

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLLERİ VE VOLANLAR İLE BİR  
HİBRİT ENERJİ SİSTEMİ TANZİMİ VE  
BENZETİMİ

PINAR YILMAZ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE  
2011

T.C.  
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLLERİ VE VOLANLAR İLE BİR  
HİBRİT ENERJİ SİSTEMİ TANZİMİ VE  
BENZETİMİ

PINAR YILMAZ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI  
YRD. DOÇ. DR. ABDÜLKADİR BALIKÇI

GEBZE  
2011



## YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14.02.2011 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Pinar YILMAZ'ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Boalıcı, A. Boalıcı

ÜYE

: Doç. Dr. Okan Özgönenel

ÜYE

: Doç. Dr. M. Hakan Hocaoğlu

### ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

### **TEZİN BAŞLIĞI: GÜNEŞ PİLLERİ VE VOLANLAR İLE BİR HİBRİT ENERJİ SİSTEMİ TANZİMİ VE BENZETİMİ**

**YAZAR ADI : PINAR YILMAZ**

Nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek amacıyla mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra temiz ve güvenilir olan alternatif enerji kaynakları ön plana çıkmıştır.

Bu tezde, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden güneş pilleri ile elektrik üretmek ve dönen kütlenin mekanik bir batarya olarak kullanılması fikrinden doğan volan sistemi kullanılarak, üretilen enerjiyi depolamak amacıyla bir sistem hazırlanmıştır. Depolama elemanı olarak uzun yıllar bakım gerektirmemeleri, yüksek güvenilirlik, uzun ömür ve çevreyi herhangi bir şekilde kirletmeme özelliklerine sahip olmaları ve verimlerinin yüksek olması nedeniyle volanlar tercih edilmiş olup, sistemin modellenmesi yapılmıştır.

## **SUMMARY**

### **TITLE OF THE THESIS: A HYBRID ENERGY SYSTEM WITH SOLAR CELLS AND FLYWHEELS ARRANGEMENT AND SIMULATION**

**AUTHOR : PINAR YILMAZ**

The demand for energy and natural resources together with development of technology population growth and industrialization is gradually increasing. In order to meet the increasing energy needs, clean and reliable alternative energy sources have come to the forefront as well as the existing ones.

In this thesis, such a system has been designed to generate the power with solar battery from solar energy known as renewable energy sources and to store the energy produced by using flywheel system which is aroded from an idea of rotating mass used concurrently as mechanical battery. Flywheels have been preferred and the modelling system has been done due to no requirement to be maintained as a storage element for long years, high reliability, high productivity, long life and have features of not polluting the environment at all in any cases.

## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince desteğini, bilgisini ve zamanını esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdülkadir BALIKÇI'ya, desteğiyle her zaman yanımda olduğunu hissettiren ve savunmam sırasında yalnız bırakmayan saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Okan ÖZGÖNENEL'e, görüş ve önerileriyle yol gösteren sevgili hocam Sayın Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU 'na, sadece varlığıyla birçok sorunumun çözülmesini sağlayan Fatih ULUBAY'a, bu zorlu süreçte gösterdikleri sabır ve destek ile her zaman her koşulda yanımda olan manevi ailem Ömer TORUN ile Nilgün TORUN 'a ve bugünlere gelmemi sağlayan, ilgileri, sevgileri ve dualarıyla her an arkamda olan, her şeyimi borçlu olduğum değerli aileme çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XV
TABLolar DİZİNİ	XVIII
1.GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin İçeriği	3
2.GÜNEŞ PANELLERİ	4
2.1 Güneş Enerjisi	4
2.1.1 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları	6
2.1.2 Türkiye ‘nin Güneş Enerji Potansiyeli	8
2.2 Elektrik Üretiminde Kullanılan paneller ve Çeşitleri	10
2.2.1 Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi	11
2.2.2 Güneş Pillerinin Yapısı	12
2.2.3 Güneş Pillerinin Çeşitleri	14
2.2.3.1 Selenyum Güneş Pili	14
2.2.3.2 Silisyum Güneş Pili	14
2.2.3.2.1 Tek Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	15

2.2.3.2.2 Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	16
2.2.3.2.3 İnce Film Güneş Pilleri	16
a) Amorf Silisyum Güneş	17
b) Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri	18
c) Bakır İndiyum-Diselenid Güneş Pilleri	18
2.2.4 Güneş Panelleri	19
2.3 Fotovoltaik Sistem Türleri	22
2.3.1 Bağımsız PV Sistemler	22
2.3.2 Şebeke Bağlantılı PV Sistemler	23
3.ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	25
3.1 Akümülatörler	25
3.1.1 Sabit Tip Aküler	26
3.1.2 Nikel Kadmiyum Aküler	29
3.1.3 Nİkel Metal Hidrit Aküler	29
3.1.4 Lityum İyon Aküler	30
3.2 Yakıt Pilleri	32
3.3 Volanlar	35
3.4 Ultrakapasitörler	39
3.5 Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	41
4.ÖNERİLEN SİSTEM PARÇALARININ MATEMATİKSEL MODELLERİNİN ÇIKARILMASI	45
4.1 Depolama Bölümü	45
4.1.1 Genel Model	45

4.1.2 Sabit Miknatıslı Senkron Motor Modeli	51
4.1.2.1 Vektör Denetim	52
4.1.3 Denetleyici Tipleri	54
4.2. Kaynak Bölümü	56
4.2.1 Güneş Paneli	56
4.2.2 DA/DA Yükselten Çevirici	65
4.2.3 En fazla Güç Noktası İzleyici	68
4.2.3.1 Hata ve Gözlem (P&O) Algoritması	70
4.2.3.2 Artan İletkenlik (IC) Algoritması	72
4.2.3.3 Sabit Gerilim (CV) ve Akım (CC) Algoritması	74
5.ÖNERİLEN SİSTEMİN SİMULASYON SONUÇLARI	78
5.1 Dış Kaynak Kullanılarak (Depo+Yük) Bölüm Benzetimi	78
5.2 Tüm Sistem (Kaynak+Depo+Yük) Benzetimi	85
6.SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR	87
EK-1	88
EK-2	90
KAYNAKLAR DİZİNİ	91
ÖZGEÇMİŞ	94

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DA : DC	: Doğru Akım
AA : AC	: Alternatif Akım
M.Ö.	: Milattan Önce
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
MBEAE	: Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü
AEAGE	: Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü
GÜNDER	: Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği-Türkiye Şubesi
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
MKE	: Makine ve Kimya Enstitüsü
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
Se	: Selenyum
Ag	: Gümüş
$SiO_2$	: Silisyum dioksit
$P_2O_5$	: Difosfor pentaoksit
CdTe	: Kadmiyum Tellür
Eg	: Yasak Enerji Aralığı
CIS	: Bakır, İndiyum ve Selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarıiletkenle başlayan grup
Voc	: Fotovoltaik hücre açık devre gerilimi
Isc	: Fotovoltaik hücre kısa devre akımı

$\eta$	: Fotovoltaik hücre verimi
Akü	: Akümülatör
NiMh	: Nikel Metal Hidrit
Liİ	: Lityum İyon
FW	: Volan
$q_c$	: Sığaçta depolanan yük
$V_c$	: Sığaç plakaları arasındaki gerilim
A	: Sığaç plakalarının alanı
$\epsilon$	: Yalıtkan sabiti
d	: Sığaç plakaları arası uzaklık
C	: Sığa
E	: Sığaçta depolanan enerji
UC	: Ultrakapasitör
$V_d$	: Fotovoltaik hücre diyot gerilimi
$R_{sh}$	: Fotovoltaik hücre paralel direnci
$R_s$	: Fotovoltaik hücre seri direnci
D	: Fotovoltaik hücre diyot simgesi
$I_{sh}$	: Fotovoltaik hücre paralel direnç akımı
V	: Fotovoltaik hücre çıkış gerilimi
I	: Fotovoltaik hücre çıkış akımı
$I_d$	: Fotovoltaik hücre diyot doyma akımı
$I_{ph}$	: Fotovoltaik hücre ışık akımı
G	: Güneş ışınımı

$T$	: Fotovoltaik hücre çalışma sıcaklığı
$I_0$	: Fotovoltaik hücre diyot kısa devre akımı
$V_T$	: Fotovoltaik hücre diyot uç gerilimi
$k$	: Boltzman sabiti
$q$	: Elektron yükü
$B_d$	: Diyotun kalite etkeni
$I_{pv}$	: Fotovoltaik panel çıkış akımı
$V_{pv}$	: Fotovoltaik panel çıkış gerilim
$I_r$	: En fazla güç noktasındaki hücre akımı
$V_r$	: En fazla güç noktasındaki hücre gerilimi
$V_i$	: Çevirici giriş gerilimi
$V_o$	: Çevirici çıkış gerilimi
$V_L$	: Çevirici endüktans gerilimi
$D$	: Çevirici anahtarı doluluk boşluk oranı
MPPT	: Maksimum power point tracker (En fazla güç noktası izleyici)
$P_{pv}$	: Fotovoltaik panel çıkış gücü
AGDBD	: Akım Gerilim Dolu Boşalım Düzenleyici
$I_{fw}$	: Volan akımı
$V_{dc}$	: Doğru akım bara gerilimi
$I_s$	: Kaynak akımı
$I_{yük}$	: Yük akımı
$R_{yük}$	: Yük direnci
$I_c$	: Sığaç akımı

$C_f$	: Filtre sığaç
$I_{inv}$	: Evirici akımı
$P_{inv}$	: Evirici gücü
$P_{elec}$	: Elektriksel güç
$P_{mech}$	: Mekanik güç
$T_e$	: Motor torku
$\omega_r$	: Rotor açısal hızı
$T_y$	: Yük momenti
$J$	: Atalet momenti
$B$	: Sürtünme katsayısı
SMSM	: Sabit mıknatıslı senkron motor
$V_q$	: Motor q eksen gerilimi
$V_d$	: Motor d eksen gerilimi
$I_q$	: Motor q eksen akımı
$I_d$	: Motor d eksen akımı
$R_q$	: Motor q eksen direnci
$R_d$	: Motor d eksen direnci
$L_q$	: Motor q eksen endüktansı
$L_d$	: Motor d eksen endüktansı
$\omega_e$	: Rotor elektriksel hızı
$\psi_m$	: Sabit mıknatıstan dolayı oluşan ortak magnetik akı
$\psi$	: Magnetik akı

- $i_{qs_r}$  : Motor rotor tarafi q eksen akımı
- $i_{ds_r}$  : Motor rotor tarafi d eksen akımı
- $V_{qs_r}$  : Motor rotor tarafi q eksen gerilimi
- $V_{ds_r}$  : Motor rotor tarafi d eksen gerilimi
- $V_{qs_r}^*$  : Motor rotor tarafi istenen q eksen gerilimi
- $V_{ds_r}^*$  : Motor rotor tarafi istenen d eksen gerilimi
- $i_{ds_r}^*$  : Motor rotor tarafi istenen d eksen akımı
- $i_{qs_r}^*$  : Motor rotor tarafi istenen q eksen akımı
- $I_{fw}^*$  : Volan istenen akımı
- $V_{dc}^*$  : Doğru akım bara istenen gerilimi
- PWM : Darbe Genişlik Modülasyonu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 Güneş Pilinin İç Yapısı	13
2.2 Selenyum Güneş Pilinin Yapısı	14
2.3 PV Panellerdeki Açık devre, Kısa devre ve Yüklü bağlantı	19
2.4 Tipik bir güneş piline ait akım-gerilim-güç eğrisi	20
2.5 Seri bağlanmış hücrelerle oluşturulan panelin akım-gerilim karakteristiği	21
2.6 Paralel bağlanan hücrelerle oluşturulan panelin I-V karakteristik eğrisi	22
2.7 Bağımsız fotovoltatik sistem örneği	23
2.8 Şebeke bağlantılı sistem örneği	24
3.1 Sulu akümülatör içyapısı	27
3.2 PV-Akü sistem şeması	32
3.3 PEM Tipi yakıt pili iç yapısı	33
3.4 PV-Yakıt pili sistem şeması	34
3.5 Volan motor/jeneratör kesiti	36
3.6 PV-Volan sistem şeması	39
3.7 Ultrakapasitör iç yapısı ve eşdeğer devresi	40
3.8 PV-Akü-Ultrakapasitör sistem şeması	41
4.1 Önerilen sistem genel şeması	45
4.2 Önerilen sistem çalışma evreleri	46
4.3 Bara Düzenleyici Volan Denetim Algoritması	47
4.4 Genel sistem gösterimi	47

4.5 Genel sistemin Matlab/Simulink modeli	50
4.6 Sabit Mıknatıslı Senkron Motor dq Modeli	52
4.7 Sabit Mıknatıslı Senkron Motor (Sabit Mıknatıslı Fırçasız DA Motor) dq Simulink Modeli	54
4.8 Motor dq model akım denetim simulink modeli	55
4.9 Dolu/Boşalım Akım/Gerilim Ayarlayıcı simulink model	56
4.10 PV hücre eşdeğer devresi	57
4.11 Güneş paneli bağlantı gösterimi	59
4.12 Güneş pili simulink alt sistem gösterimi	59
4.13 Güneş pili simulink modeli	60
4.14 Güneş pili maske görüntüleri	61
4.15 Güneş pili simulink deneme modeli	62
4.16 Güneş pili deneme modeli çıkış eğrileri	63
4.17 PV panel simulink deneme modeli	63
4.18 PV panel deneme modeli çıkış eğrileri	64
4.19 DA/DA Yükselten dönüştürücü eşdeğer devresi	65
4.20 DA/DA Yükselten dönüştürücü simulink modeli	66
4.21 PV panel ve dönüştürücü sistem simulink modeli	67
4.22 PV panel ve dönüştürücü sistem deneme model çıkış grafikleri	68
4.23 En fazla Güç Noktasının Işınım miktarı ile Değişimi	69
4.24 Önerilen sistem kaynak bölümü genel gösterimi	69
4.25 Hata ve gözlem algoritması	70
4.26 PV panel karakteristik güç-gerilim (P-V) eğrisi	71

4.27 PV panel karakteristik güç-gerilim (P-V) eğrisi	73
4.28 Artan iletkenlik algoritması [23]	74
4.29 MPPT simulink alt sistem görüntüsü	76
4.30 PV, MPPT ve DA/DA Yükselten dönüştürücü deneme simulink modeli	76
4.31 PV, MPPT ve DA/DA Yükselten dönüştürücü deneme çıkış grafikleri	77
5.1 Volan ve DA Hat Modeli Alt sistem görüntüsü	78
5.2 Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Alt sistem görüntüsü	79
5.3 Akım Denetleyici Alt sistem görüntüsü	79
5.4 D/B A/G Ayarlayıcı Alt sistem görüntüsü	80
5.5 Sistem genel model alt sistem görüntüsü	80
5.6 Yük, volan ve kaynak akım eğrileri	81
5.7 Hat gerilimi, volan akımı ve motor hızı benzetim eğrileri	82
5.8 Bir dakikalık aynı kaynak benzetim çıkış eğrileri	83
5.9 Bir dakikalık benzetim çıkış eğrileri	83
5.10 Geçici hal sistem çıkış akım görüntüsü	84
5.11 Geçici hal sistem çıkış gerilim görüntüsü	84
5.12 Tüm benzetim akım eğrileri	85
5.13 Tüm sistem benzetim eğrileri	86

**TABLolar DİZİNİ**

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli	9
2.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı	10
2.3 Bazı Hücre Çeşitlerinin Başarımlarının Karşılaştırılması	20
3.1 Akü Türlerinin Kıyaslanması	31
3.2 Farklı yakıt pillerinin karşılaştırılması ve çalışma karakteristikleri	33
3.3 Ticari liflerin fiziksel parametreleri	37
3.4 Akü ve Ultrakapasitörlerin karşılaştırılması	42
3.5 Depolama elemanları kıyas tablosu	43

# 1 GİRİŞ

Enerji üretimi ile tüketimi, çağımızda milletlerin refah seviyesini gösteren bir ölçü olmuştur ve kullanılan enerji kaynakları teknolojik gelişmelere paralel olarak değişmiştir. Önceleri, enerji kaynağı olarak sadece odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, uzun süre sonra kömür ve yakın tarihte de petrol ve doğalgaz bulunup kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde insanlığın ihtiyacı olan enerji çoğunlukla fosil yakacaklardan, hidrolik enerjiden ve %16 'ya yakın miktarı da nükleer enerjiden temin edilmektedir.

Enerji kaynakları, üretildikleri miktarlar göz önüne alınarak, "birincil enerji kaynakları" ve "ikincil enerji kaynakları" olarak iki grupta incelenebilirler. Birincil enerji kaynakları, fosil kaynaklar (kömür, petrol, v.s.), hidrolik enerji ve nükleer enerji, ikincil enerji kaynakları ise güneş enerjisi, jeotermal enerji, gel-git enerjisi, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi v.b. enerji kaynaklarıdır.

Günümüzde dünyada tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Yapılan tahminlere göre fosil yakacaklar, bugünkü oranda tüketilmeye devam edilirse, yakın gelecekte tükenmeye başlayacaktır. Norveç 'in elektrik ihtiyacının %99.4 'ü, Avusturya 'nınsa %70.4 'lük kısmı hidrolik kaynaklardan karşılanırken, Almanya 'nın sadece %2.6 'sinin hidrolik enerjiden karşılanması dikkati çekmektedir. Türkiye 'de bu oran % 25 mertebesindedir. Bunun sebebi ise, hidrolik santrallerin ilk tesis masraflarının fazla olması ve yapımı için uzun süre geçmesidir. Nükleer enerjinin üretilen toplam enerjiye katkısı son yıllarda artmaya başlamıştır ve birim enerji maliyeti düşüktür. Ancak ilk yatırım maliyetleri, atıkların güvenli yönetimi, ömrünü tamamlamış santrallerin söküm işlemleri ve nükleer radyasyon gibi problemleri vardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, ülkelerdeki potansiyellerine göre değişir. Gelgit enerjisinden, gel-git olayının sık rastlandığı Fransa, Kanada, Rusya ve Çin gibi ülkelerde yararlanılırken, Dünyada jeotermal elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması: A.B.D., Filipinler, İtalya, Meksika ve Endonezya şeklindedir. Türkiye 'de Zorlu Enerji A.Ş. Denizli-Kızıldere 'de 15 MW 'lık, Menderes Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş. Aydın-Sultanhisar 'da 7.95 MW 'lık, Bereket Jeotermal Enerji Üretim

A.Ş. Denizli-Kızıldere 'de 6.85 MW 'lık, Gürmat Elektrik Üretim A.Ş. Aydın-Germencik 'te 47.4 MW 'lık santrallerde elektrik üretmektedir.

