

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MİKRODENETLEYİCİ TABANLI İZLEME SİSTEMİ İLE
GÜNEŞ PANELİ VERİM OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz CEYLAN DEMİR

**MAYIS 2007
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRODENETLEYİCİ TABANLI İZLEME SİSTEMİ İLE GÜNEŞ PANELİ
VERİM OPTİMİZASYONU**

Elek. Müh. Deniz CEYLAN DEMİR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektrik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye verildiği Tarih: 25.06.2007
Tezin Savunma Tarihi : 25.05.2007**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Ayten ATASOY

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Orhan AYDIN

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Yüce Atatürk' ün en önemli mesajı ve prensibi “İstiklal” kelimesinde saklıdır. Atamız, “tam istiklal” doğrultusunda ilerlemiştir.

Onun eseri olan bizler bu prensibi yukarda tutmak görevindeyiz. Enerji, önümüzdeki yıllarda dünyadaki ekonomik ve politik haritayı yeniden belirleyecek bir faktördür. Türkiye' nin istikbali ve istiklali enerji politikasından geçecektir. Ukrayna ve Gürcistan'ın son aylarda Rusya ile yaşadığı facialar bu yeni sömürgeciliğin delilidir.

Petrol ve gaz ithaline bağımlı, nükleer yakıt ve atık kontrolüne mahkum bir Türkiye' nin gelecekteki istikbali son derece tehlikededir. En temiz ve yenilenebilir enerji olan güneş enerjisinin ülkemizin geleceği açısından:

- Tüm askeri sistemlerin, devlet dairelerinin ve tesislerinin ve milli güvenlik/ sivil savunma ile ilgili tüm kritik müesseselerin tümüyle lokal güneş enerjisi takviyesine geçirilmesini
- Güneş pilleri konusunda üretim, montaj ve ticaret yapan şirketlerin ve yatırımcıların vergiden muaf kılınmalarını
- Güneş pilleri ve enerjisi konusunda teknik bilgilerimizi yükseltmek için tüm yüksek okullarda güneş ve yenilenebilir enerji mühendislikleri kurulmasını, gerekli görüyorum.

Bence istiklalin bedeli, hesabı ve ücreti tartışılmaz.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR ' a ve tüm bölüm öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerinden dolayı Sayın Tuncay DEĞERMENCİ ve eşim Yusuf DEMİR' e teşekkürü bir borç bilirim.

Deniz CEYLAN DEMİR

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güneş Enerjisi	3
1.2.1. Güneş Pili Teknolojisine Giriş.....	3
1.2.2. Güneş Pillerinin Tarihi	7
1.2.3. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi	8
1.2.3.1. P-N Tek Eklemlili Hücre.....	8
1.2.3.2. Güneş Piliinin Modellenmesi	9
1.2.3.3. Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri	11
1.2.4. Performansı Arttırma Yolları	19
1.2.4.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler	20
1.2.4.2. Elektriksel Yük Uyumu ve Maksimum Güç Noktası İzleyici.....	21
1.2.4.3. Güneş İzleyici Sistem.....	21
1.2.5. Güneş Enerjisi Sistemleri	28
1.2.5.1. Bağımsız Sistemler.....	28
1.2.5.2. Güneş Paneli-Jeneratör Kombinasyonlu Sistemler.....	28
1.2.5.3. Şebeke Bağlantılı Sistemler	29
1.3. Enerji Depolama Yöntemleri	31
1.3.1. Akülerin Sınıflandırılması.....	31
1.3.2. Akülerin Denetlenmesi	32
1.3.2.1. Ters Yönde Akım Akışının Engellenmesi.....	32

1.3.2.2.	Aşırı şarjın önlenmesi (şarj denetleyicileri).....	32
1.3.2.3.	Kontrol ayar noktaları.....	33
1.3.2.4.	Düşük Gerilimde Bağlantı Kesimi.....	33
1.3.2.5.	Aşırı Yük Koruması.....	33
1.3.3.	Akü Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar.....	34
1.4.	İnverterler.....	35
1.4.1.	Tek Fazlı İnverterlerin Gerilim Kontrolü.....	35
1.4.1.1.	Tek Darbeli PWM.....	36
1.4.1.2.	Çok Darbeli PWM.....	38
1.4.1.3.	Sinüzoidal PWM.....	39
1.4.1.4.	Değiştirilmiş Sinüzoidal PWM	43
1.4.2.	Harmoniklerin Azaltılması	44
1.5.	Step Motorlar ve Sürücüler.....	47
1.5.1.	Step Motoru.....	47
1.5.2.	Çalışma Prensipleri	49
1.5.3.	Step Motorlara Ait Önemli Parametreler.....	51
1.5.3.1	Çözünürlük.....	51
1.5.3.2.	Hassaslık.....	51
1.5.3.3.	Tutma Momenti.....	51
1.5.3.4.	Tek Adım Tepkisi.....	52
1.5.3.5.	Sürekli Rejimde Maksimum Yük Momenti Eğrisi.....	52
1.5.3.6.	Kalkış Anındaki Maksimum Yük Momenti Eğrisi.....	52
1.5.4.	Adım Açısı.....	53
1.5.5.	Step Motorların Uyarımı.....	53
1.5.5.1.	Step Motorların Uyarım Metotları.....	54
1.5.5.1.1.	Tek Faz Uyarımı.....	54
1.5.5.1.2.	İki Faz Uyarımı.....	55
1.5.5.1.3.	Karma Uyarım.....	55
1.6.	Mikroişlemciler.....	56
1.6.1.	Mikrodenetleyicilerin Mikroişlemcilere Göre Avantajları.....	56
1.6.2.	PIC Mikrodenetleyicileri.....	56

1.6.3.	Analog/Dijital Dönüştürücünün Kullanılması.....	57
1.7.	Güneş Sistemlerine Ait Yapılmış Çalışmalar.....	59
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	64
2.1.	Akü Şarj Devresi.....	66
2.1.1.	Devrenin Çalışması.....	67
2.1.2.	Devrenin Ayarlanması.....	68
2.2.	İnverter Devresi.....	70
2.2.1.	İnverter Devresinin Yapım Aşamaları.....	71
2.3.	Güneş Işınlarnı İzleme Sisteminin Çalışma Prensipleri.....	75
2.3.1.	Güneş Işınlarnı İzleme Sisteminin Algoritması.....	76
2.3.2.	Mikrodenetleyicinin Çalışma Algoritması.....	77
2.4.	Sabit Konumlu Panellerde Yapılan Ölçümler.....	82
2.4.1.	Yatay ve Yatayla 45 Derece Açık Yapan Panellerden Alınan Değerler.....	82
2.4.2.	Aylara Göre Değişik Panel Konumlarından Alınan Elektriksel Değerler.....	82
2.5.	Güneş Panellerinin Veriminin Hesaplanması.....	91
2.6.	Güneş İzleme Sistemi Kullanılarak Yapılan Otomasyon Uygulaması.....	92
2.6.1.	İki Eksenli Hareket Edebilen Güneş Paneli ile Akü Şarj Uygulama Örneği.....	92
2.6.2.	İki Eksenli Hareket Edebilen Güneş Paneli ile Jeneratör Uygulama Örneği.....	92
3.	SONUÇLAR.....	96
4.	ÖNERİLER.....	97
5.	KAYNAKLAR.....	98

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Yapılan çalışmada, bağımsız komple bir enerji sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem güneş paneli, depolama aküsü ve sistemin dengesini oluşturan çeşitli mekanik, elektriksel ve elektronik bileşenlerden oluşmuştur. Bu bileşenlere güneş izleyici sistemine uygun şekilde tasarlanan montaj bileşenleri, akü şarj kontrolü için elektronik devreler, dc-ac dönüştürücü dahil olmaktadır. Güneş izleyiciler kullanılarak panelin, güneşin gün boyu hareketini izlemesi sağlanarak, güneş panelinden elde edilecek elektrik enerjisinde artış sağlanmıştır. Ayrıca güneş panelinin aküyü aşırı miktarda şarj etmesini önlemek ve bu şekilde akü ömrünü arttırmak amacıyla şarj denetleyicisi kullanılmıştır. Ayrıca aküde depo edilen ve güneş paneli tarafından sağlanan düşük gerilimli DC gücün standart alternatif akım, 220 V, 50 Hz şebeke değerine dönüştürülmesi amacıyla sinüzoidal PWM çıkışlı, geri beslemeli bir inverter tasarlanmıştır.

Anahtar kelimeler : PWM, İnverter, Mikrodenetleyici, Şarj edici, Güneş izleyici, fotovoltaik.

SUMMARY

Efficiency Optimisation of The Solar(Energy) Panel with Tracking System Based on Microcontroller

In this study, a complete PV stand alone system was implemented. The system consisted the PV module, a storage battery and assorted mechanical, electrical and electronic components making up the balance of the system. These components included mounting structures implemented to suit the sun-tracker system, electronics for battery charge control and dc to ac conversion. The trackers followed the sun's apparent motion and provided an increase at the electrical energy obtained from the PV mounted upon the tracker. In order to prevent the PV module from overcharging the battery and to increase the battery life a charge controller was used. A closed loop inverter which produces a PWM sinusoidal signal was also implemented to change low voltage DC power-stored in the battery and produced by the PV source – into Standard alternating current, house power 220 VAC, 50 HZ.

Key words : PWM, inverter, battery charger, sun tracker, microcontroller, photovoltaics.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Güneş pilinin yapısı.....	4
Şekil 1.2. Güneş ışığına tutulan fotovoltaik pilin temel çalışması.....	8
Şekil 1.3. Solar hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi.....	9
Şekil 1.4. Solar hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi.....	10
Şekil 1.5. İdeal bir fotovoltaik pilin akım-gerilim (I/V) ve güç-gerilim (PV) karakteristikleri.....	12
Şekil 1.6. FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması ve FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli.....	14
Şekil 1.7. FV pil panelin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yükde değişimi.....	15
Şekil 1.8. FV pilin I-V ve P-V karakteristikleri.....	15
Şekil 1.9. FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi.....	17
Şekil 1.10. FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi.....	17
Şekil 1.11. FV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımın Sıcaklıkla ve ışık şiddetiyle değişimi.....	19
Şekil 1.12. Dirençsel yük için çalışma kararlılığı ve elektriksel yük uyumu için I/V eğrisi ve yük doğruları , P/V eğrisi ve yük eğrileri.....	21
Şekil 1.13. Temel bir güneş izleyici sistem gösterimi.....	22
Şekil 1.14. Güneşin mevsimsel olarak değişimi	23
Şekil 1.15. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket.....	24
Şekil 1.16. Güneşin kuzeyden güneye doğru yaptığı zahiri hareket.....	24
Şekil 1.17. Güneş paneli açısı tespit diyagramı.....	25
Şekil 1.18. Güneş enerjisi kullanım şeklinin bir maket üzerinde gösterimi.....	27
Şekil 1.19. Bağımsız güneş enerjisi sistem şeması.....	28
Şekil 1.20. Güneş paneli-jeneratör kombinasyonlu sistem şeması.....	29
Şekil 1.21. Şebeke bağlantılı güneş enerjisi sistem şeması.....	29
Şekil 1.22. Sayaca sahip şebekeye güç aktarmalı sistem şeması.....	30
Şekil 1.23. Tek darbeleri darbe genişlik modülasyonu.....	37
Şekil 1.24. Tek darbeleri PWM' in harmonik profili.....	37
Şekil 1.25. Çok darbeleri PWM.....	39
Şekil 1.26. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu.....	40
Şekil 1.27. Aşırı modülasyona bağlı olan harmonikler; M=2,5 ve mf=15 için çizilmiştir..	42

Şekil 1.28. M değişimi ile gerilim kontrolü.....	43
Şekil 1.29. Değiştirilmiş sinüzoidal PWM.....	44
Şekil 1.30. Her yarım dalgada iki gerilim boşluğuna sahip çıkış gerilimi.....	44
Şekil 1.31. İstenmeyen harmoniklerin gerilim boşlukları oluşturularak elimine edilmesi..	46
Şekil 1.32. Temel step motor yapısı	50
Şekil 1.33. A ve B tipi motorlar.....	50
Şekil 2.1. Gerçekleştirilen güneş enerji sisteminin blok şeması.....	64
Şekil 2.2. Kullanılan güneş panelinin aylara göre günlük üretebileceği enerji miktarı ...	65
Şekil 2.3. Şarj akım grafiği.....	67
Şekil 2.4. Akü şarj devre şeması.....	68
Şekil 2.5. Şarj devresinin baskı devre şeması.....	69
Şekil 2.6. Şarj devresi montaj hali.....	70
Şekil 2.7. IRFZ44 elemanının bacak bağlantısı.....	71
Şekil 2.8. CA3524 elemanının bacak bağlantısı.....	71
Şekil 2.9. Mosfetlerin girişindeki dalga şekilleri.....	72
Şekil 2.10. Çıkış gerilimi ölçüm devresi.....	72
Şekil 2.11. Inverter devresinin açık devre şeması.....	73
Şekil 2.12. Inverter devresinin baskı devre şeması.....	74
Şekil 2.13. İnverter devresi montaj hali.....	75
Şekil 2.14. Güneş izleme sisteminin çalışma algoritması	76
Şekil 2.15. Pic16F628 Mikro denetleyicisinin bacak bağlantıları	77
Şekil 2.16. Pic16F628 Mikro denetleyicisinin karşılaştırıcı girişleri	78
Şekil 2.17. Unipolar step motor adımları.....	78
Şekil 2.18. Unipolar step motor bağlantı şekli.....	79
Şekil 2.19. Pic16F628 ile izleme simülasyonu.....	80
Şekil 2.20. Mikrodenetleyici sisteminin çalışma algoritması.....	81
Şekil 2.21. Ocak ayı zaman güç grafiği	84
Şekil 2.22. Şubat ayı zaman güç grafiği	86
Şekil 2.23. Mart ayı zaman güç grafiği	88
Şekil 2.24. Nisan ayı zaman güç grafiği	89
Şekil 2.25. Aylara göre çift yönlü izleme güç grafiği	90

Şekil 2.26. Ağustos ayı zaman güç grafiği	91
Şekil 2.27. Dc y1-y2 yönlendirme mekanizması.....	93
Şekil 2.28. STEP Motor x1-x2 yönlendirme mekanizması.....	93
Şekil 2.29. Yönlendirme mekanizması	94
Şekil 2.30. İzleme sisteminin genel görünümü	95

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	26
Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	27
Tablo 1.3. Pratik uygulamalarda kullanılan aküler.....	31
Tablo 1.4. Step motorun adım açıları.....	53
Tablo 1.5. Step motorun normal 4 adım sayısı.....	54
Tablo 1.6. Tek faz uyarımın faz uyarım sıralaması.....	54
Tablo 1.7. İki faz uyarımın faz uyarım sıralaması.....	55
Tablo 1.8. Yarım adım (karma) uyarımın faz uyarım sıralaması.....	55
Tablo 2.1. Kullanılan güneş paneline ait teknik özellikler.....	65
Tablo 2.2. Güney-doğu yönünde yerleştirilmiş yüksüz panelden alınan ölçüm değerleri...	82
Tablo 2.3. Ocak ayına ait yatay Konumlu Ölçüm Değerleri	83
Tablo 2.4. Ocak ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri.....	83
Tablo 2.5. Ocak ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri	83
Tablo 2.6. Ocak ayına ait çift yönlü izleme ölçüm değerleri.....	84
Tablo 2.7. Şubat ayına ait yatay Konumlu Ölçüm Değerleri	85
Tablo 2.8. Şubat ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri.....	85
Tablo 2.9. Şubat ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri	85
Tablo 2.10. Şubat ayına ait çift yönlü izleme ölçüm değerleri.....	86
Tablo 2.11. Mart ayına ait yatay Konumlu Ölçüm Değerleri	87
Tablo 2.12. Mart ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri	87
Tablo 2.13. Mart ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri	87
Tablo 2.14. Mart ayına ait çift yönlü izleme ölçüm değerleri	87
Tablo 2.15. Nisan ayına ait yatay Konumlu Ölçüm Değerleri	88
Tablo 2.16. Nisan ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri	88
Tablo 2.17. Nisan ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri	89
Tablo 2.18. Nisan ayına ait çift yönlü izleme ölçüm değerleri	89
Tablo 2.19. Ağustos ayına ait yatay Konumlu Ölçüm Değerleri	90
Tablo 2.20. Ağustos ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri	90
Tablo 2.21. Ağustos ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri	91

SEMBOLLER DİZİNİ

<u>SEMBOL</u>	<u>ANLAMI</u>
AC	Alternatif akım
ADC	Analog / Dijital dönüştürücü
Ar	Tepe genliği
C	Kapasite
CNC	Bilgisayarlı nümerik kontrol
CPU	Merkezi işlem birimi
DC	Doğru akım
EPROM	Silinebilir ve programlanabilir hafıza
e	Zıt emk
emk	Elektro Motor Kuvvet
fc	Taşıyıcı sinyal frekansı
f ₀	Referans sinyal frekansı
fr	Referans sinyalin frekansı
FV	Fotovoltaik etki (güneş pili)
I	Akım
IGBT	İzole kapılı Bipolar transistör.
I _{kd}	Kısa devre akımı
I _L	Fotovoltaik Akım
I _m	Maksimum akım
I/O	Giriş ve çıkışlar
I _{sat}	Diyot saturasyon akımı
I/V	Akım/Gerilim
L	Endüktans
LDR	Işığa bağımlı direnç
M	Genlik Modülasyonu faa
mf	Frekans modülasyonu faktörü
MOSFET	Metal Oksit Silikon alan etkili transistör

P	Güç
PIC	Çevresel ürünleri denetleyici ara birim
PLC	Programlanabilir lojik denetleyici
P _m	Maksimum güç
PV	Güneş pili
P/V	Güç/Gerilim
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
RAM	Rastgele erişimli hafıza
R _p	Eşdeğer model Paralel direnci
R _s	Eşdeğer model seri direnci
RISC	Azaltılmış komut seti bilgisayarı
SPWM	Sinüzoidal Darbe genişlik modülasyonu
TTL	Transistör-Transistör-Lojiği
V	Gerilim
V _{ad}	Açık devre gerilimi
V ₀	Efektif çıkış gerilimi
V _m	Maksimum gerilim
β	Faz kayması
wt	Açısal hız (rad/sn)
η_{doluluk}	Doluluk Faktörü

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya çapındaki enerji tüketimindeki artışlar mevcut rezervlerin ne kadar dayanacağı sorusunu akla getirmektedir. Daha hızlı kalkınma isteği ve buna paralel olarak artan enerji gereksiniminin yanı sıra, kullanılan fosil yakıtların atıklarının çevreye onarılamaz zararlar vermesi, alternatif yakıt arayışlarını arttırmıştır. Ayrıca, bugünkü tüketim oranları baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, kömür 240, petrol 43 ve doğal gaz 67 yıl sonra tükenecektir. Bu durumda, kullanılmakta olan yakıtlara alternatif olabilecek, tükenme olasılığı daha az ve atıkları çevreye zarar vermeyecek enerji arayışına gidilmiştir. Bu çalışmalar sonucu, geliştirilen pek çok alternatif enerji sistemi vardır ve ülkeler enerji gereksinimlerinin bir kısmını bu sistemlerle karşılamaktadır [1,2].

Ayrıca fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımı, insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu olumsuz etkiler, başta hava kirliliği olmak üzere çeşitli çevre sorunlarının meydana gelmesi ve bunun sonucunda halk sağlığının tehdit edilmesi olarak tanımlanabilir. Mesela kömür yakıldığında, yakılan her gram kömür başına 4 gram karbondioksit (CO_2) açığa çıkmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmadığı yanma olaylarında yakılan kömürün dört misli ağırlığında CO_2 atmosfere verilerek sera etkisine sebep olunmaktadır [3].

Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan CO_2 yayılımı sonucunda, atmosferdeki CO_2 miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma ihtimali vardır. Atmosferdeki CO_2 ' nin neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını $0,7$ °C yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 °C yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünümün değişimlere, 3 °C düzeyine varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir [4,5].

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile önümüzdeki 50 yıl içinde petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceği ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir. Bu durumda kendini sınırsız tekrarlayan

yenilenebilir ve hammadde bağımlısı olmayan enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, su ve biokütle gibi) çok kısa bir süre içinde önem kazanacaktır[6]. Dünyanın birçok ülkesinde yeni enerji üretim yatırımları artık temiz enerji odaklı olmaktadır. Örneğin; Almanya ülkedeki tüm nükleer santralleri kapatma ve temiz enerjilere yatırım yapma karar almıştır. Amerika’ da yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmakla daha az petrol ithal edilerek yılda 80 milyar dolarlık tasarruf sağlanmaktadır. Birçok özel araştırma kurumunun hazırladığı raporlara göre 2060 yılında dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %60 kadarı yenilenebilir kaynaklardan karşılanacaktır. Dünya bankası tahminlerine göre güneş enerjisi sektörünün ticari hacmi önümüzdeki 30 yıl içinde 4 trilyon USD olacaktır [7].

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Özellikle coğrafi konumu nedeniyle büyük bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir, bu alana duyulması gereken ilgiyi artırmaktadır. Yapılan ölçümlere göre, ülkemizin %63’ ünde 10 ay, %17’ sinde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür[2]. Ayrıca Türkiye’nin genelde dağlık bir yapıya sahip olması ve yerleşim merkezlerinin birbirinden uzak olması, bu yerleşim merkezlerine elektrik enerjisinin iletimini güçleştirmekte ve bu bölgelerin enterekte sisteme bağlanma maliyetlerinin çok yüksek olması ve üretilen enerjinin önemli bir bölümünün iletim ve dağıtım hatlarında kaybolduğu göz önüne alınırsa, bağımsız olarak çalışan küçük güneş enerjisi santrallerinin önemi belirginleşmektedir[7,8,9].

Buna karşın güneş enerjisi daha temiz, başka bir yakıt kaynağına gerek duymayan ekonomik bir enerji alternatifidir. Kuruluş maliyetlerinin yüksek olması caydırıcı bir sebep gibi görünebilir fakat birkaç yıl içerisinde kendisini telef etmesi ve uzun yıllar kullanılabilmesi önemli bir etkidir[1]. Güneş panelleri kullanılarak güneş ışığından elektrik üretimi basittir, hareketli parçalar içermez ve dünya çapında binlerce uygulaması olan güvenli bir sistem olduğunu kanıtlamıştır. Bir diğer avantajı ise, bir PV sistemin, enerji gereksinimlerine göre herhangi bir büyüklükte imal edilebilmesidir[8].

