

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİSİ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE
VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRMASI**

Nurettin AYDOĞDU

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Nihat YILMAZ**

ISPARTA - 2019



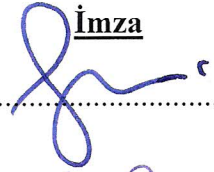
© 2019 [Nurettin AYDOĞDU]

TEZ ONAYI

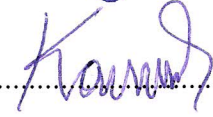
GÜNEŞ ENERJİSİ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRMASI

Nurettin AYDOĞDU tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İmalat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

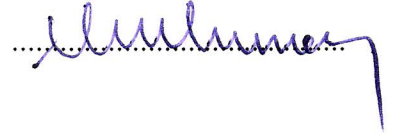
Başkan Prof. Dr. Reşat SELBAŞ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İmza


Üye Dr. Öğr. Üyesi Kamil DELİKANLI
Süleyman Demirel Üniversitesi



Üye Dr. Öğr. Üyesi Nihat YILMAZ
(Danışman) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..... tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

22/07/2019

Nurettin AYDOĞDU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye'nin Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Tüketimi.....	1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş	2
1.3. Sektörel Olarak Ülkemizde Güneş Enerjisi	3
1.4. Güneş Açıları	4
1.4.1. Güneş pillerinin ışığa veriminin artırılması	5
1.4.2. PV pillerinin yapısı	5
1.4.3. PV pillerinin çalışma ilkesi	8
1.4.4. PV pillerinin çeşitleri	9
1.5. PV Güneş Pilleri ve Verimlilikleri	22
1.5.1. PV pillerinin belli başlı kullanım alanları	23
1.6. Türkiye'nin Güneş Yüku ve Yerli Güneş Pili Sistemleri.....	23
1.7. PV Pili Takip Sistemleri.....	24
1.7.1. Güneş izleme sistemleri.....	25
1.7.2. Güneş pillerinin açıları.....	26
1.8.1. PV pili - jeneratör kombinasyonlu sistemler.....	30
1.8.2. Şebeke bağlantılı sistemler	30
1.8.3. Güneş enerjisi depolama teknikleri.....	31
1.8.4. Akülerin desarj olması	31
1.8.5. Güneş enerjisi depolama akü kullanımında dikkat edilecek hususlar.....	32
1.9. İnverterlerin Yapısı.....	33
1.9.1. İnverterlerin gerilim kontrolü.....	34
2. KAYNAK ÖZETLERİ	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	38
3.1. PV Pili Sistemleri ve Bileşenleri	38
3.1.1. Sabit güneş enerji sistemi tasarımı ve prototipi	38
3.1.2. Çift eksenli güneş enerjisi takip sistemi prototipi.....	41
3.1.2.1. Güneş takipli sistem için kontrol sistemleri	43
3.1.2.2. Güneş takipli sistemin PV pili kontrolü.....	43
3.1.2.3. Hava istasyonu güneş PV pili kontrol sistemi	47
3.1.2.4. Hava istasyonu güneş PV pili kontrol alıcı tasarımı	55
3.1.2.5. Dijital titreşim sensörü	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	68
EKLER.....	71

EK A. Hava İstasyonu Verici Devresi Arduino IDE Kodları.....	72
EK B. Hava İstasyonu Güneş Paneli Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları.....	76
EK C. Güneş Takip Sistemi Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları.....	81
ÖZGEÇMİŞ.	85



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI, İMALATI VE VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRMASI

Nurettin AYDOĞDU

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nihat YILMAZ

Yapılan bu çalışma yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneşten elde edilen enerjinin, tasarlanan sistemle daha verimli hale getirilmesi ve sistemin korunmasını sağlamaya yöneliktir. Bu çalışmada sistemlerin veriminin karşılaştırılabilmesi için dört tane PV pil sistemi tasarlanmıştır. Prototipi yapılan sistemler Isparta ili için yapıldığından, Isparta ili için güneş açıları dikkate alınmıştır ve çalışmada kullanılacak olan PV pillerinin sabit sistemde 0° , 10° , 33° ve takipli sistem prototiplerinin hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu prototiplerle PV pillerine gelen güneş ışınma değerleri ile akım- gerilim değerleri ölçülerek verim karşılaştırması yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise verimi yüksek çıkan güneş takip sisteminin korunması ve çalışma ömrünün uzatılması için hava istasyonu ve titreşim sensörü eklenmiştir. Böylece hava istasyonundan elde edilen rüzgâr hızı verileri ve titreşim sensörü verileri yardımıyla güneş takip sisteminin olası fırtına ve dolu hadisesi meydana gelmesi halinde, sistemi korumak için, PV pillerinin birbiri üzerine kapanarak tehdit ortadan kalktığında, sistemin tekrar açılması sağlanmıştır. Tasarlanan ve imalatı yapılan güneş takipli sistemle, Isparta ili ve 2019 Temmuz ayı için 33° sabit açılı PV piline göre % 21 daha yüksek verim elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV Güneş paneli, Güneş enerjisi, Kablosuz haberleşme, Meteoroloji, Sensör ve algılayıcılar

2019, 85 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN, MANUFACTURING AND EFFICIENCY COMPARISON OF SOLAR ENERGY TRACING SYSTEM

Nurettin AYDOĞDU

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Manufacture Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nihat YILMAZ

This study aims to make the energy obtained from the sun, which is one of the renewable energy sources, more efficient with the designed system and to ensure the protection of the system. In this study, four PV battery systems were designed to compare the efficiency of the systems. As the prototype systems are made for Isparta province, solar angles for Isparta province were taken into consideration and the prototypes of 0 °, 10 °, 33 ° and traced system of PV batteries to be used in the study were realized. With these prototypes, solar radiation values and current-voltage values of PV cells were measured and efficiency comparison was performed. In the next stage, a weather station and vibration sensor have been added to protect the high efficiency solar tracking system and to extend the working life. Thus, with the help of wind speed data and vibration sensor data obtained from the weather station, in case of possible storm and hail incident of the solar tracking system, the system is re-opened when the threat is eliminated by closing on one of the PV batteries to protect the system. With the solar tracking system designed and manufactured, 21% higher efficiency was obtained compared to 33° fixed angle PV battery for Isparta province and July 2019.

Key Words: PV Solar panel, Solar energy, Wireless communication, Meteorology, Sensors and transducers.

2019, 85 pages

TEŐEKKÖR

Tezimin yűrűtűlmesinde desteęini ve emeęini hiębir zaman esirgemeyen tez danıŐmanım sayın Dr. Őęr. Ŭyesi Nihat YILMAZ'a ve teknik destek saęlayan Muzaffer EYLENCE, Yasin KANBER'e teŐekkűrlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Nurettin AYDOğDU
ISPARTA, 2019



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Önemli güneş açılarının gösterimi.....	4
Şekil 1.2. Güneşlenme miktarına güneş açılarının doğrudan etkisi.....	6
Şekil 1.3. PV pili hücresi	7
Şekil 1.4. PV pillerinin yapısı ve çalışması.....	7
Şekil 1.5. Bir güneş pili sisteminin bileşenleri.....	8
Şekil 1.6. Kristal silisyum pilinin tabakaları.....	10
Şekil 1.7. Tek kristal silisyum güneş pilleri.....	10
Şekil 1.8. Kristal silisyum güneş pilinin hava durumuna göre verimlilik şeması.....	11
Şekil 1.9. Çok kristal silisyum pilleri 12V-24V sistemde akım-gerilim eğrileri.	12
Şekil 1.10. İnce film PV pilinin yapısı.....	13
Şekil 1.11. Amorf güneş pillerinin yapısı	15
Şekil 1.12. Işığın farklı ışık dalga boylarından faydalanmak için oluşturulmuş ışık spektrumu.....	16
Şekil 1.13. Bakır indiyum PV pillerinin yapısı.....	17
Şekil 1.14. CdTe güneş pilinin yapısı	18
Şekil 1.15. CdTe malzemesinin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şeması..	20
Şekil 1.16. Selenyum güneş pilinin yapısı	20
Şekil 1.17. GaAs PV pil örnekleri.....	21
Şekil 1.18. PV pillerinin farklı kullanım alanları.....	23
Şekil 1.19. Basit bir güneş takip sistem gösterimi	25
Şekil 1.20. Güneşin mevsimsel olarak değişimi	26
Şekil 1.21. Güneşin doğu yönünden batı yönüne doğru yaptığı zahiri hareket ..	27
Şekil 1.22. Güneşin Kuzey yönünden güney yönüne doğru yaptığı zahiri hareket.....	27
Şekil 1.23. Güneş paneli açısı tespit diyagramı	28
Şekil 3.1. Sabit çok panelli güneş sisteminin gövde tasarımı	39
Şekil 3.2. Sabit çok panelli güneş sisteminin PV panellerinin monte edilmiş hali.....	39
Şekil 3.3. İki eksenli çok panelli güneş takip sisteminin gövde tasarımı	41
Şekil 3.4. Güneş takipli sisteminin PV güneş pillerinin açık ve kapalı hali	42
Şekil 3.5. Rediktörlü DC motor sürücü kartı	44
Şekil 3.6. Güneş takip sisteminin sürücü kartı.....	44
Şekil 3.7. AF motor sürücü kartı.....	46
Şekil 3.8. Rediktörlü DC motor örneği.....	46
Şekil 3.9. Sistemde kullanılan LDR örneği.....	47
Şekil 3.10. Rüzgâr gülü sensörü.....	48
Şekil 3.11. Rüzgâr gülü diyagramı.....	49
Şekil 3.12. Anemometre.....	50
Şekil 3.13. BMP180 devre şeması	50
Şekil 3.14. DHT22 sıcaklık ve nem sensörü.....	51
Şekil 3.15. Yağmur haznesi	52
Şekil 3.16. nRF24101 kablosuz haberleşme modülü.....	52
Şekil 3.17. Hava istasyonu devresi	53
Şekil 3.18. Hava istasyonu veri devresi	54

Şekil 3.19. L298 motor sürücü entegresi pin bağlantısı.....	55
Şekil 3.20. L298N motor sürücü devresi	57
Şekil 3.21. L298N motor sürücü devresi	57
Şekil 3.22. Dijital titreşim sensörü.....	58
Şekil 3.23. 2x16 LCD ekran.....	58
Şekil 3.24. I2C/IIC dönüştürücü kartı	59
Şekil 3.25. Hava istasyonu güneş pili alıcı sistemi devresi.....	61
Şekil 4.1. 29 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışımaya verileri	63
Şekil 4.2. 30 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışımaya verileri	64
Şekil 4.3. 31 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışımaya verileri	64
Şekil 4.4. Sabit ve takipli sistemlerin verim karşılaştırması.....	66



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Güneş pillerinin verimlilikleri.....	21
Çizelge 1.2. PV pilleri için en yüksek verimlilikler.....	22
Çizelge 1.3. PV pili yapımında kullanılan maddelerin dünyadaki rezervleri ve üretimi	22
Çizelge 1.4. Türkiye'nin bölgelerinin güneş alma yükleri.....	24
Çizelge 1.5. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	29
Çizelge 1.6. Türkiye'nin bir yıl içerisinde toplam güneş enerjisi..... potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	30
Çizelge 3.1. Sistemin kurulması için ihtiyaç duyulan güneş panelleri.....	40
Çizelge 3.2. Kurulan sistemdeki akü bilgileri.....	40
Çizelge 3.3. Kullanılan alüminyum profil özellikleri	40
Çizelge 3.4. İşçilik ve diğer giderler	40
Çizelge 3.5. Takipli sistemde kullanılan akünün teknik özellikleri.....	42
Çizelge 3.6. Takip sistemi için kullanılan motorlar ve özellikleri	43
Çizelge 3.7. Takipli sistemin gövde tasarımında kullanılan alüminyum profiller.....	43
Çizelge 3.8. Meteorolojik hava hadiseleri	47
Çizelge 3.9. Rüzgâr gülü yön, direnç ve gerilim tablosu	49
Çizelge 3.10. Hava istasyonu verici sistemi nRF24L01 kablosuz	54
haberleşme modülü pin bağlantı çizelgesi	54
Çizelge 3.11. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi pin bağlantıları	60
kablosuz haberleşme modülü pin bağlantı tablosu.....	60
Çizelge 3.12. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi pin bağlantıları	60
haberleşme modülü pin bağlantı tablosu	60
Çizelge 3.13. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi 2x16 LCD ekran ... pin bağlantı tablosu.....	60
Çizelge 3.14. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi dijital titreşim sensörü pin bağlantı tablosu.....	60
Çizelge 3.15. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi sağ DC motor sürücü pin bağlantı tablosu.....	61
Çizelge 3.16. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi sol DC motor sürücü pin bağlantı tablosu.....	61
Çizelge 4.1. Güneş pillerinin verimlilikleri.....	65
Çizelge 4.2. Güneş pillerinin verimlilikleri.....	65
Çizelge 4.3. Güneş pillerinin verimlilikleri.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AS	Güneş yükseklik açısı
B	Eğim açısı
Cd	Kadmiyum
CuInSe	Bakır indium selenoid
DMİ	Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü
EİE	Elektrik işleri etüt idaresi genel müdürlüğü
eV	Elektron volt
Ga	Galyum
GEPA	Güneş enerjisi potansiyeli atlası
Ge	Germanyum
W	Watt
Kcal	Kilokalori
°K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
MW	Megawatt
nm	Nanometre
pv	Fotovoltaik(photovoltaic)
Si	Silisyum
Te	Tellür
δ	Deklinasyon açısı
\emptyset	Enlem açısı
Θ	Güneş Geliş açısı
γ	Yüzey azimut açısı
ΘZ	Zenit açısı

1. GİRİŞ

Günümüzde fosil enerji kaynakları hızlı bir şekilde azalmaktadır ve yakın zamanda fosil yakıtlar ihtiyacı karşılayamayacak duruma gelecektir. Bu yüzden ülkeler fosil enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yeryüzünde yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması ve çeşitliliğinin fazla olması, (Güneşi, Rüzgâr ve Dalga enerjisi vb.) çevreyi kirletmemesi, sera gazı etkisi fosil yakıttan çok çok az olması, fosil yakıtlara göre elde edilen enerji fiyatlarının az olması ve daha güvenli olması yenilenebilir enerji kaynaklarını daha cazip hale getirmektedir. Türkiye'nin fosil yakıt kaynakları bakımından fakir olması ve enerji ihtiyacının günden güne artması ister istemez Türkiye'nin de yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili politikalarını geliştirmesi gerekmektedir.

Dünyada ve ülkemizde hızla enerji ihtiyacı artmaktadır. Ekonominin büyümesi, sanayileşmenin her alanda gelişmesi, kırsal alan nüfuslarının azalarak şehirleşmenin artması, teknolojinin gelişmesi enerji ihtiyacının artmasının nedenleri arasındadır. Türkiye olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirerek, bu kaynaklar için daha fazla araştırmalar, yatırımlar ve milli gelirden daha fazla kaynak aktarması gerekmektedir. Türkiye son zamanlarda elektrik ihtiyacını karşılamak için alt yapı çalışmalarını hızlandırmıştır.

1.1. Türkiye'nin Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Tüketimi

Türkiye'nin elektrik ihtiyacı yapılan çalışmalar sonucunda 2023 yılı itibariyle yıllık olarak yaklaşık %4,8 yükseliş ile 385 TWh'e yaklaşması düşünülmektedir. 2018 yılı itibarı ile kurulu elektrik gücümüzde yaklaşık 6.703 MW'lık bir yükseliş elde edilmiştir. Elektrik gücümüz 2018 yılında yaklaşık olarak 88.551 MW'dır. 2018'de Türkiye'nin Kurulu toplam elektrik gücünde özel sektör yaklaşık %75'lik pay alırken, kamu sektörü ise %25 bir pay almıştır. 2018 yılında kurulu elektrik gücümüzün enerji kaynaklarına göre yüzdeler dilimleri; % 1,4 jeotermal, % 5,7 güneş, % 7,9 rüzgâr, % 21,5 kömür, % 25,6 doğal gaz, % 31,9'ı hidrolik ve % 5,9'unu diğer kaynaklar şeklinde olurken (Anonim, 2019). Önceki yıllar dikkate alındığında

yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, jeotermal vb.) oranında artış olduğu görülmüştür. 2018 yılı sonunda Türkiye’de Kurulu elektrik enerjisi üretim tesisi sayısı, 7423 sayısına ulaşmıştır. Bu tesislerin dağılımı ise; hidroelektrik 653 tane, kömür 42 tane, rüzgâr 249 tane, jeotermal 48 tane, doğal gaz 320 tane, güneş 5868 tane, diğer kaynaklı tesisler ise 243 tanedir.

Ülkemizde endüstrileşmeye bağlı olarak elektrik tüketiminin hızlı bir şekilde artışının karşılanabilmesi için altyapı çalışmalarının güçlendirilmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının arttırılmasına ivedilikle devam edilmelidir. Bu konuda ulusal ve uluslararası çalışmalara daha fazla önem verilmelidir.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş

Bu tür enerjiler, direkt güneş ışığından üretilen temiz, herhangi bir zararlı gaz salınımının olmadığı bir enerji kaynağıdır. Bu sonsuz enerji kaynağının takriben % 90’ını hidrojen gazı çekirdekleri (füzyon) ile helyum çekirdeklerinden meydana gelmektedir. Füzyon ve helyum çekirdeklerinin tepkimeye girmesiyle yüksek değerde enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji dünyaya ışıma enerjisi olarak ulaşır. Dünyaya ulaşan ışıma enerjisi, PV pilleri vasıtasıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneşten elde edilen enerji çevreyi kirletmez, zararlı gaz (CO, kükürt vb) ve radyasyon yaymaz. Bu enerjiye ulaşılması oldukça kolaydır, heryere güneş enerji sistemleri rahatlıkla kurulabilir. Ekonomik olarak diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha uygundur. Güneş enerjisinden daha yüksek verim almak için illere göre Türkiye’nin güneş enerji potansiyeline bakılması gerekir, çünkü Türkiye’nin bölgelere göre güneş enerji potansiyeli farklılık göstermektedir. Güneş enerji potansiyeli bakımından en yüksek ışıma oranına sahip bölgeler, Güneydoğu Anadolu bölgesi Akdeniz bölgeleridir. Yıllık ortalama ışıma değeri yüksek olan bölgelerde kurulacak güneş enerji tesislerinden diğer bölgelere nazaran daha fazla elektrik enerjisi üretilebilir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlere, fotovoltaik (PV) güneş pili (paneli) sistemi denir. Güneş pili sisteminin çalışma prensibi, güneşten yeryüzüne gelen fotonların fotovoltaik piller vasıtasıyla toplanarak taşıdığı enerjiyi ısı ve elektrik enerjisine çevirmesidir.

Fotovoltaik güneş pilinin yüzeyine çarpan fotonlar (elektronlar) toplanır. Böylece güneş pilinin üst ve alt katmanları arasında gerilim oluşması sağlanır. PV pillerin tavan ve taban kısımları boyunca oluşturulan elektrik devresi, tesisatta elektrik güç akışını sağlar. Sağlanacak güce göre gerekli pil gücü ve yüzey alanı belirlenerek seçim yapılır.

1.3. Sektörel Olarak Ülkemizde Güneş Enerjisi

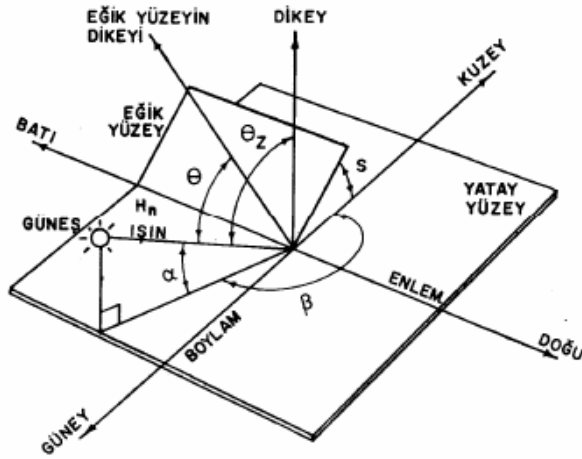
Türkiye, coğrafi olarak 26° ve 45° Doğu, 36° ve 42° Kuzey meridyenleri arasında bulunur. Bu konumu itibariyle güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli çok yüksektir. Bu verilere göre ülkemizde kurulacak güneş enerji tesislerinden alınacak verim de o kadar yüksek olacaktır.

Türkiye’de ilgili bakanlığın yapmış olduğu çalışmaya göre (Anonim, 2019). Güneş enerjisi potansiyeli atlasındaki veriler dikkate alındığında, bir yıldaki genel güneşlenme süresi 2741 saattir (gün ortalaması 7.5 saat olmak üzere). Türkiye için güneş ışığından elde edilen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m² (ortalaması günlük olarak 4,18 kWh/m²) olduğu belirlenmiştir. Türkiye, bir yıllık süre içerisinde 114 gün, güneşlenme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle yapılacak yatırımlarla, bir yılda yaklaşık 1.100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilme kapasitesine sahiptir.

PV güneş sistemleri yani güneş hücreleri, yarı iletken malzemeler seçilerek üretilmiştir, PV pil üzerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Türkiyede 2018 yılında elde edilen verilere göre yaklaşık kurulu PV pili alanı 20.200.000 m²’ ye yaklaştığı ve 876.720 Tona Eşdeğer bir petrol (TEP) değerinde ısı enerjisi ürettiği düşünülmektedir. 2018 yılında onaylanmış aktif 4981,2 MW’lık bir Kurulu güce sahip 5868 tane PV pili Santrali bulunmaktadır. Güneşten elde edilen enerjiden elektrik üretimi 2018 yılı itibarı ile yaklaşık 7477,3 GWh olmuştur. Buda Türkiye’deki elektrik üretimimizin yaklaşık yüzde 2,5’na denk gelmektedir.

1.4. Güneş Açıları

Güneş sistemlerinin sabit panel veya hareketli herhangi bir düzlemsel panel yüzeyindeki güneş ışımalarının seviyesi, güneş panel düzleminin kurulacağı yerin coğrafi konumuyla, günlük tarih ve zaman dilimine bağlı olarak farklılık gösterir. Aşağıdaki şekilde güneş açıları verilmektedir (Şekil 1.1). Önemli güneş açılarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1.1. Önemli güneş açılarının gösterimi

a) θ : Enlem Açısı; Konum olarak ekvatorun merkezi referans alındığında, kuzeyi pozitif güneyi negatif kabul edilmek üzere, ekvator çizgisinin kuzey ya da güneyinde, meydana gelen açıdır. Bu açı, $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ olmak üzere farklı değerler alabilir.

b) δ : Deklinasyon Açısı; Aynı şekilde kuzey pozitif güneş negatif olmak üzere güneş doğrultusuyla ekvator düzlemi arasındaki açının değeridir. Bu açı $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ olmak üzere farklı değerler alabilir. Gece ve gündüzün eşit olduğu günlerde (20 Mart ve 23 Eylül) bu açı, güneşten gelen ışığın ekvator çizgisine paralel olmasından dolayı 0° dir. Yıl içerisinde 21 Haziran günü yani Yaz gündönümünde 23.45° dir, 22 Aralık günü yani kış gündönümünde ise (eksi) -23.45° dir..

Aşağıdaki denklemi kullanılarak deklinasyon açısı belirleyebiliriz.