Elektrik enerjisi üretiminde rüzgâr hızının 3 m/sn 'den daha büyük olması istenir ve zemine yakın yerlerde rüzgâr çevrili estiğinden, genellikle 10-100 m yüksekliklerde esen rüzgârlardan yararlanır. Dünyada rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde ilk 5 ülke sıralaması: Almanya, İspanya, A.B.D., Hindistan ve Danimarka 'dır. Türkiye rüzgâr enerjisi bakımından İzmir, Çanakkale, İstanbul, Balıkesir, Hatay, Manisa ve Muğla 'da olmak üzere işletmelerdeki sığa toplamı 433.35 MW 'dır. Dalga enerjisinden çok az ülkede faydalanılmaktadır. Bu ülkeler; İskoçya, Hindistan, Japonya, Norveç ve Avustralya 'dır. Ülkemizde Akdeniz, Ege ve Karadeniz bölgelerinde çalışmalar sürmektedir. Biyokütle enerjisi ise küçük çaptaki enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. AB ülkelerinde Almanya, İngiltere, İtalya, İspanya ve Fransa olmak üzere birçok ülkede bu tip kaynaklarla elektrik üretilmektedir. Ülkemizde biyogaz kurulu sığası 15MW 'dır. Kuşkusuz yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en güncel olanı ve en çok uygulama alanı bulunanı ise güneş enerjisidir. [1],[2]

## 1.1 Tezin Amacı

Güneş pilleri, küçük genlikte ve güçte çıkış veren hücrelerin birbirine bağlanması sonucunda oluşmuştur. Güneş pillerinin seri veya paralel bağlanması ile de güneş panelleri elde edilir. Güneş panelleri yardımıyla gün içerisinde üretilen elektriğin, güneşin olmadığı saatlerde kullanılabilmesi amacıyla depolanması gerekir. Bunun için akümülatörler, yakıt pilleri, ultrakapasitörler ve volanlar gibi depolama elemanları mevcuttur.

Bu çalışmada, güneş panellerinden elektrik üreten ve yeterli güneş enerjisinin olduğu zamanlarda enerjinin fazlasını depolayarak ihtiyaç halinde kullanıma sunan bir sistem modellenmiştir. Depolama elemanı olarak sistemde volan kullanılmıştır. Literatürde sıklıkla kullanılmasına rağmen, ömürlerinin kısa olması ve dönemsel bakıma ihtiyaç duymaları nedeniyle bu sistemde akümülatörler yerine verimleri yüksek, bakıma ihtiyaç duymayan, uzun ömürlü ve güvenli volanlar depolama

elemanı olarak tercih edilerek DA bara düzenlemesinin sağlanabildiği bir sistem geliştirilmiştir.

## 1.2 Tezin İçeriği

Tez genel hatlarıyla altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup, enerji kaynakları hakkında genel bilgi verilerek tezin konusu ve amacından bahsedilmiştir.

İkinci bölümde güneş enerjisinden kısaca bahsedilmiş, kullanım alanları ile Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretebilmek için kullanılan güneş panellerinin gelişimi, yapıları ve çeşitleri kullanılan malzemeler göz önünde bulundurularak anlatılmış; fotovoltaik sistem olarak adlandırılan yapıların çeşitlerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde fotovoltaik sistemlerde kullanılan depolama elemanları ele alınmış olup, akümülatörler, yakıt pilleri, volanlar ve ultrakapasitörler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu yapıların birbirlerine göre faydaları ve mahsurları karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde önerilen fotovoltaik sistemde kullanılacak elemanlar tanıtılıp eşdeğer devre şemaları kullanılarak matematiksel modelleri çıkarılmış ve benzetim programı Matlab/Simulink kullanılarak modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin bir kısmı, dış kaynaklar kullanılarak çalıştırılmış ve benzetim sonuçları yorumlanmıştır.

Beşinci bölümde, bir önceki bölümde elde edilen modeller üç aşamada birleştirilerek farklı benzetim sonuçları için sistemin vermiş olduğu cevaplar incelenmiştir.

Son olarak altıncı bölümde ise genel değerlendirmeler yapılarak ileriye yönelik yapılabilecek geliştirme çalışmaları üzerinde durulmuştur.

## 2 GÜNEŞ PANELLERİ

### 2.1 Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan Güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Tükenmeyen, çevreyi kirletmeyen, dışalım gerektirmeyen ve bir ölçüde de bedava sayılabilecek kaynak olan güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir (ikincil) enerji kaynaklarının başta gelenidir.

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için insanların yaptığı çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışınımının içeri alınması gerektiğini belirtmiştir. Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Çalışmalar 1600'lü yıllarda Galile'nin merceği bulmasıyla gelişme göstermiştir. İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mouchot 1860'da parabolik aynalar yardımı ile güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi yapmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deneyler yapmıştır. Eski saraylara dikkat ederseniz (Dolmabahçe Sarayı) oldukça fazla ayna göreceksiniz, güneş enerjisinin kullanımı açısından iyi bir örnektir. [1],[3]

Birinci dünya savaşı esnasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. 1930 yılından itibaren ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamıştır, çalışmalar araştırma kurumlarının dışına çıkmamıştır. Ancak 1960'lı yıllarda petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir. Öncelikli olarak çalışmalar, temiz ve masrafsız enerji kaynağı olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır.

Güneş enerjisi, zirai ürünlerin kurutulması, soğuk mevsimlerde mahal ısıtması, evlerde havalandırma amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde 1960'ların başlarında güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve bazı yatırımcılar ve üniversitelerde verilen tezler ile bu konuda çalışmalar başlamıştır.

1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir.

Türkiye'deki tek Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuş ve o günden itibaren faaliyet göstermektedir. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları devlet destekli TÜBİTAK bünyesindeki Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (MBEAE) yürütmektedir. Yine TÜBİTAK bünyesinde 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü (AEAGE) güneş pillerinin tasarımı ve üretimi konusundaki çalışmaları desteklemektedir.

Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği - Türkiye Şubesi (GÜNDER) 1992 yılından itibaren Türk devletinin izniyle etkin olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Devlet Meteoroloji Enstitüsü (DME) geçen yüzyılın başından itibaren gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda etkin olarak çalışmaktadır. Diğer taraftan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) de güneş enerjisi ile su ısıtma, etkin ve pasif mahal ısıtması, yoğunlaştırıcı toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara olanak sağlamaktadır. Bu kuruluş 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin geliştirilmesinden sorumludur. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyade araştırma, geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. Makine ve Kimya Enstitüsü (MKE) kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerle gerçekleştirmiştir. [3]

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda faydası mevcuttur: [1]

- Her şeyden önce, bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağı güneştir.
- Temiz enerji türüdür; çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi artıkları yoktur.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Bir çakmağın, bir

saatin, bir hesap makinesinin, bir deniz fenerinin veya bir orman gözetleme kulesinin enerji ihtiyacı yerinde karşılanabilir.

- Dışa bağlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
- Ulaşım problemi yoktur, güneşin her yerde olduğu düşünülünce enerji gereksinimi olan bölgeye kurulabilir.
- İşletme/Bakım masrafları çok azdır.

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklerine rağmen günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır. [1]

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde bu değer ortalama  $1300 \text{ w/m}^2$ 'dir.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolanması gerekmektedir ve depolama olanakları sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.
- Güneş ışınımından yararlanan birçok tesisatın ilk yatırım masrafları fazladır ve hâlihazırda ekonomik değildir.
- Su ısıtma sistemlerinde %60 'a yakın verim sağlanırken güneş pillerinde bu oran %15 civarındadır fakat yeni melez sistemler (hidrojen üretimi) ile elektrik üretimi için bu oran %55 değerlerine gelebilir.

### 2.1.1 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş panelleri uygulamaya bağlı olarak, depolama elemanları, eviriciler, denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bugün için güneş enerjisinin kullanımı, gündelik yaşam konutlarından başlamakta, iletişime, tarıma,

endüstri kesimine, elektrik santrallerine, askeri hizmetlere ve uzaya dek uzanmaktadır. Güneş teknolojisi özellikle, düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık ısı uygulamalarına, ısıl elektrik ve güneş termik elektrik uygulamalarına, fotosentetik ve fotokimyasal işlemlere dayanmaktadır.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır. [4]

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan korunması
- 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 pompası
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

Güneş enerjisinin günümüzde önem kazanan uygulamaları; güneşli su pompalarının tarımsal sulamada kullanılması ve hemen her ülkede yaygınlaşmaya başlayan güneşli su ısıtıcılarının dışında

1. Yapıların ısıtılmasında güneş enerjisinin kullanılması (bu tür yapılara güneş evleri ya da binaları adı verilmektedir.),
2. Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülerek kullanılması ve güneş elektrik santrallerinin geliştirilmesi,

3. Geleceğin yakıtı olan hidrojenin sudan üretilmesinde güneş enerjisinin kullanılması (bu yöntemle üretilen hidrojene ve sentetik yakıtlara, güneş yapay yakıtları da denilmektedir.)

biçiminde sıralanabilir.

### **2.1.2 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli**

Türkiye dünya üzerinde 36°-42° kuzey paralelleri ve 26°-45° doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerji potansiyeli açısından, birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. EİEİ tarafından Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü 'nde mevcut bulunan, 1966-1982 yılları arasında ölçülen, güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 2.1 'de verilmiştir.

**Tablo 2.1 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli**

<b>AYLAR</b>	<b>AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kwh/m<sup>2</sup>-ay)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)</b>
OCAK	51,75	103,0
ŞUBAT	63,27	115,0
MART	96,65	165,0
NİSAN	122,23	197,0
MAYIS	153,86	273,0
HAZİRAN	168,75	325,0
TEMMUZ	175,38	365,0
AĞUSTOS	158,40	343,0
EYLÜL	123,28	280,0
EKİM	89,90	214,0
KASIM	60,82	157,0
ARALIK	46,87	103,0
TOPLAM	1311	2640
ORTALAMA	3,6 (kwh/m <sup>2</sup> -gün)	7,2 (saat/gün)

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kW/m<sup>2</sup> ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bununla beraber Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 2.2 ' de verilmiştir.

**Tablo 2.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı**

<b>BÖLGE</b>	<b>TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kwh/m<sup>2</sup>- yıl)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)</b>
GÜNEYDOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİEİ ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla güneş enerjisi ölçümleri almaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin, eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir. [4]

## **2.2 Elektrik Üretiminde Kullanılan Paneller ve Çeşitleri**

Fotovoltaik sistem, tek başına veya yardımcı donanımlarla beraber, belirli bir hizmeti sağlamak amacıyla tasarlanmış modüllerin ve diğer parçaların montajıdır. Fotovoltaik sistemler; elektriğin üretildiği paneller, üretilen elektriğin depolandığı depolama elemanı, doğru akımda üretilen elektriği alternatif akıma dönüştüren evirici, sistemdeki değişimleri dengede tutan denetim cihazları ve sistemin bağlantılarını sağlayan diğer sistem elemanlarından oluşmaktadır. [5]

### 2.2.1 Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar), üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi bir devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksiz güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımı" nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu yolu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması amacı uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev

olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamıştır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine olan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim sığası, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir. [4],[6]

### 2.2.2 Güneş Pillerinin Yapısı

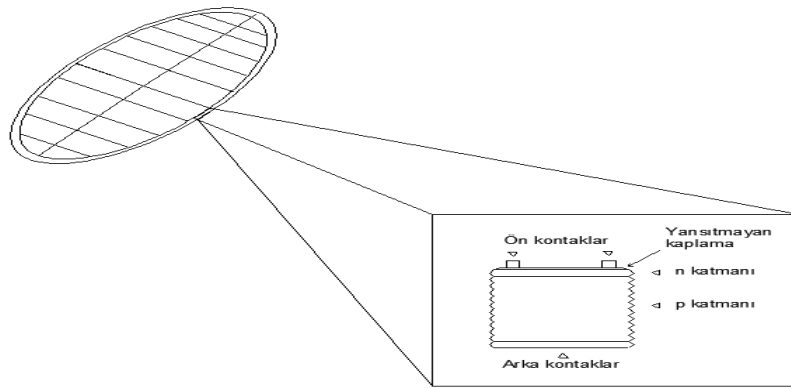
Güneş pilleri (Fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri birçok farklı maddeden üretilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellür, Bakır indiyum Diseleneid ’tir.

Kullanılan malzeme, üretim şekilleri ve diyotların çalışma ilkeleri, temelde benzerdir. Elektronik sanayisinin en önemli malzemelerinden olan silisyum kristali, bugün güneş pillerinin çoğunluğunun üretiminde kullanılmaktadır. Silisyum, teknolojik önemi nedeni ile en iyi bilinen yarı-iletken malzemelerden biridir.

Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gram’dan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Kontakların altında 150 mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Pilin ön yüzeyi,

normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunmaktadır.

Güneş pilleri, güneş-elektrik çevriminin kalbi olup, optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemelerden yapılmış diyotlardır. PV hücreler, gerçekte birbirine benzemeyen iki zayıf yarı-iletken malzemeden oluşmaktadır (P tipi yarı iletken ve N tipi yarı iletken). Yarı iletken malzemeler başlangıçta silikon malzemelerle yapılırken daha sonralarda farklı malzemelerden üreilmeye başlanmıştır.



**Şekil 2.1 Güneş Pilinin İç Yapısı**

Basit bir güneş pilinin iç yapısı Şekil 2.1 'de görülmektedir. 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 yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde ise elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır.

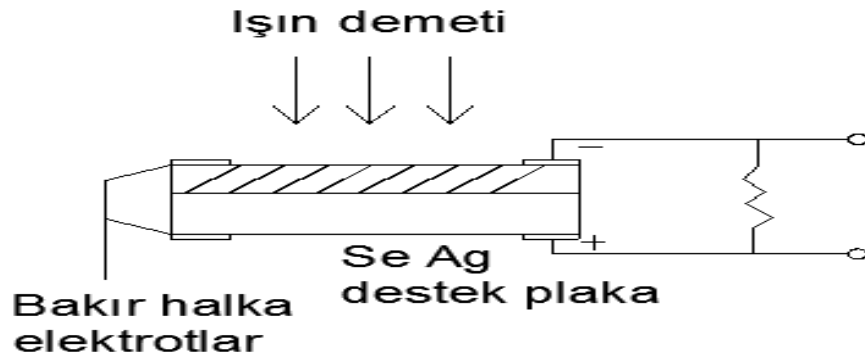
[5]

### 2.2.3 Güneş Pillerinin Çeşitleri

Bakır/bakır oksit ve gümüş yarı iletkenleri ile yapılan güneş pilleri, selenyum güneş pilleri ve silisyum güneş pilleri en çok kullanılanlarıdır.

#### 2.2.3.1 Selenyum Güneş Pili

Saf selenyum, alkali metallere veya klor, iyot gibi halojenlerle karıştırılıp P tipi bir yarı iletken oluşturulur. Bunun üzerine iyi iletken ile yarı iletken bir gümüş tabaka, birkaç mikron kalınlığında kaplanarak P-N kavşağı oluşturulur. Şekil 2.2 'de bir selenyum güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu pillerin, 50 °C 'nin üzerinde kullanılmamaları tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.2 Selenyum Güneş Pilinin Yapısı

#### 2.2.3.2 Silisyum Güneş Pili

Uzay araştırmalarında kullanılan pillerin çoğu silisyum tipi güneş pilleridir. Silisyum  $SiO_2$  halindeki kumdan elde edilir. Küçük bir kristal özünüm, eritilmiş potaya daldırılır. Belli hızda döndürülerek potadan çıkarılırken soğuması temin edilir ve kristalin büyütülmesi ile güneş pili elde edilir. Eriyik içine P tipi yarı iletkenlik malzemeleri katılır. P tipi kristaller dilimler şeklinde kesilir. Sıcaklığı denetlenen  $P_2O_5$  'li difüzyon fırınında N tipi yarı iletkenle  $10^{-4}$  -  $10^5$  m derinliğe kadar difüzyon temin edilerek P-N kavşağı oluşturulur.

Silisyum piller germanyumla yapılan pillere göre, daha büyük açık devre direnci sağlar. Buna karşı silisyumlu pillerin spektral cevabı daha azdır ve kızılötesi ışınlar kadar uzanmaz. Akkor ışık kaynağı kullanılması halinde, Germanyum uçlarındaki gerilim küçük olmasına rağmen daha büyük akım sağlar. Güneş ışınları içinse silisyum pil daha uygundur. [4]

Fotovoltaik teknolojileri, her biri ayrı kristal yapıya sahip atomlara göre sınıflandırabilmek mümkündür. Bube (1998) tarafından, bu kristallerin boyutlarına göre bir soyağacı tanımlanmıştır. Buna göre pil çeşitleri; [5]

- Silikon teknolojisinin baskın olduğu Tek Kristalli Silisyum Güneş Pilleri
- Çok kristalli yapıya sahip, oldukça büyük alanlar üzerine her birinin boyutları 1mm'den 10 cm 'ye değişen tek kristal silisyum hücrelerin konulmasıyla elde edilen Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri,
- Kalınlıkları 1 µm ile 1mm arasında birçok taneden oluşan İnce Film Güneş Pilleri

### 2.2.3.2.1 Tek Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Tek kristalli silisyum malzeme, güneş pili üretiminde yüksek verim için kullanılan malzemelerden biri olmakla birlikte; üretim maliyetinin yüksek olması bu alanda farklı seçenek olarak çok kristalli malzemenin geniş ölçekte kullanılmasına neden olmuştur. Silisyum elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde elde edilen büyük başarılar; bu malzemenin en popüler malzeme olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Saf tek kristal üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. Oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olan silisyumun en çok bulunan biçimi kum ve kuartzdır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir. Ancak, kuartzın %90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek %99 silika elde edilir. Ardından, silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir. Bunu izleyen aşamada ise silisyum saflaştırılarak yarı iletken niteliğinde “çok kristalli silisyum” elde edilir.

Bundan sonraki aşamaların her biri yoğun enerji gerektiren ve maliyeti yükselten işlemlerdir. [7]

### **2.2.3.2.2 Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri**

Çok kristalli silisyumlar, tek kristalli silisyumların küçük taneciklerinden oluşmaktadır. Çok kristalli silisyumlardan değişik yollarla direkt güneş pili levhaları yapılmaktadır. Tek kristalli silisyumların üretimine benzeyen bu piller eriyen çok kristalli silisyumların denetimli şekilde küp şeklindeki kalıplara dökülüp soğumasından sonra kare şeklinde kesilmesi ile oluşur. Çok kristalli fotovoltaik pillerin üretimi tek kristallilere göre daha kolay ve daha ucuzdur. Fakat çok kristalli silisyumların verimi daha düşüktür. Çok kristalli pillerin verimleri laboratuvar üretimlerinde %18, seri üretimlerde ise %13~14 oranındadır.