Yapılan çalışmada, güç elektroniğinden en etkin şekilde faydalanılarak enerji sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, sistem veriminin mümkün olduğunca artırılması ve sistem bileşenlerinin ömürlerine olumlu etkilerde bulunulması amacı sağlanmaya çalışılmıştır. Doğru gerilimle çalışan radyo, televizyon, buzdolabı gibi cihazlar bulunmasına rağmen, 220V AC gerilimle çalışan cihazlar, sadece DC gerilim veren akülerle çalıştırılmamaktadır[10]. Bu uygulama alanları için akünün DC gerilimini standart şebeke gerilimine dönüştüren inverterlere gereksinim duyulur. Kare dalga ve

üçgen dalga çıkış gerilimi sağlayan inverterler duyarlı elektrik cihazlarına zarar verebildiğinden dolayı sinüzoidal çıkış veren inverter tipleri önem kazanmıştır[7]. Yapılan çalışmanın en önemli kısmını oluşturan inverter tasarımı, mikrodenetleyici ile sağlanan PWM dalga şekilleri kullanılarak gerçekleştirilmiş, PWM dalga şekillerinin üretilmesi ise teorik bilgi kısmında açıklanmıştır. Güneş panellerinden alınan verimin artırılması için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan güneş izleyici sistemi yapılan çalışmada gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle panelin gelen güneş ışığına dik tutulmasıyla, maksimum miktarda güneş ışığının alınması amaçlanmıştır. Bir güneş izleyici, güneşin günlük hareketini takip ederek panelde %25-%35 arasında güç artışı sağlayabilmektedir. Ayrıca güneşin mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye hareketi takip edilmek istenirse elle yapılacak bir ayarlama PV güç üretimini %10 kadar artırabilmektedir[9]. Gerçekleştirilen bir diğer sistemse, akülerin uygun şekilde beslenmesini ve uzun vadede güvenli tutulmalarını sağlayan şarj edici birimidir. Bu kısmın amacı akülerde ters yönde oluşabilecek akım akışını önlemek ve akünün aşırı şekilde şarj olmasına mâni olmaktır[7].

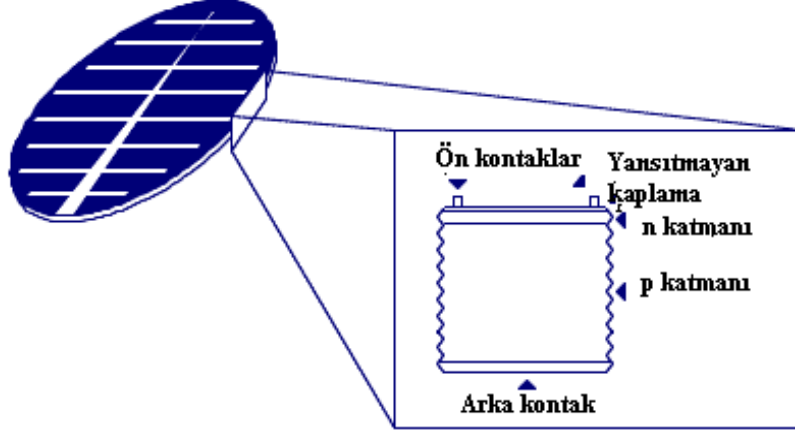
Yenilenebilir enerji sistemlerinde ve depolama elemanlarının maliyetlerinde son yıllarda düşüşler sağlanması, bu sistemlerin şebekeye etkin şekilde bağlanması ve yeni şebeke altyapılarının oluşturulabilmesi isteği bu alanda araştırma yapılması isteğinde önemli bir etken olmuştur[8]. Örneğin, rüzgâr enerjisi kullanımı son on yılda, yaklaşık %25 oranında artarken, güneş pili kullanımı %300 den fazla artmıştır. Önümüzdeki on yıl için artış oranları, rüzgâr için %45, güneş için %800 olarak tahmin edilmektedir. ABD ve İsrail, toplam enerji ihtiyaçlarının %20–25 kadarlık bir kısmını güneş enerjisinden karşılamayı hedeflemektedirler[2].

1.2. Güneş Enerjisi

1.2.1. Güneş Pili Teknolojisine Giriş

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

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



Şekil 1.1. Güneş pilinin yapısı [2]

Bir güneş pilinin iç yapısı şekil 1.1' de verilmiştir. Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gram' dan azdır[2]. Şekil 1.1' den görülebileceği gibi, pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum üzerine düşen ışınımın üçte birini yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan tabakanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında P-N kavşağı denilen pozitif ve negatif yüklerin karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak bulunur[2].

Tipik bir silisyum pili 0,5 V kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim artırılabilir. Genellikle 30-36 adet güneş pili, 15-17 V' luk bir çıkış verebilir. Bu voltaj değeride 12 V' luk aküyü şarj etmeye yeterlidir[2]. Açık, güneşli bir

havada 1 dm çapında bir Fotopil, yaklaşık olarak 1 watt üretir. Verimi (çıkış gücünün gelen ışık gücüne oranı) kullanılan malzemeye göre değişir[12].

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

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre avantajları[11,2]:

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

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre dezavantajları ise şunlardır[1,7,9]:

1. Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
2. Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkanları ise sınırlıdır.
3. Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
4. Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.

Güneş ışınımından yararlanan bir çok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazladır ve henüz bazıları ekonomik değildir[2].

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır[7]:

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

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır[3,7,14,15]:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

İnce Film: Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5–7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: Gelen ışığı 10–500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

1.2.2. Güneş Pillerinin Tarihi

Fotovoltaik enerjinin tarihi 1839 yılında Alexandre Becquerel tarafından ışıkla meydana gelen belirli kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla ortaya çıkan elektrik akımlarının gözlenmesine dayanmaktadır. 1873 yılında Smith'in katı selenyumda foto-iletkenliği gözlemesini, 1877 yılında saf katı hal elemanda Adams ve Day tarafından fotovoltaik etkinin keşfi takip etti. Işık enerjisinin elektrik enerjisine direkt dönüşümünün ilk defa sağlandığı ilk fotovoltaik eleman uygulaması, Fritts tarafından 1883 yılında gerçekleştirilen ışık-ölçer cihazıydı. Selenyum fotopillerine dayanan fotometreler Almanya'da 1930'lu yıllarda ticarileşti ve halen kullanılmaktadır[17].

Fotovoltaik olayının tam olarak anlaşılması 19. yüzyılın başlarında kuantum teorisindeki gelişmelerle sağlandı. Modern fotovoltaik hücre teknolojisini ilk olarak 1941 yılında Russell Ohl geliştirdi ve bu keşfi %6 verime sahip silikon fotovoltaik pillerin duyurulması takip etti[16,18]. PV'lerin ticari hale gelmesinde atılan adımlar, 1940 ve 1950'lerde, yüksek saflıkta kristal silikon üretiminin geliştirilmesiyle arttı. 1954 yılında, Bell laboratuvarındaki bilim adamları ilk kristal silikon fotovoltaik hücreyi %4 verime sahip şekilde elde ettiler[8,9].

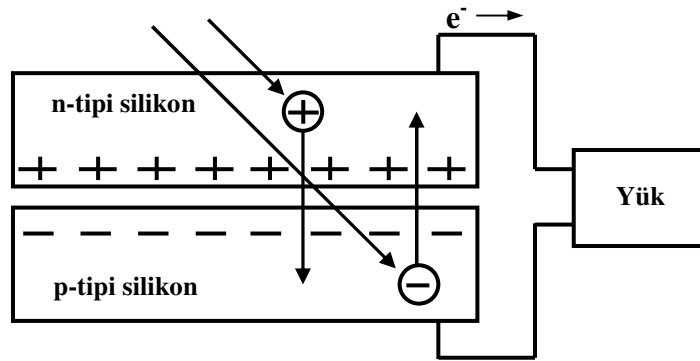
Modern fotovoltaik pillerin uygulama alanı bulması ilk olarak 1958 yılında Vanguard 1 uydusunun güneşten elektrik enerjisi sağlayan ilk uydu olmasıyla gerçekleşti. Günümüzde ise ışığın elektrik enerjisine direkt dönüşümü olan fotovoltaik, önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmeye başlanmıştır. 1999 yılı itibariyle 300 W_p gücünde fotovoltaik güç modülleri üretilmiştir ve uygulama alanları gittikçe artmaktadır[16].

Bugünkü ticari PV sistemleri güneş ışığını %7'den %17'ye kadar verimler elektriğe dönüştürebilmektedir. Oldukça güvenilir olup 20 yıl veya daha fazla ömre sahiptirler. PV'den üretilen elektriğin maliyeti 15-20 kat düşmüştür ve PV modüller şu anda watt başına 7\$'lık maliyete sahiptir ve kilowatt-saat başına 30-35 sent maliyette elektrik üretmektedirler[1,8,9].

1.2.3. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

1.2.3.1. P-N Tek Eklemlili Hücre

Fotovoltaik güç teknolojisi, genellikle birkaç santimetrekare boyutunda yarı iletken hücrelerden meydana gelir. Hücrenin katı hal yapısı, temel olarak eklem bölgesi üst yüzeye yakın bulunan geniş alanlı bir p-n diyotudur. Şekil 1.2' de görülen temel yapıyla güneş ışığı, hücrede direkt olarak elektrik akımına dönüştürülür. Çok sayıda hücre, gerekli gücün üretilmesi amacıyla birbirine eklenerek panel yapısı oluşturulur[2,13,16].



Şekil 1.2. Güneş ışığına tutulan fotovoltaik pilin temel çalışması

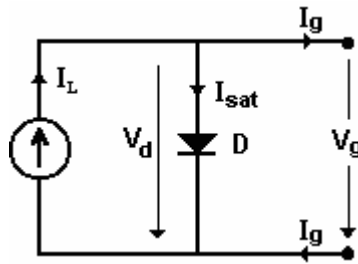
Tüm fotovoltaik piller benzer şekilde çalışır. n-tipi silikon ile p-tipi silikon malzeme birleştirildiğinde eklem bölgesinde elektrik alan oluşumu ortaya çıkar. Elektrik alan, diyot

davranışı göstererek elektronların p-tipi silikon malzemeden n-tipi silikon malzemeye geçişine engel olurken, ters yönde geçişi engellemezler. Işık, eklem tarafından emildiğinde, emilen fotonların enerjisi, malzemedeki elektron sistemine transfer edilir ve hareketli elektronlar ve delikler oluşur. Bunlar eklem bölgesinde bir potansiyel fark meydana getirip elektrik alan altında hızlanarak dış devre boyunca akım akışı sağlarlar ve DC güç meydana getirirler[16].

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

1.2.3.2. Güneş Pilin Modellenmesi

Bir fotovoltaik pilin elektronik davranışının anlaşılması için, davranışları iyi bilinen ayrı elektriksel bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin elde edilmesi gerekir. İdeal bir fotovoltaik pil, şekil 1.3’de görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenenebilir. Akım kaynağı solar ışık şiddeti G ile direkt orantılı olan foto-akımı I_L 'yi meydana getirir. Şekildeki diyot, fotovoltaik pilin p-n geçiş bölgesini temsil etmektedir[16,19,20].

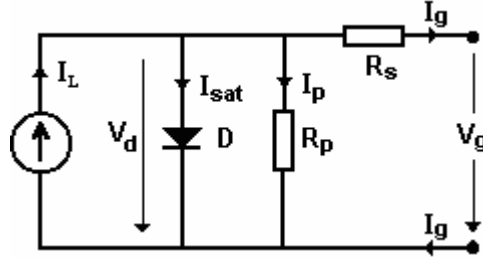


Şekil 1.3. Solar hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi

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

$$I_g = I_L - I_{sat} = I_L - I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (1.1)$$

Görüldüğü gibi, basitleştirilmiş eşdeğer devre fotovoltaik pilin elektriksel işlemini için optimal bir gösterimini vermemektedir. Gerçek fotovoltaik pillerde, harici kontaklar üzerinde gerilim düşümü gözlenir. Buradaki gerilim kaybı seri bir R_s direnci ile ifade edilebilir. Ayrıca paralel bir R_p direnciyle ifade edilecek olan sızıntı akımı da gözlenir. Bu şekilde, şekil 1.4'de görülen eşdeğer devre elde edilir[19,20].



Şekil 1.4. Solar hücrenin tek diyodlu eşdeğer devresi[7,16]

Fotovoltaik pildeki temel akımlar şunlardır[16]:

- Fotovoltaik akım I_L : Fotovoltaik pil üzerine düşen ışık radyasyonu ile doğru orantılıdır.
- Diyot akımı I_{sat} : Gerilime ve sızıntı akımı I_0 'a bağlıdır ve denklem (1.2) ile ifade edilir.

$$I_{sat} = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1.2)$$

- Paralel kol akımı I_p : Paralel kol direncindeki eklem gerilimi etkisi ile ortaya çıkan ve denklem (1.3) ile ifade edilen akımdır. Paralel kol direnci R_p , n ve p eklemleri boyunca akan elektronlara bağlı olarak ortaya çıkan kaybı belirler.

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_g + I_g \cdot R_s}{R_p} \quad (1.3)$$

- Hücreden akan çıkış akımı;

$$I = I_L - I_{sat} - I_p \quad (1.4)$$

Yarı iletken direncine, opak elektrod direncine ve bağlantı kayıplarından dolayı ortaya çıkan seri direnç R_s denklem (1.5) ile gösterilen gerilim düşümüne sebep olur.

$$V_g = V_d - IR_s \quad (1.5)$$

(1.2) ve (1.3) denklemleri (1.4)'te yerine konulursa;

$$I_g = I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V_g + I_g R_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1.6)$$

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

Paralel direnç R_p çok büyük olduğu için genel olarak sonsuz kabul edilir. Hücre sıcaklığı solar radyasyon yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi çevre şartlarından etkilenir. Bu faktörlerin tamamı fotovoltaik pildeki ısı transferine etki ederler. Kelvin cinsinden hücre sıcaklığı, (1.7) denklemi kullanılarak elde edilebilir[16].

$$T = 3.12 + 0.25G + 0.899T_a - 1.3w_s + 273 \quad (1.7)$$

Sıcaklığın ters saturasyon akımına etkisi, (1.8) denklemi ile gösterilebilir[16].

$$I_0 = I_{0,ref} \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left(\frac{qE_G}{nk} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right] \right) \quad (1.8)$$

Foto-akımı solar radyasyon ve fotovoltaik pil sıcaklığının bir fonksiyonudur ve (1.9) ile verilebilir[16].

$$I_{ph} = \left[I_{ph,ref} + k_i(T - T_{ref}) \right] \frac{G}{G_{ref}} \quad (1.9)$$

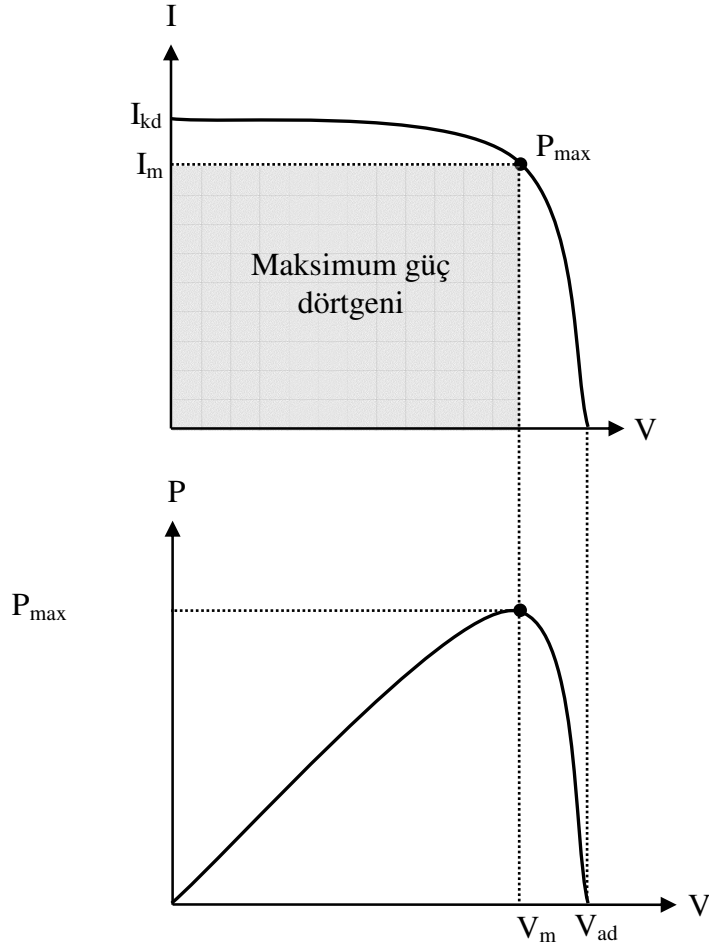
1.2.3.3. Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri

Bir fotovoltaik pilin, şekil 1.5'de görüldüğü gibi karakteristik akım-gerilim eğrisinde yüke bağlı olarak herhangi bir noktada çalıştırılması mümkündür. Eğrideki iki önemli nokta, fotovoltaik pilin elektriksel performansını belirlemede kullanılan iki parametre olan açık devre gerilimi V_{ad} ve kısa devre akımı I_{kd} 'dir. Kısa devre akımı, çıkış uçları kısa devre edilerek ve tam aydınlatma altında uç akımı ölçülerek belirlenir. Düşük seviyedeki diyot akımı ve toprağa doğru olan sızıntı akımı, sıfır uç gerilimi altında ihmal edilerek ölçülen kısa devre akımı, I_L foto-akımını verir. Kısa devre akımı I_{kd} aydınlatma seviyesi ile orantılı iken, açık devre gerilimi V_{ad} aydınlatma seviyesinin logaritması ile doğru

orantılıdır. Maksimum hücre gerilimi ise, açık devre gerilimi durumunda elde edilir. Kısa devre ve açık devre şartlarında güç sıfırdır[16,20,21].

Fotovoltaik pil, maksimum gerilim V_m ve maksimum akım I_m durumunda maksimum güç üretir. $(I_m \times V_m)$ alanının (şekil 1.5'de gösterilen taralı alan) maksimuma ulaştığı durumda maksimum güç şartı oluşur. Şekilde görülen maksimum güç dörtgeni maksimum güç noktasında üretilen güce eşittir. Doluluk faktörü $\eta_{doluluk}$ I-V eğrisinin karesel olmasıyla alakalı bir ölçüttür ve denklem (1.10) ile gösterilir[16,20].

$$\eta_{doluluk} = \frac{i_{mg} V_{mg}}{i_{kd} V_{ad}} \quad (1.10)$$



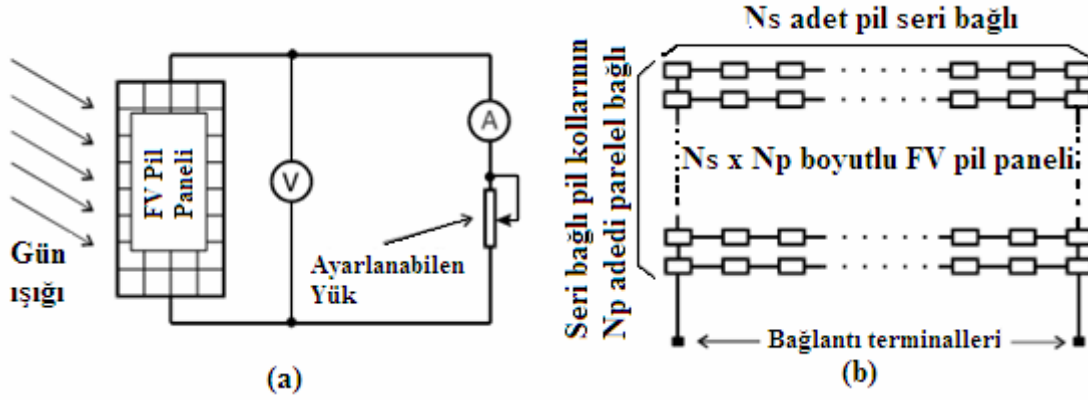
Şekil 1.5. İdeal bir fotovoltaik pilin akım gerilim (I/V) ve güç gerilim (P/V) karakteristikleri[16]

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

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

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

Bir Fotovoltaj güneş pilinin elektriksel özelliklerini belirlemek için bu pilin akım ve geriliminin yükten nasıl etkilendiğini gözlemek gerekir. Bu amaçla Şekil 1.6 (a) da verilen bağlantı kullanılabilir. Bu şekilde, FV pil paneli seri bağlı bir ampermetre üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişmelerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilerek, yük açık konumdan uçlarının kısa devre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilirse, Şekil 1.7' de verilen Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir[13].



Şekil 1.6. (a). FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması. (b). FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli.

