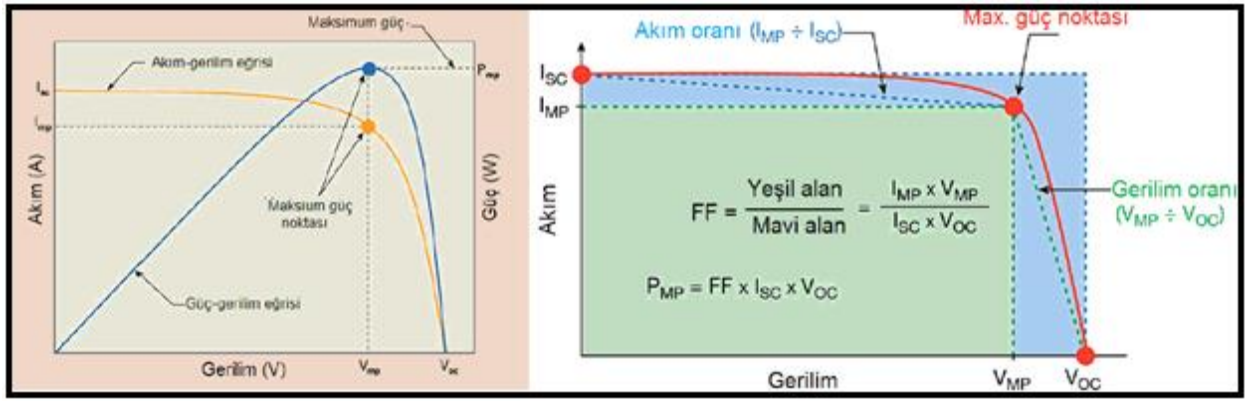
V_{OC} : FV hücresinin açık devre gerilimidir. FV hücreye herhangi bir yük bağlanmadığı durumda ve aydınlık bir ortamda FV hücre uçlarındaki gerilimdir.

I_{SC} : FV hücresinin kısa devre akımıdır. FV hücreye aydınlık bir ortamda ve yük bağlanmadığı durumda FV hücreye etki eden ışıma şiddetine bağlı olarak hücre uçlarında ölçülen akım değeridir [37]. Şekil 1.9'da FV hücresinin akım, gerilim eğrileri verilmiştir.



Şekil 1.9. FV hücresinin akım-gerilim eğrisi [37]

Dolgu Faktörü (FF): Bu terim FV hücresinin V_{OC} ve I_{SC} değerlerine göre en yüksek çıkış gücünü tanımlamak için kullanılan bir değişkendir. FF FV hücresinin en yüksek çıkış gücü (P_{MP}), değerinin V_{OC} ve I_{SC} çarpımına bölünmesi ile elde edilir. Şekil 1.10'da FF değerinin azalmasına, R_s (seri direnç) değerinin artması sebep olmaktadır [37,40].



Şekil 1.10. FV hücrenin Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim özellikleri [37]

FF değeri, ideal bir FV hücrenin ölçüsü olarak kabul edilir. İdeal bir FV hücrede dolgu faktörü değeri bir olmaktadır. Bu sebeple bir FV hücrede, FF değeri bire ne kadar yakın olursa o hücre o oranda ideale yakın olur. Çizelge 1.3’de farklı maddelerde yapılmış FV hücrelerin karakteristikleri verilmiştir. Dolgu faktörünün büyük olması için eşdeğer devredeki seri direncin (R_S), diyotun ideal olma faktörünün (A), ters doyum akım yoğunluğuna (I_0) ve sıcaklığın (T) değerinin küçük, yasak enerji aralığının E_g ve R_{SH} direncinin değerinin büyük olması gerekmektedir [37,40].

FF değeri, FV hücrelerin diyot kayıplarından ve R_S ve şönt direnç (R_{SH}) değerlerinden, direkt olarak etkilenmektedir. FF değerini R_{SH} değeri artırılarak ve R_S değeri azaltılarak yükseltilebilir. Bu durumda hücre çıkış gücü teorik olarak en yüksek değere getirilerek daha yüksek verim sağlanır. Dolgu faktörü silikon yapılı bir FV hücre için %80 değerindedir [37,40].

Çizelge 1.3. Farklı FV hücrelerin karakteristik değerleri [41]

FV Hücre	Alan (cm ²)	Açık Devre Gerilimi (Volt)	Kısa Devre Akımı (mA/cm ²)	Dolgu Faktörü (%)
Tek Kristal Si	4,00	0,706	42,20	82,80
Tek Kristal GaAs	3,90	1,022	28,20	87,10
Çok Kristal Si	1,10	0,654	38,10	79,50
Amorf Si	1,00	0,887	19,00	74,10
CuInGaSe ₂	1,00	0,669	35,70	77,00
CdTe	1,10	0,848	25,90	74,50

1.2.4. Fotovoltaik Yapıda Verim (η)

FV hücrenin enerji çevrim verimi, hücrenin maksimum güç noktasındaki gücün (P_{MP}) hücreye gelen güneş ışınım gücüne (P_{in}) oranı ile ifade edilir. Hücre verimi Denklem (1.6) gösterilmiştir [37].

$$\eta = \frac{P_{MP}}{P_{in}} = \frac{I_{MP} \times V_{MP}}{I(t) \times A_c} = \frac{I_{SC} \times V_{MP} \times FF}{I(t) \times A_c} \quad (1.6)$$

1.2.5. Maksimum Güç Noktası (MPP)

Bir FV hücre geniş bir bant aralığında akım ve gerilim değerlerinde çalışabilir. Maksimum güç noktası (MPP) değeri, sürekli ışınım alan FV hücredeki direnç yükünü sıfırdan (kısa devre) çok yüksek bir değere (açık devre) kadar sürekli artırarak belirlenebilir. MPP’de akım ve gerilimin çarpımı ($I \times V$) değeri yüksektir. FV hücre bulunduğu ışınım seviyesinde MPP noktasında en yüksek elektrik değerini üretir. Çıkış gücü hem kısa devre hem de açık devre sınır değerlerinin her ikisinde de sıfırdır. FV hücrenin üretebileceği en yüksek çıkış gücü Şekil 1.10’da görüldüğü gibi, hücrenin akım-gerilim ($I - V$) eğrisi içine çizilebilecek maksimum alanlı dikdörtgenin alanına eşit olmaktadır. Yüksek kaliteli tek kristalli bir FV hücre 25°C’de hücre sıcaklığında 0.60V değerinde açık devre gerilim (V_{OC}) üretebilir. Güneşlenme koşullarının iyi ve hava sıcaklığının 25°C olması durumunda hücre sıcaklığı büyük bir olasılıkla 45°C’ye yakın olacak ve açık devre gerilimi (V_{OC}) hücre başına 0.55V değerine düşecektir. Bu tür bir FV hücre ile gerilim değeri, kısa devre akımına (I_{SC}) yaklaşıncaya kadar kabul edilebilir. Hücre sıcaklığının 45°C olması durumunda maksimum güç değeri, tipik olarak açık devre geriliminin %75-80 (bu durumda 0.43V) ve kısa devre akımının %90 ile üretilir. Bu değer $V_{OC} \times I_{SC}$ çarpımının %70’ine kadar ulaşabilir. Bir FV hücreden gelen kısa devre akımı (I_{SC}) aydınlanma ile yaklaşık olarak orantılı olmasına karşın açık devre gerilimi (V_{OC}) aydınlatmanın %80 düzeyinde azalması durumunda sadece %10 düzeyinde azalabilir. Düşük kaliteli FV hücrelerde gerilim değeri artan akımla birlikte daha hızlı bir şekilde azalır. FV hücrelerin gücü sadece $V_{OC} \times I_{SC}$ çarpımı olarak değil, yük eğrileri ile birlikte verilmelidir. Bir FV hücrenin MPP değeri FV hücreye gelen ışınımına bağlı olarak değişir [37].

1.2.6. Fotovoltaik HÜcre Çeşitleri

FV hücreleri genel olarak yapıldığı malzemeye göre isimlendirilirler. Günümüzde kullanılan FV hücreler, tek kristalli silisyum, çok kristalli silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diselenid olarak sıralanabilir.

1.2.6.1. Tek Kristalli Silisyum (m-Si)

Adından da anlaşılacağı gibi tek kristal bloklardan, önce büyütülüp daha sonra 200 mikron inceliğe kadar katmanlar halinde dilimlenerek bloklar halinde üretilir. Laboratuvar koşullarında %24, piyasada ise %15 civarında verime sahiptirler. Ülkemiz açısından bakıldığında tek kristalli yapıli paneller ile yapılacak olan güneş enerji santrallerinin amortisman süreleri 5-7 yıl arasında olacaktır. Bu panellerin 20 yıl kullanılma durumunda %10'nun altında bir verim kaybı söz konusu olmaktadır [42,43,44].



Şekil 1.11. Tek kristal FV hücre [46]

1.2.6.2. Çok Kristalli Silisyum (p-Si)

Üretimi tek kristalli hücrelere nazaran daha basittir. Silikon malzeme kendiliğinden ince şerit şeklinde eriyik malzeme içinden çıkarıldığından dolayı ince kıyım işlemine gerek kalmaz. Tek kristalli yapıya göre daha dayanıklıdır fakat verim olarak daha düşük seviyededir. Laboratuvar koşullarında %18, piyasada ise %14 civarındadır. Ülkemiz açısından bakıldığında çok kristalli yapıli paneller ile yapılacak olan güneş enerji santrallerinin amortisman süreleri 5-7 yıl olup tek

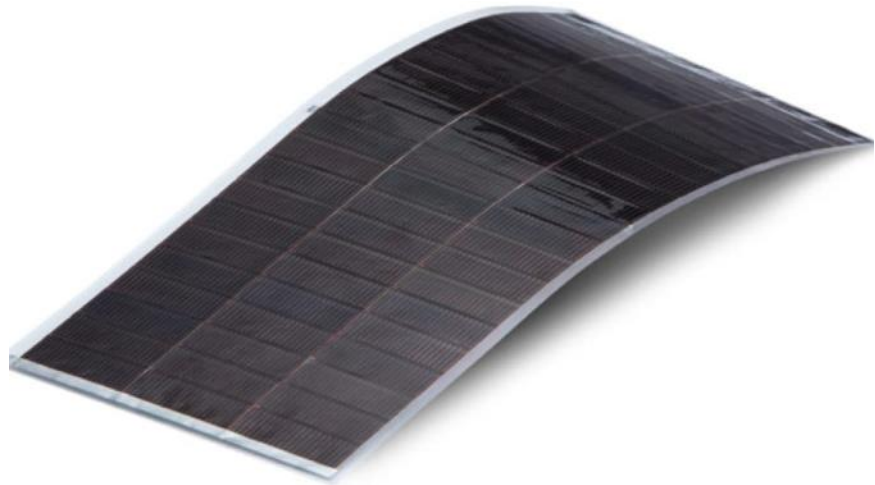
kristalli yapılı paneller ile aynıdır, Buna karşın panellerin 20 yıl kullanılma durumunda %20'nun altında bir verim kaybı söz konusu olmaktadır [43,45,46].



Şekil 1.12. Çok kristal yapılı FV hücre [46]

1.2.6.3. Galyum Arsenit (GaAs)

Galyum Arsenit ile yapılan FV hücreler genel olarak uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır. Laboratuvar şartlarında %28'e kadar (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Farklı yarı iletken malzemelerle oluşturulan çok eklemlili GaAs FV hücrelerinde %30 verim elde edilmiştir [43,46].



Şekil 1.13. GaAs yapılı FV hücre [46]

1.2.6.4. Amorf silisyum (a-Si)

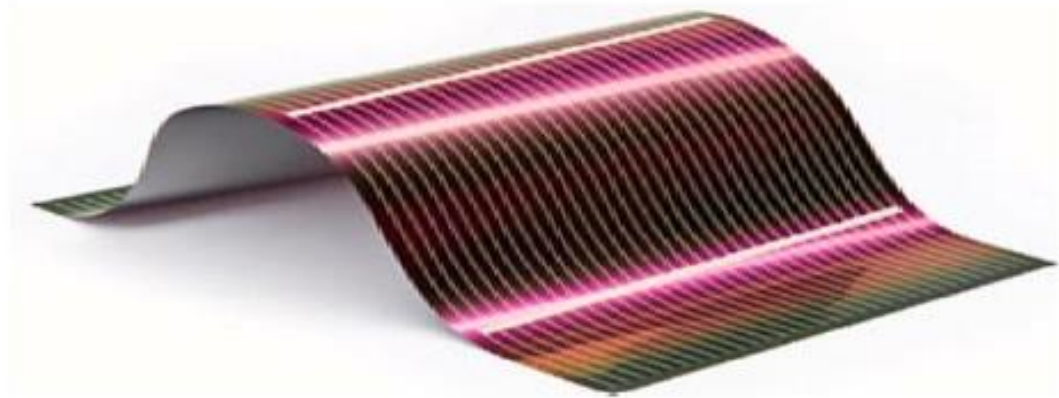
Amorf silisyum yapılı FV hücreler laboratuvar koşullarında yaklaşık %10 verim elde edilmiştir. Piyasada ise verimi yaklaşık %5-7 seviyelerindedir. Yaygın olarak küçük yapıya sahip elektronik cihazların güç kaynağı ünitelerinde kullanılmakta olup, binaların cam yüzeylerinde hem yarı saydamlık sağlaması hem de elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Güneş ışınlarını yüksek oranda soğurma özelliğine sahip olması ve düşük sıcaklıklarda üretilebilir olması sebebiyle amorf silisyum hücreleri nispeten ekonomik yapmaktadır [44,48].

1.2.6.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristalli bir yapıya sahip olan CdTe yapılı FV hücreler laboratuvar şartlarında %16, piyasada ise %7 civarında verime sahiptirler. Çok kristalli yapıya sahip olduğundan, hücre maliyetlerini azaltacağı öngörülmektedir [44,46].

1.2.6.6. Bakır İndiyum Diseleneoid (CIS)

Bakır indiyum diselenoid yapılı FV hücreler, çok kristalli bir yapıya sahiptirler. Laboratuvar şartlarında %17,7 geliştirilen prototip panelde ise %10,2 verim elde edilmiştir. Üretim maliyeti oldukça yüksektir [46].



Şekil 1.14. Bakır indiyum diseleneoid FV hücre [49]

1.2.6.7. Nano kristal (boyalı hücreler)

İsviçre’li Micheal Graetzel tarafından 1991 yılında yapmış olduğu çalışmada nano kristal hücrenin temel malzemesi titanyum dioksittir (TiO_2). Bu yarı iletken P-N eklem şeklinde çalışmaz. Bu hücre güneş ışığını bir organik boya sayesinde soğurur bu yönü ile bitkilerin güneş ışığını soğurmasına benzetilebilir. Bu hücre yapısının üretimi kolay ve ucuzdur. Nano kristal FV hücrelerde laboratuvar koşullarında %12 verime ulaşılmıştır. İlk seri üretimin verimi ise %5 olmuştur. Nanokristal hücreler gölgelenme ve düşük güneş ışımlarına karşı iyi tolerans göstermekte olup, ayrıca diğer kristal yapıları hücrelere karşı yüksek sıcaklıklarda verimi artmaktadır [44,47].

1.2.7. Fotovoltaik Hücrelerin Karşılaştırılması

Kristal yapıları FV hücreler verimi en fazla olan hücrelerdir. Çok kristalli hücrelerin verimi tek kristalli hücrelere göre daha az olmasına rağmen üretim maliyetleri düşüktür. İnce film yapıları hücreler kristal yapıları hücrelere göre verimleri daha azdır bundan dolayıdır ki aynı güce sahip sistemlerde eğer ince film hücreler kullanılırsa daha fazla alana ihtiyaç duyulur buna rağmen fiyatları daha düşük olduğundan tercih edilebilir. İnce film hücrelerde sırayla verimi en yüksek olan, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyumdur [44,47]. Çizelge 1.4’de farklı FV hücrelerinin 1kWp için gerekli alanlarının karşılaştırılması ile ilgili yapılmış bir çalışmanın verileri verilmiştir.

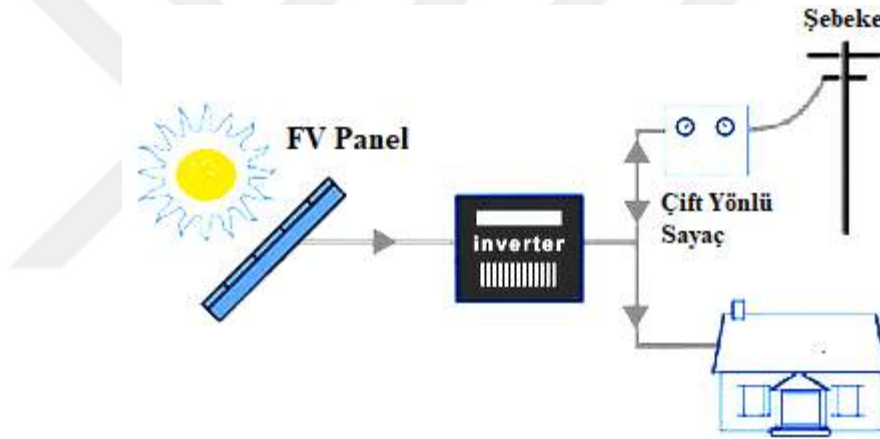
Çizelge 1.4. Farklı FV hücrelerinin 1kWp için gerekli alanlarının karşılaştırılması [47]

	Kristal Silisyum Yapılı FV hücreler		İnce Film Yapılı FV Hücreler		
	Tek kristalli FV hücre (m-Si)	Çok kristalli FV hücre (p-Si)	Bakır indiyum diselenid (CIS)	Kadmiyum Tellürid (CdTe)	Amorf silisyum (a-Si)
Hücre Malzemesi (Laboratuvarda) %	24,7	19,8	18,8	16,4	13
Hücre Verimi (üretimde) %	18	16	14	10	10,5
Modül Verimi (üretimde) %	14	13	10	9	7,5
1 kWp Gerekli Alan m ²	7-8	8-11	11-13	14-18	16-20

1.3. Fotovoltaik Sistemler

1.3.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler (On-Grid)

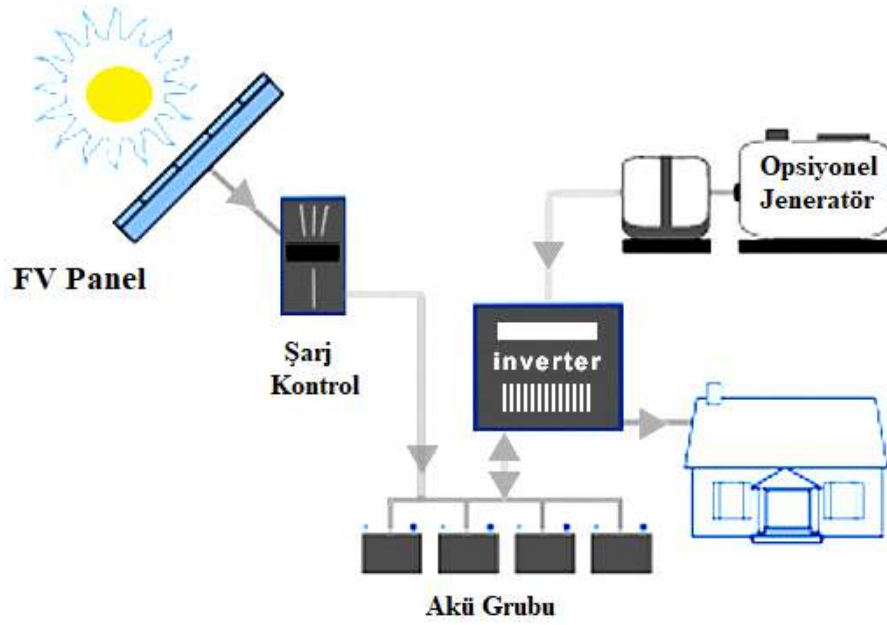
Şebeke bağlantılı sistemlerde, kullanıcıların FV sistem ile ürettikleri enerjiyi, çift yönlü bir elektrik sayacı ile şebekeye bağlanır. Kullanıcı ilk olarak FV sistem ile ürettiği enerjiyi kullanır, eğer kullanıcının tükettiği enerji FV sistemde ürettiği enerjiden fazla ise bu fark şebekeden gelen enerji ile karşılanır. Eğer kullanıcının tükettiği enerji FV sistemin ürettiği enerjiden az ise, bu kez FV sistemde ürettiği fazla enerji şebekeye verilir. Aylık ya da belirlenen periyodik zamanlarda çift taraflı saat ile oluşan fark hesaplanarak, üretilen enerjinin tüketilen enerjiye göre hesaplama gerçekleştirilir [49]. Şekil 1.15’de şebeke bağlantılı sistem için örnek bağlantı düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Şebeke bağlantılı sistem için örnek bağlantı düzeneği [49]

1.3.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid)

Şebekeden bağımsız sistemlerde FV sistem ile üretilen enerji şebekeye bağlanmamaktadır. Kullanıcı gündüz üretilen elektrik enerjisini akü vasıtasıyla depolar ve kullanıcı enerji ihtiyacını tüm gün boyunca bu akülerden karşılar. Bu sistemlerde sistemin kapasitesi, kullanıcının güneş battıktan tekrar doğuncaya kadar olan süre içinde ihtiyacı duyacağı kapasiteye göre belirlenir [49]. Şekil 1.16’da şebekeden bağımsız sistem için örnek bağlantı düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Şebekeden bağımsız sistem için örnek bağlantı düzeneği [49]

1.4. Fotovoltaik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Elektrik enerjisi üretiminde pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. FV sistemlerin diğer elektrik enerjisi üreten yapılara göre avantaj ve dezavantajları şunlardır [50].

1.4.1. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları

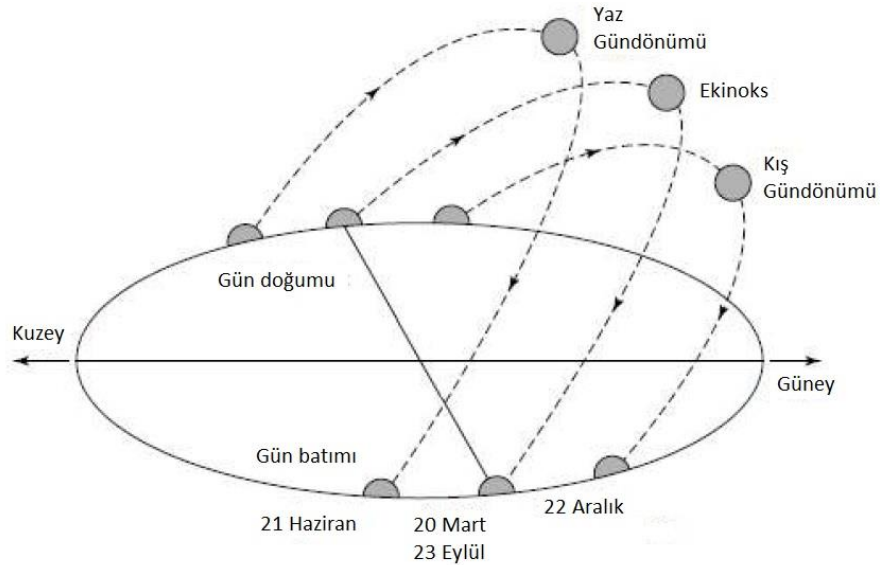
Herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaç duymaz ve herhangi bir sisteme bağımlı olmadan, elektrik enerjisi üretebilirler. FV hücre yapısında mekanik hareket eden parçalar bulunmadığından, elektrik enerjisi üreten mekanik (hidroelektrik, rüzgâr türbini vb) sistemlere nazaran periyodik bakım maliyetleri daha çok düşüktür. Enerji üretim ana girdisi güneş olduğundan, genel olarak her yerde ücretsiz olarak bulunmaktadır ve depolama, yer değiştirme gibi sorunları yoktur. Elektrik şebekesinden bağımsız (off grid) çalışacağı gibi, şebekeye bağımlı (on grid) olarak invertör ve trafo yardımı ile şebekeye bağlanır. FV sistemde elektrik enerjisi üretim noktası ile kullanım noktası arasında çok kısa mesafe olduğundan oluşabilecek kayıplar yok denecek kadar azdır. FV sistem bir kere kurulduğunda kapasitesi ek FV modüller eklenerek kolaylıkla artırılabilir. FV modüller, güçlü rüzgârlar, kar ve buzlanma, ısı ve nem gibi etkenlere oldukça dayanıklıdır. Çevreye herhangi bir atık bırakmadığından, çevre ile uyumludur [50].

1.4.2. Fotovoltaik Sistemlerin Dezavantajları

Büyük güce sahip elektrik enerjisi üretiminde, güçle doğru orantılı olarak çok geniş alanlara ihtiyaç duyar. Güneşlenmenin olmadığı zamanlarda elektrik enerjisi üretimi yapamazlar, bu yüzden off-grid sistemlerde depolamaya ihtiyaç duyarlar bu da ek maliyete neden olmaktadır. FV modüller, kırılkan yapıda olduklarından, FV hücrelerin korunması için modüllerin çerçevelendirilmesi gerekir, buda maliyeti artmasına sebebiyet verir [50].

1.5. Güneş Takip Sistemleri

Güneş panellerini oluşturan FV üzerine yapılan bütün çalışmalar, yatırım maliyetinin geri dönüş süresini azaltmaya yöneliktir. Bunu da ancak FV yapının kazancını artırarak sağlayabiliriz. FV yapının kazancını artırmak ise ancak üzerine düşen ışınlam miktarının artırılması ile sağlanabilir. FV panellerin güneşe göre, normali ile üzerine düşen güneş ışığının, yaptığı açının kosinüs değeri ile FV panelin üzerine etki eden güneş ışığının radyasyon değeri belirlenmektedir. Bu radyasyon değeri FV panel üzerine ne kadar uzun süre etki ederse, FV panelden maksimum kazanç sağlamış oluruz [42]. Diğer bir deyişle, Güneş ile FV panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik (90^0) olursa, FV panelde güneşlenme süresi en yüksek seviyede olur [4]. Bunu da FV panellerin güneşlenmenin olduğu her an güneşi takip etmesi ile gerçekleştirilebilir [51]. Şekil 2.1’de güneşin mevsimlere göre hareketi görülmektedir.



Şekil 1.17. Güneşin mevsimlere göre hareketi [5]

Şekil 1.17’de görüldüğü gibi güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı iki etken ile değişmektedir. Bunların birincisi: dünyanın kendi ekseninde dönmesinden dolayı güneş ışınlarının gün içerisinde dünyaya geliş açılarının değişmesidir. İkincisi ise: dünyanın güneş etrafında dönmesinden dolayı yeryüzüne gelen güneş ışınlarının açılarıdır [51,53].

İlk güneş takip sistemi, Finsher tarafından 1962 yılında tamamen mekanik olarak tasarlanmıştır. Daha sonra Saavedra elektronik kontrol yapısına sahip bir mekanizma geliştirmiştir [52]. Şekil 1.18’de panel yüzeyine düşen ışınlam gösterilmiştir.



Şekil 1.18. FV panel yüzeyine düşen ışınlam [42]

Güneş takibi yapılırken teorik olarak kazanç çok yüksek gibi görünse de pratik uygulamalarda kazanç genellikle %20-40 seviyelerinde olmaktadır. Bu değerler güneş takibinin güneşi kaç eksenle izleme yapılması ve sistemin izleme için ne kadar enerji harcadığına, meteorolojik şartlara, kullanılan FV panelin türüne, dünya üzerindeki konumuna göre farklılıklar göstermektedir. Güneş takibinin kararlılığı ve doğruluğu, güneş takip sistemlerinin tasarlanmasında en önemli önceliktir [42].

1.5.1. Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş takip sistemlerini aşağıdaki gibi iki ana başlık altında sınıflandırabiliriz.

- Eksen yapısına göre,
- Kontrol yapısına göre,

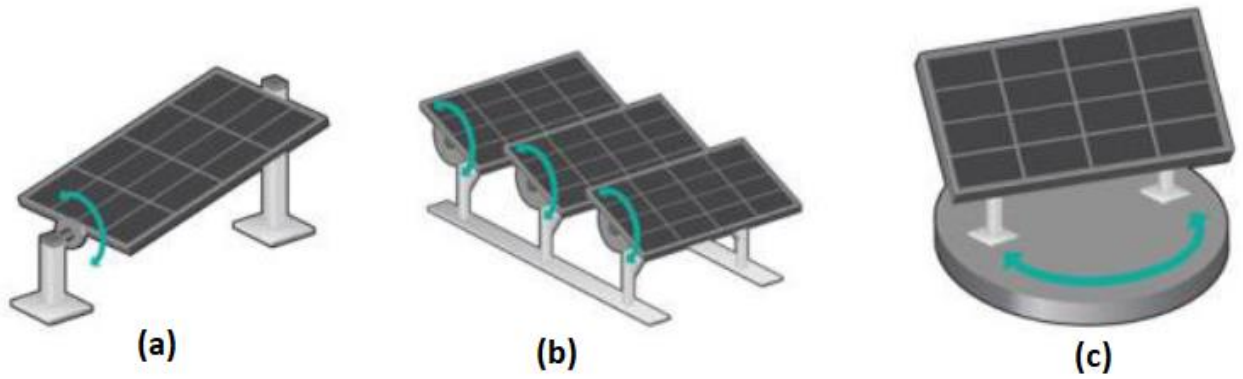
1.5.1.1. Eksen Yapısına Göre

FV panellerin dönüş yönüne bağlı olarak GTS’ler iki ana tipte sınıflandırılabilir. Bunlar tek eksen ve çift eksen kontrollü olarak isimlendirilir.

1.5.1.1.1. Tek Eksen Kontrollü

Tek eksenli takip sistemleri güneş enerjili sistemler için yatay ya da dikey yalnızca birini gerçekleştiren sistemlerdir. Türkiye göz önüne alındığında, tek eksenli hareket için eğer doğu batı yönünde takip yapılacaksa yaklaşık 240° , eğer takip kuzey güney doğrultuda yapılacaksa yaklaşık 75° 'e kadar hareket alanı oluşturulmuş olur [52]. Tek eksenli hareketin tercih sebebi sistemin kurulduğu alan ile ilgilidir. Örneğin parabolik sistemler yatay takip yaparken çoğu çatı uygulaması FV paneller için yer kısıtlılığı sebebiyle sadece dikey takip yapmaktadır [51]. Tek eksenli GTS uygulamaları üç farklı hareket yönü ile yapılabilir bunlar.

- Eğik tek eksen takip, (Tilted single-axis tracker (TSAT))
- Yatay tek eksenli takip, (Horizontal single-axis tracker (HSAT))
- Dikey tek eksenli takip, (Vertical single-axis tracker (VSAT))



Şekil 1.19. Farklı konfigürasyona sahip tek eksen takip sistemleri,
(a) TSAT, (b) HSAT, (c) VSAT [54]

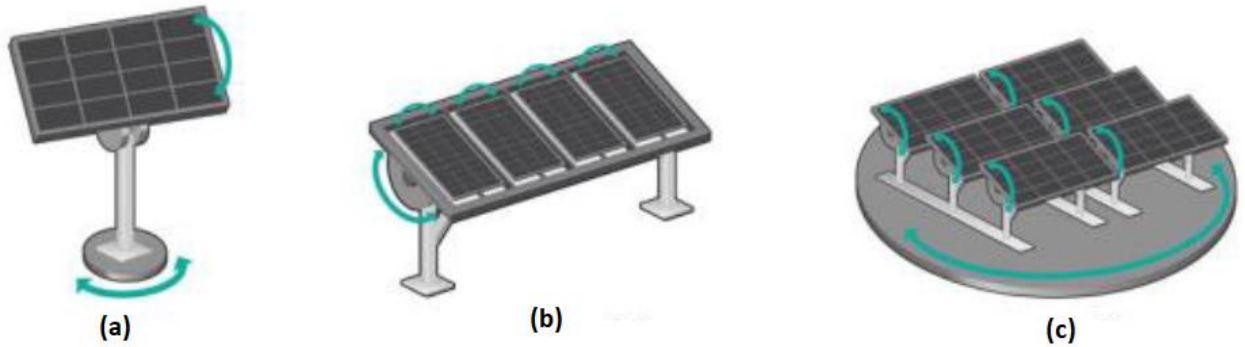
Eğik tek eksen takip sisteminde zemine göre yatay ve dikey hareket söz konusu değildir. Sistemin dönüş eksenini dünyanın dönüş eksenine paraleldir. Yatay tek eksenli takip sisteminde dönüş yönü, yatay olarak yere paraleldir. Bu sistem normalde eksen üzerinde paralel dönen FV panellere sahiptir. Dikey tek eksenli takip sistemlerinde dönüş hareketi gün boyunca doğudan batıya doğrudur. Bu sistemlerde FV paneller yatay olarak dik açıda monte edilmiştir, bu sayede yatay tek eksenli takip sistemlerine nazaran yüksek enlemlerde daha etkilidir.

