

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vii
SEMBOL LİSTESİ .....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	1
GİRİŞ.....	2
<b>BÖLÜM 1</b>	
1 GÜNEŞ.....	4
1.1 Güneş Enerjisi .....	4
1.2 Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	6
<b>BÖLÜM 2</b>	
2 GÜNEŞ PİLİ.....	10
2.2 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajları .....	11
2.3 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajları.....	11
2.4 Güneş Pili Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Olarak Kullanıldığı Tipik Uygulama Alanları.....	12
2.5 Güneş Pili Çeşitleri.....	12
2.5.1 Tek Kristalli Silikon İçeren PV Hücreleri .....	13
2.5.2 Çok Kristalli Silikon İçeren PV Hücreleri.....	13
2.5.3 Galyum Arsenit İçeren PV Hücreler .....	13
2.5.4 İnce Film Şeklindeki PV Üniteleri.....	13
2.5.5 Amorf Silikon (a-Si).....	13
2.5.6 Kadmiyum Tellür (CdTe).....	14
2.5.7 Bakır İndiyum Diselenür (CuInSe <sub>2</sub> veya CIS).....	14
2.6 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi.....	14
2.6.1 P-N Tek Eklemlili Hücre .....	14
2.7 Güneş Pili Modellenmesi.....	15
2.7.1 Fotovoltaik Pildeki Temel Akımlar.....	16
2.7.2 Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri.....	17
2.7.3 Performansı Arttırma Yolları.....	24
2.7.3.1 Yoğunlaştırıcı Sistemler .....	25

## BÖLÜM 3

<b>3</b>	<b>FOTOVOLTAİK SİSTEM</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>PV Kullanımının Avantajları</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>PV Kullanımının Dezavantajları</b> .....	<b>26</b>

## BÖLÜM 4

<b>4</b>	<b>GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Güneş İzleyici Sistem</b> .....	<b>28</b>
4.1.1	Güneş Paneli Açılar .....	28
<b>4.2</b>	<b>Tasarlanan Güneş Takip Sisteminin Çalışma Prensibi</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Tasarlanan Güneş Takip Sisteminin Yapısı</b> .....	<b>33</b>
4.3.1	Mekanik Düzenek .....	33
4.3.2	Kontrol Sistemi .....	35
4.3.2.1	Kontrol Sisteminin Adım Adım Oluşturulması .....	35
4.3.2.1.1	Sisteme Uygun Motor Seçimi .....	35
4.3.2.1.2	Seçilen DC Motor Kontrol Devresi Tasarımı.....	36
4.3.2.1.3	Kontrol Devresinin Simülasyonunu Yapılması.....	38
4.3.2.1.4	Simülasyonu Yapılan Kontrol Devresinin Laboratuvarında Test Edilmesi.....	39
4.3.2.1.5	Kontrol Devresinin DipTrace İsis de Çizimi.....	39
4.3.2.1.6	Kontrol Devresinin DipTrace Aras da Çizimi.....	40
4.3.2.1.7	Kontrol Devresinin Bakır Plakaya Aktarılması.....	41
4.3.2.1.8	Kontrol Devresinin Bakır Plaka Üzerine Elemanlarının Yerleştirilmesi.....	41
4.3.2.1.9	Kontrol Devresinin Test Edilmesi .....	42

## BÖLÜM 5

<b>5</b>	<b>KULLANILAN ELEMANLAR</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Güneş Takip Sistemi Uygulamasında Kullanılan Elemanlar</b> .....	<b>43</b>
5.1.1	Mekanik Kısım Elemanları .....	43
5.1.1.1	Triger Kayış Dişlisi .....	43
5.1.1.2	Kayış .....	43
5.1.1.3	Rulman.....	44
5.1.1.4	Kutu .....	44
5.1.1.5	Üçgen Tahta .....	44
5.1.1.6	Metal Çubuk.....	45
5.1.2	Elektrik Kısım Elemanları .....	45
5.1.2.1	LDR (Light Dependent resistor) .....	45
5.1.2.2	BD139 transistör .....	47
5.1.2.3	BD140 transistör .....	49
5.1.2.4	LM 324 (dört kılıflı opamp).....	52
5.1.2.5	Diyot.....	54
5.1.2.6	Potansiyometre.....	55
5.1.2.6.1	Potansiyometrelerin Sağlamlık Kontrolü.....	56

5.1.2.7	Akü .....	56	
<b>BÖLÜM 6</b>			
<b>6</b>	<b>MALİYET ANALİZİ .....</b>	<b>59</b>	
<b>6.1</b>	<b>MALİYET .....</b>	<b>59</b>	
<b>6.2</b>	<b>GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN MALİYET ANALİZİ.....</b>	<b>59</b>	
6.2.1	Sabit Güneş Sistemi Maliyet Analizi .....	60	
6.2.2	Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi .....	61	
6.2.3	İki Sistemin Karşılaştırması.....	62	
<b>6.3</b>	<b>GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE MALİYET ANALİZİ ....</b>	<b>62</b>	
6.3.1	Off Grid (Şebekeden Bağımsız Sistemler) .....	62	
6.3.2	On Grid (Şebeke İle Bağlantılı Sistemler).....	62	
<b>6.4</b>	<b>Güneş Takip Sistemi Maliyet Programı .....</b>	<b>63</b>	
<b>BÖLÜM 7</b>			
<b>7.1</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>68</b>	
7.1.1	Sonuçlar .....	68	
7.1.2	Öneriler.....	69	
<b>KAYNAKLAR.....</b>			<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ-1 .....</b>			<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ-2 .....</b>			<b>74</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası [ $\text{kWh/m}^2\text{-yıl}$ ]
- Şekil 2.2. Fotovoltaik pilin yapısı
- Şekil 2.3. Güneş ışığına tutulan fotovoltaik pilin temel çalışması
- Şekil 2.4. Solar hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi
- Şekil 2.5. Solar hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi[7,16]
- Şekil 2.6. İdeal bir fotovoltaik pilin akım gerilim ve güç gerilim karakteristikleri
- Şekil 2.7. (a). FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması (b). FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli.
- Şekil 2.8 FV pil panelin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yüklerle değişimi.
- Şekil 2.9. FV pilin I-V ve P-V karakteristikleri.
- Şekil 2.10. FV Güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi
- Şekil 2.11. FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi
- Şekil 2.12. FV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının; (a). Sıcaklıkla, (b). Işık şiddetiyle değişimi
- Şekil 4.13. Temel bir güneş izleyici sistem gösterimi
- Şekil 4.14. Güneşin mevsimsel olarak değişimi [33]
- Şekil 4.15. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket
- Şekil 4.16. Güneşin kuzeyden güneye doğru yaptığı zahiri hareket
- Şekil 4.17. Güneş paneli açısı tespit diyagramı
- Şekil 4.18. Sabit panel sisteminin ve güneşi izleyen panel sisteminin güç diyagramı
- Şekil 4.19 Kuzey-Güney Yönünü Kontrol Eden 12 V DC Motor Ve Redüktör
- Şekil 4.20 Doğu-Batı Yönünü Kontrol Eden 12 V DC Motor Ve Redüktör
- Şekil 4.21 Güneş Takip Sisteminin Mekanik Tasarımı
- Şekil 4.22 Güneş Takip Sisteminin Mekanik Tasarımı Kontrol Mekanizması
- Şekil 4.23 Güney-Kuzey Motoru
- Şekil 4.24 Doğu-Batı Motoru
- Şekil 4.25 H-Bridge Devresi
- Şekil 4.26 Güneş Takip Sistemi Kontrol Devresi Algoritması
- Şekil 4.27 Transistörlerin Durumuna Göre Motorun Dönme Yönü
- Şekil 4.28 Ters Akım Diyotlu H-Bridge Devresi
- Şekil 4.29 DC Motor Kontrol Devresi
- Şekil 4.30 LM324 Entegresi
- Şekil 4.31 Güneş Takip Sistemi Devre Simülasyonu
- Şekil 4.32 Devrenin DipTrace İsis de Çizimi

- Şekil 4.33 Devrenin DipTrace Aras de Çizimi
- Şekil 4.34 Devrenin Bakır Plaka Üzerinde Görünümü
- Şekil 4.35 Devrenin Elemanlarının Bakır Plaka Üzerinde Görünümü
- Şekil 5.36. Triger Dişlisi
- Şekil 5.37. Kayış
- Şekil 5.38. Rulmanlar
- Şekil 5.39. Kutu
- Şekil 5.40. Üçgen Tahta
- Şekil 5.41. Metal Çubuk
- Şekil 5.42. LDR Çeşitleri
- Şekil 5.43. LDR
- Şekil 5.44. BD139
- Şekil 5.45. BD139'un Fiziksel Özeliği
- Şekil 5.46. BD140
- Şekil 5.47. BD140'un Fiziksel Özeliği
- Şekil 5.48. LM324 Entegresi
- Şekil 5.49. LM324 Entegresinin İç Yapısı
- Şekil 5.50. Opamp'ın Fiziksel Yapısı
- Şekil 5.51. 1N4001 Diyot
- Şekil 5.52. Potansiyometre Çeşitleri
- Şekil 5.53. Akü
- Şekil 6.54 Sabit Panelin Yıllık Ortalama Enerjisi
- Şekil 6.55 Güneş Takip Sisteminin Yıllık Ortalama Enerjisi
- Şekil 6.56 Bir Ev İçin Güneş Enerji Hesabı
- Şekil 6.57 Şebeke Bağlantı Şekli
- Şekil 6.58 Off Grid Güneş Takip Sistemi Maliyet Hesabı
- Şekil 6.58 Off Grid Güneş Takip Sistemi Amortisman Süresi Hesabı
- Şekil 6.60 On Grid Güneş Takip Sistemi Maliyet Hesabı
- Şekil 6.61 On Grid Güneş Takip Sistemi Amortisman Süresi Hesabı

## TABLO LİSTESİ

- Tablo 1.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli
- Tablo 1.2. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı
- Tablo 1.3. İstanbul İçin Gün Uzunluğu ve Güneşlenme Süreleri
- Tablo 1.4. İstanbul için Açık Havada Yatay Düzleme Gelen Anlık Toplam Işımam (W/M<sup>2</sup>)
- Tablo 5.5. NPN Transistorun Özellikleri
- Tablo 5.6. NPN Transistorun Elektriksel Karakteristiği
- Tablo 5.7. PNP Transistorun Genel Özeliği
- Tablo 5.8. PNP Transistorun Elektriksel Karakteristiği
- Tablo 5.9. 1N4001 Diyotun Genel Özeliği
- Tablo 5.10. 1N4001 Diyotun Elektriksel Karakteristiği
- Tablo 6.11. Sabit Güneş Sisteminin Maliyeti
- Tablo 6.12. Güneş Takip Sisteminin Maliyeti

## SEMBOL LİSTESİ

AC	Alternatif akım
APV	PV sistemin yüzey alanı [ m <sup>2</sup> ]
D	Güneş paneli açısı
DC	Doğru Akım
FV	Güneş pili paneli
G	Solar ışık şiddeti
I	Akım
I <sub>L</sub>	Fotovoltaik akım
I <sub>sat</sub>	Diyot akımı
I <sub>p</sub>	Paralel kol akımı
I <sub>kd</sub>	Kısa devre akımı
I <sub>m</sub>	Maksimum akım
I <sub>pil</sub>	Pilin akımı
I <sub>tot, rad</sub>	PV yüzeyinde senelik ortalama güneş ısınımı [kWh\m <sup>2</sup> ]
I <sub>PANEL</sub>	Panelin akımı
kW <sub>p</sub>	Solar enerji potansiyeli
n <sub>doluluk</sub>	Doluluk faktörü
N <sub>p</sub>	Paralel kol sayısı
N <sub>s</sub>	Seri kol sayısı
P <sub>pil</sub>	Pilin gücü
P <sub>panel</sub>	Panelin gücü
P	Güç
P <sub>max</sub>	Maksimum güç
R <sub>s</sub>	Seri direnci
R <sub>p</sub>	Paralel kol direnci
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub>	Direnç
S	Güneş radyasyonu
T	Sıcaklık birimi Kelvin
T <sub>o</sub>	Referans sıcaklık birimi Kelvin
t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	Zaman
V	Gerilim
V <sub>ad</sub>	Açık devre gerilimi

$V_m$	Maksimum gerilim
$V_{\text{PANEL}}$	Panelin gerilimi
$V_{\text{pil}}$	Pilin gerilimi
$Q_{\text{PV}}$	PV sistemin senelik ürettiği enerji [kWh]
$\eta$	PV sistemin ortalama etkinliđi



## KISALTIMA LİSTESİ

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
TEP	Türkiye Enerji Potansiyeli
TSE	Türkiye Standart Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilim Teknik Araştırma Kurumu
TEP	Türkiye Enerji Potansiyeli
LDR	Light Dependent Resistor
Opamp	Operational Amplifier

## ÖZET

Bu proje çalışmasında, gün içinde herhangi bir anda güneşi sürekli olarak iki eksende takip ederek güneş ışınlarını en dik şekilde alacak ve bu sayada güneş panelin verimini artıran bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca yapılan sistemin maliyet analizi yapılmış ve tasarlanacak farklı güçler için maliyet analiz programı hazırlanmıştır. Projede yazılım, otomatik kontrol sistemleri, elektrik makineleri, güç elektroniği ve mekanik gibi çalışma alanlarına ait birçok teknikten yararlanılmıştır.

Gerçekleştirilen projede gün içinde, güneşin sisteme olan konumu, sensörlerden alınan bilgiler, LM324 entegrenin bir bacağına bağlanan referans gerilimiyle karşılaştırılarak opamp çıkışında lojik sinyaller elde edilmiştir. Opamp çıkışında alınan lojik sinyaller doğrultusunda DC motorun dönüş yönünü tayin eden transistörler iletme girer veya kesime sokulur. DC motorların dönüş yönünü kontrol ederek güneş panelin her zaman güneşten maksimum enerji alınması sağlanmıştır.

Konum bilgisi saptanmadan, güneş takip sisteminin güneşe sürekli dik olması için önce sensör olarak kullanılan dört adet güneş pilinin aynı ışık altında ürettikleri akım değerleri gerilim bilgisine dönüştürülmüş ve devreye bağlı olan potansiyometreler yardımıyla gerilim değerleri eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde sistem kalibrasyonu sağlanmıştır.

Bu çalışmada önerilen güneşi izleyebilen sistem sayesinde güneş enerjisinden gün boyu istifade edebilme olanağı ortaya çıktığından dolayı, bu sayede kayıp olan yaklaşık %45'lik kısmın sisteme katılımı ve verimin %39 artması sağlanmıştır.

## GİRİŞ

Son yıllarda özellikle fosil yakıtların çevreye olan zararları ve bu tür enerji kaynaklarının gittikçe azalmasıyla beraber, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri sebebiyle temiz enerji kaynaklarına duyulan gereksinim giderek artmıştır. Öte yandan enerji kullanımındaki artışın karşılanması, tükenmekte olan fosil yakıtlar ve kullanılsa da kullanılsa da yalnız nükleer yakıtlarla mümkün görülmemekte ve ancak yenilenebilir enerjilerin kullanılması ve enerji kullanımı veriminin artırılması şartlarına bağlı olmaktadır.

Elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan yöntem kömür gibi fosil yakıtların yakılması ile gerçekleştirilir. Fakat fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan karbondioksit gazı sebebiyle meydana gelen sera etkisi nedeniyle küresel ısınma olayı ortaya çıkar. Fotovoltaikler çevre kirlenmeye etki oluşturmayan enerji üretim seçeneklerinin başında gelmektedir.

Yerkürede bulunduğu konum açısından güneşlenme alanı ve süresi oldukça iyi olan ülkemizde güneş enerjisi alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, ülkemizde yılda metrekare başına 1100 kWh lik güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir [1]. Bu açıdan bakıldığında güneş enerjisi gelecek yıllar için ülkemizde yerli enerji kullanımının yaygınlaşması açısından önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneş enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olarak çekiciliğinin artmasındaki diğer faktörler güneş pillerinin yüksek güvenilirliği, kararlı performans artışı, üretim masraflarının azaltılması ve diğer bir husus olarak güneş pillerinin yakıt giderine sahip olmamasıdır.

Güneş enerjisi kullanımının birçok avantajına karşılık güneş panellerinin kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek ve kendilerini amorti edebilme süreleri ise oldukça uzun olma gibi dezavantajları da vardır.

Dünyada artan enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmasından önce güneş pillerinin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Günümüzde normal boyutlardaki bir güneş pilinin ortalama verimi sadece küçük güçlü ticari aygıtlara (hesap makinesi ve oyuncaklar gibi) yetecek miktardadır. Daha büyük güç isteyen cihazları besleyebilmek için daha büyük boyutlu güneş panelleri gerekmektedir. Fakat bunların büyük boyutlu olmaları uygulamalarda sorun yaratmaktadır.

Panelin boyutunu arttırmaktansa her bir güneş pilinin verimini arttırmak daha mantıklıdır.

Güneş pilinin verimliliği iki ana etkene bağlıdır;

- 1) Hücree verimliliği
- 2) Hücree üzerindeki kaynak ışınım şiddeti

Güneş pillerinin üretilmesinde kullanılan materyaller hücree verimliliğini sınırlayan faktörlerin başında gelmektedir. Bu verimliliğin arttırılmasını zorlaştırmakta ve bu sebeple hücrenin tüm performansını sınırlamaktadır. Buna karşın pil üzerine düşen ışın miktarının arttırılması daha kolay bir yöntemdir.

Özellikle güneş panellerinin sabit olarak konumlandırılması ile bu panellerin gün içerisindeki enerji üretim kapasitesi düşmektedir. Bu olumsuzluğu engellemek için son yıllarda güneşi izleyebilen hareketli panel sistemleri geliştirilmiştir. Ayrıca benzer olarak güneş ışınlarının paneller üzerine odaklanması amacıyla hareket eden yansıtıcı sistemleri de literatüre kazandırılmıştır.

Güneş pilinin üzerine düşen ışınım şiddetinin arttırılmasında 3 yöntem kullanılmaktadır.

Bunlar;

- 1) Güneşten gelen ışınların sabit hücree üzerine odaklanması
- 2) Sabit algoritma kullanılarak güneşin konumunun izlenmesi
- 3) Güneş konumunun dinamik sistemler kullanılarak izlenmesi

Yapılan projede 3. yöntem kullanılarak güneşin iki ekseninde takip edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada güneş panellerinin gün içi enerji üretim kapasitelerini arttırabilmek amacıyla güneşi takip edebilen LDR ile DC motor kontrollü güneş takip sisteminin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisi ve güneş pillerinden sonra güneş takip sisteminin çalışma prensibi anlatılmıştır. Sistemin yapısını oluşturan kısımlardan biri olan mekanik sistem ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Sistemin bir diğer öğesi olan elektrik kontrol sisteminin donanımsal yapısı detaylı olarak ele alınmıştır.

# BÖLÜM 1

## GÜNEŞ

### 1.1 Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan Güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Çapı yaklaşık 1,4 milyon kilometre olup, iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunur. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak Hidrojenin Helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneş merkezi füzyon reaksiyonu için uygun bir ortamdır. Bir reaksiyonun basit olarak tanımı; protonla bombardımana tutulan Hidrojen molekülü, Hidrojenin türevi olan Döteryuma dönüşür. Kararsız hale geçen iki Döteryum çekirdeği birleşerek daha ağır olan Helyuma dönüşür. Açıkta kalan iki proton ise reaksiyon zincirinin bu tanımına uygun olarak devam etmesini sağlar. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji çok fazladır. Güneşin bu enerjiye sahip olabilmesi için saniyede 10-38 füzyon reaksiyonuna ihtiyaç duyduğu hesaplanmıştır. Bu da yaklaşık olarak saniyede 657 milyon ton Hidrojenin 653 ton Helyuma dönüşmesi demektir. Bu reaksiyonlar sonucu kaybolan kütle enerjiye dönüşür. Yaklaşık 10 milyar yıl sonra güneşteki Hidrojen yakıtı bitip reaksiyonların son bulması sonucu güneşin, çekim kuvveti etkisiyle büzülüp beyaz cüce adı verilen ölü bir yıldızla dönüşebileceği tahmin ediliyor. Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000 °K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ışınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367 W/m<sup>2</sup> dir ve bu değer güneş sabiti olarak alınır. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınım değeri 1000 W/m<sup>2</sup> olarak kabul edilmektedir [1].

Güneş merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotoser) sıcaklığı 6000 °K'dir. Işınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı (birim dalga boyunda birim alana, birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir ancak, yerkürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yerküreye gelen ışınımın büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünülebilecek “fotonlar”, spektrumun görünür bölgesinin

kırmızı yanında daha küçük enerji, mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen spektrumun, kırmızının ötesinde kalan kızılötesi ve morun ötesinde kalan morötesi bölgelerinde bulunan ışınımında toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır.

Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen yerküre atmosferinin dışına ulaşan tutar, yalnızca küçük bir bölümdür. Güneş ışınımı atmosferi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın en önemli değişken, ışığın atmosferde aldığı yolun uzunluğudur. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer  $13267 \text{ W/m}^2$  olup bu değer “güneş değişmezi” olarak kullanılır, güneş ışınları havaküreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70’i ulaşır. Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Örneğin güneş tam tepedeyken bu değer, hava-kütle (air mass) olarak adı verilir. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra difüzyona uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin bulutlu bir günde güneş ışınlarının büyük bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşurken, bulutsuz güneşli bir günde güneş enerjisinin büyük bir bölümü doğrudan ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayılmış ışınım toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Fotovoltaik sistemlerin seçiminde, güneş ışınım verileri çok büyük önem taşır.

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısıl uygulamalar, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılır. Düşük sıcaklık uygulamaları, daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır.  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık değerinin üzerine

çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir. İkinci bir uygulama türü ise güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Üzerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır.

Güneş pilleri, uzay programları için geliştirilmeye başlanmış; ancak sonraki yıllarda, bilinen yollarla elektrik üretiminin zor olduğu ya da uzak olan deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, çiftlik evleri, dağ evleri gibi yerlerde de kullanılmaya başlanmıştır.

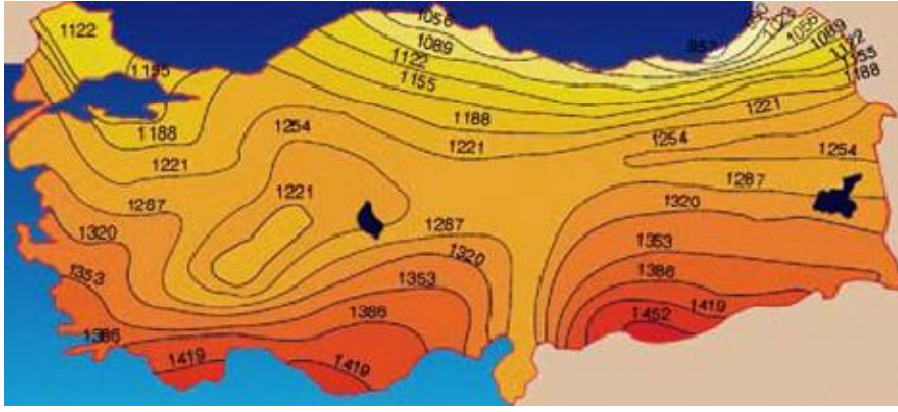
Güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için, “Güneş Kuşağı” adı verilen, 45° kuzey-güney enlemleri arasında kalan bölgede yer almak gerekmektedir.

## 1.2 Türkiye’ De Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, 36°-42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu meridyenleri arasındaki güneş bandında bulunmaktadır. Türkiye’nin yıllık ortalama güneş ışınımı 1303 kWh/m<sup>2</sup>-yıl, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük 3,6 kWh/m<sup>2</sup> güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. 9,8 milyon TEP ısı uygulamalara olmak üzere yıllık 36,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın on ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün %63’ünde ve tüm yıl boyunca %17’sinden yararlanılabilir. [1]

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye’nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye’nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat). Ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir. [41]

Genel olarak Türkiye’nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahilleri gelmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası [ $\text{kWh/m}^2\text{-yıl}$ ]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -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 <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Tablo 1.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli [37]

Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1.100 kWh'lik enerji üretilebilir ve toplam güneşli saat miktarı ise 2.640 saattir. Buna göre Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1015 kW saat kadardır. [41] Fotovoltaik üreteçler için Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki tüm bölgeler uygun olmaktadır.[37] Tablo 1.2.'de Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı verilmektedir.



BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m <sup>2</sup> -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

Tablo 1.2. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı [37]

Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir. Tablo 1.3. İstanbul için gün uzunluğu ve güneşlenme süreleri, Tablo 1.4. İstanbul için açık havada yatay düzleme gelen anlık toplam ışımam verilmektedir.