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin \left(365 \left(\frac{360}{284 + n} \right) \right) \quad (1.1)$$

Bu denklemde; yılın kaçınıcı günü olduğunu (n) gösterir ve 1 Ocak başlangıç kabul edilip bu tarihte gün = 1 olarak kabul edilir. (Irina, 2010).

c) θ_z : Zenit Açısı; Dikey eksenle Güneş doğrultusu arasında meydana gelen açıdır. Yatay düzlem üzerinde, güneşin doğuşu ile batışı arasında oluşan zenit açısı 90° dir. Güneş tam tepe noktasındayken yani saat 12:00'de zenit açısı 0° dir. Aşağıdaki bağıntı kullanılarak Zenit açısı hesaplanabilir:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\phi + \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos w \quad (1.2)$$

Güneşin yükseklik açısını 90° 'ye tamamlayan açı Zenit açısıdır. Bu bağıntıda saat açısını w gösterir. (Duarte vd., 2010).

d) A_s : Güneş Yükseklik Açısı; Güneş doğrultusu ile yatay çizginin meydana getirdiği açıdır. Bu açı zenit açısının tümleyeni olduğundan, $A_s = 90^\circ - \theta_z$ olur.

e) θ : Güneş ışığı geliş açısı; Yüzeye direkt gelen ışıkla, ilgili yüzeyin normalinin yaptığı açıdır. Güneşin geliş açısını gösterir. Aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cdot \cos\beta + \sin\theta_z \cdot \sin\beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (1.3)$$

Bu bağıntıda γ , yüzey oluşun azimut açısıdır.

f) B : Eğim Açısı; Yatay düzlemi ile verilen PV paneli yüzeyi arasında meydana gelen açıdır. Kuzey yarımkürede güney tarafa eğimli olduğu düşünülmektedir. Meydana gelen eğim açısı, sıfır ile 180° arasında değişir.

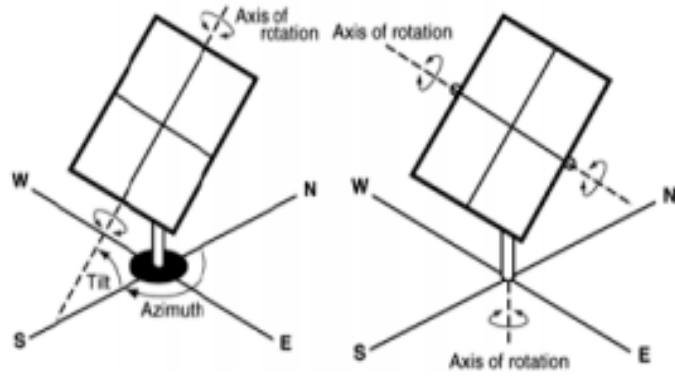
$$\text{Açı değeri: } \tan\beta = \tan\theta_z \cdot |\cos\gamma_s| \quad (1.4)$$

g) γ : Yüzey Azimut Açısı; Bir yüzeyin normalinin, bölgesel boylama göre, tespit edilmesini ifade eden açı değeridir. -180° - $+180^\circ$ arasında değer alabilir. Güney tarafa bakan yüzey için değeri sıfır olacaktır. Doğu tarafa bakan yüzey için pozitif, batı tarafa bakan yüzey için ise negatif değer alır.

1.4.1. Güneş pillerinin ışığa veriminin artırılması

PV pilin yüzeyine doğrudan gelen toplam güneş ışığı miktarı; PV pilin düzleminin normaliyle doğrudan gelen güneş ışığı arasındaki açının kosinüsünüyle orantılıdır.

Bu açıklama Şekil 1,2’de gösterilmiştir. Güneşlenme miktarına güneş açıları, doğrudan etki edebilmektedir.



Şekil 1.2. Güneşlenme miktarına güneş açılarının doğrudan etkisi

Pv pillerinden maksimum çıkış verimi elde edebilmek ve Pv pil yüzeyinin maksimum güneş enerjisine maruz kalmaması için, azimut açısı ile eğim açısı arasındaki bağlantı çok önemlidir. Kurulması düşünülen PV pili sisteminin azimut açısıyla eğim açısı rasgele seçilmemelidir. PV pilinin, uygun çıkışı verebilecek şekilde değişik değerlerde azimut açısı ile eğim açısının sabitlenmesi gerekmektedir. Bir pv pili öğle saatinde yatay düzlemlerle θ açısı eğimiyle yerleştirildiği takdirde, PV pili üzerine düşen güneş ışığı PV pil yüzeyine dik olur, yani (90°). Bu durumda PV pili yüzeyinin güneş ışığına çok yüksek miktarda maruz kalmasına neden olur. Bunun nedeni tam öğle saatlerinde güneşin havadaki koordinatları yatay düzleme göre en tepe noktasında oluşur. Tam öğle saatlerinde Güneş, en düşük hava kütlesine sahiptir budurum atmosfer içinde minimum yola sahip olmasına neden olmaktadır. Zaman içerisinde yoğunluğun artmasından nedeniyle azalmaya geçer ve gelen güneş ışığıyla PV pili normalindeki açı değeri artış gösterir. PV pillerinden maksimum verimi elde etmek için sabit güneş pili sisteminin yatay düzlemlerle yapılmış olduğu açıyı $\theta - \delta$ düzlem açısına gelecek şekilde sabitlenmesi gerekmektedir. Bu durum öğle saatinde güneş ışınlarının PV pili üzerine dik gelmesini sağlayacaktır.

1.4.2. PV pillerinin yapısı

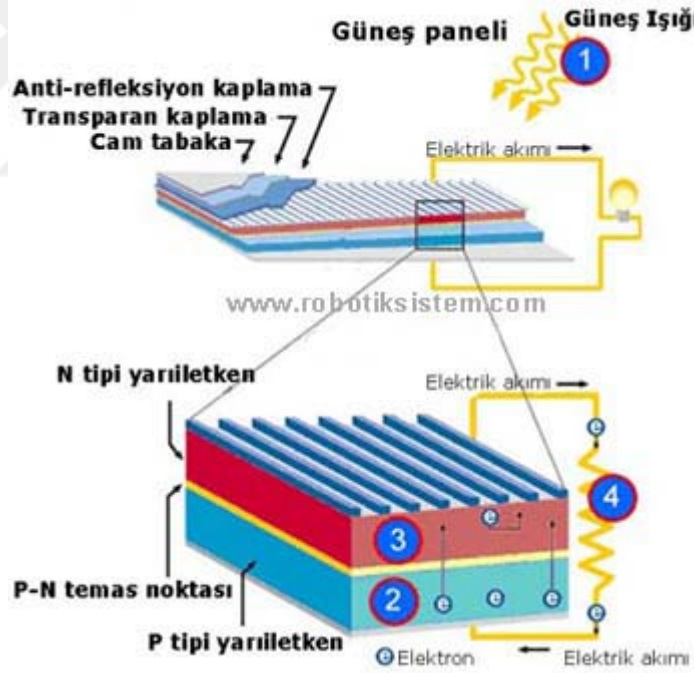
PV pilleri güneşten gelen ışığı elektrik enerjisine çevirirler. PV pillerinin çalışma prensibi yarı iletken diyot gibi çalışmasıdır. PV pillerini oluşturan hücrelerin (şekil 1.3.). en üste kalan kısmı yüzeyde oluşacak kırılmalar, çatlamlar ve yüzeyde

oluşacak enerji kaybının en aza indirilmesi için yüzeydeki yansımaları engelliyen şekilde kaplama ve korumalardan oluşturulur. Üst katmanın altındaki katmanda ise N ve P tipi yarıiletken maddelere yer verilir. Bu kullanılan yarıiletken maddeler eriyik halindeyken içerisine konulacak katkı maddelerin sonucu meydana gelirler. En çok kullanılan PV pillerinde katkı maddesi olarak genellikle kristalli silisyum kullanılır.



Şekil 1.3. PV pili hücresi

Şekil 1.4’te PV pillerinin yapısı ve çalışması gösterilmiştir.



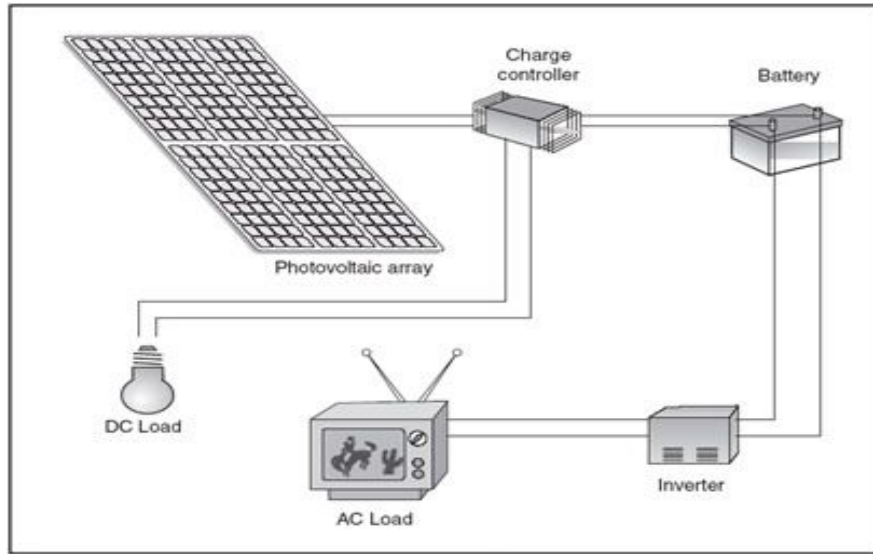
Şekil 1.4. PV pillerinin yapısı ve çalışması

Güneşten gelen ışık doğrudan PV pillerinin üzerine düşmesi sonucu PV pil hücreleri tarafından emilir. PV pillerinin içerisinde elektron miktarı çok olan P tipi madde ile elektron miktarı yetersiz N tipi madde bulunur.

Güneş gelen ışık elektron miktarı çok olan P tipi maddede elektron koparır. Koparılan bu elektronlar enerji kazanır ve N tipi maddeye doğru akarlar. Sabit olarak akan aynı zamanda tek yönlü olan bu elektronların akışı doğru akımı oluşturur. Bu elektronlar devreler vasıtasıyla akarak pillerin şarj edilmesi veya enerjiye ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılır, daha sonra P tipi maddeye geri döner (<http://www.normenerji.com.tr/menus/güneş-enerjisi-ve-güneş-pilleri>).

1.4.3. PV pillerinin çalışma ilkesi

PV pilleri yarı-iletken maddelerden yapılır bu maddeler silisyum, kadmiyum tellür, galyum arşenit vb. maddelerdir. Bu yarı-iletken maddelerin güneş pili özelliklerini alabilmesi için içerisine n ve p tipi katkı maddesi eklenmesi gereklidir. En çok kullanılan PV pili katkı maddesi silisyumdur. Silisyum'dan N tipi silisyum elde etmek istenirse silisyum eriyiği içerisine bir element eklenmesi gerekir. P tipi silisyum oluşturmak için ise silisyum eriyiğinin içerisine farklı gruptan bir element eklenir. N tipindeki elektronlar çoğunla taşıyıcı olduklarından P tipine doğru bir akım meydana getirirler. Yük dengeleri eşitlenene kadar bu olay sürer. P bölgesi negatif yükleri, N bölgesi ise tarafında pozitif yükleri toplar. P ile N arasına tel çekilerek artı ve eksi kutuplara sahip bir pili oluşturmuş oluruz. Oluşturulan pil istenilen alanlarda kullanılabilir.



Şekil 1.5. Bir güneş pili sisteminin bileşenleri

PV pillerinin gücü değerlendirilirken göz önünde bulundurulması gerekli olan hususlardan bazıları şu şekilde sayılabilir, PV pilin üzerine gelen ışığın yoğun ve gökyüzünün kapalı olması ile hava sıcaklığı PV pilinin üretmiş olduğu gücü etkileyebilir. PV pilleri farklı malzemelerden üretilebilir. Günümüzdeki kullanılan PV pillerinin verimine baktığımızda,

Çok kristalli silisyum PV pilleri: Laboratuvar ortamında yüzde 18, ticari olarak ise yüzde 14 civarındadır.

Galyum arsenit PV pilleri: Laboratuvar ortamında yüzde 25 ile yüzde 28 arasında bir verim elde edilmektedir. Farklı yarı iletkenler kullanılarak verimi yüzde yüzde 30 lara kadar çıkarılabilir.

Amorf silisyum: Laboratuvar şartlarında yüzde 10, ticari olarak yüzde 5-7 arasında bir verim elde edilmektedir.

Kadmiyum tellürid: Laboratuvar ortamında yüzde 16, ticari olarak %7'e kadar bir verim elde edilmektedir.

Bakır indiyum diselenid: Laboratuvar ortamında yüzde 17.7, ticari olarakta yüzde 10.2' lik verim elde edilmektedir.

Optik yoğunlaştırıcı hücreler: Güneşten gelen ışığı 10 ile 500 kat yoğunlaştıran yansıtıcılarla ticari olarak araçlarda verimi yüzde 17, pil veriminide yüzde 30'un üzerine çıkılabilmektedir.

1.4.4. PV pillerinin çeşitleri

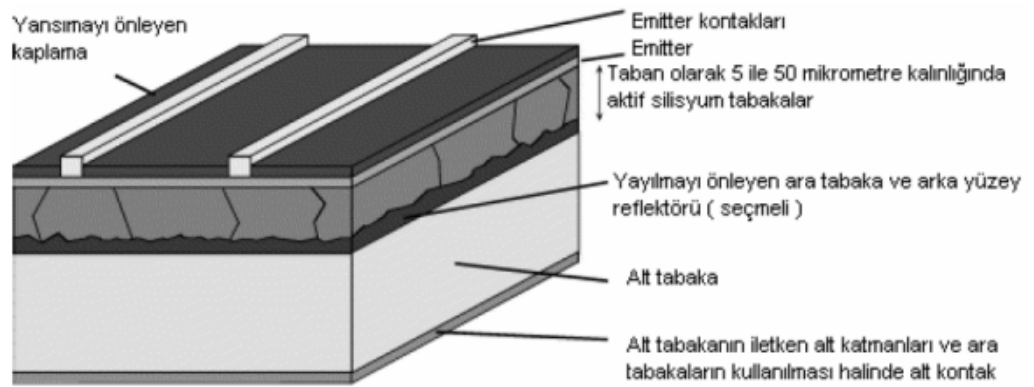
Kristal silisyum PV pilleri; PV pili yapımında en fazla kullanılan madde Silisyum maddesidir. Silisyum maddesi yarı iletken bir maddedir. Bu özelliğinden dolayı pv pili yapımında tercih edilmektedir. Tek-kristal, yarı-kristal, şerit ve çok-kristal gibi değişik türleri vardır. Silisyumun hammaddesi kumdur. Küçük bir kristal özü, eritilmiş bir potaya daldırılır. İstenilen hızda döndürülerek potadan çıkartılır ve soğuması gerçekleştirilir, daha sonra kristalin büyütülmesi ile güneş pili elde edilir. Ergime sırasında potanın içine P tipi yarı iletken olan maddeler eklenir. Şekil 1.7 kristal silisyum güneş pillerinin tabakalarını göstermektedir. Sıcaklık istenilen seviyeye ulaştığında P2O5 'li difüzyon fırınında N tipi yarı iletkenle 10 - 4 - 105 metre derinliğe ulaşıldığında difüzyon oluşturularak P-N kavşağı meydana getirilir. Silisyum pillerinin spektral cevabı daha az olduğundan kızılötesi ışınlarla kadar ulaşmaz. Daha büyük akım elde etmek için akkor ışık kaynağı kullanmak gerekir.

Silisyum pillerininin açık devre direnci ve gerilim değerleri kcktr. Klasik kristal yapılı PV pili hücresinin 1m² 'sine harcanacak olan kaliteli silisyum yaklaşık 0.5–1 kg/m² iken 1m² 'lik ince film için gerekli olan malzemeler CIS (Copper Indium Selenium) için: 7–20 gr molibdenyum, 1.5–4 gr bakır 3–9 gr indiyum, 7–20 gr selenyum ve 1–3 gr çinko'dur (şekil 1.6).



şekil 1.6. Kristal silisyum pilinin tabakaları

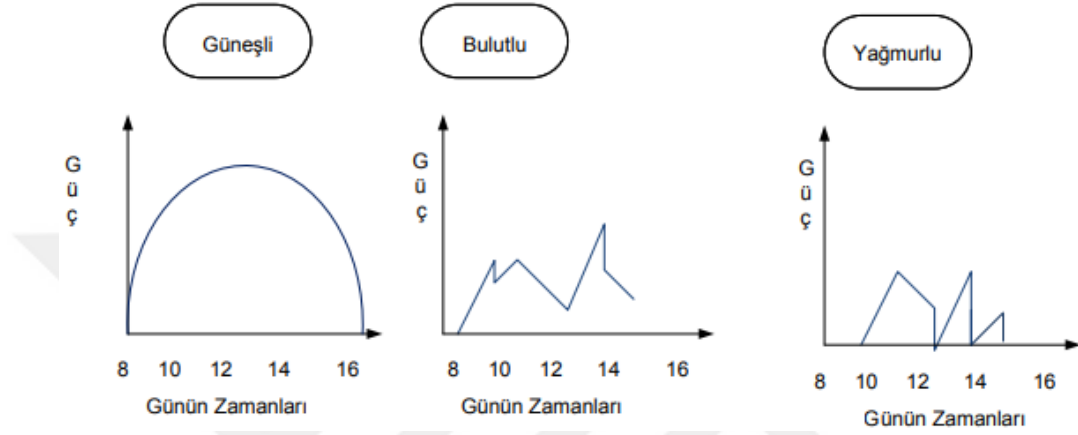
Tek-kristal (Monokristal) Silisyum PV Pilleri; Monokristal PV pilleri, güneşten gelen ışınları doğru akım elektrik enerjisine eviren sistemlerdir. Monokristal PV pilleri üç farklı ebatlarda imalatı yapılır (156x156, 125x125, 100x100), doğrudan şebekeye bağlanılacak sistemlerde mutlaka voltaj PV pil üzerindeki etiketten kontrol edilmeli ve seçim ona göre yapılmalıdır. Kontrol yapılmadığı takdirde meydana gelebilecek ters voltajlar PV piline zarar verir. (şekil 1.7).



şekil 1.7. Tek kristal silisyum güneş pilleri

Silisyum oksit ark fırınlarında birtakım kimyasallarla termal tepkimelerden geçirilerek silisyum saflaştırılır. Bu işlem sonucunda elde edilen eriyiğin içerisine tek kristal yapıya sahip olan silisyum parçası daldırılır. Daldırılan bu parça eriyiğin içerisinden çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, külçe halini alır. Elde edilen bu silisyum külçeleri daha sonra parçalara ayrılır parçalar daha sonra PV pil şeklinde

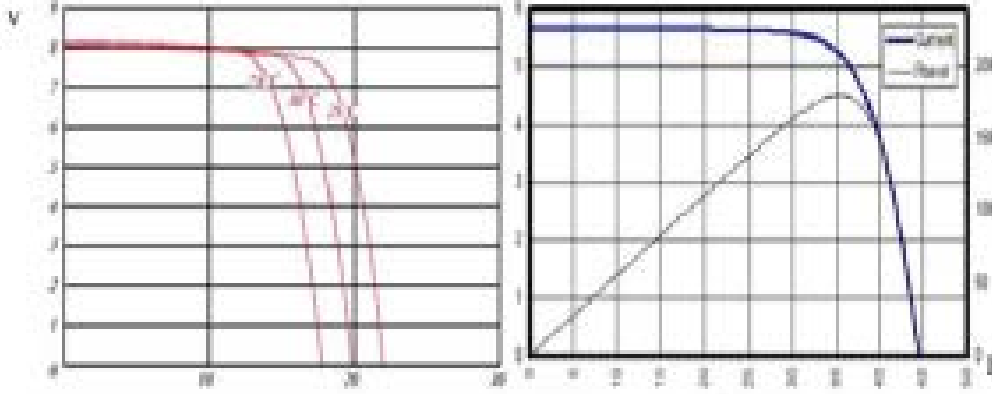
işlenir. Tek-kristal (Monokristal) Silisyum güneş pillerinin verimi laboratuvar şartlarında yaklaşık yüzde 20'dir. Ticari verimleri ise yüzde 15 ile 18 arasındadır. Çalışma ömrü 20 yıl kadardır. Çalışma ömrü boyunca yaklaşık yüzde 7 yaklaşan bir verim söz konusudur. Maliyeti diğer pillere oranla pahalıdır ama kapalı havalarda dahi elektrik enerjisi üretebilmesi önemlidir. Şekil 1.8.'de hava şartlarına göre kristal güneş pillerinin verimlilik şeması görülmektedir.



Şekil 1.8. Kristal silisyum güneş pilinin hava durumuna göre verimlilik şeması

Yarı-kristal silisyum PV pilleri; Bu PV pilleri, eriyik haldeki silisyumun soğutulması sonucu kümeleşmesi ile elde edilir, ufak silisyum kristallerinden meydana gelir. Yarı-kristal Silisyum PV Pillerinin verimi yaklaşık yüzde 14 civarındadır.

Çok-kristal silisyum güneş pilleri; Çok kristalli Pv pillerinin imalatının kolay olması ve maliyetinin düşük olmasından dolayı en çok kullanılan PV pillerindedir. Bu yapıdaki PV pilleri diğer PV pillerine göre üretim aşamasında çok daha az enerji harcadığından üretimi çok kolay ve maliyeti düşüktür. Çok kristalli PV pillerinin verimi diğer PV pilleri ile karşılaştırıldığında verimi küçülen damar yapılarından dolayı verimi daha düşüktür. Bu PV pillerinin üretim şekli “dökme” üretim olduğu için çok kolaydır ve maliyeti düşürür. Çok kristalli ve tek kristalli silisyumda başlangıç malzemeleri aynıdır. Ergimiş yarı iletken silisyum, döküm kalıplarna döküldükten sonra soğumaya bırakılır. Soğumadan sonra kare kare kesilir ve sonraki aşamada dilimlere ayrılarak PV pili haline dönüştürülür. Şekil 1.9'de çok kristal silisyum panellerinin 12V-24V sistemde akım-gerilim eğrileri görülmektedir.



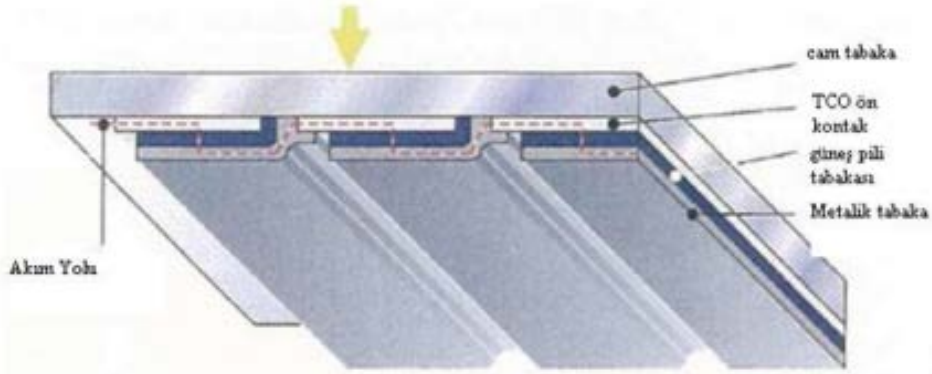
Şekil 1.9. Çok kristal silisyum pilleri 12V-24V sistemde akım-gerilim eğrileri

Çok kristal silisyum PV pillerinin Verimleri laboratuvar şartlarında yüzde yaklaşık 12 ile 15 arasındadır, ticari verimleri ise yüzde 16,2'lik bir verime sahiptir. Çalışma ömrü 20 yıl kadardır. Bu süre zarfında yaklaşık yüzde 14'lük bir verim kaybı söz konusu olabilir.