1.5.1.1.2. Çift Eksen Kontrollü

Çift eksenli takip sistemleri, hareket özgürlüğünün iki ayrı yöne uzatıldığı tek eksen takip sistemleri ile oluşturulur. Çift eksen takip sistemlerinde güneşin gökyüzündeki konumunu belirten iki açı değeri ile güneş takibi gerçekleştirilir. Bu açılar azimut ve zenit açılarıdır. Bu takip sistemi azimut açısına göre doğu batı yönünde, zenit açısına göre ise kuzey-güney yönünde hareket ederek güneşin gün boyunca takibi sağlanmış olur.

Buradan da anlaşılacağı gibi çift eksen takip sistemleri, tek eksen takip sistemlerine göre çok daha geniş bir alan ile FV panel hareketine izin vermektedir. Çift eksen GTS uygulamaları üç farklı şekilde yapılabilir.

- Kutup eğimli çift eksen takip, (Tip-tilt dual-axis tracker (TTDAT))
- Yatak çift eksen takip, (Horizontal dual-axis tracker (HDAT))
- Azimut yüksekli çift eksen takip, Azimuth-altitude dual-axis tracker (AADAT)



Şekil 1.20. Farklı konfigürasyona sahip çift eksen takip sistemleri,
(a) TTDAT, (b) HDAT, (c) AADAT [54]

Kutup eğimli çift eksen takip sistemlerini bir ekseni zemine yataydır, ikinci eksen ise birinci eksene diktir. Bu sistemin eksen yapısı esnek olmasına ve tercih edilen yönlere yönlendirilmesine rağmen, bu takip sisteminin bir ekseni doğu-batı enlem çizgisine veya gerçek bir kuzey meridyenine hizalanır. Birbiri ardına yerleştirilen bu takip sistemlerinde, birbirlerine gölge düşürmemeleri için takip sisteminin düşük yoğunlukta kullanılması gerekmektedir.

Azimut yüksekli çift eksen takip sisteminde ana eksen yere dikey olarak hizalanır. Genelde sistem zeminde bulunan büyük bir daire üzerine monte edilir. FV panellerin ağırlıkları, zemin üzerinde bulunan daire şeklinde bir alan üzerine dağılmaktadır. FV paneller daire çapına göre uygun yoğunlukta kullanılarak gölgelenme ihtimali hesaplanmalıdır.

1.5.1.2. Kontrol Yapısına Göre

Kontrol yapısına göre güneş takip sistemleri genel olarak iki kategoriye ayırabiliriz. Bunlar pasif güneş takip sistemleri (mekanik, bu sınıftaki takipçiler yerçekimini kullanırlar) ve aktif güneş takip sistemleridir (elektriksel donanıma sahiptirler).

1.5.1.2.1. Pasif Güneş Takip Sistemleri

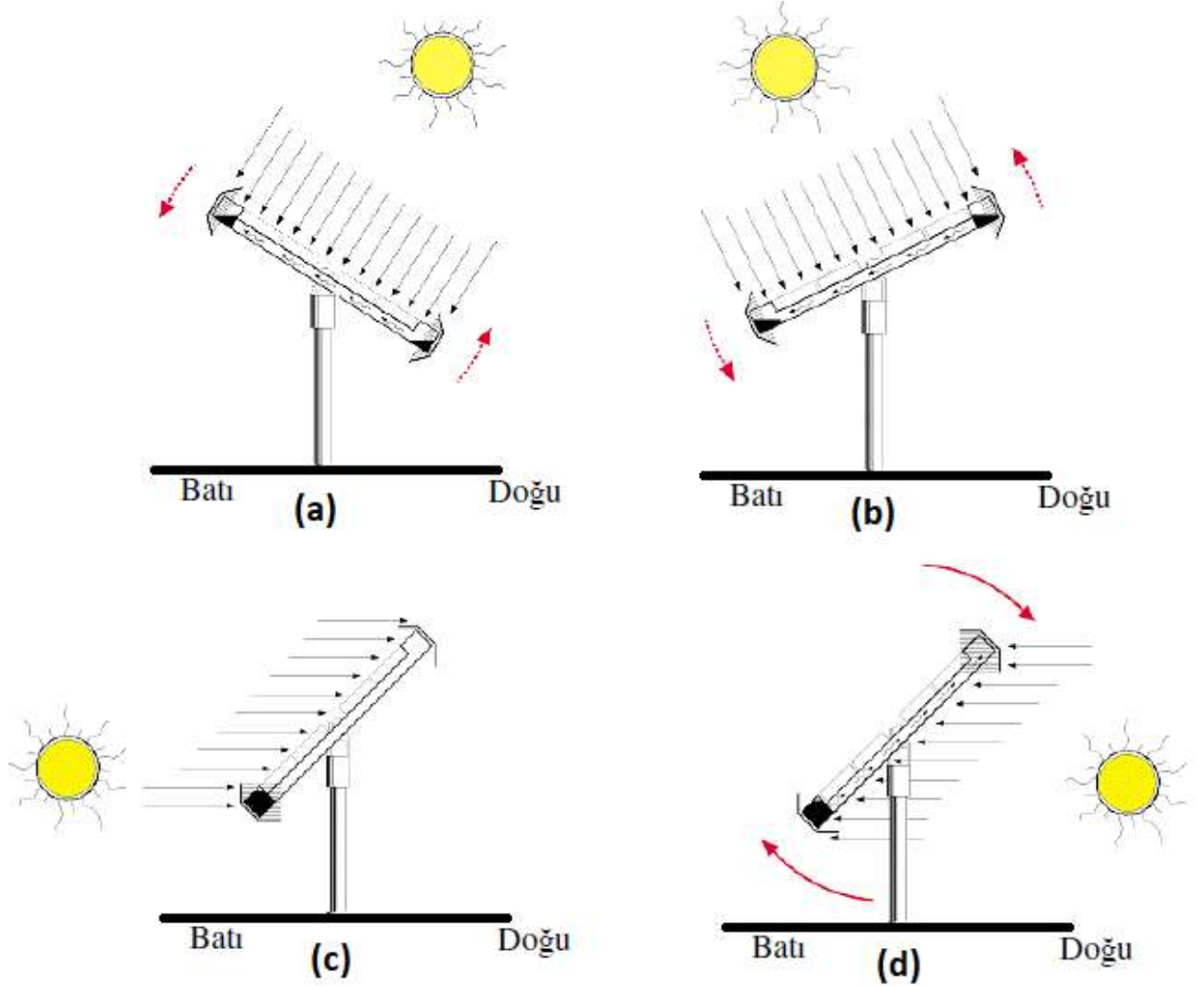
Pasif GTS sistemleri temel çalışma mantığı yer çekimine dayanmaktadır. Bu sistemlerde FV panelin yerleştirileceği mekanik aksamın sağ ve sol kenarlarına yerleştirilmiş ve içerisine özel bir sıvı bulunduran iki adet tüp bulunmaktadır [5,51]. Burada tüp içinde kullanılan sıvının, kullanılma mantığı maddenin termik genişlemesine (yaygın olarak freon) veya şekil hafızalı alaşımların kullanımına dayanır [55]. Güneş takibi için hiçbir elektriksel aksama ihtiyaç duymayan bu sistemler, güneş takibi genellikle tek eksenle yapılmaktadır. Şekil 1.21’de yer çekimi kullanılarak yapılan pasif güneş takip sistemi için örnek uygulamalar verilmiştir.



Şekil 1.21. Yer çekimi kullanan sistemlere örnek uygulama [8]

FV panellere bağlı olan sağ ve soldaki tüpler, birbirleri ile FV panelin alt tarafından bağlantılı olup birbirleri arasında sıvı geçişine oluşmaktadır. Tüplerin içinde genişleme katsayısı yüksek ve ısıya karşı hassas bir sıvı bulunmaktadır. Bu sistem kurulurken FV paneller ağırlık merkezine göre dengeli bir şekilde mekanik sistemin üzerine yerleştirilmelidir. Güneş ışınımı hangi taraftan geliyorsa o taraftaki tüpte bulunan sıvı genişlerken karşı tüpe doğru hareket ederek

mekanizmanın ağırlık merkezini değiştirir. Bu sayede FV panel güneşe doğru hareket eder ve güneş ışınları FV panele dik gelinceye kadar hareketini sürdürür. Şekil 1.22’de bu sistemin çalışma prensibi gösterilmektedir [8,51].



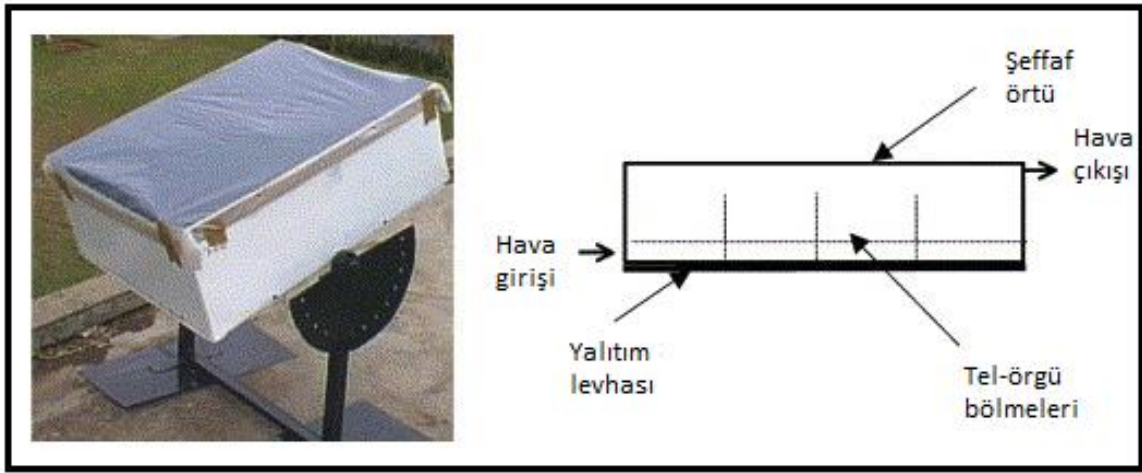
Şekil 1.22. Pasif takip sisteminin çalışma prensibi [8]

Burada güneş ışınlarının, iki tüpe de eşit miktarda gelinceye kadar panelin dönmesi (a), güneş hareket ettikçe FV panelde belli bir açı ile güneşi takip etmektedir (b), FV panel bir önceki günden batıya doğru yönelmiş halde kalmıştır (c), güneş zemine yakın olan tüpe daha fazla güneş ışığı geldiğinden tüp içindeki sıvı genişler ve aksi tarafa doğru hareket etmektedir (d).

Bu sistemlerde takip tek eksenle yapıldığı için rüzgârın mekanik sistem üzerindeki etkisini azaltmak için hidrolik damper kullanılmaktadır. Diğer bütün GTS ‘den çok daha basit ve sade bir yapıya sahip olan bu GTS sistemi en büyük dezavantajı ise FV panel kazancına etkisinin diğer GTS’lere göre çok düşük seviyede olmasıdır, hatta düşük sıcaklıklarda bu sistem hiç çalışmayabilir. Yapılan çalışmalar ile bu GTS sistemlerinin diğer GTS sistemleri ile kıyaslanabilir

olduklarını göstermiştir. Bu sistemler daha ucuz olmalarına rağmen, kullanımları yaygınlaşmamıştır.

Farklı çalışma mantığı ile yapılmış pasif GTS çalışmaları mevcuttur. Mwithiga ve ark, güneş takibi ile tahılları kurutmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada güneşi sınırlı takip edebilme özelliğine sahip, küçük bir kahve kurutucusu tasarlamışlardır. Bu kurutucu 15°'lik açılarla ayarlanarak güneşi takip etmesi sağlanmıştır. Bu sistem performansı kahve çekirdekleri ile veya kahve çekirdeksiz gün içinde 1 ile 9 kez aralığında test edilerek hava akımı ve sıcaklık değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak bu kurutucunun pasif güneş takibi yaparak kahve çekirdeklerini kurutulmasında kullanılabileceğini söylemişlerdir. Şekil 1.23'de bu çalışma gösterilmiştir [56].



Şekil 1.23. Deneyde kullanılan solar kurutucu [56]

1.5.1.2.2. Aktif Güneş Takip Sistemleri

Aktif GTS sistemlerinde mekanik aksamın hareketi motorlarla sağlanır, motorların hareket ederek mekanik aksamı güneşe çevirebilmesi için güneşi yönünü algılayan optik algılayıcılar veya güneş açılarını kullanarak güneşin konumunu bulan algoritmaların kullanıldığı sistemlerdir. Tek ve çift eksen yapıları mevcuttur. Aktif GTS sistemlerini iki ana başlık altında inceleyebiliriz.

Bunlar;

- Aktif algılayıcı tabanlı sistemler
- Koordinat tabanlı sistemler.

1.5.1.2.2.1. Aktif Algılayıcı Tabanlı Sistemler

Aktif algılayıcı tabanlı GTS sistemlerini harici iki taraflı FV tabanlı ve Elektro-optik tabanlı sistemler olarak sınıflandırabiliriz.

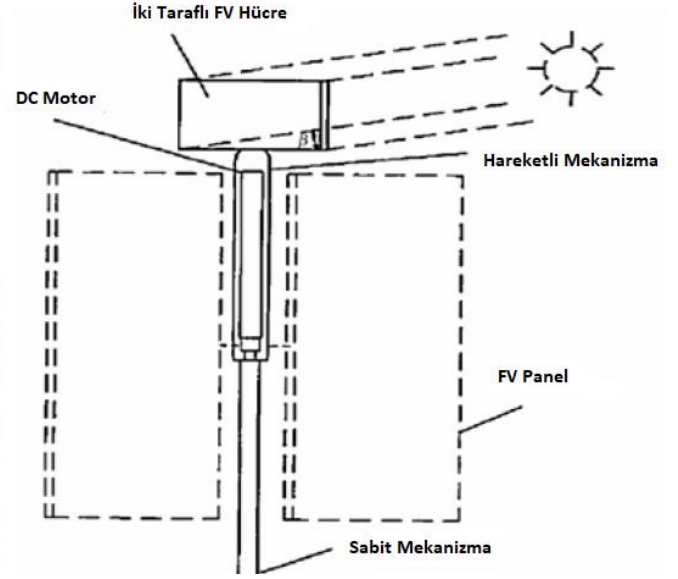
1.5.1.2.2.1.1. Harici İki Taraflı FV Tabanlı Sistemler

Aktif algılayıcı tabanlı sistemlerin en basiti olan harici iki taraflı FV sistemlerdir. Bu sistemde bulunan iki taraflı FV yapı DC bir motora direk bağlanarak takip sisteminin döner mekanizmasına sabitlenir ve hem algılayıcı olarak çalışır hem de DC motor için gerekli enerjiyi üretir. Şekil 1.24'te iki taraflı FV yapı görülmektedir.



Şekil 1.24. İki taraflı FV hücre [51]

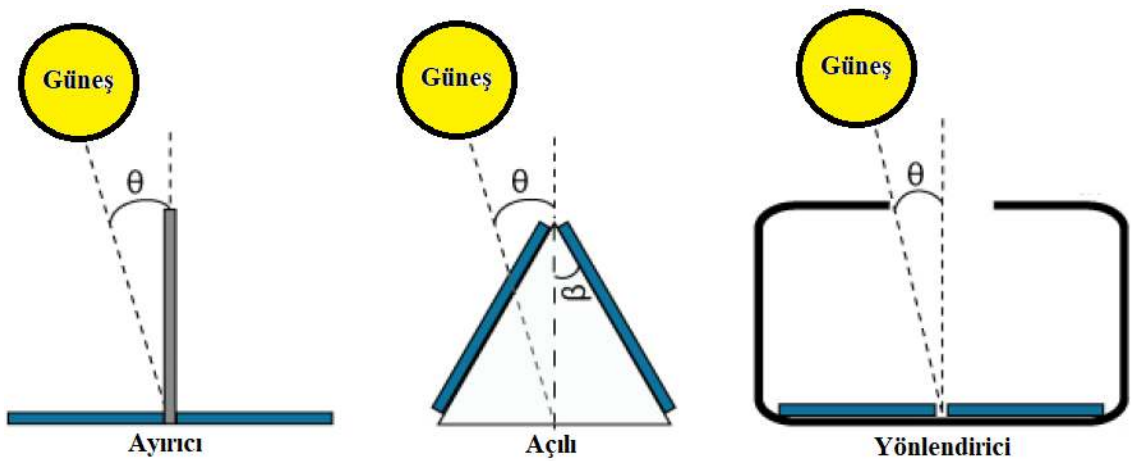
Yapılan bir çalışmada Poulek ve arkadaşları uzay ve yeryüzü uygulamalarında kullanılabilecek basit bir GTS tasarlamışlardır. Yaptıkları bu uygulama ile sürücü devreleri ve bataryalar gibi elemanlar tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu sistemde iki taraflı FV panelin yüzey alanı hareketi toplam FV panel yüzey alanının yaklaşık %1'i kadardır. Yapılan bu çalışmada kullanılan FV panellerde iki taraflı olarak kullanılmıştır. Bu sayede 360° izleme yapılabilir. Sonuç olarak bu takip sisteminin güneşi artı-eksi 5° sapma ile takip işlemini gerçekleştirdiğini gözlemleyerek sistemin ideal bir takip sisteminin elde edeceği enerjinin %95'inden fazlasını topladığını saptamışlardır [57]. Şekil 1.25'de yapılan uygulama görülmektedir.



Şekil 1.25. Tasarlanan harici iki taraflı FV tabanlı GTS [57]

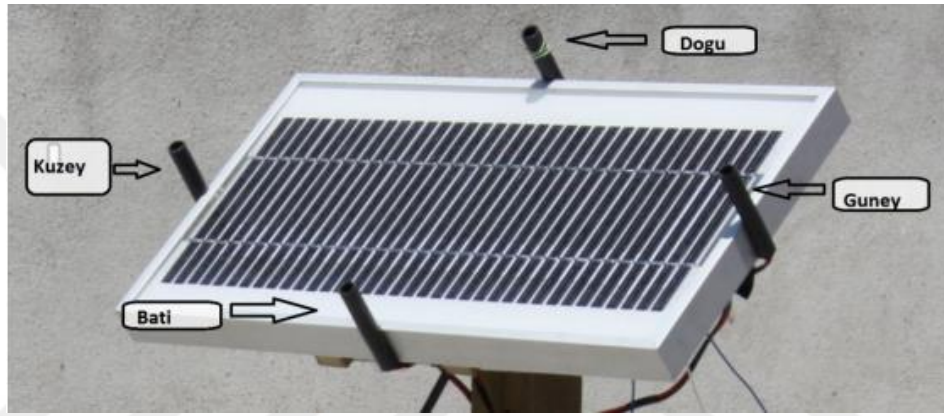
1.5.1.2.2.1.2. Elektro-Optik Tabanlı Sistemler

Bu sistemlerde güneş takibi için gerekli olan güneş konum bilgisi optik bir algılayıcı tarafından sağlanır. Güneş ışınımının yoğun olduğu yöne doğru FV panelleri yönelmesi prensibine göre çalışan bu sistemlerde kullanılan optik algılayıcı FV panelin yüzeyine paralel olarak veya üzerine en az iki tane olmak şartı ile uygun mesafe aralıklarıyla, hesaplanan açıyla eğik olarak konumlandırılabilir veya hizalayıcı kullanılarak yerleştirilir. Şekil 1.26’da Algılayıcı montaj çeşitleri görülmektedir.

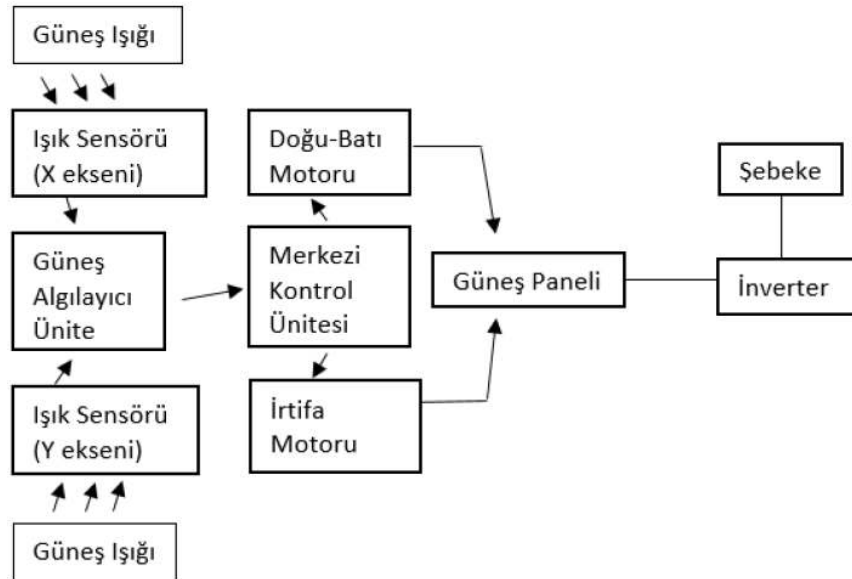


Şekil 1.26. Algılayıcı montaj çeşitleri [51]

Yaygın olarak LDR (fotodirenç) kullanılan bu sistemlerde, iki LDR kullanımı ile tek eksen takip, dört LDR kullanımı ile iki eksen takip yapmak mümkün olabilmektedir. FV panele gelen güneş ışınımı FV panel üzerindeki her bir optik algılayıcı üzerlerinde akım ve gerilim değerleri oluşturur. Algılayıcılarda oluşan bu değerler bir kontrol ünitesi tarafından kayıt altına alınarak karşılaştırılır. FV panelin üzerine güneş ışınlarının dik bir şekilde gelmesi demek, panel üzerindeki bütün algılayıcılardan okunan değerlerin eşit olması anlamına gelir. Kontrol ünitesi FV panel üzerindeki bütün algılayıcıların değeri eşit oluncaya kadar mekanik sistemi güneşe doğru çevirir. Şekil 1.27’de Algılayıcıların FV panel üzerine yerleştirilmesi, Şekil 1.28’de Çift eksen algılayıcı sistemin blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.27. FV panel üzerine yönlendirici montaj şeklinde yerleştirilen algılayıcı düzeneği [24]



Şekil 1.28. Algılayıcı kullanılan çift eksen takip sistemi blok şeması [24]

1.5.1.2.2.2. Koordinat Tabanlı Sistemler

Koordinat tabanlı GTS genel çalışma sistematığı, güneşin yıl içerisinde ve gün içindeki hareketine bağlıdır. Bu sistemler algılayıcı sistemler ile benzer prensipte çalışırlar ancak motorların hareketi için gerekli olan bilgi (sinyal), optik algılayıcılardan gelen bilgilerin kıyaslanması ile değil, bir algoritma tarafından üretilir. Bu algoritma güneş açıları hesabı ile coğrafi bölgenin enlem (paralel) ve boylam (meridyen) değerlerine göre oluşturulur [51].

Bu güneş takip sistemlerinde bu hesapları yapan bir kontrol ünitesi (mikrodenetleyici, PC, PLC vb.) bulunur. Kontrol ünitesine giriş bilgisi olarak, güneş takip sisteminin bulunduğu noktanın, sabit değerli olan enlem ve boylam bilgisi girilir. Değişken bilgi olarak ta tarih ve saat bilgisi RTC (real time clock) ‘den alınır. Yılın tarih ve saatine göre güneşin konumunu hesaplayarak FV panelleri güneşe dik olacak şekilde yönlendirir [53].

Koordinat tabanlı sistemler en büyük artısı, doğrudan güneş ışınlarının soğurulması için istenilen hassasiyetle güneşi takip edebilmesidir. Bu takip sistemi için kullanılan program 0.01° ’ye kadar hassasiyet ile doğrudan gelen ışınlımları, güneşi hiç görmeden güneş takip işleminin yapılmasını sağlar. En büyük eksisi ise, dolaylı ışınlımları algılamak mümkün olmadığı için, bu ışınlımları bilinçli olarak değerlendirmek bu sistemlerde mümkün değildir. Kısacası “Eye of Cloud” (bulutlanma) etkisi olduğu durumda, yani havanın kapalı olduğu durumlarda takip işlemine devam ederek enerji tüketmesidir. Bu durum algılayıcı sistemlere göre daha az kazanç sağlamaktadırlar. Ancak unutulmamalıdır ki “Eye of Cloud” etkisi kısa sürelidir [53].

1.5.2. Güneş Takip Sistemlerinin Karşılaştırılması

Çift eksen takibi yapan sistemler, tek eksen yapılı sistemlere göre, enerji kazancına ek avantaj sağlarken, bakım masrafları ve montaj zorlukları tek eksenli yapılara göre daha dezavantajlıdır. Tek eksenli sistemlere göre arıza çıkarabilecek hareketli parça sayısı daha fazladır. Ayrıca tek eksenli yapılar daha az profil yapısına sahiptirler [42].

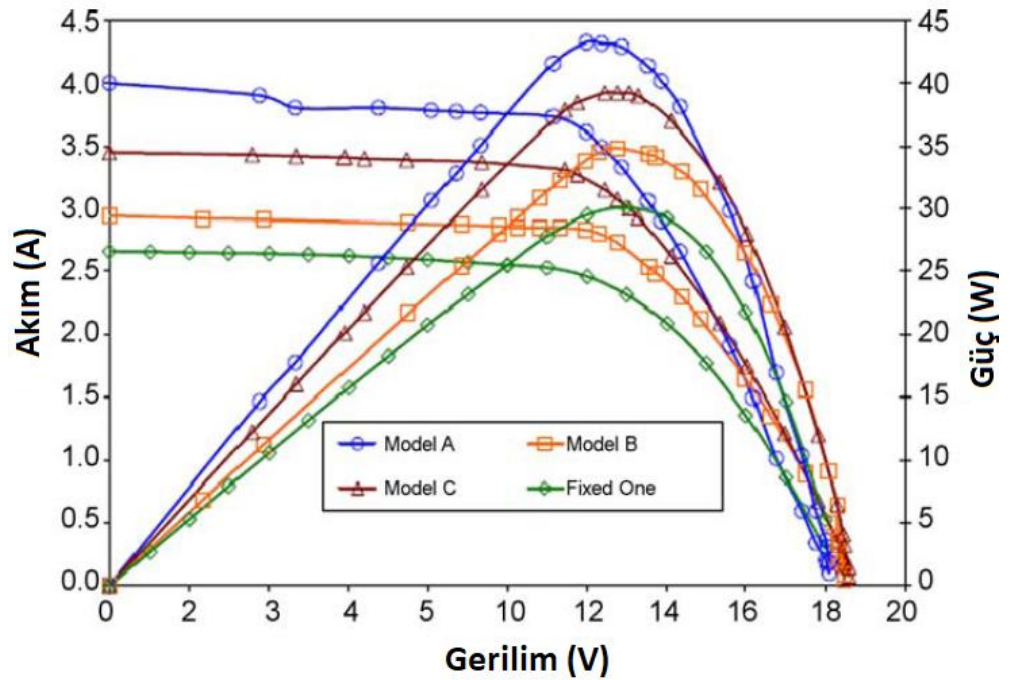
Koordinat verileri ile yapılan güneş takip sistemlerinde oluşturulan bir yazılım ile sistemin kullanıldığı yerin koordinat bilgilerinin yazılıma eklenmesi güneş takip sisteminin çalışması için yeterlidir. Algılayıcı kullanılan güneş takip sistemleri her an güneşi algılayıcı vasıtası ile takip etmeye çalıştığından güneş takip sistemindeki motorları çok fazla çalıştırıp durdurur bu sebeple fazla enerji tüketimine sebep olur. Bu bakımdan koordinat verileri ile yapılan güneş takip sistemi algılayıcı güneş takip sistemlerine göre daha az enerji tüketimine sahiptirler [5]. Algılayıcı kullanan güneş takip sistemleri yağmurlu, bulutlu hava koşullarında algılayıcıların üzerindeki

değerler eşit oluncaya kadar tarama yapmakta ve bu sayede fazladan enerji harcamaktadır. Güneş takip sistemlerinin kurulumları karşılaştırıldığında algılayıcı takip sistemlerinin kurulumları oldukça kolaydır. Koordinat verileri kullanan takip sistemleri ise eğer elektronik pusula kullanılmıyor ise güney değeri kurulum sırasında dikkatlice ayarlanmalıdır aynı zamanda GPS kullanılmıyor ise kurulum sırasında sisteme girilecek olan enlem boylam saat ve tarih bilgileri girilmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin yanlış girilmesi halinde sistem düzgün çalışmayacaktır. Algılayıcı kullanan güneş takip sistemlerinde algılayıcıların dış ortamdan etkilenerek darbe alması sonucu bozulması halinde sistem düzgün çalışmayacaktır [51].

1.5.3. Güneş Takip Sistemlerinin FV Hücre Kazancına Etkisi

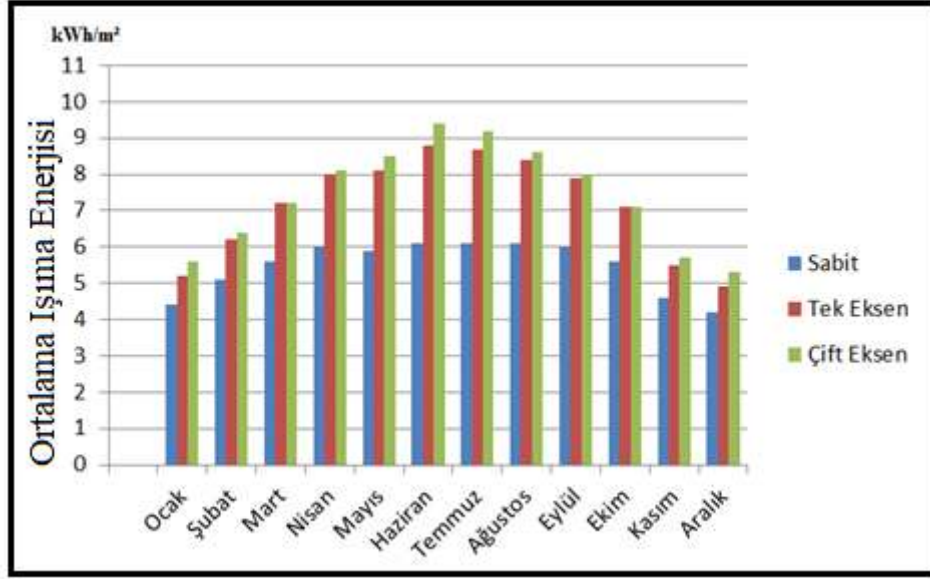
Yapılan bir çalışmada 5° panel eğim açısına sahip tek eksen takip sistemleri olan TSAT, HSAT ve VSAT karşılaştırılmış olup, TSAT'ın HSAT'a göre %10, HSAT'ın VSAT'a göre %15 daha fazla kazanç elde edilmiştir [42].

Bir başka çalışmada sabit açılı, çift eksen TTDAT (A), tek eksen HSAT (B), tek eksen reflektörlü HSAT (C), olarak karşılaştırılmış olup deneysel çalışma sonucu ile ilgili akım, gerilim ve güç grafiği şekil 1.29'da verilmiştir [58].

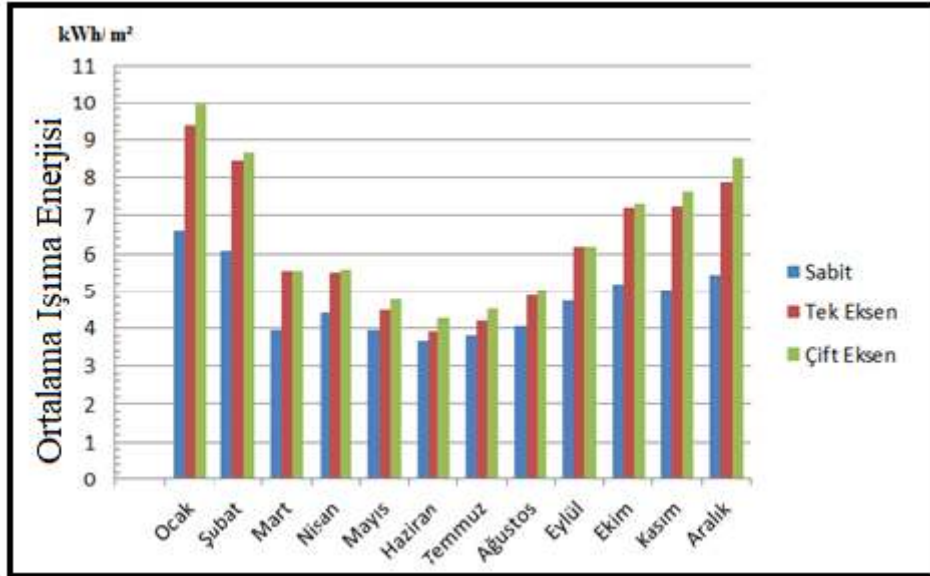


Şekil 1.29. Yapılan çalışmanın akım, gerilim ve güç eğrileri [58]

ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından yapılan çalışmada biri kuzey diğeri güney yarım kürede bulunan, Denver-CO ve Melbourne şehirlerinde, tek ve çift eksen takip sistemleri sabit açılı sistem ile kurulan deney düzeneği ile bir yıllık ölçüm yapılmıştır. Şekil 1.30'da 39°45' N, 102°52' W koordinatlarında bulunan Denver-CO şehrinde yapılan ölçümler, Şekil 1.31'de 37°49' S, 144°58' E, koordinatlarında bulunan Avustralya-Melbourne şehrinde yapılan ölçümler verilmiştir.