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
Güneşlenme Süresi (Saat/Gün)	2,5	3,6	4,3	6,6	8,9	10,6	10,7	10,2	8,2	6,2	4,3	2,8	6,6
Gün Uzunluğu (Saat/Gün)	9,4	10,5	11,7	13,1	14,3	14,9	14,6	13,6	12,3	10,9	9,7	9,1	12,0

Tablo 1.3. İstanbul İçin Gün Uzunluğu ve Güneşlenme Süreleri [42]

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
6.....18	0	0	0	61	142	184	163	91	11	0	0	0	54
7.....17	0	19	103	220	315	356	335	254	140	39	0	0	148
8.....16	62	144	275	406	494	526	507	434	311	175	77	42	287
9.....15	190	297	448	572	644	666	651	589	474	327	205	155	434
10.....14	306	421	578	691	749	764	751	700	594	448	317	264	548
11.....13	376	494	653	760	810	821	809	764	663	518	384	329	615
.....12.....	401	520	681	787	835	844	833	789	689	543	408	392	640

Tablo 1.4. İstanbul için Açık Havada Yatay Düzleme Gelen Anlık Toplam Işımam (W/M<sup>2</sup>) [42]

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Bunun sebebi olarak kurumlar arası koordinasyon eksikliği ve şimdiye kadar devletin bu konuda bir teşvik uygulamamış olması gösterilebilir. Ancak buna rağmen ülkemizde güneş enerjisi hakkındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitelerimizde, konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

TSE güneş enerjisi ile standartları çıkarmaya başlamış olup ayrıca TÜBİTAK tarafından düzenlenen ilk güneş arabaları yarısı geçtiğimiz sene yapılmış olup ikincisi bu sene düzenlenecektir. Ve konu ile ilgili olarak ilk kanun 10.05.2005 tarihinde 5346 sayı ile “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına, ilişkin Kanun” olarak çıkarılmıştır.[41]

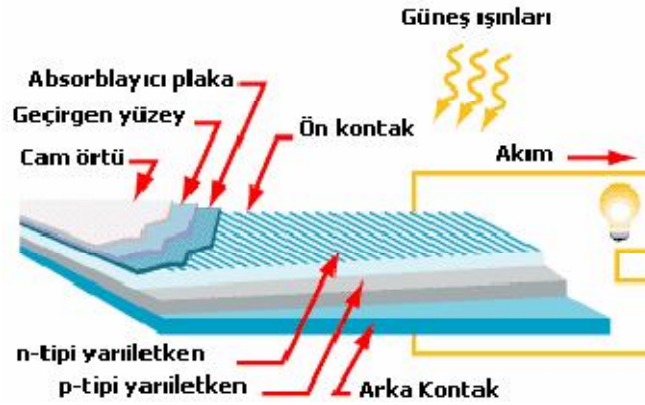
## BÖLÜM 2

### GÜNEŞ PİLİ

#### 2.1 Güneş Pili Teknolojisine Giriş

Güneş pili teknolojisi, küçük ve yerleşim alanlarına uzak yerlerde güvenilir ve ekonomik bir elektrik kaynağı olarak kullanılmaktadır[1,9]. Şu anda gittikçe genişlemekte ve toplumun dikkatini çekmeye başlamaktadır. Güneş pili dizileri bir binanın tasarımına eklendiği ve sistem şebekeye bağlanmış şekilde olduğunda elektrik iki yönde iletilebilir ve PV şebekedeki tepe değerlerini karşılayabilir. Ayrıca yeni iletim ve dağıtım hatlarını ve merkezi üretim alanlarını azaltmak gibi avantajları vardır[1,5].

Güneş pilleri ya da fotovoltaik piller, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir[1,11]. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2- 0,4 mm arasında oluyor[12].



Şekil 2.2. Fotovoltaik pilin yapısı [7]

Bir güneş pilinin iç yapısı şekil 2.27' de verilmiştir. Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gram'dan azdır[2]. Şekil 2.27' den görülebileceği gibi, pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum üzerine düşen ışınımın üçte birini yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde tasarlanmıştır. Yansıtıcı olmayan tabakanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve

pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında P-N kavşağı denilen pozitif ve negatif yüklerin karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak bulunur[2].

Tipik bir silisyum pili 0,5 V kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim arttırılabilir. Genellikle 30-36 adet güneş pili, 15-17 V' luk bir çıkış verebilir. Bu voltaj değerinin de 12 V' lük aküyü şarj etmeye yeterlidir[2]. Açık, güneşli bir havada 1 dm çapında bir Fotopil, yaklaşık olarak 1 Watt üretir. Verimi (çıkış gücünün gelen ışık gücüne oranı) kullanılan malzemeye göre değişir[12].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreciyle açığa çıkan ısıma enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir, ancak yeryüzünde 0–1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazandı. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme gösterdi ve çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirdi[2,12,13,14].

## 2.2 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajları

- Her şeyden önce, güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır
- Temiz türüdür, çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Bir çakmağın, bir saatin, bir hesap makinesinin veya bir deniz fenerinin, bir orman gözetleme kulesinin enerji ihtiyacı yerinde karşılanabilir.
- Dışa bağlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
- İşletme masrafları çok azdır. [11,2]

## 2.3 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajları

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları ise sınırlıdır.

- ☒ Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
- ☒ Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir. Güneş ışınımından yararlanılan birçok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazladır ve henüz bazıları ekonomik değildir[2][1,7,9]

## 2.4 Güneş Pili Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Olarak Kullanıldığı Tipik Uygulama Alanları Aşağıda Sıralanmıştır

- ✚ Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- ✚ Petrol boru hatlarının katodik koruması
- ✚ Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- ✚ Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- ✚ Bina içi ya da dışı aydınlatma
- ✚ Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- ✚ Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- ✚ Orman gözetleme kuleleri
- ✚ Deniz fenerleri
- ✚ İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- ✚ Deprem ve hava gözlem istasyonları
- ✚ İlaç ve aşı soğutma
- ✚ Mobil olarak çalışma gereği olan diğer sistemler
- ✚ Reklam panolarının aydınlatılması[7]

## 2.5 Güneş Pili Çeşitleri

Alternatif enerji teknolojileri arasında karşılaştırma yaparken en önemli kıstas elde edilen kWh enerji başına düşen maliyettir. PV pillerin güçleri için bu maliyet iki temel esasa dayanır. Fotovoltaik enerji dönüşüm verimi ve Watt başına birim enerji maliyeti. Bu iki parametre PV pillerin karşılaştırılmasında önemli rol oynar. [7]

PV ünitelerinin üretildiği malzemeler, güneş ışınlarını absorbe etme verimleri, enerji dönüşüm verimi, üretim tarzı ve maliyet açısından çeşitlilik göstermektedir. [11]

Günümüzde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteler olan PV pillerin temel yapısında silikon/silisyum vardır. Tek kristalli, çok kristalli ve şekilsiz(amorf) olmak

üzere üç çeşit PV ünitesi kullanılmaktadır. Kristalli üniteler dünya toplam üretiminin 3/4 'ünü oluşturmaktadır, amorf üniteler ise geriye kalan kısmı teşkil etmektedir. [7]

### **2.5.1 Tek Kristalli Silikon İçeren PV Hücreleri**

Bu tarz PV hücreleri imalatında, tek parça geniş bir silikon kristali, ince silikon şeklinde parçalar haline getirilir. Bu işlemin maliyeti yüksektir. Ancak güneş enerjisini soğurma verimleri %23'e kadar çıktığından tercih sebebi olmaktadır. Bunu yanında piyasadaki diğer yapılara sahip PV pillerin verimi %15 civarındadır. Tek kristalli PV ünitelerin enerji dönüşüm verimleri ise %15-20 civarındadır.

### **2.5.2 Çok Kristalli Silikon İçeren PV Hücreleri**

Çok kristalli silikon içeren PV hücreler, bir potada soğutulmuş olan silikon bloğundan veya külçesinden kesilir. Piyasadaki örnekleri %12-13 civarında verime sahip olmasının yanında laboratuvar ortamında %17 verimlere ulaşmak mümkün olmuştur.

### **2.5.3 Galyum Arsenit İçeren PV Hücreleri**

Galyum ve arsenit bileşiğinden oluşmuş yarıiletken malzemedir. Silikona yakın bir kristalize yapıya sahiptir. Yüksek ışın absorbe etme yeteneğine sahiptir. Enerji dönüşüm veriminde %25-30'lara varan değerlerle, silikon içeren ünitelere göre daha üstündür. Özellikle radyasyona karşı yüksek direnç istenen uzay sanayinde kullanımı fazladır. En büyük dezavantajı maliyetinin yüksek oluşudur. [11]

### **2.5.4 İnce Film Şeklindeki PV Üniteleri**

Bu üç çeşidin dışında ince film PV üniteleri de mevcuttur. Birkaç  $\mu\text{m}$  kalınlığa sahip, direkt olarak alt malzemesi cam, seramik ve çeliğin üzerine uygulanabilen bu ince filmler m<sup>2</sup> başına çok az malzeme kullanmasına rağmen birim enerji başına maliyeti oldukça fazladır. [7]

### **2.5.5 Amorf Silikon (a-Si)**

Genellikle az güç çıkışı ve az maliyet istenen, örneğin tüketici elektroniği sektöründe, yerlerde uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Şekilsiz (amorf-silikon olarak da anılır) silikonlu PV üniteleri, diğer silikonlu üniteler gibi kristalli yapıya sahip değildir. En önemli özelliği, tek kristalli yapıdaki silikon PV ünitelerine göre yaklaşık 40 kat daha fazla ışığı absorbe edebilmesidir. Bu nedenle, çok ince bir a-Si tabakası (yaklaşık 1  $\mu\text{m}$ , kristalli silikonlarda yaklaşık 200  $\mu\text{m}$ ) PV ünitesi yapımı için

uygundur. Kristalli pillere göre maliyetleri daha düşüktür. Bütün bu avantajların yanında, parlak güneş ışığı altında özelliklerini kaybedebildiklerinden dolayı son derece hassastırlar. Enerji dönüşüm verimleri %5-9 civarındadır.

### 2.5.6 Kadmiyum Tellür (CdTe)

Çok kristalli yapıya sahip bir yarıiletken olan bu malzeme, ışınları soğurmada yüksek verime sahiptir. Yaklaşık 1 µm kalınlığa sahip olmasına rağmen, üzerine gelen güneş ışınlarının %90'ını absorbe edebilmektedir. Kolay ve ucuz yöntemlerle üretilir. Enerji dönüşüm verimi a-Si malzemelere yakinen %7 civarındadır. Ünite üzerinde çok az miktarda kullanılmasına rağmen, kadmiyum zehirli bir maddedir ve üretim aşamasında bazı önlemler alınmaktadır.

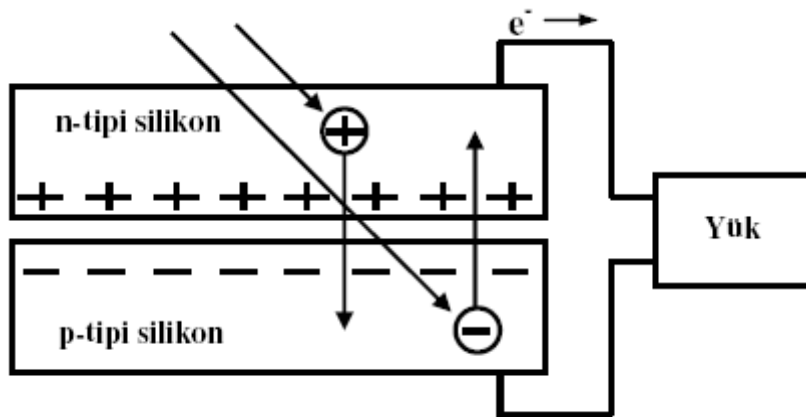
### 2.5.7 Bakır İndiyum Diselenür (CuInSe<sub>2</sub> veya CIS)

Çok kristalli yapıya ve %18 gibi yüksek bir enerji dönüşüm verimine sahiptir. 0,5 µm kalınlığıyla, güneş ışınlarının %90'ını absorbe edebilmektedir. Bu malzeme verimli ancak çok karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, üretimi zordur. Aynı zamanda üretimi esnasında ortaya çıkan zehirli gazlar için alınan güvenlik önlemleri de problem teşkil etmektedir. [11]

## 2.6 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

### 2.6.1 P-N Tek Eklemlili Hücre

Fotovoltaik güç teknolojisi, genellikle birkaç santimetrekare boyutunda yarı iletken hücrelerden meydana gelir. Hücrenin katı hal yapısı, temel olarak eklem bölgesi üst yüzeye yakın bulunan geniş alanlı bir p-n diyotudur. Şekil 2.28' de görülen temel yapıyla güneş ışığı, hücrede direkt olarak elektrik akımına dönüştürülür. Çok sayıda hücre, gerekli gücün üretilmesi amacıyla birbirine eklenerek panel yapısı oluşturulur[2,13,16].



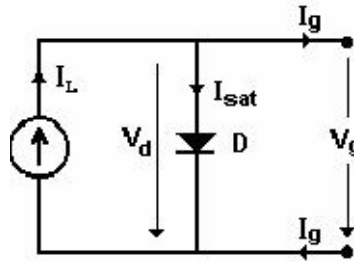
Şekil 2.3. Güneş ışığına tutulan fotovoltaik pilin temel çalışması

Tüm fotovoltaik piller benzer şekilde çalışır. N-tipi silikon ile p-tipi silikon malzeme birleştirildiğinde eklem bölgesinde elektrik alan oluşumu ortaya çıkar. Elektrik alan, diyot davranışı göstererek elektronların p-tipi silikon malzemeden n-tipi silikon malzemeye geçişine engel olurken, ters yönde geçişi engellemezler. Işık, eklem tarafından emildiğinde, emilen fotonların enerjisi, malzemedeki elektron sistemine transfer edilir ve hareketli elektronlar ve delikler oluşur. Bunlar eklem bölgesinde bir potansiyel fark meydana getirip elektrik alan altında hızlanarak dış devre boyunca akım akısı sağlarlar ve DC güç meydana getirirler[16].

Fotovoltaik gerilimin ortaya çıktığı yer, Fermi seviyesi olarak adlandırılan, birbirinden yalıtılmış iki malzemedeki elektronların kimyasal potansiyel farklarıdır. Birleştirildiklerinde eklem yeni bir termodinamik dengeye yaklaşır. Böyle bir denge, sadece iki malzemedeki Fermi seviyeleri eşit olduğu zaman elde edilebilir. Bu ise, Fermi seviyesinin başlangıçtaki farkına eşit gerilime sahip olan iki malzeme arasındaki gerilim farkı sağlanana kadar, bir malzemedeki diğerine olan elektron akısıyla ortaya çıkar. Fotoakımını ortaya çıkaran şey bu gerilimdir[16].

## 2.7 Güneş Pili Modellemesi

Bir fotovoltaik pilin elektronik davranışının anlaşılması için, davranışları iyi bilinen ayırık elektriksel bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin elde edilmesi gerekir. İdeal bir fotovoltaik pil, şekil 2.29’de görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenilebilir. Akım kaynağı solar ışık şiddeti  $G$  ile direkt orantılı olan fotoakımı  $I_L$ 'yi meydana getirir. Şekildeki diyot, fotovoltaik pilin p-n geçiş bölgesini temsil etmektedir[16,19,20].



Şekil 2.4. Solar hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi

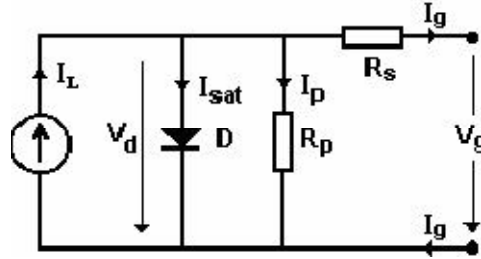
Basitleştirilmiş eşdeğer devrenin akım gerilim (I-V) denklemi, Kirchhoff'un akım kanunundan çıkarılabilir[20,21].

$$I_g = I_L - I_{sat} = I_L - I_0 \left( \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right)$$



(2.1)

Görüldüğü gibi, basitleştirilmiş eşdeğer devre fotovoltaik pilin elektriksel işlemi için optimal bir gösterimini vermemektedir. Gerçek fotovoltaik pillerde, harici kontaklar üzerinde gerilim düşümü gözlenir. Buradaki gerilim kaybı seri bir  $R_s$  direnci ile ifade edilebilir. Ayrıca paralel bir  $R_p$  direnciyle ifade edilecek olan sızıntı akımı da gözlenir. Bu şekilde, şekil 2.30'de görülen eşdeğer devre elde edilir[19,20].



Şekil 2.5. Solar hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi[7,16]

### 2.7.1 Fotovoltaik Pildeki Temel Akımlar

- Fotovoltaik akım  $I_L$ : Fotovoltaik pil üzerine düşen ışık radyasyonu ile doğru orantılıdır.
- Diyot akımı  $I_{sat}$ : Gerilime ve sızıntı akımı  $I_0$ 'a bağlıdır ve denklem (2.2) ile ifade edilir. [16]:

$$I_{sat} = I_0 [\exp(qV / nkT) - 1] \quad (2.2)$$

- Paralel kol akımı  $I_p$ : Paralel kol direncindeki eklem gerilimi etkisi ile ortaya çıkan ve denklem (2.3) ile ifade edilen akımdır. Paralel kol direnci  $R_p$ , n ve p eklemleri boyunca akan elektronlara bağlı olarak ortaya çıkan kaybı belirler.

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_g + I_g \cdot R_s}{R_p} \quad (2.3)$$

- Hücreden akan çıkış akımı;

$$I = I_L - I_{sat} - I_p \quad (2.4)$$

Yarı iletken direncine, opak elektrot direncine ve bağlantı kayıplarından dolayı ortaya çıkan seri direnç  $R_s$  denklem (2.5) ile gösterilen gerilim düşümüne sebep olur.

$$V_g = V_d - IR_s \quad (2.5)$$

(2.2) ve (2.3) denklemleri (2.4)'te yerine konulursa;

$$I_g = I_L - I_0 \left( \exp \left( \frac{q(V_g + I_g R_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.6)$$

denklemleri ile tek bir hücre için genel bir matematiksel model elde edilir.

Paralel direnç  $R_p$  çok büyük olduğu için genel olarak sonsuz kabul edilir. Hücre sıcaklığı, solar radyasyon yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi çevre şartlarından etkilenir. Bu faktörlerin tamamı fotovoltaik pildeki ısı transferine etki ederler. Kelvin cinsinden hücre sıcaklığı, (2.7) denklemi kullanılarak elde edilebilir[16].

$$T = 3.12 + 0.25G + 0.899T_a - 1.3w_s + 273 \quad (2.7)$$

Sıcaklığın ters saturasyon akımına etkisi, (2.8) denklemi ile gösterilebilir[16].

$$I_0 = I_{0,ref} \left[ \frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left( \frac{qE_G}{nk} \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right] \right) \quad (2.8)$$

Foto-akımı solar radyasyon ve fotovoltaik pil sıcaklığının bir fonksiyonudur ve (2.9) ile verilebilir[16].

$$I_{ph} = \left[ I_{ph,ref} + k_i(T - T_{ref}) \right] \frac{G}{G_{ref}} \quad (2.9)$$

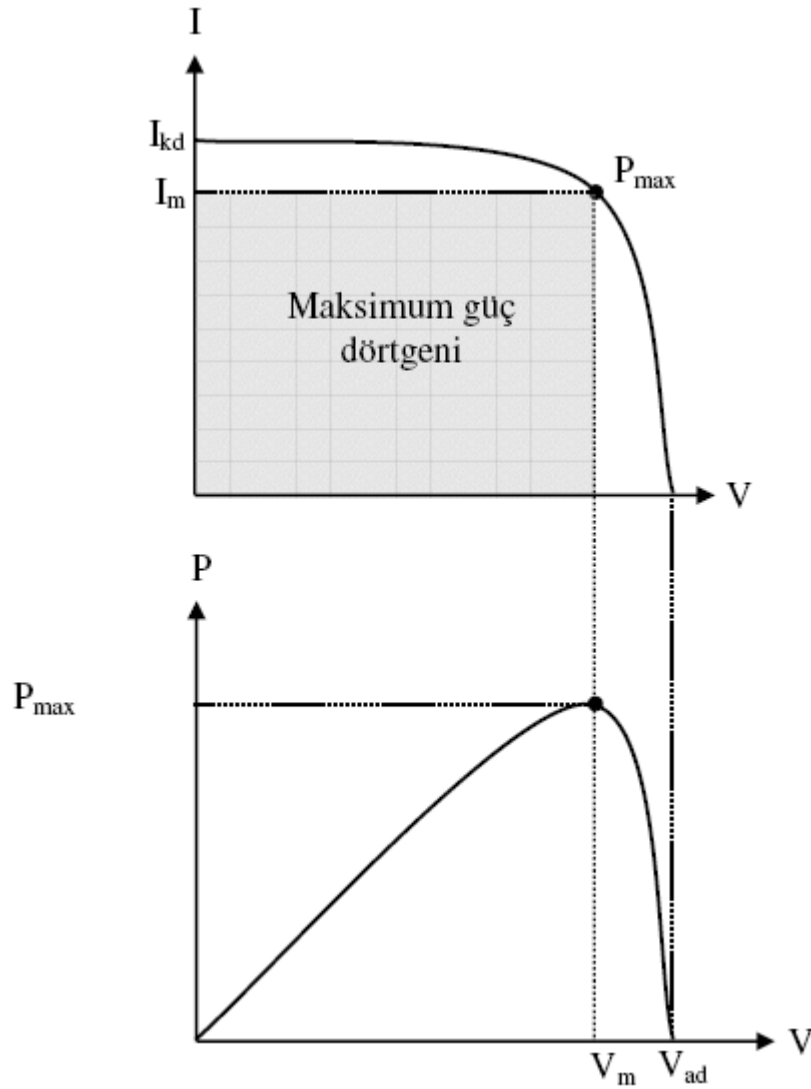
## 2.7.2 Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri

Bir fotovoltaik pilin, şekil 2.31'de görüldüğü gibi karakteristik akım-gerilim eğrisinde yüke bağlı olarak herhangi bir noktada çalıştırılması mümkündür. Eğrideki iki önemli nokta, fotovoltaik pilin elektriksel performansını belirlemekte de kullanılan iki parametre olan açık devre gerilimi  $V_{ad}$  ve kısa devre akımı  $I_{kd}$ 'dir. Kısa devre akımı, çıkış uçları kısa devre edilerek ve tam aydınlatma altında uç akımı ölçülerek belirlenir. Düşük seviyedeki diyot akımı ve toprağa doğru olan sızıntı akımı, sıfır uç gerilimi altında ihmal edilerek ölçülen kısa devre akımı,  $I_L$  foto-akımını verir. Kısa devre akımı  $I_{kd}$  aydınlatma seviyesi ile orantılı iken, açık devre gerilimi  $V_{ad}$  aydınlatma seviyesinin logaritması ile doğru orantılıdır. Maksimum hücre gerilimi ise, açık devre gerilimi durumunda elde edilir. Kısa devre ve açık devre şartlarında güç sıfırdır[16,20,21].

Fotovoltaik pil, maksimum gerilim  $V_m$  ve maksimum akım  $I_m$  durumunda maksimum güç üretir. ( $I_m \times V_m$ ) alanının (şekil 2.31'de gösterilen taralı alan) maksimuma ulaştığı

durumda maksimum güç şartı oluşur. Şekilde görülen maksimum güç dörtgeni maksimum güç noktasında üretilen güce eşittir. Doluluk faktörü  $\eta_{doluluk}$  I-V eğrisinin karesel olmasıyla alakalı bir ölçüttür ve denklem (1.10) ile gösterilir[16,20].

$$\eta_{doluluk} = \frac{i_{mg} V_{mg}}{i_{kd} V_{ad}} \quad (2.10)$$



Şekil 2.6. İdeal bir fotovoltaik pilin akım gerilim (I/V) ve güç gerilim (P/V) karakteristikleri[16]

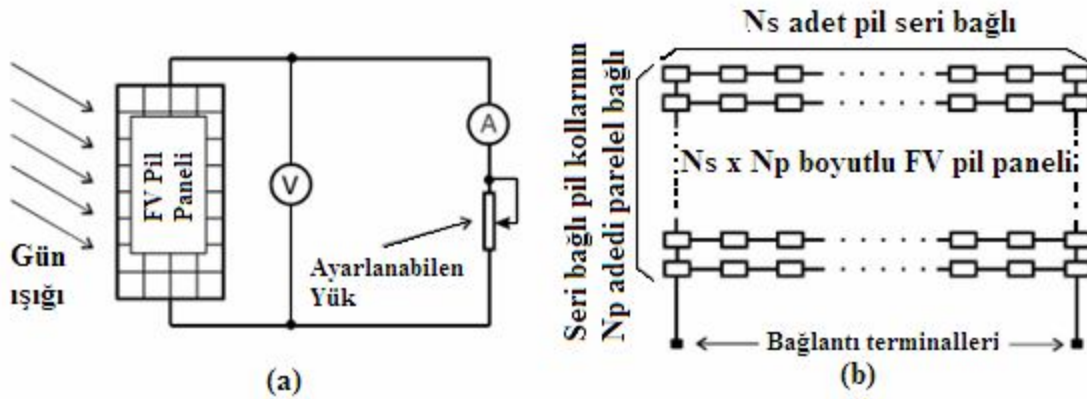
Bir güneş pili yarıiletken malzemenin aşağıda belirtilen karakteristikleri doğrultusunda davranışlar gösterir.

- Aydınlatılmış güneş pilinin çıkış geriliminin pozitif ucu P maddesi, negatif ucu N maddesidir.
- Bir güneş piline dışarıdan bir kaynak bağlandığında kaynağın (+) ucu pilin P ucuna, (-) ucu da N ucuna bağlanırsa güneş pili doğru polarize edilmiş olur.

- Bir güneş piline dışarıdan bir kaynak bağlandığında kaynağın (+) ucu pilin N ucuna, (-) ucu da pilin P ucuna bağlanırsa güneş pili ters polarize edilmiş olur.

Bir güneş pili, P-N katmanlarına ait terminalleri arasına bir yük bağlı bulunduğu sürece güneş enerjisini çıkışında bir elektrik gücüne dönüştürür[7]. Herhangi bir yük ya da P-N terminallerini dışarıdan birbirine bağlayan bir yol yoksa elektron akısı gerçekleşemez ve dolayısıyla fotoakımı üretilemez. Ayrıca eğer yük çok küçük bir güce sahipse, ya da P-N çıkış terminalleri kısa devre edilmişse fotovoltaik pilin çıkışından elektrik gücü alınmaz. P-N çıkışları kısa devre edildiğinde bu çıkışlar arasındaki potansiyel farkı (fotovoltaik) sıfır, akan akım (fotoakım) ise maksimum değerinde olur. Klasik doğru akım (DC) güç kaynaklarının tersine bir FV güneş pilin akım-gerilim ilişkisi doğrusal değildir. Bu nedenle güneş pili güç kaynakları klasik doğru akım ya da gerilim kaynakları ile temsil edilemezler[13].

Bir Fotovoltaik güneş pilinin elektriksel özelliklerini belirlemek için bu pilin akım ve geriliminin yükten nasıl etkilendiğini gözlemek gerekir. Bu amaçla Şekil 2.32 (a) da verilen bağlantı kullanılabilir. Bu şekilde, FV pil paneli seri bağlı bir ampermetre üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişmelerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilerek, yük açık konumdan uçlarının kısa devre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilir. Şekil 2.33' de verilen Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir[13].