FV güneş pili paneli oluşturulurken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda (mesela N_s adet) pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda (mesela N_p adet) kol paralel bağlanır[2,12]. Bu durum Şekil 1.6' (b) de daha açık olarak verilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 1.6' (a) da verilen FV pil paneli ve bağlantı devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu FV pil panelinin akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı I_{PANEL} , gerilimi de V_{PANEL} ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{pil} = \frac{I_{panel}}{N_p} \quad (1.11)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} \quad (1.12)$$

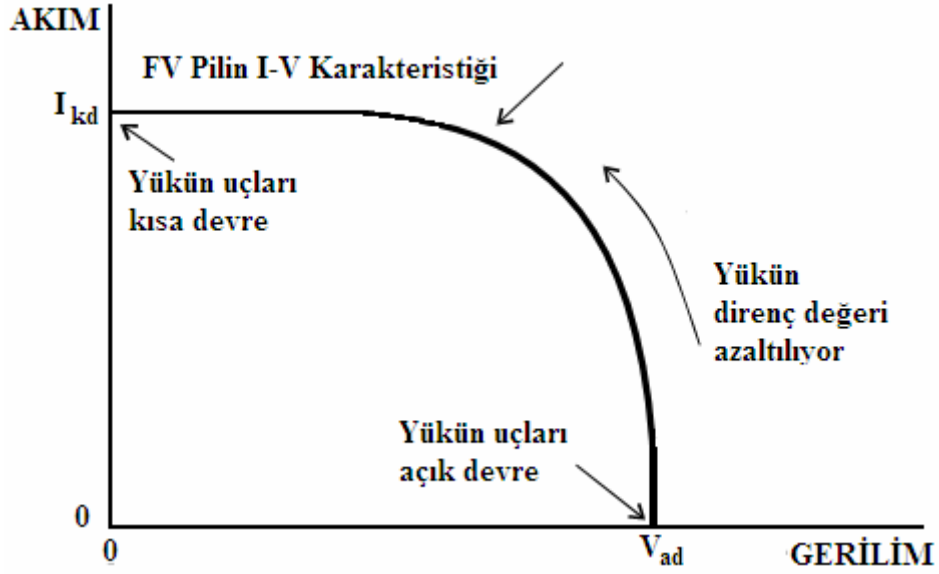
Bağlantıları kullanılarak belirlenebilir. Panelin çıkış gücü;

$$P_{Panel} = V_{Panel} \times I_{Panel} \quad (1.13)$$

Olarak elde edilirken, bir tek pilin gücünde;

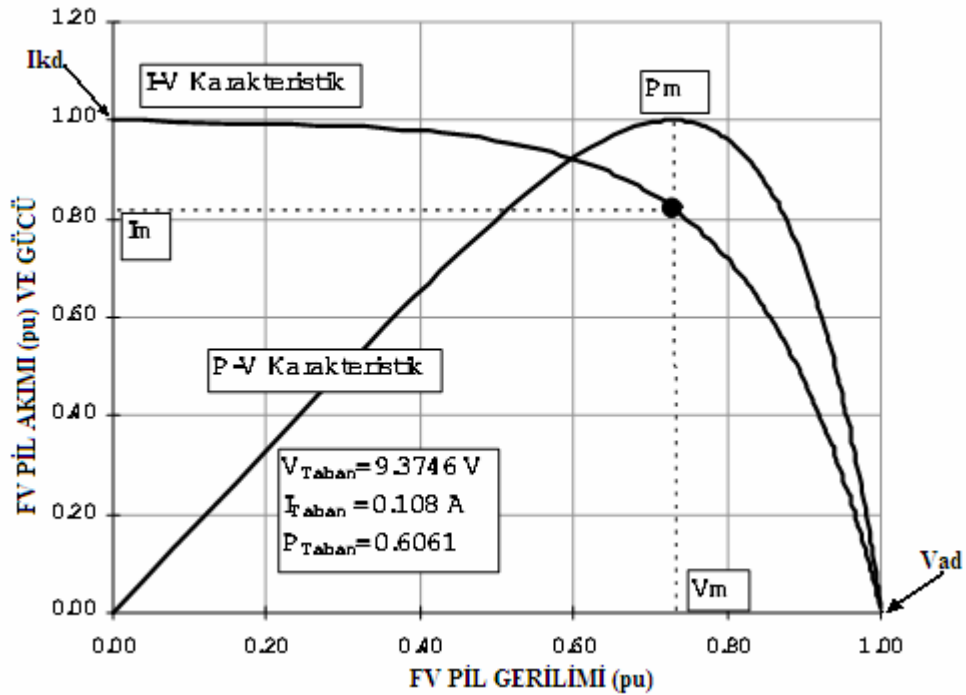
$$P_{PIL} = V_{PIL} \times I_{PIL} \quad (1.14)$$

Bağlantısı kullanılarak belirlenebilir.



Şekil 1.7. FV pil panelin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yüklerle değişimi.

Gerek yukarıda verilen denklemlerden, gerekse Şekil 1.7' den anlaşılacağı gibi, bir FV pilin ya da panelin akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır. Dolayısıyla çıkış gücünün değişimi Şekil 1.8' de görüldüğü gibi olur[13].



Şekil 1.8. FV pilin I-V ve P-V karakteristikleri.

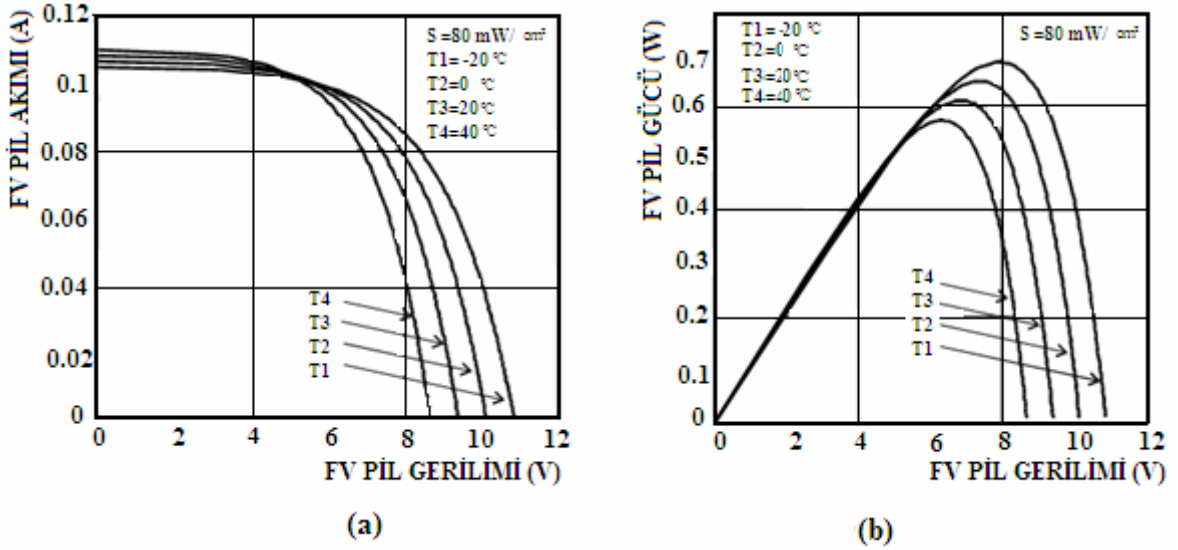
Şekil 1.8' den anlaşılacağı gibi çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır. Yukarıdaki şekilde I-V eğrisi üç önemli noktadan geçer[13].

- 1- Ikd kısa devre akımı(hücre çıkış gerilimi sıfırken)
- 2- Pm maksimum güç çıkışı (optimum güç çıkışı da denir)
- 3- Vad açık devre gerilimi(hücre çıkış akımı sıfırken)

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

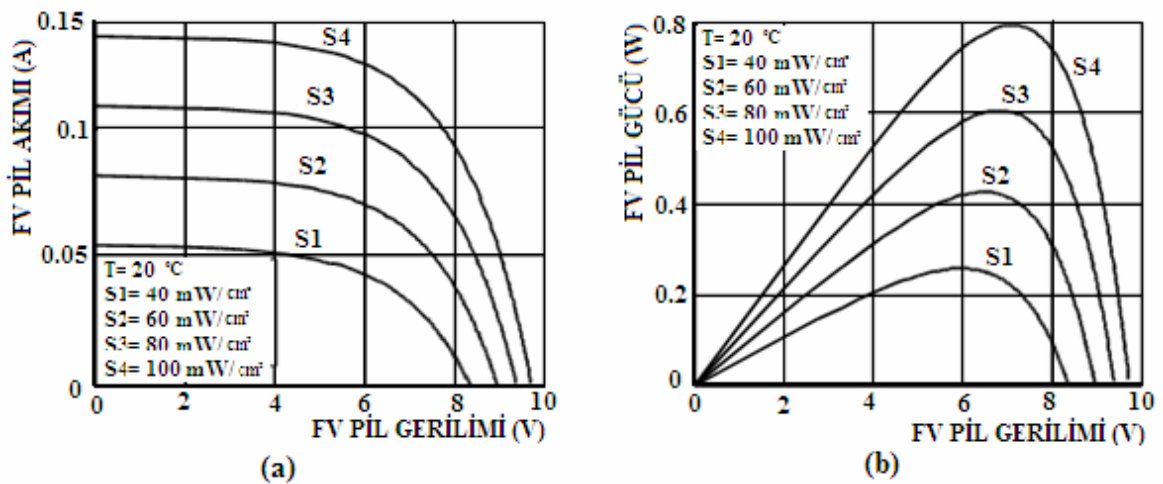
FV pilin Şekil 1.8' de verilen I-V ve P-V karakteristikleri 20 °C lik çalışma sıcaklığı ve 80 mW/cm² lik güneş ışığı şiddeti (güneş radyasyonu seviyesi) varken elde edilen karakteristiklerdir. Çalışma sıcaklığı ya da güneş ışığı şiddeti değiştikçe bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalacak şekilde akım, gerilim ve dolayısıyla güç değerleri de değişir[23,24,25].

Çalışma sıcaklığındaki değişimlerin I-V ve P-V karakteristikleri nasıl etkiledikleri Şekil 1.9 (a) ve (b) de, güneş ışığı şiddetindeki değişimlerin I-V ve P-V karakteristikleri nasıl etkiledikleri ise Şekil 1.10 (a) ve (b) de verilmiştir. Şekil 1.9 (a) dan görüleceği gibi, çalışma sıcaklığının artması FV pilin çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir[13]. Sıcaklığın artmasından akım da etkilenmektedir. Ancak sıcaklıktaki değişimin asıl etkisi pilin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüksek olması, pilin çalışma sıcaklığını da yükselteceğinden, güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine, FV piller için soğuk ortamlar daha uygundur. Benzer etki, Şekil 1.9 (b) de, FV pilin çıkış gücünde de görülmektedir. Gerilimdeki azalma doğrudan doğruya güce yansıdığından, çalışma sıcaklığındaki artış çıkış gücünü de olumsuz yönde etkiler[13].



Şekil 1.9. FV Güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi

Güneş ışığı şiddetinde meydana gelen artışlar, Şekil 1.10 (a) da verildiği gibi FV pilin çıkış akımını olumlu yönde etkilemektedir[24]. Işık şiddetinin akımda meydana getirdiği bu artış, sıcaklığın meydana getirdiği artışa göre oldukça yüksektir. Işık şiddetindeki artış hem pil çıkış akımında hem de pil çıkış geriliminde bir artışa neden olmaktadır[25]. Ancak gerilimdeki artış, akımdaki artışa göre daha küçüktür. Şekil 1.10 (b) den de görüleceği gibi, ışık şiddeti arttıkça FV pilin çıkış gücü de artmaktadır. Güçteki bu artışın kaynağı, anlaşılacağı gibi hem akımdaki hem de gerilimdeki artıştan kaynaklanmaktadır.

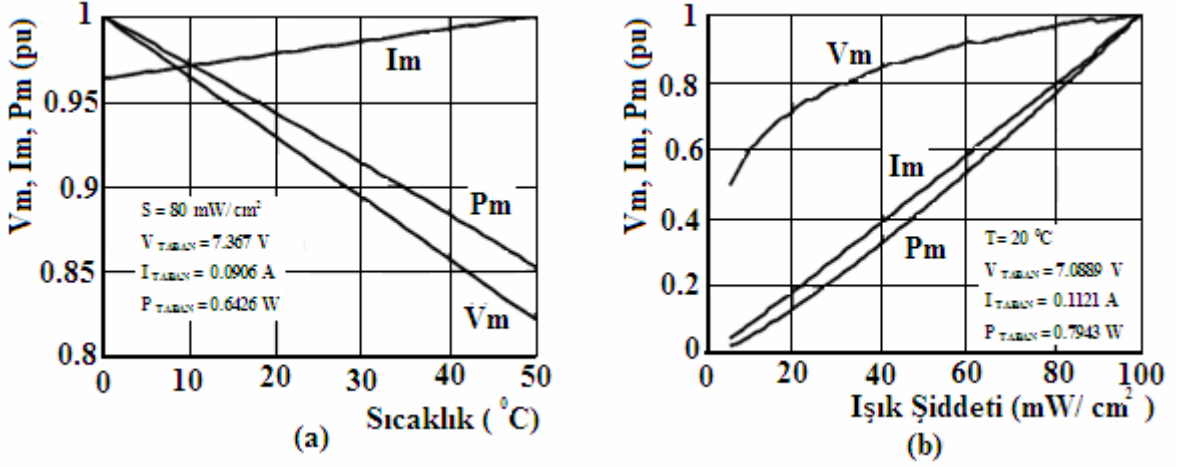


Şekil 1.10. FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi.

Verilen bu karakteristikler incelendiğinde şu sonuca varmak mümkündür: FV güneş pillerinin performansı, ışık şiddeti yüksek sıcaklığı düşük ortamlarda daha iyidir[25]. Bu sonuç Şekil 1.11' de verilen grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Bu şekilde verilen grafikler, FV pil çıkış gücünün farklı çalışma sıcaklığı ve güneş ışığı şiddetleri için elde edilen maksimum değerleri ile bu maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedirler. Görüleceği gibi çalışma sıcaklığı arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü ve P-V karakteristiğinde bu güce karşılık düşen gerilimi azaltmaktadır. Benzer şekilde, ışık şiddeti, ya da güneş radyasyonu seviyesi arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü de artmaktadır. Ancak ışık şiddeti arttıkça, maksimum çıkış gücünün yanı sıra, hem bu güce karşılık gelen pil akımı hem de pil gerilimi artar. Şekil 1.11 (a) ve (b) de FV pilin maksimum gücüne karşılık gelen akım değerlerinin sıcaklık ve ışık şiddetiyle arttığı görülmektedir. Sıcaklığın akımda meydana getirdiği bu artış oldukça az iken, ışık şiddetinin meydana getirdiği artış daha belirgindir. Maksimum çıkış gücü P_m ve bu güce karşılık gelen gerilim V_m ile akım I_m , Şekil 1.11' de birim değerler (per units - pu) türünden verilmiştir. Gerçek gerilim, akım ve güç değerleri, ilgili taban değerlere bölünerek bu pu değerler elde edilmişlerdir. Söz konusu taban değerler şekil üzerinde her bir büyüklük için ayrı ayrı verilmektedir. Bu pu değerleri gerçek değerlerine dönüştürmek için verilen ilgili taban değer ile çarpmak gerekir.

Verilen bu eğriler FV pilin imalatında kullanılan yarıiletken malzemenin türüne, sıcaklık ve ışık şiddetindeki değişimlerin miktarına göre biraz değişebilirler. Ancak genel anlamda I-V ve P-V karakteristikler Şekil 1.9, 1.10 ve 1.11 de verilen özelliklere sahiptirler.

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



Şekil 1.11. FV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının; (a). Sıcaklıkla, (b). Işık şiddetiyle değişimi.

Özetle, FV güneş pillerinin karakteristikleri incelendiğinde, akım-gerilim ya da güç-gerilim ilişkilerinin klasik doğru akım kaynaklarınıninkilere benzemediği görülür. FV pillerin bu karakteristikleri doğrusallıktan oldukça uzaktır. Öyle ki, maksimum çıkış güçleri maksimum akım ve gerilim değerlerinde değil, akım-gerilim karakteristiğinin diz bölümü civarındadır. Ayrıca FV güneş pilleri sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenmektedir. Sıcaklık arttıkça FV pilin çıkış gerilimi ve gücü azalmaktadır. Karakteristiklerin gösterdiği sonuçlara göre ışık şiddeti FV pillerin temel enerji kaynağını oluşturmaktadır[23,24,25]. Dolayısıyla soğuk ve güneşli ortamlar FV güneş pilleri için en uygun ortamlardır.

1.2.4. Performansı Arttırma Yolları

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

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

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

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

1.2.4.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler

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

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

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

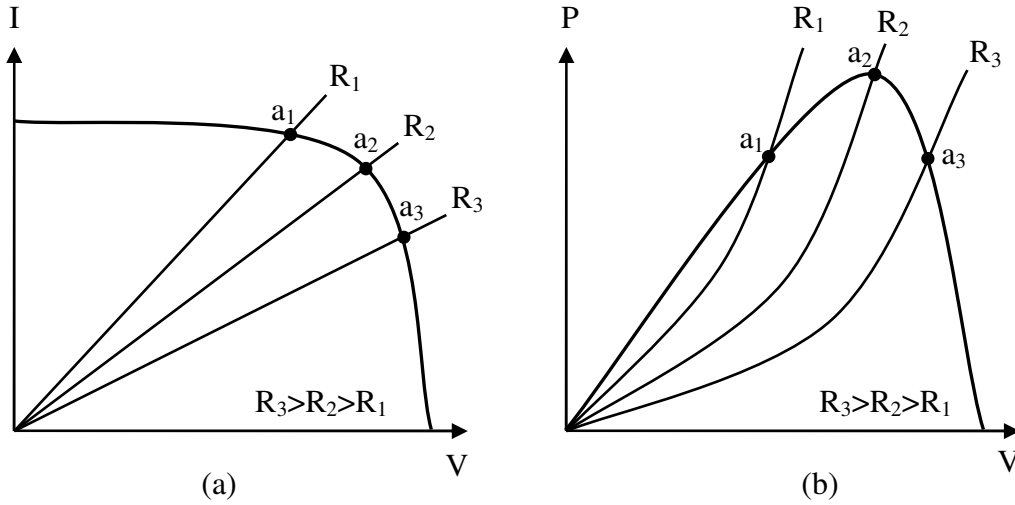
Diğer yandan, yoğunlaştırıcının kullanılmasında bazı dezavantajlar da vardır. Gereken yoğunlaştırıcı optiği, düz panel modüllerden daha pahalıdır ve çoğu yoğunlaştırıcıların gün boyu ve yıl boyunca güneşi izlemeleri gerekir. Böylece daha yüksek yoğunlaşma oranları yalnızca daha pahalı izleme mekanizmaları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

sabit yapıdaki düz panel sistemlerdekinden daha hassas doğrulukta kontrol yapılarak elde edilir.

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

1.2.4.2. Elektriksel Yük Uyumu ve Maksimum Güç Noktası İzleyici

Güç sistemlerinin çalışma noktası, kaynak eğrisi ile yük çizgisinin kesiştiği noktadır. Eğer şekil 1.12' (a)daki i-v ve p-v karakteristiklerine sahip bir PV kaynağı, R_1 dirençsel yüküne güç sağlıyor ise a_1 noktasında çalışacak, R_2 veya R_3 dirençsel yüküne güç sağlıyor ise de sırasıyla a_2 ve a_3 noktalarında çalışacaktır. Şekil 1.12' (b)de görüldüğü gibi yük direnci R_3 olduğu durumda panelden maksimum güç alınır. Bu şekilde kaynakla olan yük uyumu, PV panelden maksimum güç alınması için her zaman gereklidir[16].

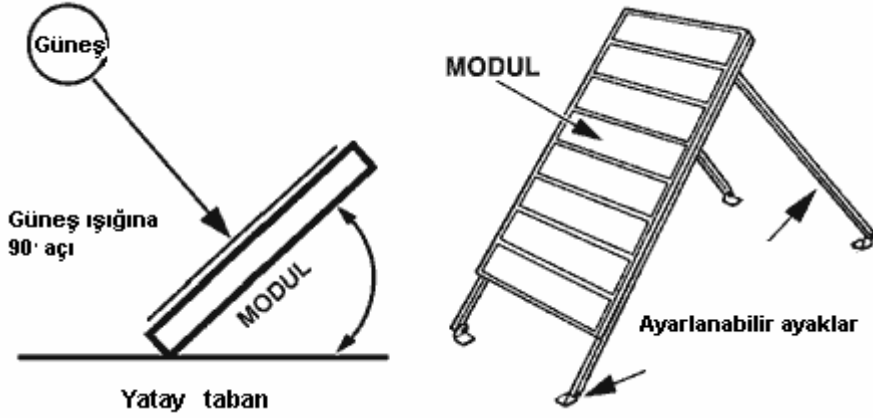


Şekil 1.12. Dirençsel yük için çalışma kararlılığı ve elektriksel yük uyumu için (a) I/V eğrisi ve yük doğruları (b) P/V eğrisi ve yük eğrileri

1.2.4.3. Güneş İzleyici Sistem

Bir güneş panelinin çıkış gücü, panele düşen ışığın miktarına bağlıdır[27,28,29]. Güneş panelleri hareket ettirerek ve güneşe yönelmelerini sağlayarak elektrik üretimleri

maksimuma getirilebilir[30]. Panelleri gelen güneş ışığına dik olarak yönelten elemanlara izleyici denir. Tek bir eksende örneğin doğu-batı ekseninde modülleri hareket ettirmekte kullanılan izleyicilerin, soğuk rüzgârlı iklimlerde izleyicinin çalışması için yeterli ısı enerjisi elde edilmesi gibi problemler oluşturmaktaydı. Daha sonraki uygulamalarda modülleri hareket ettirmek için elektrik şebekesine bağlı lineer aktuatörler olabilir. İki aktuatörden biri modülleri doğudan batıya, diğeri ise kuzeyden güneye hareket ettirmekte kullanılır[30]. Her iki aktuatör, izleyiciyi güneşe dik konumda sabit tutan bir mikro işlemci katıyla kontrol edilebilmektedir. Şekil 1.13’de temel bir güneş izleyici sistem gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.13. Temel bir güneş izleyici sistem gösterimi

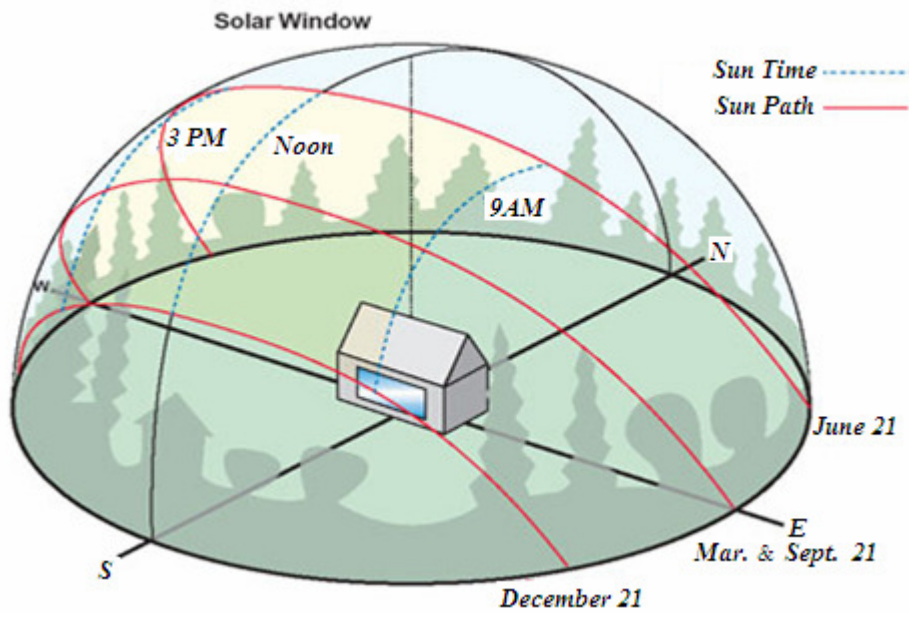
- Güneş Paneli Açıları

Güneş panelleri, güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler[11].