Şekil 1.30. Enlem: 39°45' N Boylam: 102°52' W Denver CO şehrinin aylara göre günlük güneş ışımasını kWh/m² (Panel açısı = Enlem açısı) [51]



Şekil 1.31. Enlem: 37°49' S Boylam: 144°58' E Avustralya-Melbourne şehrinin aylara göre günlük güneş ışımasını kWh/m² (Panel açısı = Enlem açısı) [51]

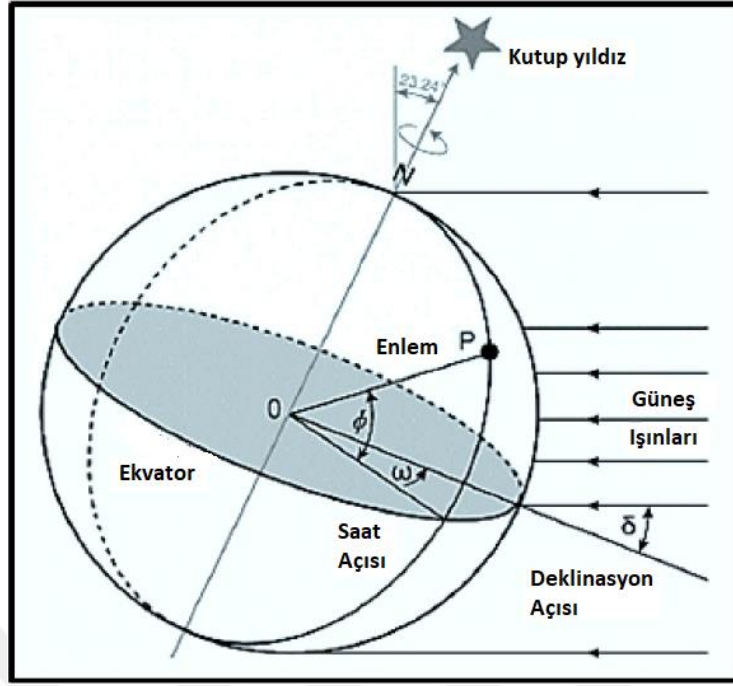
Şekil 1.30'daki çalışmanın sonucu olarak sabit açılı FV panellerde 5.5kWh/m^2 , tek eksen takip sisteminde 7.2kWh/m^2 , çift eksen güneş takip sisteminde ise 7.4kWh/m^2 , yıllık ortalama ışıma enerjisi elde edilmektedir. Bu verilere göre tek eksen takip sisteminin sabit eğimli sisteme göre enerji kazancı %30,9 çift eksen takip sisteminin sabit açılı sisteme göre enerji kazancı ise %34,5 olmaktadır. Şekil 1.31'deki çalışmanın sonucu olarak sabit açılı FV panellerde 4.74kWh/m^2 , tek eksen takip sisteminde 6.23kWh/m^2 , çift eksen güneş takip sisteminde ise 6.5kWh/m^2 , yıllık ortalama ışıma enerjisi elde edilmektedir. Bu verilere göre tek eksen takip sisteminin sabit eğimli sisteme göre enerji kazancı %31,4 çift eksen takip sisteminin sabit açılı sisteme göre enerji kazancı ise %37,1 olmaktadır [51].

1.6. Güneş Açıları

Güneşin yeryüzündeki herhangi bir zamandaki bir noktaya göre, gökyüzündeki konumu hesaplayabilmek için bazı açıların bilinmesi gerekmektedir. Sabit veya hareket eden bir düzlemin yüzeyine gelen güneş ışınlarının şiddeti, düzlemin bulunduğu yerin enlem (paralel) boylam (meridyen), tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle farklılık göstermektedir. Düzlemin konumu, eğimi üzerindeki güneş ışıınım şiddetinin değişmesine sebebiyet verir. Bu nedenle her zaman devinimin de dik bir açı ile gelecek olan güneş ışıınımın sağlanabilmesi için güneşin pozisyonunu belirlememiz gerekmektedir. Güneş pozisyonunu belirlenmesinde yapılacak hesaplamalarda, ihtiyaç olunan açıları ve tanımlar, ana ve türetilen güneş açıları olmak üzere iki ana başlık altında verilmiştir [59].

1.6.1. Ana Güneş Açıları

Yeryüzündeki her hangi bir noktaya gelen güneş ışıınımı doğrultusu o noktanın enlem açısı (θ), saat açısı (ω) ve deklinasyon (δ) açısı biliniyorsa bulunabilir. İşte bu üç açı ana güneş açılarını oluşturur. Şekil 1.32'de enlem (θ), saat (ω) ve deklinasyon (δ) açısı görülmektedir.



Şekil 1.32. Enlem ($\emptyset$), saat (ω) ve deklinasyon (δ) açılarının görünümü [60]

1.6.1.1. Enlem Açısı ($\emptyset$)

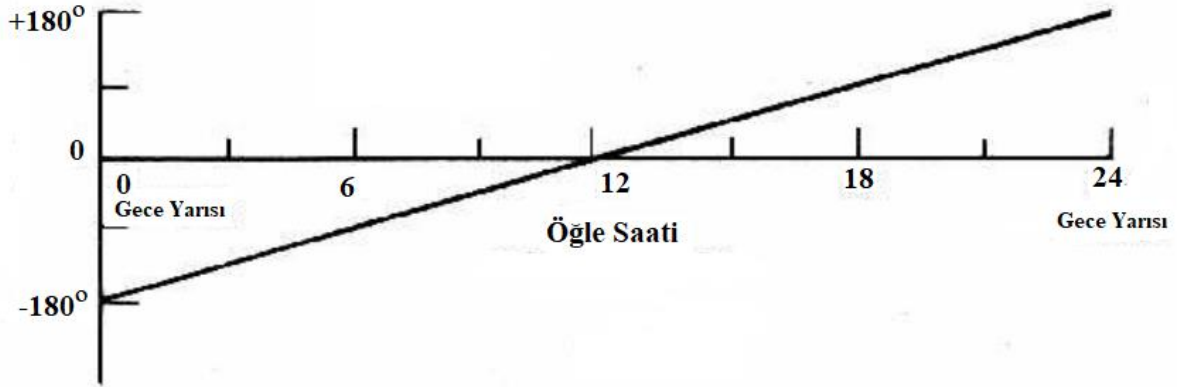
Yeryüzünde herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrultu ile ekvator arasında kalan açıdır. Ekvator başlangıç kabul edilerek, enlem açısı kuzeye doğru pozitif işaret, güneye doğru ise negatif işaret alarak, $-90 \leq \emptyset \leq 90$ arasında değişmektedir [61].

1.6.1.2. Saat Açısı (ω)

Yeryüzünde bir noktanın boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam (güneş boylamı) arasındaki açıdır [61]. Şekil 1.32’de görüldüğü gibi yeryüzünde belirlenen noktanın ve güneşin ekvator izdüşümleri alınır, belirlenen nokta, dünya merkezi ve güneş arasındaki açı saat açısı olur. Saat açısı güneş öğlesi yani saat 12:00 başlangıç kabul edilerek ölçülür. Öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+), değerini alır. Her 1 saat, 15° ’lik saat açısına denk gelmektedir. Bunun sebebi dünya güneş etrafında 1 tur atmasıyla 360° ’lik açı yapacak olmasındandır. 360° ’lik bu açığı 24 saate böldüğümüzde 15° değeri bulunur. Denklem (1.7) de saat açısı hesabı veren denklem görülmektedir [61].

$$\omega = \frac{(\text{saat} * 60 + \text{dakika}) - 720}{4} \quad (1.7)$$

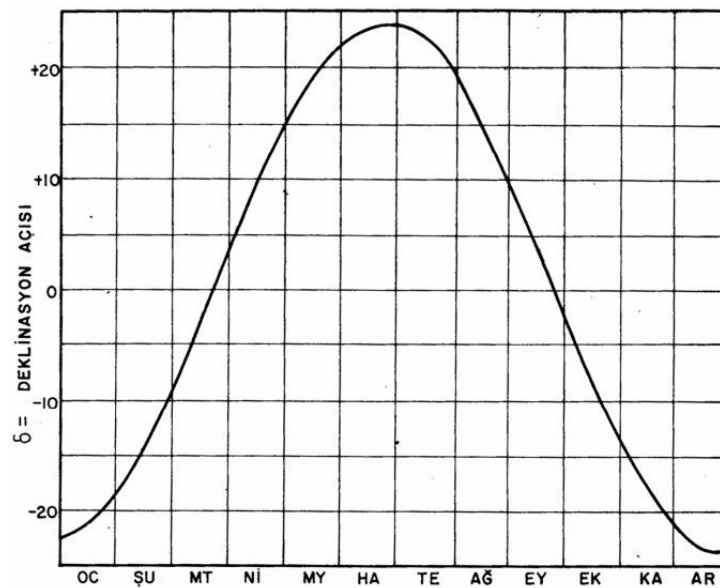
Saat açısı $+180^\circ$ ile -180° arasında değer alır. Şekil 1.33’de saat açısının gün içerisindeki değişimi verilmiştir.



Şekil 1.33. Saat açısının gün içerisindeki değişimi [62]

1.6.1.3. Deklinasyon Açısı (δ)

Bu açı dünya yüzeyi ile güneş ışınları arasındaki açı ilişkisi bakımından en önemlisi diyebiliriz. Kısaca ekvator düzlemi ile güneş ışınlarının yaptığı açıdır diyebiliriz. Yörünge düzleminin normali ile dünyanın dönme ekseninin, arasındaki açı değeri $23,45^\circ$ 'dir. Deklinasyon açısı dönence noktalarında (21 Mart ilkbahar dönencesi, 22 Eylül sonbahar dönencesi) sıfır değerini almaktadır. Gün dönümü (ekinoks) zamanlarında (21 Haziran yaz gündönümü, 22 Aralık kış gün dönümü) yaz gündönümünde 23.45° , kış gündönümünde -23.45° değerlerini alır. Deklinasyon açısının yıl boyu değişimi Şekil 1.34’de verilmektedir [61].



Şekil 1.34. Deklinasyon açısının yıllık değişimi [62]

Deklinasyon açısı Şekil 1.34’de görüldüğü gibi, kendini her yıl tekrarlamaktadır, bu pratik olarak pek mümkün olmamaktadır. Fakat biz dünyanın güneş etrafında dönmesi süresini 365 gün 6 saat değil de 365 gün olarak kabul ettiğimizden dolayı, deklinasyon açısı aynı tarihe sahip bir günde yıldan yıla çok az değişmekte olup pratik olarak belirli bir günde sabit kabul edilebilir. Çizelge 1.5’de değişik yıllara ait aynı günlerdeki deklinasyon açısı değerleri görülmektedir [62].

Deklinasyon açısı, 1 Ocak başlangıç günü olarak kabul edildiğinde, başlangıç gününden hesaplanacak güne kadar geçen gün sayısı n değeri olan 1969 yılında Cooper tarafından oluşturulan denklem (1.8) ile büyük bir doğrulukta bulunabilir.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{n - 284}{365}\right) \quad (1.8)$$

Lunde (1980) (1.8) denklemin yerine deklinasyon açısının denklem (1.9) ile daha doğru hesaplanabileceğini iddiasında bulunmuştur.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{n - 80}{370}\right) \quad (1.9)$$

Çizelge 1.5’de görülmektedir ki deklinasyon açısı farklı ampirik denklemler vasıtasıyla da bulunmaktadır.

Çizelge 1.5. Her ayın 1’i için ölçülen ve hesaplanan deklinasyon açısı değerleri [61]

AYLAR	ÖLÇÜLEN DEKLİNASYON AÇI (δ) DEĞERİ		HESAPLANAN DEKLİNASYON AÇI (δ) DEĞERİ	
	1950	1976	COOPER	LUNDE
OCAK	-23,07	-23,09	-23,01	-22,84
ŞUBAT	-17,32	-17,40	-17,52	-17,07
MART	-7,88	-7,62	-8,29	-7,81
NISAN	4,23	4,51	4,02	4,35
MAYIS	14,83	15,04	14,90	15,04
HAZİRAN	21,97	22,04	22,04	22,04
TEMMUZ	23,17	23,12	23,12	23,15
AĞUSTOS	18,14	18,04	17,91	18,12
EYLÜL	8,58	8,32	7,72	8,17
EKİM	-2,53	-3,15	-4,22	-3,57
KASIM	-14,11	-14,40	-15,36	-14,73
ARALIK	-21,41	-21,79	-22,11	-21,76

Genel olarak deklinasyon açısının aylık ortalama değerleri alınarak deklinasyon açısı ile yapılacak işlemlerde bu ortalama aylık aç değerleri kullanılmaktadır. Aylık ortalama deklinasyon değeri hesaplanırken yaygın olarak her ayın belirli bir günü için aynı denklemler kullanılarak hesaplanan deklinasyon açısı ile aylık ortalama için iyi bir yaklaşım olacaktır. Yaygın olarak belirli bir ay için güneş ışıınının değerinin hesaplanabilmesi için belirlenen ayın her günü yerine ayın ortalama güneş ışıını değeri ortalama deklinasyon açısına sahip günde yapılmaktadır. Bunun yapılabilmesi için deklinasyon açısının aylık ortalama değerlerinin bilinmesi gerekir [59].

1.6.2. Türetilen Güneş Açıları

Eğimli veya yatay bir düzleme gelecek olan güneş ışıınının değerinin belirlenmesinde, güneşin ışıınlarının doğrultusu ile alakalı olan açılardan faydalanılır. Bu açılar; güneş geliş açısı (Θ), zenit açısı (Θ_Z), yüzey azimut açısı (γ), güneş yükseklik açısı (α_S), güneş azimut açısı (γ_S) ve eğim açısı (β) gibi açılara, türetilen güneş açıları denilmektedir [59,61].

1.6.2.1. Güneş Geliş Açısı (Θ)

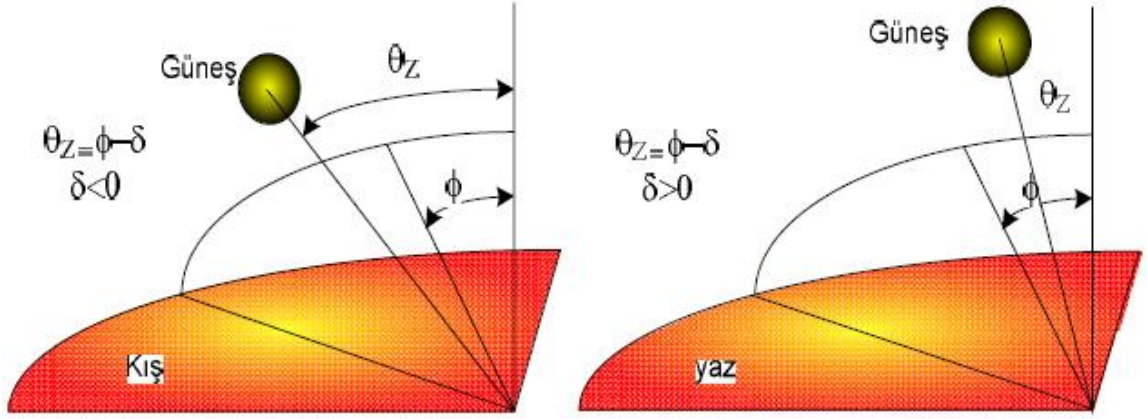
Güneş doğrultusunun geldiği yüzeyin normali arasındaki açıdır. Güneşin geliş açısı olarak isimlendirilir.

1.6.2.2. Yüzey Azimut Açısı (γ)

Eğimli yüzeyin normalinin yatayda oluşturduğu izdüşümüdür. Güney başlangıç kabul edilerek, doğuya doğru pozitif batıya doğru negatif kabul edilir. Güneş azimut açısı -180° ile 180° arasında değişmektedir.

1.6.2.3. Zenit Açısı (Θ_Z)

Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açıdır. Diğer bir ifade ile güneş ışıınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Zenit açısı yatay düzlemde güneşin doğma ve batma anında 90° 'ye eşit olur. Yatay düzleme güneş açıları dik bir açı ile geldiği zaman, diğer bir ifadeyle saat öğlen 12:00'de olduğunda zenit açısı 0° olur. Şekil 1.35'te zenit açısının yaz ve kış mevsimindeki değişimi deklinasyon ve enlem açıları ile birlikte gösterilmektedir [61,62].



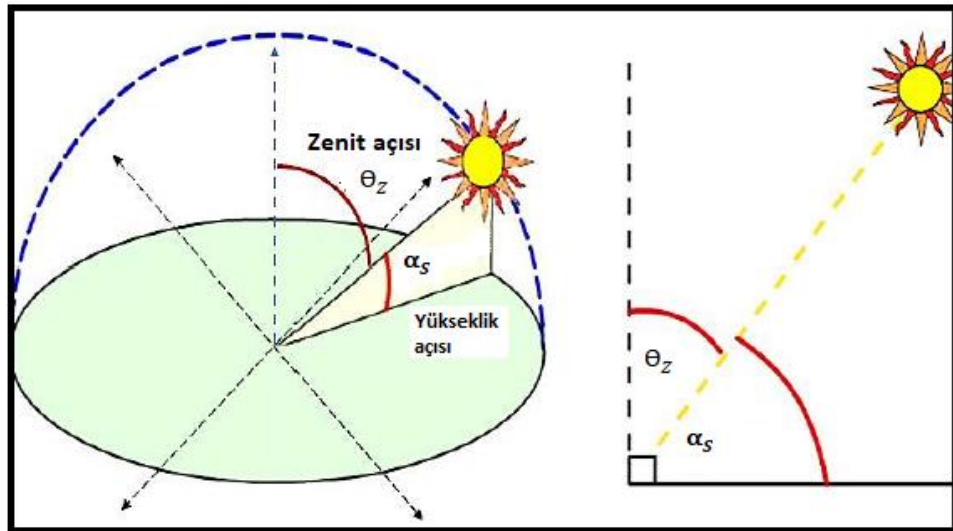
Şekil 1.35. Zenit, açısının yaz ve kış mevsimlerdeki görünümü [59]

1.6.2.4. Güneş Yükseklik Açısı (α_s)

Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açıdır. Her zaman zenit açısını 90° 'ye tamamlar ($\theta_Z + \alpha_s = 90^\circ$). Buradan da anlaşılacağı gibi zenit açısı ile güneş yükseklik açısı arasında trigonometrik olarak

$$\cos \theta_Z = \sin \alpha_s \quad (1.10)$$

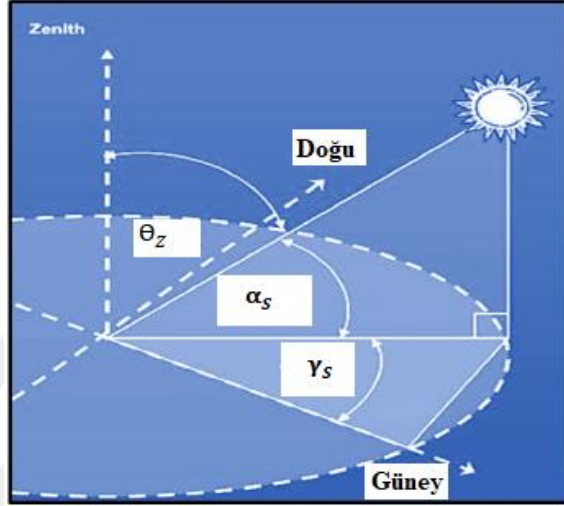
Bağıntısı yazılabilir. Şekil 1.36'da zenit açısı ile güneş yükseklik açısı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.36. Zenit açısı ile güneş yükseklik açısının görünümü [60]

1.6.2.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)

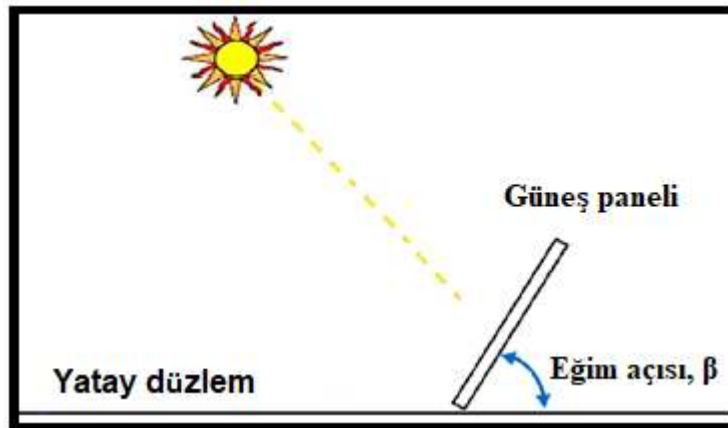
Yatay düzlem üzerinde güneşin doğrultusunun güneye göre açısal bakımdan izdüşümüdür. Güney başlangıç alınarak (0°), doğuya doğru negatif batıya doğru pozitif kabul edilir. Güneş azimut açısı -180° ile 180° arasında değişmektedir. Şekil 1.37’de güneş azimut açısı ile zenit ve güneş yükseklik açısı görülmektedir.



Şekil 1.37. Zenit, güneş azimut ve güneş yükseklik açısı [60]

1.6.2.6. Eğim Açısı (β)

Eğim açısı panel ile yatay yüzey düzlemi arasında kalan açıdır. Ekvator eksenine doğru yönelen yüzey için pozitif değer alır. 0° ile 90° arasında değer alır. Şekil 1.38’de eğim açısı görülmektedir.



Şekil 1.38. Yatay düzlemdeki panel eğim açısı [60]

1.6.3. Güneş Açı Hesaplamaları

1.6.3.1. Güneş Geliş ve Zenit Açısı Hesaplamaları

Güneş açıları arasındaki trigonometrik ilişkilerden yararlanılarak bazı hesaplamalar yapılmıştır. Eğimi sabit kabul edilen bir yüzeye gelen güneş ışınımının geliş açısı denklem (1.11) verilmiştir [59,62].

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta * \sin\emptyset * \cos\beta - \sin\delta * \cos\emptyset * \sin\beta * \cos\gamma + \cos\delta * \cos\emptyset * \\ & \cos\beta * \cos\omega + \cos\delta * \sin\emptyset * \sin\beta * \cos\gamma * \cos\omega + \\ & \cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma * \sin\omega \end{aligned} \quad (1.11)$$

Diğer bir ifadeyle;

$$\cos\theta = \cos\theta_z * \cos\beta + \sin\theta_z * \sin\beta * \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (1.12)$$

Denklemini elde edilir.

Güneş geliş açısının dik yüzeyler için hesaplamak istersek, eğim 90° değerine sahip olduğundan denklem (1.11) de eğim değeri yerine yazılıp denklem yeniden düzenlenirse denklem (1.13) elde edilmiş olur [62].

$$\begin{aligned} \cos\theta = & -\sin\delta * \cos\emptyset * \cos\gamma + \cos\delta * \sin\emptyset * \cos\gamma * \cos\omega + \\ & \cos\delta * \sin\gamma * \sin\omega \end{aligned} \quad (1.13)$$

Bu kez yatay yüzeyler için güneş geliş açısını bulmak için eğim açısı 0° değerine sahip olduğundan dolayı zenit açısı güneş geliş açısına eşit olur. Denklem (1.11) de eğim değeri yerine 0° yazılıp denklem yeniden düzenlenirse denklem (1.14) elde edilmiş olur [59].

$$\cos\theta_z = \sin\emptyset * \sin\delta + \cos\emptyset * \cos\delta * \cos\omega \quad (1.14)$$

Zenit açısı ile güneş yükseklik açısı birbirini 90° ye tamamladığı bilindiğine göre bu zenit açısı değeri ile güneş yükseklik açısı değeri de bulunabilir.

$$\alpha_s = 90 - \theta_z \quad (1.15)$$

Buradan da anlaşılacağı gibi zenit açısı ile güneş yükseklik açısı arasındaki bağıntı istenildiği zaman denklem (1.10) kullanılabilir.

1.6.3.2. Güneş Azimut Açısının Hesaplanması

Güneş azimut açısı bilindiği gibi -180° ile 180° arasında değer almaktaydı. $23,45^\circ$ ile $66,45^\circ$ arasındaki kuzey ve güney enlemleri için, güneş azimut açısı değeri güneşlenme süresi 12 saatten daha az süreye sahip günler için -90° ile $+90^\circ$ arasında olacaktır. Güneşlenme süresi 12 saatten daha uzun olan günler için ise güneş azimut açısı -90° 'den daha küçük ve 90° daha büyük değerler alacaktır. Bu durum kuzey yarım kürede doğu-batı yönünde kuzeyinde veya güney yarım kürede doğu-batı yönünde gün doğuşunda ve gün batımında oluşabilmektedir. Denklem (1.16) güneş azimut açısı eşitliği verilmiştir [62].

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z * \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z * \cos \phi} \right) \right| \quad (1.16)$$

Burada saat açısı işareti azimut açısı bulunan güneş azimut açısı değerinin işaretini belirlemektedir. Güneş azimut ve zenit açılarının belirlenmesini bir örnek ile gösterirsek;

Örnek 1. 43° enlem değerine sahip bir bölgede 13 Şubat 9:30 ve 1 Temmuz 18:30 zamanlarındaki güneş azimut ve zenit açı değerlerini hesaplayalım [62].

13 Şubat 09:30 zamanı için;

$\delta = -14^\circ$ ve $\omega = -37,5^\circ$ değerleri bulunur.

Zenit açısı için, denklem (2.8) den yararlanılarak;

$$\cos \theta_z = \sin(43) * \sin(-14) + \cos(43) * \cos(-14) * \cos(-37,5)$$

$\theta_z = 66,5^\circ$ değeri bulunur.

Güneş azimut açısı için, denklem (2.10) da yararlanılarak;

$$\gamma_s = (-1) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos(66,5) * \sin(43) - \sin(-14)}{\sin(66,5) * \cos(43)} \right) \right|$$

$\gamma_s = -40^\circ$ değeri bulunur.

1 Temmuz 18:30 zamanı için;

$\delta = 23,1^\circ$ ve $\omega = 97,5^\circ$ değerleri bulunur.

Zenit açısı için,

$$\cos\theta_z = \sin(43) * \sin(23,1) + \cos(43) * \cos(23,1) * \cos(97,5)$$

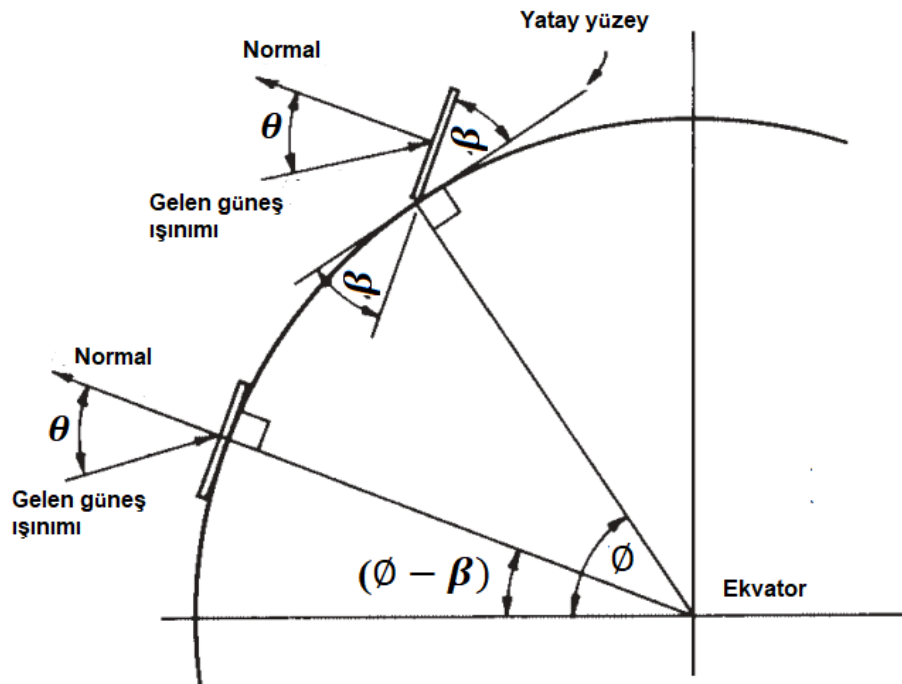
$\theta_z = 79,6^\circ$ değeri bulunur.

Güneş azimut açısı için,

$$\gamma_s = (+1) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos(79,6) * \sin(43) - \sin(23,1)}{\sin(79,6) * \cos(43)} \right) \right|$$

$\gamma_s = 112^\circ$ değeri bulunur.

Kuzey ya da güney tarafa doğru eğimli bir yüzeye gelen, güneş geliş açısının da bazı ilişkiler mevcut olup, β eğimine ve ϕ enlemine sahip noktalardaki eğimli yüzeye gelen güneş ışıması $(\phi - \beta)$ farkının oluşturduğu bir sanal enlem değerindeki noktaya gelen güneş ışıması ile benzer açısal bir ilişkiler söz konusudur. Bu ilişki kuzey yarımküre için şekil 1.39’da gösterilmiştir [62].



Şekil 1.39. Kuzey yarımkürede olup güneye yönlendirilmiş bir yüzey için oluşan açıların dünya yüzeyindeki görünüşü [62]

Zenit açısı denklemi (1.14) düzenlendiğinde kuzey yarım küre için denklem (1.17) oluşur.

$$\cos\theta = \sin(\phi - \beta) * \sin\delta + \cos(\phi - \beta) * \cos\delta * \cos\omega \quad (1.17)$$

Güney yarım küre için; denklem (1.17) de bulunan $(\phi - \beta)$ yerine $(\phi + \beta)$ yazılarak denklem yeniden düzenlenirse,

$$\cos\theta = \sin(\phi + \beta) * \sin\delta + \cos(\phi + \beta) * \cos\delta * \cos\omega \quad (1.18).$$

elde edilir.

Güneş tam tepedeyken gelen güneş geliş açısı ve zenit açısı için aşağıdaki özel durumlar göz önüne alınmalıdır [62].

Kuzey yarım küre için;
Güneş geliş açısı;

$$\theta_{öğle} = |\phi - \delta - \beta| \quad (1.19)$$

Zenit açısı ise;

$$\theta_z = |\phi - \delta| \quad (1.20)$$

Güney yarım küre için;
Güneş geliş açısı;

$$\theta_{öğle} = |\delta - \phi - \beta| \quad (1.21)$$

Zenit açısı ise;

$$\theta_z = |\delta + \phi| \quad (1.22)$$

İfadeleri ile elde edilir.

1.6.3.3. Güneşin Doğuş ve Batış Açılarının Hesaplanması

Güneşin doğduğu ve battığı zamanlarda zenit açısının değeri 90° dir. Denklem (1.14) de zenit açısının değeri 90° olarak yerine yazılır ve saat açısı yalnız bırakılırsa denklem (1.23) elde edilir [62].

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\delta * \sin\phi}{\cos\delta * \cos\phi} = -\tan\delta * \tan\phi \quad (1.23)$$

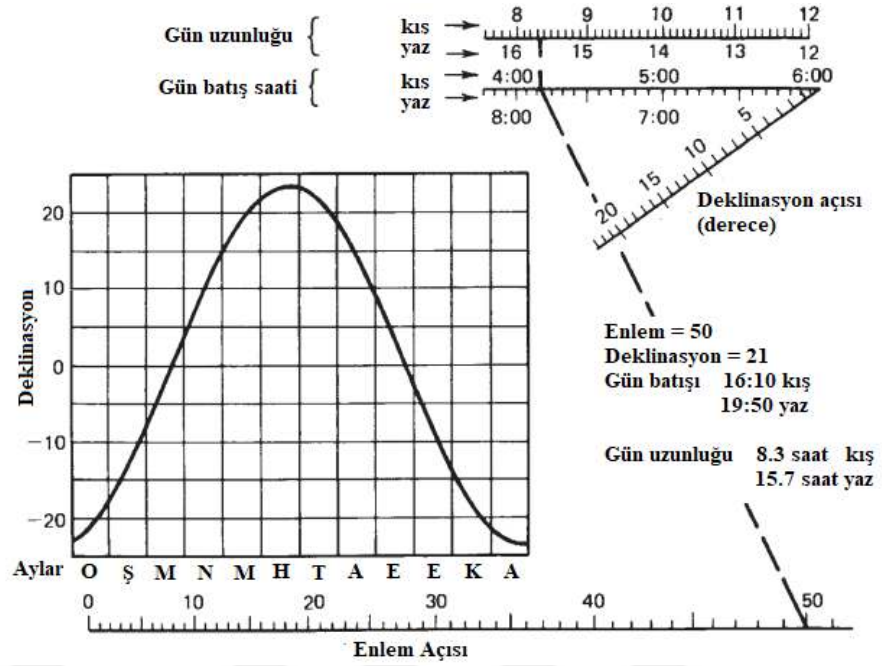
Burada bulunacak olan (ω_s) değerinin negatif değeri güneşin doğuş açısı, pozitif değeri ise güneşin batış açısının değeri olmaktadır.