Şekil 2.7. (a). FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması

(b). FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli.

FV güneş pili paneli oluşturulurken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda (mesela  $N_s$  adet) pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda (mesela  $N_p$  adet) kol paralel bağlanır[2,12]. Bu durum Şekil 2.32' (b) de daha açık olarak verilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 2.32' (a) da verilen FV pil paneli ve bağlantı devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu FV pil panelinin

akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı  $I_{PANEL}$ , gerilimi de  $V_{PANEL}$  ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{pil} = \frac{I_{panel}}{N_p} \quad (2.11)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} \quad (2.12)$$

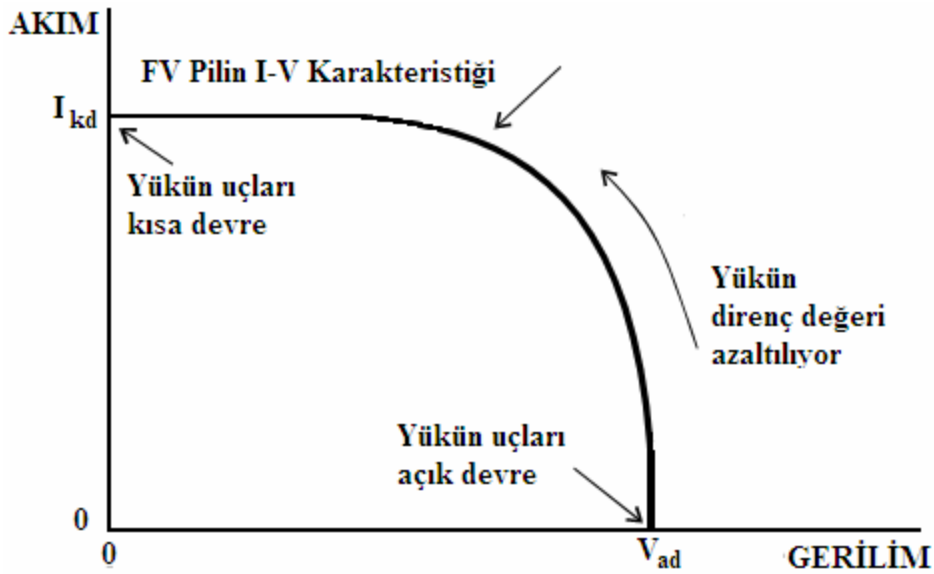
Bağlantıları kullanılarak belirlenebilir. Panelin çıkış gücü;

$$P_{Panel} = V_{Panel} \times I_{Panel} \quad (2.13)$$

Olarak elde edilirken, bir tek pilin gücünde;

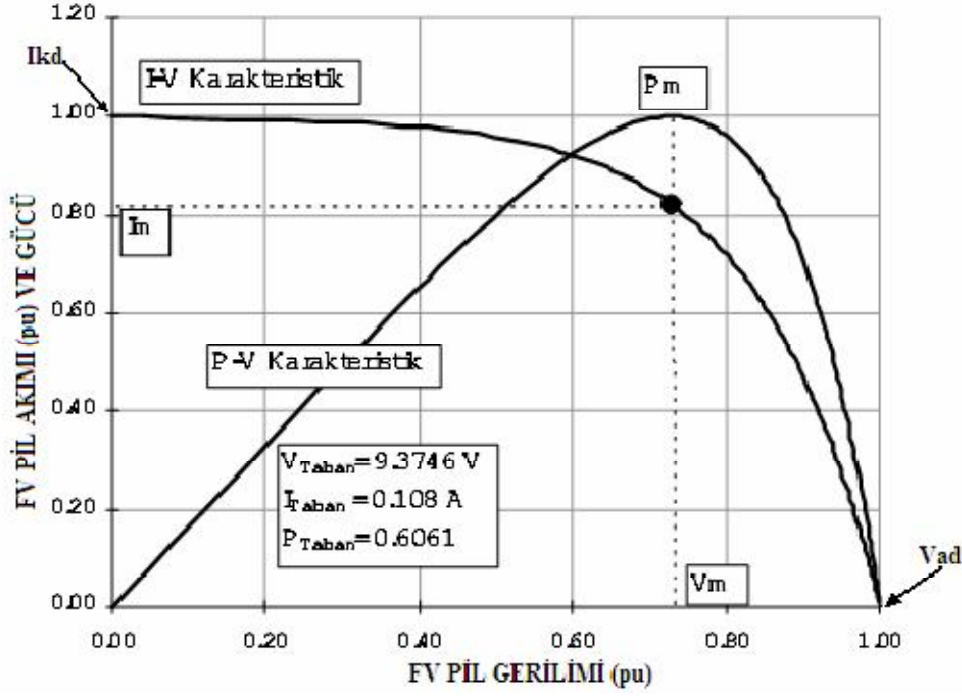
$$P_{PİL} = V_{PİL} \times I_{PİL} \quad (2.14)$$

Bağlantısı kullanılarak belirlenebilir.



Şekil 2.8. FV pil panelin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yükü değişimi.

Gerek yukarıda verilen denklemlerden, gerekse Şekil 2.33' den anlaşılacağı gibi, bir FV pilin ya da panelin akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır. Dolayısıyla çıkış gücünün değişimi Şekil 2.34' de görüldüğü gibi olur[13].



Şekil 2.9. FV pilin I-V ve P-V karakteristikleri.

Şekil 2.34' den anlaşılacağı gibi çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır. Yukarıdaki şekilde I-V eğrisi üç önemli noktadan geçer[13].

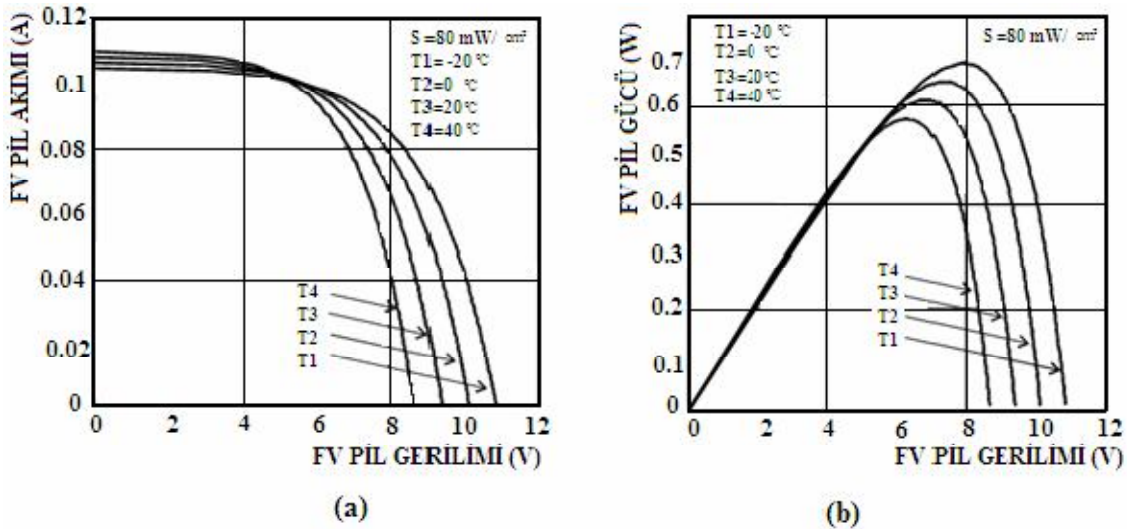
- 1)  $I_{kd}$  kısa devre akımı( hücre çıkış gerilimi sıfırken)
- 2)  $P_m$  maksimum güç çıkışı ( optimum güç çıkışı da denir)
- 3)  $V_{ad}$  açık devre gerilimi( hücre çıkış akımı sıfırken)

Şekilde maksimum çıkış gücü alınabilecek alan; I-V eğrisinin üzerine kösesi gelecek şekilde çizilen maksimum alana sahip dörtgenin kapsadığı bölgedir. Birazdan açıklanacağı gibi bir FV pili ya da panelinin maksimum çıkış gücü, üzerine gelen güneş ışığı seviyesi ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir[22,23]. Dolayısıyla kurulan ve işletilen bir FV pil panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerinde tutmak gerekir[24,25].

FV pilin Şekil 2.34' de verilen I-V ve P-V karakteristikleri 20 °C lik çalışma sıcaklığı ve 80 mW/cm<sup>2</sup> lik güneş ışığı şiddeti (güneş radyasyonu seviyesi) varken elde edilen karakteristiklerdir. Çalışma sıcaklığı ya da güneş ışığı şiddeti değiştiğinde bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalacak şekilde akım, gerilim ve dolayısıyla güç değerleri de değişir[23,24,25].

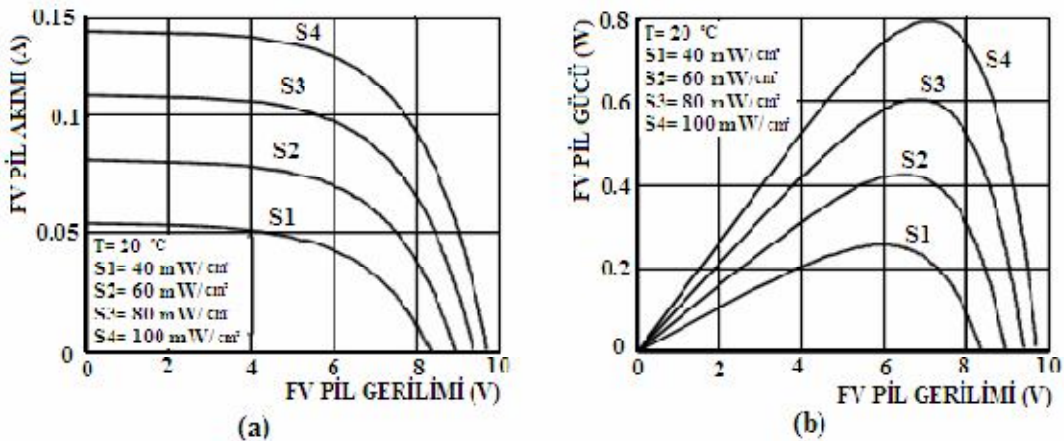
Çalışma sıcaklığındaki değişimlerin I-V ve P-V karakteristikleri nasıl etkiledikleri Şekil 2.35 (a) ve (b) de, güneş ışığı şiddetindeki değişimlerin I-V ve P-V karakteristikleri nasıl etkiledikleri ise Şekil 2.36 (a) ve (b) de verilmiştir. Şekil 2.35 (a) dan görüleceği gibi, çalışma sıcaklığının artması FV pilin çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir[13].

Sıcaklığın artmasından akım da etkilenmektedir. Ancak sıcaklıktaki değişimin asıl etkisi pilin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüksek olması, pilin çalışma sıcaklığını da yükselteceğinden, güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine, FV piller için soğuk ortamlar daha uygundur. Benzer etki, Şekil 2.35 (b) de, FV pilin çıkış gücünde de görülmektedir. Gerilimdeki azalma doğrudan doğruya güce yansdığından, çalışma sıcaklığındaki artış çıkış gücünü de olumsuz yönde etkiler[13].



Şekil 2.10. FV Güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi

Güneş ışığı şiddetinde meydana gelen artışlar, Şekil 2.36 (a) da verildiği gibi FV pilin çıkış akımını olumlu yönde etkilemektedir[24]. Işık şiddetinin akımda meydana getirdiği bu artış, sıcaklığın meydana getirdiği artışa göre oldukça yüksektir. Işık şiddetindeki artış hem pil çıkış akımında hem de pil çıkış geriliminde bir artışa neden olmaktadır[25]. Ancak gerilimdeki artış, akımdaki artışa göre daha küçüktür. Şekil 2.36 (b) den de görüleceği gibi, ışık şiddeti arttıkça FV pilin çıkış gücü de artmaktadır. Güçteki bu artışın kaynağı, anlaşılacağı gibi hem akımdaki hem de gerilimdeki artıştan kaynaklanmaktadır.



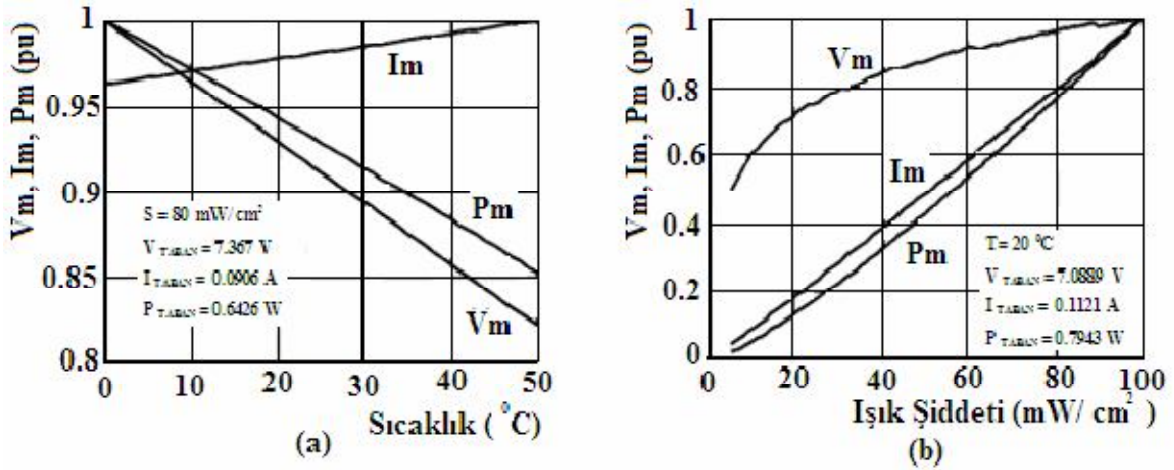
Şekil 2.11. FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi

Verilen bu karakteristikler incelendiğinde şu sonuca varmak mümkündür: FV güneş pillerinin performansı, ışık şiddeti yüksek sıcaklığı düşük ortamlarda daha iyidir[25]. Bu sonuç Şekil 2.37' de verilen grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Bu şekilde verilen grafikler, FV pil çıkış gücünün farklı çalışma sıcaklığı ve günışığı şiddetleri için elde edilen maksimum değerleri ile bu maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedirler. Görüleceği gibi çalışma sıcaklığı arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü ve P-V karakteristiğinde bu güce karşılık düşen gerilimi azaltmaktadır. Benzer şekilde, ışık şiddeti, ya da güneş radyasyonu seviyesi arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü de artmaktadır. Ancak ışık şiddeti arttıkça, maksimum çıkış gücünün yanı sıra, hem bu güce karşılık gelen pil akımı hem de pil gerilimi artar. Şekil 2.37 (a) ve (b) de FV pilin maksimum gücüne karşılık gelen akım değerlerinin sıcaklık ve ışık şiddetiyle arttığı görülmektedir. Sıcaklığın akımda meydana getirdiği bu artış oldukça az iken, ışık şiddetinin meydana getirdiği artış daha belirgindir. Maksimum çıkış gücü  $P_m$  ve bu güce karşılık gelen gerilim  $V_m$  ile akım  $I_m$ , Şekil 2.37' de birim değerler (per units - pu) türünden verilmiştir. Gerçek gerilim, akım ve güç değerleri, ilgili taban değerlere bölünerek bu pu değerler elde edilmişlerdir. Söz konusu taban değerler şekil üzerinde her bir büyüklük için ayrı ayrı verilmektedir. Bu pu değerleri gerçek değerlerine dönüştürmek için verilen ilgili taban değer ile çarpmak gerekir.

Verilen bu eğriler FV pilin imalatında kullanılan yarıiletken malzemenin türüne, sıcaklık ve ışık şiddetindeki değişimlerin miktarına göre biraz değişebilirler. Ancak genel anlamda I-V ve P-V karakteristikler Şekil 2.35, 2.36 ve 2.37 de verilen özelliklere sahiptirler.

FV pil karakteristiklerinde, pil çıkış geriliminin artan sıcaklıklarda daha az olduğu görüldü. Bunun nedeni, sıcaklığın pil kayıplarını artırmasıdır. Sıcaklık arttıkça P-N birleşim noktası kayıpları da artar. Bu kayıplar pilde ısıya dönüştürülerek harcanır. Bu nedenle FV piller modellenirken, eşdeğer devrelere seri-paralel dirençler eklenir. Eğer pil modelindeki seri direnç değeri yüksekse bu dirençte meydana gelen gerilim düşümü de yüksek olur ve pil çıkış gerilimi azalır. Pilin soğuk bir ortamda bulunması, ısınmasını azaltacağından, gerilimdeki düşüşü de azaltır. Pil çıkış akımındaki azalma ise, pil modelinde paralel bir dirençle temsil edilir[16].





Şekil 2.12. FV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının; (a). Sıcaklıkla, (b). Işık şiddetiyle değişimi

Özetle, FV güneş pillerinin karakteristikleri incelendiğinde, akım-gerilim ya da güç gerilim ilişkilerinin klasik doğru akım kaynaklarıinkilere benzemediği görülür. FV pillerin bu karakteristikleri doğrusallıktan oldukça uzaktır. Öyle ki, maksimum çıkış güçleri maksimum akım ve gerilim değerlerinde değil, akım-gerilim karakteristiğinin diz bölümü civarındadır. Ayrıca FV güneş pilleri sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenmektedir.

Sıcaklık arttıkça FV pilin çıkış gerilimi ve gücü azalmaktadır. Karakteristiklerin gösterdiği sonuçlara göre ışık şiddeti FV pillerin temel enerji kaynağını oluşturmaktadır[23,24,25]. Dolayısıyla soğuk ve güneşli ortamlar FV güneş pilleri için en uygun ortamlardır.

### 2.7.3 Performansı Arttırma Yolları

Güneş pillerinden mümkün olan en büyük verimi almanın değişik yöntemleri vardır. Bunlardan en temelleri; açı eğilimli güneş izleyici, maksimum güç noktası izleyici ve yoğunlaştırıcılarıdır[16].

Güneş gün boyu hareketli olduğu için, güneş paneli ışık kaynağına doğru yönelmiş olmayabilir. Bunu sağlamak için panelin eğimini gelen ışığı maksimum yapmak için ayarlamak gerekir[26,27,28]. Güneş yaklaşık ekvator ekseninde bulunduğu için panel bu yöne yönlendirilmelidir[27,29]. Güneş izleyiciler, güneş panelini güneşe otomatik olarak yönlendiren cihazlardır. Bir ve iki eksenli izleyiciler vardır[30].

Maksimum güç noktası izleyiciler, yüke maksimum gücü sağlamak için panelin karakteristiklerini ayarlayan karmaşık sistem devresi içerir. Bu, mikrobilgisayar devresi veya ayırık devre elemanları sağlanabilir. Temel nokta bu cihazın, paneli tepe güç değerini (%98 seviyelerinde verimle) sağlamaya zorlamasıdır[20].

Yoğunlaştırıcılar, panele gelen ışığı -500 kata kadar- güçlendirmekte kullanılırlar. Bunların, yansıtıcı ve refraktör olmak üzere iki tipi vardır. Yansıtıcılar normalde panel boyunca geçecek ışığı panel üzerine geri yansıtan ayna şeklinde yapılardır. Refraktörler de odaklama için mercek kullanılırlar. Bu çeşit cihazlar için ele alınması gereken faktörler panelin fazla ısınması ile mercek ve özel hücrelerin çok pahalı olması ve güneş izleyici kullanımının gerekliliğidir. Bu çözüm, panel performansını yükseltmede pratik yöntem olmayıp daha çok deneyseldir[16,31].

### **2.7.3.1 Yoğunlaştırıcı Sistemler**

Bir güneş panelinin performansı, birkaç değişik yolla artırılabilir. Bir seçenek, güneş ışığını merceklerle toplayarak ve böylece PV hücreye çarpan güneş ışığı miktarını arttırarak ışığın yoğunlaştırılması işlemini gerçekleştirmektir.

Yoğunlaştırma işleminin kullanılmasındaki ana neden, sistemde kullanılan solar hücrenin alanını azaltmak, böylece PV sistemin en pahalı parçası olan solar hücrelerden tasarruf etmektir. Bir yoğunlaştırıcıda, geniş bir alandaki güneş enerjisini elde etmek ve solar hücrenin bulunduğu küçük bir alana bu enerjiyi odaklamak için daha ucuz maddeler (plastik mercekler, metal yataklamalar vs.) kullanılır. Bu yaklaşımın ne kadar etkin olduğunu anlamak için kullanılan bir ölçüt yoğunlaştırma oranıdır[31].

Gücü arttırmanın ve kullanılan hücrelerin büyüklüğü veya sayısını azaltmanın yanında yoğunlaştırıcılar, yoğunlaştırılmış ışık altında hücre verimini arttırması gibi bir ek avantaja sahiptir. Verimin ne kadar yükseldiği hücre tasarımına ve hücre hammaddesine bağlıdır. Yoğunlaştırıcının bir diğer avantajı küçük bağımsız hücreler kullanabilmesidir[26].

Diğer yandan, yoğunlaştırıcının kullanılmasında bazı dezavantajlar da vardır. Gereken yoğunlaştırıcı optiği, düz panel modüllerden daha pahalıdır ve çoğu yoğunlaştırıcıların gün boyu ve yıl boyunca güneşi izlemeleri gerekir. Böylece daha yüksek yoğunlaşma oranları yalnızca daha pahalı izleme mekanizmaları kullanılarak değil, sabit yapıdaki düz panel sistemlerdekinden daha hassas doğrulukta kontrol yapılarak elde edilir.

Yüksek yoğunlaştırma oranları da önemli bir problemdir. Çünkü hücrelerin çalışma sıcaklıkları radyasyon yoğunlaştıkça artar. Hücre verimleri sıcaklıkla birlikte azalır ve yüksek sıcaklıklar uzun vadede hücrelerin sağlamlığını etkiler. Bu yüzden güneş hücreleri serin tutulmalıdır[31,32].

## BÖLÜM 3

### FOTOVOLTAİK SİSTEM

#### 3.1 Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mimaride kullanımı sürdürülebilir bir çevre ve sürdürülebilir bir gelecek için önem taşımaktadır. Fosil yakıtların önemli ölçüde binalar tarafından tüketiliyor olması binalara ve tasarımcılarına ciddi bir sorumluluk getirmektedir. En çok gelecek vaat eden yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanan fotovoltaik sistemler temiz bir gelecek için birçok fırsat sunmaktadır.

PV'lerin halen pahalı bir teknoloji oluşu optimal kullanımı gerektirir. PV kullanım faydalarını şöyle sıralayabiliriz;

- ✓ Tüm yerleşim bölgesi için ya da genelde bina için yıllık elektrik enerjisi giderlerini düşürmek
- ✓ Maksimum enerji ihtiyacını karşılamak ya da yardımcı olmak
- ✓ Çevreye, zarar vermeden enerji üreterek katkıda bulunmak
- ✓ Çağdaş mimari ve mühendislik yaklaşımı sağlamak

Günün en yoğun zamanlarında elektrik üreterek hem şebekenin yükünü azaltmış hem de bulunduğu yapının enerji ihtiyaçlarını karşılamış olurlar. Üstelik herhangi bir taşıma ve dağıtım kayıplarına uğramadan elektrik ihtiyacını karşılar. [6],[12]

#### 3.2 PV Kullanımının Avantajları

PV kullanımının avantajları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Güneş enerjisi ile çalıştığından ek bir yakıtı ihtiyaç yoktur.
- ✓ Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çevirebilen tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip olandır.
- ✓ İletim hattına gerek yoktur. Gücün tüketileceği yere kurulabilir.
- ✓ Uzun ömürlüdür.(Ömrü teorik olarak sonsuz olmasına karşın yaklaşık 20 yıldır.)
- ✓ Aşırı derecede güvenli ve bakım gerektirmez.
- ✓ Havayı kirletmez çevreye zarar vermez.
- ✓ Ham maddesi silisyum doğada en bol bulunan malzemedir. Yenilenmeyen petrol, kömür vb. yakıtları kullanmaz.
- ✓ 1W'tan MW 'lara kadar enerji üretebilir.

- ✓ Modüler ve çok yönlü kullanılır. İstenildiğinde güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla artırılabilir veya azaltılabilir. Modüllerden bir grup devre dışı kalsa bile güç üretimi devam eder.
- ✓ Çalışırken elektrik sorunu yoktur.
- ✓ İstenilen voltaj üretilebilir. Akım seri ya da paralel bağlanabilir.
- ✓ Elektrik şebekesine yoğun saatlerde destek sağlamış olur.
- ✓ Gerektiğinde şebekeden elektrik desteği almayı engellemez.
- ✓ Fazla üretilen enerji akümülatörlerde depolanabilir.
- ✓ Fazla üretilen enerji elektrik şebekesine satılarak ilk yatırım maliyetleri düşürülmüş olur.
- ✓ Sera etkisi yaratan gaz salınımı olmaz.
- ✓ PV ürünleri transparan ve renkli üretilebilir. PV hücre renkleri siyah monoristal silisyum, mavi polikristal silisyum, kırmızımsı kahverengi amorf silisyum olarak üretilebilir.
- ✓ Sessizdirler.
- ✓ Çalıştırmak için özel bir eğitime ihtiyaç yoktur.
- ✓ Güneş ısınımı olan her alanda kullanılabilirler. [6,12,16,17]

### 3.3 PV Kullanımının Dezavantajları

PV kullanımının dezavantajları aşağıda açıklanmıştır.