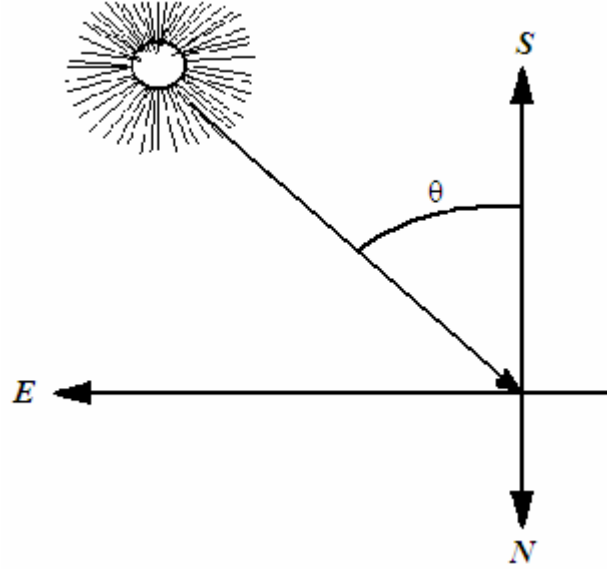
En yüksek verim, güneş ışınlarının panele dik olarak gelmesi durumunda elde edilir. Sabit durumdaki bir güneş paneline göre güneşin sürekli olarak hareket halinde olması, dünyanın hareketine bağlı olarak meydana gelen bu zahiri hareketin daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Güneşin günlük olarak doğudan batıya doğru yaptığı hareketin eksensel olarak değişimi şekil 1.14’de görülmektedir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi güneşin dünyaya ulaşan enerjisi, mevsimler ve gün içerisindeki zaman dilimlerine göre farklılık gösterir. Bu sebeple projeler tasarlanırken sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama meteorolojik bilgileri (Kapalı gün sayısı, bulutlu gün sayısı, donlu geçen gün sayısı) çok önem taşımaktadır. Bu veriler dikkate alınarak sistem tasarlanır[32].

Türkiye 42-36 kuzey enleminde yer almaktadır ve bu yüzden kışın ve yazın güneş ışığında ortalama 30° lik açı değişikliği olmaktadır. Güneş ışınları yazın 21 Haziranda en dik açı ile yere ulaşır, 21 Aralık ise açı azalarak değişim gösterir. Her iki tarihte gündüz, 12-13 saatleri esnasında güneş ışınlarına panel dik olacak şekilde ayarlamak gerekir. Aksi takdirde verim az olur. Karlı bölgelerde ise paneli kardan temizlemek gerekir. En az 6 ayda bir açı ayarı ve yüzey temizliği yapılmalıdır[31,32,33]. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket şekil 1.15' de görülmektedir.

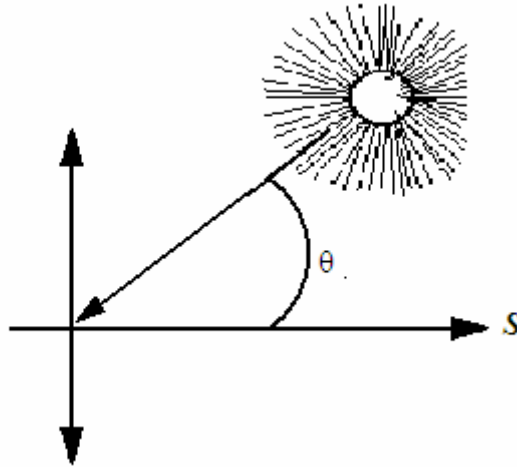


Şekil 1.14. Güneşin mevsimsel olarak değişimi [33]



Şekil 1.15. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket

Ayrıca güneşin zahiri yüksekliğinin, kış mevsiminden yaz mevsimine farklılık gösterdiği dikkate alınmalıdır. Kuzeyden güneye doğru olan bu hareketin eksensel değişimi şekil 1.16'de görülmektedir[32].



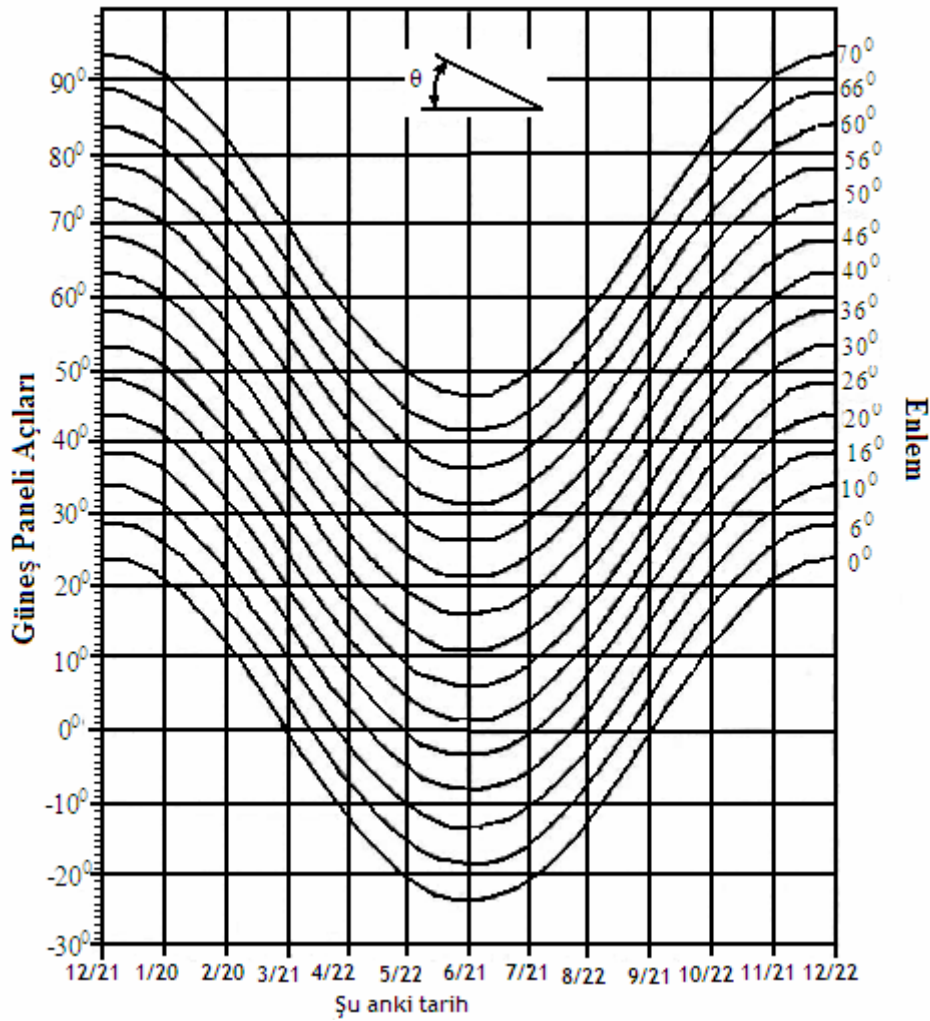
Şekil 1.16. Güneşin kuzeyden güneye doğru yaptığı zahiri hareket

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

artıracaktır[30]. Şekil 1.17' de, mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye ayarlamamın yapılışı için gerekli bilgi verilmektedir[31].

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

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



Şekil 1.17. Güneş paneli açısı tespit diyagramı

Bu hesapta iki parametre kullanılmaktadır. Bunlar bulunulan yerin enlemi ve güneş enlemidir (declination). Güneş enlemi, güneşin öğle vakti direkt yukarda olduğu enlemdir. Bu, yaz gündönümündeki (21 Haziran) $23,5^\circ$ kuzey enleminden, kış gündönümündeki (21 Aralık) $23,5^\circ$ güney enlemine kadar değişir. Güneşin ekvator eksenini üzerinde olduğu ekinoks durumlarında (21 Mart ve 21 Eylül) güneş 0° enlemedir. Herhangi bir günde, güneşin üzerinde olduğu enlemin veya şekil 3.5'de gösterilen θ açısının hesabı için denklem (3.1) kullanılabilir.

$$D=12,5^\circ \sin[(T/365,25)*360^\circ] \quad (1.15)$$

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo-1'de verilmiştir[32].

Tablo 1.1 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli[32]

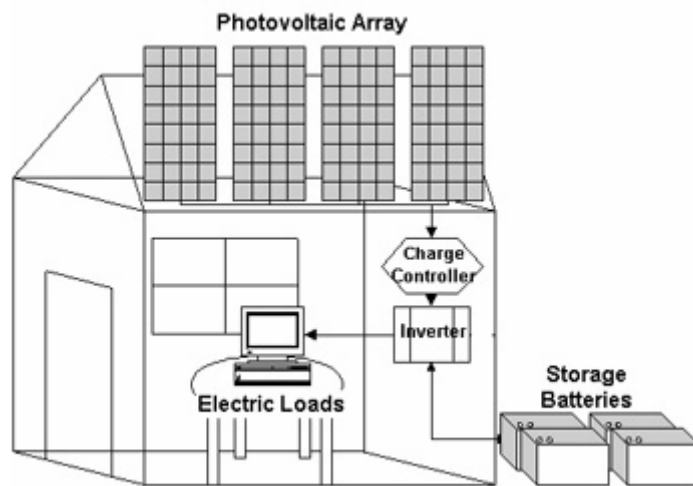
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60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

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo-2' de verilmiştir.

Tablo 1.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı[32]

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

Şekil 1.18' de fotovoltaik güneş pillerinin bina mimarisinde kullanımı gösterilmiştir. Mimaride paneller Türkiye şartları için güneye bakacak şekilde ve güneş enerjisi günün en fazla ışınım aldığı saatlerde ışığın dik geleceği şekilde yerleştirilmelidir. Coğrafi konum ve yerel meteorolojik şartlarda en büyük etkenlerdendir[9,34].

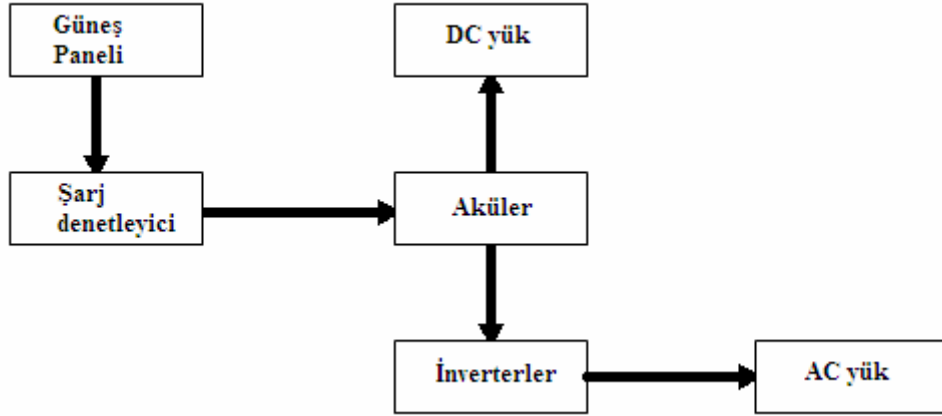


Şekil 1.18. Güneş enerjisi kullanım şeklinin bir maket üzerinde gösterimi[33].

1.2.5. Güneş Enerjisi Sistemleri

1.2.5.1. Bağımsız Sistemler

Bağımsız güneş enerjisi sistemleri, ulaşımın kolay olmadığı veya şebeke elektriğine erişimin olmadığı yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır[11]. Bağımsız sistemler, elektrik şebekesine bağlı kalmadan, enerjinin akülerde depo edilmesinin sağlandığı sistemlerdir. Bu çalışmada gerçekleştirilen sistemde de olduğu gibi tipik bir bağımsız sistem, güneş panelleri, akü ve şarj denetleyicisi içerir[35]. Ayrıca şekil 1.19' da görüldüğü gibi güneş panelleri tarafından üretilen DC gerilimin, AC gerilim şekline dönüştürülmesi için inverter de kullanılmaktadır. Güneş paneli aküyü gün boyu şarj eder ve akü, yüklere gerektiğinde güç sağlar[36]. Şarj denetleyicisi akü tam şarja eriştiğinde şarj işlemini durdurur, sigortalar ise yanlış bir çalışma veya kısa devre durumunda sistemi korurlar. Sistemdeki yükler arttıkça daha fazla güneş paneli ve daha büyük akü depo kapasitesine ihtiyaç duyulur[7,9,37].

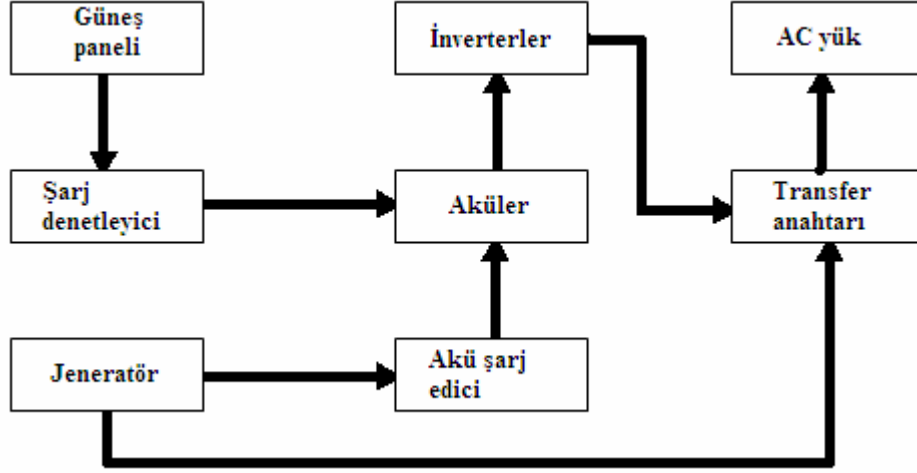


Şekil 1.19. Bağımsız güneş enerjisi sistem şeması

1.2.5.2. Güneş Paneli-Jeneratör Kombinasyonlu Sistemler

Güneş paneli sisteminin en kötü hava koşulları durumlarına göre yeterli büyüklükte oluşturulması zorunluluğu olmaması sebebiyle, güneş paneli-jeneratör kombinasyonlu sistem büyük, bağımsız güneş enerjisi sistemlerine göre ekonomik bir alternatif olabilmektedir[38]. Şekil 1.20'de de görüldüğü gibi akü şarj edici ile birleştirilmiş gaz,

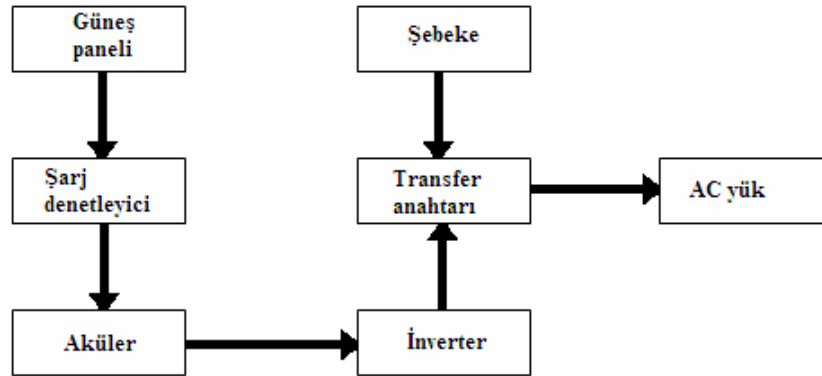
propan veya dizel bir jeneratör, güneş panellerinin yetersiz kaldığı durumlarda yükleri besleyebilir. Yedek şarj sistemi, güneş paneli büyüklüğünü azaltmasının yanında, daha küçük düzeyde akülerin kullanımına da izin vererek sistem maliyetini düşürmektedir[31].



Şekil 1.20. Güneş paneli- jeneratör kombinasyonlu sistem şeması

1.2.5.3. Şebeke Bağlantılı Sistemler

Şebeke bağlantılı sistem, şebeke bağlantısı bulunan evlerde kullanılabilir. Güneş enerjisi sistemi tarafından üretilen elektrik evin bir kısmı veya tamamına güç sağlayan bir akü biriminde depolanır[9]. Aküler yetersiz kaldığında otomatik bir transfer anahtarı evdeki yükleri şebeke gücüne bağlar(şekil 1.21). Bu tipte bir sistemle, güneş panelleri tarafından üretilmekte olan güç mevcut olmadığında şebekeden alınabilecek güç hazır olduğundan dolayı, her hangi bir büyüklükteki güneş paneli kullanılabilir[39,40]

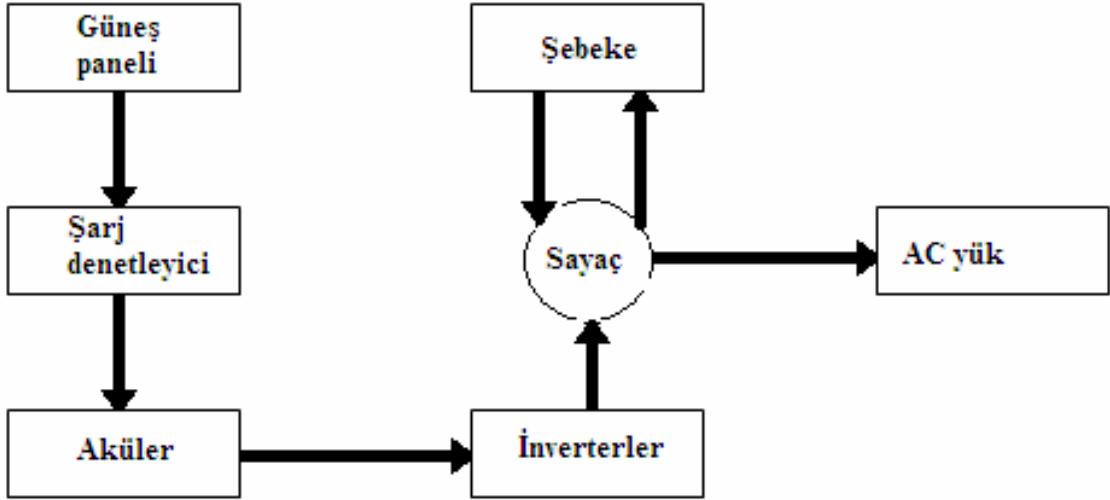


Şekil 1.21. Şebeke bağlantılı güneş enerjisi sistem şeması

Şebeke bağlantılı sistemler, şebeke ölçümüne sahip olacak şekilde de gerçekleştirilebilirler. Bu sistemlerde güç, akülerde depolanmak yerine şebekeye geri aktarılır. Güneş panelinden alınan DC gücü, elektrik şebekesi tarafından kabul edilebilecek şekilde düşük distorsiyona sahip, sinüs formunda AC güce dönüştüren özel tipte inverterlere sahiptir.

Depolama amacıyla akülere gerek duyulmaz. Güneş panelleri tarafından üretilen güç, bir sayaç boyunca şebekeye aktarılır[31].

Şekil 1.22' de ki sistemde Güneş panelinden elde edilen gerilim ve akım değerleri şarj denetleyicisi yardımıyla sistemde kullanılan akülerin şarj edilmesi için kullanılır. Aküler de depolanan enerji normal şebeke seviyesinde kullanılabilmesi için inverter sistemine aktarılır. İnverter sistemi abone arasına koyulan sayaç ile sistemden çekilen toplam enerji ölçülebilmektedir.



Şekil 1.22. Sayaca sahip şebekeye güç aktarmalı sistem şeması

1.3. Enerji Depolama Yöntemleri

Güneşten elde edilip kullanılmayan enerjiyi depo etmenin iki temel yolu vardır. Birkaç akü şarj edilebilir veya şehir şebekesine bağlantı yapılabilir.

Depolamanın en genel metodu akülerin şarj edilmesidir. Akülerin gerilimi, şarj edildikleri güneş panelinin yaklaşık %80'i seviyesinde olmalıdır. Bu, şarj işlemi kolaylaştırmak içindir. Şebeke depolaması ise güneş enerjisi için yeni bir fikirdir. Buradaki temel fikir, güneş panelinde üretilen enerjinin kullanılmadığı zaman için iletim hatlarından şehir şebekesi boyunca geri aktarılmasıdır. Bu işlem, akü kullanma gereksinimini ortadan kaldırdığı, tasarruf sağladığı ve bakım gereksinimi ortadan kaldırdığı için avantajlıdır.[41,42]]

1.3.1. Akülerin Sınıflandırılması

Enerjinin depolanması ve dönüşümü için bugüne çok çeşitli tiplerde aküler bulunmaktadır. Tüm aküler, kimyasal reaksiyon yoluyla veya fiziksel reaksiyonla enerjiyi elektrik akımına dönüştüren elemanlar olarak tanımlanırlar ve kimyasal aküler ve fiziksel enerji aküleri olarak sınıflandırılırlar[42].

Tablo 1.3'de şu anda pratik uygulamalarda kullanılan akülerin, kimyasal aküler ve fiziksel aküler olmak üzere sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 1.3. Pratik uygulamalarda kullanılan aküler[43,44].

AKÜLER	
Kimyasal Aküler	Fiziksel Enerji Aküleri
<i>Birincil Aküler</i> Karbon-Çinko Kuru Hücre Lityum Akü Cıva-Oksit Akü <i>İkincil Aküler</i> Kurşun-Asit Aküler Nikel-Hidrojen Aküler Lityum İkincil Aküler <i>Diğerleri</i> Yakıt Hücre	Güneş Hücresi Nükleer Enerji Termal Akü

1.3.2. Akülerin Denetlenmesi

1.3.2.1. Ters Yönde Akım Akışının Engellenmesi

Güneş panelleri akımı akü boyunca bir yönde akıtacak şekilde çalışırlar. Geceleyin paneller akülerde küçük bir deşarj oluşturacak şekilde ters yönde küçük bir akım geçirebilirler. Burada kayıplar küçük olmasına rağmen engellenmesi kolaydır[31].

Çoğu denetleyicide şarj akımı, akımı kontrol etmekte kullanılan bir valf gibi çalışan bir yarı iletken boyunca akar. Bu şekilde ekstra bir emeğe veya maliyete gerek kalmadan ters yön akımı önlenir. Bazı denetleyicilerde ise bu amaç için röle kullanılır.