1.6.3.4. Güneşin Gün Uzunluğu ve Doğuş-Batış Zamanının Hesaplanması

Bir saat zamanın açı cinsinden eşiti 15° dir. Buradan yola çıkarak denklem (1.23) de bulunan açı değerini (ω_s) 15° ye bölündüğünde bulunan değer öğlen 12:00 zamanın dan çıkarıldığında da güneş doğuş zamanını, saat 12:00'ye eklendiğinde ise güneş batış zamanını bulabiliriz. Burada ω_s değerini 15° ye bölüp iki katını alırsak gün uzunluğunu da bulmuş oluruz. Güneşin gün uzunluğu denklem (1.24) verilmiştir.

$$N = \frac{2}{15} * \omega_s = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan\phi * \tan\delta) \quad (1.24)$$

Whillier (1965) yapmış olduğu, istenilen enlem derecesi ve deklinasyon açısına göre güneşin batış zamanını ve gün uzunluğunu hesaplayabilen bir cetvel tasarlamıştır. Bu cetvel ile hiçbir hesaplama yapılmadan sadece enlem açısı değeri deklinasyon açısı değerine karşılaştırılarak istenilen günün gün uzunluğu ve güneş batış saati belirlenmektedir. Şekil 1.40'ta Whillier'ın yapmış olduğu cetvel bir örnek ile verilmiştir.



Şekil 1.40. Whillier (1965) gün uzunluğu ve güneşin batış zamanını gösteren cetvel [62]

1.6.3.5. Takip Sistemli Yüzeyler İçin Açılar

Güneş takip sistemleri için FV panelin sürekli güneşi doğru bir şekilde takip etmesi için güneş geliş açısı ve yüzey azimut açılarının bilinmesi gerekmektedir. Doğu batı ekseninde hareket eden bir yüzey için öğlen saatinde gelen güneş ışığı yüzeyin normali ile aynı olabilmesi için güneş geliş açısının değeri denklem (1.25) ile bulunur [59].

$$\cos\theta = \cos^2\delta * \cos^2\omega + \sin^2\delta \quad (1.25)$$

Bu panelin eğimi her gün için sabit olacak ve bu değer;

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (1.26)$$

Şeklinde ifade edilir. Bir gün için yüzey azimut açıları, deklinasyon ve enlem açıları ile ilişkili olarak 0° ile 180° değerinde olması gerekir. Bu durum için yüzey azimut açısı değeri;

$$(\phi - \delta) > 0 \text{ ise } \gamma = 0^\circ, (\phi - \delta) < 0 \text{ ise } \gamma = 180^\circ \text{ olur.}$$

Yatay olarak doğu-batı ekseninde hareket eden bir yüzey için gelen güneş açısının en düşük değerde olması için, güneş geliş açısı denklem (1.27) de ifade edilmiştir.

$$\cos\theta = \sqrt{(1 - \cos^2\delta * \sin^2\omega)} \quad (1.27)$$

Bu yüzey için eğim değeri ise;

$$\tan\beta = (\tan\theta_z * |\cos\gamma_s|) \quad (1.28)$$

Denklemleri ile ifade edilir. Takip sisteminin bu çalışma şekli için yüzey azimut açısı değeri, eğer güneş azimut değeri artı eksi 90°değerinde değişim gösterirse, yüzey azimut açısı değeri 0° ile 180° arasında değişir ve şöyle ifade edilir.

$|\gamma_s| < 90$ ise $\gamma = 0^\circ$, $|\gamma_s| > 90$ ise $\gamma = 180^\circ$ değerlerinde olacaktır.

Kuzey-güney ekseninde hareket eden bir yüzey için gelen güneş açısının en düşük değerde olması için, güneş geliş açısı denklem (1.29) ifade edilmiştir.

$$\cos\theta = \sqrt{(\cos^2\theta_z - \cos^2\delta * \sin^2\omega)} \quad (1.29)$$

Yüzeyin eğimi ise;

$$\tan\beta = \tan\theta_z |\cos(\gamma - \gamma_s)| \quad (1.30)$$

Güneş azimut açısının değerinin işaretine göre yüzey azimut açısı;

$\gamma_s > 0$ ise $\gamma = 90^\circ$, $\gamma_s < 0$ ise $\gamma = -90^\circ$ değerlerinde olacaktır.

Dikey eksen etrafında sabit bir eğim açısı ile dönen bir yüzey için, güneş geliş açısının en düşük değere yaklaşması için yüzey azimut ve güneş azimut açıları eşit olmalıdır. Bu açılar eşit alınarak güneş geliş açısı yani denklem (1.12) yeniden düzenlenirse,

$$\cos\theta = \cos\theta_z * \cos\beta + \sin\theta_z * \sin\beta \quad (1.31)$$

ifadesi elde edilir ve burada $\beta = \text{sabit}$ ve $\gamma = \gamma_s$ olacağı için, dünyanın eksenine paralel kuzey-güney ekseninde hareket eden bir yüzey için güneş geliş açısı en düşük değere indirebilmek için güneş geliş açısı değeri; $\cos\theta = \cos\delta$ olmalı ve sürekli olarak değişen eğim değeri;

$$\tan\beta = \frac{\tan\phi}{\cos\gamma} \quad (1.32)$$

olması gerekmekte olup, bu bağlamda yüzey azimut açısı değeri;

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{\sin\theta_z * \sin\gamma_s}{\cos\theta^i * \sin\phi} \right] + 180 * a1 * a2 \quad (1.33)$$

şeklinde ifade edilir, burada,

$$\cos\theta' = \sin\theta_z * \sin\phi + \cos\theta_z * \cos\phi \quad (1.34)$$

olduğundan dolayı,

$$\tan^{-1} \left[\frac{\sin\theta_z * \sin\gamma_s}{\cos\theta^i * \sin\phi} \right] + \gamma_s = 0 \quad (1.35)$$

olduğunda $a1=0$, aksi durumda $a1=1$ değerini alır.

Eğer $\gamma_s > 0$ ise $a2=1$, $\gamma_s < 0$ ise $a2=-1$ değerini alır.

1.6.4. Farklı Yaklaşımlar ile Hesaplanan Güneş Açı Hesaplamalarının Karşılaştırılması

Güneş konumuna yönelik birçok araştırmacı tarafından çeşitli açı hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamaları iki gruba ayırabiliriz. Birinci olarak basit formüller ve algoritmalar ile yıl içindeki günü, güneş sapması, zaman denklemi, güneş pozisyon parametreleri ve deklinasyon açısını tahmin edecek hesaplamalar yapmışlardır (Cooper, 1969; Lamm, 1981; Spencer, 1971; Swift, 1976). İkinci grup araştırmacılar ise daha karmaşık algoritmalar ve hesaplar üzerinde yayınlar yapmışlardır (Michalsky, 1988; Pitman ve Vant-Hull, 1978; Walraven, 1978). Kesin konum ve zaman göz önüne alınarak güneşin ekliptik koordinat sisteminden yararlanarak,

güneş konumunu belirlemeye çalışmışlardır. Çizelge 1.6’da farklı bilim insanlarının hesapladıkları güneş parametreleri görülmektedir [63].

Çizelge 1.6. Bilim insanlarının hesapladıkları güneş parametreleri [63]

Kişi	Yıl	Deklinasyon (δ)	Doğru Yükseliş (R_a)	Zaman Denklemi (w)	Azimuth (γ)	Zenit (θ_z)
Cooper	1969	X				
Spencer	1971	X		X		
Swift	1976	X				
Pitman ve Vant-Hull	1978	X		X		
Walvaren	1978	X	X		X	X
Lamm	1981			X		
Michalsky	1988	X	X	X	X	X

Çizelge 1.7’de görüldüğü gibi Michalsky’nin geliştirdiği hesaplamalar ve algoritma sadece zenit ortalama hesabında yaklaşık binde üçlük bir fark bir değer ile geridedir, diğer bütün parametrelerde Michalsky diğer hesaplama ve algoritmalara oranla çok daha başarılı olmuştur. [63].

Çizelge 1.7. 1990-2005 yılları arasında farklı algoritma ve hesaplamaların performansları[63].

	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Sapma	Değer Aralığı
Zenit				
Spencer	-0,657	13,895	11,340	[-45,568 - 40,918]
Pitman ve Vant-Hull	-0,119	0,235	0,186	[-1,036 - 0,649]
Walvaren	-0,119	0,196	0,155	[-0,768 - 0,486]
Michalsky	-0,121	0,139	0,110	[-0,666 - 0,345]
Azimet				
Spencer	0,059	15,377	12,378	[-53,516 - 42,066]
Pitman ve Vant-Hull	-0,068	0,376	0,270	[-2,875 - 2,287]
Walvaren	-0,176	0,253	0,187	[-2,465 - 0,894]
Michalsky	-0,042	0,214	0,155	[-1,917 - 1,532]
Güneş vektörü Sapması				
Spencer	15,966	9,203	7,588	[0,055 - 46,460]
Pitman ve Vant-Hull	0,322	0,175	0,140	[0,000 - 1,097]
Walvaren	0,271	0,139	0,112	[0,000 - 0,798]
Michalsky	0,207	0,107	0,085	[0,000 - 0,667]

1.6.5. PSA (La Plataforma Solar de Almeria) Güneş Konum Algoritması

İspanya Fen ve Yenilik bakanlığına bağlı CIEMAT (Centre for Energy Enviroment and Technology Research) tarafından geliştirilen PSA güneş sistemler dünyanın en büyük AR-GE merkezlerinden biri olarak kabul edilmektedir. PSA güneş konum algoritması, Michalsky algoritmasının eksik yönlerinin giderilmiş ve geliştirilmiş hali olduğu söylenebilir. PSA algoritmasının belli başlı özellikleri [63];

- Kullanım kolaylığı, Julian gününü takvim tarihinden ve evrensel zamandan verimli bir şekilde hesaplayarak geliştirilmiştir.
- Bellek yönetimi, değişkenlerin kapsamını kontrol edilerek geliştirilmiştir.
- Gereksiz işlemleri ortadan kaldırarak, geçerli olan güneş azimutunu hesaplamak için basit sağlam ifadeler kullanarak hız ve sağlamlık alanları geliştirilmiştir.
- Doğruluk, Michalsky tarafından kullanılan Deniz Almanağının basitleştirilmiş denklemlerini, yeni katsayıların ve yeni terimlerin tanıtımı ve paralaks düzeltmesi de dahil olmak üzere değiştirerek geliştirilmiştir.

PSA algoritmasının doğruluğu, Michalsky algoritmasının daha önce çizelge 1.7’de üstünlük kurduğu şartlar dahilinde PSA algoritması ile karşılaştırılması çizelge 21.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.8. 1990-2005 PSA algoritması ile Michalsky algoritmasının karşılaştırılması [63]

	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Sapma	Değer Aralığı
Zenit				
PSA Algoritması	-0,001	0,114	0,091	[-0,398 - 0,370]
Michalsky	-0,121	0,139	0,110	[-0,666 - 0,345]
Azimut				
PSA Algoritması	0,002	0,190	0,138	[-1,568 - 1,461]
Michalsky	-0,042	0,214	0,155	[-1,917 - 1,532]
Güneş Vektörü Sapması				
PSA Algoritması	0,147	0,08	0,065	[0,000 - 0,409]
Michalsky	0,207	0,107	0,085	[0,000 - 0,667]

Çizelge 2.4 incelendiğinde PSA algoritması, Zenit, Azimut ve yön vektörünü hesaplamada Michalsky algoritmasından daha iyi bir performans ortaya koyduğu görülmektedir [63].

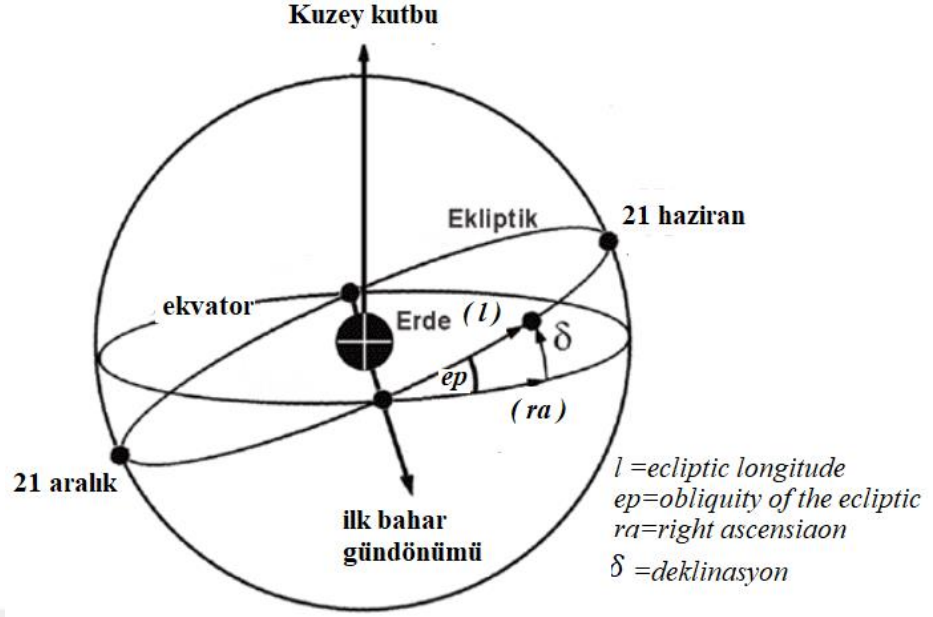
PSA algoritmasında giriş bilgisi zaman ve konum değerleridir. Zaman için iki bilgi söz konusudur bunlar o zamanın tarih zamanı (gün, ay, yıl) ve evrensel zaman (saniye, dakika, saat) bilgileridir. Konum bilgisi ise istenilen yerin enlem ve boylam değerleridir.

Julian Day (*julian günü-Jd*) giriş zaman bilgisinden yararlanılarak hesaplanır. Zaman bilgisi ilk olarak denklem (1.36) yardımıyla dakika ve saniye değerleri saat değerine çevrilerek toplanır [63].

$$s = saat + \frac{dakika + \frac{saniye}{60}}{60} \quad (1.36)$$

$$Jd = \frac{1461 * \left(y + 4800 + \frac{a - 14}{12} \right)}{4} + \frac{367 * \left(a - 2 - 12 * \left(\frac{a - 14}{12} \right) \right)}{12} - \frac{3 * \left(\frac{y + 4900 + \frac{a - 14}{12}}{100} \right)}{4} + (g - 32075 - 0,5) + \left(\frac{s}{24} \right) \quad (2.31)$$

Burada: y (yıl), a (ay), g (gün) ve s (saat) değişkenlerini ifade etmektedir. Julian günü ifadesi, Fligel ve Flandern (1968) tarafından geliştirilen ifadeden sadece son iki terimi farklıdır. Bunu sebebi ise herhangi bir zaman diliminde julian gününü ondalıklı bir şekilde hesaplanabilmesini mümkün kılar. Şekil 2.25’ da ekliptik koordinat sistemi gösterilmiştir [63].



Şekil 1.41. Ekliptik koordinat sistemi ve açıları

Güneşin ekliptik koordinatları, aşağıdaki denklemlerle tüm açılar radyan cinsinden olacak şekilde julian gününden hesaplanır.

Gün saati (n) gün denklemi;

$$n = jd - 2451545 \quad (1.37)$$

ρ denklemi;

$$\rho = 2,1429 - 0,0010394594 * n \quad (1.38)$$

Ortalama boylam (L) güneş denklemi;

$$L = 4,8950630 + 0,017202791698 * n \quad (1.39)$$

Ortalama anormalik (g) güneş denklemi;

$$g = 6,24006 + 0,0172019699 * n \quad (1.40)$$

Ekliptik boylam (l) denklemi;

$$l = L + 0,03341607 * \sin(g) + 0,00034894 * \sin(2g) - 0,0001134 - 0,0000203 * \sin(\rho) \quad (1.41)$$

Ekliptik eğrisi (ep) denklemi

$$ep = 0,4090928 - 6,214 * 10^{-9} * n + 0,0000396 * \cos(\rho) \quad (1.42)$$

Ekliptik koordinat sisteminden gök koordinat sistemine geçiş standart trigonometrik ifadeler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Doğru yükseklik derecesi (ra) denklemi;

$$ra = -\tan^{-1} \left[\frac{\cos(ep) * \sin(l)}{\cos(l)} \right] \quad (1.43)$$

Deklinasyon açısı (δ) denklemi;

$$\delta = \sin^{-1}[\sin(ep) * \sin(l)] \quad (1.44)$$

Gök koordinat sisteminden yatay koordinat sistemine geçiş aşağıdaki denklemler ile sağlanır.

Greenwich'e göre ortalama sideral zaman ($gmst$) denklemi;

$$gmst = 6,6974243242 + 0,0657098283 * n + s \quad (1.45)$$

Yerel'e göre ortalama sideral zaman ($lmst$) denklemi;

$$lmst = (gmst * 15 + Long) * (\pi/180) \quad (1.46)$$

Saat açısı (ω) denklemi;

$$\omega = lmst - ra \quad (1.47)$$

Zenit mesafe açısı (θ_z) denklemi;

$$\theta_z = \cos^{-1}[\cos\phi * \cos\omega * \cos\delta + \sin\delta * \sin\phi] \quad (1.48)$$

Azimut açısı (γ) denklemi;

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{-\sin\omega}{\tan\delta * \cos\phi - \sin\phi * \cos\omega} \right] \quad (1.49)$$

Dünyanın ortalama yarı çapı (Eart mean radius) ve güneşe olan mesafesinin Astronomic unit) değerlerinin kullanıldığı durumda, zenit mesafe açısı daha hassas olarak hesaplanabilmektedir. İlgili denklemler aşağıda verilmiştir [63].

$$parallax = \frac{Eart\ mean\ radius}{Astronomic\ unit} * \sin\theta_z \quad (1.50)$$

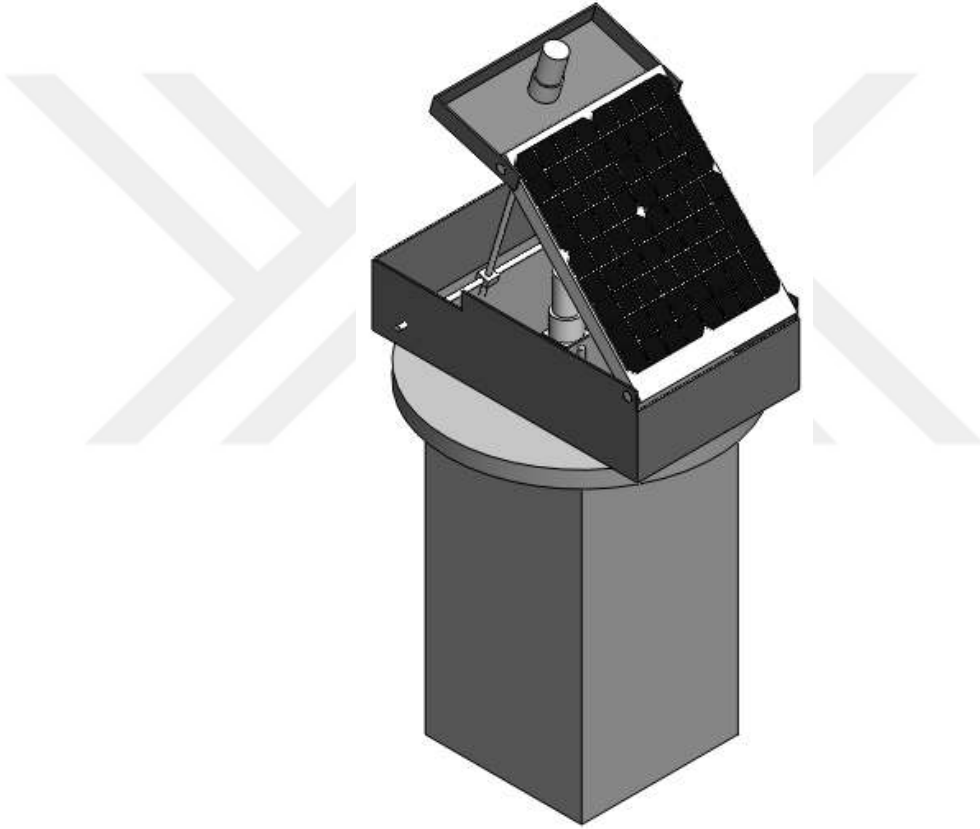
$$\theta_z = \theta_z + parallax \quad (1.51)$$

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Mekanik Sistemin Tasarlanması

Tasarlanan KTGTS kutup eğimli çift eksen (Tip-tilt dual-axis tracker (TTDAT)) tipinde olup, mekanik sistemin tasarımı solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 2.1’de tasarımı yapılan sistemin üç boyutlu katı model resmi verilmiştir.

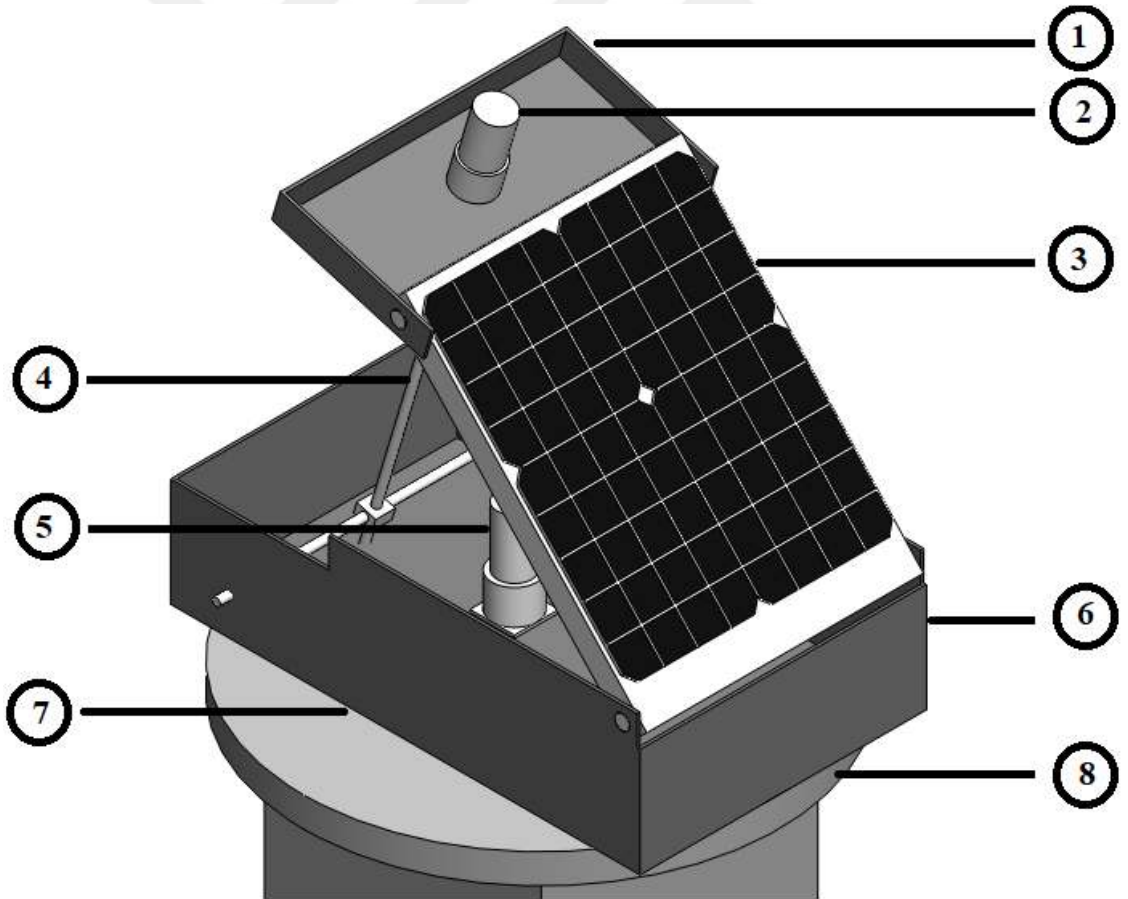


Şekil 2.1. KTGTS’nin üç boyutlu katı model şekli

KTGTS mekanik tasarımı gerçekleştirilirken, Üst gövde ve Düşey motor taşıyıcısı, hafif ve sert malzeme olan, alüminyum kompozit panel kullanılmıştır. Kompozit panel, polieliten (bir çeşit plastik) denilen malzemenin her iki tarafı alüminyum levhalar ile kaplanmasıyla oluşturulan yapı malzemesidir. Kullanımı ve işlenmesi oldukça kolay olan bu malzeme ayrıca çok hafif olmasından dolayı tercih edilmiştir. Tasarlanan mekanik sistem kullanılacak iki motorunda hareket ve sabit olduğu durumlarda minimum seviyede yüke maruz kalması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca motorlar düşey ve yatay ekseninde sistemin hareketini sağlarken pasif durumda (enerji verilmemiş hal) takip sisteminin yatay ve düşey konumunun değişmemesi sağlanmıştır. Düşey eksen hareketini sağlayacak olan motor bir mil ile vida özelliği kazandırılarak, motorun ileri ve geri hareketi ile vidanın sıkılıp gevşemesi sağlanarak FV panelin düşey ekseninde hareketi minimum enerji ile sağlanmış olacaktır. Yatay ekseninde hareketi sağlayacak olan motor ise üst gövde bir kutu şeklinde yapılarak içten sabit kısmı üst gövdeye sabitlenmiştir, üst gövde ise alt gövdeye motor mili ile bağlanmıştır. Motor miline fazla yük binmemesi için alt gövdenin üst gövdeye birleşme yüzeyine dört adet sarhoş teker montajı yapılarak yük bu tekerler üzerine dağıtılarak yatay eksen motoru minimum seviyede yüke maruz bırakılmıştır. Düşey eksen motoru, FV panelin 0° ile 90° arasındaki hareketini yaklaşık 4 dakikada yapabilmektedir. Yatay eksen motoru ise 360°'lik hareketi yaklaşık 15 saniyede tamamlamaktadır.

Mekanik sistemde kullanılan elemanlar ve görevleri aşağıda açıklanmıştır. Şekil 2.2'de Tam gövde montaj resmi verilmiştir.

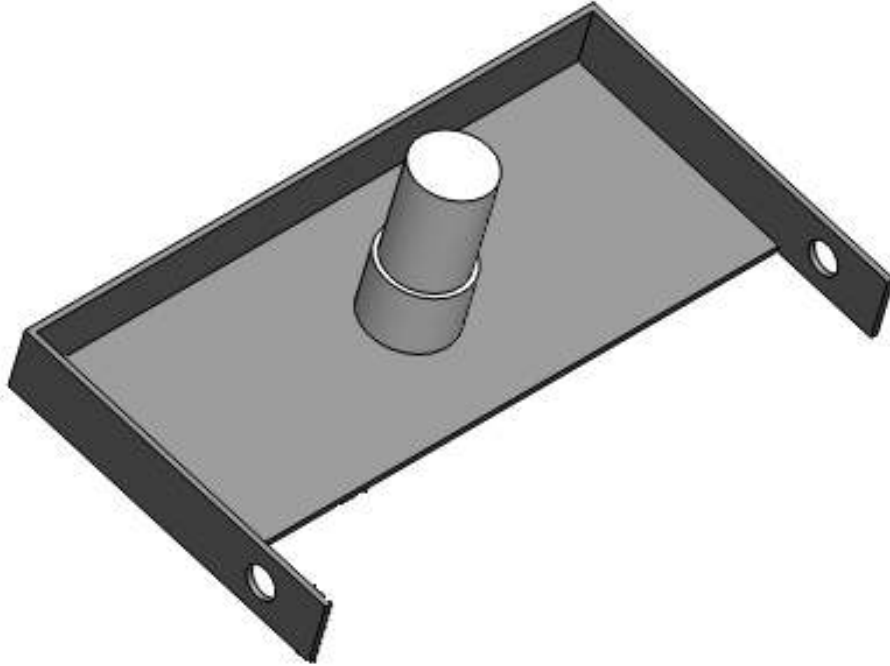


Şekil 2.2. Tam gövde montaj resmi

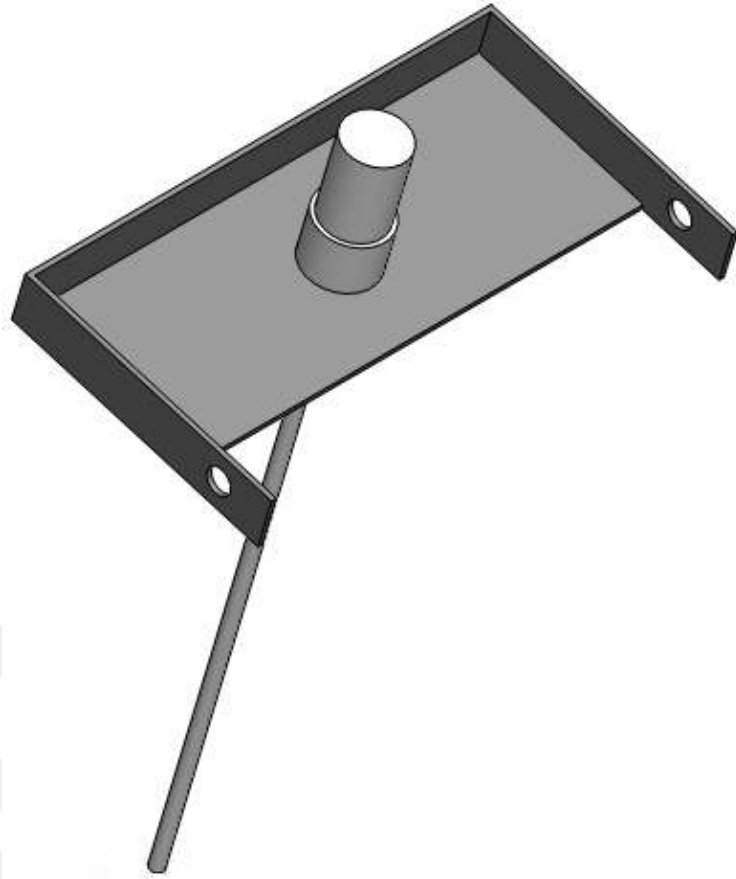
Tam gövdeyi oluşturan elemanlar montaj resmindeki numara sırasına göre şu şekildedir.

- 1- Düşey hareket motoru taşıyıcısı
- 2- Düşey hareket motoru
- 3- FV panel
- 4- Düşey hareket motor mili
- 5- Yatay hareket motoru
- 6- Üst gövde
- 7- Üst gövdeyi taşıyan sarhoş tekerler
- 8- Alt gövde (sehpa)

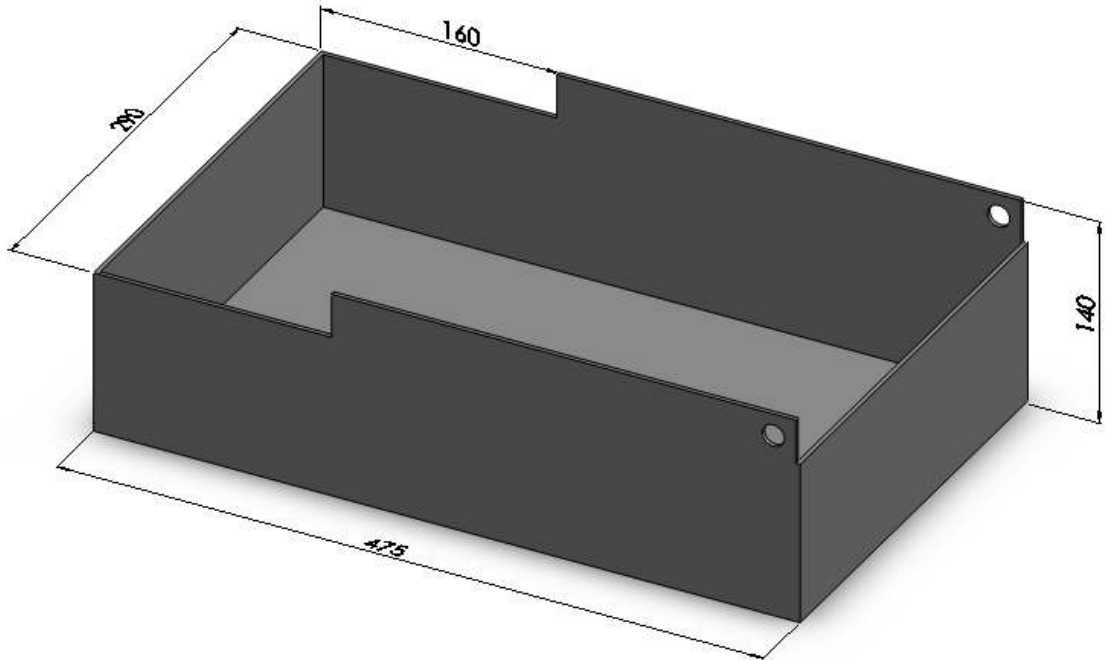
Yukarıdaki elemanlardan oluşan gövdenin tasarımı tamamlandıktan sonra gövdenin imalatı gerçekleştirilmiştir.