İnce film PV pilleri; İnce filmin çok ince olması hem ışığı geçiren kaplama malzemesi hem de enerji üreten ürün olarak kullanılmasını sağlar. Toplu üretime uygun olup farklı dalga boylarındaki ışıktan elektrik üretecek şekilde katmanlar şeklinde üretilebilir. Bu gün itibarı ile ince film yıllık olarak kristal silikon'dan %10–15 daha fazla enerji üretmektedir. Ayrıca 0,6µm kalınlığında %7 verimliliğinde amorf silikon ince film de üretilmektedir. İnce film güneş pilleri üç yol ile üretilir; a) Buharlı Çöküntü (Vapour Deposition), b) Püskürtmeli (Sputter Processes) c) Katot Tonlanması (Cathode Sputtering) (Kıvrak, 2007).

İlk olarak ön alt malzeme (cam vs.) üzerine saydam oksit iletken (Transparent Conductive Oxide (TCO) püskürtülür. Bu kontak malzeme şeritler şeklinde mekanik olarak ya da lazer ile kesilir. Daha sonra üstüne güneş hücresi tortulaştırılması (püskürtülmesi) yapılır. Tortulaştırılmış güneş hücresi katmanları alttaki iletken okside paralel olacak şekilde yeniden düzgünce kesilir. En son olarak da en alttaki metal iletken püskürtülmesi yapılır böylece bir birine seri bağlı hücre grupları elde edilir. Şekil 1.10'da ince film güneş pilinin yapısı görülmektedir. Üretimde Kullanılan Malzemeler;

- a) Bakır İndiyum Diselenid (CIS)
- b) Amorf Silisyum (a-Si)
- c) Kadmiyum Tellür (CdTe)
- d) Electrolytic Baths. (Elektroliz Banyolu)



Şekil 1.10. İnce film PV pilinin yapısı

Özellikleri; Teorik olarak $0.001\text{mm}=1\ \mu\text{m}$ kalınlıktaki ince film ışığın enerjiye dönüşmesi için yeterli olurken pratik olarak $5\ \mu\text{m}$ kadar incesi üretilmiş ve ticari olarak satılmaktadır. Polikristal ve mono kristal hücreler yabancı madde kirliliği açısından çok hassas olmasına karşın (on binde bir yabancı atoma müsaade edilir) ince filmin kirlilik toleransı onlara göre çok yüksektir. Kristal silikon bir pilin üretiminde $1500\ ^\circ\text{C}$ ' ye kadar sıcaklığa ihtiyaç duyulurken ince film pil üretiminde çökme (tortulaşma) sıcaklığı $200\ ^\circ\text{C} - 600\ ^\circ\text{C}$ arasındadır. Kristal piller birbirine arka arkaya harici olarak lehimlenirken ince filmler daldırma ve kaplama esnasında tek parça olarak birbirleri ile birleştirilir. Piller yapım aşamasında (fabrikasyon esnasında) elektriksel olarak birbirinden ayrılır ya da birleştirilir. Elektriksel bağlantılar fabrikasyon esnasında olukların lazer ya da mekanik olarak 0.5cm den 2cm ye kadar olan bantlar şeklinde birbirinden kesilmesi ile oluşturulur. Sıcaklık artışı ile olan verim düşümü, diğer piller ile karşılaştırıldığında çok düşüktür, ayrıca pillerin uzun ve dar şeritler şeklinde olması yapısal olarak gölgelenmeden daha az etkilenmesini sağlamaktadır. 12. örneğin bir yaprak, silikon bir hücrenin tamamını kaplarken ince film üzerinde birkaç hücrenin üzerinde olmasına rağmen tamamını kapatamadığı için modülün çalışmasını kristal silikon olana göre daha az etkileyecektir. Bir ince filmi oluşturan malzemelerin %65'i (saydam kontaklar) kaplamadır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan indiyumun fiyatı $100\ \$/\text{Kg}$ dan $500\ \$/\text{Kg}$ 'a kadar değişebilmektedir. Buna rağmen indiyumun solar panele olan

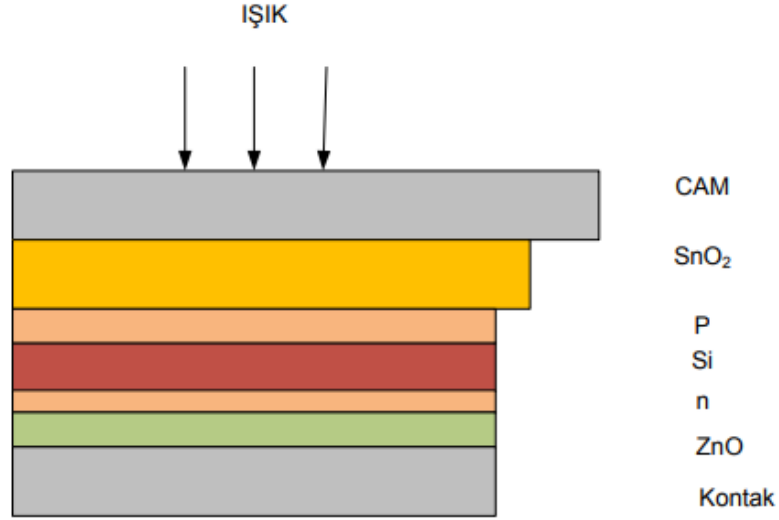
maliyeti %2'dir. Kullanılan silisyum miktarında yaklaşık 100-200 kat azalma olmuştur.

Hücreler arasındaki aralıklar (yivler) geniş olursa PV'nin ışık geçirgenliği daha çok olur. Tipik Transparent Conductive Oxide (TCO) materyalleri, Çinkooksit (ZnO), kalay dioksit (SnO₂) ve İndiyum Kalay (InSn) içermektedir. TCO tabakası ince film üretiminde önemli bir maliyet faktörüdür. Oluşturulan dizi kaplama malzemesi EVA (Ethylene Vinyl Acetate) ile kaplandıktan sonra ikinci bir cam kaplama ile kaplanır.

Bu PV pillerinin başka bir avantajı da ışık şiddetinin az olduğu ortamlarda dahi akım akım üretmesidir. Bu PV pilleri mor renklere daha duyarlıdır ve güneşten gelen ışığı süzerek, kırmızı ışıkları iletir. Tabanı cam ya da şeffaf plastik yapılır buda mor ışıkları süzmesine neden olur ve saydamdırlar.

Amorf silisyum PV pilleri; Amorf Silisyum PV pillerinin molekülleri gelişmiş güzel bir düzendedir. Katı madde atomları ise düzenli bir yapıdadır. Ama uzak mesafelerde periyodik düzen içinde değildir. Bu yapıların cam ve farklı plastik çeşitleri örnek olarak verilebilir. Bu yapıların mükemmel bir yapı olarak tanımlanmasının nedeni moleküllerinin gelişmiş güzel bir şekilde düzenlenmiş olmasındandır. Mesela cam örneğinde olduğu gibi camın kuartz kumu veya silisyum dioksitten meydana gelen yapıya sahip olduğu görülür. Kum eritildiğinde, yapısının kristale dönüşmesini engellemek için hızlı bir şekilde soğutma işlemine tabi tutulmasıyla cam olarak adlandırılan amorf katı haline dönüşür. Bu katılar, eritildiklerinde sıvı hale geçişlerinde ergime noktasında sert bir faz geçişi görünür. Fakat ısıtıldıkları zaman yavaş ve yumuşak bir şekilde faz geçişi gösterir. Bu yapıların fiziksel özellikleri farklı eksenler boyunca aynıdır. Bundan dolayı izotropik yapıya sahiptirler.

Bu silisyumların taşıma özelliği çok düşük düzeylerde olduğundan dolayı ışıktan meydana gelen enerjinin iletilmesi için elektrik alanının meydana gelmesiyle mümkün olabilmektedir. Şekil 1.11'de amorf silisyum güneş pilinin yapısı verilmektedir.

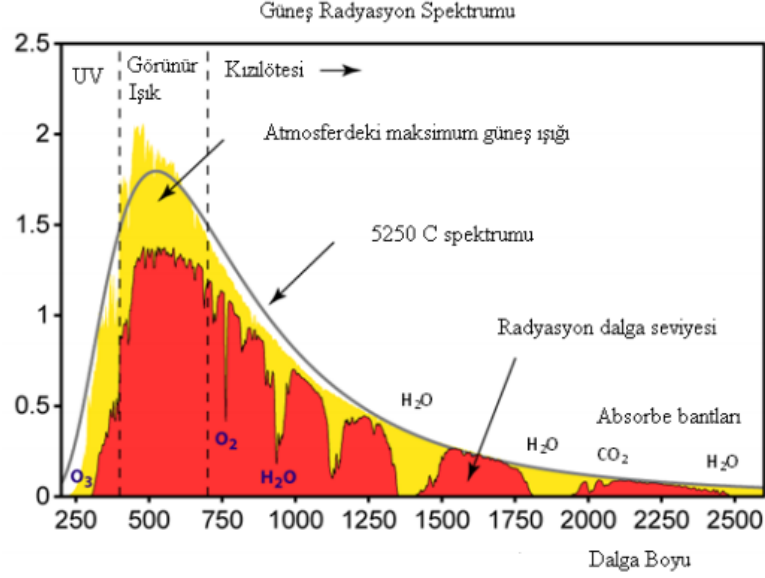


Şekil 1.11. Amorf güneş pillerinin yapısı

Bu pillerin kapasitelerinin yüksek olması için boyut olarak ince olması lazımdır. Bu ölçüler birkaç yüz nanometre civarındadır.

Amorf silikon düzenli kristal bir yapıda olmayan düzensiz ağ bağlantısına sahiptir. Açık bağlar doyana kadar hidrojen soğurur. Hidrojenize edilmiş bu amorf silikon (aSi- H) plazma reaktörünün içinde gazlaştırılmış Silanın (SiH₄) gaz fazında tortulaştırılması ile oluşturulur. Gazlaştırılmış silikon elektron buhar bombardımanı ile silane SiH₄ veya disilane Si₂H₆ formunda kullanılır. İşlem sıcaklığı düşüktür (200- 250oC). Katkılandırma karışık gazlar ile yapılır. Örneğin P tipi bir malzemeye B₂H₆ n tipindeki malzeme ise PB₃ kullanılır. Katkılandırılmış a-SiH'in küçük difüzyon uzunluğundan dolayı p-n jonksiyonu yeterince elektrik üretemez.

Bu yüzden i tipi katkılandırılmamış madde, katkılandırılmış n ve p tipi malzeme arasına yerleştirir. İletken oksit (Transparent Conductive Oxide, TCO) ön kontak malzemesi olarak Kalay oksit (SnO₂), İndium Tin Oxide (ITO) veya Çinko oksit (ZnO) kullanılır. Altta kullanılan TCO ise yansıtıcı görevi görür. Şekil 1.12'de farklı dalga boylarında ki güç dağılımı görülmektedir.

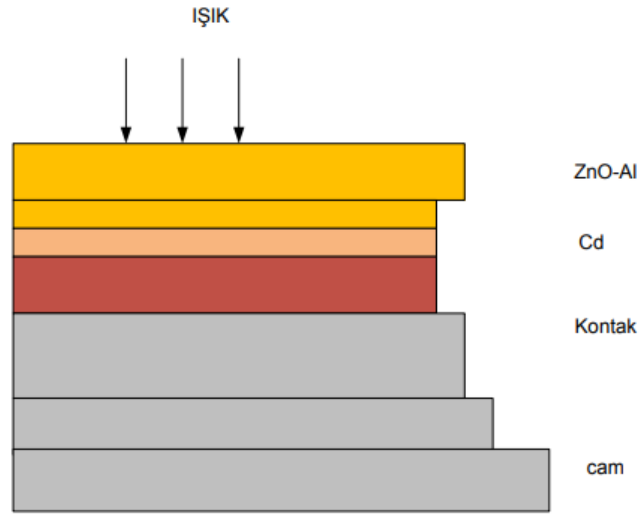


Şekil 1.12. Işığın farklı ışık dalga boylarından faydalanmak için oluşturulmuş ışık spektrumu

Daha az güç ihtiyacı olan uygulamada amorf silisyum pilleri en popüler güç kaynakları olarak ortaya çıkar. Son gelişimlerle birlikte amorf silisyum pilleri büyük güç ihtiyacı olan uygulamalarda yavaş yavaş yerini almaktadır. Bu pillerin dezavantajı verimleri düşüktür, ilk çalışmasının 6-12. ayları arasında üretmiş olduğu enerjide bir düşüş görülür ve bu stabil oluncaya kadar devam eder (örneğin; ilk üretildiğinde verimi %5 olan bir ürünün birkaç ay sonra verimi %3'e düşer). Daha fazla verim ve güneş ışık spektrumunun çeşitli dalga boylarından faydalanmak için üst üste iki katman ya da üç katman birleştirilebilir. Örneğin germanyum karıştırılır (admiring germanium (A-SiGe)).

Bakır İndiyum PV Pilleri; Bu PV pilleri Periyodik tablo içinde 1, 3. ve 6. gurubundaki elementlerden en az ikisinin veya daha fazla elementin bir araya gelmesiyle meydana gelen bileşiğin yarı-iletkenlerinin soğurma katsayıları fazla yüksek olup, güneşin spektrumu ile yasak enerji aralıkları uyumlu olabilecek bir düzende ayarlanabilir. Bakır selenyum ile bakır indiyum'dan meydana gelen bu 3'lü bileşik yarı iletkenle başlayan grup Copper Indium Selenium PV pilleri olarak bilinir. Cadmium Tellur PV pillerine en yakın özelliğe sahip piller olarak gözükmektedir. Günümüzde Copper Indium Selenium ince film PV pillerinin çoğunluğunda Ga elementinin katılması sonucu verimliliklerinin yükseldiği görülmektedir. (Karamanav, 2007).

Şekil 1.13'te temel yapısı görülmektedir.



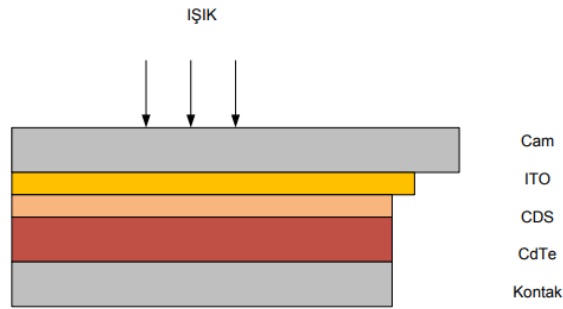
Şekil 1.13. Bakır indiyum PV pillerinin yapısı

Fakat bu yarı iletkeni meydana getiren elementlerin sayısının artması ihtiyaç duyulan teknoloji ile malzeme özelliklerinin kontrolüde karmaşık bir hal almaktadır. Laboratuvar ortamındaki bu küçük alanlı PV pillerinin verimliliği yüzde 18'e yaklaşırken, 900 santimetre karelik bir yüzey alanına sahip modüllerin verimi yaklaşık yüzde 15 civarındadır. Copper Indium Selenium pilleri için uygulanan teknolojilerden 2 tanesi ön plana çıkmıştır. İlki, bu elementlerin aynı anda vakum metoduyla buharlaştırma işlemine tabi tutulmasıdır. İkinci olarak, istenilen farklı bir yöntem kullanılarak büyütme işlemine tabi tutulan bakır indiyum elementi ile ince film alaşımının uygun ortamlarda selenyum elementiyle tepkimeye sokulmasıdır. Bu işleme Selenizasyon adı verilir. Bu iki işlemde soğurucu olarak kullanılan Copper Indium Selenium ondokuz yarı iletken, Cadmium Seleniumla bir getirilmesiyle hetero-eklem diyot meydana getirilir. Cadmium Selenium tabakalarının üretiminde ortaya çıkan yöntem Cadmium Tellur tabakalarında olduğu gibi kimyasal bir banyo tekniğidir. İnce film PV pillerinde verimlilik yüzde 10'un altında kalmaktadır.

Bakır, galyum ve indiyum elementi birlikte kullanılmasıyla daha fazla verimli ürün oluşturulabilir. CIS lerde n tabakası olarak ince bir kadmiyum tabakası ve Çinko Sülfat (CdZn)S kullanır. Laboratuvar ortamında üretilen Cell (hücre) verimi %20 iken ticari olarak üretilen modüllerin verimi %8-10'dur. CIS bileşiği Galyum ve Sülfür ile alaşım oluşturur. Cell'in alt cam tabakası katot tozlanması yöntemi ile ince molibden ile kaplanır. Cell'in p tabakası üretimi üreticiden üreticiye değişmektedir biri; bakır,

indium ve selenyum'un eş zamanlı 500°C to 600°C'de buharlaştırılması ile vakum odasında üretirken diğeri oda sıcaklığında her üç maddeyi ayrı ayrı püskürtüp 500 oC'de katılaştırarak CIS'i oluşturmaktadır. Ön saydam kontak olarak Aluminium-Doped (alüminyum katkılı) Zinc Oxide (ZnO:Al) kullanılır. Bu n tipi yarıiletkeni üzerine püskürtme ile Zinc Oxide (i-ZnO) ara yüzey tabakası olarak yerleştirilir. n tipi Cadmium Sulphide (CdS) tampon tabakası CIS ve ZnO'nin kristal örgü çakışmasından kaynaklanan düşüşü engellemede kullanılır. Bu kimyasal banyo ile gerçekleştirilir. Amorf'un tersine CIS ışık etkileşimli azalmaya (bozulmaya) hassas değildir. Çinko Oksit tabakanın neme karşı iyi kaplanması gerekir. CIS, ince film teknolojisinde en verimli olan ince filmidir. Büyük çaplarda üretildiğinde kristal silisyumdan daha hesaplıya üretilecektir. CIS oldukça ince polimer filmler üzerine yapılabilir. Bu ürünler esnekliğin önemli olduğu diğer alanlarda yaygın olarak kullanılabilir. Bakır şerit üzerine monte edilmiş olan CIS'ler ileride çatı malzemesi olarak kullanılabilirler.

Kadmiyum tellür PV pilleri; bu piller Periyodik tablonun 2. gurubunda yer alan Kadmiyum elementi ile 6. gurubunda yer alan Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan 2-6 yarı iletken birleşigi plan Kadmiyum tellürün, oda ısısında yasak enerji sınırları, Eg 1,5 Volt değeriyle güneş spektrumundan en yüksek dönüşüme sahip olmak için lazım olan değere oldukça yakındır (şekil 1.14).

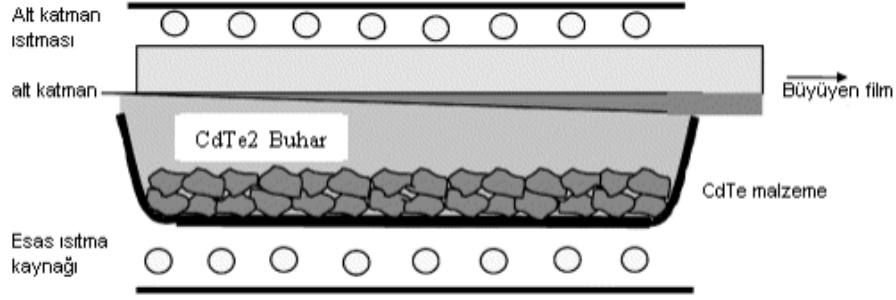


Cadmium Tellur genellikle kadmiyum sülfürle bir araya getirilmesi ile heteroeklem diyod'u üretilir. Yasak enerji aralığı ortalama 2,4 Volt civarında Cadmium Selenyum yarı iletkeni çok ince tabaka şeklinde uygulanır. Güneşten gelen ışınımın çoğunu geçiren Cadmium Selenyum, hetero-eklemde bir pencere görevi yapar (Karamanav, 2007).

CdTe nin optik bant aralığı güneş enerjisi dönüşümü için en uygun olan aralıktır. Üretimi en kolay olan ince film üretimidir. CdTe güneş hücresi, cam bir yüzey üzerine saydam kontak TCO'nun (İndium Tin Oxide (ITO)) oluşturulması ile yapılır. Bu saydam kontak üzerine n tipi CdS pencere tabakası giydirilir. P tipi CdTe soğurucu tabaka çok ince yapılmış olan n tipi malzeme üzerine giydirilir. Yarıiletken tabakalar basit buharlaştırma yöntemi ile 600 °C'de ısıtılarak yapılır. 500 °C'de tutulan alt cam tabaka kısa bir süre buhara tabi tutularak yarı iletken malzeme ile kaplanır. Püskürtme işleminden sonra CdS ve CdTe tabakaları 400°C'de klorlu bir ortamda tavlansarak aktifleştirilir ve CdS-CdTe ikili tabakası yeniden kristalleştirir. Metal olan arka kontak püskürtme işlemi ile yapılır. Bu metalik kontak CdTe modüllerinde yaşlanmanın sebebidir ve bu ürünün en zayıf noktasıdır. Yeni nesil CdTe modüllerinde başlangıç verim azalması ya da indirgeme gözükmez. CdTe modül üretimi en düşük üretim maliyetine sahip ince film teknolojisidir. Yüksek miktarlarda üretimi maliyetleri çok daha düşürecektir. Ağır metal kadmiyumun, zararından dolayı çevresel olarak tartışılabilir olan CdTe üretimi modüllerin çevreye vereceği katkı hesaba katıldığında ihmal edilebilir. Zehirli olan Cd ve Te'e göre toksin (zehirli) olmayan sağlam yapıdaki CdTe ancak 1000°C ayrışacağından ve yangın durumunda daha düşük sıcaklıkta eriyen cam tarafından kaplanacağı için çevresel zararı düşüktür denilebilir. Ayrıca üreticiler geri dönüşüm için geri aldıkları modülleri yeniden üretebilmektedirler.

CdTe, ince filmler içerisinde ideale en yakın olan malzemedir. Bunun nedeni birden fazla özelliği bir arada bulundurmasıdır. Büyük boyutlu modüllerin üretimi çalışmaları devam etmektedir. Laboratuvar ortamında verimlilikleri yüzde 16'nın üzerine çıkmıştır. Seri üretimde elektro üretim ile ekran baskı tekniklerin kullanılmaktadır. En iyi kaliteli malzeme ile en yüksek verimlilik kapalı alan sublimasyon tekniği ile elde edilmiştir.

Şekil 1.15'te CdTe malzemenin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şematik gösterimi yer almaktadır.

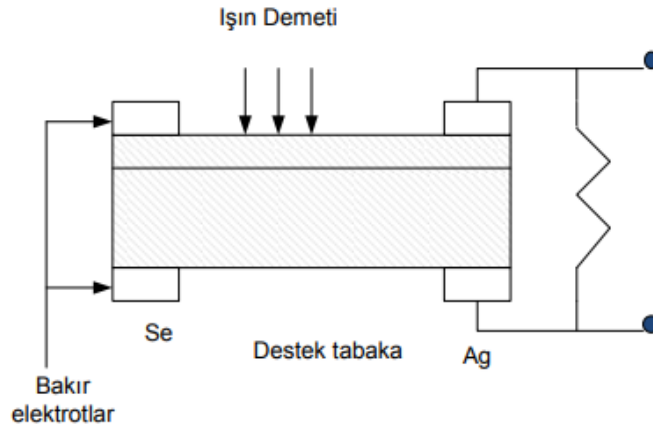


Şekil 1.15. CdTe malzemesinin çökeltilmesi için kullanılan reaktörün şeması

Cadmium Tellur malzemesiyle PV pili üretim maliyetinin aşağılara çekilebileceği düşünülmektedir. Büyük pv pilleri için en uygun çeşitlerden biridir.