Her iki hücre pili için de yarı-iletken tabakanın kalınlığının arttırılması ile verimliliğin artacağı savunulmaktadır. [7]

### **2.2.3.2.3 İnce Film Güneş Pilleri**

İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin; cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeyler üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanması ile elde edilen hücrelerdir. [7]

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sırasında, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi, farklı bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılacak birçok yarı iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; amorfsilisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen birleşik yarı iletken kadmiyum tellür ve bakır,

indiyum, selenyum elementlerinin bir aralığı olan bakır indiyum-diselenid bileşik yarı iletkenidir. İnce film fotovoltaik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Ayrıca ince film malzeme istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum piller büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaik panel yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur. Bugün laboratuvar verimlilikleri %18'lere kadar çıkmış olan ince film güneş pillerinin uzun dönemde istenen düzeylere ulaşmamış olması, üretici firmaların kararlılıklarını etkilemektedir. Ancak, ulaşılan düzeyde bile ince film güneş pilleri için Siemens, BP Solar, Conan gibi firmalar pilot üretim denemelerini sürdürmektedirler. [7]

### **a) Amorf Silisyum Güneş Pilleri**

Amorf silisyum olarak bilinen güneş pilleri silisyumların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silisyum atomları yukarıda belirtilen kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmişlerdir. Amorf silisyum hücrelerini üretmek diğer kristal silisyumlara kıyasla oldukça ucuzdur. Ayrıca bir Amorf Silisyum, ışığı daha kolay içine çekmektedir. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silisyumlar için gerekenden daha düşük sıcaklıklardadır. Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde (saat pilleri, hesap mak. vb.) daha çok tercih edilmektedirler. Yeni gelişmelerle bu piller büyük ölçekli güç gerektiren uygulamalarda da yerini almaktadır.

Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf silisyum 1980'li yıllarda ince film fotovoltaik alanının en gözde malzemesi olmuş, 1982'de %10 verimlilik sınırı aşılmış ve 1987'de verimlilik %12,7'lere kadar çıkmıştır. Son yıllarda bu değer laboratuvarında %15 değerinin üzerine Japon-Amerikan ortaklığı olan Uni-solar tarafından çıkarılmıştır.

Amorf-Silisyum malzemesini kristalli-silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içindeki yapı taşlarının gelişigüzel dizilişi amorf silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, uygun yaklaşımlarla yarı iletken

içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak fotovoltaik çevrime uygun olan düzeyde tutulabilir. [7]

## **b) Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri**

Dönemsel tablonun ikinci grubunda bulunan Kadmiyum elementi ile altıncı grubunda bulunan Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan birleşik yarı iletkeni kadmiyum tellür (CdTe) 'ün, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı  $E_g=1,5\text{eV}$  değeri ile güneş spektrumundan en fazla dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır.

Kadmiyum Tellür modülleri basit ve ucuz galvanize işlemlerine yakın bir şekilde üretilmektedir. Amorf-Silisyumda meydana gelen başlangıç başarım düşüklükleri olmadan Kadmiyum Tellürün modül verimliliğinin %10'u aşması istenmektedir. Bu modüller Kadmiyum ve yüksek zehirli madde içerdiklerinden, üretimleri boyunca sıkı güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. BP şirketine bağlı BP Solar firması, 2002'de Kadmiyum Tellür üretimlerini durdurmuştur. Diğer Japon firma Matsushita da 2002'de Kadmiyum Tellür üretimini durdurmuştur. Fakat Amerika'da hala Kadmiyum Tellür üretimi mevcuttur. BP solar firması zehirli etkiyi ortadan kaldırmaya yönelik olarak pilot üretime başlamış olup, 10 MW/yıl üretim sığalı bir fabrikayı Fairfield California-ABD kurma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu gibi etkenlerin olmasına rağmen BP Solar, Solar Inc. ve Antek gibi çok uluslu şirketler büyük ölçekli üretimler için ciddi adımlar atmaya devam etmektedir. [7]

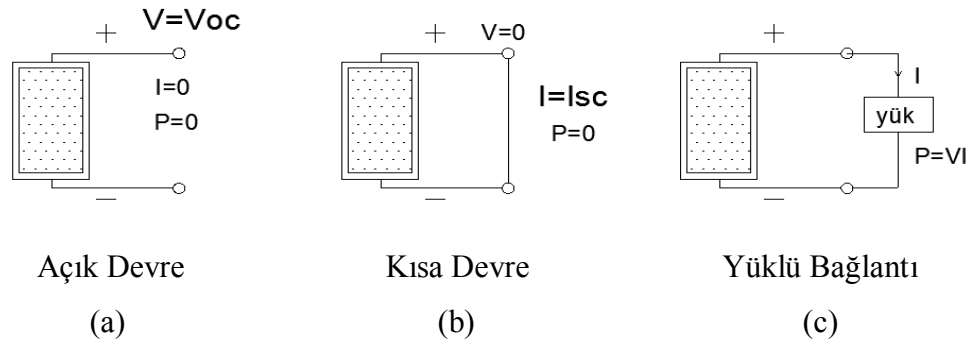
## **c) Bakır İndiyum-Diselenid Güneş Pilleri**

Dönemsel tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grupta yer alan elementlerinden üç ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşikte, yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır, İndiyum ve Selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. CdTe

güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir. Bugün CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu içerisinde Galyum elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı iletkeni oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alan pillerinin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900 cm<sup>2</sup> yüzey alana sahip panellerin verimlilikleri %15 dolayındadır. [7]

## 2.2.4 Güneş Panelleri

Fotovoltaik paneller, sistemi oluşturan en önemli parçalardır. Elektrik üretiminin sağlandığı paneller, pillerin birbirlerine bağlanmasıyla elde edilmektedir. Güneş panelleri ile ilgili üretici firmalar tarafından verilen bazı temel kavramlar Şekil 2.3 'te gösterilmektedir.



**Şekil 2.3 PV Panellerdeki Açık devre, Kısa devre ve Yüklü bağlantı**

Açık devre gerilimi (open circuit voltage,  $V_{oc}$ ): Diyotun uçları arasındaki direnç sonsuz iken (açık devre) ölçülen gerilim değerini ifade etmektedir.

Kısa devre akımı (short circuit current,  $I_{sc}$ ): Diyotun iki ucu arasındaki direnç sıfır iken (kısa devre) ölçülen akımdır. İdeal koşullarda bu değer, ışınlama ile yaratılan akım değerine eşittir.

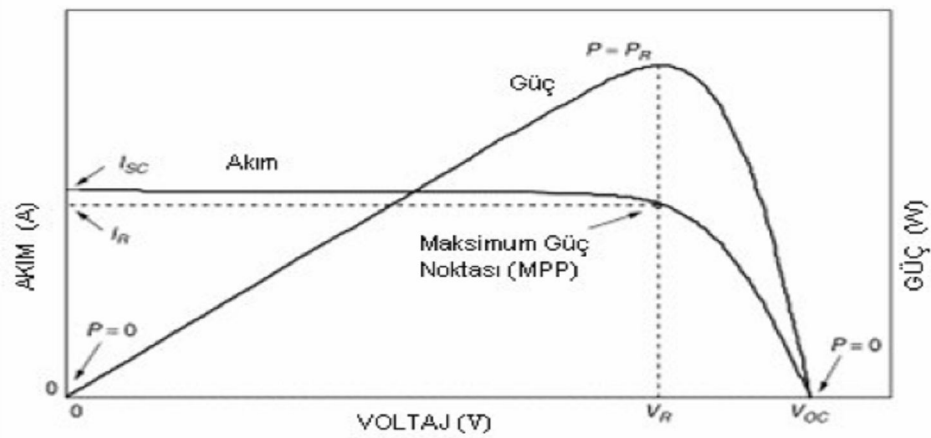
Bir güneş pilinin verimliliği,  $\eta$ , fotovoltaik diyotun üzerine düşen güneş ışınım gücünün, diyottan alınabilecek güce oranı olarak tanımlanır.

Hücre tipine göre panellerin üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri değişiklik göstermektedir. Paneller arasında verimlilik karşılaştırması yapılırken birim yüzeyde üretmiş oldukları akım ve gerilim değerleri göz önüne alınmaktadır. (Tablo 2.3) Bu değerler, Standart Test Koşulları (güneş pili  $25^{\circ}\text{C}$  de iken  $1000\text{W}/\text{m}^2$  güneş ışınımı) altında elde edilmektedir.

**Tablo 2.3 Bazı Hücre Çeşitlerinin Başarımlarının Karşılaştırılması**

Hücre Tipi	Alan ( $\text{cm}^2$ )	Voc (V)	Isc ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	Verim (%)
Kristal-Si	4,0	0,706	42,2	24,7
Çok Kristalli-Si	1,1	0,654	38,1	19,8
Amorf-Si	1,0	0,887	19,4	12,7
Cd-Te	1,1	0,848	25,9	16,4

PV panellerin üretmiş oldukları akım ve gerilim değerleri, panellerin üzerine düşen ışık şiddetine göre değişiklik göstermektedir. Şekil 2.4 'te panellere ait akım-gerilim ve güç arasındaki ilişkiyi gösteren karakteristik eğri verilmiştir. Buna göre panel üzerine güneş ışınımı gelmeye başladığı andan itibaren, pilin üretmiş olduğu gerilim değeri artmaktadır. Üretilen gerilim değerinin artmasına bağlı olarak sabit akım değeri ile güç değeri de yükselmektedir. Çıkış geriliminin en yüksek olduğu noktada pilin üretebileceği güç en yüksek değerdedir. Bu noktaya en fazla güç noktası denir.



**Şekil 2.4 Tipik bir güneş piline ait akım-gerilim-güç eğrisi**

Güneş pillerinin birbirlerine bağlanma şekillerine göre çıkış gerilim ve akımları değişiklik göstermektedir.

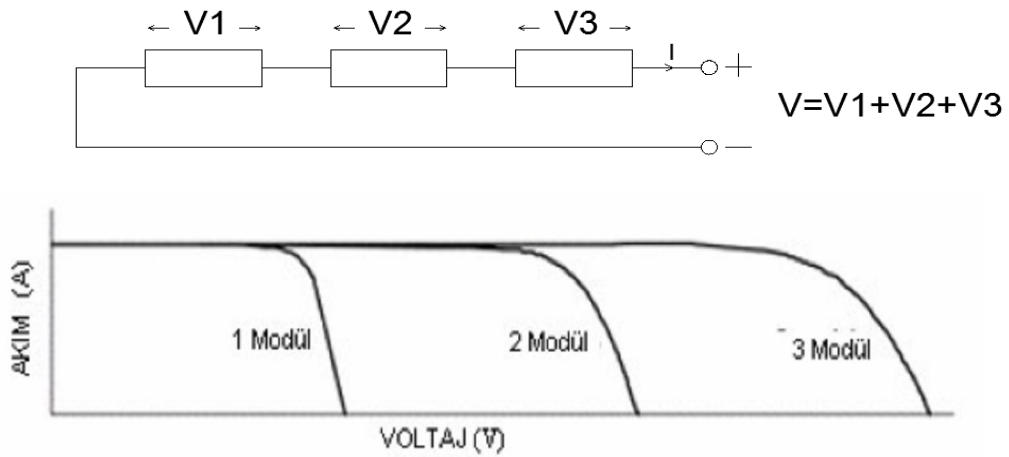
Seri bağlanmış panelin çıkış gerilimi (V),

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.1)$$

her modülün çıkışındaki gerilimlerin toplamına eşit olmaktadır. Hücrelerin birbirine seri bağlanmasıyla oluşan panel çıkış akımı (I), seri koldaki akımlar birbirine eşit olacağından,

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad (2.2)$$

eşit olmaktadır.



**Şekil 2.5 Seri bağlanmış hücrelerle oluşturulan panelin akım-gerilim karakteristiği**

Paralel bağlanmış panellerin çıkış gerilimi (V), paralel koldaki panel çıkış gerilimleri birbirine eşit olacağından

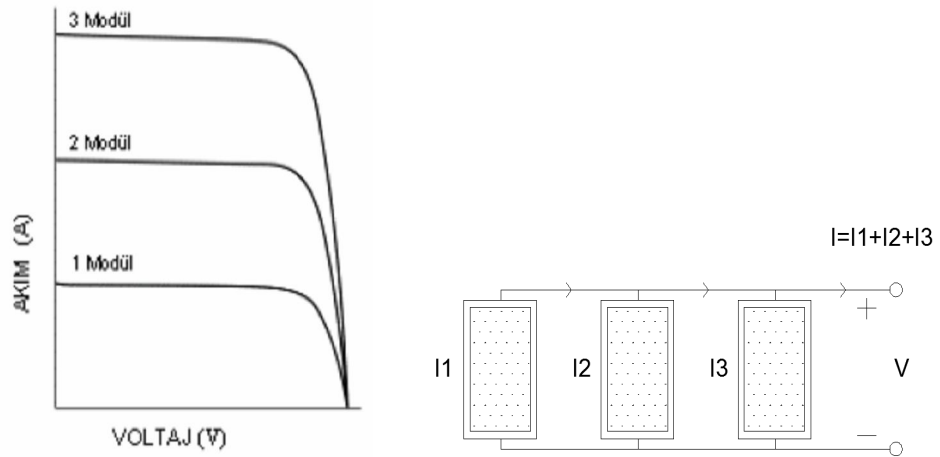
$$V = V_1 = V_2 = V_3 \quad (2.3)$$

eşit olmaktadır.

Panellerin birbirine paralel bağlanmasıyla çıkış akımı (I), paralel koldaki akımların toplamına,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.4)$$

eşit olmaktadır. [5]

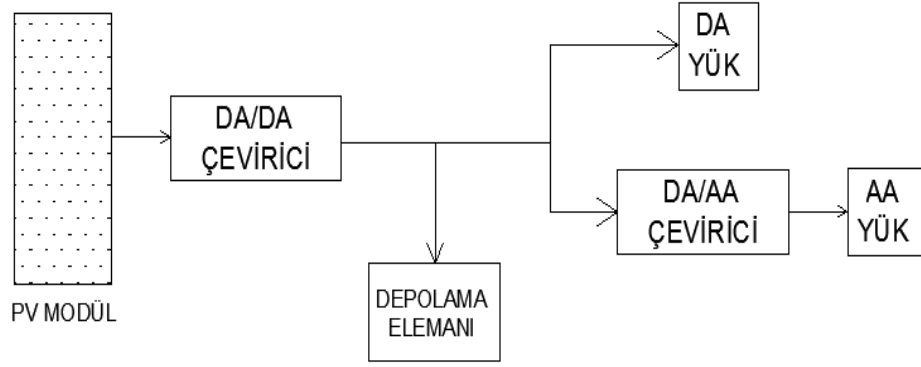


Şekil 2.6 Paralel bağlanan hücrelerle oluşturulan panelin I-V karakteristik eğrisi

## 2.3 Fotovoltaik Sistem Türleri

### 2.3.1 Bağımsız PV sistemler

Bağımsız PV sistemler, şebeke bağlantısı kurulmasının zor olduğu yerlerde çalışmak üzere oluşturulmuş sistemlerdir. Bu sistemlerde üretilen elektrik enerjisi anında kullanılır ya da güneşin yetersiz olduğu durumlarda kullanılmak üzere herhangi bir depolama elemanında saklanır. Bu yüzden şebeke bağlantılı sistemlere kıyasla daha pahalıdır. Bağımsız PV sistemler genellikle kırsal kesim elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır. [5]

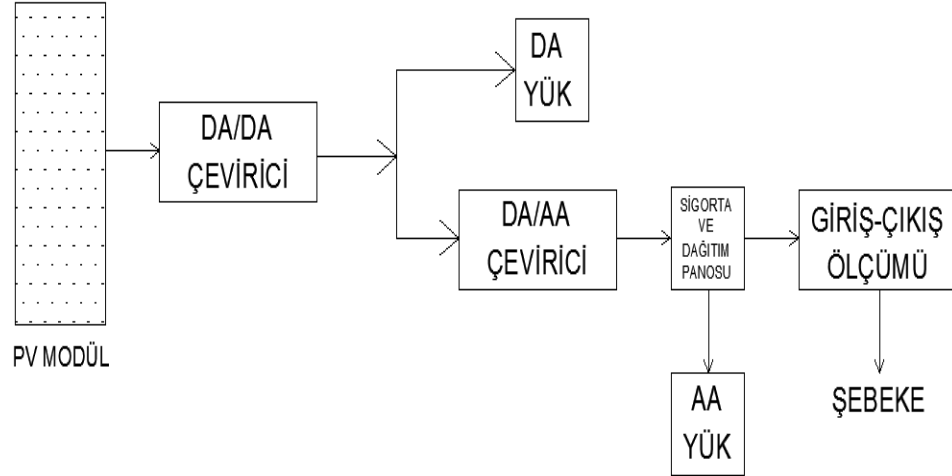


**Şekil 2.7 Bağımsız fotovoltaik sistem örneği**

Şekil 2.7 'de bağımsız fotovoltaik sistem örneği görülmektedir. Burada üretilen elektrik şebekeye verilmemektedir.

### 2.3.2 Şebeke Bağlantılı PV Sistemler

Elektrik şebekesine bağlı sistemler; evlere ait sistemler ve ticari/endüstriyel sistemler olarak ikiye ayrılır. Evlerde kullanılan fotovoltaik sistemler, 2-5 kW güç aralığındadır. Güneş panelleri, sistemi elektrik şebekesi ile eşzamanlı yapan bir DC/AC eviriciye bağlanır. Gündüz üretim olduğunda, eviriciden gelen güç yükleri beslemekte, fazla enerji ise şebekeye verilmektedir. Araya yerleştirilen bir ölçüm aleti de şebekeye verilen veya şebekeden alınan enerjiyi ölçmektedir. Eğer şebeke elektriğinin kalitesi düşerse veya kesilirse evirici emniyet için kendini kapatmalıdır. Şebeke bağlantılı sistemler yaygın olarak depolama elemansız düşünülmekte, sadece gündüz güneş enerjisinin olduğu sürede kullanılmaktadır. Şebeke bağlantılı sistem örneği şekil 2.8 'de görülmektedir.



**Şekil 2.8 Şebeke bağlantılı sistem örneği**

Şebeke bağlantılı sistemlerin kullanıldığı bir başka alan Ticari-Endüstriyel sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu fotovoltaik sistemler 10-100 kW güç aralığında çalışmaktadır. PV panellerin çıkışı yüksek başarıma sahip 3 fazlı eviriciye bağlanmakta ve evirici şebeke ile eşzamanlı çalışmaktadır [5].