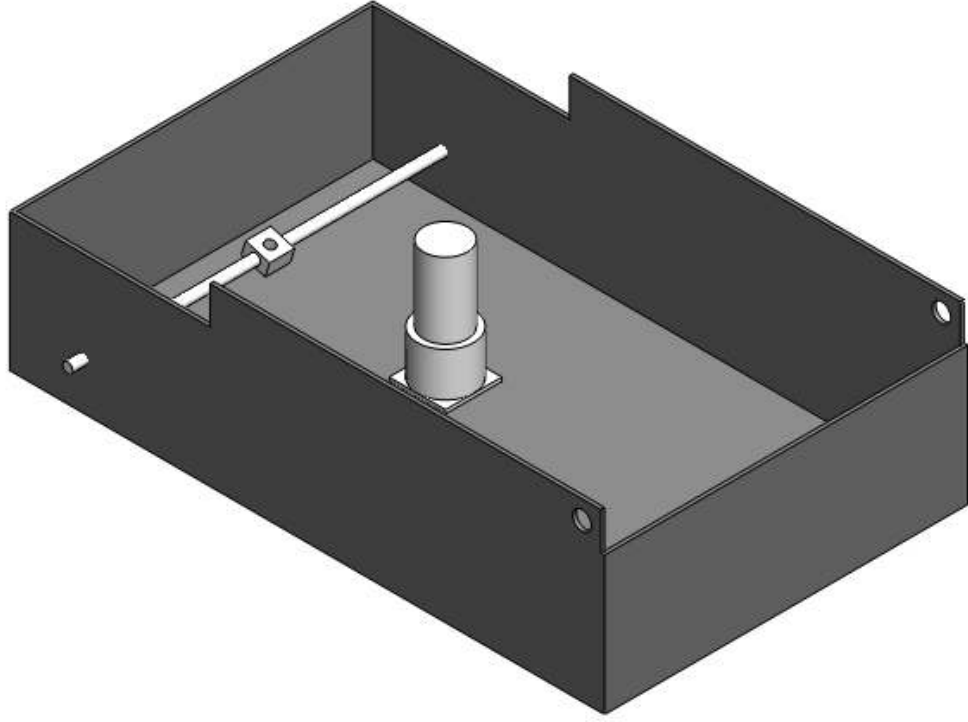
Şekil 2.3. Düşey hareket motoru taşıyıcısı



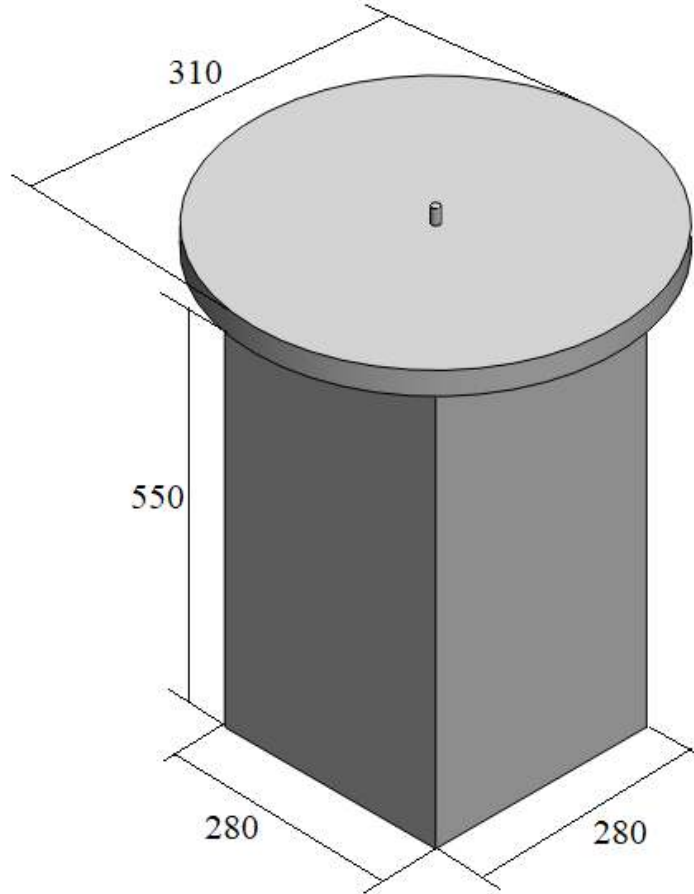
Şekil 2.4. Düşey hareket motoru mili



Şekil 2.5. Üst gövde



Şekil 2.6. Üst gövde Azimut motoru ve düşey hareket milinin rulmanının eklenmiş hali



Şekil 2.7. Alt gövde (sehpa)



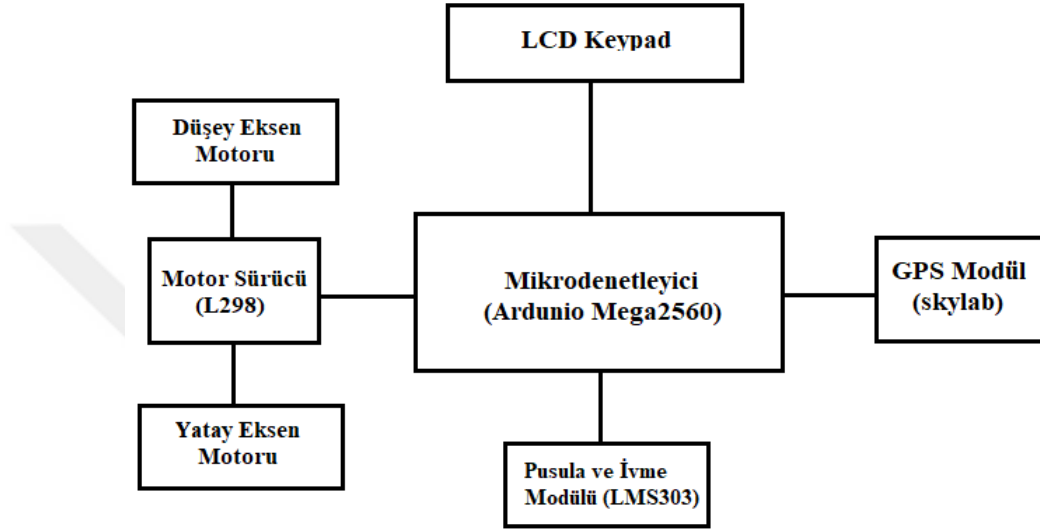
Şekil 2.8. Mekanik tasarım montaj resimleri



Şekil 2.9. Mekanik tasarım montaj resimleri

2.1.2. Elektriksel Donanım Parçaları

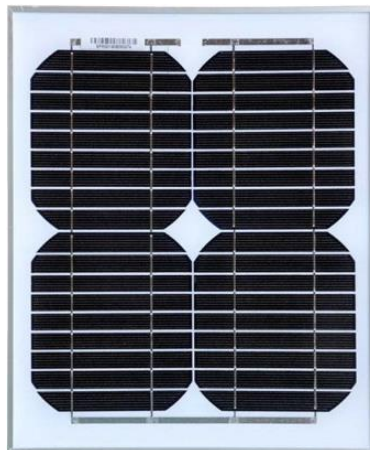
Elektriksel donanım parçaları Güneş paneli, Redüktörlü DC motorlar, LSM303 pusula ivme modülü, L298d motor sürücü modülü, GPS modül, LCD Keypad modülü ve Arduino Mega2560 mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Şekil 2.10’da elektriksel donanım parçalarının blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Sistemin elektriksel blok şeması

2.1.2.1. Güneş paneli

Tasarlan koordinat tabanlı güneş takip sisteminde şekil 2.11 ‘de görülen 10 W gücünde monokristal yapıya sahip FV panel kullanılmıştır. Çizelge de bu FV panele ait teknik bilgiler verilmiştir. FV panele yük bağlanmadığında, normal gün ışığında 12V, güneşi tam aldığı anda 18V havanın kapalı veya güneşi görmediği zamanlarda ise 10V gerilim üretmektedir.



Şekil 2.11. FV panel

Çizelge 2.1. FV panel teknik özellikleri

FV panel	Özellikleri
Model	YLE10
Cinsi	Monokristal Silisyum
Maksimum Güç (Pmax)	10 W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	18 V
Maksimum Güç Akımı (Imp)	0.56 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	21.0 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	0.66 A
Boyut	280X365X22mm

2.1.2.2. Düşey ve Yatay hareket motorları

Düşey hareket motoru seçimi için yapılan denemelerde FV panelin tam açılıp kapanması 50 rpm değerinde bir motor ile yaklaşık 3-4 dakika arasında tamamlanmaktadır. Yapıla 50 rpm değerinde, değerinde bir DC motor seçilmiştir yapılan azimut motoru ise 5 rpm bir motor kullanılmıştır. Şekil 2.12’de KTGTS’de kullanılan motorlar gösterilmektedir.



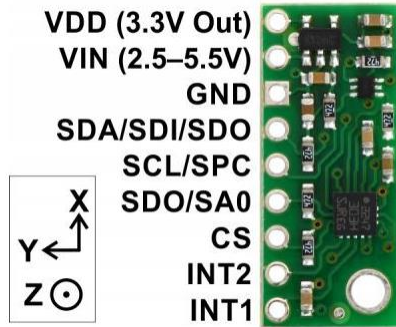
Şekil 2.12. (a) Düşey hareket motoru, (b) Yatay hareket motoru

Çizelge 2.2. Düşey ve Yatay hareket motorlarının teknik özellikleri

DC Motor	(Yatay)	(Düşey)
Çalışma Gerilimi	12 V (DC)	12 V (DC)
Zorlanma Akımı	2.3 A	1.2 A
Çalışma Akımı	180 mA	140 mA
Maksimum Güç	7.5 W	5.5 W
Çalışma Hızı	5 rpm	50 rpm
Tork	32	16
Ağırlık	230 gr	150 gr

2.1.2.3. LSM303 Pusula ve İvme Modülü

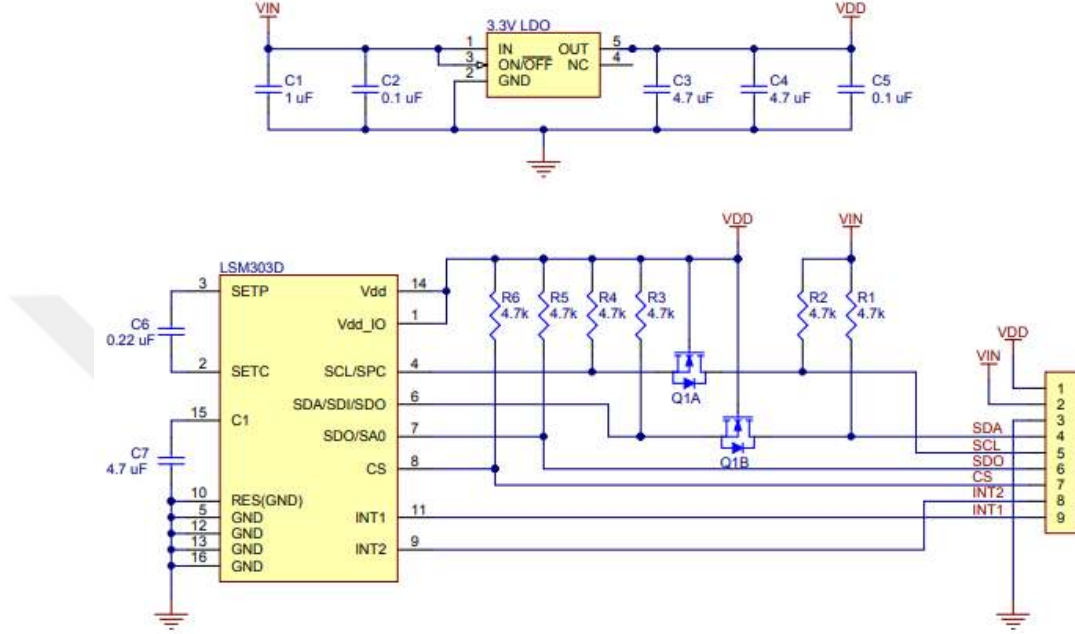
LSM303 dünyanın elektromanyetik alanındaki okumaları bir manyetometre olarak ölçer, dünyanın yerçekimi kuvveti okumalarını ise bir üç eksenli bir ivme metre özelliğini kullanarak ölçer. Şekil 2.13’de uygulamada kullanılan pusula ve ivme modülü gösterilmektedir.



Şekil 2.13. LSM303 pusula ve ivme modülü

Bu sensör iki ayrı bilgiyi (ivme ve manyetik kuzey) ölçebilen dahili ölçüm ünitesidir (Inertial Measurement Unit – IMU). İvme ve manyetik kuzey bilgilerini vektörel olarak ölçüp SPI ya da I2C ara yüzünden işlemciye gönderebilir. Ayrıca her bir ölçüm için iki tane kesme çıkışı vardır. Her bir vektörün bilgisi 3 bileşenin (x, y, z) 16 bitlik olarak işlemciye gönderilir. İşlemci bu bileşenlerden Yatay Açıyı (heading – yaw), Düşey Açıyı (pitch) ve dönme açısını (roll) hesaplar. Sensör kullanılmadan önce kalibrasyonu yapılmalıdır. Bu işlem yapılırken önce varsayılan ölçüm programı ile sensör her ekseninde birçok defa döndürülerek sensörden alınan bilgilerin maksimum ve minimum değerleri kaydedilir. Sonra ana programda bu max ve min değerleri sensöre atanır. Açı hesapları yapılırken sınır değerler olarak bu değerler kullanılır.

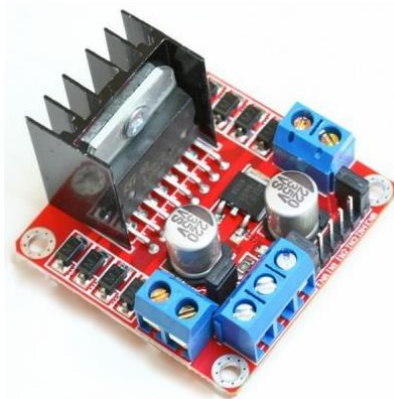
Kalibrasyon ayarı sadece manyetik ve ivme sensörleri için ayrı ayrı yapılır. Sensörün daha istikrarlı değerler verebilmesi için sensör bilgilerine çeşitli filtreleme algoritmaları (alçak geçiren filtre (Low – pass filter), Kalman filtresi vb.) uygulanabilir. Şekil 2.14’de LMS303 pusula ve ivme modülünün iç yapısına ait devre şemasında görüldüğü gibi 3.3V’luk bir gerilim regülatörü ve koruma dirençleri ile modül mikrodenetleyiciler için uyumlu hale getirilmiştir.



Şekil 2.14. LSM303 pusula ve ivme modülü iç yapısına ait devre şeması

2.1.2.4. L298 Motor Sürücü

KTGTS kullanılan yatay ve düşey redüktörlü DC motorların sürülmesini işlemi için L298 DC motor sürücü entegresine sahip ST Micro-electronics firmasına ürettiği modül kullanılmıştır. Şekil 2.15’de kullanılan L298 DC motor sürücü modülü gösterilmektedir.



Şekil 2.15. L298 DC motor sürücü modülü

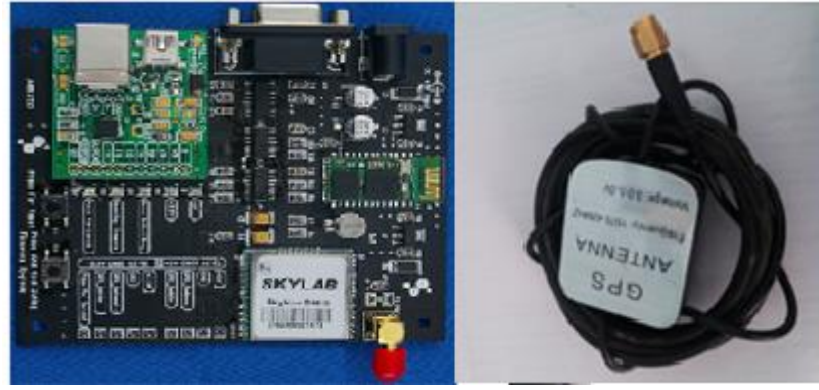
L298 DC motor sürücü modülü, herhangi bir mikro denetleyici ile çok kolay bir şekilde kullanılmaktadır. L298 modülü 2A çıkış gücüne sahip iki adet DC motor veya bipolar özellikli step motorların kontrolü kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu modül dört giriş ve dört çıkışlı iki adet H-köprüsüne sahip L298 entegresine sahiptir. Bu H-köprülerini A ve B şeklinde isimlendirilmiştir. Her bir H-köprüsü bir adet motoru sürmek için kullanılır. L298 modülünde bulunan pinler ve görevleri çizelge 2.3 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. L298 modül pinleri ve görevleri

IN1-IN2	IN3-IN4	Bu pinler A ve B motorlarının kontrolünde kullanılır. IN1-IN2 A motoru için IN3-IN4 ise B motoru için kullanılmaktadır. Bu girişlere 0V lojik "0" veya 5V lojik "1" verilir. Eğer IN1 ve IN2 uçlarının gerilim seviyeleri aynı ise A motoru çalışmaz. Eğer IN1 "0", IN2 "1" durumunda olduğunda A motoru bir yönde hareket eder. Tam tersi olma durumunda ise A motoru bu kez ters yönde hareket eder. Bu durumların aynısı IN3-IN4 içinde geçerlidir
OUT1-OUT2	OUT3-OUT4	A ve B motorlarının bağlanacağı pinlerdir. Motorların herhangi bir zorlanmada, oluşacak ters akımın modüle zarar vermemesi için pinler ile motor uçları arasına iki adet diyot bağlanmalıdır
ENA	ENB	A ve B motorlarının aktif veya pasif olması için bu pinler kullanılır. Bu pinlere +5V gerilim erildiğinde çıkışlar aktif olur.
SENSA	SENSB	A ve B çıkışlarının çektiği akımın sınırlandırılması için kullanılır. Bu pin ile şase arasına bağlanacak bir ayarlı direnç sayesinde A veya B çıkışının akımı kontrol edilir. Eğer A ve B motorunun çıkış akımı sınırlandırılmayacaksa bu pin şaseye bağlanmalıdır.
VS		A ve B motorları kaç volt gerilim ile sürülecekse istenilen gerilim değeri (5-35V) pine bağlanır. Ayrıca A ve B çıkışlarında oluşabilecek küçük salınımları yok etmek için bu pin ile şase arasına 100nF'lık bir kapasitör bağlanmalıdır.
VSS		Bu pin L298 modülünün çalışması için gerekli +5V gerilimin bağlanacağı pindir.

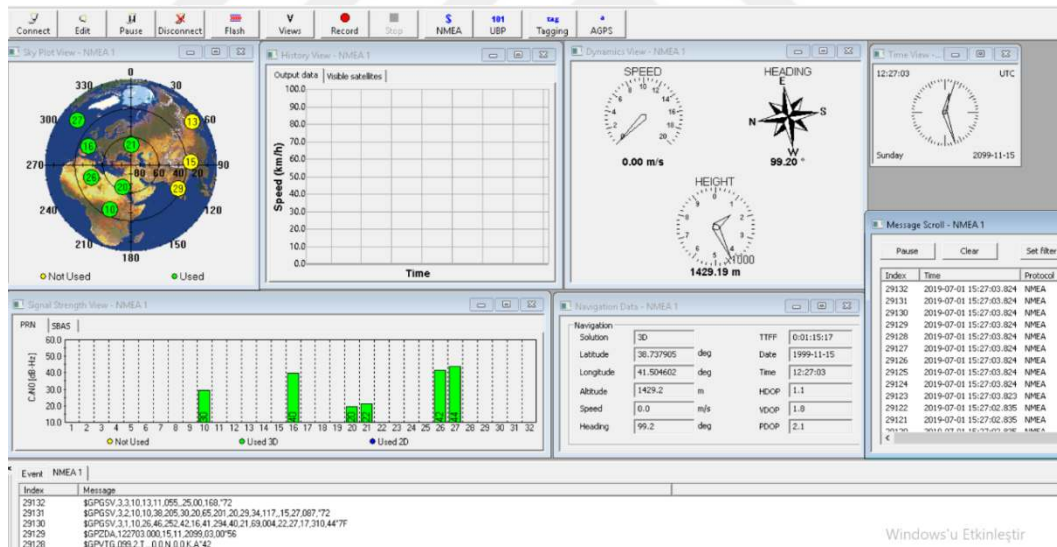
2.1.2.5. GPS Modül

Sure elektronik tarafından skylab GPS modül kullanılarak geliştirilmiş bir GPS deney kartıdır. NMEA formatındaki GPS konum bilgilerini RS232 protokolü ile gönderir. Ayrıca GMT saat bilgisi de bu GPS bilgileri içerisinde bulunmaktadır. Bu GPS modülün üzerinde GPS anteni, RS232 seri portu, Bluetooth haberleşme modülü ve RS232-USB dönüştürücü modülü bulunmaktadır. Şekil 2.16'da kullanılan GPS modül gösterilmektedir.



Şekil 2.16. GPS modülü

Skylap GPS modülü çalışmamızda, tarih, saat ve konum bilgilerinin elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu sayede geliştirilen takip sistemimiz yer değiştirmeden kaynaklanan konum ve zaman bilgilerinin değişmesinden etkilenmemektedir. İstenilen herhangi bir bölgeye taşındığında anlık olarak o bölgenin konum ve zaman bilgilerini güncellemektedir. Şekil 2.17’de GPS modül ara yüz programı ile alınan bilgiler görülmektedir.



Şekil 2.17. GPS modül programı ile alınan bilgiler

2.1.2.6. LCD Keypad Modül

DF Robot firması tarafından üretilen bu modülde 2x16 hd44780 LCD ekran ve tuş takımı bulunmaktadır. Tuş takımı 5 adet butondan oluşmakta ve genel olarak menü seçimi ve kullanıcı ara yüzünün programlanması için kullanılmaktadır. Tuş takımını oluşturan bu beş buton mikro denetleyicinin A0 pinine bağlıdır, A0 pini analog okuma yaparak, bir pin ile beş butonun değeri

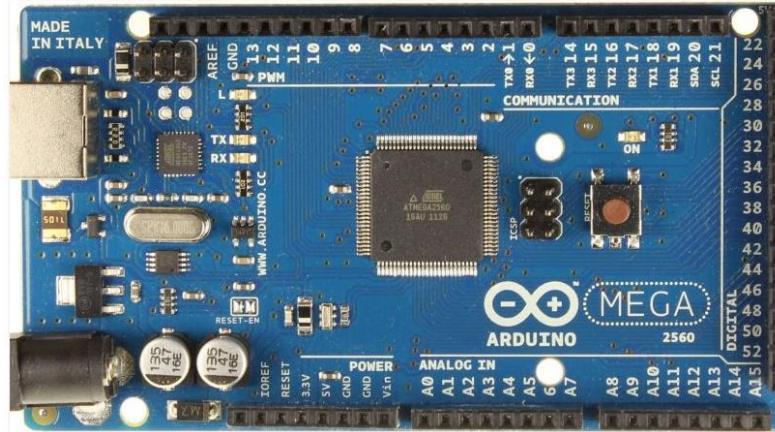
okunup programlanabilmektedir. Modül üzerinde A1-A5 analog pinleri, güç pinleri ve 0,1,2,3,11,12,13 lojik pinleri harici kullanımlar için dışarıya aktarılmıştır. Ayrıca modül üzerinde bulunan bir trimpot ile LCD kontrast ayarı yapılabilir. Şekil 2.18’de takip sisteminde kullanılan LCD keypad görülmektedir.



Şekil 2.18. LCD Keypad

2.1.2.7. Arduinio Mega 2560

Arduino Mega2560, ATmega2560 mikroşlemcisine sahip geliştirilmiş bir mikrodenetliyecidir. 54 adet lojik giriş-çıkış pini mevcuttur. Bunların 15 tanesi PWM çıkışı olarak, 16 tanesi analog giriş, 4 tanesi donanımsal seri port (UART) olarak kullanılabilir. Modül üzerinde ayrıca 16 Mhz kristal osilatörü, USP bağlantı girişi, Güç girişi, ICSP başlığı ve reset butonu mevcuttur. Arduinio Mega2560’da ayrıca kısa devre ve aşırı akım sigortaları bulunmakta ve bu sigortalar istenildiği takdirde sıfırlanabilir özelliğe sahiptirler. Şekil 2.19’da takip sisteminde kullanılan Arduinio Mega2560 görülmektedir.



Şekil 2.19. Arduinio Mega2560

Ardunio Mega2560 farklı mikrodnetleyiciler ya da bilgisayar ile haberleşme için çeşitli imkanlara sahiptir. Barındırdığı ATmega2560 mikrodnetleyicisi TTL (5V) seri haberleşme için dört adet donanımsal seri porta sahiptir. Modül üzerinde bulunan ATmega16U2 USB üzerinden seri haberleşmeyi ve bilgisayar bağlantısında sanal bir com portu olarak bağlanmamızı sağlar. Bu sayede standart USB sürücülerini kullanarak harici bir sürücüye ihtiyaç duymamaktadır. Modül üzerinde bulunan RX ve TX ledleri veri akışında yanıp sönmektedir. Ardunio Mega2560'ın serial kütüphanesi yapacağımız değişiklik ile istenilen dijital pinlerin seri haberleşme için kullanılabilir olmasını sağlanabilir. Bunun yanında TWI ve SPI haberleşmelerini de Ardunio Mega2560 desteklemektedir.

Ardunio Mega2560 programlanırken içerisinde bootloader yüklenmiş olduğundan harici bir programlayıcı donanımına ihtiyaç olmaz. STK500 protokolü kullanarak haberleşir. Bunun yanında ISP kullanılarak Ardunio Mega2560'ın bootloaderı pasif hale getirilebilir ve Ardunio ICSP ile programlanabilir.

Çizelge 2.4 Ardunio Mega2560 teknik özellikleri

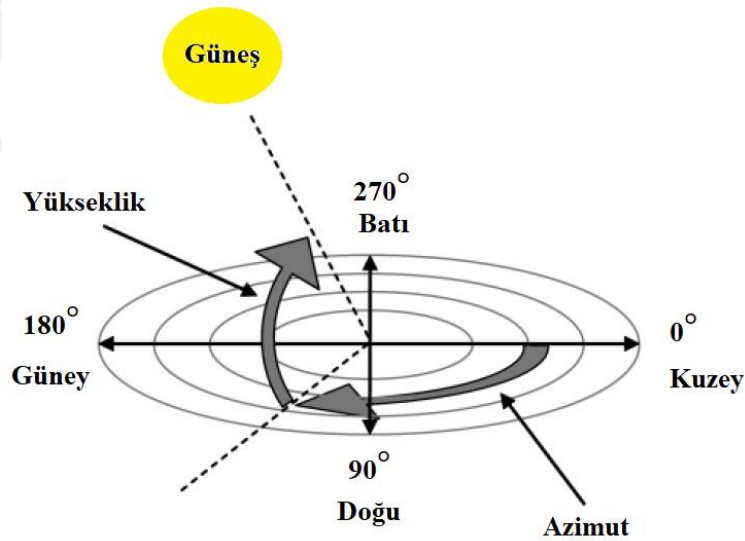
Mikrodnetleyici	ATmega2560
Çalışma Gerilimi	5V (DC)
Öngörülen Besleme Gerilimi	7 - 12V (DC)
Beslem Gerilimi Limitleri	6 - 20V (DC)
Lojik Giriş - Çıkış Pinleri	54 (15 tanesi PWM için)
Analog Giriş Pinleri	16
Giriş - Çıkış Pin Akımı	40mA (DC)
3.3V Pin Akımı	50mA
Flash Hafıza	256KB (8KB Bootloader için)
SRAM	4KB
EEPROM	8KB
Saat Frekansı	16Mhz

Ardunio Mega2560'da bulunan 54 giriş çıkış pinleri pinWrite(), pinRead() ve pinMode() fonksiyonları ile giriş ve çıkış olarak kullanılabilir. Her pin en fazla 40mA ve 5V gerilim değerinde giriş ve çıkış olarak kullanılabilir. Pinlerde 20-50k Ω değerinde pull-up dirençleri vardır. Bunların dışında özel görevi olan pinler mevcuttur.

2.2. Yöntem

2.2.1. KTGTS Tasarımında İzlenecek Yol

KTGTS'nin gerçekleştirilme sürecinde kullanacağımız yöntemlerden adım adım bahsedecek olursak, ilk olarak panelin gün içinde güneşin konumuna yönelmesi için gerekli iki açı değerini bilmemiz gerekmektedir. Bunlar azimut ve yükseklik açılarıdır. Azimut açısı kuzeyi başlangıç noktası olarak 0° ile 359° arasında değişmekte olup, 90° değerinde olduğunda doğu, 180° olduğunda güney ve 270° olduğunda batı istikametini göstermektedir. Azimut açısı güneşin gün içindeki konumunu vermektedir. Güneş yükseklik açısı ise güneşin mevsimsel konumunu takip etmektedir. Bilindiği üzere kuzey yarımküre için kış aylarında bu açı değeri azalırken yaz aylarında artmaktadır. Bu açı değeri 0° ile 90° arasında değişmekte olup, 0° olduğunda güneşin tam tepede yani öğle vakti olduğu, 90° olduğunda ise güneşin doğuş veya batış durumunda olduğunu gösterir. Şekil 2.20'de yükseklik ve azimut açısı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2.20. Yükseklik ve azimut açısı arasındaki ilişki

Bu iki açı KTGTS'yi gerçekleştirmemiz için mutlaka bilinmesi gerekir. İşte bu iki açı değerini PSA'nın geliştirdiği algoritmayı kullanarak hesaplayabiliriz. Bu hesabı yapabilmemiz için bize gerekli olan bazı bilgiler söz konusudur. Bunlar enlem, boylam, tarih ve zaman bilgileridir. Bir GPS modül kullanarak, elde edilen bu bilgiler programda gerekli değişkenlere atanarak, yükseklik ve azimut açısını hesaplayan algoritmaya tanıtılmıştır. Programda azimut açısı yatay açı, yükseklik açısı ise düşey açı adı şeklinde tanımlanmıştır. Ek-1'de 21-28 Haziran tarihleri

arasında sekiz gün için program tarafından hesaplanan açı değerleri verilmiştir. Şekil 2.21’de bu iki açı değerini hesaplayan programda yapılan simülasyon çıktısı görülmektedir (Şekildeki saat UTC şeklindedir)



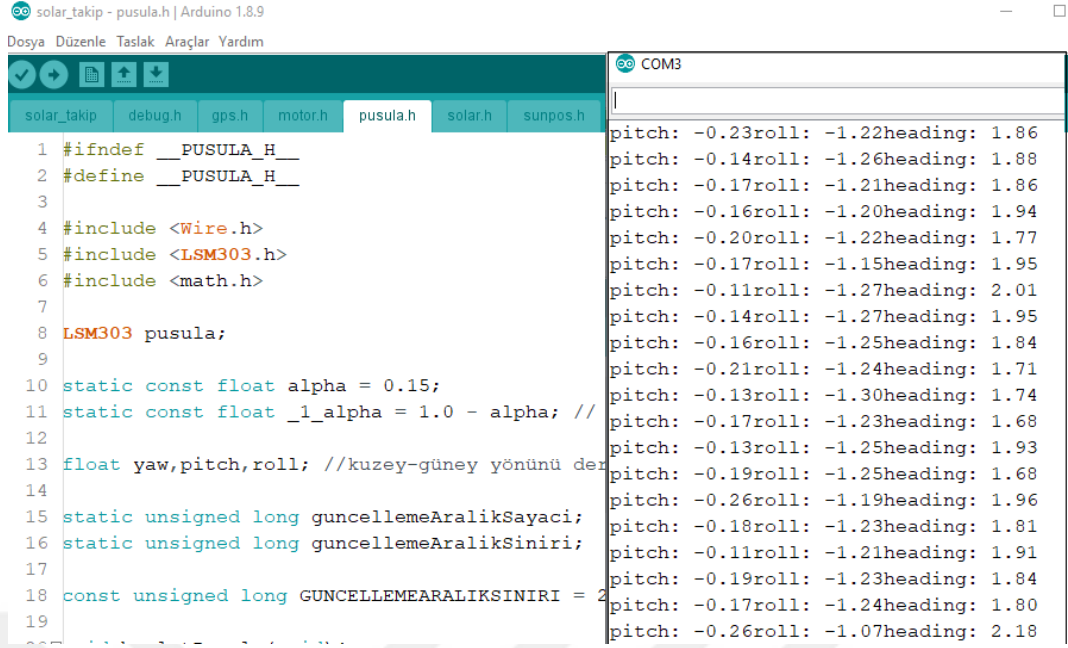
```
solar_takip | Arduino 1.8.9
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım

solar_takip debug.h gps.h manual.h
1 #include <Wire.h>
2 #include <math.h>
3 #include "debug.h"
4 // #include "pusula.h"
5 #include "sunpos.h"
6 // #include "gps.h"
7 // #include "motor.h"
8 // #include "solar.h"
9
10 void setup() {
11     baslatDebug();
12     //baslatGps();
13     //okulBaslat();
14     //baslatPusula(200000);
15     zaman.iYear = 2019;
16     zaman.iMonth = 6;
17
18     //Serial.begin(9600);
19     //Serial.println("Program Başlatıldı");
20     //Serial.println("Zaman: " + zaman.iYear + "/" + zaman.iMonth + "/" + zaman.iDay);
21     //Serial.println("Saat: " + zaman.iHour + ":" + zaman.iMinute + ":" + zaman.iSecond);
22     //Serial.println("Enlem: " + Enlem + " Boylam: " + Boylam);
23     //Serial.println("Tarih: " + Tarih + " Zaman: " + Zaman);
24     //Serial.println("Düşey Açı: " + DüşeyAçı + " Yatay Açı: " + YatayAçı);
25     //Serial.println("Program Bitirildi");
26 }

KOORDİNAT TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ...ZEKİ İLCİHAN
Enlem      :41.506072
Boylam     :38.737995
Tarih      :2019/6/21
Zaman      :5:0:0
Düşey Açı :32.38
Yatay Açı :86.12
```

Şekil 2.21. Yükseklik ve azimut açılarını hesaplayan programın simülasyon çıktısı

Bu hesap yapıldıktan sonra ikinci adımımız paneli bu hesaplanan açı değerlerine getirmek olacaktır. Bu işlemi yapabilmemiz için panelin konum bilgilerini bilmemiz gerekmektedir. Panelin konum bilgisini öğrenmek için LSM303 pusula ve ivme modülü kullanılmıştır. Bu modül panelin yüzeyine paralel olacak şekilde montajı yapılmıştır. LSM303 modülünün ilk olarak kalibrasyon ayarları yapılmıştır. Kalibrasyon ayarları yapılan bu modülden panelin üç açı değeri alınmaktadır. Bunlar pitch, roll ve heading açıları olup, pitch açısı bize panelin yüzey ile yaptığı açı (eğim) değerini, heading ise panelin manyetik kuzey ile arasındaki açıyı verir, roll değeri ise dönme açısıdır bu değeri sistemimiz için kullanmamıza gerek yoktur. Pitch değeri sistemimizde 0° ile 90° arasında değeri değişmektedir. Heading ise 0° gösterdiğinde kuzey, 90° doğu, 180° güney ve 270° değerinde ise batı yönünü göstermektedir. Şekil 2.22’de pusula programının simülasyon çıktısı görülmektedir.