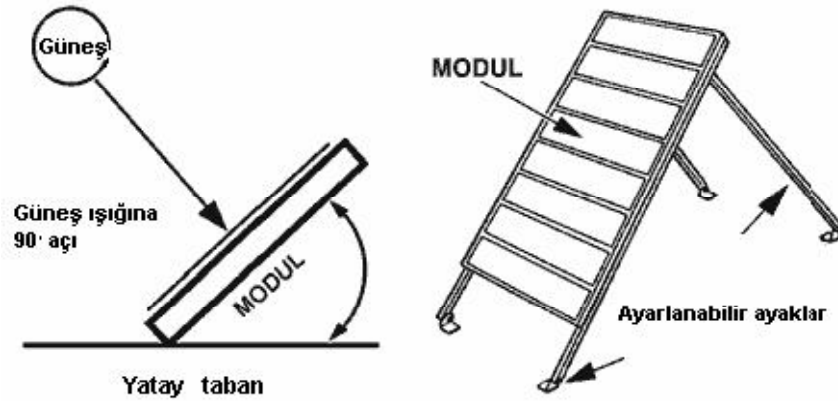
- ☒ İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- ☒ Üretilen akım doğru akım olduğundan, ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da çevirici kullanmak gerekir.
- ☒ Enerji sürekli olmadığı için enerjinin batarya grubu ile depolanması gerekir.
- ☒ Güneşlenme yönünden zengin bölgelere ihtiyaç vardır.
- ☒ Çok fazla güneş ışığı alan bölgelerde sıcaklık nedeniyle verim azalmaktadır. Bu yüzden PV'ler havalandırılarak soğutulmalıdır.
- ☒ Verimi gölge ile düşer. Bu yüzden PV panellerinin yüzeyi devamlı temiz tutulmalı ve sadece su ile temizlenmelidir. Diğer taraftan gölge yapabilecek elemanlardan kaçınılmalıdır.
- ☒ Güneş enerjisinden optimum yararlanmak için PV'ler eğimli yüzeylerde kullanılmalıdır. Maksimum enerji verimi için kuzey yarımkürede güneşe doğru yönlendirilmelidir. [6,12,16,17]

## BÖLÜM 4

### GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

#### 4.1 Güneş İzleyici Sistem

Bir güneş panelinin çıkış gücü, panele düşen ışığın miktarına bağlıdır[27,28,29]. Güneş panelleri hareket ettirerek ve güneşe yönelmelerini sağlayarak elektrik üretimleri maksimuma getirilebilir[30]. Panelleri gelen güneş ışığına dik olarak yönelten elemanlara izleyici denir. Tek bir ekseninde örneğin doğu-batı ekseninde modülleri hareket ettirmekte kullanılan izleyicilerin, soğuk rüzgârlı iklimlerde izleyicinin çalışması için yeterli ısı enerjisi elde edilmesi gibi problemler oluşturmaktaydı. Daha sonraki uygulamalarda modülleri hareket ettirmek için elektrik şebekesine bağlı lineer aktuatörler olabilir. İki aktuatörden biri modülleri doğudan batıya, diğeri ise kuzeyden güneye hareket ettirmekte kullanılır[30]. Her iki aktuatör, izleyiciyi güneşe dik konumda sabit tutan bir çift LDR katıyla kontrol edilebilmektedir. Sekil 4.39’de temel bir güneş izleyici sistem gösterimi verilmektedir.



Sekil 4.13. Temel bir güneş izleyici sistem gösterimi

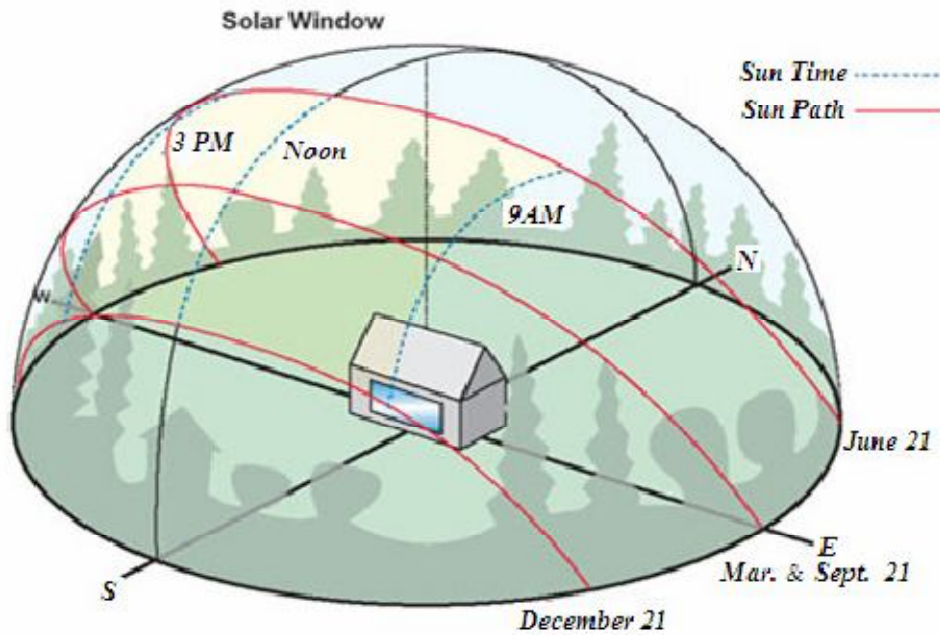
#### 4.1.1 Güneş Paneli Açılımları

Güneş panelleri, güneş ısılarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler[11]. En yüksek verim, güneş ısılarının panele dik olarak gelmesi durumunda elde edilir. Sabit durumdaki bir güneş paneline göre güneşin sürekli olarak hareket halinde olması, dünyanın hareketine bağlı olarak meydana gelen bu zahiri hareketin daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Güneşin günlük olarak doğudan batıya doğru yaptığı hareketin eksensel olarak değişimi sekil 4.40’de görülmektedir.

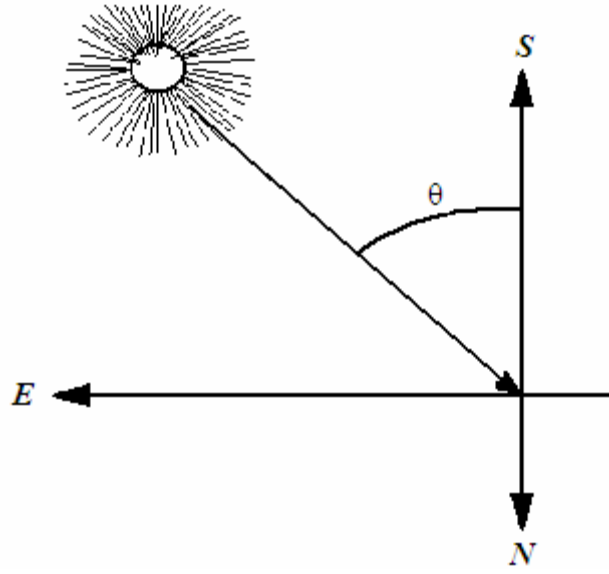
Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi güneşin dünyaya ulaşan enerjisi, mevsimler ve gün içerisindeki zaman dilimlerine göre farklılık gösterir. Bu sebeple projeler tasarlanırken

sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama meteorolojik bilgileri (Kapalı gün sayısı, bulutlu gün sayısı, donlu geçen gün sayısı) çok önem taşımaktadır. Bu veriler dikkate alınarak sistem tasarlanır[32].

Türkiye 42-36 kuzey enleminde yer almaktadır ve bu yüzden kışın ve yazın güneş ışığında ortalama 300' lik açı değişikliği olmaktadır. Güneş ışınları yazın 21 Haziranda en dik açı ile yere ulaşır, 21 Aralık ise açı azalarak değişim gösterir. Her iki tarihte gündüz, 12-13 saatleri esnasında güneş ışınlarına panel dik olacak şekilde ayarlamak gerekir. Aksi takdirde verim az olur. Karlı bölgelerde ise paneli kardan temizlemek gerekir. En az 6 ayda bir açı ayarı ve yüzey temizliği yapılmalıdır[31,32,33]. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket şekil 4.14' de görülmektedir.

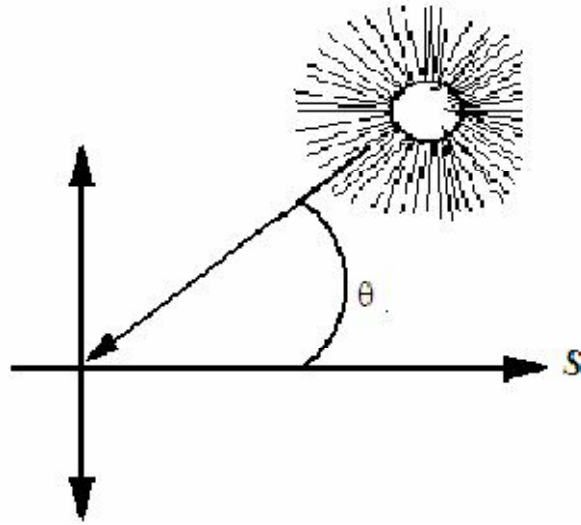


Şekil 4.14. Güneşin mevsimsel olarak değişimi [33]



Şekil 4.15. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket

Ayrıca güneşin zahiri yüksekliğinin, kış mevsiminden yaz mevsimine farklılık gösterdiği dikkate alınmalıdır. Kuzeyden güneye doğru olan bu hareketin eksensel değişimi şekil 4.42’de görülmektedir[32].



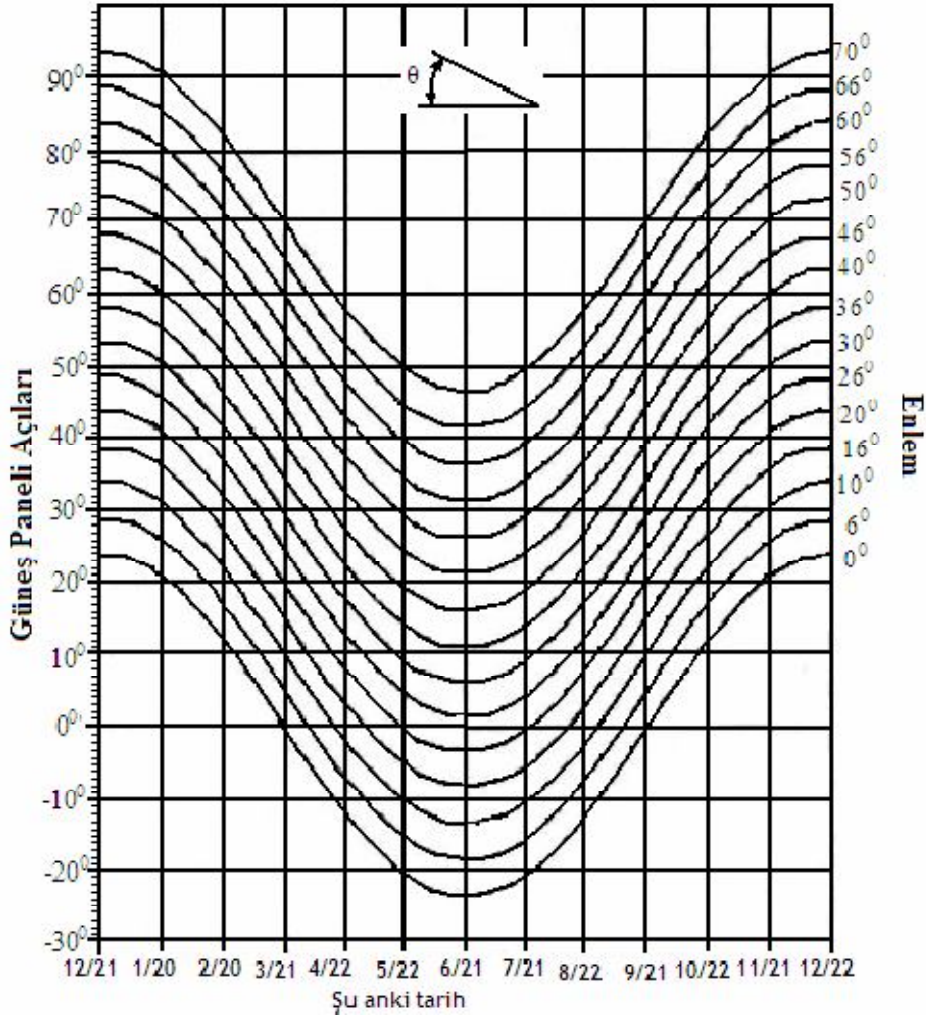
Şekil 4.16. Güneşin kuzeyden güneye doğru yaptığı zahiri hareket

Sabit montajlı güneş panellerinin ayarlanması, yıllık %10-%40 arası daha fazla güç çıkışı alması anlamına gelir. Eğer panel izleyici adı verilen düzenek kullanılır. Bir güneş izleyici, güneşin günlük hareketini takip ederek panelde %25-%35 arası daha fazla güç sağlayabilir[27]. Eğer güneşin mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye hareketi takip edilmek istenirse elle yapılacak bir ayarlama PV güç üretimini %10’a kadar arttıracaktır[30].

Sekil 4.43' de, mevsimlere bağı olarak kuzeyden güneye ayarlamının yapılışı için gerekli bilgi verilmektedir[31].

Bu diyagramda, panelin güney tarafına doğru tutulduğu kabul edilmektedir. Çizelgenin y eksenini güneş paneli yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. X ekseninde yılın günleri vardır. Her biri 5°'lik aralıkla 15 eğri çizilmiştir. Çizelgede, önce bulunulan yere en yakın enleme bakılır. Daha sonra x ekseninde o anki tarihe karşılık gelen yere kadar eğri takip edilir. Y ekseninde karşılık gelen açı güneş panelinin yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. Bu açı, bu tarihte öğle vaktinde güneş ışınlarının güneş paneline dik olarak geleceği açıdır[31].

Panel açısının hesabı, güneşin gökyüzünde en yüksek konumda olduğu öğle vakti, panelin güneş ışınlarına dik konumda olacağı farz edilerek yapılır. Bu anda bulunulan yerden güneşe çizilecek bir doğru ile ufuk düzlemi arasındaki açı maksimumdur[31].



Şekil 4.17. Güneş paneli açısı tespit diyagramı



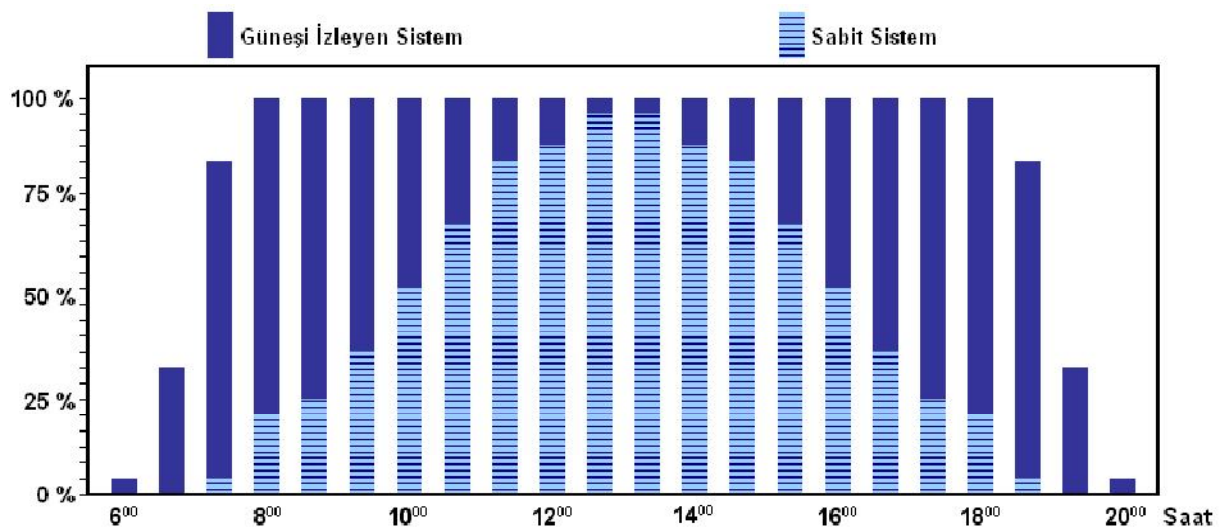
Bu hesapta iki parametre kullanılmaktadır. Bunlar bulunulan yerin enlemi ve güneş enlemidir (declination). Güneş enlemi, güneşin öğle vakti direkt yukarda olduğu enlemdir. Bu, yaz gündönümündeki (21 Haziran) 23,5° kuzey enleminden, kış gündönümündeki (21 Aralık) 23,5° güney enlemine kadar değişir. Güneşin ekvator ekseninde olduğu ekinoks durumlarında (21 Mart ve 21 Eylül) güneş 0° enlemedir. Herhangi bir günde, güneşin üzerinde olduğu enlemin veya şekil 3,5’de gösterilen açısının hesabı için denklem (4.1) kullanılabilir.

$$D=12,5^{\circ}\sin[(T/365,25)*360^{\circ}] \quad (4.1)$$

#### 4.2 Tasarlanan Güneş Takip Sisteminin Çalışma Prensibi

Tasarlanan ve prototipi üretilen güneş takip sistemi güneşin doğumundan batımına kadar olan süre içerisinde güneş ışınları gün boyu panele dik düşecek şekilde güneşi izleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu sayede gün içerisinde güneş ışınları en verimli şekilde kullanılarak, güneş enerjisinden en yüksek değerinde yararlanma imkânı ortaya çıkmaktadır [2].

Güneş panellerinin genel olarak kullanımında, paneller sabit pozisyonda monte edilmektedir. Bu sebepten dolayı güneş ışınları sadece belirli zaman aralığında panellere dik olarak gelmektedir. Bu da güneş panellerinden elde edilen enerjinin gün içi ortalamasını %55’lere kadar düşürmektedir. Sabit panel sisteminin ve güneşi izleyen panel sisteminin kullanılması durumundaki güneşli bir yaz gününde elde edilebilecek güç diyagramı Şekil 4.44’ de verilmiştir.



Şekil 4.18 Sabit panel sisteminin ve güneşi izleyen panel sisteminin güç diyagramı

Bu çalışmada önerilen güneşi izleyebilen sistem sayesinde güneş enerjisinden gün boyu istifade edebilme olanağı ortaya çıktığından dolayı, bu sayede kayıp olan yaklaşık %45'lik kısmın sisteme katılımı sağlanmaktadır.

Sistem içerisinde kullanılan güneş panellerinin toplam gücü 5W'tır. Bir güneş panelinin günde ortalama 8 saat enerji ürettiğini kabul ederek günlük toplam enerji birikimimiz  $5W \times 8h = 40Wh$  olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş takip sistemi için gerekli enerji 2 adet 3,6 W gücünde 5 devir/dakikayla dönebilen redüksiyonlu doğru akım motoru ile sağlanmaktadır. Günlük toplam hareket açısı 180 derece, güneş panel şasisinin hareket hızı 30 derece/saniye olduğu bilindiğine göre güneş panel kaidesi günlük toplam hareketi olan 180 derecelik açisal yolu, 6 saniyede tamamlamaktadır. Bu motorlu panelin günlük enerji tüketimi  $2 \times (6/3600)h \times 3.6W = 0.012 Wh$  değerindedir. Sonuç olarak enerji tüketiminin günlük enerji üretimine oranı %0.03 olarak hesaplanır.

Güneş panellerinden elde edilen enerji bütün güneş panel sistemlerinde olduğu gibi ara tampon bölge olan akülerde toplanıp talebe göre doğru akım olarak veya evirici yardımı ile alternatif akım olarak kullanılabilir.

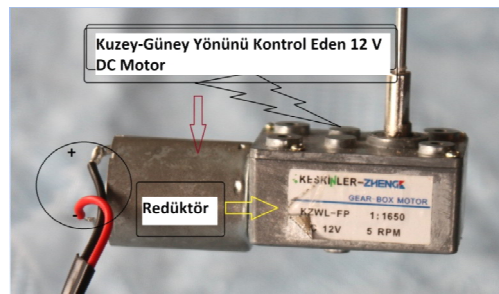
### 4.3 Tasarlanan Güneş Takip Sisteminin Yapısı

Projenin tasarım aşaması 2 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

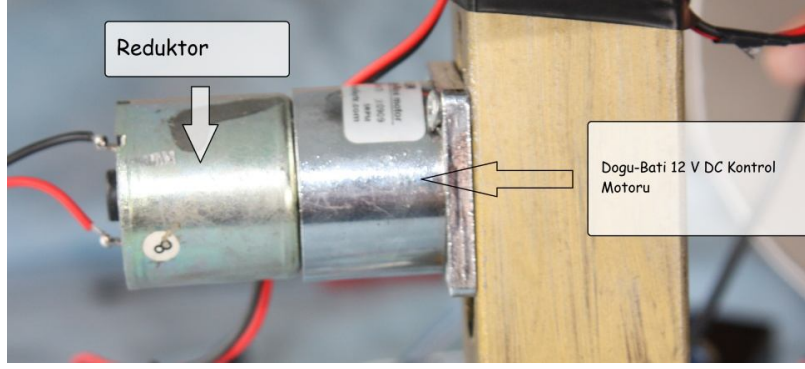
- ◆ **Mekanik düzeneğin oluşturulması:** Yatay ve dikey hareketi sağlayan 2 dc motor, LDR, sürücü devrelerinin bulunduğu ana kontrol kartı, dişliler, rulmanlar ve aktarma elemanları sistemin mekanik tasarımını kapsamaktadır.
- ◆ **Kontrol sistemi:** Bu bölümde mekanik sistemin iki temel hareketinin kontrolü amaçlanmıştır. Bu hareketler doğu-batı ve kuzey-güney hareketleridir. LDR ve bu LDR' ler üzerine düşen ışık miktarı bilgilerinin değerlendirilmesi incelenmiştir.

#### 4.3.1 Mekanik Düzenek

Mekanik sistem, yatay ve dikey hareketi sağlayacak iki adet DC motordan ve bunlara akuple redüktör dişli sisteminden oluşmaktadır. Redüktör sistemi sayesinde yük tarafından DC motorların mili üzerinde oluşturulan büyük tork etkisi azaltılmıştır.



Şekil 4.19 Kuzey-Güney Yönünü Kontrol Eden 12 V DC Motor Ve Redüktör



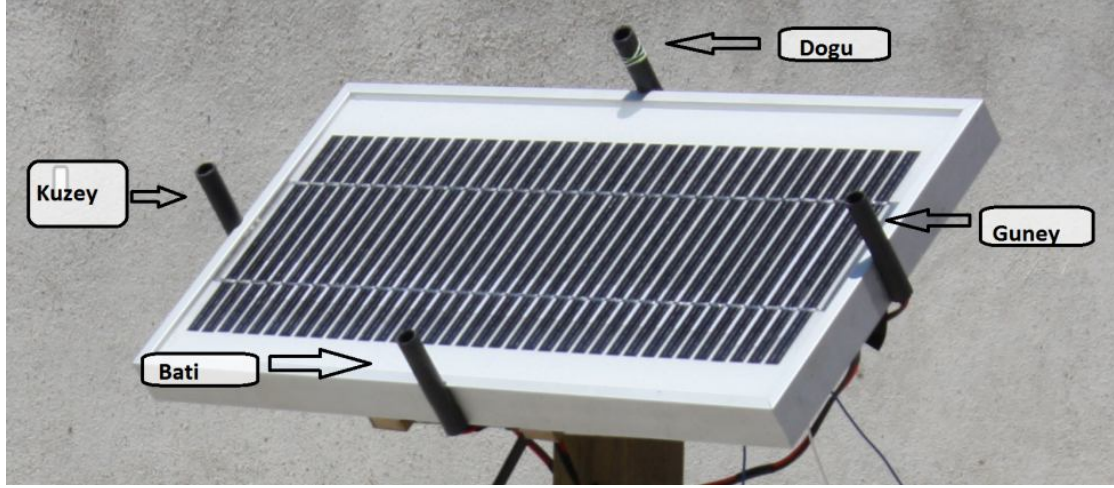
Şekil 4.20 Doğu-Batı Yönünü Kontrol Eden 12 V DC Motor Ve Redüktör

Yapılan hesaplamalara göre tasarlanan mekanik sistemin 7-8 kilo civarındaki güneş panellerini kaldırabileceği tahmin edilmektedir. Burada elektronik olarak kontrolün sağlanacağı bölüm DC motorların girişleridir.



Şekil 4.21 Güneş Takip Sisteminin Mekanik Tasarımı

Şekil 4.45’de görüldüğü gibi doğu-batı hareketi üsteki DC motor tarafından sağlanmaktadır. Güney-kuzey hareketi ise altta bulunan DC motor ve yine bu motora akuple edilmiş olan redüktör sayesinde gerçekleştirilmiştir. Mekanik sistem üzerinde kontrol sistemine LDR ile konum bilgisini bulmak için tasarladığımız sistem platformu Şekil 4.48’de görülmektedir.



Şekil 4.22 Güneş Takip Sisteminin Mekanik Tasarımı Kontrol Mekanizması

### 4.3.2 Kontrol Sistemi

Kontrol sistemi, DC motor kontrol devresi ve gerekli sinyali oluşturan LDR den oluşur. Kontrol sistemi tasarlanması esnasında sistemin sade, arza ihtimalini en aza indirmiş, ekonomik, bakım ve onarımı kolay olacak bir şekilde düşünülmüştür.

#### 4.3.2.1 Kontrol Sisteminin Adım Adım Oluşturulması

- ❖ Sisteme uygun motor secimi
- ❖ Seçilen DC motor kontrol devresi tasarımı
- ❖ Kontrol devresinin simülasyonunun yapılması
- ❖ Simülasyonu yapılan kontrol devresinin laboratuarda test edilmesi
- ❖ Kontrol devresinin DipTrace İsis de çizimi
- ❖ Kontrol devresinin DipTrace Aras de çizimi
- ❖ Kontrol devresinin bakır plakaya aktarılması
- ❖ Kontrol devresinin bakır plaka üzerine elemanlarının yerleştirilmesi
- ❖ Kontrol devresinin test edilmesi

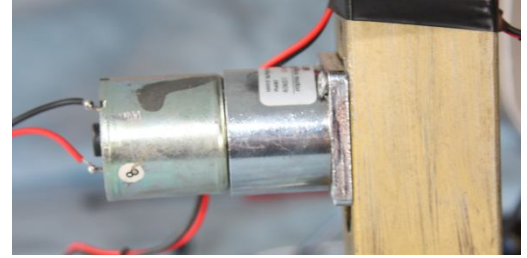
##### 4.3.2.1.1 Sisteme Uygun Motor Seçimi

Sistemin hareketini dinamik sistemiyle yapılmaktadır. Dinamik sistem derken ilk akla gelen motordur. Motorlar elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren elektrik makineleridir. Motorlar AC ve DC olmak üzere iki grupta incelenebilir. Güneş takip sistemi için kullandığımız motor 12 V DC motordur. DC motorların devirleri yüksektir. Güneş bir gün boyunca yer değişimi yavaş ve sürekli olduğu için seçilen motorun devri düşük olması lazım fakat seçilen en düşük devirdeki motor bile devri sistemi için uygun değildir. Motor

devrini düşürmek için redüktör kullanılmıştır. 12 V DC redüktörlü motorun momenti 5 dev/dak dir. Redüktörler motor devrini düşürürken motorun torkunu yükseltiyor. Buda motor için avantajlı bir durumdur. Çünkü motor seçiminde motorun nominal gücüne de bakılır. Seçilen motor, yapılan hesaplamalara göre 7-8 kg'lık bir yükü taşıyabilir. Güneş takip sistemi için seçilen motor boşa 30 mA çekerken yüklü haldeyken 80 mA'lık bir akim çekmektedir. Bu özellikteki bir motor bizim için uygundur.