### 3 ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Enerjinin gerektiği zaman gerektiği yerde, kullanılmaya hazır olması istenir. Enerjiyi istediğimiz bir yere taşımaya dağıtım, istediğimiz zaman kullanabilmeye ise depolama denir. Günümüzde kullandığımız elektrik enerjisi elektriksel olarak depolanamaz ama başka bir enerji şekline dönüştürülüp o şekilde saklanabilir. Bunlardan elektrokimyasal olarak depolanan enerji Akümülatörlerde ve Yakıt pillerinde, kinetik olarak depolanan enerji Volanlarda ve yük olarak depolanan enerji ise Ultrakapasitörlerde depolanır. Bu depolama birimleri ışınımın yeterli olduğu zamanlarda doldurulurlar ve belli süreli ihtiyaçlar için kullanılırlar. Sistemin enerji depolama tekniğinin seçimini iki etken belirler. Bunlardan biri depolanacak enerji miktarı, diğeri ise enerjinin depolanmasındaki hızdır. [8]

Bir depolama sisteminde,

- Büyük depolama sığası
- Yüksek dolma/boşalma verimi
- Kendiliğinden boşalma ve sığa kayıplarının azlığı
- Uzun ömür
- Ucuzluk
- Enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilme

özellikleri aranır. [9]

#### 3.1 Akümülatörler

Doğru akım elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden ve istenildiği zaman kimyasal enerjiyi tekrar doğru akım elektrik enerjisine çevirerek veren cihazlara akü denir. Aküleri seri veya paralel bağlayarak çok daha farklı gerilimlerde (volt) ve sığalarda (Ah) akü grupları oluşturmak mümkündür. Her iki bağlantı şeklinde de enerji depolama (Wh) miktarı artmaktadır. Bununla beraber gelişen yeni uygulama çeşitlilikleri ile güncel ihtiyaç ve talepler doğrultusunda akülerde de

birtakım iyileştirme, geliştirme ve yenilikler olmaktadır. Aküler ile ilgili başlıca hedefler iki ana başlıkta toplanabilir:

- Daha sağlam, daha bakımsız, daha uzun ömürlü ve daha fazla tekrar dolma / boşalma olanağı
- Daha küçük boyutlardaki hafif aküler ile çok daha yüksek başarımlar sağlamak

Temel olarak kurşun asit aküler; SLI (otomotiv uygulamaları), Traksiyoner ve Sabit tip olmak üzere üç ana kullanım sahasına bölünmüştür. Fotovoltaik uygulamaların büyük çoğunluğunda derin boşalmaya uygun olarak tasarlanmış olan Sabit tip kurşun asit aküler kullanılır.

### 3.1.1 Sabit Tip Aküler

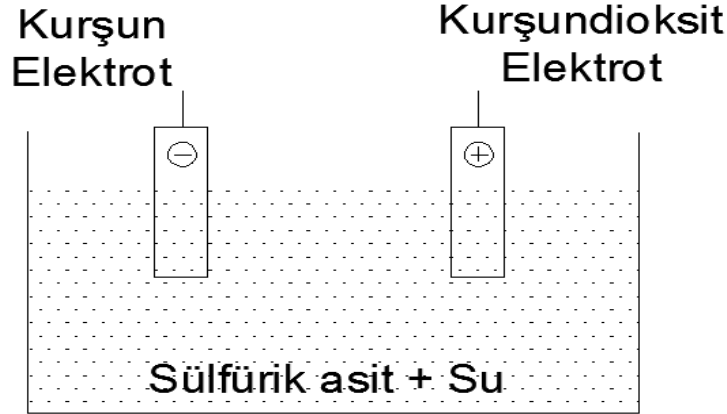
Durağan yerlerde kullanılan aküler, Sabit tip olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisi uygulamalarında tercih edilen aküler sabit konumda ve marş özelliğine ihtiyaç duymayan akülerdir. Geneldeki ihtiyaç, önceden hesaplanmış bir akımın hemen hemen aynı seviyede uzun ve belirli bir süre sağlanabilmesidir. Üreticilerin beyan ettikleri boşalma tabloları bu konuda kaynak oluşturmaktadır.

Sabit tesis akümülatörleri kendi aralarında alt gruplara ayırmak istersek;

- a) OPzS (TUBULAR)
- b) VRLA (AGM)
- c) VRLA (JEL)

**a) OPzS (TUBULAR) tip aküler bakımından ülkemiz zengindir.** Akümülatörlü sistem tüm yıl kullanılacaksa ve bu akülerin 15-20 yıl dayanması gerekiyorsa OPzS akümülatörler en uygun seçenektir. Bu tip akülerin maliyetleri diğer akülere oranla 2-3 misli daha yüksek olmasına rağmen bu tip akülere yapılan yatırımın karşılığı rahatlıkla alınabilmektedir. OPzS tip aküler sulu akülerdir. Bunlarla, küçük bir alanda büyük güç kaynağı elde etme imkânı bulunur. OPzS akülerin devre dayanıklılığı diğer akülerden daha yüksektir ve çok ağırdırlar. Ağır olduklarından dolayı sabit kurulmaları ve kuruldukları yerin (tabanın) bunları taşıyabilecek güçte olması gerekir. Bu tip akülerin kurulduğu yerin taşıma gücünü yükseltmek içinse genellikle tabana metal levha konulur.

Sulu akümülatörlerde elektrolit olarak sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve su ( $H_2O$ ) karışımı kullanılır. Pozitif kutup olarak kurşun dioksit ( $PbO_2$ ) ve negatif kutup olarak saf kurşun ( $Pb$ ) kullanılır.



**Şekil 3.1 Sulu akümülatör iç yapısı**

Tüketici aküye bağlandığı zaman negatif kutuptan pozitif kutba doğru bir elektrik akımı oluşur ve akü içinde de kimyasal reaksiyon meydana gelir, sülfürik asit sulanır ve elektrotların yüzeyinde kurşun sülfür oluşur. Akünün boşalması ne kadar yavaş olursa elektrotlardaki kurşun sülfür reaksiyonu da o kadar derinde olur.

Sulu akülerin sülfürleşmelerini düşük tutmak için akülerin hiçbir zaman tamamen boşalmamaları gerekir çünkü tamamen boşalan akünün yeniden dolması mümkün değildir. Akıllı ve kaliteli aküler tam boşalma korumalıdır ve genelde aküler dolma regülatörüne bağlı oldukları zaman ve regülatör doğru ayarlanmış ise, boşalma tehlikesi sorun değildir çünkü dolma regülatörleri akü gerilimi belli bir Volt 'un altına düştüğü an aküyü sistem dışı bırakmaktadır.

Akü dolduğu zamansa kimyevi reaksiyonun geri dönüşümü başlar ve elektrolitin asit yoğunluğu yükselir ama maalesef hiçbir zaman %100 eski haline dönüşmez ve elektrotlarda sülfürik kalıntıları kalır, elektrotlar yavaş yavaş sülfürleşir ve sızgıları düşer. Sulu aküler düzenli bakıma gereksinim duyarlar; [10]

- Yaklaşık 6 ayda bir suyu ve bağlantıları denetlenmelidir.
- Akünün içinde bulunduğu ortam iyi havalandırılmalıdır. Çünkü aküler dolarken ısınarak hidrojen gazı üretirler ve bu gaz patlayıcıdır.

- Aküler Sülfirik asit içerirler ve bu asit oldukça tehlikelidir; insan derisini rahatlıkla delebilir.

b) VRLA aküler ismini, üzerlerine monte edilmiş, dolma ve boşalma sırasında gazların yüksek oranda tekrardan akü içerisinde birleşmesini sağlayan, valf sisteminden almıştır. Bu aküler sulu tip akülerin gaz çıkışının %1'i kadar gaz çıkışına izin verirler. Bu sayede akülerin muhafaza edildiği yerde havalandırma ihtiyacı en aza indirilir. Her iki akü tipi de tam bakımsız olup derin boşalma özelliği ile yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanılabilir. Fotovoltaik sistemlerdeki kullanım şekline göre VRLA JEL ve VRLA AGM akülerin birbirlerine karşı faydaları ve mahsurları vardır.

VRLA AGM akülerin içyapısı sulu akülerden farklıdır. Akü içerisindeki sıvı elektrolit, ayraç görevi de gören yüksek gözenekli cam elyafına emdirilmiştir. Akü plakaları ve bu ayraçlar özel yöntemle en az alan kaplayacak şekilde akü hücrelerine yerleştirilmiştir. Bu da AGM akünün birim hacminin sulu akülerden daha az yer kaplamasını sağlar. AGM akülerin en büyük faydası sulu akü dolma yöntemlerine uygun şekilde doldurulabilir olmasıdır. Ayrıca kısa sürede yüksek akım gerektiren yük profillerine sahip sistemlerde başarımları çok yüksektir. Derin boşalmaya ve yüksek çevrim sayısına sahip olması sebebiyle fotovoltaik uygulamalarda tercih edilmektedir.

VRLA JEL akülerin yapısında ise elektrolit olarak sıvı asit yerine jel kıvamına getirilmiş asit yer almaktadır. Özel bir üretim süreci ile akünün içerisine bu jel elektrolit doldurulur. Akü içerisine plakaların yerleşimi VRLA AGM akülere benzer şekilde en az alan kaplayacak şekilde yapılır. VRLA JEL, sulu akülere göre VRLA AGM'in sahip olduğu tüm üstünlüklere sahiptir. Yalnız, doldurma yöntemi sulu ve AGM aküye göre farklıdır. Jel yapısı çok yüksek gaz çıkışlarına sebep olan hızlı dolma ya da yüksek akımla dolma sırasında bozulabilir. Bunun önüne geçmek için bu akülerin bulunduğu sistemlerin yük profilleri daha uzun dolma ve boşalma şeklinde planlanmalıdır. JEL akülerin AGM akülerden en büyük faydası sıcaklığın ömre olumsuz etkisinin daha az olmasıdır. Bu durum özellikle sıcak bölgelerde ve iklimik olmayan ortamlarda yer alan sistemlerde VRLA JEL akünün kullanılmasını kaçınılmaz kılar. Ayrıca, VRLA JEL akülerin fotovoltaik sistemlerin doğası gereği

maruz kaldığı kısmi dolma ve boşalmadan kaynaklanan plaka sülfatlaşmasına VRLA AGM akülere göre daha yüksek dayanıklılığı vardır. Bu sayede çevrim ömrü VRLA AGM 'den daha yüksektir.

Solar akümülatörler düşük akım için tasarlanmışlardır ve levhaları kalın, levha sayıları az ve devre dayanıklılıkları yüksektir. [11]

### **3.1.2 Nikel Kadmiyum Aküler**

Nikel kadmiyum piller bilinen en eski sekonder (doldurulabilir) pillerdir. NiCd pilin dış kabı çeliktir. Silindirik biçimde olanları içerisinde bir bobin şeklinde sarılmış artı ve eksi yüklü çelik bantlar elektrot görevini yaparlar. Bu bantların üstü çok delikli ve pozitif elektrot üzerine nikel tozu ve negatif elektroda kadmiyum hidroksit maddesi tatbik edilerek, çok gözenekli ve geniş etkin yüzeyler elde edilir. Pozitif ve negatif elektrotlar arasında kısa devreyi önleyen, ancak iyon geçişine her iki yönde müsaade eden elyaf esaslı ayırıcılar bulunur. Elektrolit malzemesi olarak genellikle potasyum hidroksit çözeltisi kullanılır. Pil bünyesinde kullanılan her türlü çelik bağlantı malzemeleri nikel kaplıdır ve bu suretle hem korozyon (aşınma) önlenir hem de iletkenlik arttırılır.

NiCd pillerin en büyük faydası; enerji yoğunluklarının düşük ve başlangıç maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, yüzlerce kez doldurulabildikleri için uzun vadede çok ekonomik olmalarıdır. NiCd pillerin olumsuz yönü ise, zehirli kadmiyum maddesini içermeleridir. Bu nedenle 1990 yılından itibaren kadmiyum maddesi yerine hidrojenin bir alaşımı kullanılarak nikel metal hidrit piller geliştirilmiştir. [12]

### **3.1.3 Nikel Metal Hidrit Aküler**

Silindirik NiMh piller, yapı olarak NiCd piller ile hemen hemen aynıdır. Negatif elektrot olarak kadmiyum yerine hidrit alaşımından elektrot kullanılmıştır. Silindirik ve düğme tiplerine ilaveten cep telefonları, bilgisayarlar ve taşınabilir ses ve görüntü cihazları için yassı biçimleri de bulunmaktadır. En büyük mahsurları diğer pillere nazaran daha pahalı olmaları ve düşük sıcaklıklarda verimlerinin

azalmasıdır. Aynı durum aşırı dolma ve boşalma akımlarının uygulanmasında da görülür. Örneğin NiMh pillerin, nominal sığalarına eşit bir akımla uzun süreli doldurulmaları, akıntı ve deformasyona sebep olur. NiCd pillere oranla daha yüksek enerji yoğunluklarına ulaşarak başarımlarını 2-3 kat arttırmaları ve daha çevre dostu olmaları kullanım alanlarını genişletmiştir.

### 3.1.4 Lityum İyon Aküler

Lityum metali en hafif metal olma özelliğine karşın, çok yüksek bir elektrokimyasal potansiyeline sahip olmasından dolayı tek başına doldurulabilir pil sistemlerinde kullanılamaz. Doldurulabilir pillerde lityum metali yerine lityumun iyon durumunda yer aldığı kimyasallar kullanılmaktadır. Lityum İyon pillerde önceleri negatif elektrot olarak karbon esaslı kok kullanılmış, daha sonraları grafit kullanılarak enerji miktarı artırılmıştır. Pozitif elektrot olarak ise kobalt veya daha çevreci manganez kullanılmaktadır. NiCd ve NiMh pillere nazaran daha çevreci olan Liİ pillerin üretim maliyetleri daha yüksektir. Liİ pillerde, gerilim ve sıcaklık artışları, ısı algılayıcıları ve devre kesicileri şeklindeki harici koruma düzenekleri yardımıyla sürekli denetim altında tutulur. Bu da pilin maliyetini arttıran en önemli etkenlerden biridir. [12]

Akümülatörleri Kurşun asit, NiCd, NİMİH, ve Liİ olmak üzere dört ana sınıfta genel hatlarıyla karşılaştıracak olursak Tablo 3.1 'i elde ederiz.

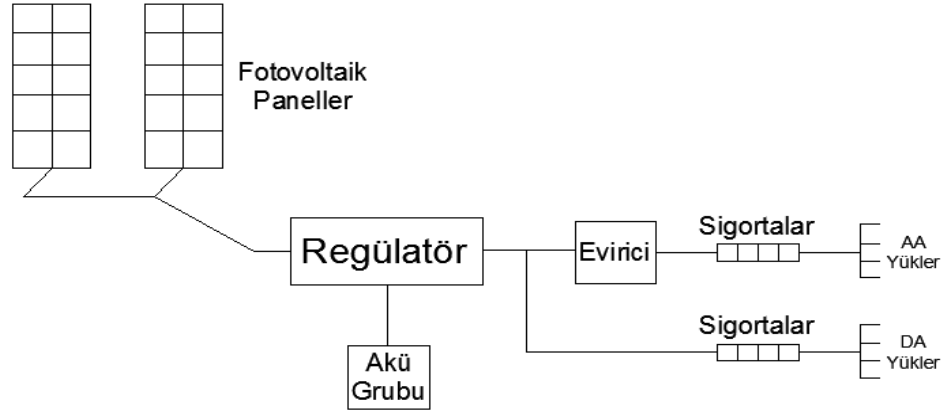
Tablo3.1 Akü Türlerinin Kıyaslanması [13]

Özellik	Akümülatör Tipi			
	Kurşun Asit	NiCd	Ni MH	LiI
Enerji yoğunluğu / (hacim)	-	-	+	++
Enerji yoğunluğu / (ağırlık)	--	-	+	++
Tekrar kullanılabilme performansı	-	++	++	++
Kendi kendine deşarj	+	+	+	++
Hızlı şarj edilebilme	-	++	+	+
Yüksek akım ile deşarj edilebilme	-	++	+	+
Güvenilirlik	++	+	+	_*
Fiyat	++	+	-	--
Gerilim uyumluluğu	-	++	++	--
Deşarjda gerilim tutarlılığı	-	++	+	+

++ Mükemmel, + İyi, - Uygulamaların çoğu için yeterli, -- Mahsurlu, \*\_Kontrol devresi gerekli

PV/Akü sistemlerinde, artan enerji akümülatörlerde depolanır. Gündüz güneşin yeterli olduğu saatlerde, PV tarafından üretilen enerji yükü beslerken fazlalık enerji ile de aküleri doldurmakta; talep edilen enerji üretilen enerjiden fazla olduğundaysa

(gündüz bulutlu saatlerde.) yük, hem PV paneller hem de aküler tarafından beslenmektedir. Güneşin batmasıyla birlikte yük için gerekli enerji sadece akülerde depolanan enerjiden temin edilir. Dolma denetleyici olarak adlandırılan cihaz, akülerin düzgün bir biçimde doldurulmalarını sağlayarak aşırı yüklenmelerini veya tamamen boşalmalarını engeller; akülerin kullanım ömürlerinin uzamasına yardımcı olur.



Şekil 3.2 PV-Akü sistem şeması

### 3.2 Yakıt Pilleri (Fuel Cells)

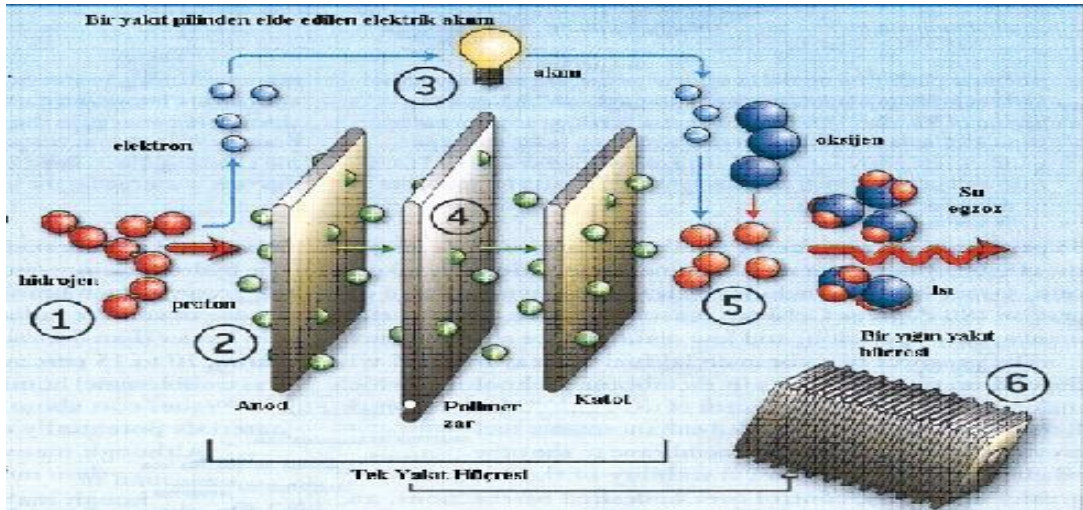
Yakıt pilleri; temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip enerji dönüşüm teknolojileridir. Yakıtın kimyasal enerjisini elektrolit sistemde devamlı olarak elektrik enerjisine çevirmektedirler. Bu kimyasal süreçte yanma evresi yoktur. Atık olarak su ve ısı elde edilmesi, özellikle en az seviyedeki emisyonları, sessiz çalışmaları, yüksek verimleri, sürekli bakım gerektirmemeleri, hareketli parçalarının az olması, çevreci ve güvenli olmaları yakıt pillerine olan ilgiyi arttırmıştır.