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The top bar indicates 'solar_takip - pusula.h | Arduino 1.8.9'. The menu bar includes 'Dosya', 'Düzenle', 'Taslak', 'Araçlar', and 'Yardım'. The toolbar shows icons for saving, running, and other functions. The file explorer on the left shows a project structure with files: 'solar_takip', 'debug.h', 'gps.h', 'motor.h', 'pusula.h', 'solar.h', and 'sunpos.h'. The 'pusula.h' file is open in the editor, showing C++ code for an LSM303 compass module. The code includes headers for Wire, LSM303, and math, and defines constants for alpha and _1_alpha. It also declares static variables for yaw, pitch, roll, and update intervals. The serial monitor on the right, labeled 'COM3', displays a list of pitch, roll, and heading values for each of the 24 hours of the day.

```
1 #ifndef __PUSULA_H__
2 #define __PUSULA_H__
3
4 #include <Wire.h>
5 #include <LSM303.h>
6 #include <math.h>
7
8 LSM303 pusula;
9
10 static const float alpha = 0.15;
11 static const float _1_alpha = 1.0 - alpha; //
12
13 float yaw, pitch, roll; //kuzey-güney yönünü de
14
15 static unsigned long guncellemeAralikSayaci;
16 static unsigned long guncellemeAralikSiniri;
17
18 const unsigned long GUNCELLEMEARALIKSINIRI = 2
19
20 ...
```

COM3

```
pitch: -0.23roll: -1.22heading: 1.86
pitch: -0.14roll: -1.26heading: 1.88
pitch: -0.17roll: -1.21heading: 1.86
pitch: -0.16roll: -1.20heading: 1.94
pitch: -0.20roll: -1.22heading: 1.77
pitch: -0.17roll: -1.15heading: 1.95
pitch: -0.11roll: -1.27heading: 2.01
pitch: -0.14roll: -1.27heading: 1.95
pitch: -0.16roll: -1.25heading: 1.84
pitch: -0.21roll: -1.24heading: 1.71
pitch: -0.13roll: -1.30heading: 1.74
pitch: -0.17roll: -1.23heading: 1.68
pitch: -0.13roll: -1.25heading: 1.93
pitch: -0.19roll: -1.25heading: 1.68
pitch: -0.26roll: -1.19heading: 1.96
pitch: -0.18roll: -1.23heading: 1.81
pitch: -0.11roll: -1.21heading: 1.91
pitch: -0.19roll: -1.23heading: 1.84
pitch: -0.17roll: -1.24heading: 1.80
pitch: -0.26roll: -1.07heading: 2.18
```

Şekil 2.22. Pusula programının simülasyon çıktısı

Bir sonraki aşamamız da ise KTGTS mekanizmasına hareketi sağlayacak olan düşey ve yatay motorların sürülmesidir. Bu işlemi L298 DC motor sürücü modülünü kullanarak gerçekleştireceğiz. Ardunio Mega2560 mikrodenetleyicisi hesaplanan yükseklik ve azimut açı değerlerini, LSM303 modülü ile bulunan pitch ve heading değerleri ile karşılaştırarak, düşey ve yatay motorların hangi yöne hareket edeceğini belirler ve ona göre L298 motor sürücü modülüne bilgi gönderir. Motorlar hareket etmeye başladığında LSM303 modülündeki değerlerin hesaplanan yükseklik ve azimut değerleri ile eşit oluncaya kadar motor hareketleri devam eder.

Son olarak LCD keypad modülü ile oluşturulan menüler ile enlem, boylam zaman ve açı bilgilerini görebilmekteyiz bunun yanında KTGTS gün içinde kaç dakika aralıklarla takip işlemini gerçekleştireceğini belirleyeceğimiz menü kısmı ile oluşturduk. Burada LCD keypad modülünde bulunan butonlar ile menüler arası geçişler yapılarak istenilen bilgilerin LCD ekranda görülmesi sağlanmıştır. Takip aralığı ise 30 dakika ve katları şeklide ayarlanmaktadır.

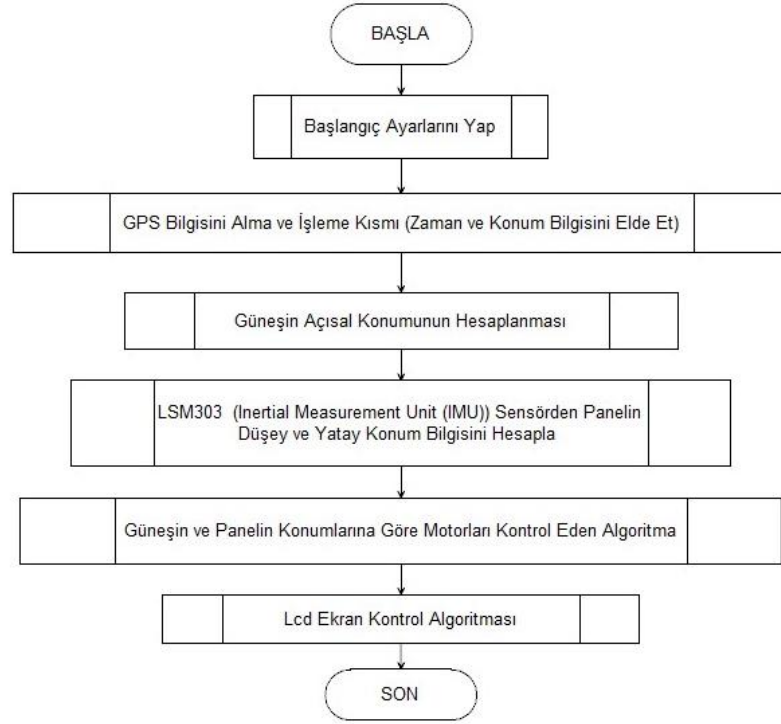
2.2.2. Yazılım

Bu kısımda KTGTS yazılım tasarımı gerçekleştirilecektir. Ardunio Mega2560 programlanırken C programlama dili kullanılmıştır. Yazılan programın derlenip ve çıktısı oluşturulan dosya mikrodenetleyiciye Ardunio IDE (tümleşik geliştirme ortamı) isimli program ile yüklenmiştir. Ayrıca Ardunio IDE seri kanal emülatörü olarak ta kullanılmıştır. Programlama sonlu durum makineleri mantığı referans alınarak yapılmıştır. Yazılımda ilk olarak KTGTS sisteminin çevre birimleri ait sürücü kodları, Ardunio mega2560 barındırdığı çevre birimleri ile

haberleşebilmesi için geliştirilmiştir. Bu çevre birimlerinin sürücülerinin her biri aktif duruma getirilip ayarlarının yapıldığı için sistem ilk çalışmasında veya resetlendiğinde program ana döngüye katılmadan önce bu çevre birimlerinin sahip olduğu fonksiyonlar getirilerek aktifleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan her bir çevre birimi için ilgili bir fonksiyon getirilmekte, fonksiyon işlemini gerçekleştirdikten sonra başka bir özelliğin aktive edilebilmesi için farklı bir fonksiyon getirilmektedir. Bundan dolayı sistemde devamlı olarak fonksiyonlar çağrılmakta ve geri döndürülmektedir. Bu sebeple yazılım tasarımı fonksiyonel olarak gerçekleştirilmiştir diyebiliriz. Bu sayede bütün çevre birimleri çalıştırıldıktan sonra ana yazılım programı döngüye alınmıştır. Ana program devamlı olarak fonksiyonları çağırıp, fonksiyon içeriğinde belirlenen görevi gerçekleştirip ana programdan ayrılmaktadır. Fonksiyonlar ana programdan ayrılmadan ilgili olduğu çevre birimi ile ilgili bir değişkenin durumunu etki ederek tekrar ana programa geldiğinde bu değişkenin değeri öğrenilerek işlem gerçekleştirilecektir. Eğer değişkenin değeri değişmemiş ise fonksiyon işlem yapmayacak, eğer değişkenin değeri değişmiş durumda olduğunda, bu duruma ait işlemler gerçekleştirilecektir. Bu sayede gereksiz işlem fazlalığı yapılmayarak sistemin daha hızlı çalışması sağlanmıştır.

2.2.2.1. Ana Programa Ait Akış Diyagramı

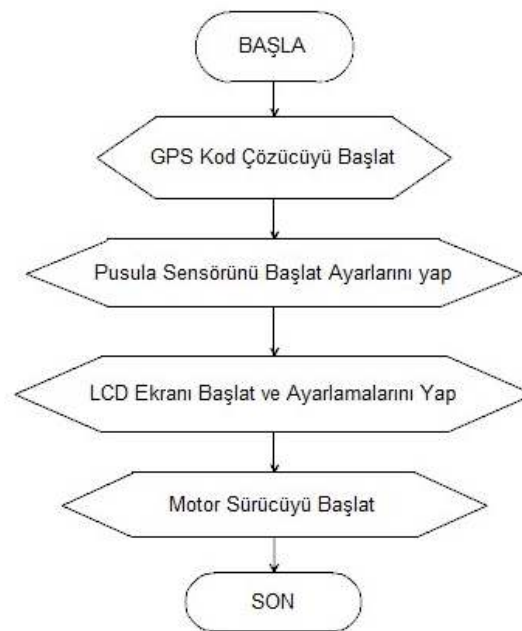
Mikrodenetleyiciye ilk olarak zaman ve konum bilgisi, GPS modül ile haberleşerek alınmıştır. Bu haberleşmeyi Arduinio Mega2560 UART seri kanalının aktif yapılması vasıtasıyla sağlanmıştır. İkinci olarak güneşin açısai konumun belirlenmesi fonksiyonu ile gerekli hesaplar yapılacaktır. Üçüncü olarak pusula modülü (LSM303d) ile FV panelin yatay ve düşey konum bilgisi hesaplanacaktır. Dördüncü olarak güneşin ve FV panelin konumlarına göre DC motorların hareketini sağlayacak algoritma ile L298 motor sürücüsü yatay ve düşey olarak DC motorların hareketini sağlayacaktır. Son olarak LCD ekran kontrol algoritması ile takip zaman aralığı, pusula modülünün kalibrasyon işlemi, enlem ve boylam bilgilerinin LCD ekranda gösterilmesi panel açısı bilgilerinin LCD ekranda gösterilmesi ve manuel motor kontrolünü sağlayan menüler arası geçişler ve menü içi kontroller butonlar vasıtasıyla sağlanacaktır. Şekil 2.23'de sistemin ana program akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Ana programa ait akış diyagramı

2.2.2.2. Başlangıç Ayarlarına Ait Akış Diyagramı

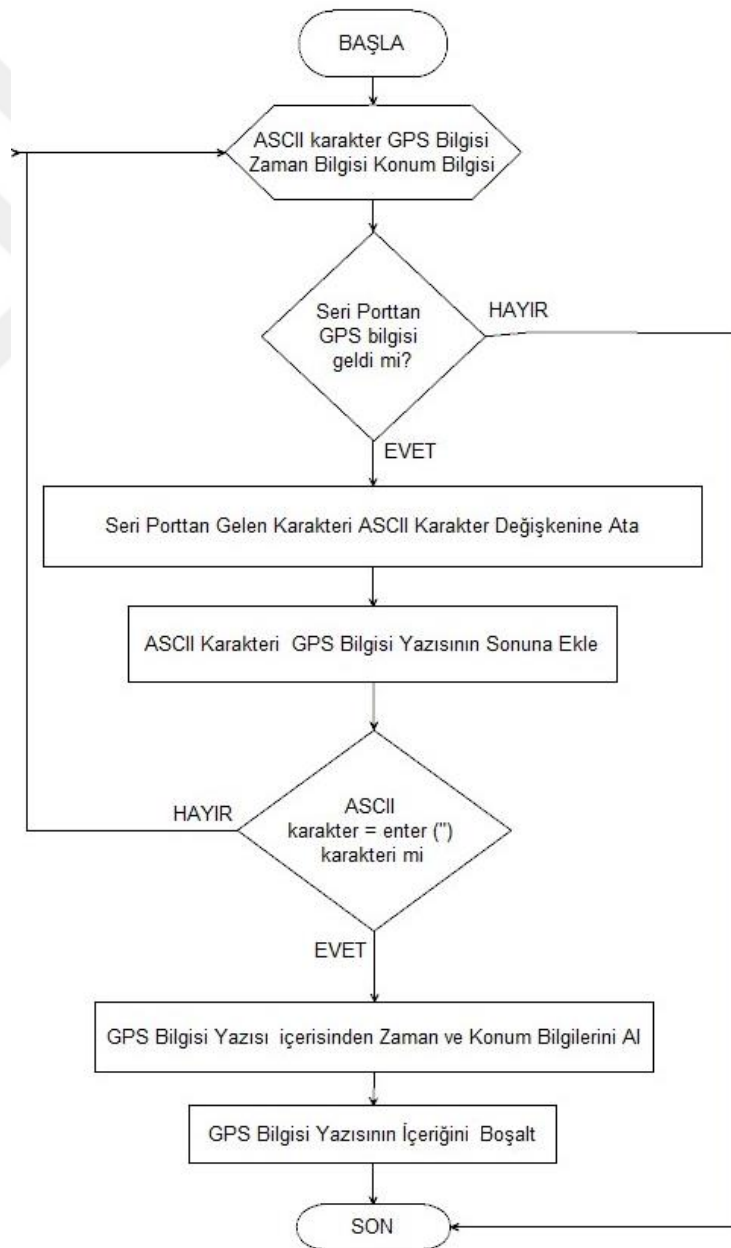
KTGTS yazılımında ilk olarak başlangıç ayarları olarak adlandırdığımız çevre birimleri ile mikrodenetleyicinin koşullandırılması sağlanmıştır. Şekil 2.24'da sistemin başlangıç ayarları yapan akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.24. Başlangıç ayarları akış diyagramı

2.2.2.3. GPS Modülüne Ait Akış Diyagramı

GPS modülü mikrodnetleyici ile seri port ile haberleşir. GPS'ten mikrodnetleyiciye zaman ve konum bilgileri ASCII karakterli olarak NMEA formatında gelmektedir. Gelen GPS bilgileri satır sonu karakterine kadar (enter('r')) tampon bir belleğe yüklenir. Sonra bu tampon içerisindeki bu nmea kodları çözülür. Buradan tarih saat ve enlem boylam bilgileri elde edilir. Alınan bilginin zaman bilgisi, tarih (gün,ay,yıl) ve UTC saat bilgisi (saat,dakika,saniye) şeklindedir. Konum bilgisi ise enlem ve boylam derecelerini virgülden sonra altı basamak şeklindedir. Şekil 2.25'de GPS modülüne ait akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.25. GPS modüle ait akış diyagramı

2.2.2.4. Güneş Açısal Konumunun Hesaplanmasına Ait Akış Diyagramı

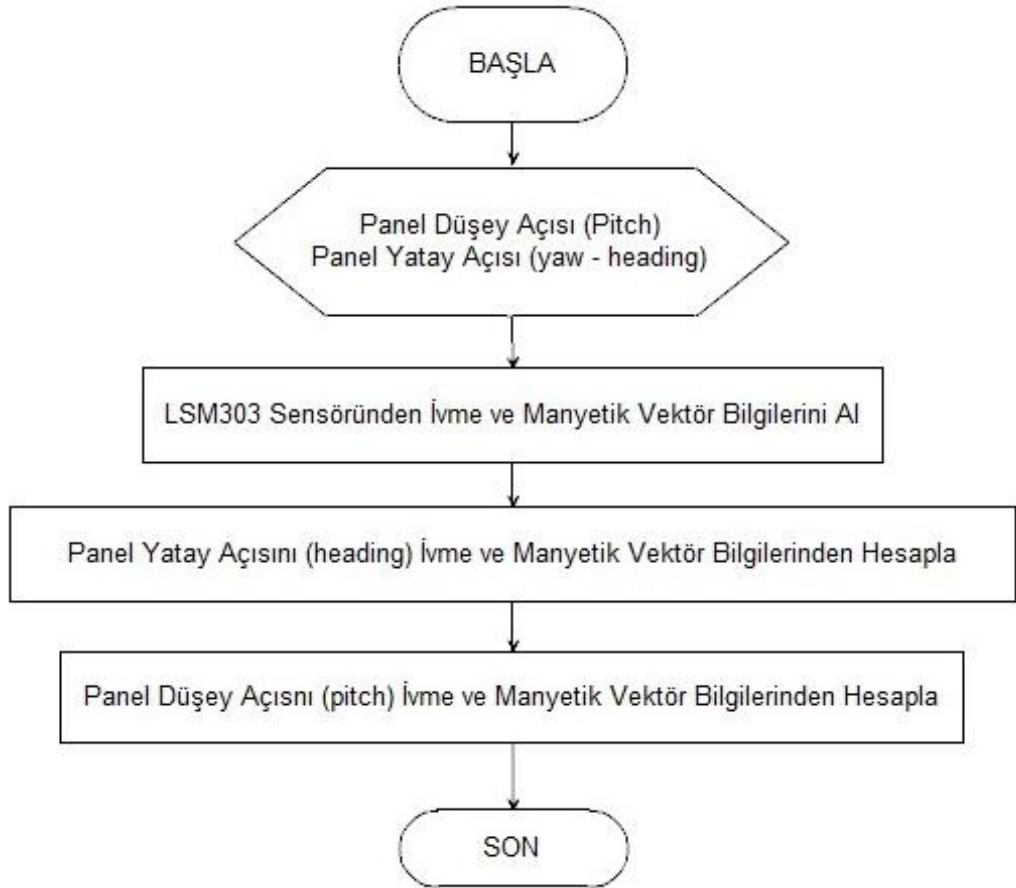
Güneşin açısal konumu sırasıyla denklem 1.36'dan denklem 1.51'e kadar olan denklemlerden yararlanılarak zenit (yükseklik) ve azimut açıları hesaplanmaktadır. Şekil 2.26'da güneşin açısal konumunun hesaplanmasına ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.26. Güneşin açısal konumunun hesaplanmasına ait akış diyagramı

2.2.2.5. Panelin Düşey ve Yatay Konum Bilgisinin Hesaplanmasına Ait Akış Diyagramı

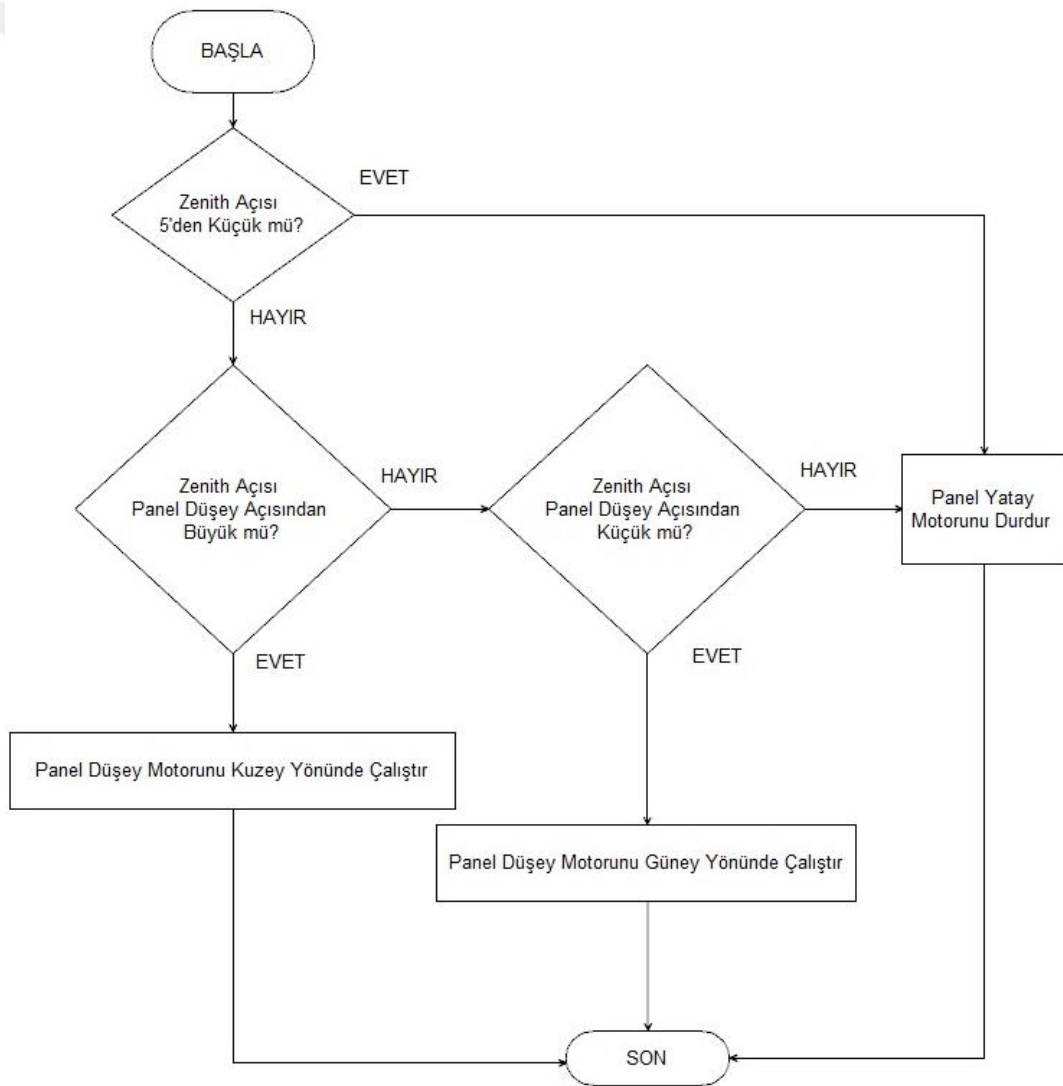
Paneli düşey ve yatay açılarını hesaplamak için (LSM303) ivme ölçer ve pusula sensöründen gelen bilgiler işlenmektedir. Öncelikle pusula sensörü kalibre edilmelidir. Sistem LCD ekran kontrol modülünde bulunan kalibrasyon menüsüne alınarak, pusula sensörü bütün eksenlerde döndürülerek ölçülen değerlerin en düşük ve en yüksek değerleri kaydedilir. Kalibrasyondan sonra sensörden gelen bilgiler işlemciye alınır. Bu bilgiler x,y ve z vektör bilgileridir. Vektör algoritmaları kullanılarak açı değeri hesaplanır. İvme ölçerden gelen bilgiler ile panelin düşey açısı hesaplanır. Bu bilgilerde x,y ve z olmak üzere 3 adet vektör bilgisidir. Bu değerlerden yer çekim ivme vektörünün düşey açısı hesaplanır. Daha sonra bu açı bilgileri düşey ve yatay motorların hareketini belirler. Şekil 2.27’de Panelin düşey ve yatay konum bilgisinin hesaplanmasına ait akış diyagramı görülmektedir.



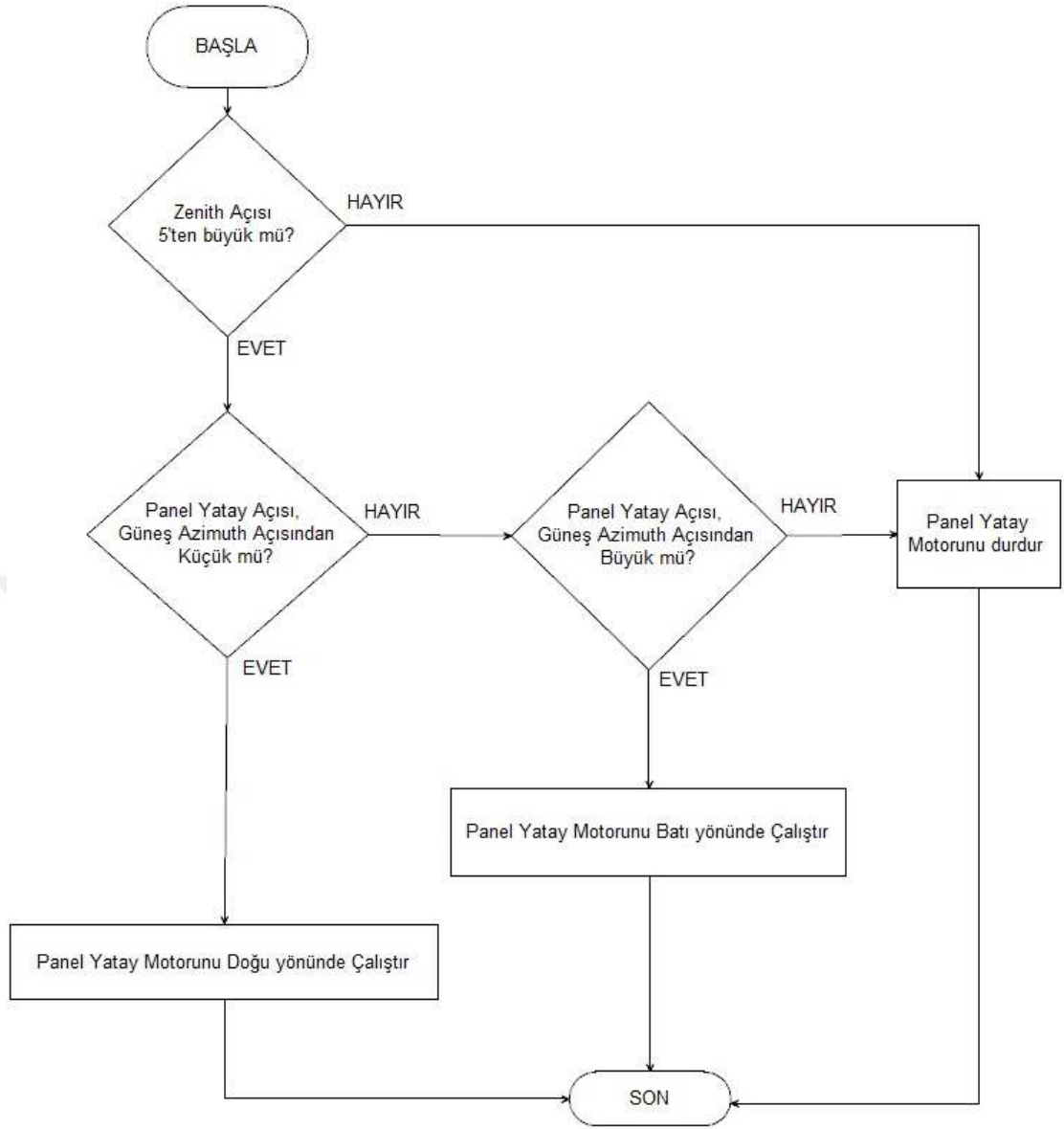
Şekil 2.27. Panelin düşey ve yatay konum bilgisinin hesaplanmasına ait akış diyagramı

2.2.2.6. Motor Kontrol hareketine Ait Akış Diyagramı

GPS'ten gelen konum ve zaman bilgilerinden güneşin konum açıları hesaplanır. İvmeölçer ve pusula sensöründen gelen bilgilerden panelin açıları hesaplanır. Artık açılar bulunduğu göre düşey ve yatay açılar eşit olana kadar düşey ve yatay motor çalıştırılır. Motorları sürmek için L298 motor sürme entegresi kullanılır. Her motoru kumanda etmek için motor sürücüde iki uç kullanılır bunlar IN1 ve IN2 uçlarıdır. Bu uçlardan biri lojik 1 diğeri lojik 0 seviyesinde olursa motor bir yönde döner. Sıralama değıştirilirse motor diğeri yönde döner. Yatay motorun devir sayısı çok yüksek olduğu için PWM kullanılarak motorun hızı düşürülmüştür. Şekil 2.28'de düşey motora ait akış diyagramı, Şekil 2.29'da ise yatay motora ait akış diyagramı görölmektedir.