Şekil 4.23 Güney-Kuzey Motoru



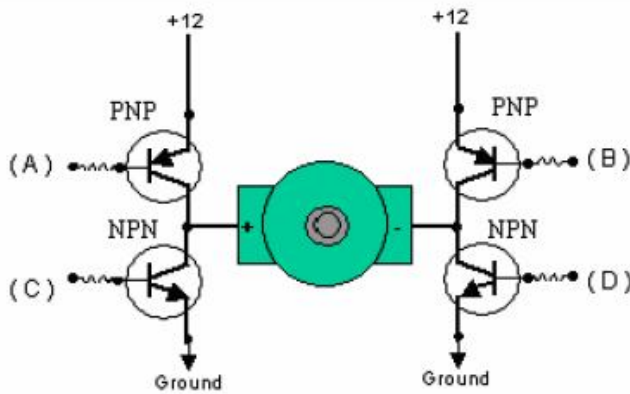
Şekil 4.24 Doğu-Batı Motoru

#### 4.3.2.1.2 Seçilen DC Motor Kontrol Devresi Tasarımı

Güneş takip sistemi için seçilen motor DC motor olduğu için DC motor kontrol devresi seçilmesi gerekir. DC motor kontrolü birçok yöntemle yapılabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda en uygun DC motor kontrol devresi H-Bridge (H-köprü) kontrol devresidir. Bu kontrol devresi hem kolay hem ekonomik hem de kontrol hızı yüksektir.

#### H-Bridge;

DC Motorun uçlarını bir gerilim kaynağına bağlarsak, motor bir yönde dönmeye baslar, DC Motorun uçlarını gerilim kaynağına ters olarak bağladığımızda ise motorun ters yönde hareket ettiğini görürüz. DC Motorun yön kontrolünü sağlayabilmek için H-Bridge (H-Köprü) denilen bir yöntem geliştirilmiştir. H-Bridge genel olarak 4 adet transistör, diyot ya da MOSFET ile gerçekleştirilen motorun iki yönlü dönebilmesini sağlayan bir yöntemdir.



Şekil 4.25 H-Bridge Devresi

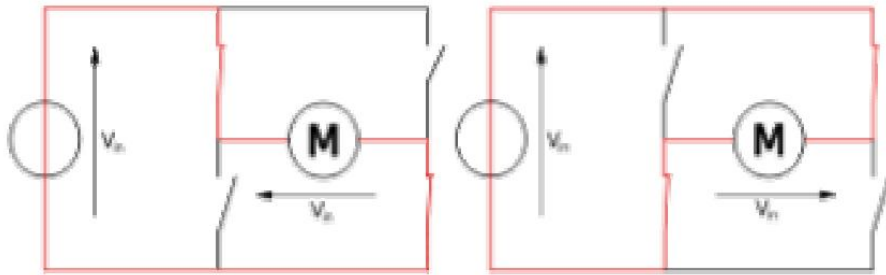
Yandaki şekilde 4 adet transistörle yapılmış bir H-Bridge devresi görülmektedir. Bu devrede 2 adet PNP ve 2 adet NPN transistör kullanılmıştır. Bu devrede A=1, D =1, B=0 ve C=0 yapıldığında motor sağa doğru dönecektir. Tersisi durumda, A=0, D =0, B=1 ve C=1 yapıldığında ise motor sola doğru dönecektir.

A=0, D =1, B=0, C=1 ve A=1, D =0, B=1, C=0 durumlarında ise motor fren yapacaktır.

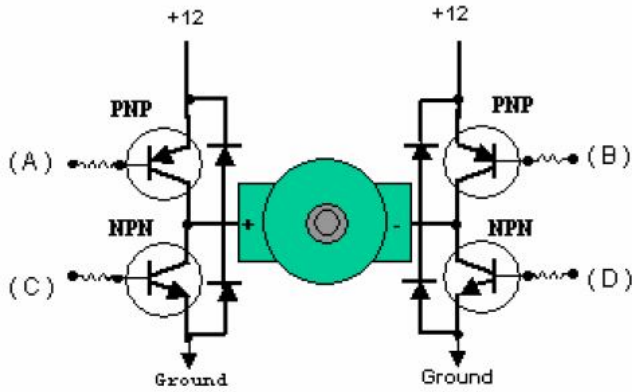
A=1, D =0, B=0, C=1 ve A=0, D =1, B=1, C=0 durumlarında ise 12V ve toprak kısa devre olduklarından böyle bir durum devre için çok sakıncalıdır. H-Bridge yöntemi kullanılırken **hiçbir şekilde** bu iki durumun oluşmasına fırsat verilmemelidir.]

A	B	C	D	Fonksiyon
1	0	0	1	İleri dönme
0	1	1	0	Geri dönme
1	1	0	0	Fren
0	0	1	1	Fren
1	0	1	0	Kısa Devre (!)
0	1	0	1	Kısa Devre (!)

Şekil 4.26 Güneş Takip Sistemi Kontrol Devresi Algoritması



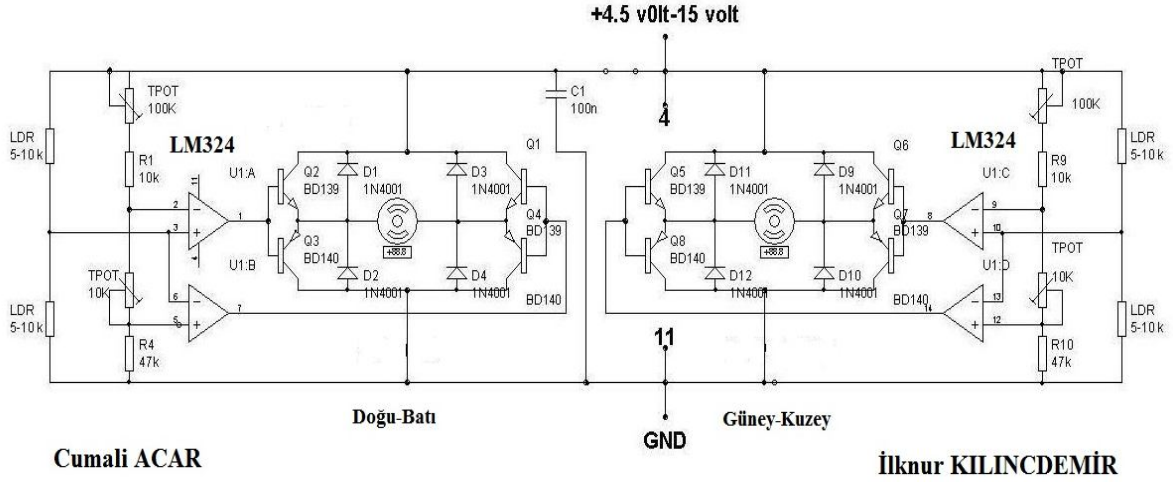
Şekil 4.27 Transistörlerin Durumuna Göre Motorun Dönme Yönü



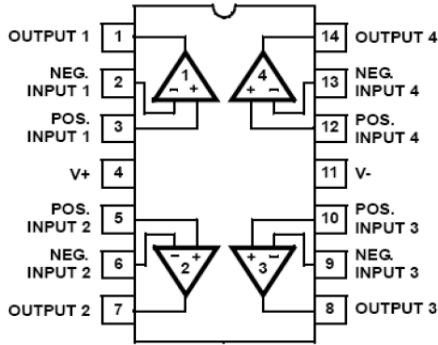
Şekil 4.28 Ters Akım Diyotlu H-Bridge Devresi

Motorda açma ve kapama anlarında indüklenerek gerilim çoğu zaman besleme geriliminin bile üzerine çıkabileceğinden böyle bir durumda transistörlerin üzerinden ters akım geçecek ve transistörler yanacaktır. Yandaki şekilde ise transistörleri, açma ve kapama anında motorda üretilecek gerilimden korumak için koruma diyotları bağlanmıştır.[32]

## 4 Yönlü Güneş Takip Sistemi



Şekil 4.29 DC Motor Kontrol Devresi



4.30 LM324 Entegresi

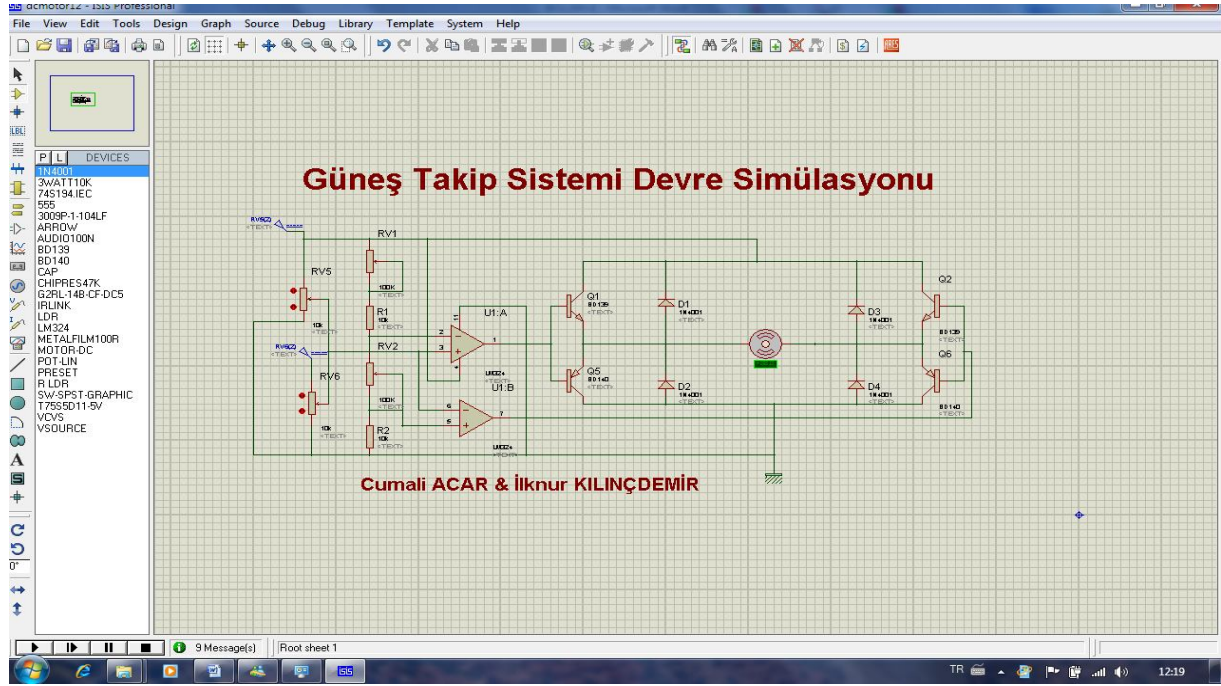
H-Bridge devresindeki transistörleri sürmek için LM324 entegresi kullanılmıştır. LM324 entegresinde 4 adet opamp (karşılaştırıcı) vardır. Opamp'lar girişlerindeki gerilim değerlerini karşılaştırarak çıkışında lojik 1 veya 0 olmaktadır. Entegrenin 11'inci ayağı toprağa, 4'üncü ayağı da kaynağa bağlanır. Negatif uçlarına bağlanan Şekil gerilim değeri pozitif uçlarına bağlanan gerilim

değerinden büyük olduğu zaman çıkış sinyali verir. Tasarlanan devrede LM324 entegresinin içindeki opamp'ların (-) uçlarına potansiyometre üzerinden gerilim bağladık, (+) uçlarına ise LDR üzerinden gerilim bağladık. LDR aldığı ışığa bağlı olarak direnci değişir. LDR değişken direnç özeliği gösterdiği için opamp'ın pozitif ucuna sürekli değişken bir gerilim uygulayacaktır. Opamp sürekli bu iki gerilimi karşılaştırarak çıkışta bir sinyal oluşturarak transistörleri sürer.

### 4.3.2.1.3 Kontrol Devresinin Simülasyonunu Yapılması

Güneş takip sistemi için tasarlanan devre uygulamaya geçirmeden sanal laboratuvarda çalıştırılması gerekir. Çünkü istenilen sonuçları sağlayıp sağlamadığına bakılması gereklidir. İstenmeyen sonuçlarla karşılaştığında gerekli elemanlar üzerinde değişikliklerin yapılması daha uygundur. Simülasyonu yapılmadan uygulamaya geçirilen devreler, yapıldıktan sonra

istenmeyen sonuçlarla karşılaştığında devrenin yeniden yapılması gerekiyor. Bu durum zaman kaybına neden olduğu gibi ekonomik kayba da neden olmaktadır.



Şekil 4.31 Güneş Takip Sistemi Devre Simülasyonu

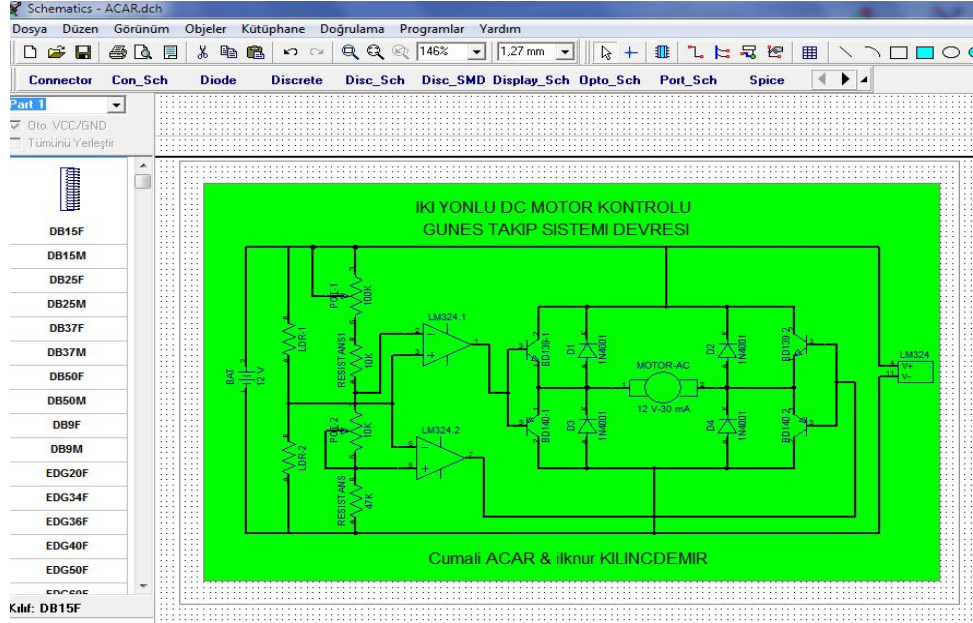
#### 4.3.2.1.4 Simülasyonu Yapılan Kontrol Devresinin Laboratuarda Test Edilmesi

Simülasyonu yapılan devre uygulamaya geçilmeden önce kullanılacak elemanlarla board üzerinde devre kurulup test edilmesi gerekiyor. Çünkü sanal laboratuarda her hangi bir etken yoktur. Ayrıca kullanılan elemanlar ideal kabul edilmektedir. Fakat gerçekte olan elemanlardan hiç biri ideal değildir. Oluşturulan devre dış etkenlere da maruz kalmaktadır. Bu şartların devreyi ne kadar etkilediğini öğrenmek için laboratuarda uygulanması gerekiyor. Kontrol devresinin uygulamaya geçirilmeden bu testler yapılarak devrenin daha iyi sonuçlar vermesi için mudahale edilebilir.

#### 4.3.2.1.5 Kontrol Devresinin DipTrace İsis de Çizimi

Güneş takip sistemi kontrol devresi son halini alırken devreyi gerçekleştirmek için ilk önce herhangi bir devre tasarım programında devre tasarlanması gerekiyor. Devre tasmini için DipTrace devre tasarım programını seçtik. Bu programı seçmemizin nedeni programın kullanımı kolay, dili Türkçe ve zengin bir kütüphaneye sahip olmasıdır.

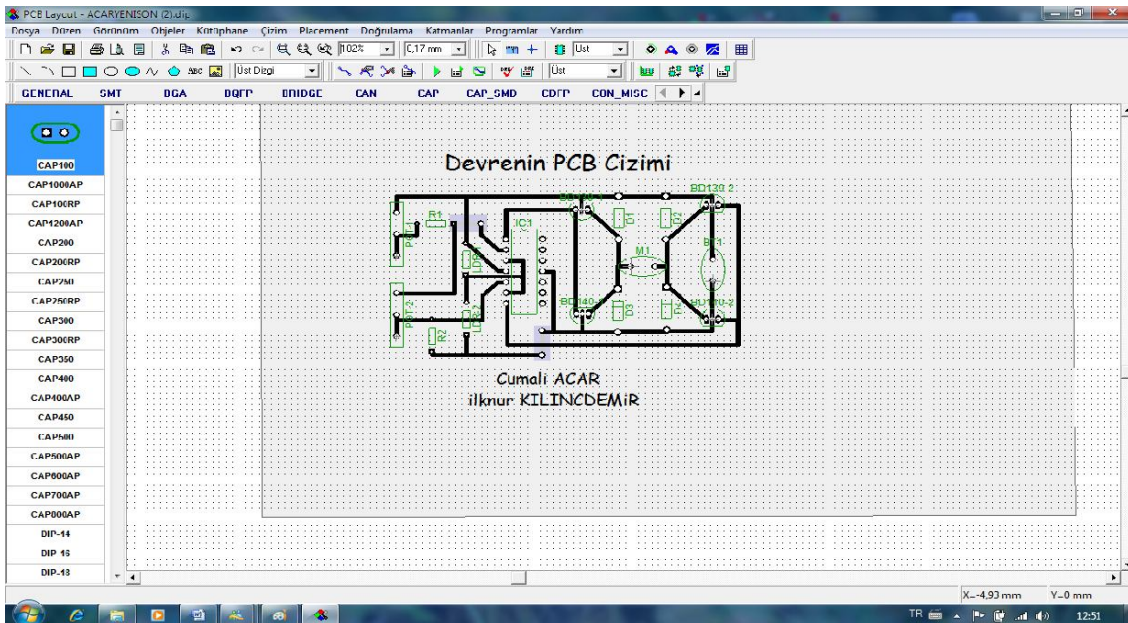




Şekil 4.32 Devrenin DipTrace İsis de Çizimi

#### 4.3.2.1.6 Kontrol Devresinin DipTrace Aras da Çizimi

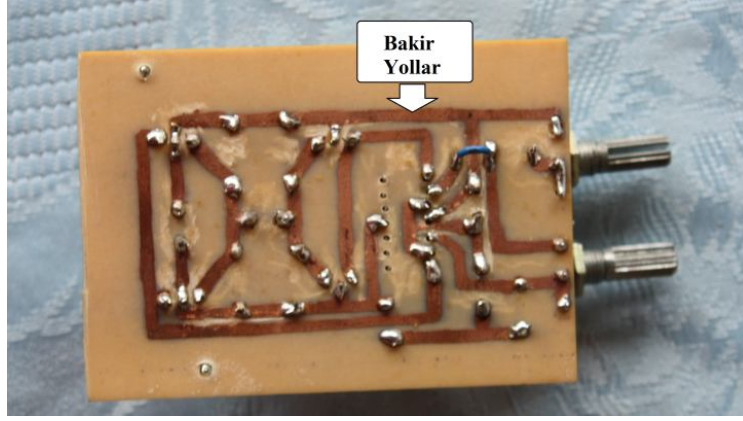
Kontrol devresinin yazıcından çıktı alıp bakır plakaya aktarmamız için devrenin PCB'sini oluşturmamız gerekli. DipTrace İsis de çizilen devre DipTrace Aras a aktarılarak devrenin PCB'sini oluşturulur. PCB tasarımı yaparken; yolların bir birini kesmemesi gerekir, elemanları simetrik olması ve birbirine değmemesi gereklidir. Ayrıca montaj esnasında devrenin az yer kaplaması için tasarım esnasında mümkün oldukça küçük tasarlanması gereklidir. Tüm durumlar göz önünde bulundurularak devre optimum düzeyde çizilmesi gereklidir.



Şekil 4.33 Devrenin DipTrace Aras de Çizimi

#### 4.3.2.1.7 Kontrol Devresinin Bakir Plakaya Aktarılması

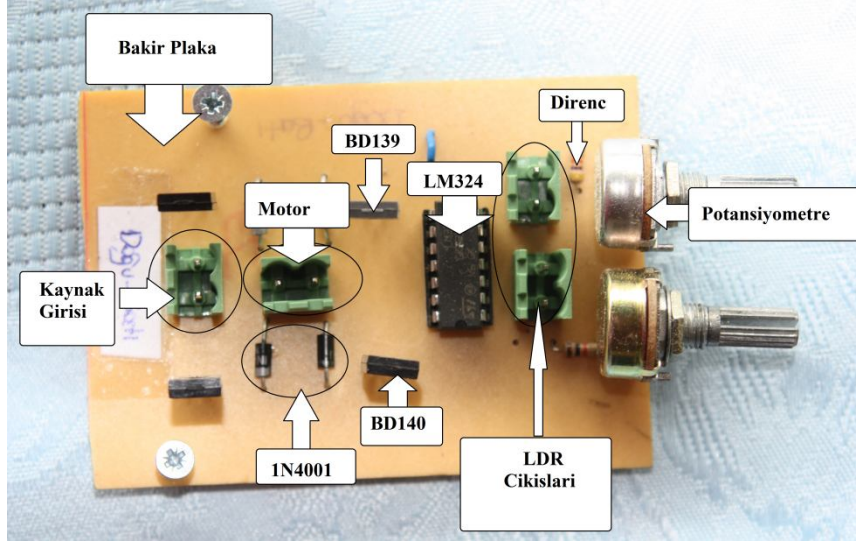
Kontrol devresinin PCB'si hazırlandıktan sonra bakir plakaya aktarılır. Devre PCB'si aydınır kâğıdına çıktı alınır. Aydınır yağlı bir kâğıt olduğundan dolayı yüksek ateşlere dayanıklıdır. Devrenin boyutuna uygun bakir plaka üzerine aydınır kâğıdı ütü yardımıyla bastırılır. Devre bakir plaka üzerine basıldıktan sonra yolların asit çözeltisi içerisinde erimemesi için CD kalemi yardımıyla yollar tekrar çizilerek belirgin bir hale getirilir. Daha sonra 3 ölçek perhidrol ve 1 ölçek tuz ruhu karıştırılarak hazırlanan karışımın içine üzerine baskı devre oluşturulan bakir plaka atılır.  $5 \times 10 \text{ cm}^2$  lik bir bakir plaka için 15 dakika asit içinde bekletilmesi yeterlidir. Asit karışımı içinde eriyen bakir, plaka üzerinde sadece çizilen yollar kalır.



Şekil 4.34 Devrenin Bakir Plaka Üzerinde Görünümü

#### 4.3.2.1.8 Kontrol Devresinin Bakir Plaka Üzerine Elemanlarının Yerleştirilmesi

Bakir plaka gerekli yerlerde küçük ve ince matkap yardımıyla elemanları yerleştirmek için delikler açılır. Tasarlanan devre elemanları uygun yerlerine lehimlenir. Lehimleme yapılırken elemanların yanmaması için dikkat edilmesi gerekir. Çünkü elektronik elemanlar yüksek ısıya dayanamazlar. Bu nedenle lehimleme yapılırken soğutucun kullanmak gerekir veya havaya eleman üzerinde çok kısa tutulması gerekir.



Şekil 4.35 Devrenin Elemanlarının Bakır Plaka Üzerinde Görünümü

#### 4.3.2.1.9 Kontrol Devresinin Test Edilmesi

Tasarlanan güneş takip sistemi devresi yapılan işlemler sonucunda kullanıma hazır hale getirildikten sonra bir motor üzerinde test edilmesi gerekli. Çünkü montaj yapıldıktan sonra yapım esnasında oluşan her hangi bir arzanın her şeyin tekrar sökülmesi gerektirdiği için zaman kaybına ve ekonomik zarara neden oluyor.

## BÖLÜM 5

### KULLANILAN ELEMANLAR

#### 5.1 Güneş Takip Sistemi Uygulamasında Kullanılan Elemanlar

Bu bölümde kullanılan elemanları mekanik ve elektrik kısım elemanları olmak üzere iki bölümde inceleyeceğiz.

- ✚ Mekanik kısım elemanları
- ✚ Elektrik kısım elemanları

##### 5.1.1 Mekanik Kısım Elemanları

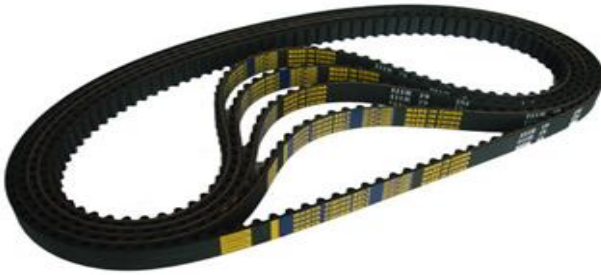
###### 5.1.1.1 Triger Kayış Dişlisi

Triger kayışı doğu- batı yönündeki motor hareketini panele aktararak panelinin doğu batı yönünde dönmesini sağlamaktadır. Dişlinin biri motora sabit olarak diğeri ise güneş panelinin ucuna monta edilmiştir. Böylece motorun en ufak bir hareketi bile güneş paneline yansımaktadır.



Şekil 5.36. Triger Dişlisi

###### 5.1.1.2 Kayış



Şekil 5.37. Kayış

İki Triger kayış dişlisi arasına monta edilen XL cinsi kayış en ufak bir gerginlik kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Sistem için seçilen kayışın eni 9 mm olup boyu 35 cm'dir.