Laboratuvar ortamındaki çalışmalarda yaklaşık yüzde 16'lara ulaşan verimleri ticari olarakta yaklaşık yüzde 7 ile 8 seviyesindedir.

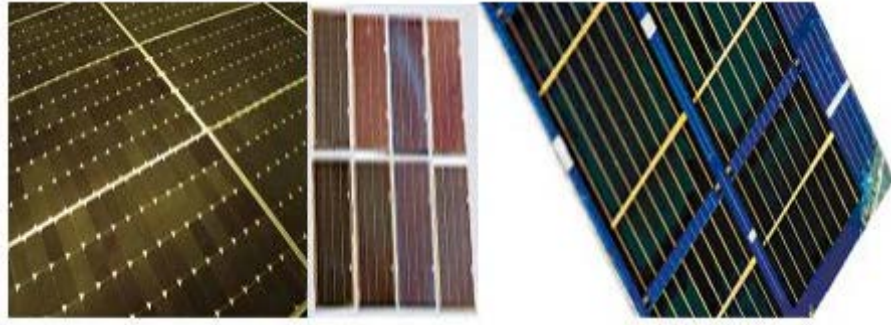
Selenyum PV pilleri; Saf selenyumun içerisine, Klor, İyod ya da alkali metaller gibi halojenler karıştırılıp P tipi yarı iletken meydana getirilir. Bu tabakanın üzerine birkaç mikron kalınlığında gümüş bir tabaka kaplanarak p-n kavşağı meydana getirilir. Şekil 1.16' de selenyum PV pilinin yapısı görülmektedir. Temel selenyum, tellür ile önceden sarılmış demir alt tabakası birlikte eritilir. Selenyum PV pilleri 50 °C'nin üzerinde kullanılmamalıdır. Şekil 1.16. Selenyum PV pilinin yapısı görülmektedir.



Şekil 1.16. Selenyum PV pilinin yapısı

GaAs PV pilleri; GaAs, Galyum ve arsenitten oluşur. Bu iki ayrı elemanlar birleştiğinde, birlikte pek çok ilginç özellikleri gösteren bir bileşik oluştururlar. Bu özellikleri sıcaklık karşısında değişebilir. GaAs'in bir özelliği de doğrudan bant genişliğine sahip olmasıdır. Bundan dolayı da verimli ışık yayarlar. GaAs güneş

hücresinin temel işlevi, elektrik için güneşin parlak ışık enerjisini dönüştürmektir. GaAs güneş pilleri yüzde 25 ile 30 aralığında verim aralığına ulaşabilirler. Farklı yarı iletkenlerle kullanılarak meydana getirilen çok eklemlili GaAs pillerinde yüzde 30 verimliliğe yaklaşılmıştır. Bu da onların güneş ışığında iyi bir toplayıcılık yapması demektir (Demircan ve Alakavuk, 2008). Kullanıldığı yerler arasında, hücresel telefonlar, uydu ve uydu iletişim, mikro ve nano ölçekli yarı iletkenler, radar sistemleri ve nano teknolojili güneş pilleri, uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 1.17’de GaAs pil örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.17. GaAs pv pil örnekleri

Ağartma özellikli (Dye) duyarlı piller; Bu piller hızlı rejeneratif foto elektrokimyasal bir süreç mekanizmasına sahiptir. Ticari olarak verimliliği yüzde 7 ile 11 arasındadır, aynı zamanda düşük maliyetli foto elektrokimyasal güneş enerjisi dönüşümü sağlamaktadır. Diğer taraftan pil ömrü azalacağından çok fazla tehlikeli atık meydana gelecektir. Bu pillerin en büyük özelliği, zaman içerisindeki duraganlıkları ısı ve diğer çevresel ortamlardan etkilenmesidir. PV pillerinin verimlilikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelge 1.1’de güneş pillerinin tiplerine göre verimlilikleri görülmektedir.

Çizelge 1.1. Güneş pillerinin verimlilikleri

Güneş Pilleri	Alan cm ²	Verimlilik (Laboratuar) %	Verimlilik (Kullanım) %
Tek Kristalli Silisyum	4.00	18-24	12-15
Çok Kristalli Silisyum	21.2	18.6	11-14
Amorf Silisyum	1	14.7	6-7
Kadmiyum Tellür	1	15.8	7-8
Bakır İndiyum di Selenid	0.4	17.7	14.1
GaAs	1	25-30	23.9
Dye (Ağartma Özellikli)	1	11-14	7-11

1.5. PV Güneş Pilleri ve Verimlilikleri

PV pillerinin hızlı bir şekilde sürekli gelişmesiyle verimlilikleride artmaktadır. Bunlarla ilgili verimlilik çizelgeleride çok kısa sürelerde değişmektedir. Aşağıda Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan ve en yüksek verimlilikleri belirten çizelge 1.2.'de verilmektedir (Özbalta, 2006).

Çizelge 1.2. PV piller için en yüksek verimlilikler

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4.00	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
Cu/In, Ga)Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAS Tek kristal	1	23,9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

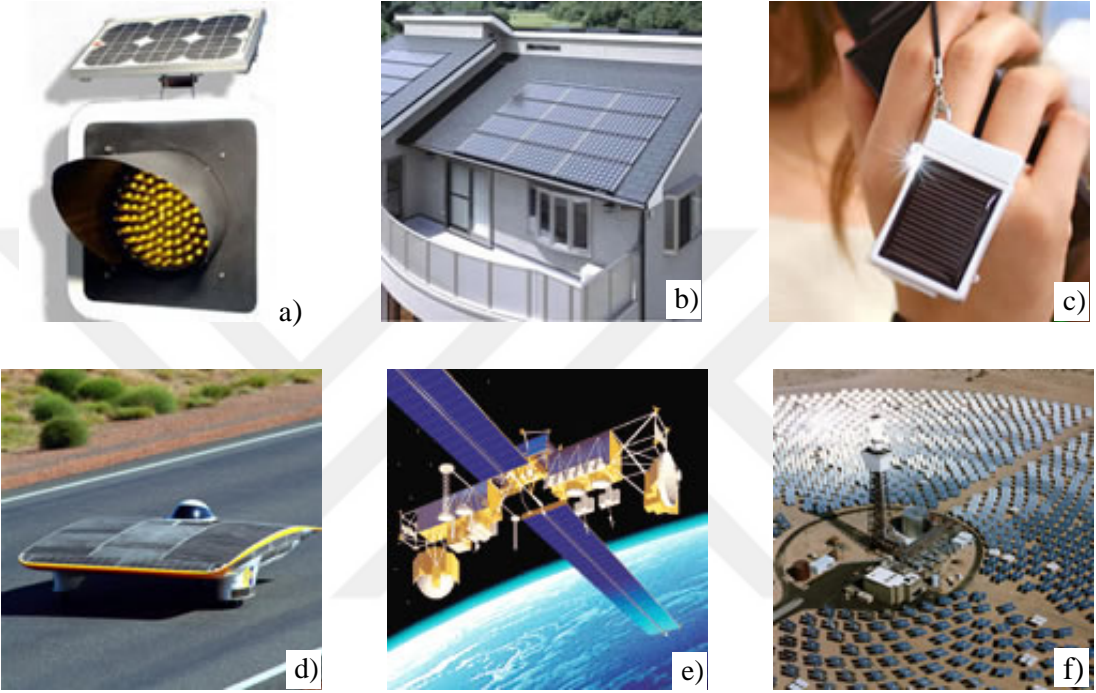
PV pili yapımında Silisyum elementi kullanılır, doğada en çok bulunan elementlerden biri olmasından dolayı silisyum rezervleri konusunda gelecekte herhangi bir sıkıntı görülmemektedir. PV pili yapımında kullanılan malzemeleri ve elementlerinin rezerv miktarları ile dünyadaki yıllık toplam üretimi ve 500MW güç üretimi için gerekli miktarları Çizelge 1.3.'te göstermiştir.

Çizelge 1.3. PV pili yapımında kullanılan maddelerin dünyadaki rezervleri ve üretimi

Element	Dünya Rezervleri	Dünya Yıllık Üretimi	500MW güç için gereken miktar Ton
CD	970 000	20 000	25
Te	39 000	404	28
In	5 700	180	25
Se	130 000	2000	60
Ga	1 000 000	35	5

1.5.1. PV pillerinin belli başlı kullanım alanları

PV pilleri, elektrik enerjisi kullanımı gerektiren birçok alanda rahatlıkla kullanılır. Bir PV pili sistemini oluşturmak için akümülatör, invertör, şarj cihazları, elektrik ve elektronik devreler gereklidir. Büyük çaplı PV pil sistemleri, genellikle yerleşim alanlarından daha uzak yerlerde, elektrik şebekesi ne erişimin zor olduğu bölgelerde kullanılırlar (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. PV pillerinin farklı kullanım alanları a) trafik ışıkları b) evsel kullanım c) batarya şarjı d) elektrikli otomobiller e) uzay teknolojisi f) güneş kuleleri

1.6. Türkiye'nin Güneş Yükü ve Yerli Güneş Pili Sistemleri

Türkiyede elektrik enerjisi, kömür, akaryakıt, doğal gaz, jeotermal, rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik santrallerinden üretmektedir. Günümüzde Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimine PV pil sistemlerinin katkısı giderek artmaktadır ve sürekli bu konuda teşvikler verilmektedir. 2018 yılı itibari ile pv sistemlerinden elde edilen güneş enerjisi miktarı tüm enerji kaynakları içerisindeki payı yüzde 5.7 civarında olduğu belirlenmiştir. Türkiyede kurulu güneş enerjisi tesis sayısında 2018 yılı itibarı ile 5868 taneye ulaşmıştır. Türkiye'de bir yıllık güneşlenme süresi 2741 saattir. Türkiye'de yıllık güneş enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak 1100 kWsaat olduğu düşünülmektedir. Coğrafi konumumuzdan dolayı Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli

çoğu ülkeye nazaran daha avantajlıdır. Elektrik işleri Etüt idaresinin vermiş olduğu bilgilere göre tarafından, 1966-1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen toplam güneşlenme süresi ile ışınım şiddeti verilerinden faydalanılarak yapılan çalışmayla (Çizelge 1.4.), Türkiye’de yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat civarındadır, ortalama toplam ışınım şiddeti ise bir yılda yaklaşık 1311 kWh/m² olduğu belirlenmiştir. Güneş Enerjisi potansiyeli yaklaşık 380 milyar kWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Bu tespit edilen güneş enerjisi potansiyeli, toplamda 56.000 MW kurulu güce olan doğal gaz çevrim santralinden elde edilen elektrik enerjisine eşdeğerdir (Anonim, 2019).

Çizelge 1.4. Türkiye'nin bölgelerinin güneş alma yükleri

Bölgelerimiz	Güneş alma süresi saat/yıl	Toplam güneşlenme yükü (kw s/m ²)
Karadeniz	1971	1120
G.Doğu Anadolu	2956	1460
Marmara	2409	1168
Akdeniz	2956	1390
Ege	2738	1304
Doğu Anadolu	2264	1365
İç Anadolu	2628	1314

Genellikle elektrik şebekelerinin olmadığı yerlerde pv pilleri kullanılmaktadır. Günümüzde, birçok alanda pv pil sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde PV pil teknolojisini araştırmak ve geliştirmek için birçok kurum ve kuruluş faaliyetlerini aralıksız yürütmektedir (Bedeloğlu, 2009).

1.7. PV Pilli Takip Sistemleri

PV pilli takip sistemleri, gün doğumundan gün batımına kadar sürekli olarak güneşten gelen enerjiyi dik alacak şekilde takip eden sistemlerdir. Güneşi günboyu

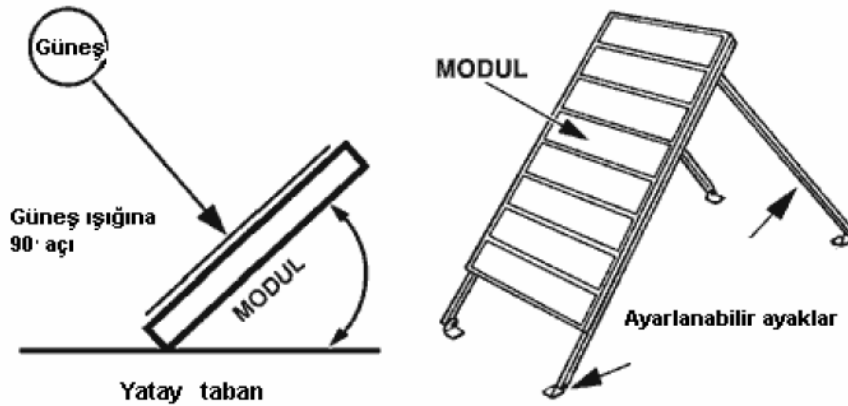
takip etmesinden dolayı sabit pv sistemlerine göre enerji verimi daha yüksektir. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri sabit pv sistemlerine göre yaklaşık yüzde 20 daha fazladır. Buna karşın enerji verimlilikleri yüzde 40' lara yaklaşmaktadır.

1.7.1. Güneş izleme sistemleri

PV pillerinin çıkış gücü, PV yüzeyine düşen toplam ışık miktarına bağlıdır (Tang ve Wu, 2004) . PV pilleri güneşi izleyerek ve güneşe yönelmeleri elde edilecek elektrik üretimini maksimuma getirilebilir (Abdallah ve Nijmeh, 2004).

PV pillerinin güneşe dik gelmesini sağlayan elemanlara LDR denir. LDR' ler güneşten gelen ışığa PV pillerinin konumlarını dik bir şekilde ayarlar ve izleyici görevi yaparlar. Tek eksen ve iki eksen de kullanımı mevcuttur (İçli ve Çubukçu, 2007).

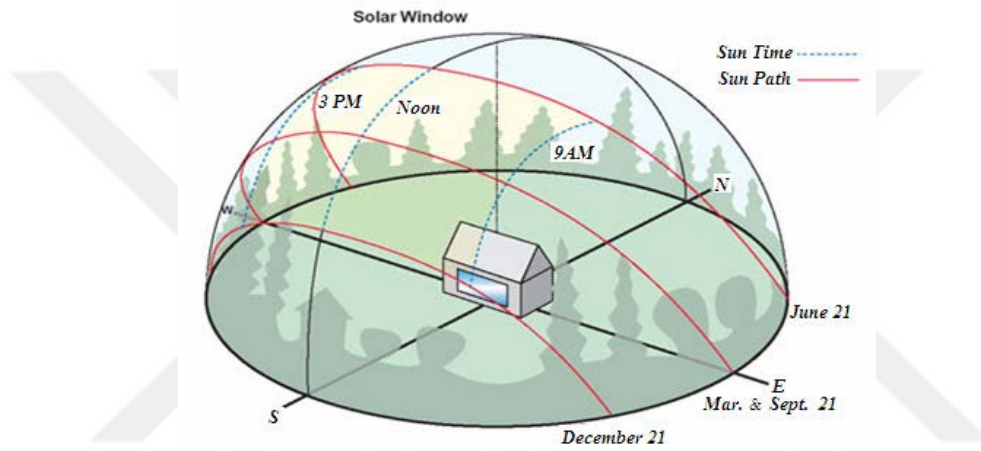
Her iki aktuatör, takip sisteminin güneş ışığına dik olacak şekilde sabit tutan mikro işlemci kartıyla kontrolü yapılabilmektedir. Şekil 1.19.'de PV pili takip sisteminin şematik şekilleri verilmektedir.



Şekil 1.19. Basit bir güneş takip sistemi gösterimi

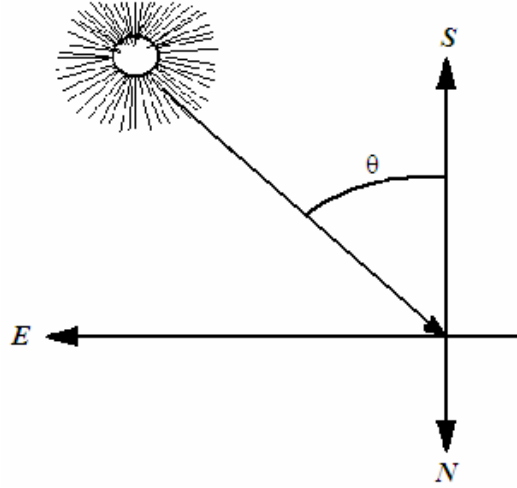
1.7.2. Güneş pillerinin açıları

PV pilleri, güneşten gelen ışınları doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir (Muntasser vd., 2000). PV pillerinden en yüksek verimi almak için güneş ışınlarının PV pillerine dik bir şekilde gelmesi gerekir. Güneşin gün içerisinde doğu yönünden batı yönüne doğru yapmış olduğu hareketin eksensel değişimi şekil 1.20.'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere güneşten dünyaya gelen ışınlar, mevsimsel olarak ve gün boyunca zaman aralıklarına göre farklılıklar göstermektedir. Pil sistemleri tasarlanırken bu faktörler dikkate alınmalıdır. (Perdahçı, 1996).



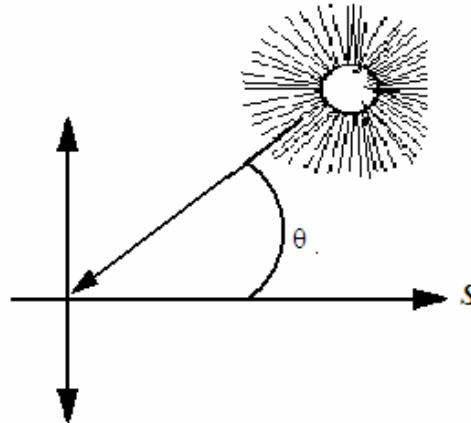
Şekil 1.20. Güneşin mevsimsel olarak değişimi

Türkiye coğrafi konum olarak 42-36 kuzey enleminde yer almaktadır ve bundan dolayı kıştan yazı yaklaşık 300'lik bir açı değişimi oluşmaktadır. Güneşten gelen ışınlar yeryüzüne 21 Haziran tarihinde en dik açıya ulaşmış olur, 21 Aralık tarihinde açı azalmaya geçer. Her iki tarihtede gündüzleri, saat 12 ile 13 arasında Güneşten gelen ışınlar dik olacak şekilde pv pilleri ayarlanmalıdır. Ayarlanmadığı takdirde istenilen verim elde edilemez. Sabit pv pili sistemlerinde 6 ayda bir açı ayarı yapılmalıdır. Aynı zamanda pv pili yüzeyleride temizlenmelidir (Kulaksız, 2001). Güneşin doğu yönünden batı yönüne doğru yapmış olduğu zahiri hareket şekil 1.21' de gösterilmektedir.



Şekil 1.21. Güneşin doğu yönünden batı yönüne doğru yaptığı zahiri hareket

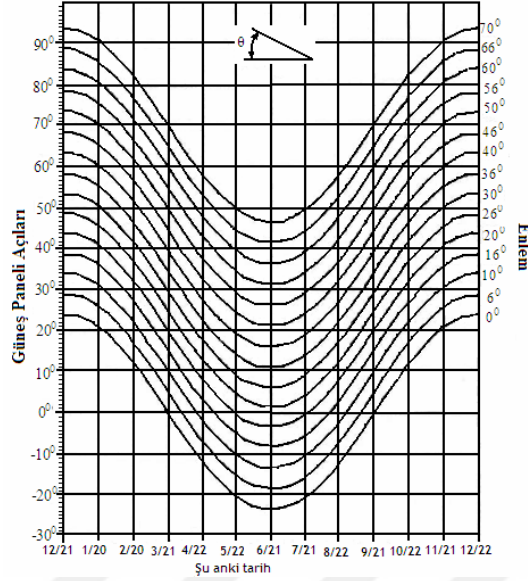
Aynı zamanda Güneşin zahiri yüksekliği, kış aylarında yaz aylarına göre değişiklik gösterdiği dikkate alınmalıdır. Kuzey yönünden güney yönüne doğru olan bu hareketin aksenal değişimi şekil 1.22’de gösterilmektedir. (Perdahçı, 1996).



Şekil 1.22. Güneşin kuzey yönünden güney yönüne doğru yaptığı zahiri hareket

Sabit olarak montajı yapılan PV pillerinin ayarlanması, yıllık bazda yaklaşık %10 ile %40 arası daha çok güç çıkışı alması anlamına gelir. Eğer bir PV pili takip sistemi kullanılacak olunursa, Güneşin günlük olarak hareketlerini takip etmesiyle PV pillerinde yaklaşık %25-%35 arası daha çok güç sağlamış olur. Eğer Güneşin aylara bağlı olarak kuzey yönünden güney yönüne doğru hareketi takip edilmek istenirse manuel olarak yapılacak bir ayarlama PV pili güç üretimini %10 kadar artırmış olacaktır (Muntasser vd., 2000). Şekil 1.25’de, mevsimlere bağlı olarak kuzey yönünden güney yönüne doğru ayarlamaların yapılması için gerekli bilgi

verilmektedir (Kulaksız, 2001). Bu şekilde, PV pilinin güney yönüne doğru tutulduğu kabul edilmektedir.



Sekil 1.23. Güneş paneli açısı tespit diyagramı

Çizelgenin y eksenini pv pili yüzeyi ile yer düzlemi arasındaki açıyı gösterir. X eksenini günleri gösterir. Çizgiler arası 5°'lik aralıkta olmak suretiyle 15 adet eğri çizgi oluşturulmuştur. Çizelgede, öncelikle bulunulan konumun yere en yakın enlemine bakılır. Daha sonra X eksenindeki o anki tarihe denk gelen yere kadar eğri çizgi takip edilir. Y eksenine denk gelen açı pv pili yüzeyi ile zemin arasında meydana gelen açıyı gösterir. Bu açı, bu tarihte öğle saatinde güneş ışınlarının pv piline dik bir şekilde geleceği açıdır. PV pili açısının hesabı, Güneşin gökyüzündeki en yüksek konumda olduğu öğle saati, PV pilinin güneş ışınlarına dik konuma geleceği tahmin edilerek hesaplanır. İşte bu an itibarı ile bulunulan yerden güneşe doğru çizilecek bir doğru ile ufuk düzlemi arasındaki açı maksimumdur (Kulaksız, 2001).

Burada iki parametre kullanılmaktadır. 1.'si bulunulan yerin enlemi 2.'si güneş enlemidir (declination). Güneş enlemi, Güneşin öğle saatinde en tepede olduğu enlemdir. Yaz gündönümündeki 23,5° kuzey enleminden, kış gündönümündeki 23,5° güney enlemine gelinceye kadar değişir. Güneşin ekvator eksenini üzerinde olduğu ekinoks durumlarında (21 Mart ve 21 Eylül) güneş 0° enlemedir. Farklı bir günde, Güneşin üzerinde bulunduğu enlemin ya da şekil 1.25'de verilen açısının hesabı için kullanılan denklem (1.1) verilmiştir.

$$D=12,5^{\circ}\text{Sin}[(T/365,25)*360^{\circ}] \quad (1.5)$$

Türkiye'nin coğrafi konumu sebebiyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli miktarı bakımından birçok ülkeye göre iyi konumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİGM) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti verilerinden yararlanarak E.E tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.5.'de verilmiştir (Perdahçı, 1996).

Çizelge 1.5. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'de en fazla güneşten faydalanan Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesidir. Güneş enerjisi potansiyeli ile güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da çizelge 1.6.'de verilmiştir.