Şekil 2.28. Düşey motora ait akış diyagramı

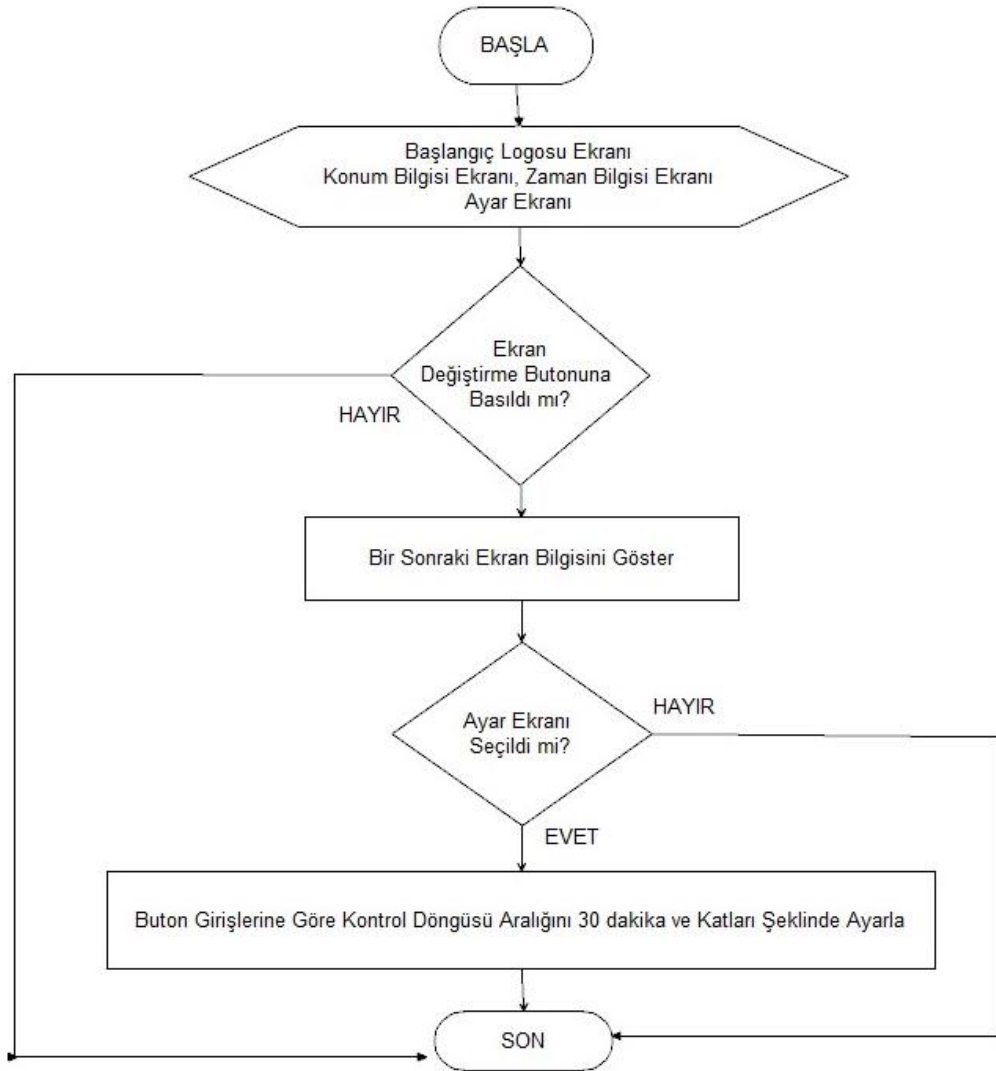


Şekil 2.29. Yatay motora ait akış diyagramı

2.2.2.7. LCD Ekran Ait Akış Diyagramı

Panelin parametrelerinin görüntülenmesi ve ayarlarının yapılması için LCD ekran kullanılmıştır. LCD ekranda menü oluşturularak birden fazla ekran görüntüsü elde edilmiştir. Ekranlar arasında geçiş yapmak için seçme butonuna basılır. Değerleri değiştirmek için yukarı ve aşağı butonları kullanılır. Kalibrasyon ekranındayken kalibrasyonu tamamlamak için tekrar seç butonuna basılır. Kalibrasyonu iptal etmek için sol tuşa basılır. Böylece kalibrasyon yapılmadan ekran değiştirilir. İlk ekran da Konum bilgisi enlem ve boylam olarak görüntülenir. Bu ekrandayken panel otomatik takip modundadır. İkinci ekranda ise zaman bilgisi bulunur. Bu

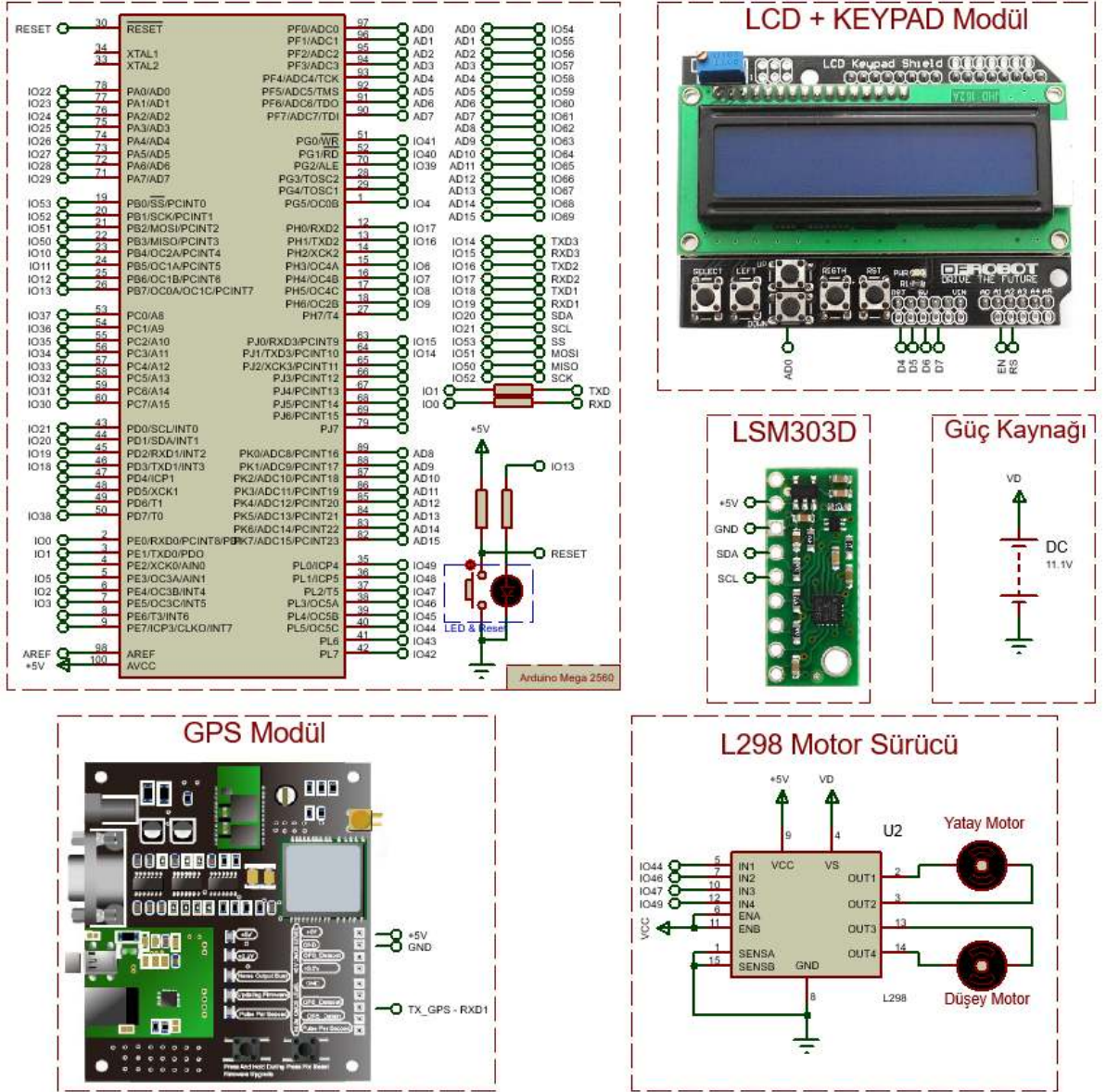
ekrandayken de panel otomatik takip modundadır. Üçüncü ekranda panelin eğim açıları (pitch, heading) görüntülenir ve Panel bu ekranda manuel kumanda modundadır. Sol ve sağ butonla panel yatay ekseninde, yukarı ve aşağı butonu ile panel dikey ekseninde hareket ettirilir. Ekrandan da eğim açıları takip edilir. Dördüncü ekranda ise panelin hangi aralıklarla kumanda döngüsünü gerçekleştireceği ayarlanır. Burada gösterilen değerler dakika cinsindendir. Eğer değer sıfıra alınırsa GPS'ten her bilgi geldiğinde kumanda döngüsü gerçekleştirilir. Aksi takdir de ayarlanan süre geçtiğinde kontrol döngüsü gerçekleştirilir. Beşinci ekran pusula kalibrasyonu içindir. Bu ekranda pusula sensörü yerinden çıkarılarak yatay ekseninde tam tur dönecek şekilde çevrilerek pusulanın maksimum ve minimum değerleri kaydedilir. Bu ekrandayken kalibrasyonu kaydetmek istemiyorsak sol butona basarak yeni kalibrasyon değerlerini kaydetmeden çıkabiliriz. Yeni değerleri kaydetmek istiyorsak seç butonuna basarak kayıt yapılır ve tekrar ilk ekrana dönülür. Şekil 2.30'da LCD ekrana ait akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.30. LCD ekrana ait akış diyagramı.

2.2.3. KTGTS Kontrol Devresi

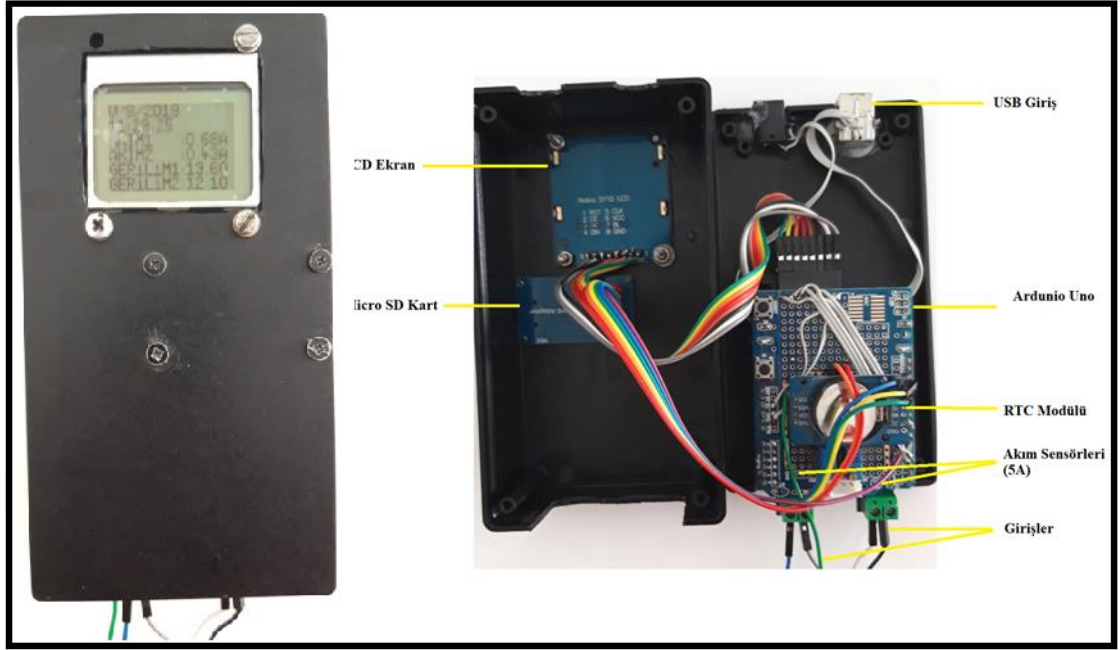
Şekil 2.31’da KTGTS kontrol devresinde kullanılan devre elemanları ve modüllerin bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 2.31. KTGTS kontrol devresi

2.3. Tasarlanan Veri kaydedicisi

Deneyisel çalışmada kullandığımız veri kaydedicisi Şekil 2.32’de görülmektedir.



Şekil 2.32. Deneyde kullanılan veri kaydedicisi

Tasarlanan veri kaydedicisi iki adet akım ve gerilim girişine sahiptir. İki ayrı sistemin ürettiği gerilimi ve akımı ölçerek mikro sd karta kaydeder. Veri kaydedicisi üzerinde bir adet DS3231 RTC (real time clock) modülü bulunmaktadır, bu modül ile alınan zaman bilgisi ölçülen değerler ile mikro sd karta kaydedilir. Veri kaydedicisi üzerinde bulunan LCD ekran ile tarih zaman ve ölçülen değerler anlık olarak görüntülenmektedir. Ayarlanan zaman sonlarında ölçülen akım ve gerilim bilgileri zaman bilgisi ile birlikte kaydedilme istenilen kaydetme aralığında yapılarak veri kaydetme işlemi gerçekleştirilir. Akım ölçmek için iki adet ASC712-5A hall efect akım sensörü kullanılmıştır. Gerilim ölçmek için ise potansiyometreli bir gerilim bölücü devresi kullanılmıştır. Akım sensörü iki yönlü akım ölçebildiği için ölçülen değerden 512 değeri çıkarılıp hesaplamalar Ardunio Uno mikodenetleyicisi ile yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

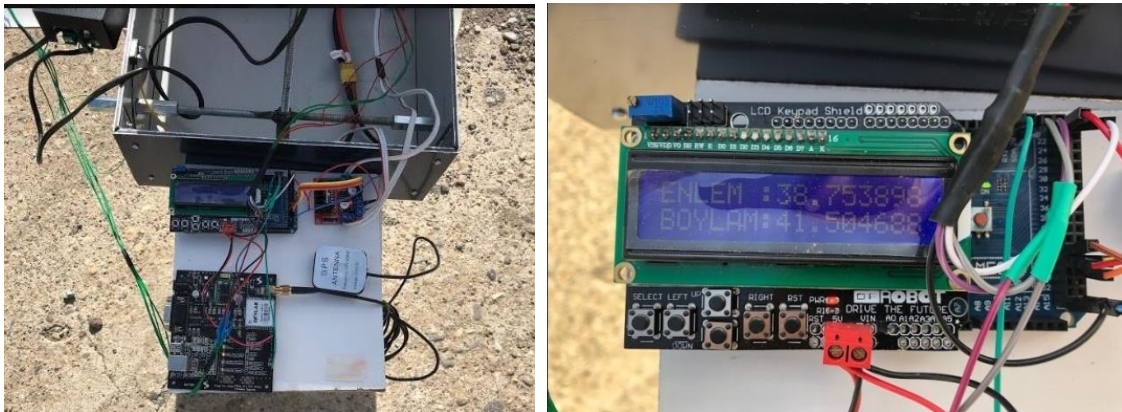
Tasarlanan KTGTS ile iki farklı uygulama yapılmıştır. Bunlar biri sabit eğimli bir sistem ile gün boyu ölçüm alınarak değerler karşılaştırılmış, diğeri ise FV panel üzerine yerleştirilen bir çubuk ile gölge boyu ölçülerek KTGTS sisteminin verimi hesaplanmıştır.

3.1. KTGTS ile Sabit Eğimli Sistemin Karşılaştırılması

Deney düzeneği Muş ilinde 38,753898 enlem ve 41,504688 boylam değerine sahip bölgede kurulmuştur. Sabit eğimli sistemde FV panel eğimi enlem açısına eşit seçilmiştir. Yük direnci olarak 10W 47 Ω değerinde direnç kullanılmıştır. Aşağıda deney düzeneği ve kontrol ünitesi görülmektedir.

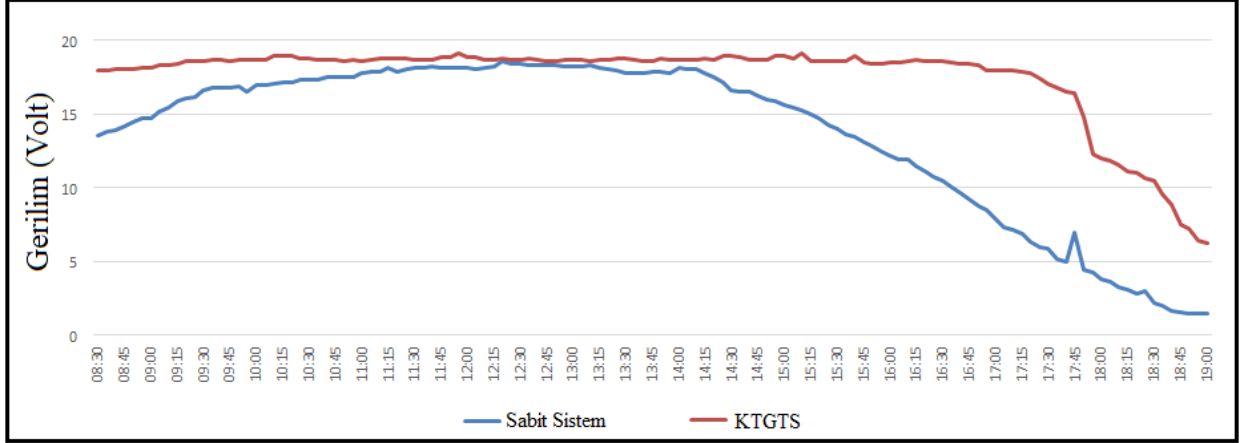


Şekil 3.1. Sabit eğimli sistem ile KTGTS deney düzeneği



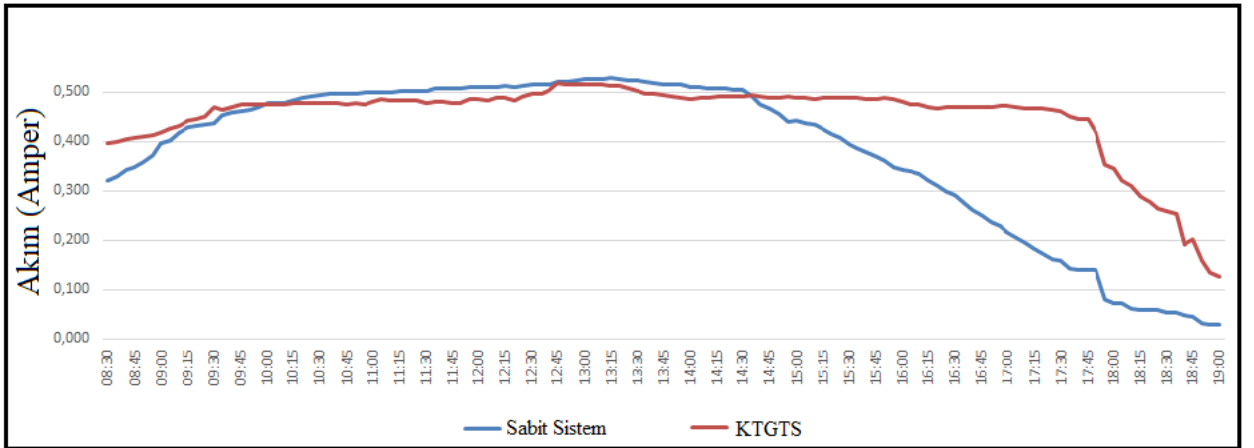
Şekil 3.2. Kontrol ünitesinin görünümü

21 Haziran 2019 gününde saat 8:30 ile 19:00 arasında 5 dakika aralıklarla ölçülen gerilim ve akım değerleri ile hesaplanan ani güç değerleri Ek-2’de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak, KTGTS ve sabit sistemin gerilim (volt), akım (amper) ve güç (watt) grafikleri Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.



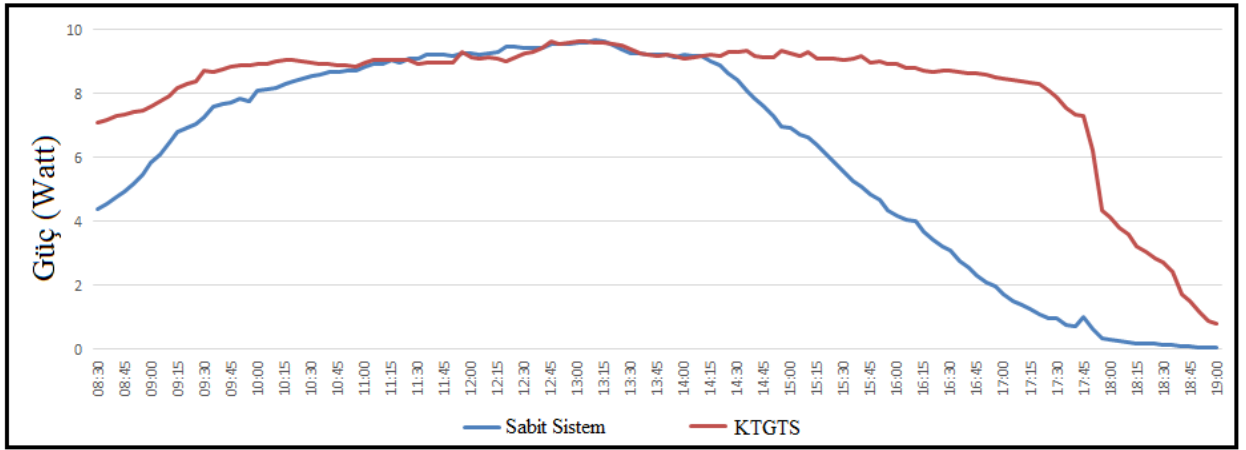
Şekil 3.3. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin gerilim grafiği

Şekil 3.3 incelendiğinde öğlen saatlerinde (12:00-13:30) sabit sistem ile KTGTS değerlerinin birbirine çok yakın olduğu, sabah ile akşam saatlerinde ise KTGTS gerilim değerinin sabit sisteme göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin akım grafiği

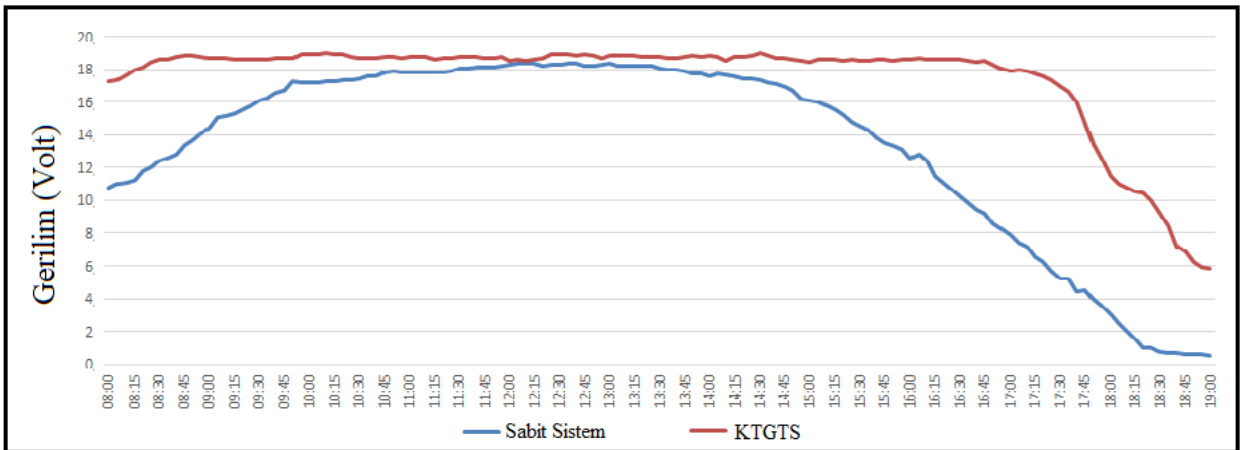
Şekil 3.4 incelendiğinde KTGTS günün büyük bir kısmında akım değerinin çok az bir değişim gösterdiği, sabit sistemin ise güneş ışınlarının sabah ve akşam saatlerinde etkisini kaybetmesi sonucu çok azaldığı görülmektedir.



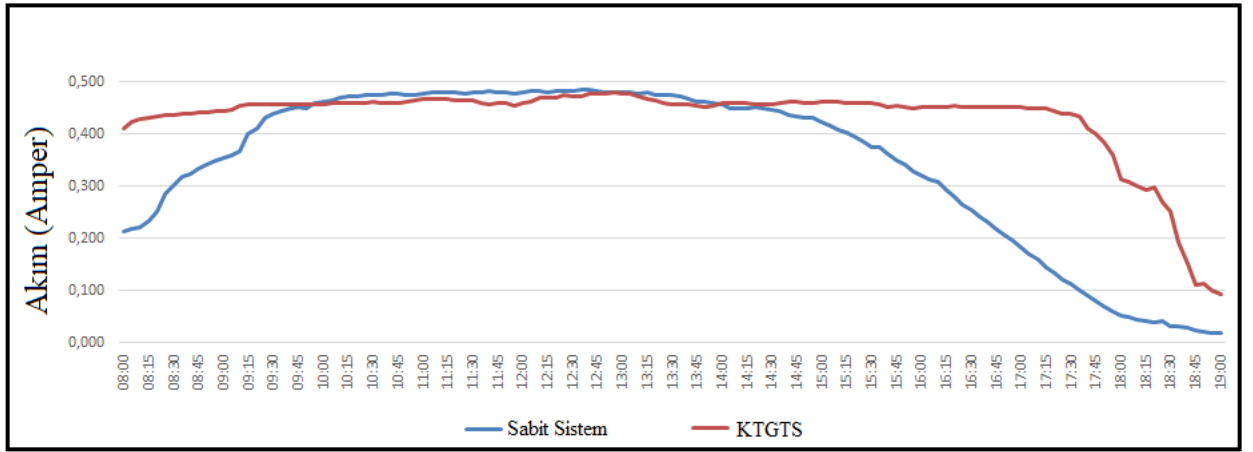
Şekil 3.5. 21 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin güç grafiği

Şekil 3.5 incelendiğinde öğlen saatlerinde iki sistemde üretilen güç değeri birbirine oldukça yakın olmakta, bu karşın sabah ve akşam saatlerinde KTGTS sisteminin sabit sisteme göre aralarında güç farkı yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan hesaplama ile KTGTS sistemi, sabit sisteme göre %33,92 oranında FV panel kazancını artırdığı görülmüştür.

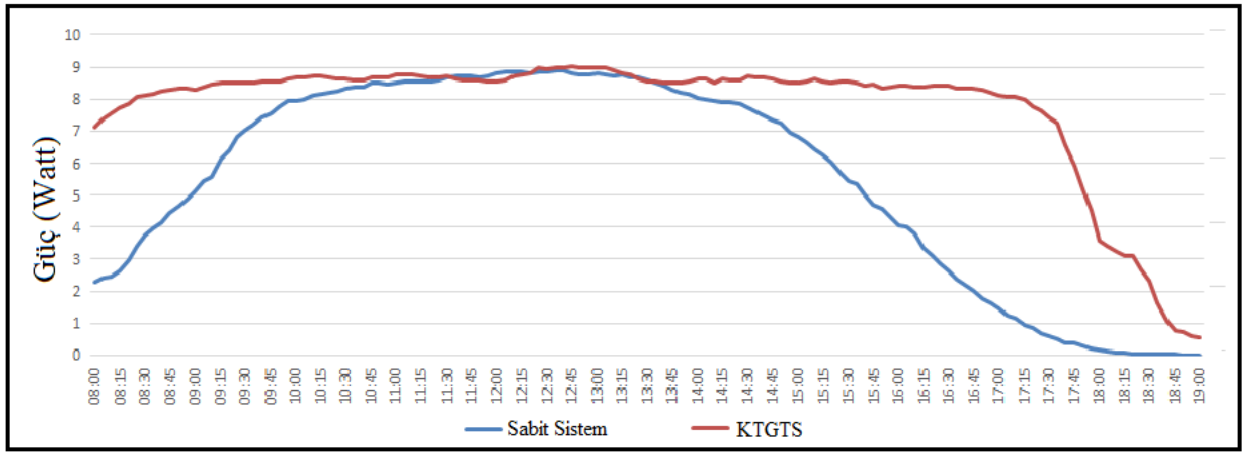
24 Haziran 2019 gününde saat 8:00 ile 19:00 arasında 5 dakika aralıklarla ölçülen gerilim ve akım değerleri ile hesaplanan ani güç değerleri Ek-3'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak, KTGTS ve sabit sistemin gerilim (volt), akım (amper) ve güç (watt) grafikleri Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.6. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin gerilim grafiği



Şekil 3.7. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin akım grafiği

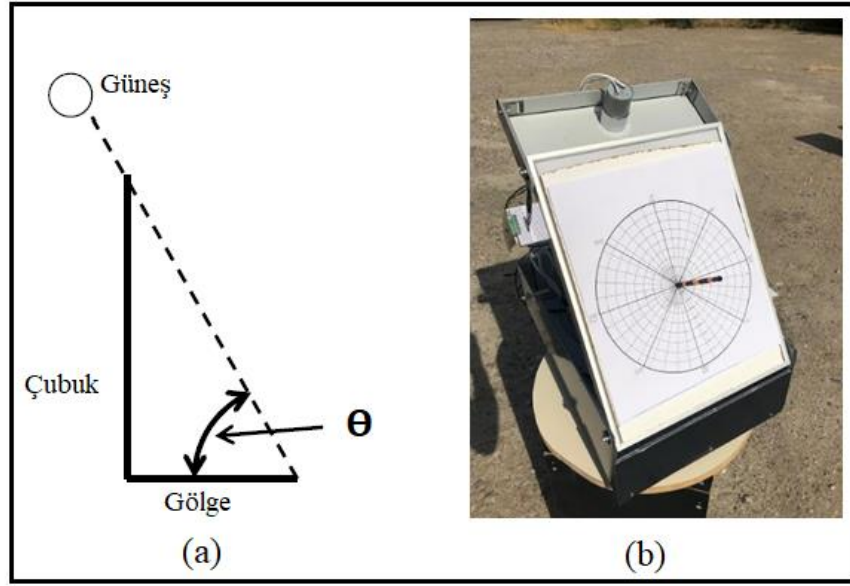


Şekil 3.8. 24 Haziran günü KTGTS ve sabit sistemin güç grafiği

24 Haziran günü yapılan deney sonuçları incelendiğinde günlük elde edilen güç değerleri 24 Hazirana göre daha az olmasına rağmen KTGTS sistemi, sabit sisteme göre %38,2 oranında FV panel kazancını artırdığı görülmüştür.

3.2. KTGTS'nin Gölge Boyu ile Veriminin Hesaplanması

Bu deney çalışması ile tasarlanmış olduğumuz KTGTS sisteminin güneşi takip ederken güneş geliş açısının panel üzerine yerleştirdiğimiz bir çubuğun oluşturacağı gölge boyu ile verimi hesaplanacaktır. Şekil 3,9'da deney düzeneği ve güneş geliş açısı görülmektedir.



Şekil 3.9. (a) Çubuk ile gölge arasındaki açı (θ), (b) Deney düzeneği.

Burada çubuk ile gölge arasındaki açı güneş geliş açısını (θ) ifade etmektedir. θ açısı 90° olduğunda gölge hiç oluşmayacak yani güneş panele dik açı ile gelmiş olur. Burada θ açısını aşağıdaki denklem ile bulacağız [64].

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{L_{\text{Ç}}}{L_{\text{G}}} \right) \quad (3.1)$$

Burada;

$L_{\text{Ç}}$ = Çubuğun uzunluğu (mm)

L_{G} = Gölgenin uzunluğu (mm)

KTGTS verimini ise; $\% \sin(\theta)$ ifadesi ile elde edeceğiz.

Bu deney çalışması 1 Temmuz 2019 günü 08:00 ile 16:00 saatleri arasında 30 dakika aralıklarla yapılan ölçümler ile panel yüzeyine yerleştirilen 10cm uzunluğundaki çubuğun gölge uzunlukları ölçülüp kaydedilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda KTGTS veriminin ortalama %99,71 olduğu görülmüştür. Çizelge 3.1’de 30 dakika aralıklarla ölçülen gölge boyları, hesaplanan güneş geliş açısı ve KTGTS verim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. KTGTS verim değerleri.

Saat	Gölge Boyu (mm)	θ (derece)	Verim %sin(θ)
08:00	12	83,16	99,28
08:30	10	84,29	99,50
09:00	8	85,43	99,68
09:30	8	85,43	99,68
10:00	9	84,86	99,59
10:30	7	86,00	99,75
11:00	4	87,71	99,92
11:30	5	87,14	99,87
12:00	4	87,71	99,92
12:30	4	87,71	99,92
13:00	4	87,71	99,92
13:30	5	87,14	99,87
14:00	7	86,00	99,75
14:30	6	86,57	99,82
15:00	8	85,43	99,68
15:30	9	84,86	99,59
16:00	11	83,72	99,39

4. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, CIEMAT tarafından geliştirilen PSA algoritması ile çalışan açık döngü bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan KTGTS sisteminin hareketli olduğu durumlarda otomatik olarak çalışması sağlanmıştır. Böylece KTGTS sistemi hiçbir dış müdahaleye ihtiyaç duymadan, dünya üzerinde nerde olursa olsun güneşe yönelerek FV panel üzerine, güneş ışınlarının dik bir açı ile gelmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan KTGTS ile FV panel kazancını artırdığı yapılan deneysel çalışmalar ile gözlemlenmiştir. Bu çalışmada iki farklı deney yapılmıştır. Yapılan deney çalışmalarının biri sabit eğimli sistem ile KTGTS'nin karşılaştırılması, diğeri ise KTGTS'nin veriminin belirlenmesine yöneliktir.

KTGTS ile sabit eğimli sistemin karşılaştırılması için yapılan deney Muş ilinde gün boyu güneş alan bir bölgede, havanın açık olduğu 21-24 Haziran 2019 günlerinde yapılmıştır. İki sistemde de aynı özelliklere sahip FV panel kullanılmıştır. Sabit eğimli sistemin eğim açısı, deney düzeneğinin kurulduğu yerin enlem açısına eşit seçilmiştir. İki sistemde de yük olarak 10W gücünde 47Ω direnç kullanılmıştır. Beş dakika aralıklarla her iki sistemin akım ve gerilim değerleri veri kaydedicisi ile ölçülerek kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda iki farklı günde hareketli FV panelin, sabit FV panele göre %33-38 arasında FV panel kazancını artırdığı görülmüştür.

KTGTS'nin veriminin belirlenmesine yönelik yapılan deneysel çalışma, Muş ilinde 1 Temmuz 2019 günü yapılmıştır. Bu deneyde 30 dakika aralıklar ile FV panel yüzeyine paralel yerleştirilen düzencek ile 10 cm uzunluğundaki çubuğun gölge boyu uzunlukları ölçülmüştür. Ölçülen gölge boyu uzunlukları ile yapılan hesaplama ile gün içerisinde KTGTS veriminin ortalama %99,71 olduğu hesaplanmıştır.