Yakıt pilleri, kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırıldıklarında genel olarak 6 temel yakıt pili çeşidi vardır. Bunlar; alkalın yakıt pili (AFC), proton değişim zarlı yakıt pili (PEMFC), fosforik asit yakıt pili (PAFC), erimiş karbonat yakıt pili (MCFC), katı oksit yakıt pili (SOFC) ve doğrudan metanol kullanan yakıt pili (DMFC) 'dir. Tablo 3.1 'de farklı yakıt pili türlerine ait bazı karakteristik değerler verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı yakıt pillerinin karşılaştırılması ve çalışma karakteristikleri

Yakıt Pili Tipi	AFC	PEMFC	DMFC	SOFC	PAFC	MCFC
Çalışma sıcaklığı (°C)	660-250	80-100	50-90	750-1000	160-250	≈650
Elektrolit	Sıvı	Katı	Katı	Katı	Sıvı	Sıvı
Verim (%)	50-70	35-60	35-40	45-60	35-50	40-55
Uygulamalar	Ulaşım, Uzay, Askeri enerji depolama sistemleri, Portatif güç sistemleri, Dağıtılmış sabit sistemler			Kombine ısı ve güç için; Dağıtılmış sabit sistemler, Ulaşım		

Geliştirilmekte olan farklı yakıt pili tiplerine rağmen, PEM yakıt pilleri, otomobiller, evsel uygulamalar ve daha küçük uygulamalar için oldukça uygundur. [14] Şekil 3.3 'te bir PEM yakıt pilinin nasıl elektrik akımı ürettiği, yakıt pilinde meydana gelen fiziksel olaylara bağlı olarak gösterilmiştir.



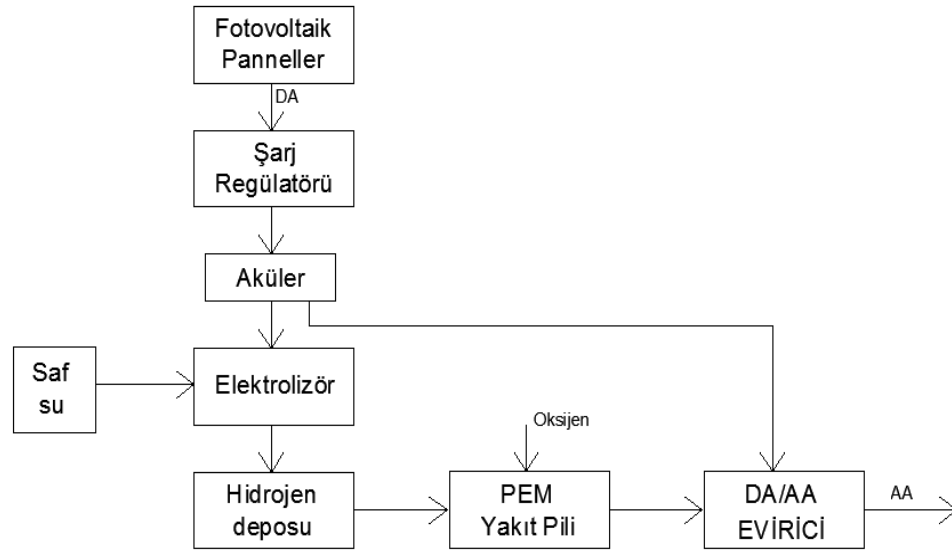
Şekil 3.3 PEM Tipi yakıt pili iç yapısı

Proton değişim zarı içeren yakıt pilleri (PEMFC) gözenekli iki elektrot (anot ve katot) ve bir polimer zardan oluşur. Polimer zar anot ve katodun arasında yer alır. Anot ve katot yüzeyleri platin bazlı bir malzeme ile kaplanır. Şeklin 1 numara ile gösterilen aşamasında hidrojen yakıt piline enjekte edilir. Hücreye giren hidrojen

atomları anot üzerindeki katalizör tarafından elektronlarından soyulur. Serbest kalan elektronlar pilin dış devresinde akım oluşturur. Aletleri çalıştıran bu akımdır. Ancak akımın sürdürülebilmesi için kimyasal işlemin pilin iç devresinde de tamamlanması gerekir. Elektronlarını kaybetmiş hidrojen atomları yani protonlar katoda doğru hareket ederler. Katodun gözeneklerinden dışarı çıkan protonlar dış akım elektronlarını yakalayıp tekrar hidrojen atomuna dönüşürler. Hücre içinde bu duruma gelen hidrojen atomları oksijen ile birleşerek bildiğimiz suya dönüşür. Sonuç olarak hücre akım üretirken çevreye zarar vermeyen suyu egzoz olarak dışarı atar. Böylece pilin iç devre akımı tamamlanmış olur.

Yakıt pilleri çok çeşitli amaçlar için kullanılabilen düzeneklerdir. Yakın bir gelecekte mobil telefonlar, bilgisayarlar, televizyonlar ve benzeri tüm aletlerin yakıt pilleri ile çalışabileceği düşünülmektedir.

Bir konutun elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla fotovoltaik piller, aküler ve yakıt pillerinden oluşan hibrit bir sistem tasarımı şekil 3.4 'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.4 PV-Yakıt pili sistem şeması**

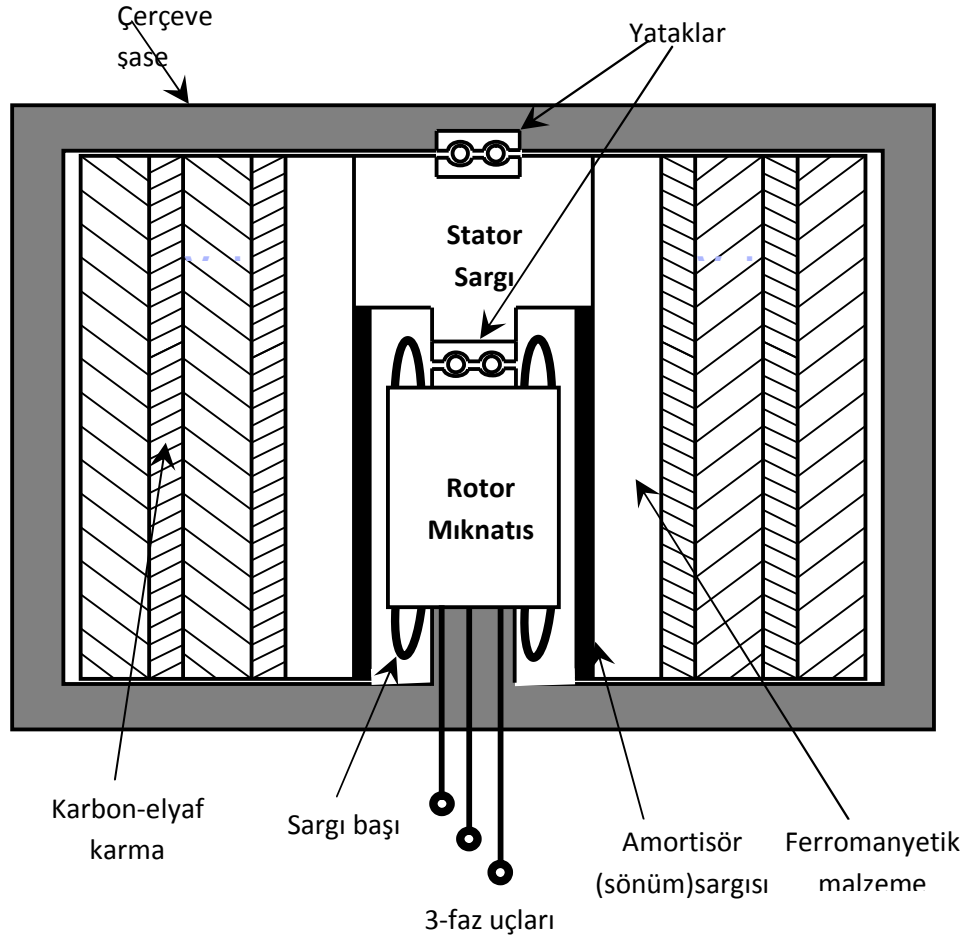
Fotovoltaik paneller ile elde edilen DC gerilim dolma regülatörleri aracılığıyla akülerde depo edilmekte ve bir kısmı yakıt pilinin kullanacağı hidrojenin üretildiği elektrolizör ünitesinde kullanılmaktadır. Elektroliz işlemi sonucunda açığa çıkan hidrojen gazı, hidrojen depolarında biriktirilmektedir. Yakıt pilinden elde edilen DC

gerilim bir evirici ile AC 'ye çevrilerek, konutun elektrik ihtiyacı sağlanmaktadır. Elektroliz sudan hidrojen ve oksijeni açığa çıkaran bir reaksiyondur. Bu reaksiyon için gereken elektrik enerjisi yenilenebilir bir kaynaktan elde edilebilir. PV panellerden üretilen DC elektrik yardımıyla hidrojen üretmek için, PEM tipi bir elektrolizör kullanılmıştır. Elektroliz ile elde edilen hidrojen, metal hidrit hidrojen tanklarında depo edilmektedir. Katı faz hidrojen depolaması en modern depolama tekniği olarak kabul edilebilir. Bu teknik hidrojenin güvenli kullanımını sağladığından oldukça faydalı bir tekniktir. Yakıt pilleri hidrojen tanklarında depolanan hidrojenle elektrik üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Basit olmaları, kompakt bir yapıya sahip olmaları ve bakımlarının kolay olması nedeniyle PEM tipi yakıt pilleri seçilmiştir.

Teknik olarak birçok faydaya sahip hidrojenle çalışan yakıt pillerinin konutlarda ve elektrikli ev cihazlarında kullanılmasının önündeki en önemli problem olarak maliyetleri görülmektedir. İhtiyacın artması buna bağlı olarak seri üretim yapılması ve teknolojiye oluşacak gelişmelerle maliyet probleminin aşılması mümkündür. Portatif ev cihazlarında kullanım için yakıt pillerinin mevcut ürünlerle boy ölçüşebilir ağırlık ve boyut seviyelerine gelmeleri gerekmektedir. Bu ürünlerin müşteri açısından cazip olabilmesi için en önemli kısıt ise yakıtın kolay ulaşılabilir ve güvenli bir hale getirilmesidir. [14]

### **3.3 Volanlar (Flywheels)**

Volan, dönen kütle üzerine temellenen bir elektromekanik enerji depolama sistemidir ve dönen kütle sayesinde kinetik enerjiyi depo etmektedir. Volanların büyük ve ağır olmalarından dolayı özgül enerji yoğunlukları düşüktür. Buna rağmen enerji depolama verimleri, güç yoğunlukları ve çevrim ömürleri çok yüksektir. %90' dan fazla verimlilikleri vardır ve kuramsal olarak özgül güçleri 5-10kW/kg mertebesindedir. Volan enerji yoğunluğu dönme hızı ile ilişkilidir; bu sebeple volan için yüksek dönme hızına sahip yataklar ve çok mukavemetli malzeme gerektiğinden volanların maliyetleri yüksek olmaktadır. Volanlarda enerji yoğunluğunu arttırmak için karbon fiber gibi kompozit malzemelerden üretim yapılmaktadır ve bir araştırma ile bunların amortisman (yıpranma) sürelerinin min. 17–30 yıl olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3.5 Volan motor/jeneratör kesiti

Volanlarda depolanan enerji;

$$E = \frac{1}{2} * I * \omega^2 \quad (3.1)$$

$$I = \frac{r^2 * m * h}{2} \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile bulunur. Depolanmış enerji, (3.1) eşitliğinde gösterildiği gibi rotorun eylemsizlik momentine ve volanın dönme hızının karesine bağlıdır. Eylemsizlik momenti ise (3.2) eşitliğinde gösterildiği gibi yarıçap, kütle ve rotor uzunluğuna bağlıdır. Yani depolanan enerji, volan sistem tasarımının yapısına bağlı olarak

değişir. Volanın dönme hızından dolayı depolama sığası, kullanılan materyallerin dayanıklılıkları ile denetlenen en fazla açısal hız tarafından sınırlanmaktadır.

Volanın enerji depolama sığası, ya volanın eylemsizlik momentini arttırarak ya da onu yüksek dönme hızlarında çevirerek veya da her ikisini birden yaparak geliştirilebilir. Eylemsizlik momenti artışı amaçlı, büyük yarıçaplı ve ağır kütleli bir volan tasarlanabilir. Bu durum için dönme hızı hemen hemen 10 000 rpm'in üzerinde alınabilir. Bu tip volanlar için güç çevirme ara yüzü olarak oldukça standart bir motor ve güç elektroniği sürücüsü kullanılabilir. Bu tip tasarımı kullanan birçok volan ticari olarak bulunabilir (örneğin UPS 'lerdeki).

Volanda depolanmış en fazla enerji (birim kütle başına)  $E_{mx}$ ,

$$E_{mx} = \frac{1}{2}(\sigma_{mx} / \rho) \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Volan malzemesinin en fazla çekme dayanımı  $\sigma_{mx}$ , volan malzeme yoğunluğu ise  $\rho$  ile gösterilmektedir. Malzeme özellikleri bazında  $E_{mx}$  'ın bağımlılığına bakacak olursak, çekme dayanımı yüksek olan düşük yoğunluklu malzemeler tercih edilmelidir.

**Tablo 3.3 Ticari liflerin fiziksel parametreleri**

ELYAF (LİF)	$\sigma_{mx}$ (Gpa)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{mx}$ (W-h/kg)
e- cam	3.5	2540	190
s-cam	4.8	2520	265
kevlar	3.8	1450	370
spectra	3.0	970	430
grafit	7.0	1780	545
grafit (geliştirilen)	10.0	-	780
Yüksek dayanımlı çelik	2.7	8000	47

İkinci bir tasarım olarak da volanlar çok yüksek hızlarda (>100 000 rpm) hafif bir kütle yapısı ile oluşturulabilirler. Fakat bu durumda da dönmeden dolayı sürtünme ve mil yatağı kayıpları uzun süreli enerji depolama konusunda sıkıntı olarak gündeme gelir. Bunu engellemek için volanlar, hava direncini yok etmek amacıyla boşluk kanallarında çalıştırılırlar. Magnetik mil yataklarının kullanımı, mil yatak kayıplarıyla ilgili problemleri iyileştirmeye yardımcı olur. Dönme kayıplarının yok edilmesi volanlara yüksek dolma/boşalma verimi sağlayacaktır. [15]

Volan enerji depolama sistemlerinin çeşitli yataklama tipleri mevcuttur.

Bunlar;

- Bilyalı Yataklar (Çok özel üretimlerde 22.000 d/d, kısa ömür, gürültü)
- Kaymalı Yataklar
- Manyetik Yataklar (100.000 d/d, uzun ömür, temassız, etkin denetim, karmaşık denetim sistemi)
- Süper İletken Yataklar (Çok düşük kayıp, çok yüksek dönme hızları)

şeklinde sınıflandırılabilirler.

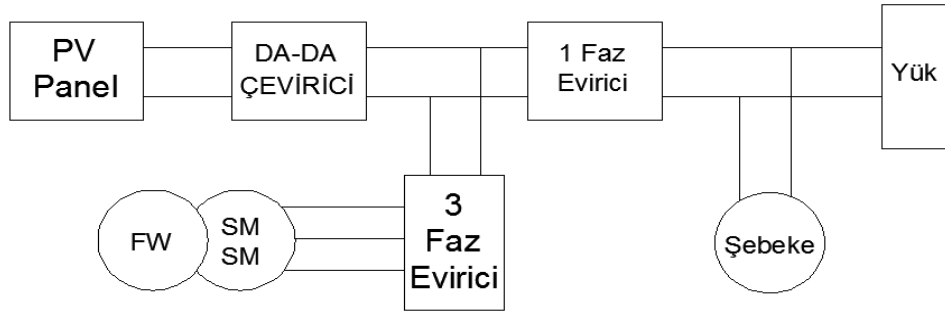
Volanların en büyük faydalarının başında yüksek güç yoğunlukları, depolama verimlerinin yüksek olması ve dolma sürelerinin çok kısa olması gelmektedir. Bunlara ek olarak,

- Çevre dostu olmaları (özellikle yok edilmeleri sırasında)
- 20 yılın üzerinde ömür uzunluğuna sahip olmaları
- Sıcaklık değişimlerinden bağımsız çalışabilmeleri

sayılabilir. [16]

PV/FW sistemlerinde güneşten elde edilen DC elektrik bir çeviriciden geçirildikten sonra DC yüklerle direk AC yüklerle ise evirici ile aktarılmaktadır. Çeviriciden geçen elektrik aynı zamanda da bir depolama sistemine bağlıdır. Çift yönlü bir DC sürücünden geçen elektrik DC bir motor/jeneratörü çalıştırarak sisteme

bağlı kütlelerin dönmesini sağlar. Güneş enerjisi yük için yeterli olduğu müddetçe artan enerji ile sürücü beslenerek motor çalıştırılır ve kütle dönmeye başlar. Bu kütle belli bir hıza ulaştığı anda üzerinde oluşan eylemsizlik momenti sayesinde bir kinetik enerji depolar. Ve bu enerji güneş enerjisinin yetersiz kaldığı zamanlarda kullanılır. Dönen kütle sayesinde motor jeneratör olarak çalıştırılır ve hat sürücü devresi ile ters yönlü olarak beslenir ve yük için gerekli olan enerji karşılanmış olur.



Şekil 3.6 PV-Volan sistem şeması

### 3.4 Ultrakapasitörler

Sığaçlar, yalıtkan bir yalıtkan tarafından ayrılmış pozitif ve negatif yükleri biriktirerek elektrik enerjisini depolayan elemanlardır. Sığa (C), eşitlik (3.4) 'te gösterildiği gibi depolanmış yük (q) ile plakalar arasındaki gerilim (V) 'in ilişkisini temsil eder. Sığa ise eşitlik (3.5) ' te gösterildiği gibi yalıtkan sabiti ( $\epsilon$ ), plakaların alanı (A) ve plakalar arasındaki uzaklık (d) 'a bağlı olarak değişir. Eşitlik (3.6) sığa üzerinde depolanan enerjinin sığa ve gerilimin karesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

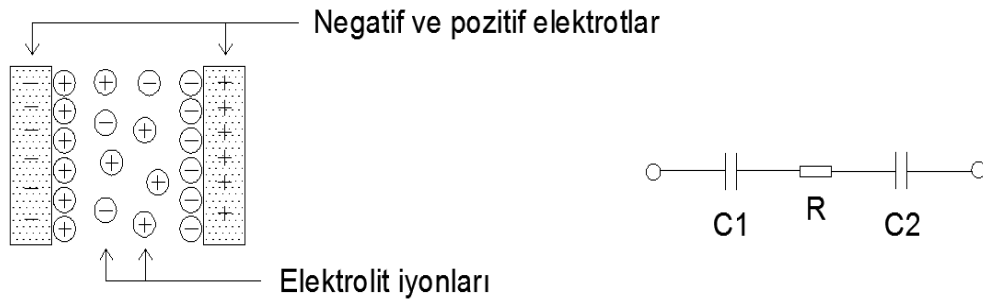
$$q_C = C * V_C \quad (3.4)$$

$$C = \frac{\epsilon * A}{d} \quad (3.5)$$

$$E = \frac{1}{2} * C * V_C^2 \quad (3.6)$$

Bir sığacın enerji depolama miktarı, ya sığasını arttırarak ya da sığaçta depolanan gerilimi arttırarak geliştirilebilir. Depolanan gerilim, yalıtkanın gerilim dayanıklılığı ile sınırlanmıştır. Sığaç ise, plakaların alanı arttırılarak, yalıtkan sabiti arttırılarak ya da plakalar arasındaki mesafe azaltılarak arttırılabilir.