1.3.2.2. Aşırı Şarjın Önlenmesi (Şarj Denetleyicileri)

Bir şarj denetleyicisi, güç kaynağı ister güneş enerjisi olsun ister rüzgâr, hidro, yakıt veya şebeke gerilimi olsun akülerin şarj edildiği tüm güç sistemlerinin önemli bir kısmıdır. Akülerin uygun şekilde beslenmesini ve uzun vadede güvenli tutulmalarını sağlar[31].

Şarj denetleyicilerinin temel amacı ters yönde akımı önlemek ve akünün aşırı şekilde şarj olmasına mani olmaktır. Ayrıca bazı denetleyiciler akülerin aşırı şarjını önleyip, elektriksel aşırı yükten korur, akü durumunu ve güç akışını gösterirler.

Bir akü tam şarja ulaştığında artık gelen enerjiyi depo etmez. Enerji verilmeye devam ederse akü gerilimi çok fazla yükselir. Su hidrojen ve oksijen bileşenlerine ayrılır. Ayrıca aşırı gerilim yüklere de zarar verebilir[31].

Aşırı gerilimin önlenmesi, akü belirli bir gerilime ulaştığında aküye enerji akışını azaltılmasıdır. Güneş ışığının azalması veya elektrik kullanımındaki bir artıştan dolayı gerilimde düşme olduğunda denetleyici tekrar maksimum mümkün şarja izin verir.

Bazı denetleyiciler, aküye enerji akışını akımı tamamıyla açıp kapayarak yaparlar. Buna on/off kontrol denir. Diğerleri akımı yavaş yavaş azaltarak darbe genişlik modülasyonu (PWM) işlemini gerçekleştirirler. Her iki metot da akü tipine uygun şekilde doğru gerilim ayar noktalarında iyi şekilde çalışır.

Denetleyicinin şarj durumunu değiştirdiği gerilimlere ayar noktaları denir. İdeal ayar noktaları bulunurken hızlı şekilde şarj etmekle, akünün az miktarda aşırı şarj edilmesi arasında karar verilmelidir. Ayrıca ideal ayar noktaları akü ısıyla da değişir. Bazı denetleyiciler ısı kompanzasyonu özelliğine sahiptirler.

Denetleyici düşük bir akü sıcaklığı algılandığında ayar noktasını yükseltir. Aksi halde akü soğukken şarjı hızlı şekilde düşer. Bu tip denetleyici, sıcaklığın akünününe yakın olduğu bir yerde tutulmalıdır.

Bakım gerektirmeyen sızdırmaz tip kursun-asit aküleri aşırı deşarjlara karşı çok hassastırlar. Bu nedenle aşırı deşarjlar akü kapasitesinde kalıcı performans düşüklüklerine neden olur. Bu ise daha kısa ömür demektir. Kullanılmış akü hemen şarj edilmeden bırakılırsa aynı durumun meydana gelmesi söz konusudur. Ancak günümüzde bilinen belli başlı üreticiler tarafından, gelişmiş teknoloji ve üstün özelliklere sahip malzemelerle üretilen aküler optimum malzeme kompozisyonuna sahip olduklarından akünün kullanıldıktan sonra birkaç gün süresince deşarjlı olarak kalmasının olumsuz etkisi giderilmiştir. Bununla birlikte, akünün deşarjlı olarak bırakılmasından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır[31].

1.3.2.3. Kontrol Ayar Noktaları

Şarj kontrolü için ideal ayar noktaları akü tasarımına bağlıdır. Çoğu yenilenebilir enerji sistemi kuru veya sulu tip kurşun asit aküler kullanmaktadır[31].

1.3.2.4. Düşük Gerilimde Bağlantı Kesimi

Yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan aküler, maksimum %80 düzeyinde deşarj olacak şekilde tasarlanmıştır. %100 deşarj olursa hemen zarar görürler. Aşırı deşarj önlemenin tek yolu yükleri devreden çıkarmak ve gerilim, belli bir süre şarjdan sonra uygun konumuna geldiğinde tekrar devreye almaktır. Aşırı deşarj yaklaşırken 12 Volt'luk bir akünün gerilimi 11 Volt'un altına düşer[31]

1.3.2.5. Aşırı Yük Koruması

Bir devreden geçen akım, güvenli şekilde dayanabileceği değerin üzerine çıkarsa aşırı yüklenmiştir. Bu, aşırı ısınmaya ve hatta yangın riskine neden olabilir. Aşırı yük, hatlarda oluşan bir hata (kısa devre) veya hatalı bir cihazdan dolayı oluşabilir. Bazı şarj denetleyicileri aşırı yük korumasına sahiptir. Çoğu sistem sigorta veya devre kesiciler şeklinde ek korumaya sahiptir[31].

1.3.3. Akü Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar[45]

Bakım gerektirmeyen sızdırmaz tip kursun-asit aküleri küçük ve hafiftirler. Yüksek performansa sahip olduklarından kullanımları çok ekonomiktir. Tam sızdırmaz ve bakım gerektirmez yapılarından dolayı içerisine su veya elektrolit ilavesine gerek yoktur. Bu akülerin yapıları, tampon şarj ve çevrimli (sürekli olarak şarj - desarj) kullanımlar için tasarlanmış olduklarından ana ve acil enerji kaynağı olarak kullanım için çok uygundur. Çevrimli kullanımlarda 100% desarjda 250 çevrim (bir çevrim, şarjı takip eden tam deşarjdan ibarettir), tampon şarj kullanımlarında ise 3 - 5 yıllık ömür elde edilebilir. Bu aküler, portatif el aletlerinde, kameralarda, ölçme cihazlarında, v.b. olduğu gibi portatif televizyonlarda da yüksek performanslı enerji kaynağı olarak çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tampon şarj uygulamalarında güvenlik sistemleri, acil aydınlatma, bilgisayar ve kontrol cihazları gibi geniş kullanım alanları mevcuttur.

Akülerin kullanımında dikkat edilecek başlıca hususlar;

1. Akü açık alevlere ve çok ısınmış nesnelere yaklaştırılmaz.
2. Akü çıkış uçları kesinlikle kısa devre edilmez.
3. Aküyü açma, sökme veya açılmış aküyü tekrar kapatmaya çalışmak oldukça sakıncalıdır.
4. Akünün kırılması, çatlaması gibi herhangi bir nedenle üzerinize elektrolitik sıçraması halinde temas yeri çabucak bol su ile yıkanmalıdır. Elektrolitin göz veya açık yaralarla teması halinde, temas yeri çok çabuk bol su ile yıkanarak çok acil doktora gidilir.
5. Akü kullanıldıktan sonra şarj edilir.
6. Akü çok uzun süre kullanılmayacaksa serin yerde muhafaza edilir ve her 6 ayda bir şarj edilir.
7. Aküde kırık, deformasyon veya çatlak var ise akü derhal yenisi ile değiştirilir.
8. Aküyü kullanmadan önce kullanım kılavuzu okunur.

1.4. İnverterler

İnverterlerin fonksiyonu, DC giriş gerilimi istenen genlik ve frekansta simetrik bir AC çıkış gerilimine dönüştürmektedir[31]. Çıkış gerilimi sabitlenir veya sabit veya değişken bir frekansta değiştirilebilir. Değişken çıkış gerilimi, giriş DC gerilimi değiştirilerek ve inverter kazancı kullanılarak elde edilebilir. Diğer yandan eğer DC giriş gerilimi sabitse ve kontrol edilmiyorsa, değişken bir çıkış gerilimi, inverter kazancı değiştirilerek elde edilebilir. Bu, inverter içerisinde Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) uygulanarak sağlanabilir. İnverter kazancı, AC çıkış geriliminin DC giriş gerilimine oranı belirlenerek elde edilir[31,46,47].

İdeal inverterlerin çıkış gerilimi dalga şekilleri sinüzoidal olmalıdır. Ancak pratikteki inverterlerin dalga şekilleri sinüzoidal değildir ve belirli harmoniklere sahiptirler. Düşük ve orta güç uygulamaları için, kare dalga veya yarı kare dalga gerilimler kabul edilebilir. Yüksek güç uygulamaları içinse düşük distorsiyonlu sinüzoidal dalga şekilleri gereklidir. Yüksek hız güç yarı iletken elemanları ile çıkış geriliminin harmonik içeriği en aza indirilir veya anahtarlama teknikleri ile büyük oranda düşürülür.

İnverterler değişken hızlı AC motor sürücülere, endüksiyonla ısıtma, kesintisiz güç kaynakları gibi çok geniş endüstriyel uygulama alanlarına sahiptir. Girişte bir akü, yakıt hücresi, güneş paneli veya başka bir DC kaynak olabilir[47]

İnverterleri tek fazlı inverterler ve üç fazlı inverterler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Tristör komütasyonlarına göre her tip dört kategoriye ayrılabilir. (a) PWM inverter (b) Rezonans inverter (c) yardımcı komütasyonlu inverter (d) Tamamlayıcı komütasyonlu inverter. Eğer bir inverterin giriş gerilimi sabit tutuluyorsa gerilim beslemeli inverter, giriş akımı sabit tutuluyorsa akım beslemeli inverter ve giriş gerilimi kontrol ediliyorsa değişken DC gerilimli inverter olarak adlandırılır.

1.4.1. Tek Fazlı İnverterlerin Gerilim Kontrolü

Çoğu endüstriyel uygulamada, DC giriş gerilimi değişimlerine karşılık vermek, inverterlerin gerilim regülasyonunu sağlamak ve sabit gerilim/ frekans kontrol gereksinimi için inverterlerin çıkış gerilimini kontrol etmek gerekir[48]. Kazanç kontrolünün en etkili metodu, inverterlerde darbe genişlik modülasyonunun uygulanmasıdır. En yaygın olarak kullanılan teknikler şunlardır[46,47];

1. Tek darbeleri PWM
2. Çok darbeleri PWM
3. Sünisoidal PWM
4. Değiştirilmiş sinüsoidal PWM
5. Faz değiştirmeli kontrol

1.4.1.1. Tek Darbeleri PWM

Tek darbeleri PWM kontrolünde her yarım periyotta sadece bir darbe vardır ve darbenin genişliği inverter çıkış gerilimini kontrol etmek için değiştirilir[47,48]. Şekil 1.23’ de kapı sinyallerinin üretilmesini ve tek fazlı tam köprü inverter çıkış gerilileri görülmektedir. Kapı sinyalleri, A_r genliğindeki dikdörtgen bir referans sinyalin, A_c genliğinde bir üçgen taşıyıcı dalga ile karşılaştırılması ile elde edilir. Taşıyıcı dalganın frekansı çıkış geriliminin temel frekansını belirler. A_r ’ nin 0 dan A_c ’ ye kadar değiştirilmesiyle, δ darbe genişliği 0° dan 180° ye kadar değiştirilebilir. A_r ’ nin A_c ’ ye oranı kontrol değişkeni olup “Modülasyon Faktörü” olarak tanımlanır ve[31,41,42];

$$M = \frac{A_c}{A_r} \quad (1.16)$$

denklemleriyle verilir.

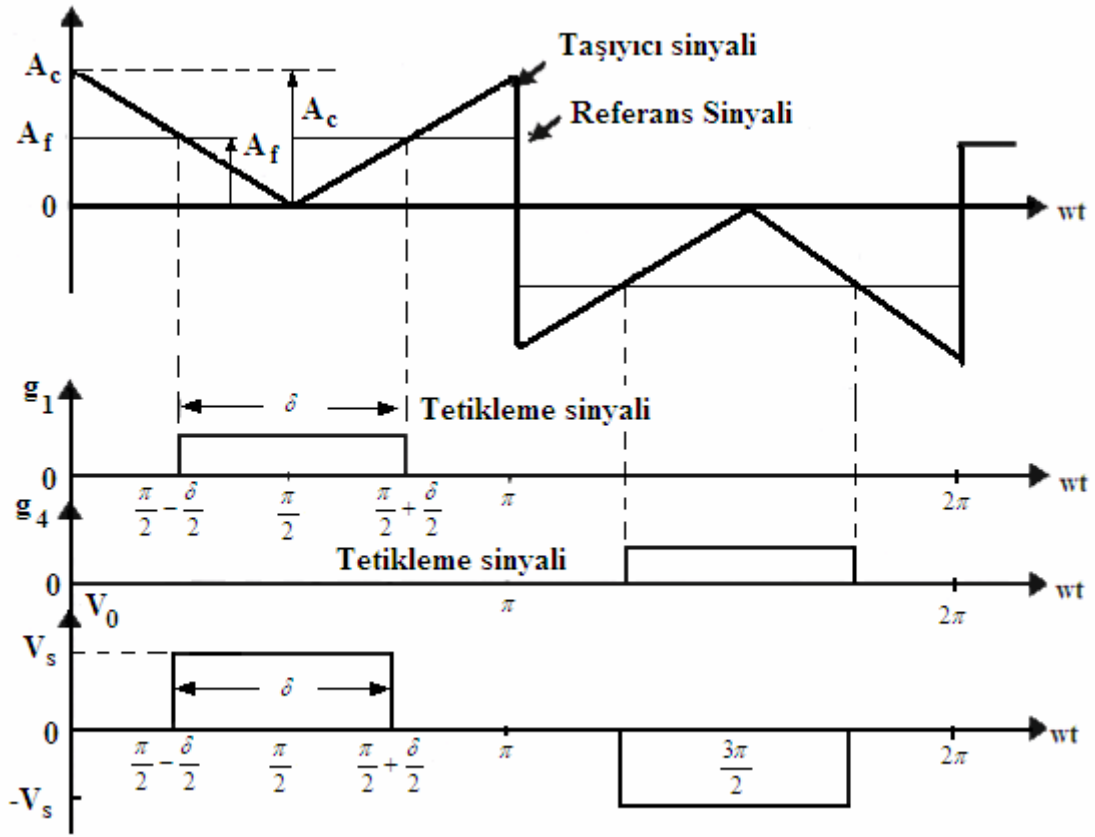
Çıkış geriliminin efektif değeri,

$$V_0 = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \quad (1.17)$$

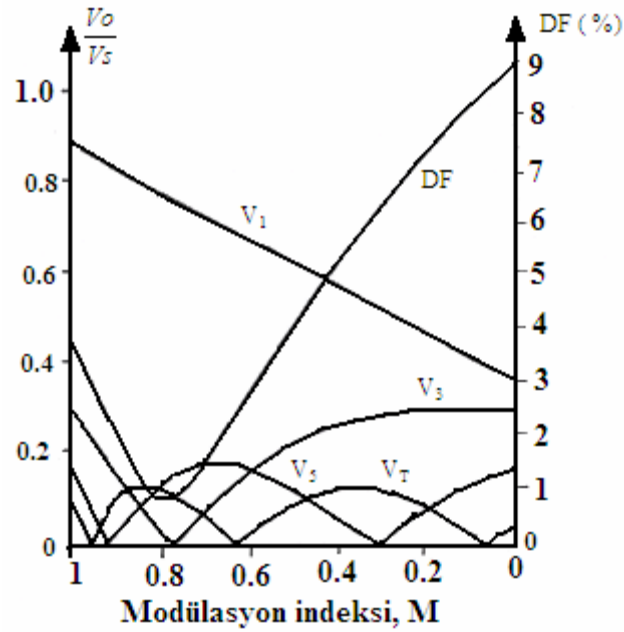
Olarak ve çıkış geriliminin Fourier serisi ise,

$$v_0(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\omega t \quad (1.18)$$

denklemleriyle ifade edilebilir.



Şekil 1.23. Tek darbeleri darbe genişlik modülasyonu



Şekil 1.24. Tek darbeleri PWM' in harmonik profili

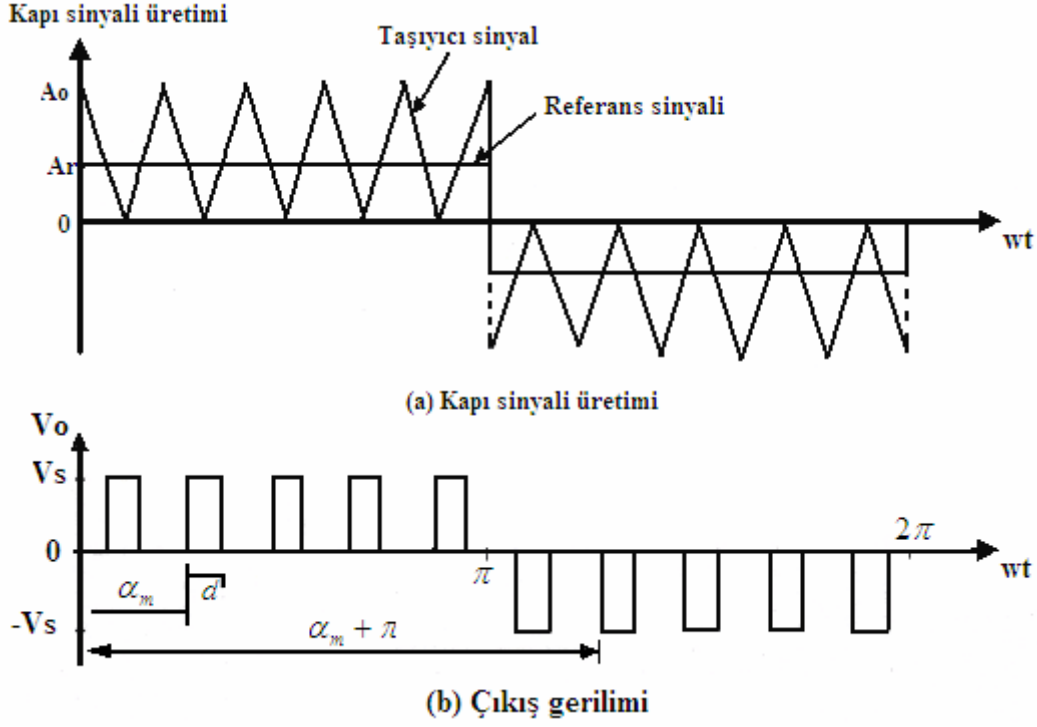
Şekil 1.24' de modülasyon faktörü M' in değişimine bağlı olarak harmonik profili gösterilmektedir[48]. Burada baskın harmonik üçüncü harmoniktir ve distorsiyon faktörü düşük bir çıkış geriliminde belirgin bir artış sağlamaktadır.

1.4.1.2. Çok Darbeli PWM

Harmonik bileşeni çıkış geriliminin her yarım periyodunda birkaç darbe kullanılarak azaltılabilir. Transistörlerin iletim ve kesime götürülmesi için kapı sinyallerinin üretilmesi şekil 1.25' (a) da görüldüğü gibi referans bir sinyalin üçgen taşıyıcı dalgayla karşılaştırılmasıyla elde edilir[48,49]. Referans sinyalin frekansı çıkış frekansı f_0' ı belirler ve taşıyıcı frekansı f_c her yarım periyottaki dalgaların sayısı p 'yi belirler. Modülasyon Faktörü, çıkış gerilimini kontrol eder. Her yarım periyottaki darbe sayısı şu şekilde bulunur[31];

$$P = \frac{f_c}{2f_0} \quad (1.19)$$

Modülasyon faktörü M' in 0' dan 1' e değişmesi, darbe genişliğinin 0' dan π/p ' ye ve çıkış geriliminin 0' dan V_s ' ye değişmesini sağlar. Tek fazlı köprü inverter için çıkış gerilimi şekil 1.25' (b) de görülmektedir[31,41,42].



Şekil 1.25. Çok darbeleri PWM

δ her darbenin genişliği olduğuna göre, çıkış geriliminin efektif değeri (1.20) denklemi ile bulunur.

$$V_0 = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \quad (1.20)$$

Ani çıkış gerilimi için Fourier serisinin genel formu (1.21) denklemiyle verilmektedir.

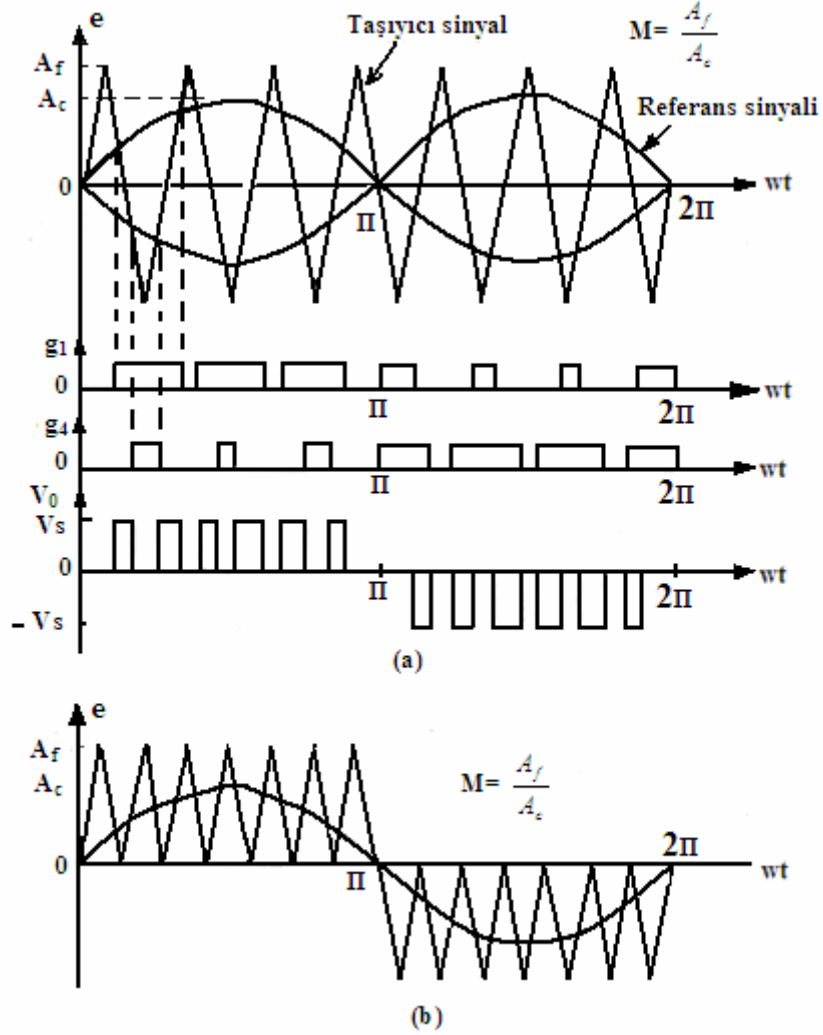
$$v_0(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) \quad (1.21)$$

1.4.1.3. Sinüzoidal PWM

Çok darbeleri PWM' de olduğu gibi tüm darbelerin genişliğinin aynı tutulması yerine, her darbenin genişliği bir sinüs dalgasının genliğiyle orantılı olarak değiştirilir[48]. Distorsiyon faktörü ve düşük dereceli harmonikler önemli ölçüde azaltılmıştır. Şekil 1.26'

da gösterilen kapı sinyalleri sinüzoidal bir referans sinyalinin f_c frekanslı üçgen bir taşıyıcı dalga ile karşılaştırılmasıyla üretilir. Bu tip modülasyon endüstriyel uygulamalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Referans sinyalin frekansı f_r , inverter çıkış frekansı f_0 'ı belirlerken tepe genliği A_r , modülasyon faktörü M ' i ve efektif çıkış gerilimi V_0 ' ı kontrol eder. Her yarım periyottaki darbelerin sayısı taşıyıcı frekansına bağlıdır[31,48].