### 5.1.1.3 Rulman

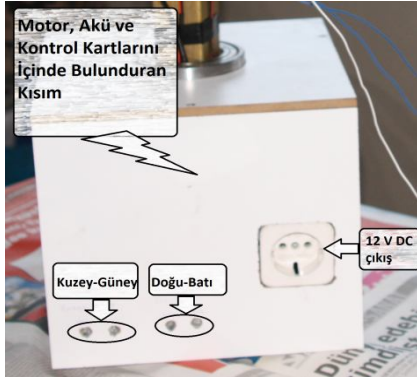


Şekil 5.38. Rulmanlar

Yaptığımız güneş takip sistemi mekanik kısmında 3 adet rulman kullandık. Bunlardan ikisi panelin doğu-batı doğrultusundaki hareketi esnasında sürtünme kuvvetini azaltarak motorun hareketinin daha kolay panele aktarımını sağlamaktadır. Diğer rulman ise panelin kuzey- güney doğrultusunda hareket eden motora sabitlenmiş çubuğun hareketinden dolayı oluşacak sürtünme kuvvetini Şekil

azaltmak ayrıca motorların ve elektrik kısmın içinde bulunduğu kutuya sabit olmasından dolayı kendinden üste bulunan kısmın ağırlığını kendi üstünde tutarak motorun daha rahat hareket etmesini sağlar.

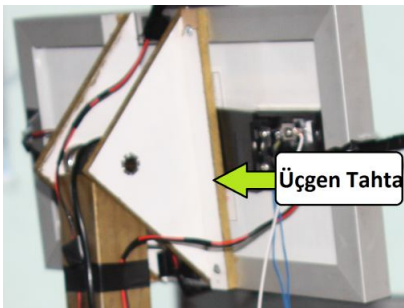
### 5.1.1.4 Kutu



Şekil 5.39. Kutu

Mekanik kısmı yaparken motorların, akünün ve kontrol kartlarının bir arada bulunmasını ve toz, yağmur ve gibi olumsuz etkilerden korumak için tasarlanmış kutu. Ayrıca tasarımın daha estetik durmasını sağlıyor. İçinde kontrol kartları, akü ve motorlar için yer ayrılmakla birlikte bunların uygun bir şekilde montaj edilecek şekil de tasarlanmıştır.

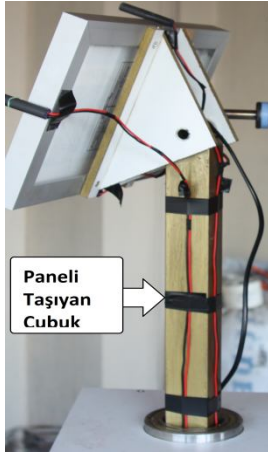
### 5.1.1.5 Üçgen Tahta



Şekil 5.40. Üçgen Tahta

Motorların hareketini panele yansıtan panele sabitlenmiş üçgen şeklinde tahtadır. Uçlarındaki 2 adet rulman ve bir Triger kayışı sayesinde panel doğu-batı yönünde hareket etmektedir. Ayrıca Kuzey- güney yönünde dönmeyi sağlayan metal çubukta uçlarına sabitlenmiştir.

### 5.1.1.6 Metal Çubuk



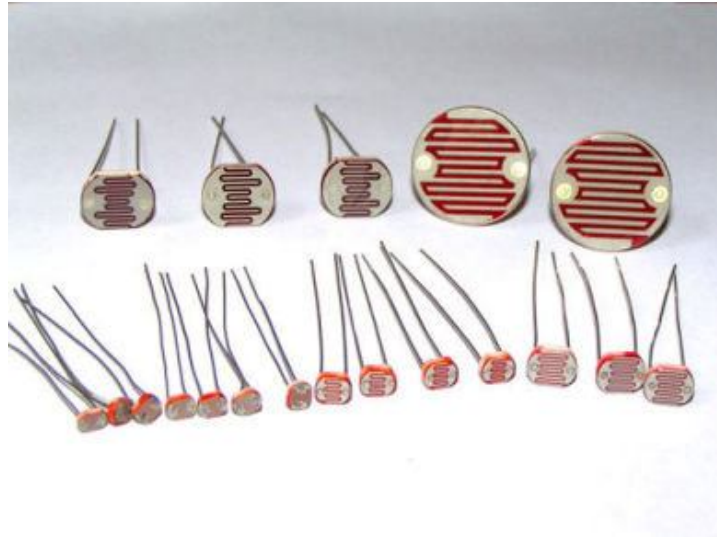
Şekil 5.41. Metal Çubuk

Bir ucu paneli Kuzey- Güney yönünde döndüren motora sabitlenmiş durumdadır. Diğer ucu ise üçgen şeklindeki tahtaya sabitlenmiştir. Bu sayede motorun hareketi panele aktarılmaktadır. Malzemeni tahta olmasının nedeni sistemin hafif olmasını sağlamak çünkü motorun döndüreceği yük azalması gerekiyor. Üçgen olmasının sebebi ise panelin doğu-bati yönünde 180° derece dönmesini sağlamaktır.

## 5.1.2 Elektrik Kısım Elemanları

### 5.1.2.1 LDR (Light Dependent resistor)

Fotodirençler, Aydınlıkta az direnç, karanlıkta yüksek direnç gösteren devre elemanlarına LDR denir. Başka bir deyişle LDR'nin üzerine düşen ışık değerine göre gösterdiği direnç değişimi ters orantılıdır. LDR'ler, CdS (kadmiyum sülfür), CdSe (kadmiyum selenür), selenyum, germanyum ve silisyum vb. gibi ışığa karşı çok duyarlı maddelerden üretilmektedir.



Şekil 5.42. LDR Çeşitleri

LDR yapımında kullanılan madde, algılayıcının hassasiyetini ve algılama süresini belirlemekte, oluşturulan tabakanın şekli de algılayıcının duyarlılığını etkilemektedir. LDR'ye gelen ışığın odaklaşmasını sağlamak için üst kısım cam ya da şeffaf plastikle

kaplanmaktadır. LDR' ler çeşitli boyutlarda üretilmekte olup, gövde boyutları büyüdükçe güç değeri yükselmekte ve geçirebilecekleri akım da artmaktadır.

Foto dirençler, üzerlerine düşen ışık şiddetiyle ters orantılı olarak dirençleri değişen elemanlardır. Foto direnç, üzerine düşen ışık arttıkça direnç değeri lineer olmayan bir şekilde azalır. LDR'nin aydınlıkta direnci minimum, karanlıkta maksimumdur. Hem AC devrede, hem DC devrede aynı özellik gösterir. Bu elemanların yapısında "kadmiyum sülfat" (CdS) yarı iletken madde olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum sülfat, yalıtkan bir taban üzerine yerleştirilmiş olup, içerisinde iki taraftan daldırılmış birbirlerine değmeyen iletken teller bulunmaktadır. Bu iki iletken telden dışarıya uç çıkarılarak LDR'nin bağlantı terminalleri oluşturulmuştur. LDR'nin üst yüzeyi ışık etkisini algılayabilmesi için şeffaf bir malzemeyle kaplanmıştır.

LIGHT DEPENDENT RESISTOR



LDR üzerine ışık düştüğünde valans elektronları ışık enerjisi ile yeterli hıza ulaşır, koparak iletkenlik bandına geçerler. Yani LDR, devre akımını oluşturan serbest elektronlar yönünden zenginleşmiş olur. Bu da LDR direncinin düşmesi demektir. LDR'nin en çok duyarlı olduğu ışık yeşil ışıktır. Üzerine düşen ışık süzmesinin şiddetine bağlı olarak valans bandından iletkenlik bandına geçebilen elektron sayısı arttığı için LDR'nin direnci de azalır. Ancak, ışık şiddetinin artışıyla iletkenlik bandına geçebilen elektron sayısı doğru yönde lineer orantıya sahip olmadığı için LDR'nin direncindeki düşüş de lineer değildir.

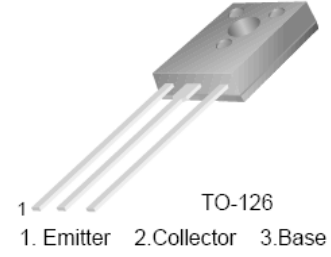
Şekil 5.43. LDR

Bu elemanların dirençleri karanlıkta MΩ seviyesindeki iken yeterli ışık aldığı takdirde 5-10Ω gibi çok küçük değerlere düşebilmektedir. Bu elemanların ışığa duyarlılığı ışık gören yüzeylerinin büyüklüğüne ve üzerindeki lensin tipine bağlı olarak değişir. Lens mercek tipi olduğu takdirde duyarlılık artmaktadır. LDR' ler yapısal hassasiyetlerinden dolayı aşırı ısıda çalışamazlar. Aşırı ısı altında (maksimum 60°C) bozulurlar. Bu elemanlar çeşitli ışık kontrol devrelerinde kullanılırlar. Örnek LDR model numarası BRY33, LDR03, LDR05, LDR07, OPR60.

### 5.1.2.2 BD139

#### Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively



Şekil 5.44. BD139

#### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	1.5	A
$I_{CP}$	Collector Current (Pulse)	3.0	A
$I_B$	Base Current	0.5	A
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )	12.5	W
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )	1.25	W
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Tablo 5.5. NPN Transistorun Özellikleri

#### Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD135	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	45			V	
	: BD137		60			V	
	: BD139		80			V	
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			0.1	$\mu\text{A}$	
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			10	$\mu\text{A}$	
$h_{FE1}$	DC Current Gain : ALL DEVICE	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 5\text{mA}$	25				
$h_{FE2}$			: BD135	25			
$h_{FE3}$				: BD137, BD139	40		250
			40			160	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$			1	V	

Tablo 5.6. NPN Transistorun Elektriksel Karakteristiği



## hFE Classification

Classification	6	10	16
$h_{FE3}$	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

## Typical Characteristics

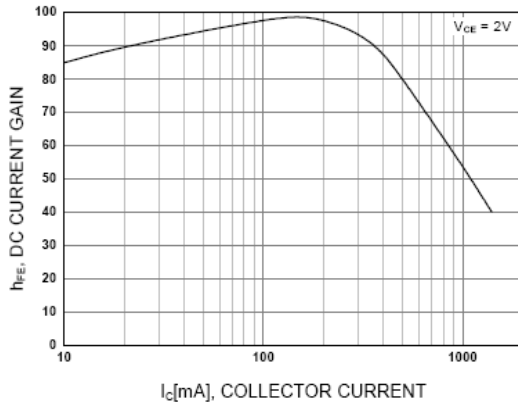


Figure 1. DC current Gain

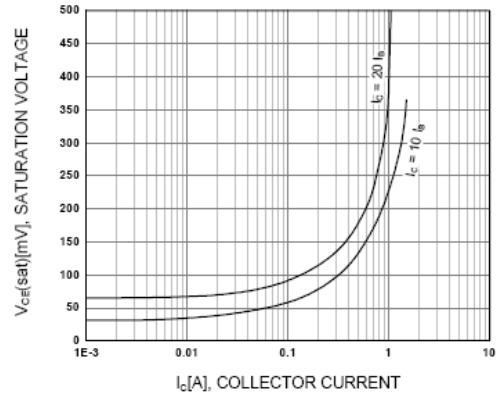


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

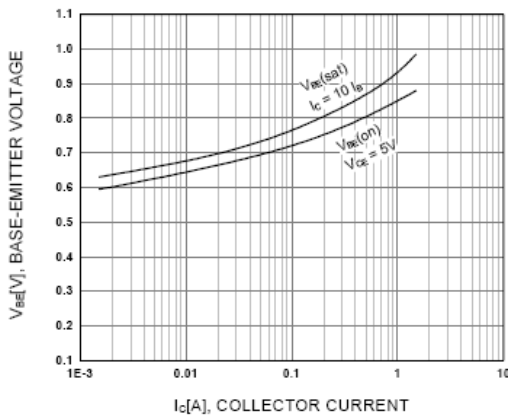


Figure 3. Base-Emitter Voltage

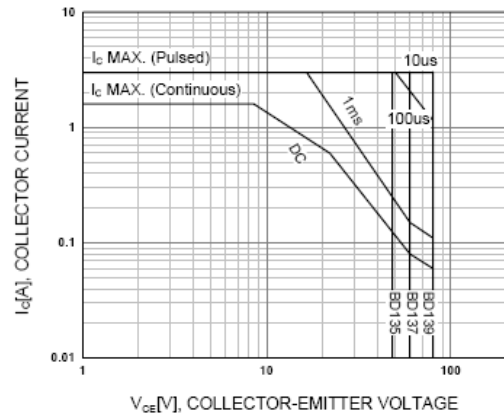


Figure 4. Safe Operating Area

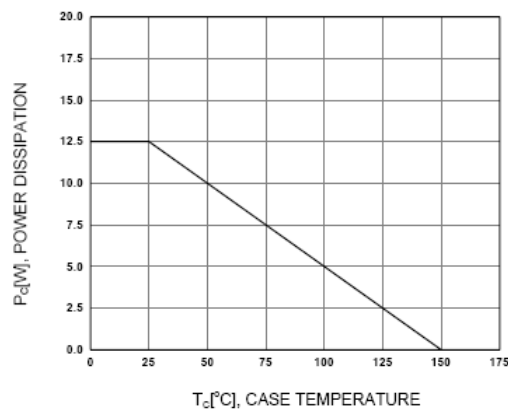
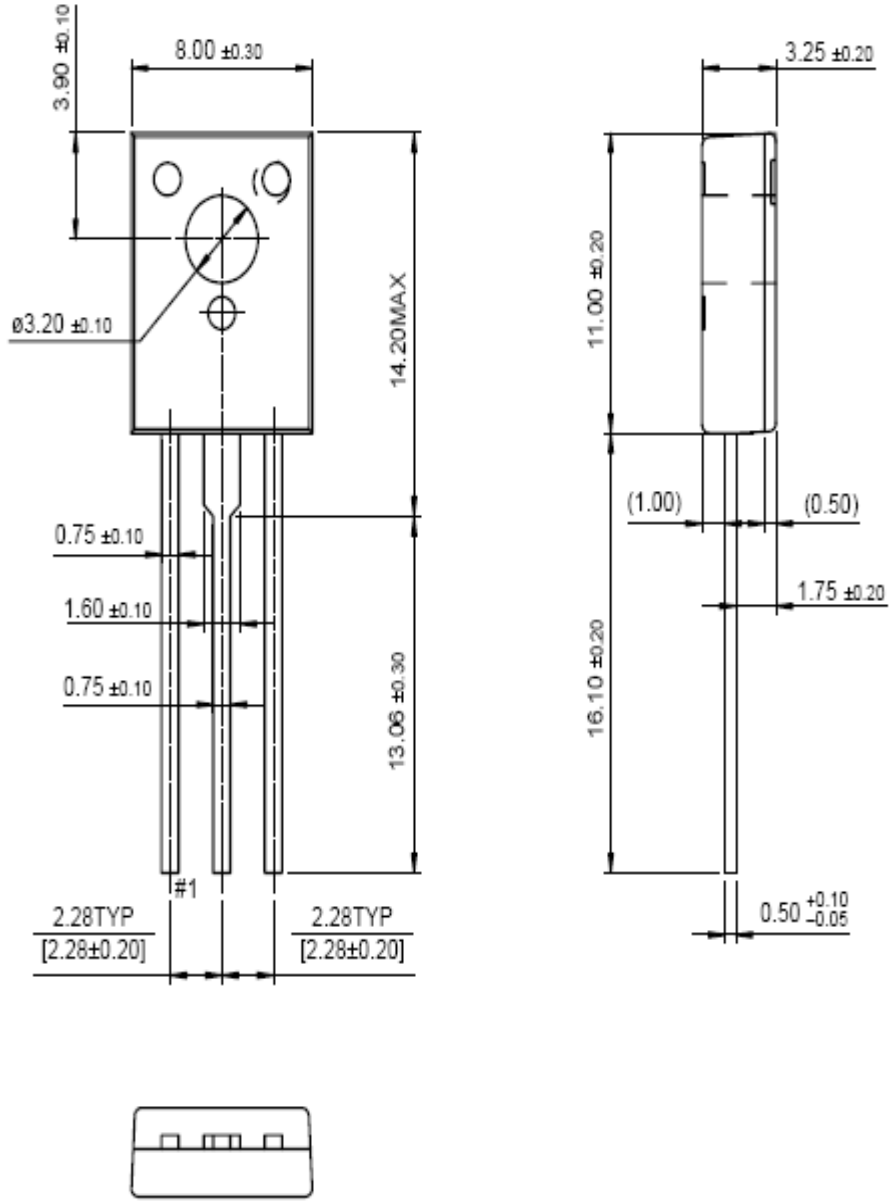


Figure 5. Power Derating

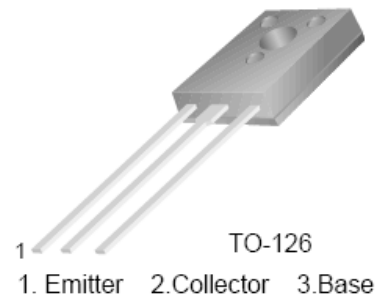


Şekil 5.45. BD139'un Fiziksel Özeliği

### 5.1.2.3 BD140

#### Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively



Şekil 5.46. BD140

## PNP Epitaxial Silicon Transistor

**Absolute Maximum Ratings** TC=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CBO</sub>	Collector-Base Voltage : BD136	- 45	V
	: BD138	- 60	V
	: BD140	- 80	V
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage : BD136	- 45	V
	: BD138	- 60	V
	: BD140	- 80	V
V <sub>EBO</sub>	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I <sub>C</sub>	Collector Current (DC)	- 1.5	A
I <sub>CP</sub>	Collector Current (Pulse)	- 3.0	A
I <sub>B</sub>	Base Current	- 0.5	A
P <sub>C</sub>	Collector Dissipation (T <sub>C</sub> =25°C)	12.5	W
P <sub>C</sub>	Collector Dissipation (T <sub>a</sub> =25°C)	1.25	W
T <sub>J</sub>	Junction Temperature	150	°C
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature	- 55 ~ 150	°C

Tablo 5.7. PNP Transistorun Genel Özeliği

**Electrical Characteristics** TC=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
V <sub>CEO(sus)</sub>	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	I <sub>C</sub> = - 30mA, I <sub>B</sub> = 0	- 45			V
	: BD136					
	: BD138					
	: BD140		- 80			V
I <sub>CBO</sub>	Collector Cut-off Current	V <sub>CB</sub> = - 30V, I <sub>E</sub> = 0			- 0.1	μA
I <sub>EBO</sub>	Emitter Cut-off Current	V <sub>EB</sub> = - 5V, I <sub>C</sub> = 0			- 10	μA
h <sub>FE1</sub>	* DC Current Gain	V <sub>CE</sub> = - 2V, I <sub>C</sub> = - 5mA	25			
h <sub>FE2</sub>		V <sub>CE</sub> = - 2V, I <sub>C</sub> = - 0.5A	25			
h <sub>FE3</sub>		V <sub>CE</sub> = - 2V, I <sub>C</sub> = - 150mA	40		250	
V <sub>CE(sat)</sub>	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = - 500mA, I <sub>B</sub> = - 50mA			- 0.5	V
V <sub>BE(on)</sub>	* Base-Emitter ON Voltage	V <sub>CE</sub> = - 2V, I <sub>C</sub> = - 0.5A			- 1	V

\* Pulse Test: PW=350μs, duty Cycle=2% Pulsed

Tablo 5.8. PNP Transistorun Elektriksel Karakteristiği

### h<sub>FE</sub> Classification

Classification	6	10	16
h <sub>FE3</sub>	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

# Typical Characteristics

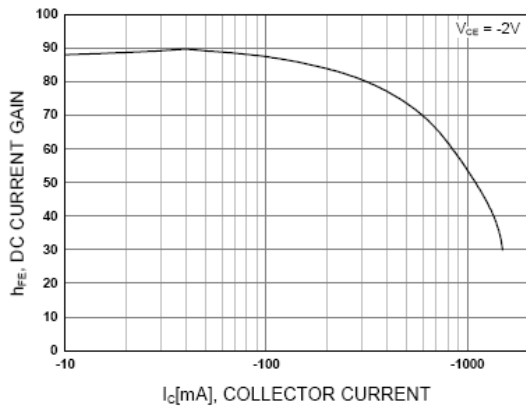


Figure 1. DC current Gain

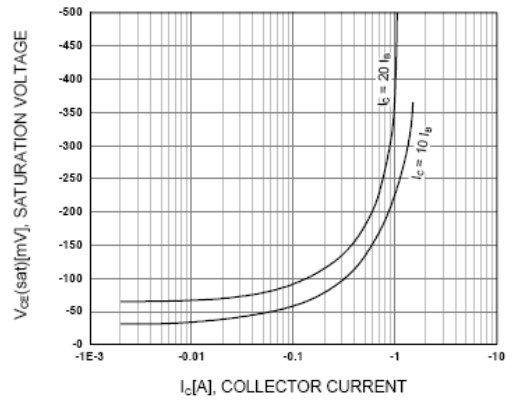


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

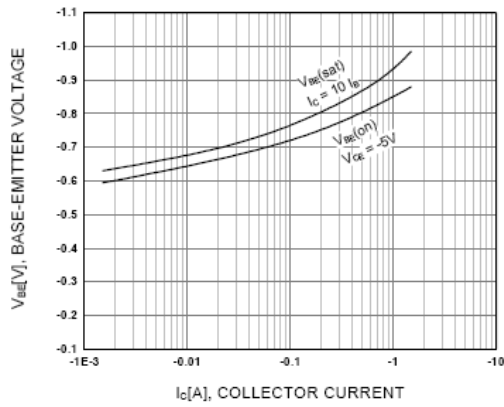


Figure 3. Base-Emitter Voltage

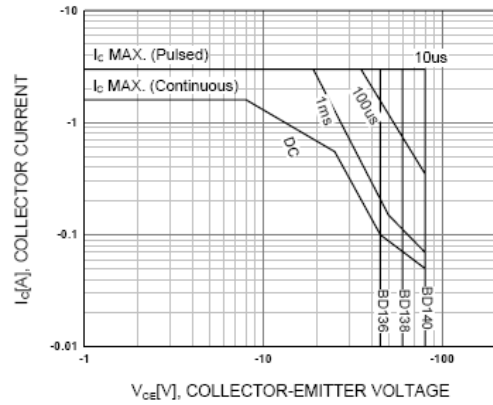


Figure 4. Safe Operating Area

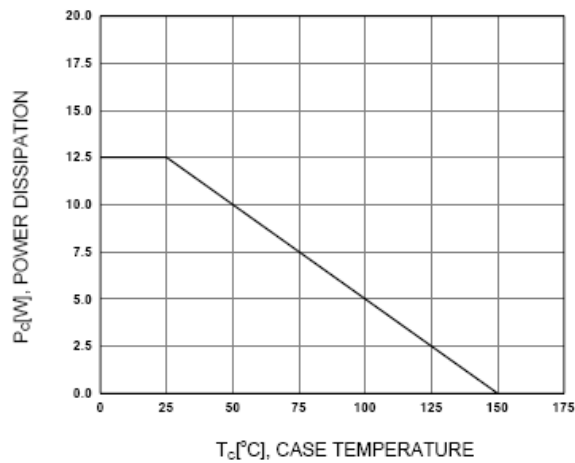
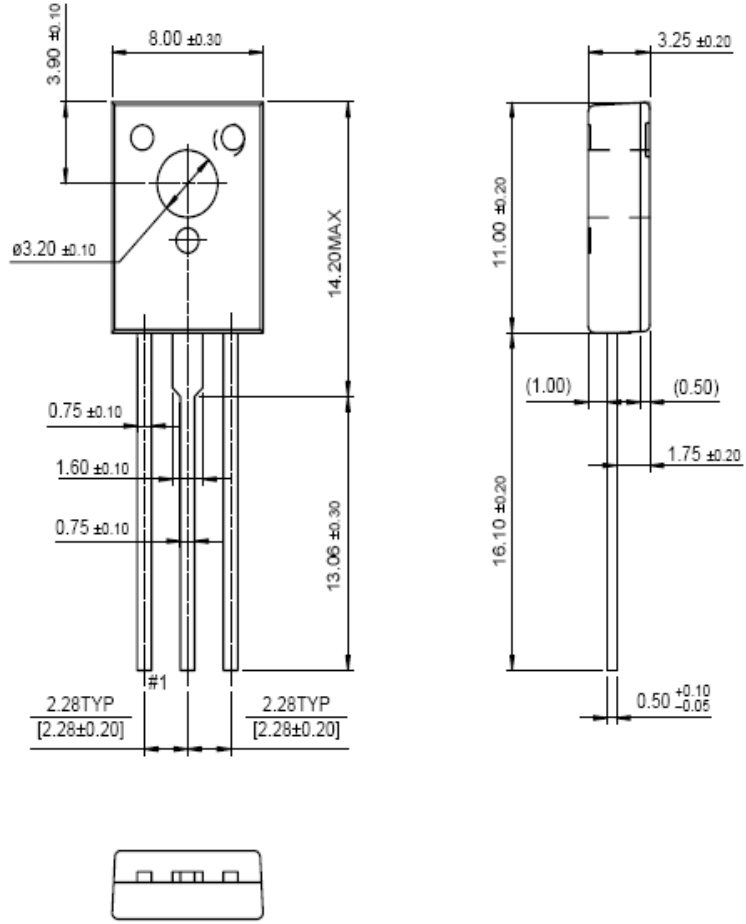


Figure 5. Power Derating

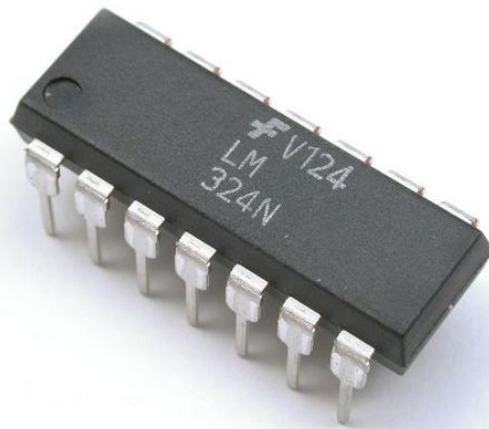


Şekil 5.47. BD140'un Fiziksel Özeliği

#### 5.1.2.4 LM 324 (dört kılıflı opamp)

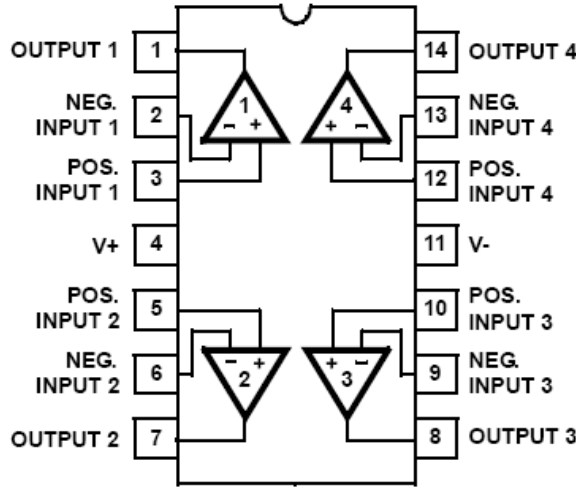
LM 324 (dört kılıflı opamp)

**Opamp:** operational amplifier (işlevsel yükselteç) kelimesinin kısaltılmış halidir. LM 324 entegresi; içinde 4 tane op-amp bulunduran bir devre elemanıdır.