Ultrakapasitörler, 'süperkapasitörler' ya da 'elektriksel çift katmanlı sığaçlar' olarak da bilinen sığaçlar, geçirgen elektrolit kullanımı ile yüzey alanındaki geniş artış sayesinde enerji depolama sığası artan sığaçlardır. Aşağıdaki 3.7 nolu şekilde bir ultrakapasitörün yapısı gösterilmektedir. UC, elektriksel iletim sunmak için elektrolit içene yerleştirilmiş iyon geçirgen ayırıcı ile elektrolite daldırılmış iki elektrottan oluşmaktadır. Fiziksel olarak ayrılmış pozitif ve negatif yükler tarafından UC 'deki enerji depolandıktan sonra hiçbir kimyasal reaksiyon gerçekleşmez. [15]



(a) UC 'nin yapısı

(b) UC 'nin eşdeğer devresi

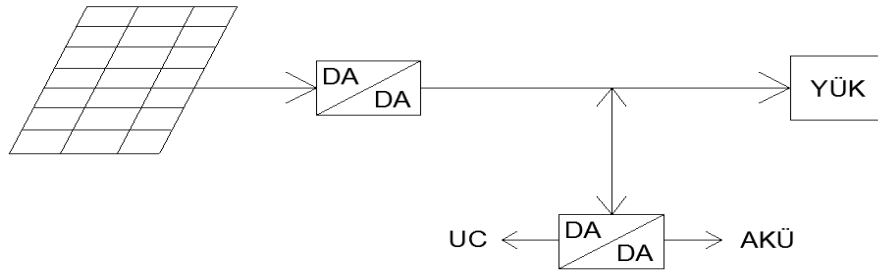
**Şekil 3.7 Ultrakapasitör iç yapısı ve eşdeğer devresi**

UC hücreler yüksek gerilim uygulamaları için seri; sığayı arttırmak içinse paralel bağlanırlar. Her iki işlem sonucunda da depolanmış enerji miktarı arttırılmış olur.

Ultrakapasitörler fazla enerji depolayamadıklarından tek başlarına PV sistemlerde depolama elemanı olarak kullanılamazlar. Daha çok diğer elemanların

yanında tamamlayıcı eleman olarak kısa süreli enerji ihtiyaçlarının karşılanması amaçlı kullanılırlar. UC 'ler tepe güçlerinin tolere edilmesini sağlarlar.

Bir PV/Akü /UC hibrit depolama sistemini göz önüne alırsak;



**Şekil 3.8 PV-Akü-Ultrakapasitör sistem şeması**

Hibrit sistemde güneş panelleri yeterli enerji sağlayamadıklarında, UC 'ler akülerle birlikte yüke güç sağlarlar. Aküler yükün sabit fakat düşük güç gereksinimlerini sağlarken UC 'ler yükün anlık tepe gücü gereksinimlerini karşılarlar. Ultrakapasitörler bu sistemde gerekli oldukları zaman güç sağlarlar yani öncelik akülerindir. Bu yaklaşım akü ömrünün uzamasına ve akü grubunun da boyutlarının azaltılmasına yardımcı olur.

Hibrit sistem, hem yüksek güç hem de yüksek enerji yoğunluğu ile her iki depolama elemanının faydalarını kullanır. UC 'lerin bu hibrit sistemde iki işlevleri vardır:

- Aşırı güç güneş panellerinden sağlandığında UC 'ler aküleri doldurmak için kullanılırlar.
- UC 'ler tepe gücü sağlayabilme faydasına sahiptirler. [17]

### 3.5 Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

UC 'ler enerjiyi fiziksel olarak ayrılmış pozitif ve negatif yükler sayesinde depolar, aküler ise yükü kimyasal olarak depolar. Bu sebeple, UC 'lerin akülerden

daha yüksek yaşam periyotları vardır. UC 'ler elemanların en fazla gerilim oranlarının üzerindeki gerilimleri tolere edebilirler. Diğer bir faydaları ise UC 'lerin, akülere oranla daha hızlı dolma/boşalma sürelerine sahip olmalarıdır. UC 'ler aşırı sıcaklık koşullarında özellikle düşük sıcaklıklarda akülerden daha iyi çalışırlar.

Aküler ve UC 'ler karşılaştırıldıklarında göz önünde bulundurulmuş önemli iki temel parametre enerji ve güç yoğunluklarıdır. UC ile karşılaştırılınca aküler daha çok enerji yoğunluğuna sahiptirler. Bu akülerde uzun dönem için daha çok enerji depolamaya izin verir. UC 'lerin ise akülerden daha büyük güç yoğunlukları vardır. Buda UC 'lerin kısa süre için daha çok güç sağlamalarına izin verir.

Tablo 3.3 'de Akü ve UC 'lerin çeşitli parametreler altında karşılaştırılmaları için genel değerler vermiştir.[18]

**Tablo 3.4 Akü ve Ultrakapasitörlerin karşılaştırılması**

	<b>Ultrakapasitör</b>	<b>Akümülatör</b>
Boşalma zamanı	1-30 sn.	0.3-3 sn.
Dolma zamanı	1-30 sn.	1-5 sa.
Yaşam çevrimi	>500	500-2000
Verim	90-95 %	70-85 %
Güç yoğunluğu	1000-2000 wh/kg	50-200 wh/kg
Enerji yoğunluğu	1-10 wh/kg	20-100 wh/kg
Çalışma sıcaklığı	-40 ile 70 °C	0 ile 60 °C

Sonuç olarak tüm depolama elemanlarını kıyaslayacak olursak;

Jel akülerin ülkemizde yeni üretilmeye başladıklarını düşünerek sulu akülerin kullanılmak zorunda olduğu göz önüne alınır, akülerin dönemsel bakım gereksinimlerinin olduğu söylenebilir. Ayrıca ısındıkları zaman çevreye gaz yayarak çevre kirlenmesine ve tehlikeli durumlara sebebiyet verebilirler. Buna karşın akülerin verimleri %80 dolaylarında yani yüksektir. Ömürlerinin kısa olması ise bir başka olumsuz yönleridir. Ömür kısalıkları nedeniyle kısa sürede yenilenme

gereksinimlerinin olması ve dönemsel bakıma ihtiyaç duymaları nedeniyle maliyetleri yüksektir.

Yakıt pillerine baktığımızda bakım gereksinimlerinin az, güvenilirliklerinin yüksek, ömürlerinin uzun olduğunu ve çevreye atık olarak su ve ısı bıraktıklarından dolayı çevreyi kirletme durumlarının olmadığını söyleyebiliriz. Buna karşın yakıt pillerinin verimleri düşük, maliyetleri ise yüksektir.

Ultrakapasitörlerin maliyetleri yüksek, bakım gereksinimleri az, güvenilirlikleri yüksek, ömürleri uzundur ve çevreyi kirletme durumları yoktur. UC 'lerin güç yoğunlukları yüksek olmasına karşın enerji yoğunlukları düşüktür. Yani uzun dönemde az enerji depolayabilmelerine rağmen kısa dönemler için yüksek güç sağlayabilirler. (Enerji depolama sığıları az fakat bir anlık yüksek güç ihtiyaçlarını karşılayabilirler.) Bu nedenle de tek başlarına depolama elemanı olarak kullanılmaları tercih edilmez.

Volanlar çok uzun yıllar bakım gerektirmezler. Yüksek güvenilirlik, uzun ömür ve çevreyi herhangi bir şekilde kirletmeme özelliklerine sahiptirler. Verimleri %90 civarında olmasına karşın maliyet bakımından pahalıdırlar.

Tüm bu parametreleri kullanarak bir tablo oluşturursak,

**Tablo 3.5 Depolama elemanları kıyas tablosu**

	Bakım ihtiyacı	Çevreyi kirletir mi?	Tehlikeli mi?	Verim	Ömür	Maliyet
<b>Akü</b>	Dönemsel	Evet	Evet	Yüksek	Kısa	Yüksek
<b>Yakıt Pili</b>	Az	Hayır	Evet	Düşük	Uzun	Yüksek
<b>Volan</b>	Yok	Hayır	Hayır	Yüksek	Uzun	Yüksek
<b>Ultra kapasitör</b>	Az	Hayır	Hayır	Yüksek	Uzun	Yüksek

Bu depolama elemanları kullanılarak PV sistemler için farklı hibrit depolama sistemleri oluşturulmaktadır. Oluşturulacak sistem için elemanlar seçilirken genellikle birbirlerinin eksik yönlerini tamamlamalarına dikkat edilir. Örneğin bir akümülatör-yakıt pili hibrit depolama sistemi düşünülecek olursa; akülerden verim yüksekliği yakıt pillerinden de ömür uzunluğu, bakım azlığı ve maliyet düşüklüğü alındığında ideal bir sistem meydana getirilmiş olur. Bir akümülatör-ultrakapasitör hibrit depolama sistemi ele alınır ise; bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi akülerin enerji yoğunlukları ultrakapasitörlerinse güç yoğunlukları yüksektir. Bu sayede aşırı güç ihtiyaçlarında UC 'ler kullanılırlar ve akülerin kullanılma süreleri azaldığı için ömürleri uzar, gerekli gücün bir kısmı UC 'lerden karşılandığı için akü boyutları küçülür dolayısıyla da maliyetlerinde düşüş meydana gelir.

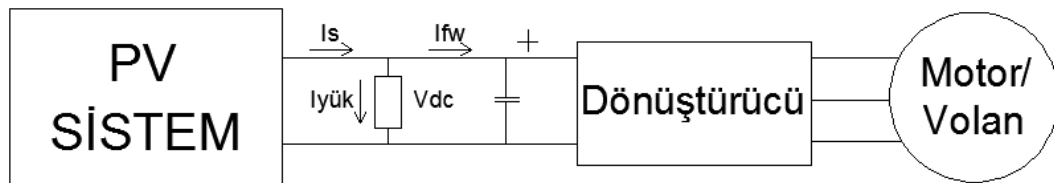
## 4 ÖNERİLEN SİSTEM PARÇALARININ MATEMATİKSEL MODELLERİNİN ÇIKARILMASI

### 4.1 Depolama Bölümü

#### 4.1.1 Genel Model

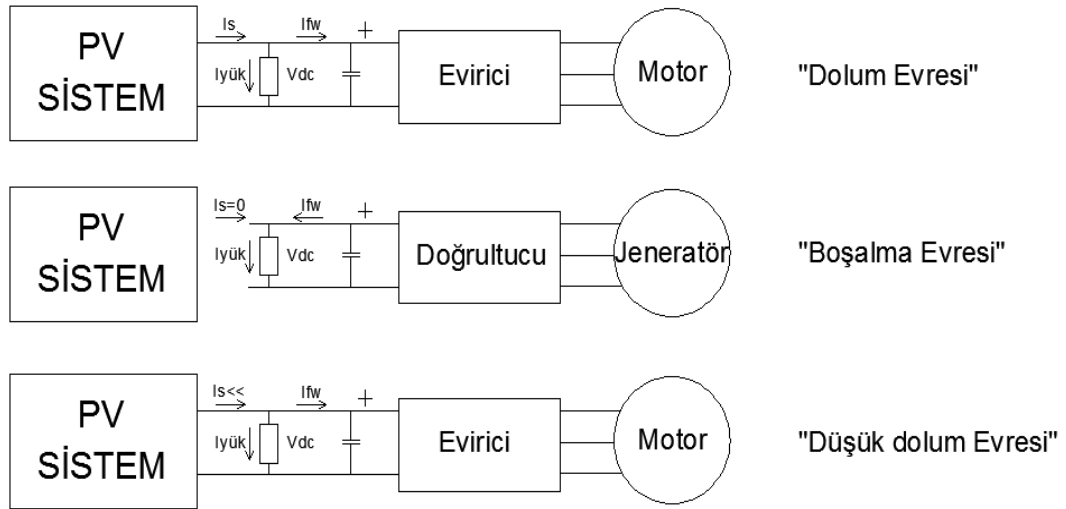
Sistemin güneş enerjisi kaynaklı olduğu dikkate alınırsa gün batımından sonra yükün beslenebilmesi için gündüz saatlerinde elde edilen enerjinin depolanması gerekmektedir. Amaçlanan sistemde depolama elemanı olarak ‘verimi yüksek/dolma süresi kısa’ olan volan tercih edilmiştir. Sistemin çalışma mantığı, güneşin yeterli enerji ürettiği zamanlarda hem yükün hem de volanın beslenmesi, yetersiz kaldığı durumlarda ise yükün depo elemanı olan volan üzerinden beslenmesi prensibine dayanmaktadır.

Sistemin en önemli elemanları motor/jeneratör, evirici/doğrultucu ve denetim birimleridir. Motor/jeneratör elemanı olarak genellikle sürekli mıknatıslı senkron makine veya fırçasız DA makine kullanılmaktadır. Bu makineler, alan uyarımına ihtiyaç duymamaları ve fırçasız bir yapıya sahip olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Eviricide genellikle darbe genişlik modülasyonu (DGM-PWM) kullanımı tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise motorda harmoniklerden kaynaklanan gürültü ve kayıpların en aza indirilmesi gereksinimidir. Enerji saklama amaçlı kullanılan sistemin blok diyagramı şekil 4.1 ‘de görülmektedir.



Şekil 4.1 Önerilen sistem genel şeması

Sistemin güneşi gördüğü süre boyunca enerji güneş panellerinden sağlanmaktadır. Güneş panelleri hem yükü hem de volanı beslemektedir (baranın gerilim regülasyonu güneş panellerinin görevidir). Bu evre, volan için “dolum” evresidir ve “dönüştürücü” elemanı evirici, volan- motoru da motor olarak kullanılır. Bu süre boyunca volan motorunun hızı düzenli olarak artar ve motor için akım regülasyonu yapılır. Sistem güneşi görmediği sürede volan motoru jeneratör olarak kullanılır ve volanda saklanan kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek yükü beslemek için kullanılır. “Dönüştürücü” elemanının doğrultucu olarak kullanıldığı bu evre, volan için “boşalma” evresidir ve baranın gerilim regülasyonu volan tarafından sağlanır. Sistemin, güneş ışınlarından yeterince faydalanamadığı sürede hattın regülasyonu yine volan tarafından sağlanır. Bu evre, volan için “düşük dolum” evresidir ve bu süre boyunca güneş panelinden az bir miktar enerji elde edilmektedir. “Dolum”, “Boşalım” ve “Düşük dolum” evrelerinde güç akış yönleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Önerilen sistem çalışma evreleri

“Dolum” evresinde motor için akım regülasyonu söz konusudur. “Boşalma” evresinde güneş panelleri sisteme hiç enerji sağlamaz ve volan akımı ters yönde akarak yükü besler. Bu evrede jeneratör yükü beslediği için akımın değişkenliği söz konusudur, çünkü sistemin akım ihtiyacı her an değişebilmektedir. Bu evrede baranın gerilim regülasyonunu sağlamak için denetim algoritmaları oluşturulmalıdır.































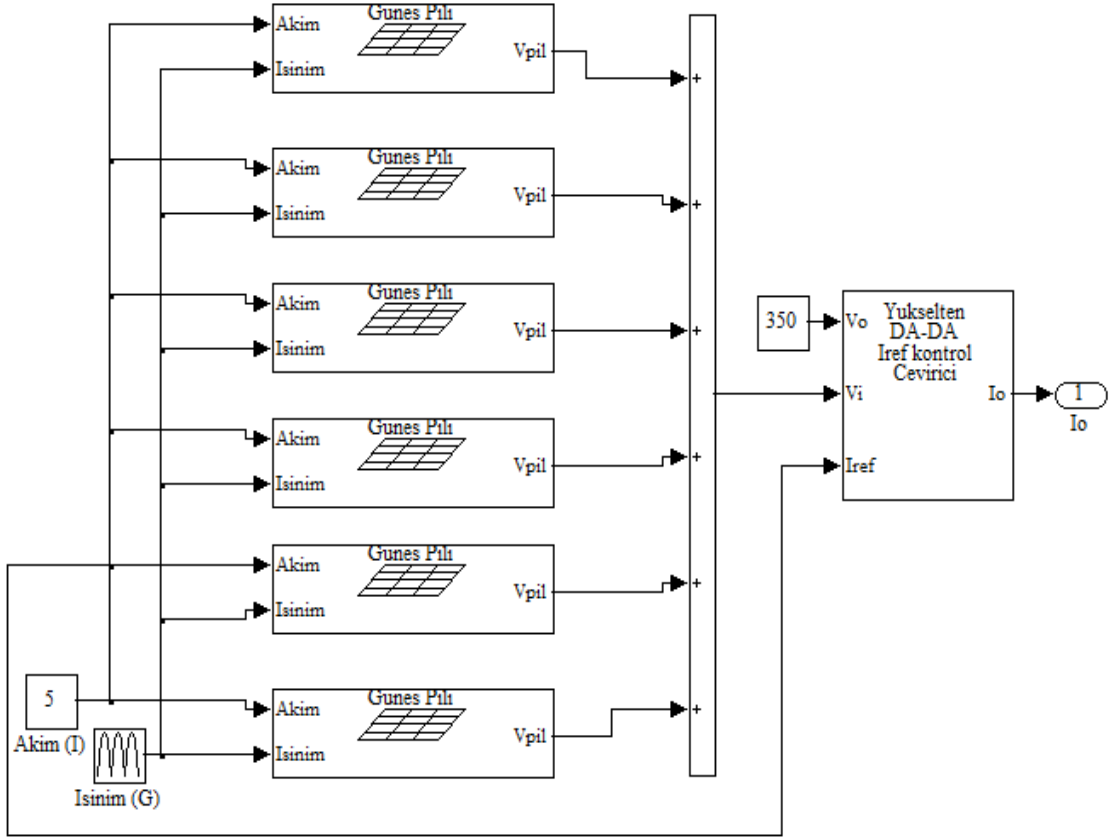












**Şekil 4.21 PV panel ve dönüştürücü sistem simulink modeli**

Oluşturulan sistem 480dk=8saat çalıştırıldığında şekil 4.22 'teki grafikler elde edilmiştir. Işınım, zamanla ideal değere ulaşip azalan bir eğri olarak tasarlanmıştır. Bu sistemde herhangi bir denetim algoritması olmadığından çıkış akım denetimi yapılmamaktadır.