Sonuçta bu tez çalışmasında herhangi bir optik algılayıcı kullanılmadan Güneşin yıl ve gün içerisindeki konumuna göre otomatik olarak güneşi takip eden iki eksenli KTGTS tasarlanıp gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Rüstemli S, Akdağ M, İlcihan Z, 2017. The Performance Analysis of A Solar Power. International Conference on Sustainable Development (ICSD 2017), 19-23 April 2017, Sarajevo, s: 228-233
- [2] Renewables 2018 global status report, renewables energy policy network for the 21st century (REN21 2018), Paris. s: 41-42.
- [3] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim tarihi 09.05.2019)
- [4] Rüstemli S, Dinçer F, Çelik M, Cengiz M.S, 2013. Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1): 141–147.
- [5] Rüstemli S, Akdağ M, İlcihan Z, 2017. Comparison of Solar Tracking System Mad efor Increasing Efficiency of Photovoltaic System. International Conference on Sustainable Development (ICSD 2017), 19-23 April 2017, Sarajevo, s: 224-227
- [6] Abdallah S, Nijmeh S, 2004. Two Axes Sun Tracking System with PLC Control. Energy Conversion and Management, 45: 1931-1939.
- [7] Huang F, Tien D, Or J, 1998. A Microcontroller Based Automatic Sun Tracker Combined with A New Solar Energy Conversion Unit. International Conference on Power Electronics Drives and Energy Systems for Industrial Growth (PEDES'98), 1-3 December 1998, West Australia, s: 488-492.
- [8] Bilgin Z, 2006. Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] Tomson T, 2008. Discrete Two Positional Tracking of Solar Collectors. Renewable Energy, 33(3): 400-405.
- [10] Berrera M, Dolara A, Faranda R, Leva S. 2009. Experimental Test of Seven Widely-Adopted MPTT Algorithms. IEEE Bucharest Power Tech Conference, 28 June – 2 July 2009, Bucharest Romania, s:1-8.
- [11] Chihchiang H, Jongrog L, 2004. A Modified Tracking Algoritm for Maximum Power Tracking of Solar Array. Energy Conversion and Management, 45: 911-925.
- [12] Orhun M, 2013. Farklı Güneş Panellerinin Adaptif Bir Güneş Takip sistemi Üzerinde Karşılaştırılması ve Güç Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [13] Yousif A, 2012. Study of Sun Tracking Mechanism for Photovoltaic Panels. Master Thesis, Univercity of Salahaddin Mechatronic Engineering, Erbil.

- [14] Marinescu D, Marinescu C, 2006. Control Optimizing Algorithm for Soft Sun-Trackers. IEEE International Conference on Automation Quality and Testing, Robotics, 25-28 May 2006, Cluj-Napoca Romania, s: 54-57.
- [15] Sungur C, 2009. Multi-Axes Sun-Tracking System with PLC Control for Photovoltaik 1panels in Turkey. Renewable Energy, 34: 1119-1125.
- [16] Uzunok S, 2007. Fotovoltaik Novel Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- [17] Salah A, Salem N, 2004. Two Axes Sun Tracking System With PLC Control. Energy Conversion and Management, 45: 1931-1939.
- [18] Bükün N, 2017. Siirt Yöresi için Tek Eksenli Güneş Takip sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt.
- [19] Seme S, Stumberger G, 2011. A Novel Prediction Algoritm for Solar Angles using Radiational and Differential Evolution for Dual-Axis Sun Tracking Purposes. Solar Energy, 85:2757-2770.
- [20] Prinsloo J.G, 2014. Automatic Positioner and Control System for A Motorized Parabolic Solar Reflector. Master Thesis, Univercity of Stellenbosch, Mechanical and Mechatronic Engineering, South Africa.
- [21] Lubitz W, 2011. Effect of Manual Tilt Adjustments on Incident Irradiance on Fixed and Tracking Solar Panels. Applied Energy, 88:1710-1719.
- [22] Onbaşıoğlu S, 2005. Neden Yenilenebilir Enerji?. Termodinamik Dergisi, 128:59.
- [23] Kocabaş S, 2017. Güneş Paneli ile Elektrik Üretiminde Maliyet Muhasebesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Varış Ç, 2017. Çift Eksen Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması Üretim Değerlendirilmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Bedeloğlu A, Demir A, Bozkurt Y, 2010. Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Elektronik Journal of Textile Technologies, 4: 43-58.
- [26] Doğu Marmara Kalkınma Ajansı 2011. TR42 Doğu Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu, Marka Yayınları Serisi, Temmuz 2011, s:11.

- [27] Demirtaş S, 2010. Avrupa Birliği ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bunlardan Biyokütlenin Önemi. 46. Dönem AB Temel Eğitim Kursu, Orman Genel Müdürlüğü, 2010 Ankara.
- [28] <http://www.worldenergy.org.tr/wp-content/uploads/2019/04/SelcukBorovaliSunum.pdf> (Erişim Tarihi: 15.05.2019)
- [29] Dinçadam F, 2008. Güneş Pilleri ile Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [30] Rüstemli S, Dinçadam F, Demirtaş M. 2010. Performance Comparison of The Sun Tracking System and Fixed System in the Application of Heating and Lighting. Arabian Journal For Science and Engineering, 35 (2B):171-183.
- [31] Marti A, Luque A, 2004. Next Generation Photovoltaics. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia.
- [32] Nelson J, 2003. The Physics of Solar Cells. Imperial College Press, London.
- [33] Messenger R.A, Ventre J, 2004: Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press, New York.
- [34] Uslu Ü.A, 2012. Maksimum güç Noktası Takibi Algoritmalarını Kullanarak Mikrodenetleyici Tabanlı İki Eksenli Otomatik Güneş Takip Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [35] Altaş H, 1998. Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri. Enerji-Elektrik, Elektromekanik-3e Dergisi, 47: 66-71.
- [36] Akkaya R, Kulaksız A.A, Aydoğdu Ö. 2012. Yüksek Verimli Fotovoltaik Sistemle Çalıştırılan Klima Sisteminin DSP Tabanlı Kontrolü. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projeleri, 11-22.
- [37] Öztürk H.H, 2017. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 18-21 Ekim 2017, İzmir.
- [38] Akkaya R, Kulaksız A.A, 2004. A Mikrocontroller-Based Stand-Alone Photovoltaic Power System for Residential Appliances. Applied Energy, 78: 419-431.
- [39] Fıratoğlu Z.A, Yeşilata B, 2003. Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1): 147-158.
- [40] Cuce E, Cuce P.M, Bali T, 2013. An Experimental Analysis of Illumination Intensity and Temperature Dependency of Photovoltaic Cell Parameters, Applied Energy, 11: 374-382.

- [41] Şenay G, 2011. Çok Eklemlı Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli ile Verim Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] Mastar E, 2011. Güneş Takip Sistemleri için Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [43] Karamanav M, 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [44] Kan H, 2016. Deneysel Amaçlı Çift Eksen Güneş Takip Sisteminin Labview Tabanlı Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [45] Başoğlu M.E, 2013. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [46] http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Erişim Tarihi: 15.05.2019)
- [47] Gemicioğlu A.G, 2011. Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından PV Sistemlerin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Muhtaroglu K.T, 2012. Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [49] Ekinci M, 2015. Taşınabilir Güneş Takip Sistemli PV Panel Dizaynı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [50] Nakir İ, 2007. Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] Rüstemli S, İlcihan Z, 2015. Güneş Takip Sistemlerinin Enerji Kazancına Etkisi. 8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM’15), 15-16 Ekim 2015, Adana.
- [52] Roth P, Georgiev A, Boudinov H, 2005. Cheap Two-Axis Sun Follwing Device. Energy Conversion and Management, 46: 1179-1192.
- [53] Elcik E, 2010. Güneş İzleyen Sistemler ve Bileşenleri. Solar Future Conference, 11-12 Şubat 2010, İstanbul, s:75-81.
- [54] <https://blog.pepperl-fuchs.us/blog/bid/253098/5-Ways-to-Track-Your-Solar-Tracker> (Erişim Tarihi: 15.05.2019)
- [55] A.Hassan F, 2011. Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Kurulumu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [56] Poulek V, Libra M, 2000. A Very Simple Solar Tracker for Space and Terrestrial Application. *Solar Energy Materials and Solar Cell*, 60: 99-103.
- [57] Mwithiga G, Kigo SN, 2006. Performance of A Solar Dryer with Limited Sun Tracking Capability. *Journal of Food Engineering*, 74: 247-252.
- [58] Anyaka B.O, Ahiabuike D.C, Mbunwe M.J, 2013. Improvement of PV System Power Output Using Sun-Tracking Techniques. *International Journal of Computational Engineering Research*, 9 (3): 80-98.
- [59] Yılmaz M, 2013. Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] Muslim H.N, 2019. Solar Tilt Angle Optimization of PV System for Different Case Studies. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7: e7.
- [61] Altıntaş B, 2012. Güneş Enerjisi Destekli Depolama Sisteminin Termodinamik Modeli ve Endüstriyel Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [62] Beckman W.A, Duffie J.A, 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. A Wiley-Interscience Publication, Canada.
- [63] Blanco-Muriel M, Alarcon-Padilla D.C, Lopez-Moratalla T, Lara-Coria M, 2001. Computing The Solar Vector. *Solar Energy*, 70 (5): 431-441.
- [64] Al-Naima F, Ramzy A, Abid J.A, 2012. Design and Implementation of A Smart Dual Axis Sun Tracker Based On Astronomical Equation. *The European Workshop on Renewable Energy System (EWRES'12)*, 10-20 September 2012, Antalya.

6. EKLER

EK 1.

21-28 Haziran 2019 tarihleri arasında program tarafından hesaplanan yükseklik ve azimut açısı değerleri.

Saat	21.Haz		22.Haz		23.Haz		24.Haz		25.Haz		26.Haz		27.Haz		28.Haz	
	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut	Yükseklik	Azimut
04:30	-4,09	53,44	-4,12	53,40	-4,16	53,36	-4,20	53,34	-4,25	53,31	-4,30	53,29	-4,36	53,28	-4,42	53,27
05:00	0,56	58,51	0,53	58,47	0,49	58,44	0,45	58,41	0,40	58,39	0,45	58,37	0,29	58,36	0,23	58,36
05:30	5,47	63,34	5,44	63,30	5,40	63,27	5,35	63,25	5,30	63,23	5,25	63,21	5,19	63,21	5,13	63,20
06:00	10,59	67,99	10,55	67,95	10,51	67,92	10,46	67,90	10,41	67,88	10,36	67,87	103,00	67,86	10,24	67,86
06:30	15,86	72,50	15,83	72,47	15,78	72,45	15,73	72,43	15,68	72,41	15,63	72,40	15,57	72,40	15,50	72,40
07:00	21,28	76,98	21,24	76,95	21,20	76,92	21,15	76,90	21,10	76,89	21,04	76,88	20,98	76,88	20,92	76,89
07:30	26,80	81,49	26,76	81,46	26,71	81,43	26,66	81,41	26,61	81,40	26,56	81,39	26,50	81,39	26,43	81,40
08:00	32,38	86,12	32,34	86,08	32,29	86,06	32,25	86,04	32,39	86,02	32,14	86,02	32,08	86,02	32,02	86,20
08:30	37,99	90,99	37,95	90,96	37,91	90,93	37,86	90,91	37,81	90,89	37,75	90,88	37,69	90,89	37,63	90,89
09:00	43,60	96,27	43,56	96,23	43,51	96,20	43,46	96,18	43,41	96,16	43,36	96,15	43,30	96,15	43,23	96,16
09:30	49,14	102,19	49,10	102,15	49,06	102,11	49,01	102,08	48,96	102,06	48,90	102,05	48,84	102,05	48,78	102,60
10:00	54,55	109,10	54,51	109,04	54,47	109,00	54,42	108,96	54,37	108,94	54,31	108,92	54,25	108,92	54,19	108,92
10:30	59,71	117,51	59,67	117,44	59,63	117,39	59,58	117,34	59,53	117,30	59,48	117,28	59,42	117,26	59,36	117,26
11:00	64,43	128,24	64,40	128,15	64,36	128,08	64,32	128,01	64,27	127,96	64,22	127,91	64,16	127,88	64,10	127,86
11:30	68,39	142,38	68,37	142,26	68,34	142,15	68,30	142,06	68,26	141,97	68,21	141,90	68,15	141,83	68,09	141,78
12:00	71,08	160,73	71,07	160,59	71,05	160,45	71,02	160,31	70,98	160,19	70,94	160,07	70,89	159,96	70,84	159,86
12:30	71,92	182,38	71,92	182,22	71,91	182,06	71,90	181,90	71,87	181,74	71,84	181,58	71,81	181,43	71,77	181,27
13:00	70,64	203,57	70,66	203,43	70,67	203,27	70,67	203,12	70,66	202,96	70,65	202,79	70,63	202,62	70,60	202,44
13:30	67,62	221,03	67,65	220,92	67,67	220,79	67,68	220,66	67,69	220,52	67,69	220,37	67,68	220,21	67,67	220,04
14:00	63,46	234,33	63,49	234,24	63,52	234,15	63,54	234,04	63,55	233,92	63,56	233,80	63,57	233,66	63,56	233,52
14:30	58,62	244,47	58,66	244,41	58,69	244,33	58,71	244,24	58,73	244,14	58,75	244,04	58,76	243,93	58,76	243,80
15:00	53,39	252,51	53,43	252,45	53,46	252,38	53,49	252,31	53,52	252,23	53,54	252,14	53,55	252,04	53,56	251,93
15:30	47,95	259,16	47,99	259,11	48,02	259,06	48,05	258,99	48,08	258,92	48,10	258,84	48,11	258,75	48,13	258,66
16:00	42,39	264,92	42,43	264,87	42,46	264,82	42,49	264,77	42,52	264,70	42,54	264,63	42,56	264,55	42,57	264,47
16:30	36,78	270,09	36,82	270,05	36,85	270,01	36,88	269,96	36,91	269,90	36,93	269,83	36,95	269,76	36,96	269,68
17:00	31,17	274,90	31,21	274,87	31,24	274,82	31,27	274,77	31,30	274,72	31,32	274,66	31,34	274,59	31,35	274,52
17:30	25,60	279,50	25,64	279,46	25,67	279,42	25,70	279,37	25,73	279,32	25,75	279,26	25,76	279,20	25,78	279,13
18:00	20,10	283,99	20,14	283,95	20,17	283,91	20,20	283,87	20,23	283,82	20,25	283,79	20,26	283,70	20,27	283,63
18:30	14,72	288,46	14,75	288,43	14,79	288,38	14,81	288,34	14,84	288,29	14,85	288,23	14,86	288,17	14,87	288,10
19:00	9,47	293,01	9,50	292,97	9,53	292,93	9,56	292,88	9,58	292,83	9,59	292,78	9,60	292,72	9,61	292,65
19:30	4,39	297,69	4,42	297,65	4,45	297,61	4,48	297,56	4,49	297,51	4,51	297,46	4,52	297,39	4,52	297,33
20:00	-0,47	302,57	-0,44	302,53	-0,41	302,49	-0,39	302,44	-0,37	302,39	-0,36	302,33	-0,36	302,27	-0,36	302,20

EK 2.

21 Haziran 2019 tarihinde KTGTS ve sabit sistemden ölçülen veriler.

SAAT	SABİT	KTGTS	SABİT	KTGTS	SABİT	KTGTS
	Gerilim (Volt)		Akım (Amper)		Güç (Watt)	
08:30	13,563	17,912	0,321	0,395	4,354	7,075
08:35	13,761	17,958	0,329	0,399	4,527	7,165
08:40	13,865	17,993	0,341	0,404	4,728	7,269
08:45	14,146	18,001	0,347	0,408	4,909	7,344
08:50	14,384	18,027	0,358	0,410	5,149	7,391
08:55	14,657	18,108	0,371	0,412	5,438	7,460
09:00	14,712	18,124	0,395	0,418	5,811	7,576
09:05	15,124	18,256	0,403	0,425	6,095	7,759
09:10	15,451	18,304	0,418	0,432	6,459	7,907
09:15	15,853	18,415	0,429	0,442	6,801	8,139
09:20	16,065	18,542	0,431	0,446	6,924	8,270
09:25	16,159	18,534	0,435	0,451	7,029	8,359
09:30	16,564	18,597	0,438	0,468	7,255	8,703
09:35	16,721	18,612	0,452	0,465	7,558	8,655
09:40	16,748	18,615	0,458	0,469	7,668	8,734

09:45	16,784	18,601	0,460	0,475	7,718	8,827
09:50	16,876	18,623	0,465	0,475	7,839	8,849
09:55	16,470	18,637	0,470	0,476	7,738	8,869
10:00	16,969	18,680	0,477	0,476	8,086	8,889
10:05	16,962	18,687	0,478	0,476	8,106	8,892
10:10	17,040	18,950	0,479	0,475	8,154	9,005
10:15	17,097	18,922	0,484	0,477	8,273	9,017
10:20	17,119	18,893	0,489	0,478	8,364	9,029
10:25	17,268	18,772	0,491	0,479	8,471	8,983
10:30	17,268	18,737	0,494	0,479	8,529	8,966
10:35	17,290	18,623	0,495	0,479	8,563	8,912
10:40	17,454	18,672	0,495	0,477	8,644	8,910
10:45	17,468	18,608	0,496	0,476	8,663	8,855
10:50	17,475	18,573	0,497	0,477	8,689	8,850
10:55	17,496	18,608	0,498	0,475	8,712	8,843
11:00	17,717	18,573	0,499	0,481	8,846	8,937
11:05	17,810	18,644	0,500	0,485	8,904	9,034
11:10	17,824	18,708	0,500	0,484	8,911	9,053
11:15	18,074	18,758	0,501	0,482	9,048	9,039
11:20	17,817	18,737	0,501	0,482	8,931	9,029
11:25	18,059	18,715	0,502	0,483	9,065	9,031
11:30	18,081	18,658	0,502	0,479	9,075	8,929
11:35	18,138	18,658	0,507	0,481	9,201	8,966
11:40	18,216	18,658	0,506	0,481	9,216	8,966
11:45	18,138	18,786	0,507	0,477	9,201	8,952
11:50	18,074	18,808	0,507	0,477	9,168	8,963
11:55	18,152	19,093	0,509	0,485	9,232	9,264
12:00	18,081	18,786	0,511	0,486	9,232	9,128
12:05	18,059	18,829	0,510	0,483	9,209	9,086
12:10	18,102	18,680	0,511	0,488	9,243	9,114
12:15	18,174	18,608	0,511	0,488	9,292	9,079
12:20	18,544	18,701	0,511	0,482	9,469	9,012
12:25	18,402	18,608	0,513	0,490	9,433	9,116
12:30	18,345	18,630	0,514	0,497	9,428	9,264
12:35	18,259	18,708	0,515	0,495	9,409	9,265
12:40	18,252	18,608	0,516	0,505	9,417	9,390
12:45	18,316	18,573	0,521	0,518	9,536	9,620
12:50	18,323	18,565	0,521	0,514	9,540	9,542
12:55	18,231	18,637	0,524	0,514	9,553	9,579
13:00	18,216	18,672	0,525	0,516	9,557	9,634
13:05	18,209	18,658	0,525	0,515	9,566	9,602
13:10	18,280	18,601	0,527	0,515	9,640	9,573
13:15	18,138	18,637	0,530	0,513	9,613	9,566
13:20	18,017	18,608	0,527	0,511	9,489	9,514
13:25	17,903	18,708	0,523	0,507	9,369	9,490
13:30	17,739	18,729	0,522	0,501	9,259	9,388

13:35	17,732	18,665	0,521	0,496	9,232	9,256
13:40	17,717	18,558	0,519	0,496	9,189	9,203
13:45	17,853	18,537	0,515	0,494	9,188	9,156
13:50	17,846	18,715	0,515	0,491	9,196	9,194
13:55	17,753	18,694	0,515	0,489	9,136	9,146
14:00	18,074	18,630	0,510	0,487	9,217	9,064
14:05	18,024	18,694	0,509	0,489	9,179	9,133
14:10	18,052	18,694	0,508	0,489	9,170	9,146
14:15	17,789	18,737	0,506	0,491	9,000	9,204
14:20	17,454	18,680	0,507	0,491	8,854	9,164
14:25	17,097	18,922	0,505	0,491	8,639	9,295
14:30	16,613	18,929	0,505	0,491	8,394	9,299
14:35	16,456	18,858	0,491	0,494	8,073	9,314
14:40	16,520	18,608	0,474	0,491	7,828	9,141
14:45	16,199	18,637	0,467	0,489	7,568	9,118
14:50	15,957	18,694	0,456	0,489	7,284	9,133
14:55	15,815	18,943	0,440	0,492	6,955	9,318
15:00	15,601	18,893	0,442	0,489	6,902	9,243
15:05	15,373	18,758	0,437	0,487	6,719	9,139
15:10	15,237	19,121	0,433	0,486	6,599	9,291
15:15	14,974	18,573	0,426	0,489	6,385	9,074
15:20	14,653	18,530	0,415	0,489	6,082	9,065
15:25	14,261	18,587	0,408	0,487	5,814	9,056
15:30	13,969	18,551	0,395	0,487	5,518	9,039
15:35	13,634	18,587	0,386	0,489	5,258	9,093
15:40	13,384	18,943	0,378	0,485	5,063	9,179
15:45	13,106	18,494	0,368	0,485	4,827	8,961
15:50	12,843	18,423	0,362	0,487	4,644	8,976
15:55	12,394	18,359	0,349	0,485	4,324	8,908
16:00	12,194	18,501	0,342	0,481	4,173	8,891
16:05	11,938	18,473	0,340	0,475	4,053	8,766
16:10	11,923	18,537	0,335	0,475	3,992	8,796
16:15	11,417	18,608	0,320	0,469	3,655	8,718
16:20	11,047	18,537	0,310	0,468	3,426	8,672
16:25	10,712	18,551	0,298	0,470	3,193	8,716
16:30	10,484	18,558	0,292	0,470	3,062	8,720
16:35	10,006	18,451	0,275	0,470	2,749	8,669
16:40	9,607	18,387	0,263	0,469	2,523	8,627
16:45	9,179	18,359	0,250	0,469	2,295	8,601
16:50	8,759	18,273	0,237	0,470	2,078	8,586
16:55	8,495	17,967	0,228	0,473	1,936	8,490
17:00	7,847	17,917	0,215	0,472	1,689	8,454
17:05	7,319	17,910	0,205	0,469	1,502	8,403
17:10	7,141	17,945	0,194	0,467	1,384	8,384
17:15	6,813	17,831	0,182	0,466	1,243	8,307
17:20	6,322	17,739	0,172	0,467	1,086	8,275

17:25	5,979	17,397	0,160	0,465	0,959	8,081
17:30	5,908	17,069	0,158	0,461	0,936	7,871
17:35	5,131	16,734	0,144	0,449	0,737	7,516
17:40	4,996	16,470	0,141	0,445	0,705	7,331
17:45	6,991	16,356	0,140	0,444	0,977	7,270
17:50	4,469	14,788	0,139	0,418	0,621	6,187
17:55	4,205	12,280	0,080	0,354	0,337	4,342
18:00	3,784	11,995	0,074	0,344	0,278	4,129
18:05	3,647	11,785	0,072	0,321	0,263	3,783
18:10	3,254	11,532	0,061	0,311	0,198	3,586
18:15	3,068	11,124	0,059	0,289	0,181	3,215
18:20	2,794	10,963	0,059	0,278	0,165	3,048
18:25	2,954	10,618	0,058	0,265	0,171	2,814
18:30	2,215	10,427	0,054	0,259	0,120	2,701
18:35	1,988	9,545	0,054	0,254	0,107	2,424
18:40	1,679	8,841	0,049	0,192	0,082	1,697
18:45	1,513	7,492	0,045	0,202	0,068	1,513
18:50	1,485	7,198	0,031	0,159	0,046	1,144
18:55	1,416	6,428	0,028	0,134	0,040	0,861
19:00	1,412	6,242	0,028	0,127	0,040	0,793

EK 3.

24 Haziran 2019 tarihinde KTGTS ve sabit sistemden ölçülen veriler.

SAAT	SABİT Gerilim (Volt)	KTGTS	SABİT Akım (Amper)	KTGTS	SABİT Güç (Watt)	KTGTS
08:00	10,755	17,285	0,213	0,411	2,291	7,104
08:05	10,996	17,357	0,219	0,425	2,408	7,377
08:10	11,083	17,648	0,222	0,429	2,460	7,571
08:15	11,214	17,952	0,235	0,431	2,635	7,737
08:20	11,758	18,128	0,252	0,433	2,963	7,849
08:25	12,025	18,414	0,285	0,438	3,427	8,065
08:30	12,423	18,595	0,302	0,437	3,752	8,126
08:35	12,542	18,623	0,318	0,439	3,988	8,175
08:40	12,835	18,758	0,323	0,441	4,152	8,264
08:45	13,334	18,794	0,334	0,442	4,459	8,304
08:50	13,698	18,801	0,342	0,443	4,678	8,331
08:55	14,047	18,751	0,349	0,444	4,896	8,321
09:00	14,446	18,658	0,354	0,444	5,119	8,280
09:05	15,059	18,672	0,361	0,448	5,433	8,358
09:10	15,145	18,644	0,369	0,454	5,581	8,465
09:15	15,294	18,601	0,401	0,457	6,128	8,506
09:20	15,522	18,587	0,412	0,457	6,389	8,499

09:25	15,793	18,615	0,431	0,458	6,805	8,524
09:30	16,057	18,601	0,439	0,457	7,043	8,494
09:35	16,249	18,623	0,444	0,457	7,211	8,515
09:40	16,534	18,637	0,449	0,458	7,422	8,534
09:45	16,713	18,680	0,453	0,458	7,567	8,553
09:50	17,247	18,687	0,451	0,458	7,776	8,557
09:55	17,183	18,879	0,461	0,459	7,923	8,657
10:00	17,161	18,922	0,464	0,459	7,958	8,677
10:05	17,161	18,893	0,466	0,460	8,002	8,688
10:10	17,276	18,957	0,471	0,459	8,133	8,705
10:15	17,268	18,922	0,473	0,460	8,163	8,701
10:20	17,318	18,908	0,474	0,459	8,209	8,682
10:25	17,375	18,779	0,475	0,459	8,258	8,623
10:30	17,447	18,680	0,477	0,462	8,314	8,626
10:35	17,582	18,644	0,477	0,460	8,379	8,573
10:40	17,582	18,672	0,477	0,460	8,390	8,598
10:45	17,796	18,786	0,478	0,461	8,504	8,663
10:50	17,867	18,715	0,477	0,463	8,515	8,666
10:55	17,810	18,637	0,476	0,466	8,476	8,690
11:00	17,782	18,758	0,478	0,467	8,508	8,758
11:05	17,789	18,737	0,480	0,468	8,535	8,760
11:10	17,796	18,715	0,480	0,469	8,538	8,774
11:15	17,774	18,587	0,481	0,469	8,551	8,714
11:20	17,774	18,658	0,480	0,465	8,539	8,676
11:25	17,917	18,658	0,479	0,464	8,585	8,664
11:30	18,067	18,786	0,481	0,464	8,691	8,723
11:35	18,074	18,779	0,482	0,460	8,706	8,647
11:40	18,088	18,779	0,482	0,457	8,725	8,575
11:45	18,131	18,644	0,480	0,460	8,710	8,585
11:50	18,095	18,687	0,480	0,459	8,693	8,581
11:55	18,238	18,751	0,479	0,456	8,738	8,550
12:00	18,288	18,537	0,481	0,461	8,797	8,548
12:05	18,373	18,558	0,482	0,464	8,862	8,605
12:10	18,366	18,537	0,483	0,469	8,871	8,703
12:15	18,387	18,630	0,480	0,469	8,834	8,746
12:20	18,238	18,708	0,483	0,471	8,809	8,819
12:25	18,288	18,893	0,484	0,475	8,844	8,967
12:30	18,316	18,929	0,484	0,473	8,870	8,948
12:35	18,330	18,922	0,486	0,474	8,912	8,969
12:40	18,337	18,851	0,485	0,477	8,892	8,995
12:45	18,238	18,872	0,483	0,477	8,809	9,006
12:50	18,181	18,808	0,482	0,478	8,758	8,999
12:55	18,252	18,651	0,480	0,481	8,769	8,972
13:00	18,373	18,808	0,480	0,478	8,815	8,987
13:05	18,209	18,836	0,481	0,477	8,760	8,989
13:10	18,209	18,851	0,479	0,473	8,725	8,911

13:15	18,209	18,815	0,480	0,468	8,748	8,809
13:20	18,216	18,765	0,476	0,466	8,669	8,750
13:25	18,238	18,772	0,475	0,461	8,668	8,656
13:30	18,074	18,715	0,475	0,457	8,578	8,558
13:35	17,938	18,694	0,474	0,457	8,502	8,548
13:40	17,995	18,651	0,468	0,457	8,414	8,516
13:45	17,910	18,765	0,464	0,454	8,305	8,520
13:50	17,739	18,815	0,462	0,451	8,203	8,494
13:55	17,725	18,779	0,459	0,455	8,139	8,551
14:00	17,546	18,801	0,458	0,459	8,035	8,633
14:05	17,725	18,751	0,450	0,460	7,979	8,634
14:10	17,618	18,484	0,450	0,461	7,931	8,524
14:15	17,582	18,765	0,450	0,460	7,915	8,641
14:20	17,425	18,751	0,453	0,459	7,889	8,598
14:25	17,425	18,836	0,450	0,457	7,845	8,613
14:30	17,354	18,979	0,446	0,459	7,746	8,703
14:35	17,169	18,801	0,444	0,460	7,619	8,657
14:40	17,112	18,708	0,437	0,463	7,472	8,663
14:45	16,912	18,637	0,435	0,463	7,353	8,630
14:50	16,734	18,573	0,433	0,460	7,243	8,540
14:55	16,171	18,487	0,431	0,461	6,968	8,525
15:00	16,121	18,402	0,423	0,463	6,822	8,521
15:05	16,000	18,558	0,415	0,462	6,647	8,570
15:10	15,743	18,608	0,410	0,463	6,450	8,617
15:15	15,522	18,573	0,404	0,460	6,269	8,552
15:20	15,209	18,501	0,397	0,460	6,035	8,508
15:25	14,788	18,558	0,385	0,460	5,697	8,546
15:30	14,489	18,523	0,376	0,460	5,451	8,529
15:35	14,275	18,537	0,374	0,458	5,343	8,488
15:40	13,855	18,580	0,363	0,453	5,025	8,412
15:45	13,484	18,573	0,349	0,455	4,709	8,457
15:50	13,363	18,487	0,342	0,451	4,563	8,346
15:55	13,113	18,558	0,329	0,451	4,310	8,367
16:00	12,543	18,587	0,322	0,453	4,042	8,415
16:05	12,800	18,658	0,314	0,452	4,025	8,436
16:10	12,415	18,565	0,307	0,452	3,817	8,394
16:15	11,481	18,573	0,294	0,451	3,374	8,385
16:20	11,104	18,580	0,280	0,454	3,106	8,436
16:25	10,705	18,587	0,266	0,453	2,843	8,427
16:30	10,256	18,558	0,255	0,453	2,612	8,403
16:35	9,849	18,494	0,242	0,451	2,388	8,350
16:40	9,457	18,466	0,232	0,451	2,190	8,337
16:45	9,172	18,487	0,219	0,451	2,006	8,346
16:50	8,609	18,266	0,206	0,453	1,772	8,282
16:55	8,303	18,081	0,196	0,453	1,623	8,186
17:00	7,889	17,924	0,183	0,452	1,441	8,104

17:05	7,383	17,967	0,170	0,450	1,258	8,088
17:10	7,177	17,924	0,159	0,451	1,145	8,081
17:15	6,578	17,746	0,145	0,449	0,956	7,966
17:20	6,257	17,539	0,134	0,444	0,837	7,783
17:25	5,694	17,361	0,122	0,441	0,696	7,648
17:30	5,181	16,948	0,113	0,439	0,583	7,444
17:35	5,188	16,663	0,101	0,434	0,524	7,233
17:40	4,440	15,971	0,091	0,412	0,403	6,574
17:45	4,526	14,795	0,080	0,400	0,361	5,919
17:50	3,977	13,448	0,071	0,387	0,281	5,198
17:55	3,571	12,579	0,060	0,359	0,216	4,514
18:00	3,000	11,439	0,052	0,314	0,156	3,597
18:05	2,459	11,028	0,050	0,309	0,123	3,408
18:10	2,042	10,755	0,045	0,301	0,092	3,237
18:15	1,512	10,526	0,042	0,294	0,064	3,095
18:20	0,994	10,422	0,039	0,297	0,039	3,095
18:25	1,002	9,958	0,041	0,269	0,041	2,679
18:30	0,748	9,247	0,032	0,251	0,024	2,321
18:35	0,712	8,452	0,031	0,192	0,022	1,623
18:40	0,679	7,154	0,028	0,152	0,019	1,087
18:45	0,621	6,852	0,024	0,112	0,015	0,767
18:50	0,611	6,214	0,021	0,114	0,013	0,708
18:55	0,572	5,921	0,018	0,101	0,010	0,598
19:00	0,532	5,860	0,018	0,092	0,010	0,539

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Muş'da doğdum. İlköğretimi Arif Nihat Asya İlköğretim Okulu'nda, liseyi Demirtaşpaşa Teknik Lisesi'nde tamamladım. Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar ve Elektronik Bölümü Elektronik Öğretmenliği programından 2008 yılında mezun oldum. 2009-2012 yılları arasında Muş Mesleki Anadolu Teknik Lisesinde çalıştım. 2012 yılından itibaren Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO'da Elektronik ve Otomasyon bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktayım. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansımı Eylül 2019'da tamamladım. Yabancı dilim İngilizce'dir.

Zeki İLCİHAN