Çizelge 1.6. Türkiye'nin bir yıl içerisinde toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

1.8.1. PV pili - jeneratör kombinasyonlu sistemler

PV pili sisteminin kötü hava şartları durumlarına istinaden yeterli bir büyüklükte yapılması zorunluluğu olmaması nedeniyle, PV pili-jeneratör kombinasyonlu sistemler büyük, bağımsız PV pili enerjisi sistemlerine göre daha ekonomik alternatif olabilmektedir. Akü şarj edici cihaz ile birleştirilmiş gaz, benzinli ya da dizel bir jeneratör, PV pillerinin yetersiz kaldığı durumlarda sistemi besleyebilir. Yedek şarj sistemi, PV pili büyüklüğünü azaltmasının yanında, çok küçük boyutlarda akülerin kullanımına izin verir ve sistem maliyetini düşürebilir (Kulaksız, 2001).

1.8.2. Şebeke bağlantılı sistemler

Bu sistem şebeke bağlantısı olan yerlerde kullanılabilir. PV pili sistemi tarafından üretilen elektrik elektrik enerjisi bir evin evin bir kısmına ya da tamamına güç sağlayan akü biriminde depolanır (Canan, 2003). Aküler yetersiz kaldığı durumlarda otomatik olarak evdeki yükler şebeke gücüne bağlanır. PV pilleri tarafından üretilmekte olan enerji olmadığında şebekeden alınabilecek enerji hazır olduğundan dolayı, herhangi bir ebattaki PV pili kullanılabilir (Kızılyalı, 1986). Şebeke bağlantılı sistemler, Bu sistemde enerji akülerde depolanmak yerine şebekeye geri verilir. PV pillerinden elde edilen DC gücü, elektrik hattı tarafından kabul edilebilecek bir biçimde düşük distorsiyona sahip, aynı zamanda sinüs formunda AC gücüne dönüştüren özel bir türde inverterlere sahiptir. PV pilleri tarafından üretilen enerji, bir sayaç yardımıyla şebekeye aktarılır (Kulaksız, 2001). Sistemde PV pillerinden elde edilen gerilim ile akım değerleri, şarj denetleyicisi yardımıyla sistemde içinde kullanılan akülerin şarj edilmesinde kullanılır. Aküler de depolanan

enerji normal şebeke seviyesinde kullanılabilmesi için inverter sistemine aktarılır. inverter sistemi ile abone arasına konulan elektrik sayacı ile sistemden alınan toplam elektrik enerjisi enerji ölçülebilmektedir.

1.8.3. Güneş enerjisi depolama teknikleri

PV pillerinden elde edilen ve kullanılmayan fazla enerjiyi depolamanın iki yolu vardır. Bu fazla enerjiyi birden fazla aküyü şarj etmek için kullanabiliriz ya da şehir şebekesine verebiliriz. Bunlarda en çok kullanılan metod ise akülerin şarj edilmesidir. Akülerin gerilimi, şarj edildikleri PV pillerinin yaklaşık yüzde 80'i seviyesinde olmalıdır. Bu işlem, şarjı kolaylaştırmak için yapılır. Şebeke depolaması ise, PV pillerinden elde edilen enerjinin kullanılmadığı zamanlarda iletim hatları kullanılarak şehir şebekesi boyunca geri gönderilmesidir. Avantajlı olan bu sistem, akü kullanımını ortadan kaldırdığından dolayı, enerji maliyetini azalttığı görülmüştür (Dalbaz, 1997).

Enerji depolamada akülerin sınıflandırılması; Elde edilen Enerjinin depolanması ve de dönüşümü için günümüzde çok farklı özelliklere sahip aküler bulunmaktadır. Akülerin tamamı, kimyasal reaksiyon yoluyla ya da fiziksel reaksiyonla enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Aküler kimyasal ve fiziksel enerji aküleri biçiminde sınıflandırılır (Sarıtaş vd., 2002).

Akülerin kontrol edilmesi; PV pilleri tek bir yönde akıtacak biçimde çalışırlar. Akşamları PV piller akülerde ufak bir deşarj oluşturacak biçimde ters yönde çok küçük akım geçirebilirler. Bu kayıplar çok küçük olmasına rağmen engellenebilirler (Kulaksız, 2001). Birçok akü denetleyicide şarj akımını, kontrol etmek için kullanılan ve bir valf görevi gören bir yarı iletken boyunca akarlar. Bu biçimde herhangi bir ek maliyete ihtiyaç duyulmadan ters yön akımı önlenmiş olunur. Bazı denetleyicilerde ise ters yönde akımı önlemek için röleler kullanılır.

1.8.4. Akülerin deşarj olması

PV pili sistemlerinde enerjiyi depolamak için kullanılan aküler, en fazla yüzde 80 civarında deşarj olacak biçimde tasarlanmıştır. Yüzde 100 deşarj olursa akü çok çabuk görür. Fazla deşarjı önlemenin tek çaresi yükleri devreden çıkarmaktır.

Gerilim, şarjdan edildikten sonra uygun bir konumuna geldiğinde zaman tekrar sisteme alınabilir. Akü boşalmaya düzeyine yaklaşırken 12 Volt'luk akünün gerilimi 11 Volt'un altına düşebilir (Kulaksız, 2001).

Akülerde aşırı yük koruması; Devrelerden geçen akım, akünün dayanabileceği değerin çok üzerine çıkması durumunda aşırı yüklenme olur. Bu durum, akülerin aşırı bir şekilde ısınmasına ve akülerin yanmasına neden olabilir. Akülerdeki aşırı yük, akünün içerisindeki devrelerde oluşan kısa devre ya da hatalı bir cihazın bağlanmasından dolayı oluşabilir. Şarj cihazlarının bazıları aşırı yük korumasına sahiptir. Birçok sistemlerde sigorta ya da devre kesiciler gibi ek bir korumaya sahiptir (Kulaksız, 2001).

1.8.5. Güneş enerjisi depolamada akü seçiminde dikkat edilecek hususlar

Hiçbir bakıma ihtiyaç duyulmaksızın sızdırmaz tür kurşun-asit aküleri boyut olarak küçük ve hafiftir. Performansları çok iyi olduklarından kullanımları ekonomiktir. Bu özelliklerinden dolayı içerisine dışarıdan herhangi bir katkıya ihtiyaçları yoktur. Akülerin yapıları, tampon şarj ve çevrimli kullanımlar için planlanmış olup esas ve acil enerji kaynağı için kullanımı uygundur. Çevrimli kullanımlarda yüzde 100 yakın deşarjda ise 250 çevrim, tampon şarj kullanımında ise 3 ile 5 yıllık bir ömür elde edilebilir. Aküler, enerjiye ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilirler. Örneğin; el aletlerinde, ölçme cihazlarında, vb. olduğu gibi taşınabilir televizyonlarda enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tampon şarj uygulamalarında ise çok geniş alanlarda kullanımları mevcuttur. Örneğin; aydınlatma, güvenlik sistemleri, kontrol cihazları vb. Akülerin seçiminde ve kullanımında dikkat edilmesi gereken detaylar;

1. Aküler açık alevler ile çok fazla ısınmış nesnelere yaklaştırılmamalı.
2. Akü çıkış uçlarının kısa devre yapmamasına dikkat edilmeli.
3. Aküyü açmak, sökmek ya da açılmış olan aküyü tekrar kullanmak için kapatmaya çalışmak çok yanlıştır.
4. Akünün herhangi bir nedenle zarar görmesi ya da üzerine elektrolitik sıçraması durumunda temas yüzeyleri hemen bol su ile temizlenmelidir. Sıçrayan elektrolitin gözlere ya da vucuttaki açık yaralara temas etmesi durumunda, temas edilen bölge hemen bol su ile yıkanarak acil bir şekilde doktora gidilmelidir.

5. Akü boşaltıldıktan sonra şarj edilir.
6. Aküler uzun bir süre kullanılmayacaksa serin bir yerde muhafaza edilmelidir ve 6 ayda bir şarj edilmelidir.
7. Zarar görmüş aküler kullanılmamalıdır.
8. Aküleri kullanmadan önce mutlaka kullanım kılavuzu okunmalıdır (Anonim, 2006).

1.9. İnverterlerin Yapısı

İnverterlerin özellikleri, DC giriş gerilimini ihtiyaç duyulan genlik ile frekansta benzer AC çıkış gerilimine dönüştürmektedir (Kulaksız, 2001). Çıkış gerilimi sabit olabilir ya da değişken veya sabit frekansla değiştirilebilir. Öteki taraftan DC giriş gerilimi sabitse aynı zamanda kontrol edilmekte zorlanılıyorsa, inverter kazancı değiştirilmek suretiyle elde edilebilir. Bunu yapmak için, inverterin içerisindeki Darbe Genişlik Modülasyonunun uygulanmasıyla sağlanabilir. İnverterlerin kazancı, AC çıkış gerilimi ve DC giriş geriliminin oranı belirlenerek elde edilebilir (Simard vd., 1991).

İnverterlerde en ideal çıkış geriliminin dalga şekilleri sinüzoidal olmalıdır. Fakat inverterlerin dalga şekilleri sinüzoidal yapıda değildir aynı zamanda belirli harmonilere sahiptirler. Düşük ve orta güç uygulamalarında, kare dalga ya da yarı kare dalga gerilimler kabul edilir. Yüksek güç uygulamalarında ise düşük distorsiyonlu sinüzoidal dalga şekilleri lazımdır. Yüksek hız anahtarlama teknikleri kullanılarak düşürülebilirler. İnverterler değişken hızlı AC motor sürücüleri, çok fazla endüstriyel uygulama alanlarına sahiptir. İnverter girişinde bir akü, yakıt hücresi, PV pili ya da başka DC kaynak olabilir (Simard vd., 1991). İnverterleri tek ve üç fazlı olarak iki farklı gruba ayırmak olasıdır. Her tip dört gruba ayrılabilir. Bu gruplar aşağıda verilmiştir.

(1) PWM (2) Rezonans (3) yardımcı komütasyonlu (4) tamamlayıcı mütasyonlu inverterlerdir. İnverterin giriş gerilimi sabit ise gerilim beslemeli inverter, giriş akımı sabit tutuluyor ise akım beslemeli inverter ve giriş gerilimi kontrol edilebiliyorsa değişken DC gerilimli inverter olarak adlandırılır.

1.9.1. İverterlerin gerilim kontrolü

Birçok endüstriyel uygulamalarda, DC giriş gerilimindeki değişimlere karşılık vermek, gerilim regülasyonunu oluşturmak ve sabit gerilim ile frekans kontrol ihtiyacını karşılamak, inverterlerden çıkan gerilimi kontrol etmek lazımdır (Vadivel vd., 1991). Kazanç kontrolünde en önemli metot, darbe genişlik modülasyonunun uygulanabilmesidir. En çok olarak kullanılan metotlar aşağıdaki verilmiştir (Addoweesh vd., 1989).

1. Çok darbeli PWM
2. Tek darbeli PWM



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yılmaz (2017), yaptığı çalışmada PV panellerin 2 eksenli bir güneş takip sistemi verimlilik artışını incelemiştir. Güneş takibi için sistemde 16 Nm torka ve 12W güce sahip fırçalı sabit mıknatıslı damperli bir DC motor kullanılmış, böylece sistemdeki panellerin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusundaki hareketi yavaş ve iyi bir şekilde sağlanmıştır. Günlük tüketim ise yılın en uzun günü için (21 Haziran) dahi 3 W/saat' i bulmamaktadır. Böylece PV panellerin güneş takibi için gerekli enerji yine kendi panellerinden kullanılmış ancak minimum seviyede olması sağlanmıştır.

Öztürk vd. (2016), sabit PV ile 2 eksenli güneş takipli sistemin deneysel olarak performans karşılaştırmasını Düzce ili özelinde yapmışlardır. Çalışmada özellikle sabit ve takipli sistemin maliyet-fayda odaklı analizine yönelik olduğu vurgulanmıştır. Kurulan sistemde daha iyi sonuç alınabilmesi için ölçüm süresince sabit ve takipli paneller aynı şartlara maruz bırakılmıştır. Gerçek zamanlı alınan deneysel sonuçlara göre Düzce ili şartlarında takipli sistemle %35 daha fazla enerji depolandığı ve böylece takipli sistemin kendisini 16 yılda amorti edebileceği belirtilmiştir. Çalışmada daha önceki yapılan çalışmalara atıf yapılarak; Rüstemli vd., (2010) tarafından Van ili için yapılan bir çalışmada takipli sistemin %29,46, Al-Najjar (2013) tarafından Bağdat/İrak için yapılan takipli sistemin ise %29,60 daha fazla takipsiz sisteme göre enerji topladığı da rapor edilmiştir.

Hassan (2011), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, kuzey-güney ekseninde el ile doğu-batı ekseninde ise bilgisayar kontrollü bir güneş takip sistemi kurmuştur. Otomatik olarak kontrol edilen doğu-batı eksenini için, tarih ve zamana bağlı oluşturulan bir algoritmaya göre oluşturulan bir yazılımla kontrol edilmiştir. Yapılan ölçümler tarih ve zamana bağlı güneş takibi yapabilen ve sabit sehpalı bir panel olmak üzere iki ayrı sistemle yapılmıştır. Uzun ve kısa günler için ayrı ayrı ölçümler yapılmış ve iki sistem için, akım ve gerilim değerleri ile maksimum güç, belli periyotlarda ölçülmüştür. Sonuç olarak, sabit panele göre güneş takipli panelin çıkış gücünün; 2010 yılı Kasım ayı için (en kısa gün) %20,4 aynı yılın Eylül ayı için (en uzun gün) ise %51 mertebesinde daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Beyoğlu (2011), yaptığı çalışmada iki eksenli güneş takipli PV sistem ile sabit sistemin karşılaştırmasını yapmıştır. Verimliliği artırmak için iki eksenle eş zamanlı olarak güneş takip eden sistem ile sabit sistemin verileri verim açısından karşılaştırılmış, alınan ölçümler sonucunda Balıkesir ili için takipli sistemin sabit sisteme göre %39 daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Chowdhury vd. (2017), güneş enerjisini toplamak ve elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan fotovoltaik (PV) panellerin sabit açılı kullanıldığında veriminin düşük olacağı, güneş takipli sistemlerle bu sorunun kolayca çözülebileceği belirtilmiştir. Takipli sistemlerin günlük ve mevsimsel olarak doğudan batıya gün boyunca güneşin konumunu izleyerek, güneş işmasından daha fazla beslendiği ve performansının yükseldiği ifade edilmiştir. Çalışmada sabit, tek açılı ve çift açılı takip sistemlerin performans karşılaştırması yapılmıştır. Güneş paneli sistemlerinin verimliliğinin bulunulan yerin coğrafi konumuna bağlı olarak, aldığı güneş işıma şiddeti, bulut örtüsü, bağlı nem ve ısı birikimi gibi faktörlerden etkilendiğini ifade ederek çalışmalarında her üç sistem için veri almışlardır. Sonuçlar sabit sisteme göre yıllık olarak tek eksenli takip sisteminin % 23,28, çift eksenli takip sisteminin ise % 27,64 oranında çıkış enerjisinde artış olduğu belirtilmiştir. Ancak tek eksenli ve çift eksenli sistemlerin verimliliğinin birbirine yakın olduğu hatta bazı aylarda eşit olduğu belirtildiği çalışmada çift eksenli sistemin maliyetinin pahalı olmasından dolayı tek eksenli sistemin tercih edilebileceği vurgulanmıştır.

Moradi vd. (2016), sabit ve takipli PV sistemlerin yıllık performans karşılaştırmasını yaptıkları çalışmalarında dört mevsim için (Ekim, Haziran, Nisan ve Temmuz) birer ay referans alınarak karşılaştırılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin Florida eylatinde yapılan çalışmada, mevsimlere göre performanslarda değişiklik olduğu özellikle haziran ayında farkın olmadığı takipli sistem ile en fazla performans artışının ise Temmuz ayında (%28,68) daha sonra sırasıyla Nisan (% 21,52) ve Ekim (%6) aylarında olduğu belirlenmiştir. Takip sisteminin hem tek hem de çift eksenli için incelendiği çalışmada her iki takipli sistemin veriminin birbirine yakın olduğu belirtilmiş, çift eksenli sistemin maliyetli olduğu değerlendirilerek tek eksenli sistemin kullanılabileceği vurgulanmıştır. Elde edilen enerjinin %3,5-5 kadarında kendi sürücüleri için kullanıldığını belirterek yıllık ortalama olarak ise takipli sistemin % 15 mertebesinde bir performans artışı sağladığı ifade etmişlerdir.

Eke ve Şentürk (2012), sabit ve çift eksenli güneş izleme fotovoltaik (PV) sisteminin performans sonuçları bir yıl için analiz ettikleri çalışmalarında, Muğla ili için aynı modül ve invertörlere sahip iki özdeş 7.9 kWp PV sistemi kurulmuştur. Sistemden alınan veriler ayrıca simülasyonu da yapılmıştır. Bir yıllık performans karşılaştırması sonucu aylara göre farklılık göstermekle birlikte, iki eksen güneş takip sisteminin verim artışı en fazla Temmuz (%42) en düşük ise Haziran (%16,97) ayında olmak üzere yıllık bazda ortalama %30 oranında verim artışı olduğu belirtilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada PV pili sistemlerinin veriminin karşılaştırılması için dört tane PV pil sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemlerden üçü sabit (0°,10°, 33° eğimli) biri ise güneşi takip eden PV pil sistemidir. Tasarlanan sistemler Isparta ili için yapıldığından, Isparta ili için güneş açıları dikkate alınmıştır ve çalışmada kullanılacak olan PV pillerinin sabit sistemde 0°, 10°, 33° derecede eğimle prototiplerinin hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu prototiplerle PV pillerinin üzerine ışınma ölçüm cihazları yerleştirilerek güneşten PV pillerinin üzerine gelen ışınma değerleri 3 gün boyunca ölçülmüştür. Yine aynı şekilde PV pillerinin çıkışına akım-gerilim değerlerini ölçmek için akım-gerilim ölçüm cihazı tasarlanarak bağlantısı yapılmıştır. Bu cihazlardan elde edilen veriler değerlendirilerek sabit pv pil sistemi ve güneş takipli sistemin verimi belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise verimi yüksek çıkan güneş takip sisteminin korunması ve çalışma ömrünün uzatılmasına yönelik önlemler alınmıştır.

Bu kapsamda tez çalışmasında, meteorolojik hava hadiseleri sınıflandırma tablosuna göre rüzgâr hızı fırtına seviyesi başlangıcı olan 17,2 metre/saniye seviyesine ulaştığında veya dolu yağışı hadisesi meydana geldiğinde güneş panellerinin olası çevresel etmenlerden zarar görmesini önlemek amacıyla güneş panellerinin kapanmasını sağlayan bir kablosuz haberleşme sistemi geliştirilmiştir. Tasarlanan ve prototip olarak üretilen sabit ve güneş takip sistemli mekanizmalar ayrı ayrı aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

3.1. PV Pili Sistemleri ve Bileşenleri

Her dört PV pili sistemi, mekanik olarak bir çizim programı ile PV pili sayısı ve ebatlarına göre tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada dört adet mekanik sistem tasarlanmıştır.

3.1.1. Sabit güneş enerji sistemi tasarımı ve prototipi

Prototipi gerçekleştirilen sabit çok panelli güneş sisteminin gövde tasarımı alüminyum profilden yapılmıştır.



Sekil 3.1. Sabit çok panelli güneş sisteminin gövde tasarımı

Sistemde ayrıca 1 adet 20 W, 2 adet 10 W gücünde paneller bulunmaktadır. Panellerin toplam gücü 40 W'tır. Bu sistemden 0°, 10° ve 33° eğiminde olmak üzere toplam 3 adet yapılmıştır.



Şekil 3.2. Sabit çok panelli güneş sisteminin PV panellerinin monte edilmiş hali

Hem sabit hem de iki eksenli takipli sistemde kullanılan PV güneş panellerinin özellikleri ve yaklaşık maliyetleri gösteren çizelge 3,1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Sistemin kurulması için ihtiyaç duyulan güneş panelleri ve özellikleri

Güneş Paneli Tipi		20W	10W
Maksimum Güç (W)	P_{max}	20	10
Maksimum Güç Gerilimi (V)	V_{mp}	18.3	17.5
Maksimum Güç Akımı (A)	I_{mp}	1.09	0.57
Devre Gerilimi (V) (Açık)	V_{oc}	22.3	22.0
Devre Akımı (A) (Kısa)	I_{sc}	1.19	0.62
Hücre Tipi	Polikristal	Silisyum	Silisyum
Boyutlar	mm	487*350*25 mm	290*350*25mm
Ağırlık	Kg	2.1	1.05
Adet		1	2
Fiyat		125 TL	2x90 TL (180TL)

Güneş panellerinden elde edilen elektriğin depolandığı akülerin ve alüminyum kasanın özellikleri ve yaklaşık maliyetleri çizelge 3.2. ve 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kurulan sistemdeki akü bilgileri

Voltaj	12 V
Kapasite	50 Ah
Boyut	242*175*190 mm
Ağırlık	17 kg
Fiyat	170 TL

Çizelge 3.3. Kullanılan alüminyum profil özellikleri

Sistem ayaklığı	1 adet
Özellik	Alüminyum profil ayak
Ebat	50x60mm
Fiyat	300 TL

Çizelge 3.4. İşçilik ve diğer giderler

İşçilik ve diğer giderler	200 TL
---------------------------	--------

3.1.2. Çift eksenli güneş enerjisi takip sistemi prototipi

Bu sistemde elde edilen enerji verimliliğini artırmak ve panellerin güneşi takip edebilmesi için güneş ışığını algılayan ve panel konumunu güneş ışınına dik gelmesi sağlayan 4 adet LDR kullanılmıştır. Bu LDR in yönlendirmesi ile sistem mekanizması için kullanılan rediktörlü motorlarının aşağı-yukarı ve sağa-sola hareketi sağlanarak güneş ışığının PV pillerine dik gelecek şekilde panel konumları ayarlanmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. İki eksenli çok panelli güneş takip sisteminin gövde tasarımı

Sistem açılır kapanır bir düzenek olarak tasarlanmıştır. Prototipi gerçekleştirilen sistemde 1 adet 20 W, 2 adet 10 W gücünde paneller bulunmaktadır. Panellerin toplam gücü 40 W'tır.