### 4.2.3.2 Artan İletkenlik (Ic) Algoritması

Artan İletkenlik metodu ile P&O yönteminde mahsur olan hızlı değişen atmosfer şartlarında yanlış takip durumunun üstesinden gelinmiştir. [29] Algoritma, fotovoltaik panel gücünün gerilime göre türevinin alınarak sıfıra eşitlenmesi esasına dayanır. [28] PV panelin P-V eğrisi düşünüldüğünde MPP 'de V eksenine paralel çizilecek teğetin eğimi sıfır olacaktır. Buradan hareketle

$$P = VI \quad (4.46)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dV}{dV}I + V \frac{dI}{dV} \quad (4.46)$$

En fazla güç noktasında (MPP) 'de

$$0 = I + V \frac{dI}{dV} \quad (4.47)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (4.48)$$

denklemini elde edilir. Denklemindeki  $-\frac{I}{V}$  ifadesi fotovoltaik panelin anı iletkenlik değerinin tersini ifade etmektedir. Denklemin sağ tarafındaki ifade ise artan iletkenlik değeridir. Bu durumda en fazla güç noktasında bu iki değer birbirine eşit fakat zıt işaretli olması gerekir. Bu denklemin bir eşitsizlik olması halinde çalışma geriliminin MPP geriliminden düşük ya da yüksek olduğu anlaşılır. [28]





olarak yazılabilir. SG algoritmasında güneş paneli geçici olarak MPPT'den ayrılarak açık devre gerilimi ölçülür ve (4.49) denkleminden MPP gerilimi hesaplanır. Hesaplanan bu değere panel gerilimi ayarlanarak MPP'de çalışma sağlanmış olur. Bu işlem dönersel olarak tekrarlanarak MPP'nin pozisyonu sürekli takip edilir. Bu yöntemin oldukça basit olmasına rağmen,  $K$  sabitinin optimal değerini belirlemek zordur. Literatürde  $K$  değerinin %73-80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

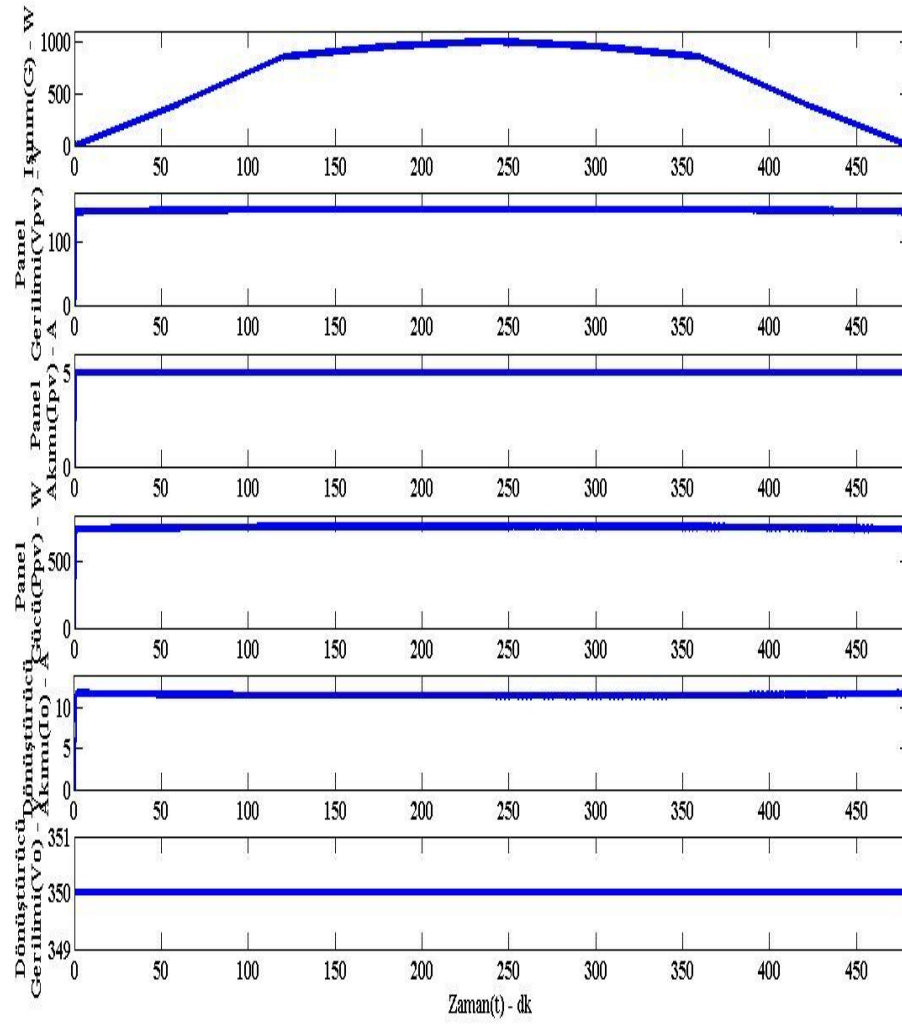
Sabit gerilim denetimi analog donanımlarla kolayca gerçekleştirilebilir. Ancak, bu yöntemin MPP izleme verimi diğer algoritmalara oranla daha düşüktür. Bunu nedeni daha önce belirtilen  $K$  sabitinin optimal değerinin elde edilme zorluğu ve daha da önemlisi açık devre geriliminin ölçülebilmesi için PV gücün ani olarak kesilmesini gerektirmesidir.

Sabit gerilim algoritması için yukarıda belirtilen yaklaşım aynı şekilde sabit akım algoritması için de gerçekleştirilebilir. Sabit akım algoritmasında en fazla çalışma noktasındaki akım ile kısa devre akımı arasındaki oran denetlenerek işlem yapılır. Bu yöntemi gerçekleştirmek için PV panel çıkışına veya çevirici girişine konulan bir anahtar kullanılır. Bu anahtar ani olarak kapatılarak kısa devre akım değeri ölçülür ve  $K$  sabiti kullanılarak çalışma noktasındaki akım belirlenmiş olur. Bu işlem dönersel olarak tekrar edilir.

Doğal olarak, sabit gerilim yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Çünkü gerilimi ölçmek akıma nazaran daha kolaydır. Ayrıca, paneli açık devre durumuna getirmek basit bir işlemdir. Panel uçlarını kısa devre etmek ise pratik olarak çoğu zaman mümkün olmayabilir. [28]

Amaçlanan sistemde MPPT yöntemi olarak Hata ve Gözlem metodu tercih edilmiş olup ek-1 'de matlab algoritma yazılımı verilmiştir. Oluşturulan yazılım simülante "matlab function" bloğuna yerleştirilir. Girişine verilecek olan güç değerinin ölçümü için sıfır dereceden tutucu kullanılarak P değeri okunur ve bir örnekleme periyodu boyunca girişin bu değerde kalması sağlanır. Dolayısıyla da çıkışta elde edilecek başlangıç akım değeri de aynı oranda geciktirilerek sisteme uygulanmalıdır.





Şekil 4.31 PV, MPPT ve DA/DA Yükselten dönüştürücü deneme çıkış grafikleri

## 5 ÖNERİLEN SİSTEM BENZETİM SONUÇLARI

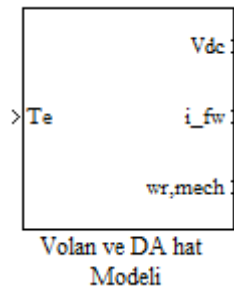
Hedeflenen sistemin bir önceki bölümde oluşturulan model parçaları bu bölümde birleştirilerek, sistemin çalışma biçimi gözlemlenmektedir. Sistem benzetimleri 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar,

- ❖ Dış kaynak kullanılarak (Depo+Yük) bölüm benzetimi
- ❖ Tasarlanan kaynak benzetimi
- ❖ Tüm sistem (Kaynak+Depo+Yük) benzetimi

Tasarlanan kaynak benzetimi, bölüm 4.2 'de detaylı bir şekilde anlatıldığından burada yeniden ele alınmamıştır.

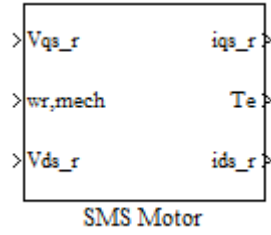
### 5.1 Dış Kaynak Kullanılarak (Depo+Yük) Bölüm Benzetimi

Yükü sabit direnç kabul ederek, modelleri oluşturulmuş sistem parçalarını sırayla birleştirebilmek için Şekil 4.5 'te oluşturulmuş olan genel gösterimden başlayabiliriz. Bu blok alt sistem haline dönüştürüldüğünde,



Şekil 5.1 Volan ve DA Hat Modeli Alt sistem görüntüsü

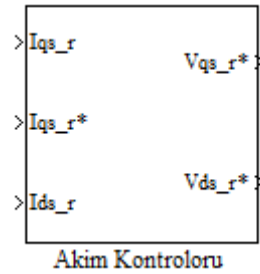
elde edilir. Görüldüğü üzere bloğun girişi motorun ürettiği elektromagnetik moment (tork) kuvvetidir. Bu durumda bloğun girişine, çıkışı tork olan Sabit mıknatıslı senkron motor modeli bağlanmalıdır. Motor modeli Şekil 4.7 'de gösterilmiştir. Modelin alt sistem görüntüsü ise aşağıdaki gibidir.



**Şekil 5.2 Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Alt sistem görüntüsü**

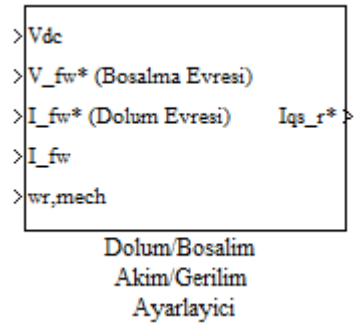
Evirici kayıplarını ve PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) anahtarlama harmoniklerini ihmal ederek sistemi kurduğumuzu kabul edersek, verimi yaklaşık olarak 1 olan ideal bir evirici kullandığımızı varsayabiliriz. Dolayısıyla yukarıdaki alt sistem görüntüsünde girişleri oluşturan motor q ve d eksen gerilim değerleri, ideal değerlere denk kabul edilir. Bu gerilimlerin denetimü içinse bir akım denetimörü sisteme eklenmelidir.

Eklenmesi düşünülen akım denetleyici modeli şekil 4.8 'de oluşturulmuş olup alt sistem gösterimi



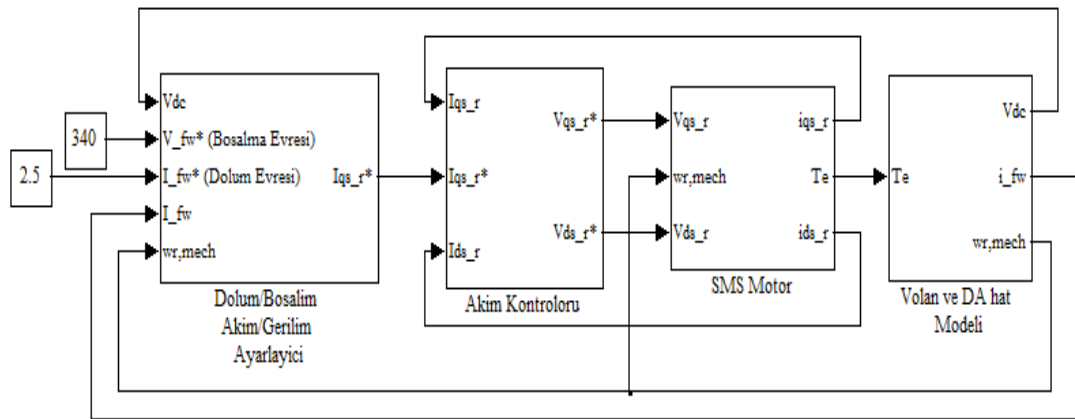
**Şekil 5.3 Akım Denetleyici Alt sistem görüntüsü**

şeklindedir. Giriş olarak görülen q-d eksen akım ve gerilim değerleri sabit mıknatıslı senkron motordan alınmaktadır. İstenilen akım değeri d eksen için sıfır olarak sabitken q eksen için denetleyici yardımıyla belirlenir. Söz konusu denetleyici modeli şekil 4.9 'de oluşturulmuş olup alt sistem gösterimi ise aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.4 D/B A/G Ayarlayıcı Alt sistem görüntüsü

Şimdiye kadar oluşturulan alt sistem blokları tek bir yapı altında birleştirilirse,

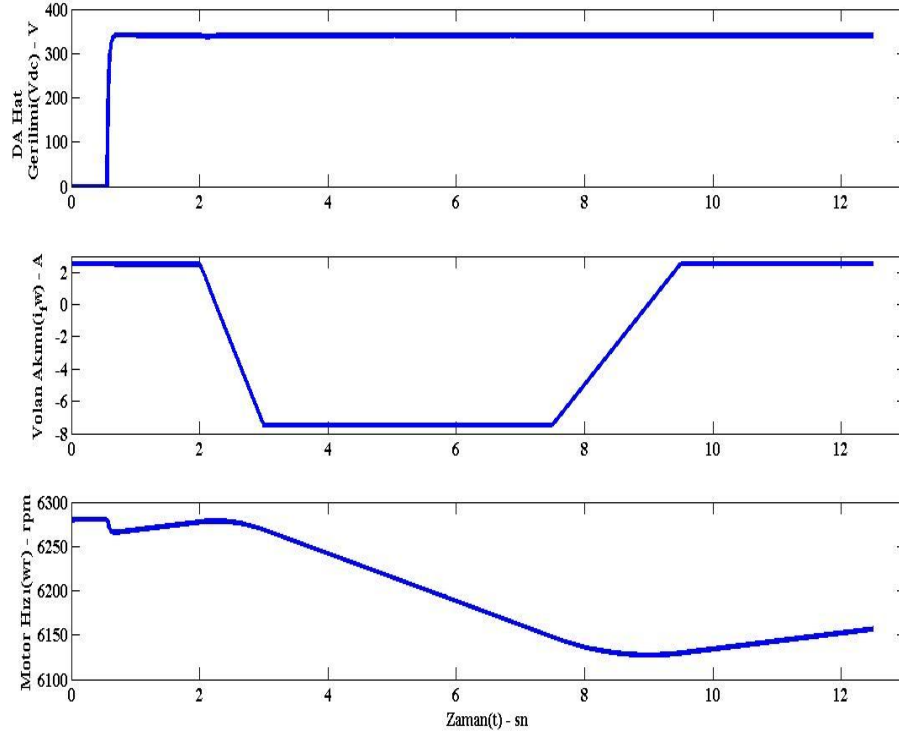


Şekil 5.5 Sistem genel model alt sistem görüntüsü

şekil 5.5 'teki simulink modeli elde edilir. Sistem içerisinde kullanılan parametre değerleri ek-2 'de verilmiştir. İstenilen akım için 2.5 A ve istenilen gerilim için 340 V değerleri sisteme sabit olarak verilip, zamana göre değişken bir işlev de dışarıdan kaynak olarak sisteme bağlanarak  $t=12.5$  sn için sistem çalıştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir.



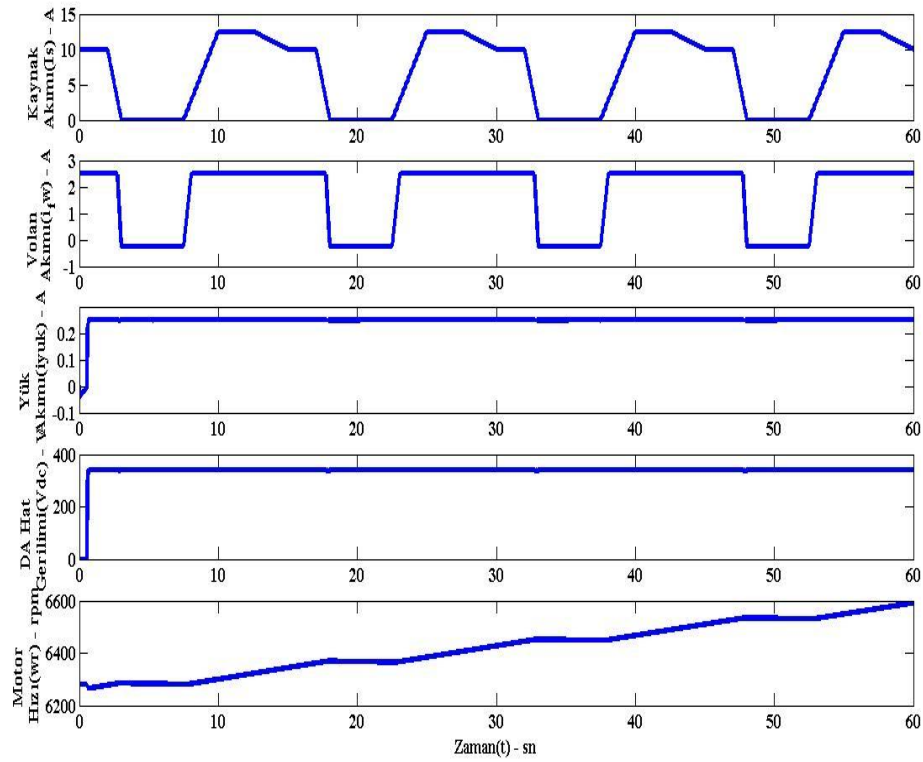
Amaç hat gerilimini sabit tutmak olduğundan ikinci olarak hat gerilimine, volan akımına ve motor hızına bakacak olursak,



Şekil 5.7 Hat gerilimi, volan akımı ve motor hızı benzetim eğrileri

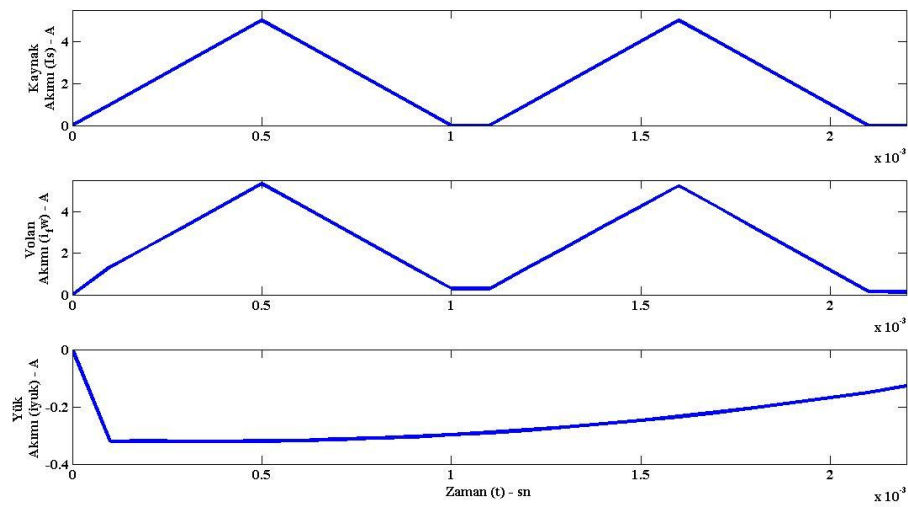
grafiklerden görüldüğü gibi sistem, başlangıçta kısa bir geçiş sürecinden sonra sürekli duruma geçmektedir.  $V_{ac}$  olarak sembolize edilen hat gerilimi istenilen değer olarak ayarlanan 340 V değerine ulaşmaktadır. Motor hızı ise çekilen akım değerine göre azalmakta ya da artmaktadır.