Aynı koldaki iki transistorün aynı anda iletme geçemeyeceği durumu göz önünde tutularak, ani çıkış gerilimi şekil 1.26' (a) da gösterilmektedir. Şekil 1.26' (b) de ise tek kutuplu taşıyıcı üçgen dalga kullanılarak üretilen kapı sinyalleri gösterilmektedir[31].



Şekil 1.26. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu

Referans sinyalin frekansının taşıyıcı sinyal frekansına oranıyla bulunan frekans modülasyonu faktörü m_f ' in seçiminde, anahtarlama frekansı da göz önüne alınması gereken bir noktadır. Yüksek frekanslarda harmonik gerilimlerin filtrelenmesi daha kolay

olduğundan, yüksek bir anahtarlama frekansı istenebilir. Bu durum için önemli bir dezavantaj, inverterdeki anahtarlama kayıplarının anahtarlama frekansı f_s ile orantılı olarak artmasıdır. Bu yüzden çoğu uygulamada, anahtarlama frekansı 6 KHz' den küçük veya duyulabilir aralığın üzerinde 20 KHz' den yüksek seçilir. Eğer en uygun anahtarlama frekansı (tüm sistem frekansına bağlı olarak) 6-20 KHz aralığında bir yerde ise bunu 20 KHz' e arttırmanın verdiği dezavantaj, 20 KHz veya üzerinde bir duyulabilir gürültünün olmamasının getireceği avantajın yanında önemli olmayacaktır. Bu şekilde , AC Motor sürücüleri gibi, 50 veya 60 Hz'lik uygulamalarda, 2 KHz'in altındaki anahtarlama frekansları için frekans modülasyonu oranı m_f değeri, 100'den daha büyük olur[50]. Üçgen dalga sinyali ve kontrol gerilim sinyali arasında istenen ilişkiler m_f ' in büyüklüğüne göre belirlenir. Burada göz önüne alınan durumda, $m_f < 21$ ve $m_f > 21$ koşulları sınır değerler olarak alınmaktadır. Modülasyon Faktörü $M < 1$ olarak kabul edilmiştir[31,49,50].

- Küçük m_f ($m_f \leq 21$)

Senkron PWM. Küçük m_f değerleri için üçgen dalga sinyali ve kontrol sinyali birbirine senkronize olacaktır. Bu senkron PWM, m_f ' in bir tam sayı olmasını gerektirir. Senkron PWM kullanılmasının sebebi, m_f 'in tam sayı olmadığı asenkron PWM' in çoğu uygulamada hiç istenmeyen temel frekansın alt harmoniklerine sebep elmasıdır. Bu, üçgen dalganın frekansının istenen inverter frekansıyla değiştiğini belirtmektedir.

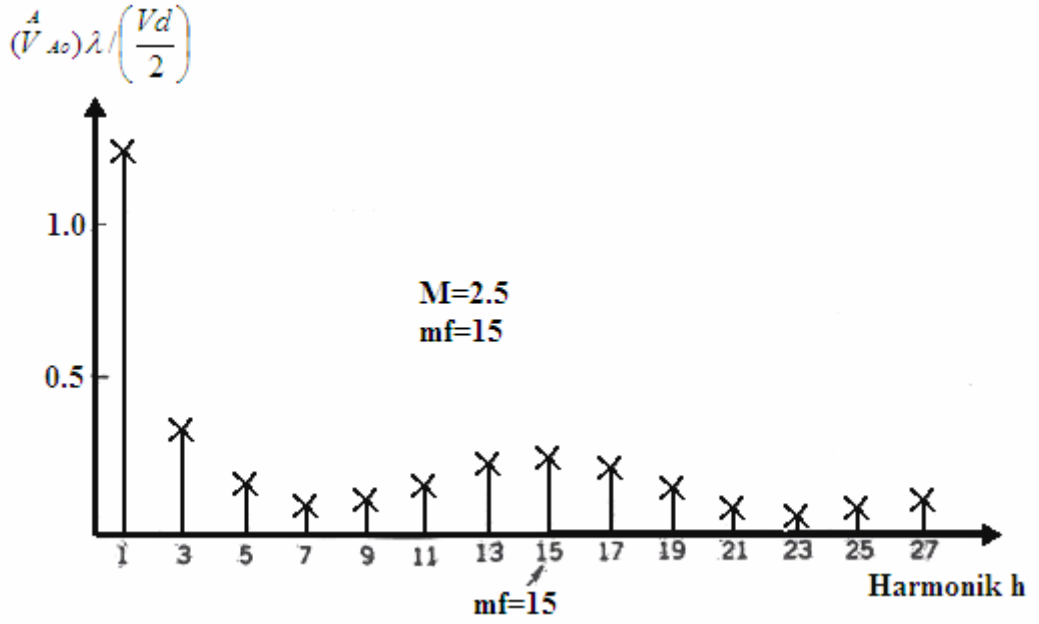
- Büyük m_f ($m_f > 21$)

Asenkron PWM'e bağlı olarak gerilim harmonikleri, büyük m_f değerlerinde küçüktür. Bu yüzden, büyük m_f değerlerinde, üçgen dalga frekansı sabit tutulduğunda asenkron PWM kullanılabilir. Bununla beraber inverter, AC Motor gibi bir yükü besliyorsa, sıfırda veya sıfıra yakın frekanslardaki alt harmonikler, genlik olarak küçük olsa da, hiç istenmeyen büyük akımlara sebep olacaktır. Bu yüzden, asenkron PWM' den kaçınılmalıdır.

- Aşırı Modülasyon ($M > 1.0$)

Önceki kısımda lineer aralıkta bir sinüzoidal PWM'e karşılık gelecek şekilde $M \leq 1.0$ olarak kabul edildi. Bu şekilde, temel frekansın genliği M ile lineer olarak değişmektedir. $M \leq 1.0$ olduğu bu aralıkta PWM, harmoniklerin ve bileşenlerinin anahtarlama frekansı civarında yüksek bir frekansta olmaya zorlar. Lineer aralıktaki bir sinüzoidal PWM' in bu istenen özelliğine rağmen, önemli bir dezavantaj temel frekans bileşeninin maksimum genliğinin istenildiği kadar büyük olmamasıdır.

Çıkış geriliminin temel frekans bileşeninin genliğini artırmak için M, 1.0 değerinin üzerine artırılarak aşırı modülasyon durumu oluşturulabilir. Aşırı modülasyon çıkış geriliminin, şekil 1.27' de gösterildiği gibi, lineer aralıkla karşılaştırıldığında yan bantlarda bir çok harmonik içermesine neden olur. Lineer aralıktaki baskın genliğe sahip harmonikler aşırı modülasyon durumunda baskın olmayabilecektir. Daha belirgin şekilde, aşırı modülasyonla, temel frekans bileşeninin genliği, Genlik Modülasyon Oranı M ile lineer olarak değişmez[31,49,50].



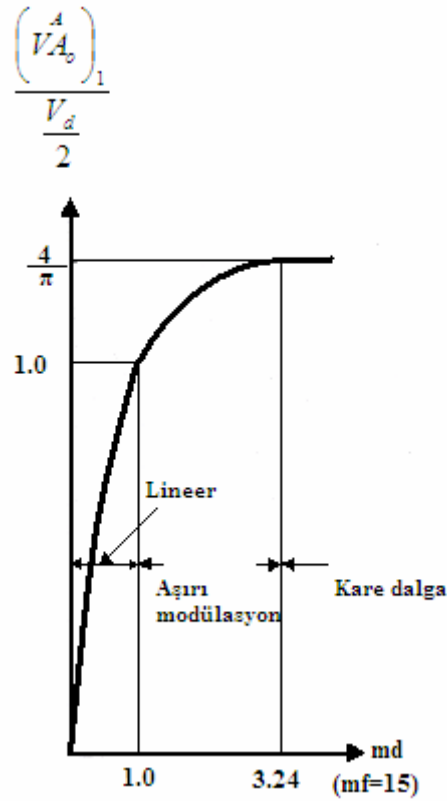
Şekil 1.27. Aşırı modülasyona bağlı olan harmonikler; M = 2,5 ve $m_f=15$ için çizilmiştir

Şekil 1.20' de, temel frekans bileşeni $(V_{a0})_1 / 1/2 \cdot V_d$ ' nin normalize tepe genliği, M' in bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. m_f ' in oldukça büyük değerlerinde bile $(V_{a0})_1 / 1/2 \cdot V_d$ aşırı modülasyon bölgesinde m_f ' e bağlı kalmaktadır. Bu, $m_f > 9$ için m_f ' den bağımsız şekilde, $(V_{a0})_1 / 1/2 \cdot V_d$ ' nin M ile lineer olarak değiştiği lineer aralık için zıt şekildedir.

Aşırı modülasyon ile m_f ' in değerinden bağımsız olarak, senkron PWM çalışması kullanılarak, küçük m_f değeri için belirtilen gereksinimler karşılanabilmektedir[48].

Yeterince büyük M değerleri için, inverter gerilim dalga şekli dalga genişlik modüleli dalga şeklinden kare dalgaya doğru bozulmaya uğrar. Şekil 1.28' den M > 1 için aşırı modülasyon bölgesinde (1.22) denklemiyle verilen sonuca varılabilir.

$$V_d/2 < (V_{A0})_1 < 4/\pi \cdot V_d/2 \quad (1.22)$$



Şekil 1.28. M değişimi ile gerilim kontrolü

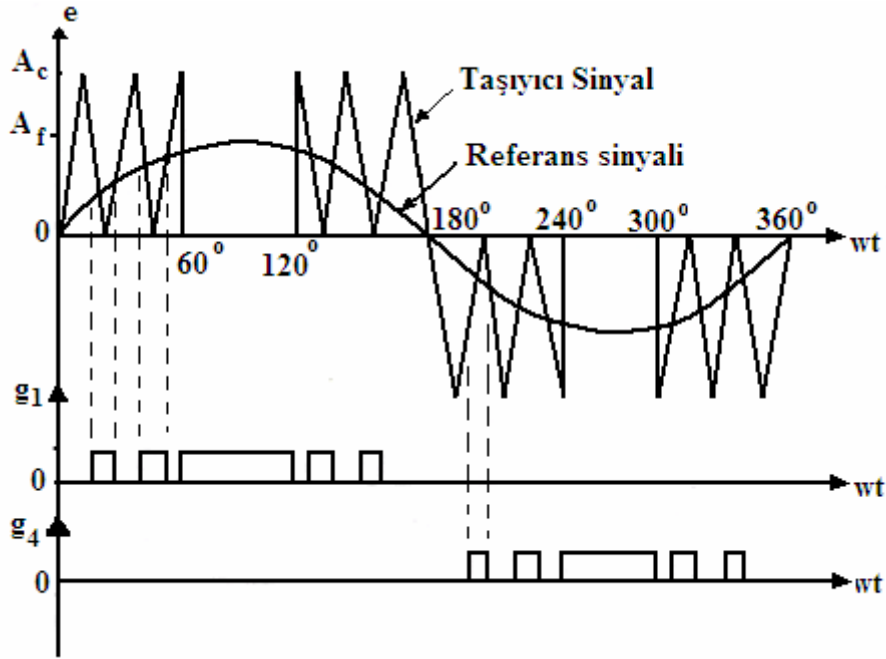
Efektif çıkış gerilim modülasyon faktörü M' in 0' dan 1' e değişimiyle 0 ile V_s arasında değiştirilebilir. Eğer δm m' nci darbenin genişliği ise (1.23) denklemi efektif çıkış gerilimini bulmakta kullanılabilir.

$$V_0 = V_s \left(\sum_{m=1}^p \frac{\delta m}{\pi} \right)^{1/2} \quad (1.23)$$

1.4.1.4 Değiştirilmiş Sinüzoidal PWM

Şekil 1.29' da sinüs dalgasının tepe değerine daha yakın darbelerin genişliklerinin modülasyon faktörünün değişimiyle önemli düzeyde değişmediğini göstermektedir. Bu sinüs dalgasının karakteristiğinden kaynaklanmaktadır ve SPWM tekniği değiştirilerek taşıyıcı dalga her yarım periyodun ilk ve son 60° lik kısımlarında uygulanabilir[48]. Bu tip modülasyon kısaca MSPWM olarak adlandırılmakta ve şekil 1.29' daki gibi

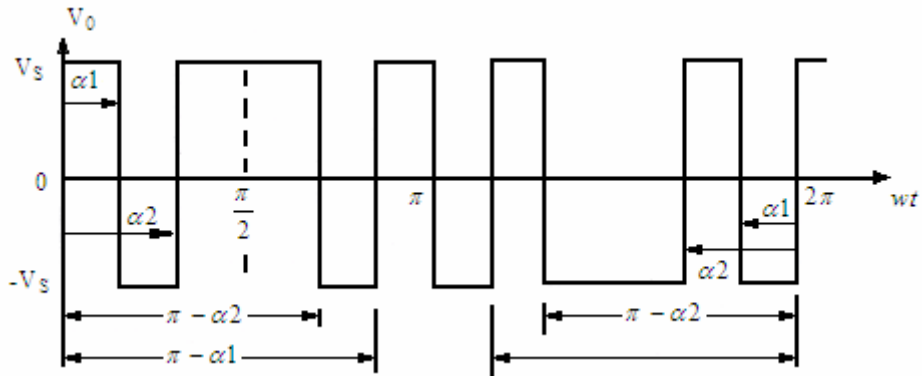
gösterilebilmektedir. Temel bileşen büyümüş ve harmonik karakteristiğinde düzelme olmuştur. Bu teknik, güç elemanlarının anahtarlama sayılarını azaltmakta ve anahtarlama kayıplarında düşüşe neden olmaktadır.



Şekil 1.29. Değiştirilmiş sinüzoidal PWM

1.4.2. Harmoniklerin Azaltılması

Tek fazlı inverterlerin çıkışlarındaki istenmeyen harmonikler şekil 1.30' da gösterildiği gibi simetrik olarak yerleştirilen gerilim boşlukları uygulanarak elimine edilebilir[48].



Şekil 1.30. Her yarım dalgada iki gerilim boşluğuna sahip çıkış gerilimi

Çıkış geriliminin Fourier serisi (1.24) denklemiyle ifade edilebilir.

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} A_n \sin n\omega t \quad (1.24)$$

Bu denklemde A_n değeri (1.25) denklemiyle gösterilen şekilde bulunabilmektedir.

$$A_n = \frac{4V_s}{\pi} \left[\int_0^{\alpha_1} \sin n\omega t d(\omega t) - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin n\omega t d(\omega t) + \int_{\alpha_2}^{\pi/2} \sin n\omega t d(\omega t) \right]$$

$$= \frac{4V_s}{\pi} \frac{1 - 2 \cos n\alpha_1 + 2 \cos n\alpha_2}{n} \quad (1.25)$$

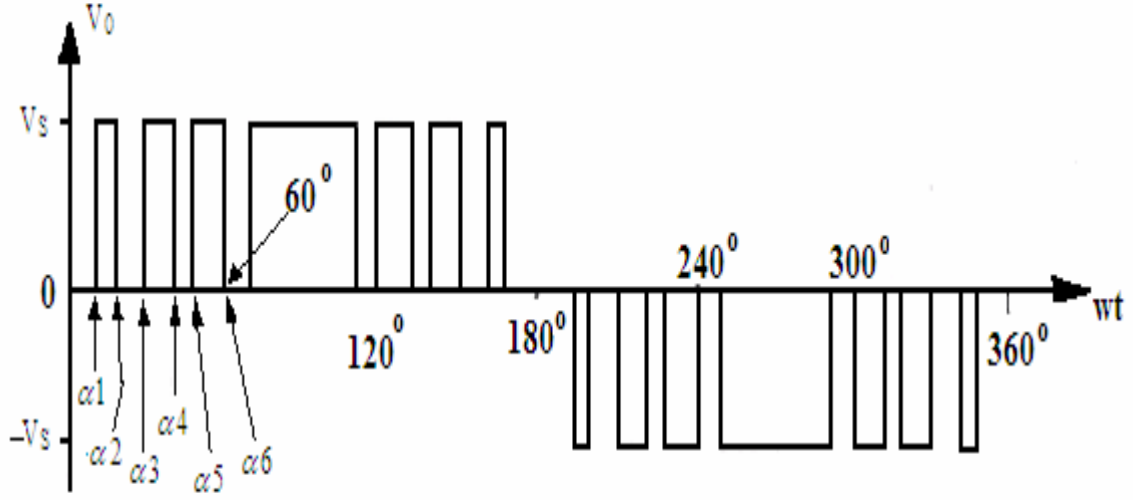
Üçüncü ve beşinci harmonikler $A_3 = A_5 = 0$ olduğu durumda elimine edilebilmekte ve (1.26) denklemi çözülmesi gereken önemli eşitlikleri vermektedir.

$$1 - \cos 3\alpha_1 + 2 \cos 3\alpha_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_2 = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\cos 3\alpha_1 - 0.5) \quad (1.26)$$

$$1 - 2 \cos 5\alpha_1 + 2 \cos 5\alpha_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = \frac{1}{5} \cos^{-1}(\cos 5\alpha_2 + 0.5) \quad (1.27)$$

(1.26) ve (1.27) denklemleri başlangıçta α_1 ve α_2 için hesaplamalar tekrarlı olarak sürdürülerek çözülebilmektedir.

Değiştirilmiş sinüzoidal PWM teknikleri, şekil 1.31' da görüldüğü gibi çıkış geriliminde belli harmonikleri etkin şekilde elimine etme amacıyla gerilim boşluklarının oluşturulmasında kullanılabilir.



Şekil 1.31. İstenmeyen harmoniklerin gerilim boşlukları oluşturularak elimine edilmesi

(1.27) denklemi her çeyrek periyotta n adet gerilim boşluğu sayısına (1.28) denklemi ile gösterilen şekle genişletilebilmektedir.

$$A_n = \frac{4V_s}{n\pi} (1 - 2 \cos n\alpha_1 + 2 \cos n\alpha_2 - 2 \cos n\alpha_3 + 2 \cos n\alpha_4 - \dots) \quad (1.28)$$

Sadece sabit çıkış gerilimi için uygun olan harmonik eliminasyon teknikleri harmonik derecesini artırırken çıkış filtresinin boyutunu azaltır.

Bununla beraber bu avantajın karşısında güç elemanlarının artan anahtarlama kayıpları ve yüksek frekanslı harmoniklere bağlı olarak transformatördeki artan demir kayıpları göz önüne alınmalıdır.

1.5. Step Motorlar ve Sürücüleri

Günümüzde dijital elektronikteki gelişmeler sayesinde, elektrik motorlarının kontrol sistemlerinde tahrik elemanı olarak kolayca ve hassas şekilde kullanılmaları mümkün hale gelmiştir. Klasik AC ve DC motorlar, büyük miktarda hareket gerektiren sistemlerde çok iyi sonuç alınmasını sağlarken, duyarlılık gerektiren küçük düzeydeki hareketler için yeterince kullanışlı değildirler[31]. Bunun nedenleri arasında tüm çalışma koşullarında bu motorların konumlarından geri besleme alınmasının gerekli olması ve sürülmelerinin ancak analog olarak gerçekleştirilmesi sayılabilir. Step motorlar ise, girişlerine uygulanan her hareket darbesi için sadece “bir adım” ilerlemeleri nedeniyle duyarlılık konusunda büyük bir avantaja sahiptirler ve özellikle küçük düzeyde hareket gerektiren hassas kontrol sistemlerinde güvenle kullanılmaktadırlar[51].

Adım büyüklüklerinin sabit olması sebebiyle uygun olarak kontrol edildiklerinden attıkları adım sayısı, girişlerine uygulanan darbe sayısına eşit olduğundan, hareket miktarları kolaylıkla belirlenebilir ve açık çevrim çalıştırılabilirler.

Step motorların performansı, kendi karakteristik değerlerinin dışında tamamen sürücü devrelerine ve kontrol yöntemlerine bağlıdır. Bu yüzden step motorların uygun sinyaller ve yöntemlerle sürülmeleri ve kontrol edilmeleri, motorlardan maksimum verim alınmasını sağlamaktadır[51,52].

Mekanik sistemler farklı birçok tahrik sistemiyle tahrik edilebilirler. Ancak ileri teknoloji gerektiren çalışma alanlarında ve hassas konumlama gerektiren yerlerde programlanabilme yeteneğine sahip olduklarından step motoru ve servo motoru sistemleri tercih edilmektedir. Maliyetleri ilk bakıldığında yüksek gibi görünmelerine rağmen, uzun vadede getirdiği avantajlar oldukça fazladır[31].

1.5.1. Step Motoru

Step (adım) motoru, girişine uygulanan sayısal sinyalleri dönme hareketine çeviren, yaygın kullanım alanına sahip bir cihazdır. Klasik motor dönüşü serbest olmasına karşın, adım motoru sabit, tekrar edilebilen hassas adımlarla hareket sağlar. Step motorları; robotlarda, CNC tezgâhlarında, yazıcılarda, disket sürücülerinde, bilgisayarların sabit disklerinde ve bunlara benzer birçok yerde konum kontrolü sağlamak amacıyla kullanılmaktadır[51].

Diğer bir tanımı ise; açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlardır. İsminden de anlaşılacağı üzere step motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90^0 , 45^0 , 18^0 , 7.5^0 , 1.8^0 veya daha farklı açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Step motorun dönüş yönü, uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek, saat ibresi yönü veya saat ibresinin tersi yönünde olabilir[51,52].