Kullanılan 3 panel birbirine bağlantı elemanları ile montajlanıp 2 adet rediktörlü DC motordan güç alarak birbirinin üzerine kapanıp kendini korumaya alacaktır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Güneş takipli sisteminin PV güneş pillerinin açık ve kapalı hali

İki eksenli güneş takip sisteminde kullanılan PV panellerin özellikleri karşılaştırma yapılabilmesi açısından sabit sistemlerde kullanılan panellerle aynı özelliktedir (Çizelge 3.1.). Güneş takipli sistemin diğer bileşenleri ile ilgili teknik bilgiler ve yaklaşık maliyetleri ise Çizelge 3.5. ve 3.6. 'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Takipli sistemde kullanılan akünün teknik özellikleri

Voltaj	12 V
Kapasite	50 Ah
Boyut	242*175*190 mm
Ağırlık	17 kg
Adet	2 Adet
Birim Fiyat	170 TL (170x2=340TL)

Çizelge 3.6. Takip sistemi için kullanılan motorlar ve özellikleri

Tipi	DC motor (2)
Özelliği	Rediktörlü
Gerilim	12 V
Akım	70 mA
Güç	0.84 W
Fiyat	2x 125 TL (250 TL)

Takipli sistemin diğer kısımlarının özellikleri ve maliyetle ilgili genel bilgilerde çizelge 3.7. ve 3.8. de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Takipli sistemin gövde tasarımında kullanılan alüminyum profil

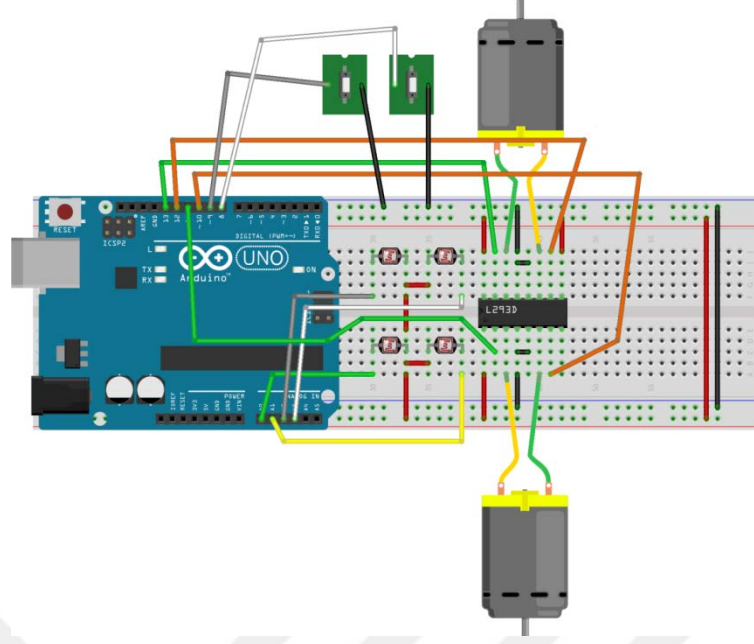
Sistem ayaklığı	1 adet
Ebat	50x60
Özellik	Alüminyum profil ayak
Fiyat	300 Türk Lirası
İşçilik	300 Türk Lirası
Genel Toplam	1225 TL

3.1.2.1. Güneş takipli sistem için kontrol sistemleri

Yapılan bu sistemin kontrolü mikro denetleyici devreler tarafından gerçekleştirilmektedir ve aynı zamanda karar mekanizmasıdır. Bu sayede güneşin konumunu algılamak için kullanılan, algılama elemanları tarafından ulaşılan bilgiler kullanılarak güneşin konumu belirlenir. Güneşin konumu belirlendikten sonra sistemde kullanılan rediktörlü dc motorlarına sürücü devrelerinden sinyaller gönderilir. Bu gönderilen sinyaller rediktörlü dc motorlarını harekete geçirerek pv pillerinin uygun konumu bulması sağlanır.

3.1.2.2. Güneş takipli sisteminin PV pili kontrolü

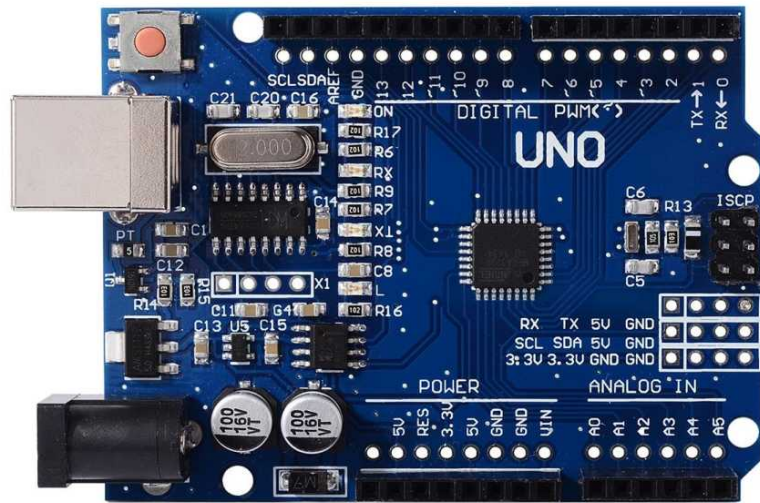
Güneş ışımasını takip ederek, güneş panelinin hareketlerini sağlayan motorlar için ana sürücü kartının tasarımı Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Rediktörlü DC motor sürücü kartı

İki eksenli güneş takip sisteminin panel kontrolü için sürücü kartı bileşenleri Arduino Uno R3, AF motor sürücü, DC motor ile LDR ve bağlantı kablolarında oluşmaktadır. Aşağıda ana sistem elemanları sırasıyla detaylandırılmıştır.

Arduino uno r3; Kısaca mikrodenetleyicilerden oluşan bir karttır. Piyasada en fazla kullanılan kartlardan biridir. Bu sistemde Arduino'nun son sürümü olan Arduino Uno R3 kullanılmıştır. (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Güneş takip sisteminin sürücü kartı

Bu kart üzerinde yaklaşık 14 tane dijital giriş ve çıkış pini bulunur. 14 pinden 6'sı PWM çıkışı olarak kullanılır. Buna ilaveten bir kristal osilatörü (16 MHz), 6 tane analog girişi, power jakı, USB giriş bağlantısı, ICSP başlığı ile reset butonu bulunmaktadır.

Teknik Özellikler

Mikrodenetleyici: ATmega328

Önerilen besleme gerilimi: 7 ile 12 V DC

Çalışma gerilimi: +5 Volt DC

Besleme gerilimi sınırları: 6 - 20 V

Analog giriş pin sayısı: 6 adet

Dijital giriş ve çıkış pinleri sayısı: 14 adet

3,3 Volt pin için akım değeri: 50 mA

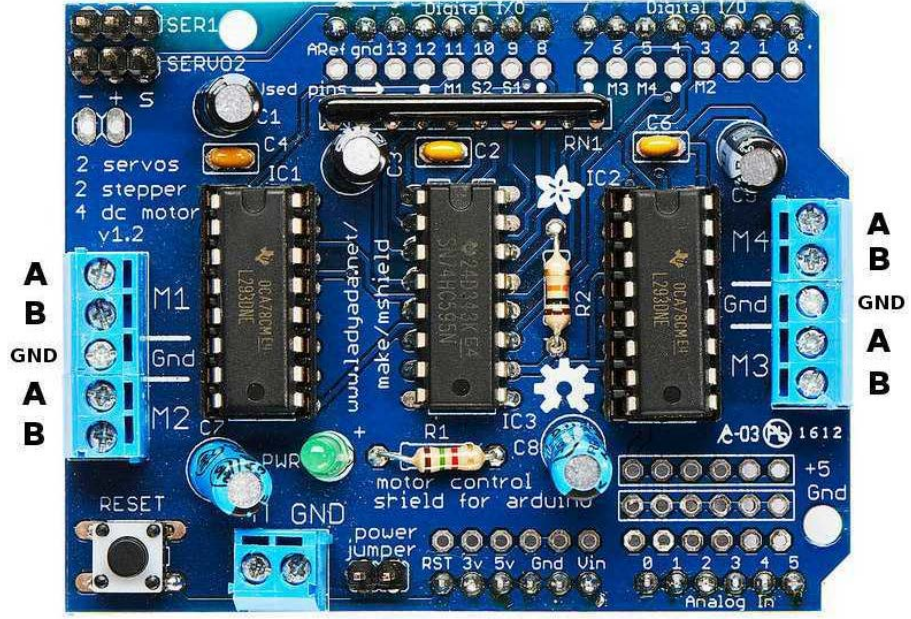
Giriş / çıkış için pin başına düşen DC akım: 40 mA

Flash hafıza: 2 KB: 32 KB SRAM

EEPROM: 1 KB

Saat frekansı: 16 MHz

Af motor sürücü; Arduino üzerine takılan motor Sürücü 4 tane DC motoru, 2 tane step motorunu ve 2 tane servo motorunu kontrol etmemizi sağlar. Üzerinde 2 tane motor sürücü entegresi vardır. 0.6A lik dört farklı DC motoru sürebilir. İlaveten 0.6A lik iki farklı step motoru sürülebilir. Hız ve yön kontrolleri birbirinden bağımsızdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. AF motor sürücü kartı

Rediktörlü DC motor; Düşük devirli, yüksek torklu, 12v. 24v.luk doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elemanlardır. Motorun içindeki sargılara elektrik akımı verildiğinde, motorun içindeki sabit olan mıknatıslara ters yönde meydana gelen manyetik kuvvetin etkisiyle hareket etme ilkesine dayanır. Akımın yönünün, devamlı olarak sabit mıknatısa zıt manyetik bir alan oluşturacak biçimde değiştirilmesi lazımdır. Yapılan değişim, fırçalı DC motorların sarımlarına temas eden fırçalarla, fırçasız olan motorlar ilede elektronik hız kontrol devresi vasıtasıyla yapılır. En çok kullanılan DC motor çeşidi fırçalı DC motorlardır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Rediktörlü DC motor örneği

DC motorun ana mili üzerinde bobinler yer alır. İç kısımlarında ise çok etkili mıknatıslar bulunur. Mil üzerindeki bobinlere fırçalar yardımıyla elektrik akımı uygulanır. Elektrik akımıyla bobinlerde meydana gelen manyetik alan, motorun iç kısmında bulunan mıknatısların meydana getirdiği manyetik alanla sürekli olarak çakışır ve bu çakışmadan dolayı mil hareket eder.

LDR; Direnç ve ışık sensörüdür. LDR direnç değerlerinin değişmesiyle buldukları entegreleden çıkış sağlarlar fakat bu durumu fiziksel olarak bir değişim sonucu oluşmadığından dolayı sensör görevi yapmış olurlar. Aşağıda sistemde kullanılan LDR şekli verilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sistemde kullanılan LDR örneği

LDR nin çalışma mantığı; LDR, ışığa duyarlı bir sensördür. Ldr nin üzerine düşen ışığın şiddeti ile ters orantılı olarak çalışır. Bu durumda ldr üzerine düşen ışığın şiddeti ne kadar artarsa direnç değeri de azalır veya tam tersi olur. Ldr' ler ortam sıcaklığı 60° derecenin üzerine çıktığında yavaş yavaş bozulmaya başlarlar.

3.1.2.3. Hava istasyonu güneş paneli kontrol sistemi

Meteorolojik hava hadiseleri sınıflandırma tablosuna göre rüzgâr hızı fırtına seviyesi başlangıcı olan 17,2 metre/saniye seviyesine ulaştığında veya dolu yağışı hadisesi meydana geldiğinde güneş panellerinin olası çevresel etmenlerden zarar görmesini önlemek amacıyla güneş panellerinin kapanmasını sağlayan bir kablosuz haberleşme sistemi geliştirilmiştir. (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Meteorolojik hava hadiseleri

Rüzgâr şiddet tanımlamaları	
Kuvvetli Rüzgâr	10,8- 17,1 metre/saniye
Fırtına	17,2- 20,7 metre/saniye
Kuvvetli Fırtına	20,8- 24,4 metre/saniye
Tam Fırtına	24,5- 28,4 metre/saniye

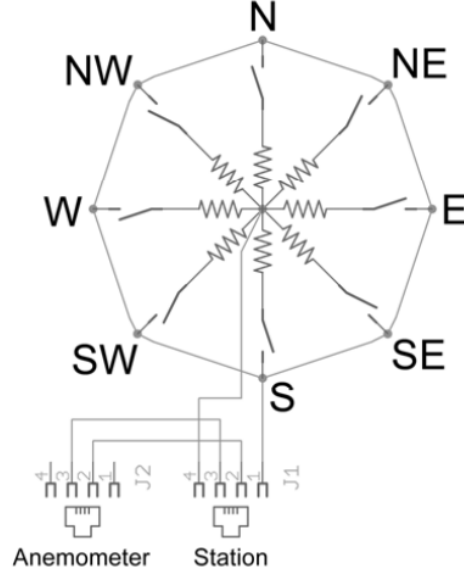
Geliştirilen kablosuz sisteminin verici ünitesi rüzgâr gülü, anemometre, BMP 180 basınç sensörü, DHT22 sıcaklık ve nem sensörü, yağmur sensörü ve nRF24L01 kablosuz haberleşme modülünden oluşmaktadır. Verici sisteminde yer alan sensörlerin çalışma prensipleri aşağıda yer alan başlıklar altında açıklanmıştır.

Rüzgâr gülü sensörü; Rüzgâr gülü sensörleri yapısı itibariyle karmaşık bir sisteme sahip olduğu zannedilebilir. Rüzgâr gülü sensörleri herbiri farklı bir dirence bağlı sekiz adet anahtardan oluşmaktadır. Rüzgâr gülü mıknatısı 2 anahtara yaklaştığında 16 farklı konumun gösterilmesine izin verir. Dış bir direnç aşağıda da görüleceği üzere dijital ve analog dönüştürücü vasıtasıyla ölçülebilecek bir voltaj değeri üretmek için bir voltaj bölücü olarak kullanılabilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Rüzgâr gülü sensörü

Anahtar ve direnç konumlanması aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir. Bütün olası 16 konum için direnç değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Rüzgâr gülü mıknatısı iki anahtarı eş zamanlı olarak aktif hale getirdiğinde, konumlar için direnç değerleri, paralel bağlı iki direncin sonucu diyagramda gösterilmektedir (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Rüzgâr gülü diyagramı

Rüzgârın yönü değıştikçe manyetik anahtarları kapatarak rüzgârın yönünü belirlememize yardımcı olmaktadır. Şekil 3.11. bu işlem için kullanılan manyetik anahtarlama diyagramını vermektedir. Böylece rüzgârın yönüne göre anahtarlama yaparak yön değışimini sağlamaktadır. Bununla ilgili olarak rüzgârın yönüne göre direnç ve gerilim değęerleride çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Rüzgâr gülü yön, direnç ve gerilim tablosu

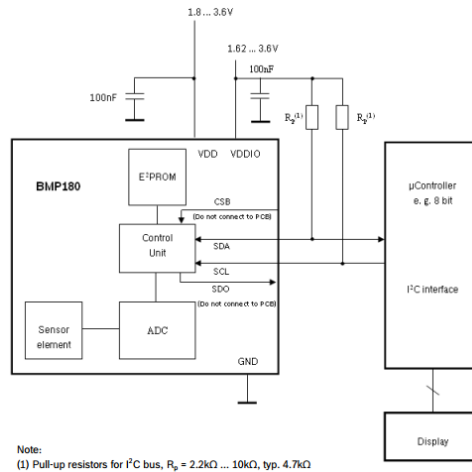
Yön (Pusula Yönü)	Direnç (Ohm)	Gerilim (V=5v, R=10k)
0 derece	33 kiloohm	3.84 volt
22.5 derece	6.57 kiloohm	1.98 volt
45 derece	8.2 kiloohm	2.25 volt
67.5 derece	891 ohm	0.41 volt
90 derece	1 kiloohm	0.45 volt
112.5 derece	688 ohm	0.32 volt
135 derece	2.2 kiloohm	0.90 volt
157.5 derece	1.41 kiloohm	0.62 volt
180 derece	3.9 kiloohm	1.40 volt
202.5 derece	3.14 kiloohm	1.19 volt
225 derece	16 kiloohm	3.08 volt
247.5 derece	14.12 kiloohm	2.93 volt
270 derece	120 kiloohm	4.62 volt
292.5 derece	42.12 kiloohm	4.04 volt
315 derece	64.9 kiloohm	4.33 volt
337.5 derece	21.88 kiloohm	3.43 volt

Anemometre; Taslı tip anemometre mıknatıs hareketinin bir anahtarı kapatması vasıtasıyla rüzgâr hızını ölçer. 2.4 km/h hızına sahip bir rüzgârın bir saniyede bir anahtarın kapatılmasına sebep olur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Anemometre

BMP 180 Basınç Sensörü; BMP180 sensörü bir mobil cihazın mikrodenetleyicisine I2C haberleşme protokolü vasıtasıyla bağlantı kurmak amacıyla tasarlanmıştır. Basınç ve sıcaklık verileri, BMP180'in E2PROM'nun kalibrasyon verisi vasıtasıyla düzenlenmesi gerekmektedir (Şekil 3.13).

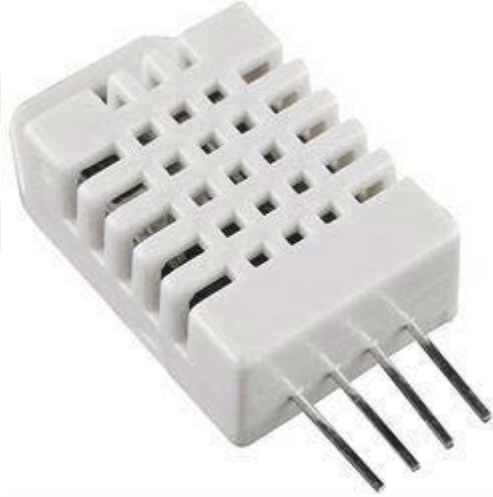


Şekil 3.13. BMP180 devre şeması

DHT22 nem ve sıcaklık sensörü; DHT22 sıcaklık ve nem sensörü doğrulanmış dijital sinyal çıkışı veren bir sıcaklık ve nem ölçüm komponentidir. Yüksek güvenilirlik ve uzun süreli çalışmalarda stabil bir çıkış sağlar. DHT22, üzerinde 8

bitlik mikrodenetleyici bulunmaktadır. Sensör kısa tepki süresine sahiptir. DHT22 Sıcaklık ve Nem Sensörü hassas bir kalibrasyon toleransına sahiptir. Kalibrasyon katsayısı OTP sahip olduğu mikrodenetleyicinin EPPROM’unda kayıtlıdır. Cihaz algılama (sensing) sırasında EPPROM’da kayıtlı olan bu katsayıyı kullanır.

-40 ile 80 C arasında +/-1 C tolerans aralığı ile sühnet ölçen birim, 0-100% RH arasında +/-5% RH tolerans payı ile nem ölçümü gerçekleştirmektedir. Sensör ölçümü esnasında sensörün veri kazanım periyodu sebebiyle 2 saniyelik periyotlarla ölçüm sonuçları elde edilebilmektedir. DHT22, diğer DHT modellerine göre boyut olarak biraz daha büyüktür. Küçük boyutları, düşük enerji gereksinimi ve geniş iletim menzili (100 metre) ile çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca komponentin alt kısmındaki sıralanmış pinler bağlantıyı kolaylaştırır. (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. DHT22 sıcaklık ve nem sensörü

DHT22’nin pinleri V+ besleme, VERİ ve iki adet Ground pini olarak belirlenmiştir. Modül üzerindeki mikrodenetleyici vasıtasıyla sıcaklık ve nem ölçen birim (AM2302) arasında iletişim 1 hatlı veri yolu ile sağlanır. Mikrodenetleyiciye aktarılan veri 16 bitlik bağıl nem, 16 bitlik sühnet ve 8 bitlik kontrol değeri olmak üzere 40 bitten oluşur. AM2302 ile mikrodenetleyici arasında haberleşme, bekleme modundan haberleşme moduna geçme işlemleri ve sayısal ‘0’ sayısal ‘1’ değerleri iletim prosesi zaman-duyarlı süreçlerdir. Bu husus hakkında üretici dokümanları incelenmelidir.

Yağmur sensörü; Yağış sensörü otomatik akış hattına sahip bir yağmur haznesinden oluşmaktadır. 0.2794 mm'lik her bir yağış, bir mikrodenetleyicinin veya bir dijital sayacın kayıtebileceği bir giriş sinyali sağlar. Yağış sensörü RJ11 terminal konnektörü vasıtasıyla hava istasyonu devresine bağlanır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yağmur haznesi

Kablosuz haberleşme sistemi; nRF24L01 uluslararası 2.4 – 2.5 GHz ISM bandı için radyo haberleşme entegresidir. Bu entegre tam bütünleşik frekans sentezleyicisi, bir güç yükseltici, bir demodülatör, bir osilatör, modülatör ve geliştirilmiş ShockBurst™ protokol sürücüsünü kapsamaktadır. Frekans kanalları çıkış gücü ve protokol yüklemesi SPI arayüzü ile programlaması kolaydır. Akım tüketimi çok düşüktür, -6 dBm bir güç çıkışında sadece 9.0 mA ve RX modunda 12.3 mA akım tüketir. Hazır güç kesme ve uyku modu farkedilir güç tasarrufu sağlar. (Şekil3.16).



Şekil 3.16. nRF24L01 kablosuz haberleşme modülü

Hava istasyonu teknik özellikleri

Çalışma Gerilimi: 5V

Sıcaklık Aralığı: -40° ile 80°C arasındadır.

Nem Aralığı: 0 – 99% arasındadır.

Hava İstasyonu Ölçüleri: 20*18*30 CM

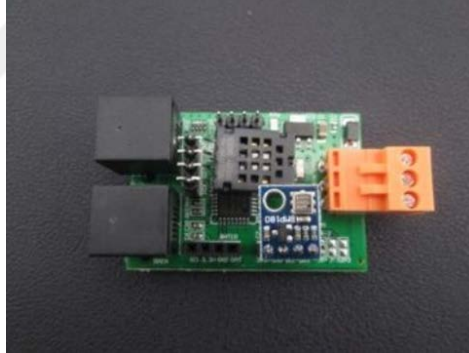
Ağırlık: 4480g

Veri arayüzü; Hava istasyonu sensörlerinden elde edilen rüzgârın hız, rüzgârın yönü, havanın sıcaklığı ve nemi, havanın basıncı ile yağış miktarı verileri veri arayüzü vasıtasıyla seri haberleşme protokolü üzerinden verici mikrodenetleyicisine iletilir (Şekil 3.17).

Veri arayüzü üzerinde iki adet veri portu bulunmaktadır.

Data: 2400bps aralık: 1 saniye

TXD: 9600bps aralık: 1 saniye



Şekil 3.17. Hava istasyonu devresi

Hava istasyonu veri formatı

Hava istasyonu veri arayüzünden elde edilen 37 baytlık verinin formatı aşağıdaki şekildedir.

C000s000g000t086r000p000h53b10020

Veri ayrıştırıcı:

c000 : hava yönü, derece

s000 : hava hızı(1 dakikalık), saatte 0.1 mil

g000 : hava hızı(5 dakikalık), saatte 0.1 mil

t086 : sıcaklık, Fahrenheit

r000 : yağış miktarı (1 saatlik), 0.01 inch
p000 : yağış miktarı (24 saatlik), 0.01 inch
h53 : nem, % (00%= 100)
b10020 : atmosfer basıncı, 0.1 hpa

Hava istasyonu verici sistemi pin bağlantıları aşağıdaki Çizelge 3.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.10. Hava istasyonu verici sistemi nRF24L01 kablosuz haberleşme modülü pin bağlantı tablosu

Hava İstasyonu Devresi	Atmega 328P
Vcc	7
Gnd	8
TX	2
RX	3
nRF24L01 Haberleşme Modülü	Atmega 328P
Vcc	3.3 V
Gnd	Gnd
CS	13
CE	14
MOSI	17
MISO	18
SCK	19

Hava istasyonu devresinde elde edilen 37 baytlık veri dizisi Arduino IDE derleyicisinde geliştirilen algoritma aracılığı ile rüzgâr yönü, ortalama rüzgâr hızı, maksimum rüzgâr hızı, sıcaklık, 1 saatlik yağış miktarı, 24 saatlik yağış miktarı, nem ve atmosfer basıncı verilerini sağlamak için ayrı dizilerde tanımlanarak nRF24L01 kablosuz haberleşme entegresi vasıtasıyla bir dizi seti olarak iletilir. Şekil 3.18.'de hava istasyonu veri devresinin resmi verilmiştir.