Şekil 5.48. LM324 Entegresi

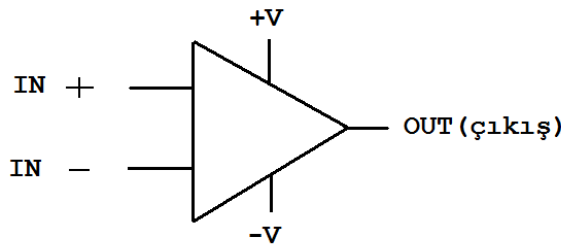
Entegre üstteki resimde de görüldüğü gibi 14 bacağı sahiptir.



Şekil 5.49. LM324 Entegresinin İç Yapısı

- 4. Bacağı besleme gerilimi uygulanır. 16V' ye kadar gerilim uygulanabilir ama biz LDR devresinde kullanırken genelde 5V besleme veriyoruz. 11. bacak ise topraktır.
- Opamp' ların maksimum çıkış gerilimi giriş geriliminden 1.2V düşüktür.(yani lojik 1 seviyesi yaklaşık 3.8V'tur)
- Opamp' lar devrelerde tek baslarına kullanılarak, karşılaştırıcı (comparator) gibi davranırlar. Bu şu şekilde olur; (-) ucundan uygulanan gerilim (+) ucundan uygulanan gerilimden büyük olduğu takdirde sinyal gönderir.

(op-amp' ın devrede gösterilişi)



Şekil 5.50. Opamp' ın Fiziksel Yapısı

- Opamp' ın + ve - kısımlarına LDR' nin mi yoksa trimpotun mu geleceği aslında çok önemli değildir. Sadece çıkışı tersler eğer sensörden 2 volt ve üstü değerler geldiğinde opamp' ın çıkışı lojik 1 oluyorsa + ve - girişlerinin yerlerini değiştirdiğimizde bu değerlerde çıkış lojik 0 olur. Ama bir standart belirlemek yazdığımız programların yeni bir devre yaptığımızda yine aynı şekilde çalışabilmesi açısından önemlidir.

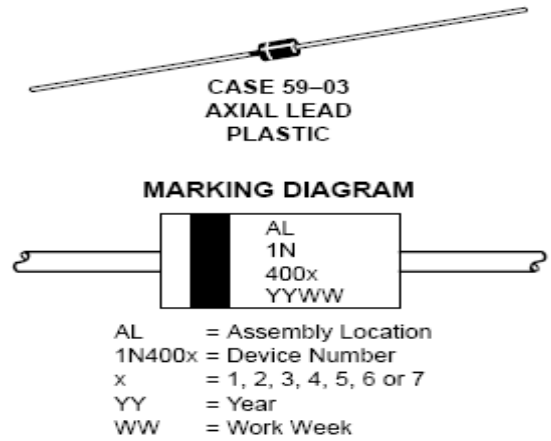
### 5.1.2.5 Diyot

#### Axial Lead Standard Recovery Rectifiers

This data sheet provides information on subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general-purpose low-power applications.

#### Mechanical Characteristics

- ✚ Case: Epoxy, Molded
- ✚ Weight: 0.4 gram (approximately)
- ✚ Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable



Şekil 5.51. 1N4001 Diyot

- ✚ Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16, from case
- ✚ Shipped in plastic bags, 1000 per bag.
- ✚ Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a “RL” suffix to the part number
- ✚ Available in Fan-Fold Packaging, 3000 per box, by adding a “FF” suffix to the part number
- ✚ Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band
- ✚ Marking: 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
*Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
*Non-Repetitive Peak Reverse Voltage (halfwave, single phase, 60 Hz)	$V_{RSM}$	60	120	240	480	720	1000	1200	Volts
*RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	Volts
*Average Rectified Forward Current (single phase, resistive load, 60 Hz, $T_A = 75^\circ\text{C}$ )	$I_O$	1.0							Amp
*Non-Repetitive Peak Surge Current (surge applied at rated load conditions)	$I_{FSM}$	30 (for 1 cycle)							Amp
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J$ $T_{stg}$	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

\*Indicates JEDEC Registered Data

Tablo 5.9. 1N4001 Diyotun Genel Özeliği

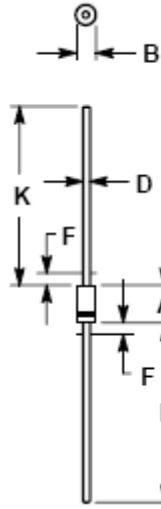
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS\*

Rating	Symbol	Typ	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop ( $I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 25^\circ\text{C}$ )	$V_F$	0.93	1.1	Volts
Maximum Full-Cycle Average Forward Voltage Drop ( $I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$ , 1 inch leads)	$V_{F(AV)}$	—	0.8	Volts
Maximum Reverse Current (rated dc voltage) ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ ) ( $T_J = 100^\circ\text{C}$ )	$I_R$	0.05 1.0	10 50	$\mu\text{A}$
Maximum Full-Cycle Average Reverse Current ( $I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$ , 1 inch leads)	$I_{R(AV)}$	—	30	$\mu\text{A}$

\*Indicates JEDEC Registered Data

Tablo 5.10. 1N4001 Diyotun Elektriksel Karakteristiği

## PACKAGE DIMENSIONS



### NOTES:

1. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH JEDEC DO-41 OUTLINE SHALL APPLY.
2. POLARITY DENOTED BY CATHODE BAND.
3. LEAD DIAMETER NOT CONTROLLED WITHIN F DIMENSION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.07	5.20	0.160	0.205
B	2.04	2.71	0.080	0.107
D	0.71	0.86	0.028	0.034
F	---	1.27	---	0.050
K	27.94	---	1.100	---

### 5.1.2.6 Potansiyometre



Potansiyometreler üç uçlu ayarlı dirençlerdir. Genellikle karbondan yapılırlar. Film veya telli olarak yapılırlar. İki kenar uç sabit orta uç ise direncin üzerinde hareket edebilen fırça ve fırçadan oluşmuştur. Direncin değeri sıfırdan maksimuma kadar ayarlanabilir. Telli olarak yapılanlar büyük güçlü olarak yapılabilirler.

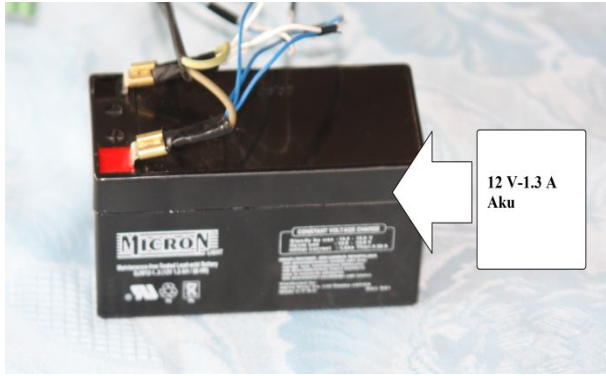
Şekil 5.52. Potansiyometre Çeşitleri



### 5.1.2.6.1 Potansiyometrelerin Sağlık Kontrolü

Dirençlerin değeri üzerine rakam olarak yazılmıştır. Analog Avometre ile direnç ölçümünde ölçü aleti uygun direnç konumuna alınarak sıfır ayarı yapılır. Problar sabit iki ucuna bağlanır. Ölçü aleti direnç üzerindeki değeri gösteriyorsa direnç sağlam, sıfırı gösteriyorsa direnç kısa devre, sonsuzu gösteriyorsa kopukluk var demektir. Probların bir ucu ayarlı direncin sabit ucuna, diğer ucu hareketli kısma bağlanırsa ayarlı direnç ayarlandıkça ölçü aleti ibresi hareket eder. Bu durumda direnç sağlam demektir.

### 5.1.2.7. Akü



Şekil 5.53. Akü

Elektrik enerjisi, verimli bir şekilde başka türlere dönüştürülebilmektedir ve bu nedenle en çok talep edilen enerji türüdür. Örneğin %100'e yakın bir verimle mekanik enerjiye, %100 verimle ısı enerjisine dönüştürülebilir. Isı elektrik dönüşümü yapan tipik bir fosil yakıtlı bir ısıl sistemin verimi yaklaşık %40 civarındadır. Kullanılan elektrik enerjisinin neredeyse tamamının,

üretildikten sonra hemen kullanılmakta olması durumu, fosil yakıt kullanılarak gerçekleştirilen güç sistemleri açısından bir sıkıntı yaratmamaktadır. Fakat güneş ve rüzgâr gibi kesintili bir kaynağa bağlı güç sistemleri açısından durum böyle değildir. Güneş ısınımı sürekli ve kararlı değildir. Yaz mevsiminde alınabilecek en fazla ısınım ile kış mevsiminde alınacak en fazla ısınım birbirinden farklıdır. Ekvatora yakın bölgelerde alınabilecek ısınım ile ekvordan uzak bölgelerde alınacak ısınım aynı değildir. Benzer şekilde gün içerisinde gündüz gerçekleşen ısınım ile gece gerçekleşen ısınım birbirlerinden çok farklıdır. Bu nedenle fotovoltaik sistemler, kaynak enerjisindeki bu değişimlere ayak uydurabilecek durumda olmalıdır. Sistem oluşturulduktan sonra, yıl içindeki mevsimsel değişimler ve gün içindeki aydınlık karanlık değişimleri ne oranda olursa olsun, sistemin mevcut yükünü çalışır durumda tutabilmesi gerekir. Gündüz açık bir havada elde edilen çıkış gücü yükü besleyebilir fakat kapalı bir havada gelen ısınım miktarı yetersiz olabilir. Gece karanlığında ise ısınım miktarının yetmeyeceği açıktır.

Güneş ısınımının sürekli ve kararlı olmayışı nedeniyle, bu sistemlerin yükü beslemesinde kesintiler oluşabilmektedir. Bu nedenle yeterli veya ihtiyaçtan çok ısınım varken, sistemin fotovoltaik birimlerden elde ettiği doğru akım enerjisinin depolanması

gerekir. Isınımın yeterli olmadığı zamanlarda, sistem depolanmış olan enerjiyi kullanabilir ve böylece yük çalışmasında kesinti oluşması engellenebilir. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerde kullanılacak enerji depolama birimlerinin DC enerji depolamaya ve talep edildiğinde bu enerjiyi kullanmaya izin verebilen bir yapıda olması gerekir.

Tekrar doldurulabilen aküler yapısal olarak 6 ayrı tiptedirler:

- ✚ Kursun-Asit (Pb-acid)
- ✚ Nikel-Kadmiyum (NiCd)
- ✚ Nikel-Metal hidrür (NiMH)
- ✚ Lityum-İyon (Li-ion)
- ✚ Lityum-Polimer
- ✚ Çinko-Hava

Kursun-asit aküler bir veya birden çok hücreden meydana gelir. Her hücrede bir elektrolit ve bir pozitif ve diğeri negatif olmak üzere iki adet elektrot vardır. Elektrik enerjisi kimyasal şekilde bu elektrotların üzerine depolanmaktadır. Bir akü harici bir yüke bağlandığında, elektrolit üzerinden elektrotlar arasında bir etkileşme başlar. Bu şekilde kimyasal enerji elektrik enerjisine çevrilir. Pozitif elektrottan yük üzerine oradan da negatif elektroda gelecek şekilde bir elektrik akımı oluşur. Kursun-asit aküler genellikle kapalı ve açık sistem olarak iki tiptir. Açık aküde, çalışma sırasında elektrotlar üzerinde oluşan az miktarda hidrojen ve oksijen, akünün üstünde bulunan küçük bir aralıktan havaya karışır. Kapalı tipte ise, hidrojen ve oksijeni tekrar suya dönüştürmek için akünün içindeki özel bir katalizör kullanılmıştır. Bu nedenlerle açık akülerde belli aralıklarla su ilave etmek gerekirken, kapalı tip aküde çalışma sırasında oluşacak su kaybının oluşmadığı söylenebilir. Kursun-asit aküler, uzun süre dayanıklılık, pahasına göre üst düzeyli basarım, en düşük enerji yoğunluğu, hafiflik ve küçük boyut özelliklerinden dolayı, tekrar doldurulabilen aküler arasında en yaygın kullanılanıdır.

Nikel-kadmiyum hücrede pozitif elektrot kadmiyumdan ve negatif elektrot nikel hidroksitten oluşur. Elektrotlar, naylon ayırıcılar ile birbirlerinden ayrılmışlardır ve paslanmaz çelik bir kabın içindeki potasyum hidroksit elektroliti içindedirler. Genel olarak kursun-asit akülerin yarı ağırlığında olduğundan tüketici amaçlı uygulamalarda yaygın olarak bu tip aküler kullanır. Uzun dayanma süresine ve kursun-asit akülere göre daha iyi sıcaklık değerine sahiptirler. Buna karşın kursun-asit akülere göre daha pahalıdır.

Nikel metal hidrür, nikel kadmiyumdan türetilmiş bir teknolojidir ve nikel kadmiyum içindeki enerji yoğunluğunu arttırmayı hedeflemektedir. İyapısındaki temel farklılık, anot elemanının metal hidrürden yapılmış olmasıdır. Bu şekilde, kadmiyumun çevresel faktörlere bağımlılığı ortadan kaldırılmıştır. Buna rağmen yüksek kapasiteli ani güç taleplerine karşılık vermede daha zayıftır. Kendi kendine boşalma oranı diğer türlere göre daha yüksektir ve aşırı yükleme anlarında daha kolay bozulur.

Lityum iyon teknolojisi daha yeni bir teknolojidir ve kursun asit akülerin enerji yoğunluğundan üç kat fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Kursun asit akülere göre 3.5/2 oranında, diğer elektro-kimyasallara göre 3.5/1.2 oranında daha yüksek hücre gerilimine sahiptir. İstenen gerilimi üretmek için seri bağılı birkaç hücreye ihtiyaç duymasına rağmen daha ucuzdur. Negatif tarafta lityum elektrot herhangi bir sıvı elektrolit ile tepkimekte ve pasif bir tabaka üretmektedir. Hücre bosken şarj edildiğinde lityum üzerindeki tabaka soyulur ve elektrolitin üzerinde bir tabaka oluşturmasına tekrar hazır hale gelir. Dayanım süresini uzatmak için hücrede kalın elektrotlar kullanılır. Bu nedenle nikel kadmiyumlara göre daha pahalıdır.

Lityum polimer akü katı polimer elektrolitli lityum aküdür. İnce bir yüzeyi katı polimer elektrolite bağılı metalik lityum tabakası içine yerleştirilmiştir. Katı polimer hem elektrolit hem de ayırıcı olarak tepki verdiğiinden hücrenin enerjisini arttırır.

Çinko hava aküde, çinkodan yapılmış bir negatif elektrot, potasyum hidroksit elektrolit ve havaya maruz kalan karbondan yapılmış bir pozitif elektrot bulunmaktadır. Boşalma sırasında havadaki oksijen karbon elektrotu azaltır ve çinko elektrot oksitlenmeye baslar. Enerji doldurma sırasında oksijen oluşturulur. Bu tip akünün başarımının arttırılması için havanın iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.

## BÖLÜM 6

### MALİYET ANALİZİ

#### 6.1 Maliyet

Bir işletmenin (firmanın) üretime başlamak ve sonra devam ettirmek için yaptığı ve yapacağı çeşitli harcamalara, genel olarak ‘maliyet’ adi verilir. Üretim sonrasında satılan mallardan elde edilen kazanca ‘hâsılat’, bu kazançtan maliyetlerin çıkarılmasıyla bulunacak miktara da, bilindiği gibi, ‘kar’ denilmektedir. Her üç kavram da belirli bir  $t_1$ - $t_2$  zaman dilimi için geçerlidir.

Maliyet; bir varlığın elde edilmesi amacıyla yapılan harcama veya katlanılan özverinin toplamıdır. Her harcama maliyet kapsamına girmeyebilir. Üretim araçlarının fiyatları, çalışanların ücretleri, ham madde, yarı mamul ve malzeme fiyatları, kredi (borçlanma) faizler, vb. bir işletmenin beli başlı maliyetlerini oluşturur.

#### 6.2 Güneş Takip Sisteminin Maliyet Analizi

Maliyet analizi bir işletmenin yapacağı iş sonunca kar-zarar durumunu ortaya koyduğu gibi şirketin kar-zarar durumunu oransal olarak sayısal sonuç verir. Çalışmamızda aynı güce sahip güneş takip sistemi ve sabit bir sistemin maliyet analizlerini yapıp avantajlı olan sistemi seçmektir. İlk göze çarpan durum güneş takip sisteminde sistemin hareketini sağlayan ve hareket sisteminin kontrolünü sağlayan kontrol devrelerinin ekstra bir maliyet ortaya çıkarmasıdır. Bunun yanında güneş takip sisteminin sürekli güneşe dik bir konumda olacağı için günün her anı için maksimum güç alacağıdır. Güneş takip sistemini üreteceği güç kuskusuz sabit güneş panelinin üreteceği güç daha fazladır. Buradan su sonuçlar ortaya çıkıyor;

Güneş takip sistemi maliyeti > Sabit güneş sistemi maliyeti

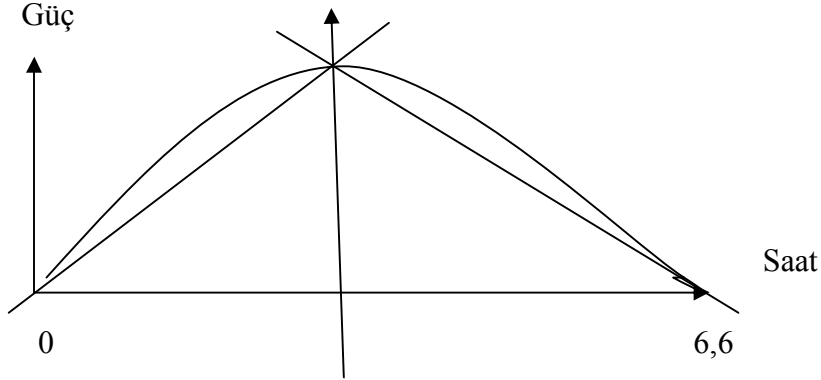
Güneş takip sisteminin ürettiği güç > Sabit sisteminin üreteceği güç

Bir işletme mühendisi yatırım yapacağı zaman maliyetin düşük elde edeceği karın maksimum olmasını ister her zaman. Bizde güneş takip sistemini tasarlarken maliyetinin mümkün oldukça düşük, güneş panelinden alacağımız gücün de mümkün oldukça yüksek olmasını sağlamaya çalıştık.

Tüketici kendi talebi doğrultusunda güneş takip sisteminin gücünü farklı isteye bilir. Bu durumu düşünerek güneş takip sistemi maliyet programı yaptık. C# da hazırladığımız güneş takip sistemi maliyet programı maliyeti doğrudan etkileyecek tüm verileri hesaba katarak herkesin kullanabileceği kolay bir program oluşturulmuştur.

### 6.2.1.1 Sabit Güneş Sistemi Maliyet Analizi

Sabit güneş sistemi sadece gün ortasında da 5W'lık enerji üretebilir. Gün doğumundan gün ortasına kadar ve gün ortasından gün batımına kadar sabit güneş sistemini üreteceği enerji lineer bir şekilde artar.



Şekil 6.54 Sabit Panelin Yıllık Ortalama Enerjisi

Üçgenin alanını hesaplırsak;

$$P = \frac{5 \cdot 6,6}{2} = 16,5 \text{ (Wh/gün)}$$

Grafikte almadığımız alan için üretilen gücün %10'u ekliyoruz.

$$P = 16,5 + 16,5 \cdot 0,1 = 18,15 \text{ (Wh/gün)}$$

Bir yıl 365 gün olduğundan dolayı;

$$\text{Toplam güç} = 18,15 \cdot 365 = 6624,75 \text{ (Wh) güç elde edilir.}$$

29.05.2010 tarihi elektriğin birim fiyatı **0,23 TL/kWh** (KDV dâhil) olarak belirlenmiştir.

$$\text{Elde edilecek bir yıllık ortalama gelir} = 6624,75 \cdot 10^{-3} \cdot 0,23 = \mathbf{1.524 \text{ TL}}$$

Sistem için kullanılan elemanların birim fiyatı toplam maliyeti;

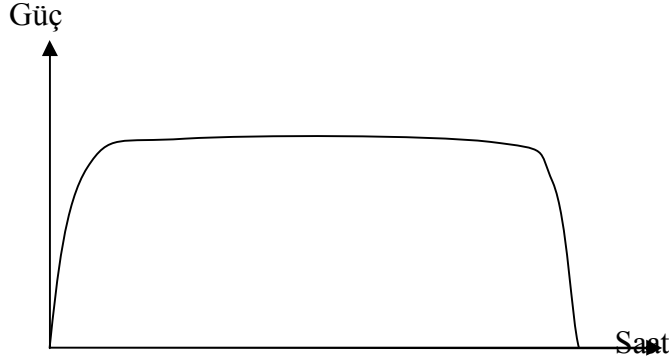
ELEMAN	BİRİM FİYAT	ADET	TUTAR
Panel (5W)	40 TL	1	40 TL
Metal Kasnak (50cm)	2 TL	1	2 TL
Akü (12V 1.3Ah)	10 TL	1	10 TL
Bağlantı Kabloları	5 TL	1	5 TL
Kutu	5 TL	1	5 TL
İşçilik ve diğer giderler	20 TL	1	20 TL
<b>Toplam</b>	<b>82 TL</b>		

Tablo 6.11. Sabit Güneş Sisteminin Maliyeti

Yapılan analiz sonucunda sabit güneş sistemi 82 TL maliyetle bir yılda 1.524 TL gelir elde edilir.

### 6.2.1.2 Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi

Güneş takip sistemi güneşin doğması ve batması esnasında güneşten gelen ışık seviyesinin azalması nedeniyle üreteceği enerjide artma ve azalma meydana gelir. Ancak günün büyük bir bölümünde maksimum enerji üretir.



Şekil 6.55 Güneş Takip Sisteminin Yıllık Ortalama Enerjisi

Güneş takip sisteminin bir günlük ortalama enerjisi;

Panel gücü=5\*6,6=33 (Wh/gün)

Grafikte fazladan aldığımız alan için üretilen gücün %10'u çıkarıyoruz.

$P=33-33*0,1=29,7$  (Wh/gün)

Bir yıllık ortalama güç=29,7\*365=10840 (Wh)

Bir yıllık ortalama gelir=10840\*10<sup>-3</sup>\*0.23=2.493 TL

ELEMAN	BİRİM FİYAT	ADET	TUTAR
Redüktörlü motor	15 TL	2	30 TL
Panel (5W)	40 TL	1	40 TL
Rulman	5 TL	3	15 TL
Metal Kasnak (50cm)	1 TL	1	1 TL
Triger Dişlisi	5 TL	2	10 TL
Kayış (40cm)	6 TL	1	6 TL
Akü (12V 1.3Ah)	10 TL	1	10 TL
Elektronik Malzemeler	1.75 TL	2	3.5 TL
Bakır Plaka (5x7cm <sup>2</sup> )	1.5 TL	2	3 TL
Bağlantı Kabloları	5 TL	1	5 TL
Kutu	5 TL	1	5 TL
İşçilik ve diğer giderler	30 TL	1	30 TL
<b>Toplam</b>	<b>158.5 TL</b>		

Tablo 6.12. Güneş Takip Sisteminin Maliyeti

Yapılan analiz sonucunda güneş takip sistemi 158,5 TL maliyetle bir yılda 2.493 TL gelir elde edilir.

### 6.2.1.3 İki Sistemin Karşılaştırması

Yapılan analizler sonucunda güneş takip sisteminin verimi daha yüksektir, bunun yanında maliyeti de yüksektir.

Maliyet  $[(158,5-82)/82]*100=98$  artmıştır.

Öte yandan  $[(10840-6624,75)/10840]*100=38,88$  lik bir verim artışı sağlanmıştır.

Yapılan analizler ortalama sonuçlar vermektedir.

## 6.3 Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi Ve Maliyet Analizi

Güneş enerjisi ile elektrik üretiminin maliyetini hesaplamak için ilk önce kurulacak sistemin şebeke bağlantı şekline karar vermek gerekir.

Şebeke bağlantı şekline göre sistemler;

1. OFF GRİD SİSTEMLER (ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ SİSTEMLER)
2. ON GRİD SİSTEMLER (ŞEBEKEYE BAĞLI SİSTEMLER)

### 6.3.1 Off Grid (Şebekeden Bağımsız Sistemler)

Şebeke elektriğinin olmadığı noktalarda elektrik enerjisi sağlamak amacı ile kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerde üretilen enerji Doğru akım olduğundan ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanım olacağından dolayı Akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji direk Doğru akım (12,24,48 V DC )ile çalışan cihazları besleyecek ise herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıma verilebilir. Ancak çalıştırılmak istenen cihazlar Şebeke Elektriğine uygun olan Alternatif akım ile çalışıyor ise bir inverter (evirici) vasıtası ile 220 Volt AC akıma çıkarılarak kullanılır.