Step motorların hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci, mikro denetleyici veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak step motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı step motorlar çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde sıkça kullanılırlar. Step motorların kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım tezgâhlarının ayarlanmaları ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, step motorları konumlandırma sistemlerinde ve büro makineleri ile teknolojisi alanında da kullanım alanına sahiptir.

Step motorların bu kadar kullanım alanı bulmasının nedeni, diğer klasik motor tiplerine göre çeşitli avantajlara sahip olmalarıdır. Bu avantajlar şu şekildedir[51,52]:

1. Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü sistemlerde kontrol edilebilirler.
2. Motor hareketlerinde konum hatası yoktur.
3. Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
4. Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
5. Herhangi bir hasara neden olmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Dezavantajları ise[51];

1. Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
2. Sürtünme kaynaklı güçler, açık döngü kontrolde konum hatası meydana getiriler.
3. Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

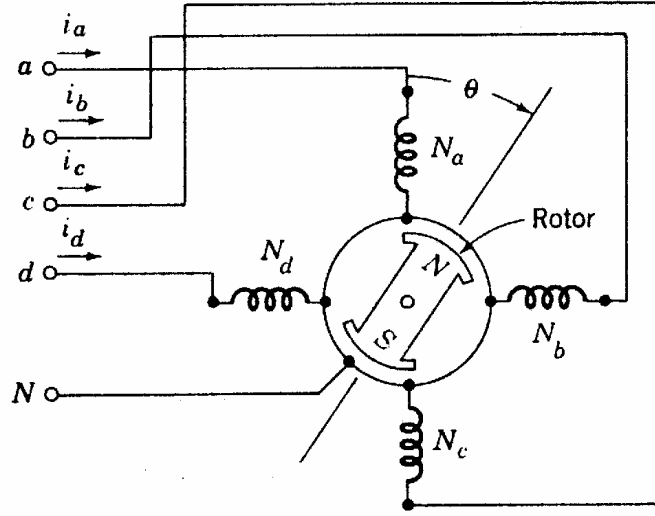
Bazı uygulamalar için servo motor ve adım motoru kullanımı açısından seçim yapılması gerekir. Her iki tip motor da doğru konumlandırma için benzer fırsatlar sunar. Fakat bazı yönlerden ayrılırlar. Servo motorlarda çeşitli tipte analog geri besleme kontrol sistemi kullanım gereksinimi vardır. Tipik olarak bu, endüvi konumunu geri besleme sinyali olarak sağlama amacıyla bir potansiyometreye ve istenen konum ve o anki konum arasındaki farkla ters orantılı bir akımın motor boyunca sürülmesi için çeşitli yapıda elektronik devreye gerek duyulur[51].

Adım motorları ve servo motorlar arasında bir seçim yapmak için uygulamaya bağlı olarak belli sayıda noktaya dikkat edilmelidir. Örneğin step motoruyla yapılan konumlandırmanın tekrarlanabilirliği motor endüvisinin geometrisine bağlıyken, servo motorla yapılan konumlandırmanın tekrarlanabilirliği potansiyometre ve geri besleme devresindeki diğer analog elemanların kararlılığına bağlıdır. Step motorlar basit açık kontrol sistemlerinde kullanılabilir. Bunlar genelde statik yüklere sahip, düşük hızlarda çalışan sistemler için uygundur. Fakat özellikle değişken yükler kullanılıyorsa yüksek hızlarda kapalı döngü kontrolü önem kazanır. Eğer açık döngü kontrol sistemine sahip step motoruna aşırı yük binmişse, tüm endüvi konum bilgisi kaybolur ve sistemin baştan başlatılması gerekir. Servo motorlar böyle bir sorunla karşılaşmazlar.

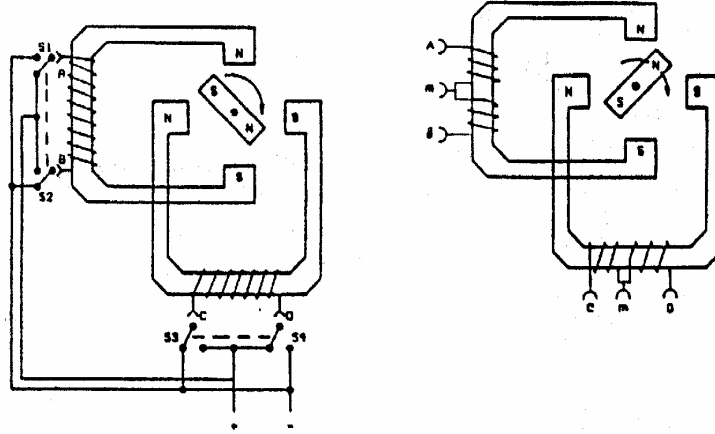
1.5.2. Çalışma Prensipleri

Step motorlar dijital olarak lojik 0 ve lojik 1 prensibine göre çalışırlar. Bu özelliğinden dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Step motora giriş darbesi uygulandığı zaman belli bir miktar döner ve durur. Dönme miktarı motorun yapısına göre belli bir açı ile sınırlandırılmıştır[51].

Bir step motoru, temel olarak bir manyetik endüvi ve etrafında bir statordan oluşur. En yaygın olan step motorlar, şekil 1.27' de görülen çiftlerli şekilde ayrılmış, merkezden ortak (COM) bağlantılı, dört tane stator sargısı olanlardır. Bu çeşit step motoru, genellikle 4 fazlı adım motoru olarak adlandırılır. 4 stator sargılı, rotoru 2 kutuplu bir adım motoruna ait elektriksel prensip bağlantı şeması görünmektedir. Rotoru 2 kutuplu adım motorunda stator sargıları N_a , $N_a + N_b$, N_b sırasına göre uyarılarak, $Q=0$ derece, $Q=45$ derece, $Q=90$ derecelik dönme açıları elde edilebilir[51].



Şekil 1.32. Temel step motor yapısı[51]



Şekil 1.33. A tipi ve B tipi motorlar[51]

Temelde iki tip step motoru vardır. Bu motor şekilleri şekil 1.28’ de gösterilmektedir. Bu iki motor bacak sayılarının farklı olmasından dolayı birbirlerinden kolayca ayrılırlar.

Her iki motor tipinde de tahrik edilen eksene bağlanmış olan bir çubuk mıknatıs “endüvi” iki çapraz elektromıknatısın alanına göre yönelir. B tipi step motorlarda bobinler, birer adet orta uca sahiptir. Bu orta uç manyetik alanın yönünün basit devreler yardımı ile değiştirilebilmesine olanak sağlar[51].

Step motorların tümünün çalışma prensibi aynıdır. Step motora giriş darbesi uygulandığı zaman belli bir miktar dönerek durur. Bu dönme miktarı, motorun yapısına göre belli bir açı ile sınırlanmıştır. Endüvinin dönme adedi girişe uygulanan darbe sayısına bağlıdır. Girişe tek bir sinyal uygulandığında endüvi bir adım hareket eder ve durur.

Endüvinin dönme derecesi daha önceden hesaplanarak ayarlanmıştır. Örneğin 15^0 dönen bir endüvi, her giriş sinyalinde 15^0 sağa veya sola dönerek durur. Bu şekilde robot kontrolünde step motorlar kullanılarak sanayide robotlara birçok işlem yaptırılır. Kullanım da olan birçok elektrik motorunda olduğu gibi step motorları da makinenin yapısına ve çalışmasına göre sınıflandırılabilir[51,52].

1.5.3. Step Motorlarına Ait Önemli Parametreler[51,52]

1.5.3.1. Çözünürlük

Çözünürlük; bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı (derece), lineer motorlar için ise, adım uzunluğu (mm) olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tespit edilen bir büyüklüktür. Bir step motorun adım büyüklüğü, çeşitli kontrol düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü normal değerinin (çözünürlüğünün) yarısına indirilir.

1.5.3.2. Hassaslık

Bir step motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında bir araya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dahili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olmaktadır. Bu durum step motorunun hassasiyeti olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş halidir. Klasik step motorunda bu hata $\% \pm 1$ ile $\% \pm 5$ arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan daha az veya çok olabilen rasgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir.

1.5.3.3. Tutma Momenti

Tutma momenti bir step motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin endüvi konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyartılmış olduğu durumda endüvinin kararlı adımına karşılık düşer. Bu eğri, endüvi adım pozisyonundan

uzaklaştırılırsa, motorda indükleneyecek olan ve endüvisi sıfır momentli adım pozisyonunu geri getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir. Tutma momenti eğrisi, motorun tüm endüvi konumları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir. Diğer moment karakteristikleri (statik ve dinamik) bu eğri temel alınarak elde edilebilir.

1.5.3.4. Tek Adım Tepkisi

Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa motor bir adım atacaktır. Endüvi konumunun zamana göre bu değişimi, tek adım tepkisi olarak tanımlanır. Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin aşım ve salınım miktarını, adım açısının adım tepkisindeki aşım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi step motorlarının kontrolünde çok büyük öneme sahiptir.

1.5.3.5. Sürekli Rejimde Maksimum Yük Momenti Eğrisi

Sürekli rejimde maksimum yük momentini / hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, endüvi hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunu bozmadan ve endüvinin durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, söz konusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir. Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momentini eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbelerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momentini ile çalışır.

1.5.3.6. Kalkış Anındaki Maksimum Yük Momenti Eğrisi

Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç

kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyartım sinyalleri sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden step motorları için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır.

1.5.4. Adım Açısı

Step motorun yapısına göre, her bir adımda, değişik açılarla motorda dönme sağlanır. Adım açısı, tek bir adımda alınan en küçük açıdır. Tablo 1.4' de değişik motorlara ait bazı adım açıları gösterilmektedir. Tabloda “ dönüş adımı sayısı ” ifadesi kullanılmıştır. Bu, bir tam dönme veya 360^0 için gerekli adımların toplamıdır. Tabloda her bir satırdaki açı ile dönme sayısının çarpımı 360^0 ' yi verir.

Tablo 1.4. Step motoru adım açıları[31]

Adım açısı	Dönüş adımı sayısı
0.72	500
1.8	200
2	180
2.5	144
5	72
7.5	48
15	24

1.5.5. Step Motorların Uyartımı

Step motorlar, çalışmalarında olduğu kadar uyartımlarında da önemli ölçüde esnekliğe sahiptirler. Bu esneklik, maksimum eksi ve minimum giriş gücü şeklinde olmaktadır[51,52].

Stator sargılarına uygulanan kontrol darbeleri, motor milinin belirli açılardaki adımlarla dönmesine neden olur. Bu darbeler ardi ardına belli bir sırayla motora uygulanırsa, motor mili sürekli bir dönme hareketi yapar. Motor her iki yönde de

çalıştırılabilir. Motora uygulanacak, yaygın olarak kullanılan farklı hassasiyet dereceleri sağlayan çok değişik sinyal sıraları bulunmaktadır.

Tablo 1.5. Normal 4 adım sayısı[31]

Saat Yönü	Adım No	A	B	C	D	Ters saat yönü
↑	1	1	0	0	1	↓
	2	1	1	0	0	
	3	0	1	1	0	
	4	0	0	1	1	

Tablo1.5’ de normal 4 adım sırası verilmiştir. Bu tablodaki herhangi bir satırdan başlanabilmesine rağmen, daha sonra, düzgün sıra ile devam etmek gerekmektedir[31].

1.5.5.1. Step Motorların Uyartım Metotları

1.5.5.1.1. Tek Faz Uyartımı

Motor sargılarının sadece birinin uyartıldığı uyartım cinsine tek faz uyartımı adı verilir. Tablo 1.6’ da 4 fazlı step motoru için tek faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyartım metodunda endüvi, her bir uyartım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyartım, dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile yapılır. Burada fazların uyartım sırası saat ibresi yönündeki dönüş için F1, F2, F3, F4 saat ibresinin tersi yönü için F4, F3, F2, F1 şeklindedir[31].

Tablo 1.6 Tek faz uyartımın faz uyartım sıralaması[31]

Adım	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	X				X				X
Faz 2		X				X			
Faz 3			X				X		
Faz 4				X				X	

1.5.5.1.2. İki Faz Uyartımı

Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyartıldığı uyartım cinsine iki faz uyartımı denir. Tablo 1.7' de 4 faz step motoru için iki faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. İki faz uyartımda endüvinin geçici durum tepkisi tek faz uyartıma göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır.

Tablo 1.7. İki faz uyartımın faz uyartım sıralaması[31]

Adım	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	X	X			X	X			X
Faz 2		X	X			X	X		
Faz 3			X	X			X	X	
Faz 4	X			X	X			X	X

1.5.5.1.3. Karma Uyartım

Bu uyartım yönteminde tek faz uyartımı ardı ardına uygulanır. Burada endüvi her bir uyartım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Tablo 1.5' de fazların uyartım sırası görülmektedir. Bu uyartım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır[51,52].

Tablo 1.8. Yarım adım (karma) uyartımın faz uyartım sıralaması[31]

Adım	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	X	X						X	X
Faz 2		X	X	X					
Faz 3				X	X	X			
Faz 4						X	X	X	

1.6. Mikroişlemciler

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerin, tek bir entegre içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici adı verilir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilere göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüz mikrodenetleyicileri otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, faks- modem kartlarında, fotokopi makinesi, radyo gibi pek çok alanda kullanılmaktadır[53].

Günümüz mikrodenetleyicileri birçok entegre üreticisi tarafından üretilmektedir. Her firma ürettiği entegreye farklı isimler vermektedir. Örneğin Mikrochip firması ürettiği mikrodenetleyicilere PIC adını verirken[53], Intel firması ürettiği ve 1980' li yıllarda piyasaya sürdüğü 8051 mikrodenetleyicisi, bazen MCS-51 olarak da adlandırılmaktadır.

1.6.1. Mikrodenetleyicilerin Mikroişlemcilere Göre Avantajları

Mikroişlemci ile kontrol edilecek olan bir sistemi kurmak için başlıca şu üniteler bulunmalıdır. CPU, RAM, I/O ve bu üniteler arasında veri alışverişini sağlayan DATA BUS ve ayrıca bu üniteleri yerleştirmek için gerekli olan baskı devre katıdır. Mikrodenetleyici ile kontrol edilecek sistemde ise yukarıda saydığımız ünitelerin yerine geçecek tek bir entegre ve birde devre kartı kullanmak yeterlidir. Tek bir entegre kullanarak elektronik çözümler üretmenin maliyetinin daha düşük olacağı kesindir. Ayrıca kullanım ve programlama kolaylığı da ikinci bir avantajıdır[53].

1.6.2.PIC Mikrodenetleyicileri

Bilgisayar denetimi gerektiren bir uygulama gerçekleştirirken seçilecek mikrodenetleyicinin ilk olarak istenilen çözümü yerine getirip getiremeyeceği, daha sonra ise maliyet açısından avantajına dikkat edilmelidir. Ayrıca, yapılacak uygulamanın devresi kurulmadan önce seçilen mikrodenetleyicinin desteklediği bir yazılım üzerine de simülasyon yapıp yapılamayacağı dikkate alınmalıdır[53].

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı Mikrochip' in ürettiği PIC' leri kullanmak en akılcı yoldur. PIC, adını İngilizce' deki *Peripheral Interface Controller* cümlesinin baş harflerinden almış olan bir mikrodenetleyicidir. "Çevresel Üniteleri Denetleyici Arabirim"

anlamına gelmektedir. PIC gerçekten de çevresel üniteler adı verilen motor, lamba, röle, ısı ve ışık sensörü gibi I/O (input/ output) elemanlarının kontrolünü çok hızlı olarak yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) mimarisi adı verilen yöntem kullanılarak üretildiklerinden dolayı bir PIC' i programlamak için kullanılacak olan komutlar oldukça basit ve sayı olarak da azdır. 1980' lerin başından itibaren uygulanan bir tarım yöntemi olan RISC mimarisindeki temel düşünce, daha basit ve daha az komut kullanılmasıdır. Örneğin PIC16F84 mikrodenetleyicisi toplam 35 komut kullanılarak programlanabilmektedir[53].

1.6.3. Analog/ Dijital Dönüştürücünün Kullanılması

Analog/ Dijital dönüştürücü modülü sekiz girişe sahiptir. Analog giriş başlangıçta bir örnekleme ve tutma kondansatörünü şarj eder. Daha sonra dönüştürücü ardışıl yaklaşım yöntemini kullanarak bu analog düzey için dijital bir çıkış üretir.

Analog giriş sinyalinin A/D dönüştürümü, 10- bitlik bir dijital sayıya karşılık gelir. A/D modülü, V_{dd} , V_{ss} , R_{A2} veya R_{A3} ' ün çeşitli kombinasyonlarına sahip yazılımla seçilebilen yüksek ve düşük gerilim referans girişlerine sahiptir. A/D dönüştürücüsü, eleman uyku modunda iken de çalışabilme gibi bir özelliğe sahiptir.

Uyku modun da çalışmak için, A/D saat girişi, A/D dönüştürücüsünün dahili RC osilatöründen sağlanmalıdır.

A/D modülü dört adet yazmaca sahiptir[53]. Bunlardan A/D sonuç yüksek baytlı yazmacı ADRESH ve A/D sonuç düşük baytlı yazmacı ADRESL dönüştürme sonuçlarının saklandığı yazmaçlardır.

ADCON0 yazmacı A/D modülün çalışmasını kontrol eder. ADCON1 yazmacı ise port uçlarının işlevlerini düzenler.

Port uçları analog giriş olarak düzenlenebileceği gibi dijital giriş/çıkış olarak da düzenlenebilir. ADRESH: ADRESL yazmaçları A/D dönüşümün 10-bitlik sonucunu içerirler. A/D dönüşümü tamamlandığında sonuç A/D sonuç yazman çiftine yüklenir, GO/DONE biti sıfırlanır ve A/D kesme bayrak biti ADIF 1 yapılır.

Bir A/D dönüşümün yapılması için aşağıdaki adımlar takip edilmelidir[53]:

1. A/D modülü düzenlenir.
 - Analog uçlar / gerilim referansı/ ve dijital giriş/çıkışlar düzenlenir(ADCON1)
 - A/D giriş kanalı seçilir (ADCON0)
 - A/D dönüştürme saati seçilir (ADCON0)
 - A/D modülü açılır (ADCON0)
2. A/D kesmesi isteğe bağlı olarak düzenlenir.
 - ADIF biti sıfırlanır
 - ADIE biti 1 yapılır
 - GIE biti 1 yapılır
3. Gerekli işlem süresi beklenir.
4. Dönüştürme başlatılır.
 - GO/DONE biti 1 yapılır (ADCON0)
5. A/D dönüştürmenin bitmesi ya GO/DONE bitinin 0 olmasına bakılarak yada A/D kesmesi beklenecek kontrol edilir.
6. A/D sonuç yazmaç çifti okunur.
7. Sonraki dönüştürme için 1 ve 2. adıma dönülür.

Pic 16F628 mikrodnetleyicisinin analog giriş çıkışlarının karşılaştırıcı özelliği kullanılarak, karşılaştırıcı çıkışından giriş işaretlerinin değerine göre 1 veya 0 değeri elde edebiliriz. Gerekli Registerlar ayarlanarak karşılaştırıcının çıkış lojik değeri terslenebilmektedir.

PIC16F628'de, PIC16F84'de bulunmayan analog karşılaştırıcı birimi, PWM modülü ve seri haberleşmeye donanımsal olarak olanak sağlayan USART/SCI (Univeral Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) birimi bulunmaktadır.

PIC16F628 mikrodnetleyici içerisinde ki karşılaştırıcının besleme gerilimi dahili veya harici olarak kullanılabilir.

1.7. Güneş Enerji Sistemlerine Ait Yapılmış Çalışmalar

Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H., (2004), çalışmalarında; izleyici sistem direkt solar radyasyonunu bir pirometre vasıtasıyla otomatik olarak ölçülmesini mümkün kılmaktadır. Mekanizma, kontrol sisteminden bağımsız yerleştirilmiş bu sistemdeki dijital bir program vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Güneşin pozisyonu hesaplanmakta ve günlük çalışma esnasında görülen işaretleme hataları daha sonraki analiz için kayıt altına alınmaktadır. Algılama ve odaklama sensörler ve 2 adet step motorla yapılmıştır. Çalışmada; İsviçre yapımı INTRA güneş izleyicisi esas alınmış ancak yeni bir takım iyileştirmeler yapılarak maliyet düşürülmüştür. Bu iyileştirmeler, eski DC motorlar yerine step motor kullanılması, daha duyarlı bir sensör kullanılması, elektronik ünitelerin tamamen yenilenmesi, kontrol sisteminin güneş izleme içi ve ileride olası süreç değişimleri daha kolay hale getirmek için bilgisayar yazılımları kullanılması ve günün her saatinde güneş pozisyonunu ve hızını hesaplaması. Yazılımları mekanik kısım dışında kullanmanın izleyicinin gelecekteki gelişimleri için esnek hale getirmesidir. Araştırmacıların 2003 yılında güneş takibi için sistem tasarımı ve yapılandırması isimli bu çalışmalarda vardır. Tasarlanan izleyici İNTRA güneş izleyicisinin özelliklerini esas alınan bu izleyicidir.

Salah, A. ve Salem, N., (2003), PLC kontrollü iki eksenli güneş izleme sistemi çalışması yapmışlar ve bu çalışmada iki eksenli güneş takibinin toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen enerji ölçümü ve 32 derece eğimli güneşe dönük sabit bir sistemle karşılaştırılmıştır ve sonuçlar değerlendirildiğinde iki eksenli izleme yüzeyi toplanan enerji açısından sabit yüzeye göre %41,34 varan bir verim artışı ile daha iyi bir performans gösterdiğini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, Piranometreden elde edilen verilere göre ortalamalar alınarak günün saatleri bazında hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, 32 derece eğimli güneşe dönük sabit sistemle kuzey-güney, dik, doğu-batı, eksenli üç izleme modu arasında da karşılaştırmalar yapılmış, sırasıyla %19,7 , %23,3 %24,5 enerji artışları ölçülmüş ve sonuç olarak iki eksenli izleyicinin diğer bütün tek eksenli izleyicilere göre daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Roth, P. Ve arkadaşları, (2003), Federico Santa Marta Teknik Üniversitesi Güneş Değerlendirme Laboratuvarı'nda güneş hareketinin izlenmesi için tasarlanan ve yapılandırılan elektromekanik bir sistem yapmışlardır. Bu sistem, güneş ışınımının piranometre aracılığı ile ölçülmesine imkân kılmaktadır. Kapalı döngüsel yardımcı sisteme

sahip olan sistem tasarımı, otomatik olarak çalışmaktadır. 4 kadranlı foton algılayıcısı güneşin konumunu algılamakta ve iki küçük DC motor, güneşin görüntüsünü foton algılayıcısının tam ortasına odaklamaktadır. Güneşin görülmediği bulutlu havalarda, bir hesaplama programı güneşin pozisyonunu hesaplamakta ve güneş tekrar ortaya çıkana dek sistemin kontrolünü üstlenmektedir. Tasarladıkları sistemi Şili'deki iklim koşullarında test etmişlerdir. Yaptıkları sistemin daha ağır ve büyük sistemlerle(güneş panelleri ve yoğunlaştırıcıları gibi) birlikte, daha ucuz izleme aletleri ve sensörlerle de kullanılabilceğini test etmişlerdir.