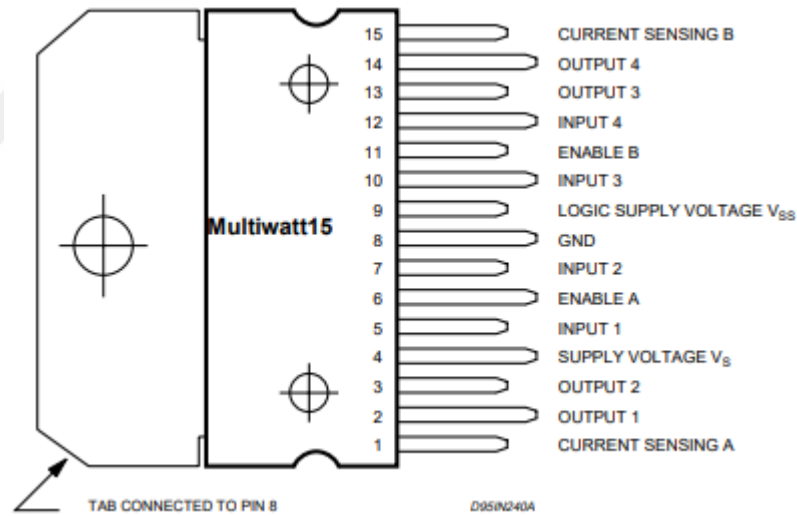


Şekil 3.18. Hava istasyonu veri devresi

3.1.2.4. Hava istasyonu güneş paneli kontrol alıcı tasarımı

Geliştirilen kablosuz hava istasyonu sisteminin verici ünitesi nRF24L01 kablosuz haberleşme modülü, 2 adet L298N motor sürücü devresi, dijital titreşim sensörü, 16x2 LCD ekran ve karakter LCD I2C/IIC dönüştürücü kartından oluşmaktadır. Alıcı sisteminde yer alan sensörlerin çalışma prensipleri aşağıda yer alan başlıklar altında açıklanmıştır.

L298N sürücü devresi; L298 sürücü entegresi genellikle maksimum akım sınırlarını aşan motorların kontrolünü yapmak için kullanılan 15 ayaklı bir sürücü entegredir (Şekil 3.19.). L298 sürücü entegre kullanımında voltaj sınırı yaklaşık 46 V, akım sınırı yaklaşık 2 Amper değerindedir. L298 motor sürücü entegre içerisinde 2 adet H köprüsü bulunmaktadır ve iki motoru bağımsız olarak ve iki yönlü olarak kontrol edebilir.



Şekil 3.19. L298 sürücü entegresi pin bağlantısı

L298 Motor sürücü entegresi üzerinde bulunan pinlere ve bu pinlerin görevleri aşağıda tanımlanmıştır.

- **INPUT 1, 2, 3 ve 4 (5, 7, 10 ve 12. pinler):** INPUT pinleri motorların dönme yönünün kontrolü için mikrodenetleyiciye bağlanır. INPUT 1 ve 2 pinleri 1. Motorun, INPUT 3 ve 4 pinleri ise 2. Motorun kontrolünde kullanılır. Örneğin 1. Motourun kontrolü için, INPUT 1 ini 5 volt, INPUT 2 pini 0 volt yapılır ise motor ileri yönde dönmeye başlar. Eğer INPUT 1 pini 0 volt ve INPUT 2 pini 5 volt

yapılır ise motor geri yönde dönmeye başlar. İki pinin aynı anda 5 volt olması motoru kilitleyerek fren yapmasını sağlar. İki pininde 0 volt düzeyinde olması ise motorun boшта olmasına neden olup kısa süre sonra motorun durmasını sağlar.

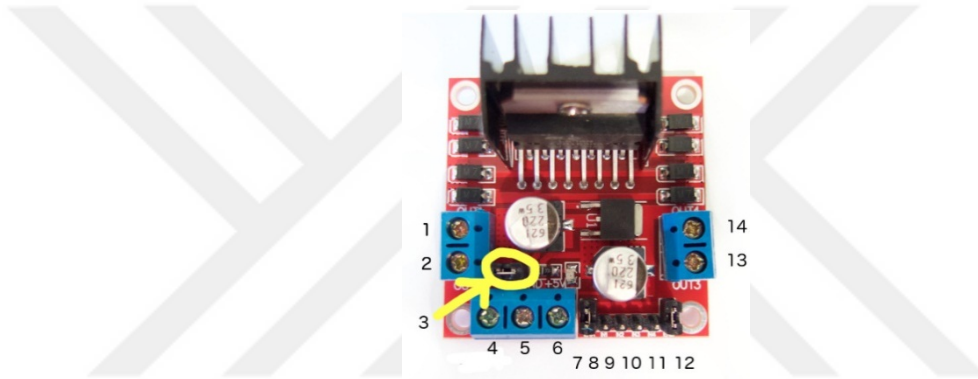
- **OUTPUT 1, 2, 3 ve 4 (2, 3, 13 ve 14. pinler):** Bu pinler motorlara bağlanan pinlerdir. OUTPUT 1 ve 2. Pinler 1. Motora, OUTPUT 3 ve 4.pinler ise 2.motora bağlanır.
- **ENABLE A ve ENABLE B (6. Ve 11. pinler):** Bu iki pin motorların dönüş hızını ayarlamak için kullanılır. Bu yüzden bu pinleri mikrodenetleyicinin Darbe Genlik Modülasyonu - Pulse Width Modulation (PWM) ayaklarına bağlamamız gerekir. PWM sinyalinin görev zamanına göre motorun hızı arttırılabilir veya azaltılabilir. ENABLE A pini 1. Motorun, ENABLE B pini ise 2. Motorun hızını kontrol etmek için kullanılır. Eğer hız kontrolü yapılmayacak ise bu pinler 5 volt hattına bağlanabilir.
- **VSS (LOGIC SUPPLY VOLTAGE – 9. pin):** Mantıksal besleme gerilimi olarak 5 voltluk bir gerilim uygulanır. Devrenin kararsızlığını azaltmak için bu pinle toprak arasına 100 nanofaradlık kondansatör bağlanabilir.
- **GND (8. Pin):** Besleme hattının tamamlayabilmesi için bu pin toprak hattına bağlanır. Ayrıca entegrenin üzerindeki soğutucu demir de GND pinine bağlıdır. Bu metalin devre kurulumunda yanlış pinlere değip kısa devre yapmamasına özen göstermek gerekir.
- **VS (4. pin):** Entegrenin motorlara vereceği enerjiyi aldığı ana besleme hattıdır. Bu hatta bağlanacak enerji kaynağı motorlara verileceği için, motorlarımızın özelliğine göre besleme gerilimi kullanmalıyız. Genellikle bu hatta 7 ile 12 volt arasında besleme kaynakları bağlanmaktadır.

L298N motor sürücü devresi 24 Volt'a kadar olan motorları sürmek için hazırlanmış iki kanala sahip kanal başına 2 Amper akım sağlayan bir motor sürücü kartıdır (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. L298N sürücü devresi

L298N Motor sürücü devresi bağlantıları; bu bağlantılar güneş pillerinin sınır rüzgâr değerinin üzerinde bir rüzgâra maruz kalması durumunda devreye girerek güneş pillerinin kapalı konuma geçmesini sağlamaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. L298N sürücü devresi

1. DC Motor 1 “+” veya stepper motor A+
2. DC motor 1 “-” veya stepper motor A-
3. 12V jumper – Besleme voltajı 12 volt dan daha fazla ise bu jumper ı kaldırın.
4. Motor besleme pini. Maksimum 35 volt DC. 12 voltdan fazla verirseniz 3 teki jumperın sökülmesi gerekir.
5. Gnd – Topraklama bağlantısı
6. 12 volt jumper takılı ise 5 volt çıkış alabilirsiniz.
7. Step motor kullanılırken bu pin kullanılmaz. PWM çıkışı ile 1. DC motorda hız kontrolü yapılabilir.
8. IN1 1. motor yön belirleme pinleri / step motor komutasyon pinleri
9. IN2 1. motor yön belirleme pinleri / step motor komutasyon pinleri
10. IN3 2. motor yön belirleme pinleri / step motor komutasyon pinleri
11. IN4 2. motor yön belirleme pinleri / step motor komutasyon pinleri

12. Step motor kullanılırken bu pin kullanılmaz. PWM çıkışı ile 2. DC motorda hız kontrolü yapılabilir.
13. DC motor 2 “+” veya stepper motor B+
14. DC motor 2 “-“ veya stepper motor B-

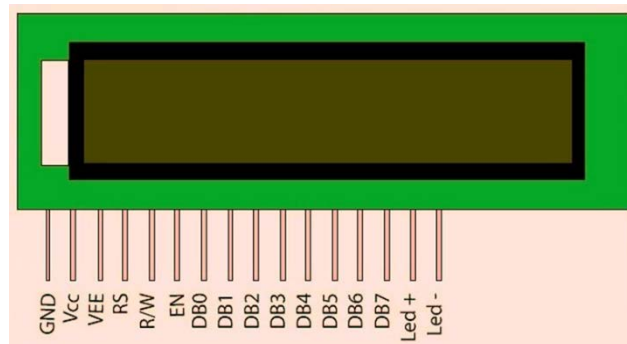
3.1.2.5. Dijital titreşim sensörü

Ortamda (sensörün bağlandığı gövdede) meydana gelebilecek ani hareketlerin algılanmasında kullanılan titreşim sensörleri piezo elektrik malzeme kullanılarak, ya da iletken bir sıvının elektriksel kutuplar içeren bir tüp içindeki hareketi incelenerek yapılabilmektedir. Buna ek olarak sensörlere fazladan bir rezonans kütlesi eklenerek duyarlılığının artırıldığı sensör modüllerinde görülmektedir (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. Dijital titreşim sensörü

LCD Ekran; Sıvının elektrikle kutuplanması ve ışığı tek fazlı olarak geçirmesi ilkesiyle çalışan LCD'ler, sistemin içinde gerçekleşenlerin yazılı ve sayısal olarak gösterilmesini sağlayan görüntüleme teknolojisidir (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. 2x16 LCD ekran

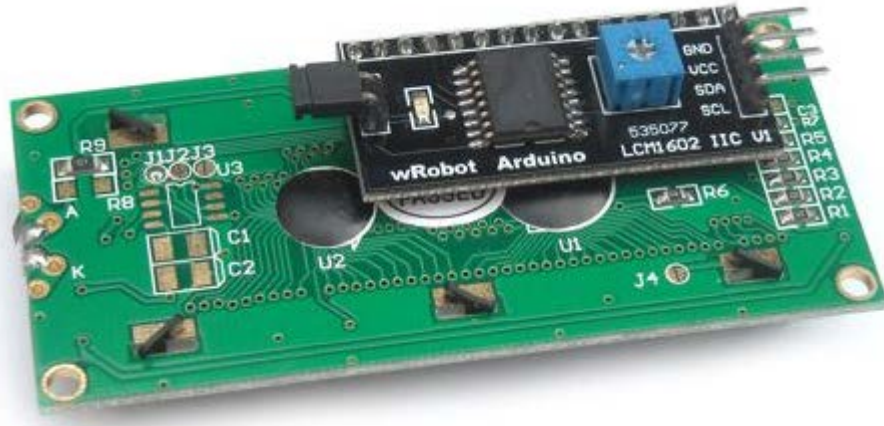
En sık kullanılanı Sıvı kristal ekranlı olanıdır, bunun nedeni enerji tüketimlerinin az olmasıdır. Nokta matrisi mantığına göre çalışan bu elektronik elemanlar, zaman

içerisinde tüplü ekranların yerine geçmiştir. Karakter LCD ekranlar, sadece karakter göstermek için yapılmış ve karakter sayısı kadar özel hücre içeren ekranlardır. Ekrandaki her hücre yatayda 5, düşeyde 8 adet pikselden oluşur. Yukarıdaki şekilde 16x2'lik LCD ekranının pin bağlantı şeması gösterilmiştir.

- Vee: Kontrast pini
- RS: En anlamlı veriden, en anlamsız veriye yorumlama gerçekleştirir. Lojik 0 ise komut olarak, 1 ise veri olarak yorumlanır.
- R/W: Lojik 0 ise veri yaz, 1 ise veri oku.
- EN: Lojik 0 ise LCD'ye erişim normal komutlarla, 1 ise normal çalışma, 1'den 0'a ise veri ve komutlar LCD'ye aktarıldı.
- DBx: 0'dan 7'ye kadar olan DB pinleri, veri/komut pinleridir. Bit0, Bit1, Bit 2, ... ,Bit7 şeklindedir.

LCD karakter seti, Türkçe karakterlere destek vermemektedir ancak bu karakterler LCD belleğine çalışma sırasında yazılabilmektedir.

LCD I2C/IIC dönüştürücü kartı; Bir LCD modülünün çalışması için 9 tanet pin bağlantısı lazımdır. Bu fazla sayıda pinin kullanılmasına ve bağlantılarda soruna yol açabilir. Çözüm olarak I2C protokolü sayesinde LCD ekranınızı enerji pinleri hariç 2 adet pin yardımıyla Scl ve Sda üzerinden sürmektir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 I2C/IIC Dönüştürücü kartı

I2C çok master'lı bir veri yoludur. Çok sayıda veri transferini başlatabilme özelliğindeki entegre devre, veriyoluna bağlanabilir. Bu sebeple veri transferini başlatan entegre devre Bus-Master durumunda gelecektir, veri yolundaki farklı IC'ler de Bus -Slave durumunda olacaktır.

Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi, kablosuz haberleşme sistemi, LCD ekran, titreşim sensörü ve sağ-sol DC motor sürücü pin bağlantıları çizelge 3.11., 12, 13, 14, 15 ve 16.'da verilmiştir.

Çizelge 3.11. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi pin bağlantıları

Atmega2560	nRF24101
3.3 V	Vcc
Gnd	Gnd
53	CE
48	CSN
52	SCK
51	MOSI
50	MISO

Çizelge 3.12. Hava İstasyonu güneş paneli alıcı sistemi nRF24L01 kablosuz haberleşme modülü pin bağlantı tablosu

Atmega2560	LCD 2X16
Gnd	Gnd
5V	Vcc
20	SDA
21	SCL

Çizelge 3.13. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi 2x16 lcd ekran pin bağlantı tablosu

Atmega2560	Digital Vibration Sensor
30	Signal
5V	Vcc
Gnd	Gnd

Çizelge 3.14. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi dijital titreşim sensörü pin bağlantı tablosu

Atmega2560	L298N
9	ENB
4	N4
5	N3
Gnd	Gnd
Akü	L298N
+	12V
-	Gnd
DC Motor	L298N
Kırmızı	OUT4
Beyaz	OUT3

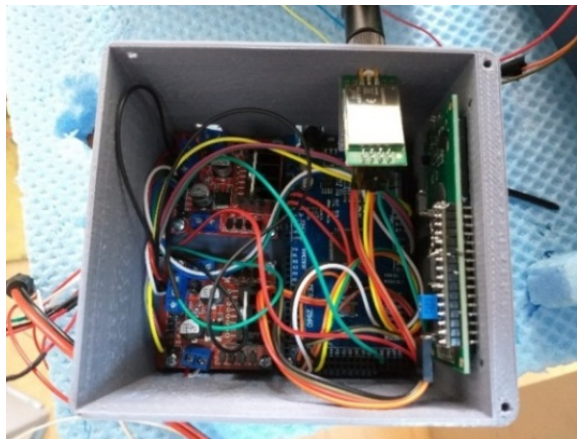
Çizelge 3.15. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi sağ dc motor sürücü pin bağlantı tablosu

Atmega2560	L298N
10	ENA
7	N1
6	N2
Gnd	Gnd
Akü	L298N
+	12V
-	Gnd
DC Motor	L298N
Kırmızı	OUT1
Beyaz	OUT2

Çizelge 3.16. Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi sol dc motor sürücü pin bağlantı tablosu

Atmega2560	L298N
10	ENA
7	N1
6	N2
Gnd	Gnd
Akü	L298N
+	12V
-	Gnd
DC Motor	L298N
Kırmızı	OUT1
Beyaz	OUT2

Şekil 3.25'te hava istasyonu güneş pili alıcı sisteminin devresi verilmiştir.



Şekil 3.25 Hava istasyonu güneş pili alıcı sistemi devresi

Hava istasyonu güneş paneli alıcı sistemi devresi için Arduino IDE derleyicisinde Ek-2'de belirtilen algorithmada hava istasyonu verici devresinden gönderilen dizi setini çözümleyerek maksimum hava hızı verisi fırtına seviyesi olarak belirlenen 17.2

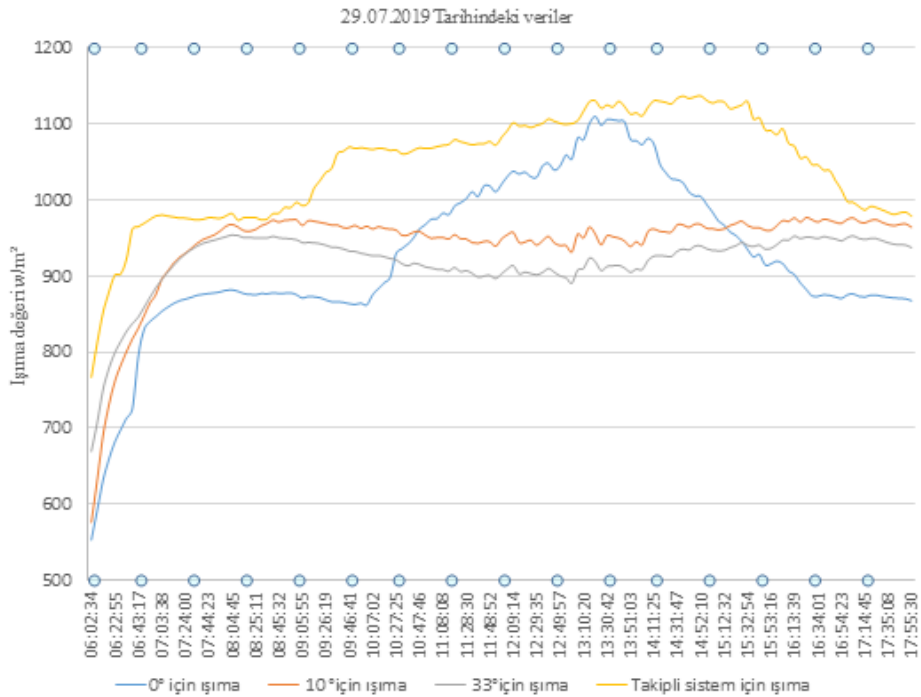
metre/saniye seviyesini geçtiğinde veya dolu hadisesi meydana geldiğinde güneş paneli sistemine bağlı olan 2 adet DC motorun sürülmesi için PWM aracılığıyla L298N DC motor sürücülerine komut gönderilerek panellerin kapanması ve tehlikeli hava hadisesi durumunun sonlanması sonrasında güneş panellerinin eski konumunu alması sağlanır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

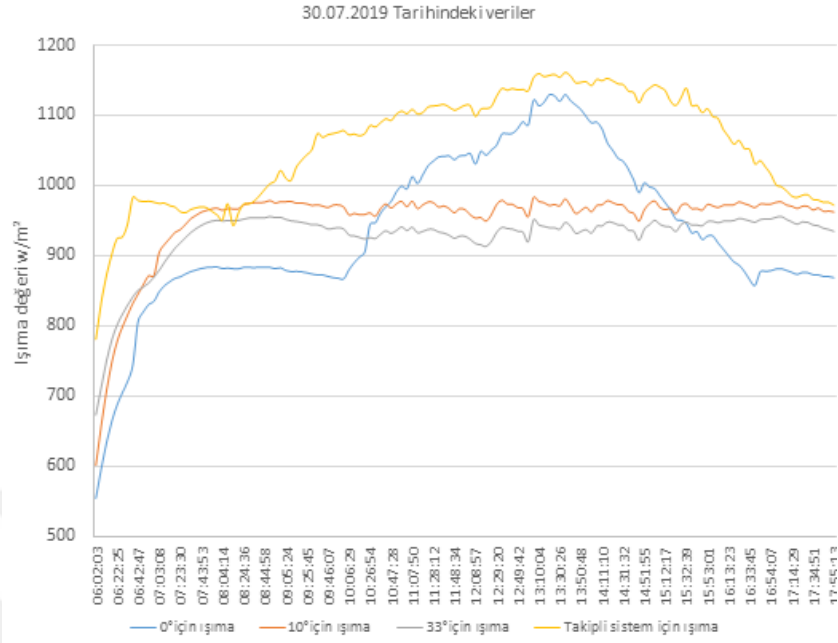
Bu çalışmada Isparta ili için sabit ve takipli güneş pillerden elde edilen ışımaya değerleri Temmuz ayında elde edilmiştir. Elde edilen verilerde bu ay için geçerlidir. Yapılan ölçümler prototipi tamamlanan 0°,10°, 33° eğimli sabit sistemlerle güneş takip sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve 29, 30, 31 Temmuz 2019 tarihlerinde veri alma işlemi gün boyu devam etmiştir. Güneş takip sistemi ile 0°, 10°, 33° eğimli sabit sistemlerin prototipleri ile Haziran ayı içerisinde sahada ön testler yapılmıştır. Yapılan bu testler iki eksenli güneş takip sisteminin çevresel faktörlerden (şiddetli rüzgâr, dolu, fırtına vb.) korunmasına yönelik yapılan çalışmanın kontrolüne yöneliktir. Haziran ayının şiddetli yağmurlu ve zaman zaman dolu yağışlı olması, sistemin korunmasına yönelik yapılan çalışmanın ne kadar yerinde bir fikir olduğu sahada görülmüştür. Bu kötü hava şartlarında hava istasyonu devreye girerek sistemi oluşturan PV pillerinin kapanmasını sağlamıştır.

29, 30, 31 Temmuz 2019 tarihlerinde yapılan veri alma işlemleri sonucunda ise kurulu dört sisteminde akım–gerilim değerleri alınarak, ışımaya değerleri hesaplanıp aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.1’de 29 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışımaya verilerinin grafik hali gösterilmiştir.