### 6.3.2 On Grid (Şebeke İle Bağlantılı Sistemler)

#### A) Şebeke İle Birlikte Çalışan Sistemler

Bu sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun inverter (evirici) yardımı ile direk ihtiyaca yönelik 220 Volt enerji üretir. Aynı zamanda şebeke elektriği de sisteme bağlı bulunup güneşin yetersiz kaldığı ihtiyaçlarda takviye yapabilecektir.

#### B) Şebekeye Elektrik Satabilen Sistemler

Bu sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun inverter (evirici) yardımı ile şebeke hattına verilir. Bu tarz sistemlerde çift sayaç uygulaması olup şebekeye gönderilen

enerji devlet tarafından satın alınır. Şebekeden satın alınan Enerji ise devlet tarafından kullanıcıya fatura edilir.

Görüldüğü gibi şebeke bağlantı şekline göre sistemde kullanılan cihazlar arasında farklılık bulunmaktadır.

Eğer bağlantı şekli olarak off Grid (şebekeden bağımsız) sistem kurulmak isteniyorsa;

İlk olarak ne kadar güce ihtiyacımız olduğunu hesaplamamız gerekir. Kullanılacak akü ve panelin cinsini belirledikten sonra bu akü ve panelden kaç adet ihtiyacımız olduğunu biz dizi formülle hesaplayabiliriz.

Paralel koldaki akü sayısını;

*Paralel Kol Sayısı*

$$= \frac{\left(\frac{Ah}{Gün}\right) \times (\text{Bulutlu Gün Sayısı}) \times (\text{Deşarj Derecesi}) \times (\text{Sıcaklık Katsayısı})}{\text{Akü Ah Kapasitesi (Seri koldaki)}}$$

Paralel koldaki panel sayısını hesaplamak için;

$$\text{Paralel Kol Sayısı} = \frac{(Ah/Gün) \times 1,2}{(\text{Eşdeğer Güneş Saati}) \times I_{max}}$$

Kullanılacak inverter gücü ise;

$$\text{Inverter Gücü} = \text{Toplam AC (peak)Gücü} \times 1,2$$

Formülünden hesaplanır.

Örnek sistem kurulumu ve maliyeti

Bir dağ evi için aşağıdaki cihazların enerjilerinin sağlanması istenmiş ve maliyeti çıkarılmıştır.

#### **Cihazlar:**

1. A sınıfı Buzdolabı (24 saat-50 W)
2. Aydınlatma yükleri (5 saat -15x4 W)
3. 37 ekran TV ve uydu alıcısı (4 saat -100 W)
4. Fırın (0.25 saat-600W)
5. Elektrikli Ocak ( 1 saat-600W)
6. Dizüstü Bilgisayar (3 saat-50 W)

Toplam Maliyet: **2700Wh-2900Wh** arasındadır.



## Sistem Dizaynı

1. 150 Wp PV Panel
2. 20A şarj Regülatörü
3. 12V 50Ah Akü
4. 3000W tam sinüs inverter
5. Panel mesnetleri ve kurulum

Toplam Maliyet: **16.000TL-18.000TL**

Yılda üretilen Enerji Miktarı 1642,5 kWh olup elektriğin kWh bedelinin yaklaşık 0,23TL olduğu kabul edilirse yıllık tasarruf 377,755 TL olacaktır. Tasarruf miktarı elektriğe gelebilecek her zamda artacaktır. Elektriğe gelen zammın enflasyona göre %15 daha fazla olduğu kabul edilerek yapılacak hesapta amortisman süresi 15 yıl olmaktadır.

$$\text{Amortisman Payı} = \text{Anapara} * (1+i)^N$$

Eğer bağlantı şekli olarak On Grid (şebekeye bağımlı) sistem kurulmak isteniyorsa;

Bu tür bağlantı şekli için yukarıda yaptığımız hesaplara gerek yoktur. Çünkü üretilen enerjinin fazlası şebekeye verilmektedir. Yetersiz olan zamanlarda ise ihtiyaç şebekeden sağlanmaktadır.

Almanya'da şebekeye elektrik satılabilen bir sistem dizaynı ve amortismanı için örnek

Fotovoltaik Sistemler konusunda dünyanın en gelişmiş ülkelerinden birisi Almanya'dır. Peki, bu kadar pahalı olan bir sistem Almanya gibi güneşin az olduğu bir ülkede nasıl gelişmiştir? Öncelikle oradaki sistemin genelde aküsüz tasarlandığını belirtmemiz gerekir. Bu sistemde kullanılan inverter ise Panel kapasitesi ile sınırlıdır. Yani 2 kW sistem için 6000W inverter gerekmez. Bu iki özellikten dolayı yatırım maliyetleri düşmektedir. Ayrıca Almanya'da bireysel kullanıcılar elektriğin kWh bedeli için 0,22€ öderken, teşvik sisteminden dolayı PV sistemde ürettikleri enerjiyi 0,54€ gibi ücretlerle devlete satabilirler. Devlet bu konuda 20 yıl alım garantisi vermektedir. Ayrıca bazı eyaletlerde Vergi indirimi söz konusudur. Bunun yanı sıra 10 yıl vadeli ve çok düşük faizli krediler vermektedirler.

Şebekeye satış yapabilecek 3kW PV sistem kurulum maliyeti

1. 3000 Wp PV Panel
2. 2700W özel inverter
3. Panel mesnetleri ve kurulum

Toplam Maliyet **35.000TL-37.000TL**

Yılda üretilen Enerji Miktarı 2214kWh olup elektriğin kWh bedelinin 0,54€ olduğu kabul edilirse yıllık kazanç 1195€ olacaktır. Bu şekilde sistem yaklaşık 10 yıl gibi bir süre

çinde kendisini amorti edecektir. Bankaların bu süreye uygun 10 yıl vadeli kredi vermesi ise vatandaşın cebinden hiç para çıkmadan bu sisteme sahip olmasını sağlayacak olup aynı zamanda ikinci 10 yıl kar bile ettirecektir. Bu nedenledir ki Almanya’da insanlar boş buldukları çatıları kiralayıp bu sistemleri kurmakta ve gelir elde etmektedirler.

#### 6.4 Güneş Takip Sistemi Maliyet Programı

Yapılan analizlerin sürekli tekrar yapılması zor bir durumdur. Sürekli değişen koşullar ve değişim arz eden tüketici talepleri maliyet analizinin sürekli baştan yapılmasına neden olmaktadır. Bu durumu zaman kaybına neden olduğu için mühendis içinde ekstrasından bir yüküdür. Yapılan işlemleri formülize edip yazılıma aktarmasıyla maliyet analiz işlemleri daha kolay ve hızlı olmasını sağlamıştır.

**BİR EV İÇİN GÜNEŞ ENERJİ HESABI**

Güneşlenme süresi(Gün/Saat): 6,6  
 Akü gerilimi(V): 12  
 Kapasite kullanımı(%): 50  
 Panel gerilimi (V): 17,5  
 Panel Inom Akımı (A): 18,56  
 Bulutlu Gün Sayısı: 7  
 Akü Ah kapasitesi: 50  
 Sıcaklık Katsayısı: 1,54

Hesapla  
 Temizle

Ay çiçeği ile güneş takip sistemi

Tüketim

	Watt	Adet	Gün/Saat	Hafta/Gün	Toplam(Wh/Hafta)
Aydınlatma	15	4	5	7	2100
Televizyon	100	1	4	5	2000
Buzdolabı	50	1	24	7	8400
Fırın	600	1	0,25	3	450
Çamaşır Makinesi	2500	1	1	1	2500
Bulaşık Makinesi	2500	1	0,30	1	750
Mutfak aletleri	1000	1	1	3	3000
Bilgisayar	50	1	3	4	600
Diğer El.araç.	100	1	5	4	2000
Günlük Toplam Enerji Tüketimi(Wh/Hafta):					21800
<b>AKÜ KAPASİTESİ(AMPERSAAT/GÜN):</b>					259,52380952
<b>GÜNEŞ PANELİ GEREKSİNİMİ(WATT):</b>					974,4
<b>İNVERTER GÜCÜ(WATT):</b>					8352

Seri kol S. Parel kol S.  
 1 28  
**Toplam Akü Adedi**  
 28

Seri kol S. Parel kol S.  
 1 3  
**Toplam PV Modül Adedi**  
 3

Maliyet Hesabı

Şekil 6.56 Bir Ev İçin Güneş Enerji Hesabı

ŞEBEKE BAĞLANTI ŞEKLİ

Maliyetini hesaplamak istediğiniz şebeke bağlantı şekline karar veriniz?

Şebekeye Bağımlı  Şebekeden Bağımsız

Şekil 6.57 Şebeke Bağlantı Şekli

OFF GRID GTS MALİYET HESABI

	Birim Fiyatı [TL]	Adet	Toplam Fiyat
Akü Çeşitleri	LFP 1255,12 V, 50 Ah	28	4380,6
Regülatör	12 DC 20 A	1	610
İnverter	2000W, Modifiye Sinüs, 12/24V DC - 220V /	1	960
Panel Gücü	200W, Monokristal (148,2x99,2 cm)	5	7689
DC motor	36V 5 rpm	10	1000
Rulman	6009 BSS2RS	15	633
Triger kasnak	48 XL 037 F	10	140
	Triger kayış(mm)	0,5	80
	Diğer maliyetler(%25)		3873,15
	<b>Toplam Maliyet (TL)</b>		<b>19365,75</b>

Hesapla

Temizle

Amortisman Süresi

Şekil 6.58 Off Grid Güneş Takip Sistemi Maliyet Hesabı

Amortisman Süresi Hesabı

Güneşlenme Süresi(saat/gün) 6,6

Panel Gücü (W) 200

Panel Sayısı 5

Toplam Maliyet (TL) 19365,75

Elektrik Birim Fiyatı (TL) 0,23

Amortisman Süresini Hesapla

13 YIL SONRA KARA GEÇİLİR

Şekil 6.59 Off Grid Güneş Takip Sistemi Amortisman Süresi Hesabı

ON GRID GTS MALİYET HESABI

	Birim Fiyatı [TL]	Adet	Toplam Fiyat
inverter	2000W, Modifiye Sinüs, 12/24V DC - 220V /	960,000	1 960
Panel Gücü	200W, Monokristal (148,2x99,2 cm)	1.537,80	5 7689
DC motor	36V 5 rpm	100	10 1000
Rulman	6009 BSS2RS	42,2	15 633
Triger kasa	48 XL 037 F	14,00	10 140
Triger kayış(mm)	0,5	160	80
Diğer maliyetler(%25)		2625,5	
<b>Toplam Maliyet (TL)</b>		13127,5	

Hesapla

Temizle

Amortisman Süresi

Şekil 6.60 On Grid Güneş Takip Sistemi Maliyet Hesabı

Amortisman Süresi Hesabı

Güneşlenme Süresi(saat/gün)	6,6
Panel Gücü (W)	200
Panel Sayısı	5
Toplam Maliyet (TL)	13127,5
Elektrik Birim Fiyatı (TL)	0,23

Amortisman Süresini Hesapla

11 YIL SONRA KARA GEÇİLİR

Şekil 6.61 On Grid Güneş Takip Sistemi Amortisman Süresi Hesabı

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 7.1 Sonuçlar Ve Öneriler

Bu çalışmada güneş ışınlarından en verimli şekilde yararlanmak amacıyla tasarlanan ve prototipi üretilen güneşi takip edebilen güneş panel sistemi tanıtılmıştır. Gerçekleştirilen sistem, elektrik enerjisi üretiminde temiz enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullandığından dolayı çevreye duyarlı olmakta ve güneş enerjisi teknolojisinin ülkemizde kullanımına bir örnek teşkil ettiğinden dolayı ise ülkemiz teknolojisine yerli katkı sağlamaktadır.

Tasarlanan sistem güneşin doğumundan batımına kadar olan süre içerisinde, güneş enerjisinden en yüksek değerde istifadeyi sağlamak amacı ile güneş ışınlarının gün boyu panele dik düşmesini sağlayan elektronik kontrol devresi ve mekanik sistemden oluşmaktadır.

Bu sistem sayesinde son zamanlarda gittikçe önem kazanan temiz enerji konusunda verimlilik artacak, özellikle ilk kurulum maliyeti yüksek olan bu tür sistemlerin kendini amorti edebilme süresi azalacaktır. Aynı zamanda ülke ekonomisine ve enerjideki dışa bağımlılığın azalmasına katkıda bulunulacaktır.

Ayrıca tasarlanan bu sistem daha gelişmiş özellikte olan güneş ışınlarının odaklanması prensibine dayalı yansıtıcı sistem uygulamaları için de bir alt yapı niteliğindedir.

##### 7.1.1 Sonuçlar

Sistemin deneme aşamasına ilk önce masa lambası kullanılarak başlandı ve gerekli yön bulma deneyleri yapıldı. Denemelerde elde edilen sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır;

- ✚ Sistemin ilk denemelerinde motorların hızlı hareket etmesinde dolayı yön bulmada sorunlar çıktı. Bu sebepten dolayı redüktörlü motor kullanarak motor hızlarını düşürdük.
- ✚ Karşılaştığımız bir diğer problem ise kullanılan LDR' lerin aynı karakteristikte olmayıştı. Bu problemi de Ana kontrol kartı üzerinde bulunan trimpotlar sayesinde giderdik. Bu trimpotlar sayesinde range değerini ayarlayıp LDR' lerin belirli bir ofset değerlerinin oluşmasını sağladık.
- ✚ Akşam batıya yönelmiş olan sisteme sabah ışık arkadan geleceği için güneşin bulunması sırasında sorun çıkabileceği için gece belli bir zamanda sabah güneşi karşılamak için sistemin doğu pozisyonuna alınması gerekmektedir. Bu sorunu çözebilmek için sisteme RTC eklenerek gece istediğimiz saatte sistemin doğu

pozisyonuna yönelmesi sağlanacağı düşünülmüştür. Bunu yaparken akşam sistemin tam batı pozisyonuna gelmiş olacağı varsayıldı.

- ✚ Tasarladığımız sistemde limit switchler kullanarak istenmeyen bir durum olduğunda problem oluşmaması için panelin hareketini sınırladık.
- ✚ Güneş pillerinden istifade ile güneşten elektrik enerjisi üretiminde dört yönlü otomatik güneş takip sistemi kullanılmasının %38,88 verim artışına neden olduğu görülmüştür.
- ✚ Masa lambası ile yapılan deneyler %100 başarıyla tamamlandıktan sonra sistemin Güneş ışığı altında çalışması incelendi. Fakat güneş ışığı altındaki ilk denemede masa lambası ile güneş ışığının spektrumları arasındaki büyük farktan dolayı tüm opamp çıkışlarının saturasyona uğradığı görüldü. Bu sorun da tekrar kalibrasyon işlemi yapılarak düzeltildi. Tüm ayarlar yapıldıktan sonra sistemin güneş ışığı altında da başarıyla çalıştığı gözlemlendi.

### 7.1.2 Öneriler

Projenin kapsamı aşağıda belirtilen örnekler ile daha da genişletilebilir.

- ✚ GPS sistemleri kullanılarak güneşin her an matematiksel konumunun bilinmesi sayesinde sensör kullanılmasına gerek kalmadan bulutlu bir günde bile güneşin takip edilmesi işlemi yapılabilir.
- ✚ Akşam batıya yönelmiş olan sisteme sabah ışık arkadan geleceği için güneşin bulunması sırasında sorun çıkabileceği için gece belli bir zamanda sabah güneşi karşılamak için sistemin doğu pozisyonuna alınması gerekmektedir. Bu sorunu çözebilmek için sisteme RTC eklenerek gece istediğimiz saatte sistemin doğu pozisyonuna yönelmesi sağlanabilir. Bunu yaparken akşam sistemin tam batı pozisyonuna gelmiş olacağı varsayılır.
- ✚ DC motor yerine step ya da servo motor kullanılarak panelin her an hangi pozisyonda olduğu bilinebilir böylece sistemi istediğimiz pozisyona hatasız getirebiliriz.
- ✚ Tasarladığımız sistemde panelin hareketi sınırlamak için limit anahtarları kullanılabilir.
- ✚ Daha kaliteli ve sağlam mekanik sistemler tasarlanarak daha büyük paneller ile güneş izlemek mümkün olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Altın, V., Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33 (2004) 28-31.
- [2] Altın, V., Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması, Bilim ve Teknik Dergisi, 464 (2006) 41.
- [3] Altın, V., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik- 3e Dergisi, 47 (1998) 66-71.
- [4] Akyüz, Köse, S., Atay, F. ve Bilgin, V., ZnxCdxS Filmlerinin Fotovoltaik Güneş Pillerinde Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Haziran 2003, 187-196.
- [5] Akkaya, R., Kulaksız, A.A. ve Aydoğdu, Ö., Yüksek Verimli Fotovoltaik Sistemle Çalıştırılan Klima Sisteminin DSP Tabanlı Kontrolü, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projeleri, 2002, Konya, 11-26.
- [6] Archer, M.D. ve Hill, R., Clean Electricity From Photovoltaics, 1st ed. World Scientific Publishing Co., London, 2001.
- [7] Akkaya, R. ve Kulaksız, A.A., A Microcontroller-Based Stand-Alone Photovoltaic Power System For Residential Appliances, Applied Energy, 78 (2004) 419-431.
- [8] Abdallah, S. ve Nijmeh, S., Two Axes Sun Tracking System With PLC Control, Energy Conversion And Management, 45 (2004) 1931-1934.
- [9] AY, S., "Elektrik Enerjisi Ekonomisi" Birsen Yayın Evi, 2008, İstanbul.
- [10] Beasant, P., Elektronik – TUBİTAK, 1999, Ankara
- [11] Canan, F., Mimaride Fotovoltaik Panel Uygulamaları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2003/330, 43-52.
- [12] Carstensen, J., Popkirov, G., Bahr, J. ve Föll, H., Cello: An Advanced LBIC Measurement Technique For Solar Cell Local Characterization, Solar Energy Materials And Solar Cell , 76, 4 (2003) 599-611.
- [13] Çitiroğlu, A., Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Mühendis ve Makine Dergisi, 485 (2000) 14-19.
- [14] Çengel, Y.A., Dünyada ve Türkiye’ de Jeotermal Rüzgar ve Diğer Yenilenebilir Enerjilerin Kullanımı, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2003/330, 1-14.
- [15] Çelik, A.N. ve Açıkgöz, N., 240 W Gücünde Akü Depolu Bağımsız Bir Fotovoltaik Enerji Sistem Tasarımı ve Uygulaması, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20-21 Haziran 2003, Mersin, Bildiriler Kitabı, E/2003/321, 23-32.

- [16] Dönmez, Ş., Özdemir, A., "Otomatik Güneş İzleme Sistemi"
- [17] Fıratoğlu, Z.A. ve Yeşilata, B., Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 1 (2003) 147-158.
- [18] Harakawa, T., Tujimoto, T., "A Proposal of Efficiency Improvement with Solar Power Generation System". Industrial Electronics Society, IECON'01.The 27th Annual Conference of the IEEE, 1:523-8, 2001.
- [19]Haouari-Merbih, M., Belhamed, M., Tobias, I., ve Ruiz, J.M., Extraction And Analysis Of Solar Cell Parameters From The \_lluminated Current-Voltage Curve, Solar Energy Materials And Solar Cell, 87, 1 (2005) 225-233.
- [20] Hussein, H.M.S., Ahmad, G.E. ve El-Ghetany, H.H.,Performance Evaluation Of Photovoltaic Modules At Different Tilt Angles And Orientations, Energy Conversion And Menagement, 45 (2004) 2441-2452.
- [21] <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunespilleri/giris.html> [Mayıs 2010]
- [22] <http://sunbird.jrc.it/pvgis/> [Nisan, 2010]
- [23] <http://www.dunyaprestigesolar.com>, Solar Sistemler, [Mart 2010]
- [24] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/eiegunes.html> [Şubat 2010]
- [25] <http://www.yildiz.edu.tr/~kvarinca/Dosyalar/Yayinlar/yayin008.pdf> [Şubat, 2010]
- [26] <http://iee.edu.tr/lab/hbridge.pdf>, [Haziran 2010]
- [27] Kulaksız, A.A., Güneş Panelinden Sağlanan Elektrik Enerjisinin Güç Elektroniği Sistemleriyle Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2001.
- [28] Li, D.H.W., Cheung, G.H.W. ve Lam, J.C., Analysis Of The Operational Performance And Efficiency Characteristic For Photovoltaic System \_n Hong Kong, Energy Conversion And Management, 46 (2005) 1107-1118.
- [29] Lane, B.,(2008), "Solar Tracker", EEC 517
- [30] Muntasser, M.A., Bara, M.F., Quadri, H.A., El-Tarabelsi, R. ve La-Azabi, I.F., Fotovoltaic Marketing \_n Developing Ccounties, Applied Energy, 65, 1 (2000) 67-72
- [31] M. F. Khan and R. L. Ali,(2005), "Automatic sun tracking system," presented at the All Pakistan Engineering Conference, Islamabad, Pakistan
- [32] Oktik, S., Güneş- Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı, Ankara, 2001.
- [33] Öztürk, S.ve Duru, T. , "Güneş-Rüzgâr Karma Enerji Üretim Sistemi / 2", 3 E Dergisi Sayı 131, Nisan 2005, Kocaeli



- [34] Perdahçı, C., Güneş Pili Verimleri ve Ekonomik Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1996.
- [35] Read, M., Hay, M., et.al, (2006), "Design of a Solar Tracker", Capstone Design
- [36] S. J. Hamilton, (1999) "Sun-tracking solar cell array system," University of Queensland Department of Computer Science and Electrical Engineering, Bachelors Thesis,
- [37] Shariah, A., Al-Akhras, M.A. ve Al-Omari, I.A., Optimizing The Tilt Angle Of Solar Collectors, Renewable Energy, 26 (2002) 587-598.
- [38] Şenol, R. ve Üçgül, Güneş Pilleriyle Sinyalizasyon Sistemi ve Gerekli Parametrelerin Belirlenmesi, S. D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8, 1 (2004) 109- 113.
- [39] Tang, R. ve Wu, T., Optimal Tilt Angles For Solar Collectors Used \_n China, Applied Energy, 79 (2004) 239-248.
- [40].URL-2. [www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/) ,11.07.2008
- [41].URL-3 <http://www.mmo.org.tr/index.php>
- [42] Urbano J.A., Matsumoto Y., Asomoza R., Aceves F.J., Sotelo A., Jacome A., "5Wp PV Module-Based Stand-Alone Solar Tracking System", 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003.
- [43] Varınca, K.B., Gönüllü M.T., "Türkiye de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma", 1.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 2006.
- [44] Varınca, K.B. ve Varank, G., Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 25-25 Haziran 2005.
- [45] Yakup, M.A.H.M., Malik, A.Q., Optimum Tilt Angle And Orientatin For Solar Collector Brunei Darusselam, Renewable Energy, 24 (2001) 223-234.
- [46] Yeşilata, B. ve Fıratoglu, Z.A., Bataryalı ve Direkt Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Tespiti, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2001, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2001/275, 129-136.

## ÖZGEÇMİŞ

### ÖZGEÇMİŞ-1

---

**Ad, Soyad** : Cumali ACAR  
**Cinsiyet** : Bay  
**Doğum Yeri** : Hamur/AĞRI  
**Doğum Tarihi** : 24.09.1984  
**Medeni Durum** : Bekâr  
**Uyruk** : T.C.

**Üniversite** : **Yıldız Teknik Üniversitesi – İstanbul**  
Elektrik Müh. – 05/2005 – 06/2010  
**Mezuniyet Derecesi** : ---/4.00 (-----)  
**Lise** : **Atatürk Lisesi – Trabzon**  
Fen-Matematik – 09/2001 – 06/2004  
**Mezuniyet Derecesi** : 5.00/5.00 (Okul 1.si)  
**İlköğretim** : **İsmet Ömeroğlu İlköğretim Okulu – Ağrı**  
09/1993 – 06/2001  
**Mezuniyet Derecesi** : 5.00/5.00 (Okul 1.si)

**2006/2007 –** : **McDonald's –Amerika WY Cheyenne**  
**Pozisyon:** Kasiyer  
**2006/2007 –** : **WAL \* MART – Amerika WY Cheyenne**  
**Pozisyon:** Kargo Departmanı Ürün Kayıt Sorumlusu  
**2007/2008 –** : **Selami Yılmaz Elektrik Enerji Sistemleri – İstanbul**  
**Pozisyon:** Şantiye Şefi Yardımcılığı (Staj)  
**2008/2009 –** : **Nuh Çimento Enerji Santrali – Kocaeli**  
**Pozisyon:** Stajyer Öğrenci (Staj)  
**2008/2010 –** : **Emtrol Mühendislik –İstanbul**  
**Pozisyon:** Proje Yöneticiliği

## ÖZGEÇMİŞ-2

---

**Ad, Soyad** : İlknur KILINÇDEMİR  
**Cinsiyet** : Bayan  
**Doğum Yeri** : Bor / NIĞDE  
**Doğum Tarihi** : 21.05.1987  
**Medeni Durum** : Bekâr  
**Uyruk** : T.C.

**Üniversite** : **Yıldız Teknik Üniversitesi – İstanbul**  
Elektrik Müh. – 05/2005 – 06/2010

**Mezuniyet Derecesi** : ----/4.00

**Lise** : **Tüpraş 50.Yıl Lisesi – Kocaeli**  
Fen-Matematik – 09/2001 – 06/2004

**Mezuniyet Derecesi** : 4.78/5.00

**İlköğretim** : **Yeniyahı İlköğretim Okulu – Kocaeli**  
09/1993 – 06/2001

**Mezuniyet Derecesi** : 4.88/5.00

**2006/2007 –** : **Nuh Çimento Enerji Santrali – Kocaeli**  
**Pozisyon:** Stajyer Öğrenci (Staj-30 gün)

**2008/2009 –** : **Emtrol Mühendislik –İstanbul**  
**Pozisyon** Stajyer Öğrenci (Staj-30 gün)

**2009/20010 –** : **Emtrol Mühendislik –İstanbul**  
**Pozisyon** Proje Müdür Yardımcılığı