Aynı sistemi, kaynak 15 'er sn lik periyotlar halinde tekrarlanacak şekilde 1 dakika = 60 sn için çalıştırdığımızda da aynı çıkışların şekil 5.8 'de gösterildiği gibi 4 periyot aralığı için tekrarlandığını görürüz.



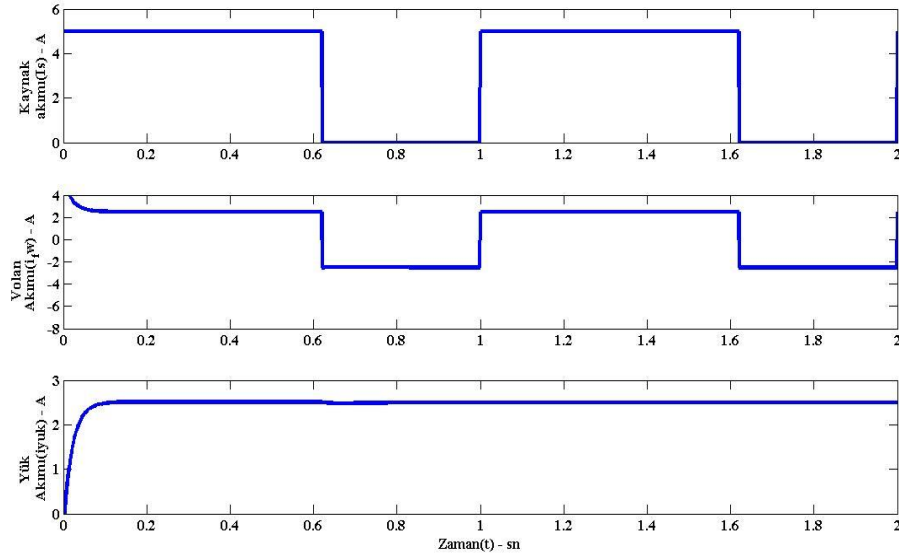
**Şekil 5.8 Bir dakikalık aynı kaynak benzetim çıkış eğrileri**

Yük direncini 136 ohm değerine ayarlayarak aynı sisteme bu kez 0-5 A aralığında basamak şeklinde artan ve aynı şekilde azalan bir kaynak 1 dk süresince uygulandığında Şekil 5.9 'da gösterilen grafikler elde edilir.

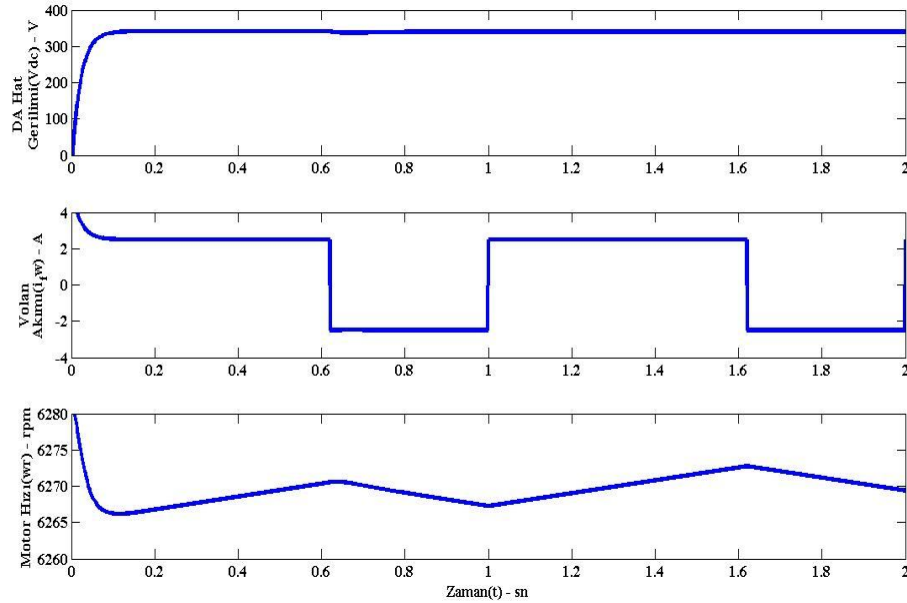


**Şekil 5.9 Bir dakikalık benzetim çıkış eğrileri**

Dış kaynak kullanımı ile sistemin oturma zamanını görmek amacıyla sistem girişine bir kare dalga uygulandığında, 0.6 sn gibi kısa bir sürede sistemin kendini toparlayarak sürekli hal durumuna geçtiği aşağıdaki grafiklerden görülebilmektedir.



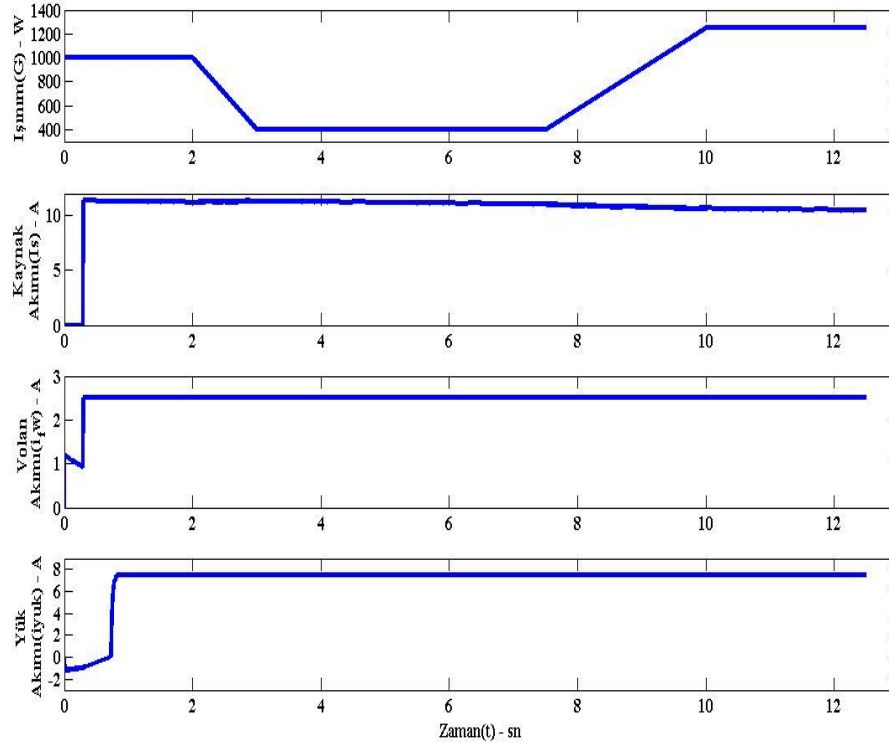
Şekil 5.10 Geçici hal sistem çıkış akım görüntüsü



Şekil 5.11 Geçici hal sistem çıkış gerilim görüntüsü

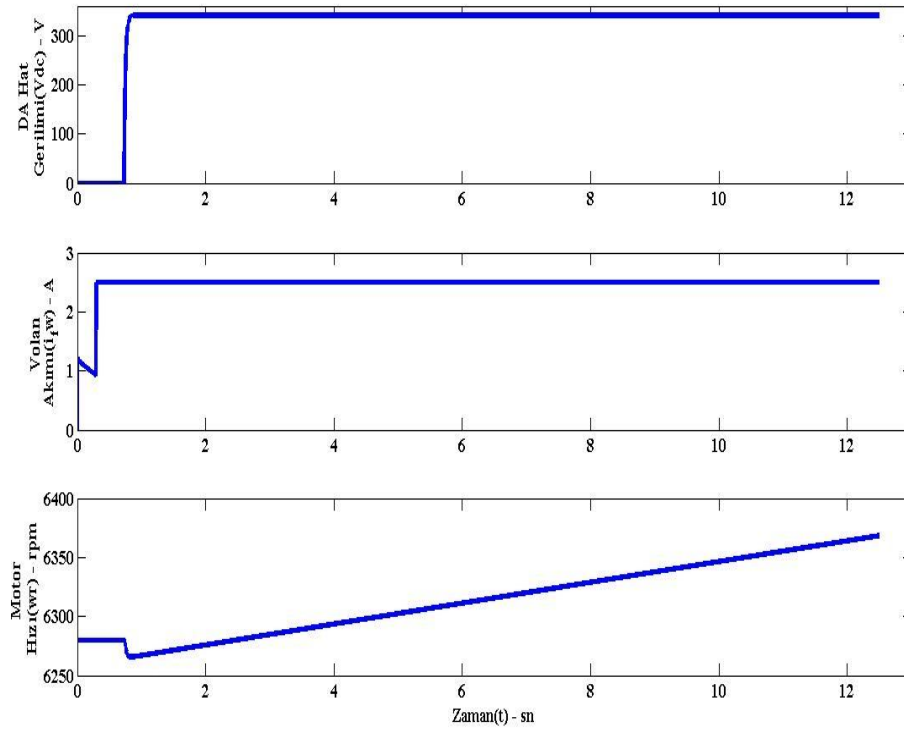
## 5.2 Tm Sistem (Kaynak+Depo+Yük) Benzetimi

Dış kaynak kullanılarak oluşturulan Depo+Yük bölümü simülasyonundaki modelin kaynak kısmına tasarlanan kaynak yapısı yerleştirilerek sistem aynı değerlerle çalıştırıldığında aşağıdaki grafikler elde edilir.



Şekil 5.12 Tm benzetim akım eğrileri

Sistem giriş değeri kaynak akımı, 10.5 ile 11.5 A arasında çok az bir değişim göstermektedir. Bu durumda kaynak, dolma evresi için yeterli akımı sağlayabilmektedir. Yük için gereken 7.5 A akım ile volanın dolması için gerekli akım paneller tarafından karşılanacaktır. Kaynak akımı sabit olduğu için sistem sürekli dolma evresinde çalışacak ve volan akımı 2.5 A civarında salınacaktır. Depolama ünitesi devrede olmayacağından motor hızında artış söz konusu olacaktır. Tm bunlara ek olarak, denetleyicinin devrede olmasından dolayı hat gerilimi, istenilen değer 340 V 'da sabit tutulmaya devam edilir.



Şekil 5.13 Tüm sistem benzetim eğrileri

## 6 SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisinin kaynak olarak kullanıldığı bu çalışmada, 36 hücreli 6 adet güneş pili birbirine seri bağlanarak gerilim üretilmiş, enerji dönüşüm işleminin etkili biçimde yapılabilmesi için MPPT içeren bir yükselten çevirici ile çıkış akımının istenilen akım değerinde sabitlenmesi sağlanmıştır. MPPT tekniği olarak uygulamadaki basitliği nedeniyle pratikte en çok kullanılan yaklaşım olan Hata ve Gözlem algoritması tercih edilmiştir. Güneş ışınımı sabit ve sürekli olmadığından depolanması gerekmektedir ve depolama imkânları sınırlıdır. Bu çalışmada depolama yöntemleri kıyaslanmış olup bu tip sistemlerde çok fazla kullanım örneği olmayan, akülere oranla bakıma ihtiyaç duymayan ve verimleri yüksek volanlar kullanılmıştır.

Matlab / Simulink programı kullanılarak modellenmesi yapılan sistemde, PV'den elde edilen enerjinin verimli kullanılabilmesi için ihtiyaç fazlası enerjinin çevirici ile depolama birimine aktarılması ve depolanan enerjinin ihtiyaç halinde yüke geri verilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan benzetim çalışması sonuçları, hedeflenen sistemin değişik durumlar için istenen şekilde çalıştığını göstermiştir.

Güneş enerjisi yerel olarak uygulanabilmesi, dışa bağımlı olmaması ve işletme masraflarının az olması nedeniyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konudur. Fakat yapılacak tesisatların ilk yatırım masrafları fazladır ve henüz tam da ekonomik değildir. Bu nedenle tasarlanan sistem için kaynak olarak güneşin yanı sıra diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanıldığı hibrit bir çalışma yapılması sistem maliyetini biraz daha azaltabilir. Ayrıca yük olarak farklı elemanlar kullanılarak sistem modellenmesi yapıp çıkış değerleri gözlemlenebilir.

**EK-1 [21]**

global Increment;

global Pold;

Pold = 0; % ölçülen gücün başlangıç değeri

Iref = 5; % akım başlangıcı için başlangıç değeri

Increment = -1; % başlangıç yönü: başlangıç akımı azalt

function y = MPPtrackIref(P)

global Pold;

global Iref;

global Increment;

IrefH = 5; % başlangıç akım için üst limit

IrefL = 0; % başlangıç akım için alt limit

DeltaI = 0.02; % başlangıç akım artışı

if (P < Pold)

Increment = -Increment; % eğer P azalmışsa yönü değiştir

end

Iref=Iref+Increment\*DeltaI; % başlangıç akımdaki artış

if (Iref > IrefH) % üst limit için denetim

Iref = IrefH;

end

if (Iref < IrefL) % alt limit için denetim

Iref = IrefL;

end

Pold = P; % güç değerini kaydet

y = Iref; % çıkış : başlangıç akım

**EK – 2**

VTC = -10 V

Kpd= 1.2

Kid = 12

Kpc = 1.2

Kic = 12

fi\_m = 0.0141 Vsn

P = 4

Kp = 1.2

Ki = 3000

Rs = 0.06 Ω

Lq = Ld = 139 μH

J = 0.0153 kgm<sup>2</sup>

C\_f = 25 mF

Rload = 45.333 Ω

Isc = 5.45 A

Voc = 22.2 V

Ir = 4.95 A

Vr = 17.2 V

Sample interval = 0.2

Isw = 0.03 A

RL = 25

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] A. Kılıç ve A. Öztürk, Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtım Cılık, 1983
- [2] <http://www.eie.gov.tr/YEK.html>, 2011-02-23
- [3] <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php>, 2010
- [4] M. Karamanav, “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Mayıs 2007
- [5] S. Keçel, “Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eylül 2007
- [6] A. Özgöçmen, “Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Mayıs 2007
- [7] R. Şenol, “Güneş İzlemeli Fotovoltaik Pillerin Mobil Ölçüm İstasyonlarına Uygulanması” Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi 2005
- [8] A. Basa Arsoy ve C. Perdahçı, “Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Dağıtılmış Üretim” Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliğı Bölümü, Kocaeli
- [9] M. Boztepe, “Enerji Depolama” Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliğı Bölümü, İzmir, 2006
- [10] [http://www.gunes-pili.com/tr/teknoloji/akumelatoer/201-aku\\_hakkindabilgi.html](http://www.gunes-pili.com/tr/teknoloji/akumelatoer/201-aku_hakkindabilgi.html), 2010
- [11] [www.gensed.org/pdf/PV-ElektrikDepolama.pdf](http://www.gensed.org/pdf/PV-ElektrikDepolama.pdf), 2010
- [12] Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi, “Atık Pil ve Akümülatörlerin Yönetimi” Kasım 2009
- [13] <http://www.elektroforum.org/guc-kaynaklari/14833-sarj-edilen-piller.html>, 2010

- [14] Z. Ural, M. T. Gençođlu, “Konutsal Uygulama İçin Bir Yakıt Pili Sisteminin Tasarımı” Fırat ˙niversitesi M˙hendislik Fak˙ltesi Elektrik Elektronik M˙hendisliği B˙l˙m˙, Elazığ
- [15] P. F. Ribeiro, B. K. Johnson, M. L. Crow, A. Arsoy, Y. Liu, “Energy Storage Systems for Advanced Power Applications” Aralık 2001 IEEE
- [16] F. İşçi, “Etkin Manyetik Yataklı Volan Enerji Depolama Sistemlerinin Nonlinear Denetimi” Y˙ksek Lisans Tezi, Gebze Y˙ksek Teknoloji Enstit˙s˙ 2005
- [17] M.E. Glavin, Paul K.W. Chan, S. Armstrong and W.G Hurley, “A Stand-alone Photovoltaic Supercapacitor Battery Hybrid Energy Storage System” Eylül 2008 IEEE
- [18] M.E. Glavin, W.G. Hurley, “Ultracapacitor / Battery Hybrid for Solar Energy Storage” Eylül 2007
- [19] K. Aydın ve M. T. Aydemir, “Enerji Saklayabilen Moment Denetim Jiroskopları” Gazi ˙niversitesi Elektrik-Elektronik M˙hendisliği B˙l˙m˙, Ankara
- [20] B. H. Kenny ve P. E. Kascak, “DC Bus Regulation With a Flywheel Energy Storage System” National Aeronautics and Space Administration Glenn Research Center, Ocak 2003
- [21] <http://ecee.colorado.edu/~ecen2060/> “PV Module Simulink Models” 2008
- [22] M. Emin Asker, Mehmet ˖zdemir, M. İlyas Bayındır, “Kalıcı Miknatıslı Senkron Motorun Hız Denetim Sisteminde UVDGM ile Yapılan V/f ve Vekt˖r Denetim Y˖ntemlerinin İncelenmesi” , 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karab˖k, 13-15 Mayıs 2009
- [23] G. Bal, M. C. ˖zgenel ve Ő. Demirbař, “Vekt˖r Denetimli Kalıcı Miknatıslı Senkron Motorun Uzay Vekt˖r Darbe Geniřliđi Mod˖lasyonu ile Başarım Analizi” Journal of Polytechnic Vol: 10 No: 1 pp.7-13, 2007
- [24] M. Demirtař, İ. Sefa, E. Irmak, İ. olak, “G˖neş Enerjili Sistemler İçin Mikrodenetleyici Tabanlı DA/DA Y˙kselten D˖n˖řt˖r˖c˖” ,Gazi ˙niversitesi, Ankara 2008

- [25] D. Pefitsis, G. Adamidis, A. Balouktsis, “An Investigation of New Control Method for MPPT in PV Array Using DC-DC Buck-Boost Converter” Democritus University of Thrace/Technological Educational Institution of Serres, Greece
- [26] N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, “Power Electronics: Converters, Applications and Design” New York: Wiley, 1996
- [27] “Power Electronics and Control in Grid-Connected PV Systems” Ecen 2060
- [28] N. Onat ve S. Ersöz, “Fotovoltaik Sistemlerde En fazla Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması” Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi A.B.D. Kadıköy-İstanbul, V.Yenilenebilir enerji Kaynakları Sempozyumu Diyarbakır, 2009
- [29] D. Sera, R. Teodorescu ve T. Kerekes, “Teaching Maximum Power Point Trackers Using a Photovoltaic Array Model with Graphical User Interface” Institute of Energy Technology, Aalborg University, Aalborg-Denmark
- [30] V. A. Chaudhari, “Automatic Peak Power Tracker for Solar PV Modules Using Dspace Software” Maulana Azad National Institute Of Technology, Temmuz 2005

## ÖZGEÇMİŞ

Pınar YILMAZ 1985 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Ordu ‘da tamamladıktan sonra 2003 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yükseköğrenimine başladı. 2007 yılında mezun olduktan sonra 2008 Ocak ayında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda lisansüstü eğitime başladı ve halen devam etmektedir.