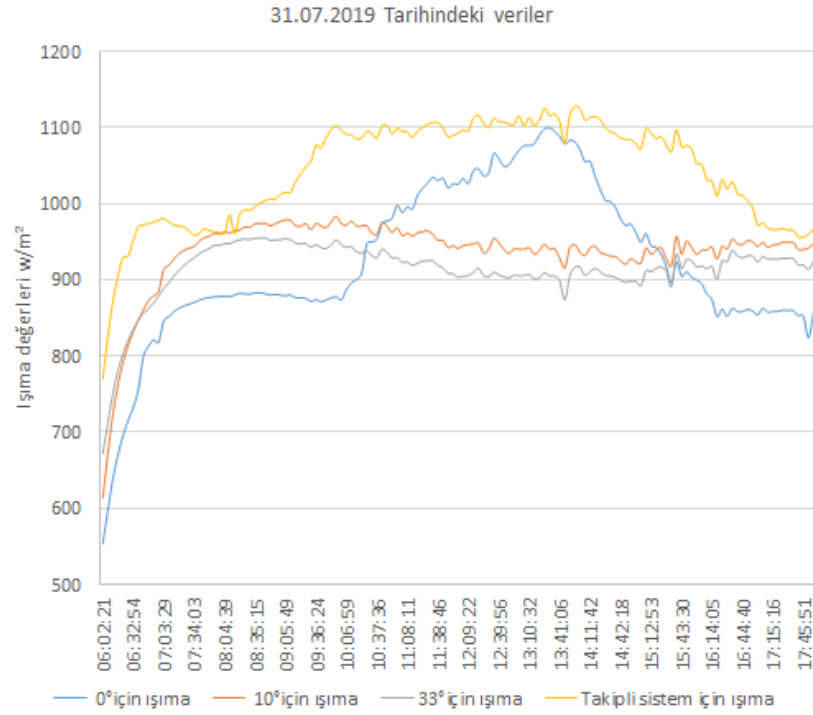
Şekil 4.1. 29 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışımaya verileri

Şekil 4.2’de 30 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışıma verilerinin grafik hali gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 30 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışıma verileri

Şekil 4.3’te 31 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışıma verilerinin grafik hali gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 31 Temmuz 2019 tarihlerinde elde edilen ışıma verileri

Elde edilen bu veriler ışığında Isparta ili için yıllık bazda en iyi PV pili eğim açısı;

$$S = \text{enlem} \times 0,9 \quad (4.1)$$

Denklemden hesaplanarak yaklaşık 33° bulunmuştur. Bu eğim açısı referans alınarak, diğer açıların (0° ve 10°) ve güneş takipli sistemin verimlilikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu verimliliklerin değerleri, ölçüm yapılan her gün için ayrı ayrı çizelge 4.1., 4.2. ve 4.3'de verilmiş, ayrıca şekil 4.4'de grafik halde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. 29.07.2019 tarihi için verim değerleri

29.07.2019 tarihi için verim değerleri			
0 ° Verimi	10 ° Verimi	33 ° Verimi	Takipli sistem verimi
13,98577206	4,214602426	Referans	21,21288564

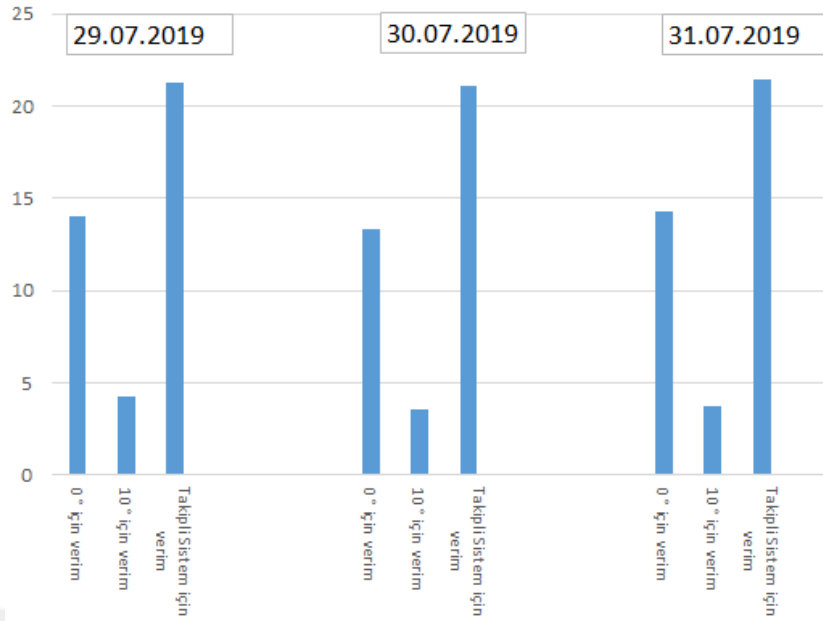
Çizelge 4.2. 30.07.2019 tarihi için verim değerleri

30.07.2019 tarihi için verim değerleri			
0 ° Verimi	10 ° Verimi	33 ° Verimi	Takipli sistem verimi
13,28649641	3,568152851	Referans	21,04226677

Çizelge 4.3. 31.07.2019 tarihi için verim değerleri

31.07.2019 tarihi için verim değerleri			
0 ° Verimi	10 ° Verimi	33 ° Verimi	Takipli sistem verimi
14,27862726	3,700659024	Referans	21,4050371

Bu verilere göre; Isparta ili için yıllık optimum verim için hesaplanan referans 33° PV pili eğim açısına göre verimlilik karşılaştırması yapılmıştır. Temmuz ayında alınan 3 günlük verilerde genel olarak takipli sistemin sabit PV pillerine göre daha yüksek ışımaya değerlerine ulaştığı görülmektedir. GEPA verilerine göre Isparta ili için yılın en çok ışımaya alan ayı Temmuz ayı olduğundan ve güneş ışınlarının daha dik gelmesinden dolayı takipli sistemin ardından 0° 'ye sahip PV pilleri bu ay için en yüksek değeri vermiştir. Ardından da sırasıyla 10° ve 33° PV pilleri gelmektedir. Yılın diğer aylarında, sabit açılı PV pillerin verimlilik sıralaması değişecektir. Genel olarak tüm şehirler için optimum eğim açısı mevsimsel bazda Ocak ayında 50°



Şekil 4.4 Sabit ve takipli sistemlerin verim karşılaştırması

60°'den yaz aylarında (Haziran-Temmuz) doğru 10-15°'lere daha düşmektedir. Ağustos ayından sonra tekrar azalarak Kasım-Aralık aylarında 55-60° derecelere çıkmaktadır (Çağlar, 2018). Bu çalışmada öncelikli olarak güneş takipli ve olumsuz çevre şartlarına karşı korumalı bir PV pili sisteminin tasarımı ve imalatı öncelendiğinden diğer aylar için veri alınmamış, sadece sistemin verimlilik karşılaştırması için örnek olarak Temmuz ayında 3 tam gün için veri yeterli görülmüştür. Alınan sonuçlar bu konuda yapılmış literatür ışığında genel olarak değerlendirilmiştir.

Buna göre sonbahar (Eylül-Ekim-Kasım) ve kış aylarında (Aralık-Ocak-Şubat) deklinasyon açısı daha düşük olacağından 33° açılı PV pili 10°'den daha yüksek çıkacak, ilkbahar aylarında (Mart-Nisan-Mayıs) ise deklinasyon açısı biraz daha büyük değerlere sahip olacağından 10° açılı PV pili 33° açılıya göre daha verimli olacaktır. Ancak takipli sistem Temmuz ayında olduğu gibi diğer aylarda da tüm sabit açılı PV pillerden daha verimli olacaktır. Çünkü değişen deklinasyon açısına göre PV pilinin eğim açısını ışımayı dik olarak alacağı konuma getirmektedir. Ancak aylara göre takipli sistemin sabit sistemlere göre verimliliği değişebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yapılan çalışmada tasarımı ve prototipi tamamlanan, toplam gücü 40w olan sabit pv pili sistemleri ile iki eksenli güneş takip sistemi prototipleri hazırlanarak veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada 0°, 10°, 33° ve iki eksenli güneş takip sistemi olmak üzere dört adet PV pili sistemi tasarlanmıştır.

Yapılan bu sistemlerden elde edilen veriler ışığında Isparta ili ve 2019 yılı Temmuz ayı için, optimum yıllık 33° eğimli PV pili referans alınarak, iki eksenli güneş takip sistemi yaklaşık % 21 daha fazla verimli olduğu görülmüştür. Bu verim değerinin yılın diğer aylarında özellikle sonbahar ve kış aylarında daha yüksek değerlerde seyredeceği literatür ışığında öngörülmektedir.

Takipli sistemin kurulum maliyetinin (hava istasyonu hariç) sabit sisteme göre %25-30 daha fazla olduğu dikkate alındığında, yılın diğer aylarındaki verimin daha yüksek olacağı da düşünülerek 1,5-2 yılda kendini amorti edeceği düşünülmektedir.

Aynı zamanda iki eksenli güneş takip sisteminin korunmasına yönelik yapılan çalışmayla kurulu sistemlerin çalışma ömrünün uzatıldığı, bakım ve hasar maliyetlerinin minimize edildiği ve uzun vadede daha ekonomik hale geldiği söylenebilir.

Sonuç olarak; Güneş enerjisinden daha fazla yararlanarak elde edilen güneş enerjisi verimini arttırmak için iki eksenli güneş takip sistemlerinin yaygınlaştırılması ve bu sistemlerin teşvik edilmesi gerekmektedir. Kurulacak sistemler her ne kadar kurulum maliyetini arttırsada uzun vade de sistemi daha ekonomik hale getireceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, S. Nijmeh, S. (2004). Two Axes Sun Tracking System With PLC Control, Energy Conversion and Management, 45 1931-1934.
- Addoweesh, K.E., Shepherd, W. Hulley, L. N. (1989). Induction Motor Speed Control Using a Microprocessor-Based PWM Inverter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 36, 4, 516-522.
- Anonim, 2016.
<http://www.picproje.org/main/modules.php?name=News&file=article&sid=47>, Akü
Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar, (Son erişim tarihi:22 Aralık 2016)
- Anonim, 2019.
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?sf=webpages&b=gunes&bn=233&hn=12&nm=384&id>, (Son erişim tarihi: 16 Nisan 2019)
- Anonim, 2019. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Son erişim tarihi: 16 Nisan 2019).
- Beyoğlu, M. F. (2011). *Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli Pv Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bedeloğlu, A.Ç. (2009). *Fotovoltaik etki oluşturan lif geliştirilmesi (Development of fibres with photovoltaic effects)*. (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Canan, F. (2003). *Mimaride Fotovoltaik Panel Uygulamaları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/330, 43-52.
- Irina, T., & Cătălin, A., (2010). Study on the trackig mechanigmis of the photovoltaic modules. *ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY Fascicle of management and technological Engineering*, 9, 59-66. doi:10.15660/AUOFMTE.2010-1.1771.
- Chowdhury, K.I., Iftexhar-ul-Alam, M., Bakshi, P.S. (2017). *Performance Comparison Between Fixed Panel, Single-axis and Dual-axis Sun Tracking Solar Panel System*, (Bachelor Science Thesis, Brac Unv. Elect.-Electro. Eng)
- Çağlar, A., (2018). Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bil. Ens. Dergisi*, 22, 2, 849-854.
- Çengel, Y.A., (2003). *Dünyada ve Türkiye' de Jeotermal Rüzgâr ve Diğer Yenilenebilir Enerjilerin Kullanımı*, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E//330, 1-14.

- Dalbaz, A., (1997). *700 VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Duarte, F., Gaspar, P., & Goncalves, L., (2010). *Two Axis Solar Tracker Based on Solar maps Controlled by a low-Power Micro Controller*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (icrepq'10), 301-350.
- Eke, R., & Sentürk, A., (2012). Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system, *Solar Energy*, 86, 2665-2672.
- Hassan, F.A. (2011). *Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sistemi Tasarımı Ve Kurulumu*, (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- İçli, S. & Çubukçu, M. 2007. Turkey: PV Technology status and prospects, I.E.A - PVPS Annual Report 2007, 101-103.
- Karamanav, M. (2007). *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*, (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kızılyalı, H.M. (1986). *Hidrojenlenmiş Amorf Silisyum Güneş Pillerinde Son Gelişmeler*, Elektrik Mühendisliği III. Ulusal Kongresi, Ankara, 43-45.
- Kulaksız, A.A., (2001). *Güneş Panelinden Sağlanan Elektrik Enerjisinin Güç Elektroniği Sistemleriyle Kontrolü*, (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Muntasser, M.A., Bara, M.F., Quadri, H.A., El-Tarabelsi, R., & La-Azabi, I.F., (2000). Fotovoltaic Marketingn Developing Ccounties, *Applied Energy*, 65, 1, 67-72.
- Moradi, H., Abtahi A., & Messenger R., (2016). *Annual Performance Comparison Between Tracking and Fixed Photovoltaic Arrays*, IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC).
- Öztürk, A., Alkan S., Hasırcı, U., & Tosun, S., (2016). Experimental performance comparison of a 2-axis sun tracking system with fixed system under the climatic conditions of Düzce, Turkey, *Türk J. Elec Eng & Comp Sci.*, 24, 4383-4390.
- Perdahçı, C. (1996). *Güneş Pili Verimleri ve Ekonomik Analizi*, (Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Sarıtaş M., Aydemir, T.M., & Dalbaz, A., (2002). 700 VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 17, 33-42.
- Simard, R., Cheriti, A., Meynard, T.A., & Al- Haddad, K., (1991). An Eprom-Based PWM Modulator For a Three- Phase Soft Commutated Inverter, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 38, 1, 79-81.

Tang, R., & Wu, T., (2004). Optimal Tilt Angles For Solar Collectors Used in China, *Applied Energy*, 79, 239-248.

Vadivel, S., Bhuvaneswari, G., & Sridhara, G., (1991). A Unified Approach to the Real-Time Implementation of Microprocessor-Based PWM Waveforms, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 6, 4 565-575.

Yılmaz, M., (2017). İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğın Arttırılması, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7, 1/2, 56-62.



EKLER

EK A. Hava İstasyonu Verici Devresi Arduino IDE Kodları

EK B. Hava İstasyonu Güneş Paneli Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları

EK C. Güneş Takip Sistemi Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları



EK A. Hava İstasyonu Verici Devresi Arduino IDE Kodları

```
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>

RF24 radio(7,8);

struct dataStruct
{
  int rf_winddirection;
  float rf_windspeedaverage;
  float rf_windspeedmax;
  float rf_temperature;
  float rf_rainfallonehour;
  float rf_rainfalloneday;
  int rf_humidity;
  float rf_barpressure;
  int * counter;
} myData;

char databuffer[35];
double temp;
const int dataPoints = 7;
double sensorData[dataPoints];
byte msgSensor = (dataPoints + 1) * sizeof(double);
void getBuffer() // Hava Durumu Verisinin
Alınması
{
  int index;
  for (index = 0; index < 35; index++)
  {
    if(Serial.available())
    {
      databuffer[index] = Serial.read();
      if (databuffer[0] != 'c')
      {
        index = -1;
      }
    }
    else
    {
      index--;
    }
  }
}

int transCharToInt(char *_buffer,int _start,int _stop)
// veri tipinin char'dan integer'a dönüştürülmesi
{
  int _index;
```

```

int result = 0;
int num = _stop - _start + 1;
int _temp[num];
for (_index = _start;_index <= _stop;_index ++)
{
    _temp[_index - _start] = _buffer[_index] - '0';
    result = 10*result + _temp[_index - _start];
}
return result;
}

int WindDirection()                                //Rüzgâr Yönü
{
    return transCharToInt(databuffer,1,3);
}

float WindSpeedAverage()                          // Rüzgâr Hızı (1 dakikalık)
{
    temp = 0.44704 * transCharToInt(databuffer,5,7);
    return temp;
}

float WindSpeedMax()                              //Maksimum Rüzgâr Hızı (5 dakikalık)
{
    temp = 0.44704 * transCharToInt(databuffer,9,11);
    return temp;
}

float Temperature()                              // Sıcaklık ("C")
{
    temp = (transCharToInt(databuffer,13,15) - 32.00) * 5.00 / 9.00;
    return temp;
}

float RainfallOneHour()                          // Yağış Miktarı (1 saatlik)
{
    temp = transCharToInt(databuffer,17,19) * 25.40 * 0.01;
    return temp;
}

float RainfallOneDay()                          // Yağış Miktarı (24 saatlik)
{
    temp = transCharToInt(databuffer,21,23) * 25.40 * 0.01;
    return temp;
}

int Humidity()                                    //Nem
{
    return transCharToInt(databuffer,25,26);
}

```

```

float BarPressure()                                //Atmosferik Basınç
{
    temp = transCharToInt(databuffer,28,32);
    return temp / 10.00;
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    radio.begin();
    radio.openWritingPipe(0x8675309abc11);
}
void loop()
{
    getBuffer();
    Serial.print("Wind Direction: ");
    Serial.print(WindDirection());
    Serial.println(" ");
    myData.rf_winddirection = (int) WindDirection();
    Serial.print("Average Wind Speed (One Minute): ");
    Serial.print(WindSpeedAverage());
    Serial.println("m/s ");
    myData.rf_windspeedaverage = (double) WindSpeedAverage();
    Serial.print("Max Wind Speed (Five Minutes): ");
    Serial.print(WindSpeedMax());
    Serial.println("m/s");
    myData.rf_windspeedmax = (double) WindSpeedMax();
    Serial.print("Rain Fall (One Hour): ");
    Serial.print(RainfallOneHour());
    Serial.println("mm ");
    myData.rf_rainfallonehour = (double) RainfallOneHour();
    Serial.print("Rain Fall (24 Hour): ");

```

```
Serial.print(RainfallOneDay());
Serial.println("mm");
myData.rf_rainfalloneday = (double) RainfallOneDay();
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(Temperature());
Serial.println("C ");
myData.rf_temperature = (double) Temperature();
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(Humidity());
Serial.println("% ");
myData.rf_humidity = (int) Humidity();
Serial.print("Barometric Pressure: ");
Serial.print(BarPressure());
Serial.println("hPa");
Serial.println("");
myData.rf_barpressure = (double) BarPressure();

radio.write( &myData, sizeof(myData));

*myData.counter = *myData.counter++;
delay(2000);
}
```


EK B. Hava İstasyonu Güneş Paneli Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları

```
#define SensorINPUT 30
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
RF24 radio(53,48);
const int in1 = 7;
const int in2 = 6;
const int in3 = 5;
const int in4 = 4;
const int e1=9;
const int e2=10;
unsigned char state = 0;
int sayac = 0;

struct dataStruct
{
    int rf_winddirection;
    float rf_windspeedaverage;
    float rf_windspeedmax;
    float rf_temperature;
    float rf_rainfallonehour;
    float rf_rainfalloneday;
    int rf_humidity;
    float rf_barpressure;
    int counter;
} myData;

void setup()
{
    lcd.begin();
```

```

lcd.backlight();
Serial.begin(9600);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Weather Station Data");
radio.begin();
radio.openReadingPipe(1, 0x8675309abc11);
radio.startListening();
pinMode(in1, OUTPUT);
pinMode(in2, OUTPUT);
pinMode(in3, OUTPUT);
pinMode(in4, OUTPUT);
pinMode(e1, OUTPUT);
pinMode(e2, OUTPUT);
pinMode(SensorINPUT, INPUT);
attachInterrupt(1, blink, FALLING);
}
void loop()
{
  Serial.println("\n");
  lcd.clear();
  radio.read(&myData, sizeof(myData));
  Serial.print("Wind Direction: ");
  Serial.print(myData.rf_winddirection);
  Serial.println(" ");

  Serial.print("Average Wind Speed (One Minute): ");
  Serial.print(myData.rf_windspeedaverage);
  Serial.println("m/s ");

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Max Wind Speed:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(myData.rf_windspeedmax);
  lcd.setCursor(5,1);

```

```
lcd.print("m/s");
```

```
Serial.print("Rain Fall (One Hour): ");  
Serial.print(myData.rf_rainfallonehour);  
Serial.println("mm ");
```

```
Serial.print("Rain Fall (24 Hour): ");  
Serial.print(myData.rf_rainfalloneday);  
Serial.println("mm");
```

```
Serial.print("Temperature: ");  
Serial.print(myData.rf_temperature);  
Serial.println("C ");
```

```
Serial.print("Humidity: ");  
Serial.print(myData.rf_humidity);  
Serial.println("% ");
```

```
Serial.print("Barometric Pressure: ");  
Serial.print(myData.rf_barpressure);  
Serial.println("hPa");  
Serial.println("");
```

```
if(myData.rf_temperature==0 && myData.rf_barpressure==0)  
{  
  analogWrite(e1, 255);  
  analogWrite(e2, 255);  
  digitalWrite(in1, LOW);  
  digitalWrite(in2, LOW);  
  digitalWrite(in3, LOW);  
  digitalWrite(in4, LOW);  
}  
else  
{
```

```

if((state!=0 || myData.rf_windspeedmax> 17.2) && sayac==0 )
{
analogWrite(e1, 255);
analogWrite(e2, 255);
digitalWrite(in1, HIGH);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, HIGH);
sayac = sayac + 1;
delay(5000) ;
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
delay(5000);
}
if((state==0 && myData.rf_windspeedmax< 17.2) && sayac==1)
{
analogWrite(e1, 255);
analogWrite(e2, 255);
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, HIGH);
digitalWrite(in3, HIGH);
digitalWrite(in4, LOW);
sayac = sayac - 1;
delay(5000) ; // Sola 1 tam tur attıktan sonra 1 saniye bekle
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
delay(5000);
}
}
delay(2000);

```

```
}  
void blink()//Interrupts function  
{  
    state++;  
}
```



EK C. Güneş Takip Sistemi Kontrol Alıcı Devresi Arduino IDE Kodları

```
#include <AFMotor.h>

AF_DCMotor xmotor(1); //büyük motor

AF_DCMotor ymotor(4); // küçük motor

int swt1 = 11;

int swt2 = 10;

int ldr1t = 0; //LDR sol üst

int ldr1r = 1; //LDR sağ üst

int ldr1d = 2; //LDR sol alt

int ldr1s = 3; //LDR sağ alt

void setup()

{

  Serial.begin(9600);

  pinMode(ldr1t, INPUT);

  pinMode(ldr1d, INPUT);

  pinMode(ldr1s, INPUT);

  pinMode(ldr1r, INPUT);

  pinMode(swt1, INPUT_PULLUP);

  pinMode(swt2, INPUT_PULLUP);
```

```

xmotor.setSpeed(200);

ymotor.setSpeed(200);

xmotor.run(RELEASE);//dur

ymotor.run(RELEASE);//dur

}

void loop()

{
int lt = analogRead(ldr1t); // sol üst
int rt = analogRead(ldr1r); // sağ üst
int ld = analogRead(ldr1d); // sol alt
int rd = analogRead(ldr1r); // sağ alt
int swt1d = digitalRead(swt1);

int swt2d = digitalRead(swt2);

// int dtime = analogRead(4)/20;

// int tol = analogRead(5)/4;

int dtime = 10;

int tol = 50;

int avt = (lt + rt) / 2; // üst bölge
int avd = (ld + rd) / 2; // alt bölge
int avl = (lt + ld) / 2; // sol bölge
int avr = (rt + rd) / 2; // sağ bölge

```

```
int dvert = avt - avd; // dikey ortalama

int dhoriz = avl - avr; // yatay

/*

Serial.print(lt);

Serial.print(" ");

Serial.print(rt);

Serial.print(" ");

Serial.print(ld);

Serial.print(" ");

Serial.print(rd);

Serial.print(" ");

Serial.print(dtime);

Serial.print(" ");

Serial.print(tol);

Serial.println(" "); */

Serial.print(swt1d); Serial.print(" "); Serial.println(swt2d);

if (avl > ( avr + tol )) //sola git

{

    ymotor.run(FORWARD); //ileri

}
```



```
if (avr > ( avl + tol )) // sağa git
```

```
{
```

```
ymotor.run(BACKWARD);//geri
```

```
}
```

```
if (swt2d == LOW) {
```

```
if (avt > ( avd + tol )) //yukarıya git
```

```
{
```

```
xmotor.run(FORWARD);//yukarı
```

```
}
```

```
}
```

```
if (swt1d == LOW) {
```

```
if (avd > ( avt + tol )) // aşığıya git
```

```
{
```

```
xmotor.run(BACKWARD);//aşığı
```

```
}
```

```
}
```

```
if (avl == avr || avt == avd ) {
```

```
delay(150);
```

```
}}
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurettin AYDOĞDU

Doğum Yeri ve Yılı : Şenyurt, 1962

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nurettinaydogdu@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Gaziantep Mehmet Rüştü Üzel Endüstri Meslek Lisesi, 1981

Lisans : Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi 1989

Mesleki Deneyim

Zafer Makina 1989-1991

MEB 1991-1999

SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi 1999-..... (halen)

Yayınlar

Kayacan, M.C., Çelik, Ş.A., Aydoğdu, N. Şubat-2010. Autocad 2010 Bilgisayar Destekli Tasarım. Ofis Yayın ve Matbaa ISBN:978-605-88821-0-2

Döndüren, H.V., Aydogdu, N. Temmuz-2006. Uygulamalı Tasarı Geometri I. Tuğra Matbaacılık ISBN:975-9944-549-0-X

Kayacan, M.C., Çelik, Ş.A., Aydoğdu, N. Eylül-2002. Autocad 2002 Bilgisayar Destekli Tasarım. Bayrak Matbaacılık ISBN:975-96188-1-8