Yeşilata, B. ve arkadaşları, (2003), maksimum güç noktası izleyicili fotovoltaik sistemlerin optimum dizayn çalışma koşullarının araştırılması isimli çalışmalarında, gereksinim duyulan gücü minimum sayıda PV panel kullanarak elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaları üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk iki aşamada, sırasıyla maksimum toplam radyasyon açısı faktörünü ve maksimum kullanılabilirliği sağlayan dizayn koşulları tespit edilmiştir. Bu dizayn, maksimum güç noktası izleyici yardımıyla PV panellerden elde edilebilecek maksimum akım ve gerilim değerleri elde etmişlerdir.

Karakaş, E. ve Ermiş, K., (2002), fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktasının ve güneşin izlenebilmesi için tipik bir kontrol düzeneğinin tasarımı adlı çalışmalarında, solar enerji güç işletim aygıtı tasarım örneği incelenerek küçük fotovoltaik sistemler içinde maksimum güç noktasının izlenmesi konusunda araştırmalar yapmışlardır. Sistem son derece basit formda, paralel bağlı iki adet DC' den DC' ye kıyıcı işletiminden oluşmaktadır. Sistem içerisinde aşırı gerilim ve yük kontrolü ve koruma önlemleri gerekmektedir. Aygıtın güç işletim kapasitesinin devreye bağlanacak birden fazla kıyıcı tarafından artırılabilceğini incelemişlerdir. Elektromekanik algılayıcılar yardımı ile tasarlanan sistemde, güç işletim aygıtlarının verimlerinin oldukça yüksek olduklarını tespit etmişlerdir. Sistemde PWM metodunu etkin şekilde kullanmışlardır.

Moghbelli, H. ve Vartanian, R., (2004), güneş pillerinin çıkış güçlerini arttırmak amacıyla hareket edebilir fotovoltaik düzeneğin uyarlanması isimli çalışmalarında, hareket edebilen fotovoltaik dönüştürücülerin uygulanması ve bu uygulama sonucunda fotovoltaik dönüştürücülerin çıkış gücünü arttıran karakteristiklerini aynı nominal güce sahip sabit düzeneklerle kıyaslamasını tasarlamışlardır. Çalışmada, güneşin gün içerisindeki hareketinden dolayı, güneş paneline dolaylı şekilde çarpan güneş ışığının yansımadan dolayı panel tarafından tam emilemediklerinden verimlerinin düşük olduğunu ve

kurdukları izleme sistemi ile güneşin devamlı izlenmesi sonucu verimin arttırılabildiğini deneylerle tespit etmişlerdir.

Luque-Heredia, I., Gordillo, F., Rodriguez, F., (2002), fotovoltaik yoğunlaşma için PI tabanlı Hibrid güneş izleme sistemi adlı çalışmalarında, fotovoltaik yoğunlaştırıcılar için yeni bir güneş izleme stratejisi sunmaktadır. Güneş günlüğü temelinde kurulmuş, zamanlama sapmalarını ve üretim, montaj ya da kurulum hatalarını telafi etmek için hata düzeltme rutinleri içeren Hibrid stratejilerine entegre edilebileceğini tasarlamışlardır.

Yeşilata, B., Aydın, M., (2004), Eğim açısı ayarlanabilen ekonomik PV sistem sehpası tasarımı adlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, eğim açılarını saatlik, aylık ve yıllık olarak hesaplamışlar ve iki ekseninde güneş takip eden sistemin , tek ekseninde güneş takip eden sistemden daha verimli çalıştıklarını bulmuşlardır.

Açıkgöz, N., Çelik, A.N., (2002), 240 W gücündeki akü depolu bağımsız bir fotovoltaik enerji sistem tasarımı ve uygulaması çalışmalarında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulamışlardır. Çalışmada, İskenderun bölgesinde kurulu 240W nominal gücündeki akü depolu sistemi tanıtmışlar ve kendi tabirleri ile bilgi birikimlerini deneysel olarak aktarmışlardır.

Alaçakır, F.B.T., Korucu, Y., (2000), güneşi izleyen sistemin sabit sisteme göre kıyaslanmasını yapmışlar ve çalışmalarına güneş izleyici sistemin %20' nin üzerinde, gelen faydalanım sağlanabileceğini hesaplamışlardır. Standart izleyici sistemlerin değişik firmalar tarafından tasarlandığını ve bu panellerin 2 ile 14 modüllü panel veya daha büyük boyutlarda panel oluşturacak şekilde dizayn edildiklerini çalışmalarında belirtmişlerdir.

Gow ve Manning (2000) tarafından yapılan çalışmada bağımsız veya şebeke bağlantılı uygulamalar için kullanıma uygun güneş pili dönüştürücü sistemi incelenmiştir. Sunulan modüler güneş pili güç dönüştürücü sisteminde, regüleli gerilimde pasif AC ve DC yükleri besleyebilecek tek faz uygulamalar amaç edinilmiş ve panelden alınan maksimum güçte maksimum güç izleyici sistem gerçekleştirilmiştir. Sistemin küçük, hafif ve hazırca bulunabilen elemanlarla tasarlanması sağlanmıştır. Kullanılan kontrol algoritmalarının karmaşıklığı ve adaptif kontrol formu gereksinimi dijital olarak uygulama esnekliğinden faydalanılmasının avantajlı olacağını göstermiştir.

Nayar ve arkadaşları, (2000), tarafından yapılan çalışmada akü depolaması yanında yedek dizel jeneratör kullanan şebeke etkileşimli güneş pili kesintisiz güç kaynağı sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem, 2,5 kW'lık güneş panelleri, hem dönüştürme hem şarj modlarında çalışabilen 10 kVA'lık güç izleyici birimi ve 300 Ah'lık aküler içermektedir.

Sistemde sık sık güç kesimi ve aşırı düşük gerilim problemleri yaşayan bir şebekede yük gerilim kararlılığı sağlanmıştır.

Helwa ve arkadaşları ,(2000), maksimum şekilde elde edilebilen güneş enerjisini farklı güneş izleyici sistemlerle gözlemişler ve güneş izleyici sistemin çıkışta verdiği enerjiyle birlikte alınan güneş ışınlarının da sabit sistemden daha fazla olduğunu gözlemişlerdir. Kullanılan izleyiciler mikroişlemci ile kontrol edilmiş ve elektrik enerjisi üretimi için tüm sistemlerde güneş panelleri kullanılmıştır. Elde edilen kazançlar iki eksenli izleyicide daha yüksek bulunmuş ve dikey eksenli izleyiciden sabit eksenli izleyiciye doğru azaldığı görülmüştür.

Sakutaro ve Harada, (1997), tarafından şebekeyle etkileşimli bir güneş pili güç sisteminin KGK için gerçekleştirimi üzerinde çalışmıştır. Güneş pili sistemi tek fazlı PWM gerilim kaynağı inverteri içermektedir. Kompozit PWM metodu normal tek fazlı köprü devresi ve AC çıkış akımındaki dalgalanmayı azaltma amacıyla kullanılan ek bir koldan oluşmaktadır. Bir sistemde tetikleme açısı α 'nın pozitiften negatife değiştirilmesiyle gerilim kaynaklı inverter, inverter çalışmadan doğrultucu çalışmaya kolaylıkla geçebilmektedir. α negatif olduğunda inverter, akü şarj edici olarak çalışır.

İbrahim, D., (1996), tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi ve fotovoltaik pil kullanarak su pompası sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin diğer pompalama sistemlerine göre bakım istemeden kendi başına çalışması, yakıt gerektirmemesi, uzun ömürlü olması gibi avantajları açıklanmış ve bir tarım ülkesi olan Türkiye'nin geleneksel enerji kaynakları ile yapılan sulamanın yerine güneş enerjisi kaynaklarının kullanılabilirliği incelenmiştir.

Gençoğlu, M. ve arkadaşları, (2000), tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistemde PLC kullanımının amacı, besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı yedek enerji kaynaklarından yararlanılmasının kontrol edilmesidir. Çalışmada ayrıca fotovoltaik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin kullanım amaçları araştırılmıştır.

Beklergöl M., Çolak M., (1999), tarafından yapılan çalışmada fotovoltaik enerjiyle kompresörlü bir soğutucunun elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalıştırılmasına yönelik bir araştırma projesi gerçekleştirilmiştir. Kompresörlü soğutucu motoru, 3 fazlı inverter ile kontrol edilmiştir. Sistem otonom şekilde gerçekleştirilmiş, en kötü şartlarda ve bütün bir yıl boyunca çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

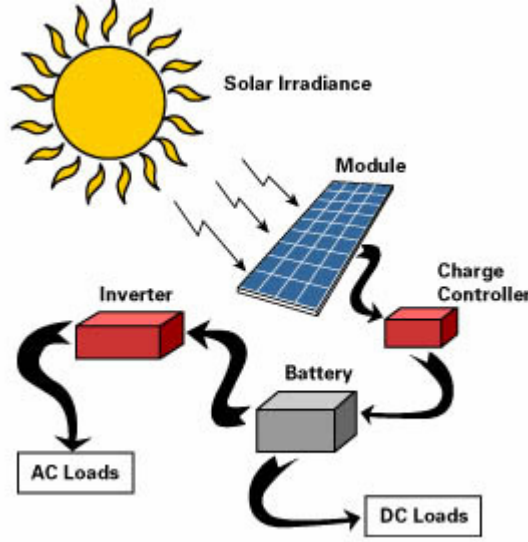
Klein ve Beckman, (2004), yaptıkları çalışmada bağımsız bir fotovoltaik sistemin performansını çeşitli parametrelere bağlı olarak detaylı bir şekilde incelemişler ve fotovoltaik sistemlerin performanslarının simülasyon programları ile hesaplanabileceklerini bulmuşlardır.

Bakos, G.C., (2005), Parabolik kolektörlerde verimlilik artırımı için iki eksenli güneş izleme sistemi tasarlanması ve yapımı çalışmasında, sürekli işlem halinde iki eksenli bir güneş izleme sisteminin, toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Tasarlanan sistemle üretilen ve ölçülen enerji, 40 derece güney doğu sabit pozisyonlu sistemin üretimiyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, hareketli sistemle üretilen enerji, sabit sisteme göre anlamlı biçimde daha fazla olduğu tespit etmişlerdir(%46 'ya varan farkla). Bu çalışmada önerilen güneş izleme sistemi, oldukça basit, maliyeti düşük, kurulumu ve bakımı kolay bir sistemdir.

Akkaya, R., Kulaksız, A.A., (2003), Ev aletleri için mikro kontrolör tabanlı bağımsız fotovoltaik güç sistemi çalışmasında, bağımsız bir fotovoltaik güç sistemi tasarlamışlardır. Sistemin çalışmasını flüoresan lamba, fan gibi alternatif akımla çalışan ev aletlerinin üzerinde uygulamalar yapmışlardır. Çalışmalarında, güneş izleyici solar modülü güneşten gelen ışınlarla dik tutmak suretiyle sistemin veriminin arttığını görmüşlerdir. Sistemde şarj metodu, kapalı döngü akım kontrollü DC-DC dönüştürücüsü ile gerçekleştirilmiş. Önerilen sistem, pil deposundan gelen DC voltajını AC yükü sağlayabilmek amacıyla dönüştürmek için voltaj kaynaklı türde bir PWM çeviricisi kullanmışlar. Kullanılan PWM metoduyla beraber seçilen harmonikleri en az sayıda anahtarlama ile eleyerek anahtarlama kayıplarını azaltarak sistemin veriminde artış ve çevirici çıkışının filtrelenmesinde kolaylık sağlanmış. Şarj kontrolörü ve PWM çevirici sistemleri PIC 16F873 mikro kontrolörü kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sistemde verimi arttırmak için güneş izleyici bir panelden sağlanan elektriksel güç, gün boyunca aküyü şarj etmekten ve akü gerektiğinde invertere güç sağlamaktadır. Şekil 2.1' de gerçekleştirilen güneş enerjisi sisteminin blok şeması görülmektedir. Sistemin önemli bileşenlerinden olan inverterler 12 V' luk DC akü gerilimini, 220 V' luk AC gerilim değerine dönüştürmektedir. Şarj denetleyicisi ise akü tam şarja ulaştığında şarjı kesmek ve akünün zarar görmesine engel olarak ömürlerini uzatmakta kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Gerçekleştirilen güneş enerji sisteminin blok şeması[33]

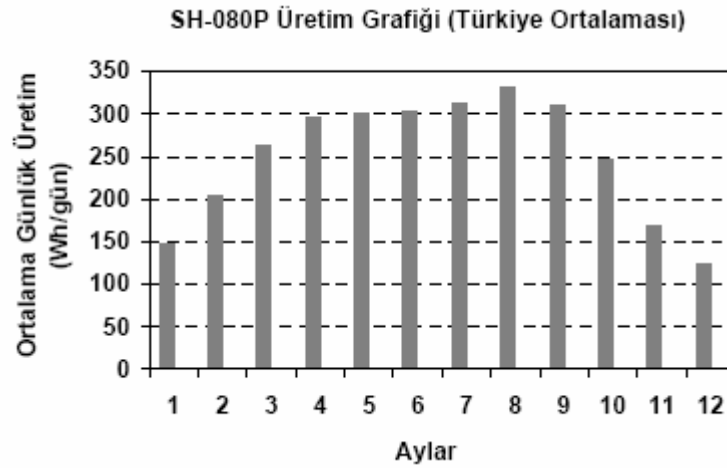
Gerçekleştirilen sistemde Sharp Solar firmasına ait SH 080P modelinde 80 Watt' lık güneş paneli kullanılmıştır. Güneş paneline ait teknik özellikler Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Ayrıca SH 080P model güneş panelinin aylara göre günlük üretebileceği enerji miktarları da şekil 8.2.' de verilmiştir. Panelin yaz aylarında 300 Wh/ gün enerji üretebildiği grafikte görülmektedir. Panelin 12- 24-48 Ah'lik akülerin şarjı için uygun akım ve gerilimi sağladığı tablo 2.1.' de görülmektedir.

Mevsime bağlı olarak farklı açılarla güneşe doğru yönlendirme yapılarak her mevsimde maksimum verim alınması mümkün olmaktadır. Türkiye için genelde geçerli olan 600 kış eğimi sayesinde ve panel camlarının özelliği nedeni ile buzlanma veya kar birikmesi olmamaktadır. Güneş panellerinin çıkışına takılan özel güneş regülatörleri ile 12 ay boyunca en optimal koşullarda akü şarjı yapılmaktadır. Akülerde depolanan enerji DC

olarak kullanılabilir. İstenilirse yüksek verimli tam sinüs DC-AC çeviriciler ile 220 V AC akıma çevrilebilir.

Tablo 2.1. Kullanılan güneş paneline ait teknik özellikler

■ ■ Teknik Özellikler	
Model	SH-080P
Hücre tipi	Polikristal
Maksimum Güç	80 W
Maksimum Voltaj	16.9 V
Amperaj	4.73 A
Açık Devre Voltajı	21.5 V
Kısa Devre Akımı	4.97 A
Uzunluğu	1.200 mm
Boy	530 mm
Derinlik	35 mm
Ağırlık	8.5 kg
Temel Uygulama	12V DC şarj



Şekil 2.2. Kullanılan güneş panelinin aylara göre günlük üretebileceği enerji miktarı

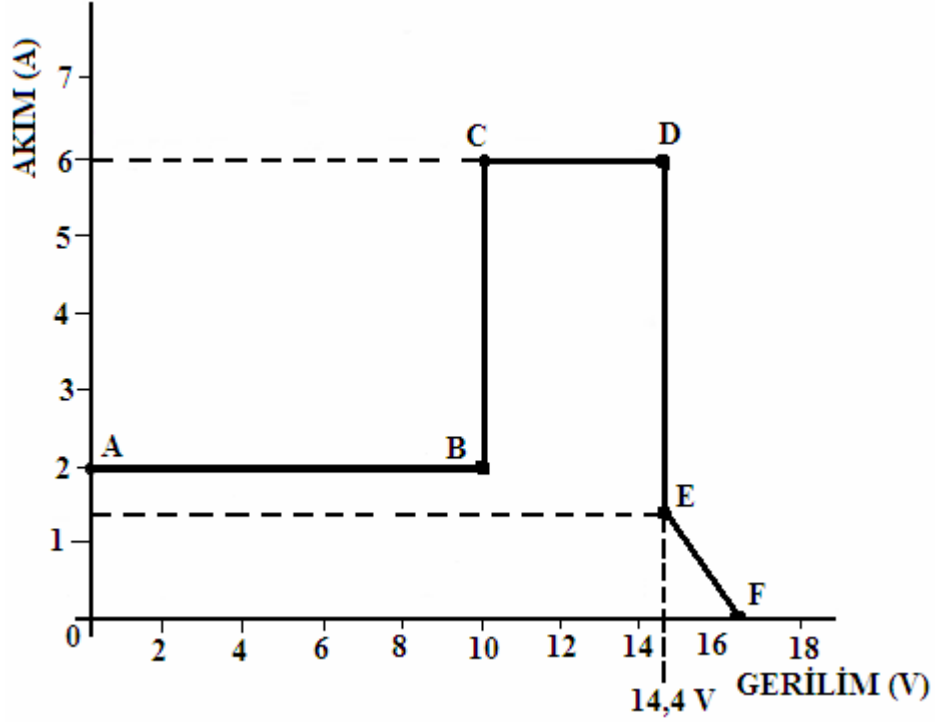
2.1. Akü Şarj Devresi

Kurşun asit aküler ve nikel kadmiyum (Ni-Cd) aküler olmak üzere iki tip aküden bahsedilebilir[30,31]. Kurşun asit aküler, sabit voltaj ve sabit akım metodu ile şarj olmaktadır. Aküler şarj edilirken anma akımlarına göre belirli bir akım verilmektedir. Bu akım değerine göre şarj süresi artıp azalabilmektedir. Sürenin uzun olması ve küçük akım değerlerinin kullanılması akünün ömrünü uzatmaktadır. Örneğin 60 Ah(amper saat) kapasiteli 12 V'luk akünün 5-6 amper akımla 10-12 saatte doldurulması akünün ömrü açısından önemlidir[43].

Şekil 2.3..' de 12V' luk Kurşun asit akünün şarj edilirken uygulanması gereken akım-gerilim grafiği gösterilmiştir.

Akümülatör gerilimi 0-10V arasında iken şarj akımı (A-B) sürecince sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamayla, akümülatörün bulunduğu ortama, asit buharının yayılmasını ve oluşan kimyasal tepkimenin hızını düşürerek, özellikle pozitif kurşun plakaların dökülmesine engel olmaktadır[43]. Kurşun asit aküler 6 hücreden oluşmaktadır. Her bölmeye akümülatör geriliminin 1/6' sı kadar gerilim değeri düşmektedir.

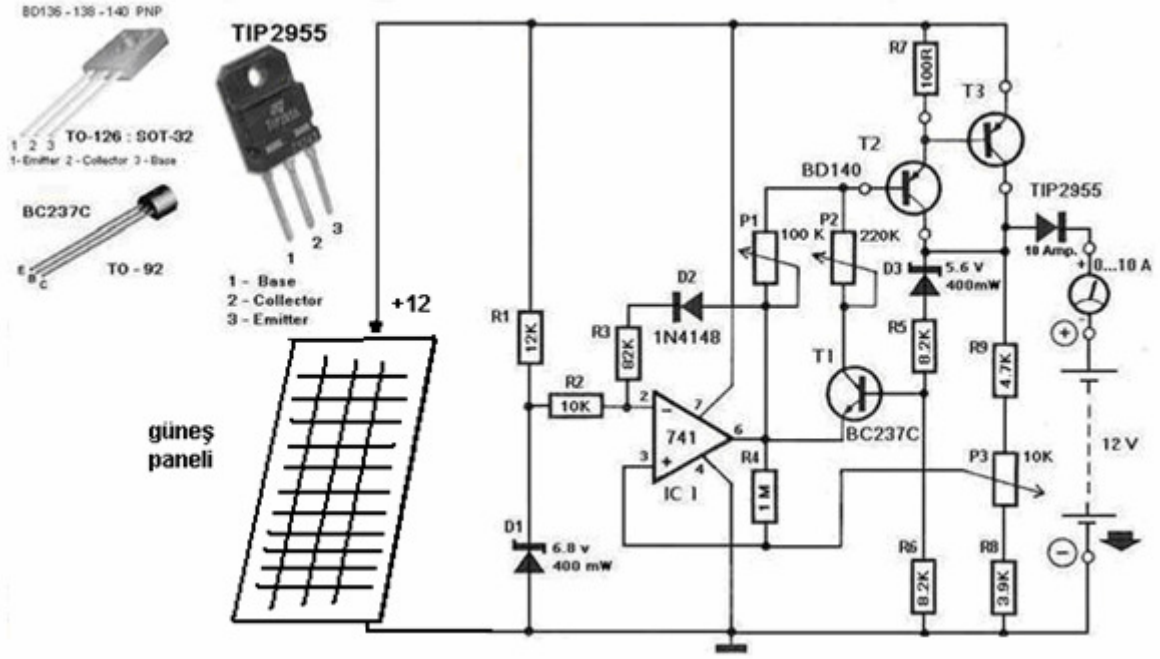
Akümülatör değeri 10,44V' u geçtikten sonra 14.4V gerilim seviyesine ulaşmaya kadar (C-D aralığı boyunca) akümülatör toplam sığasının 1/10 u kadar bir akımla şarj edilmelidir. Akümülatörün tamamen dolması için gerilim değerinin 14,4 V' a ulaşması gerekmektedir. Bu süre yaklaşık olarak 5-6 saat sürmektedir. Bundan sonra akümülatörün iç direncinin iyice azalması sonucu kendi kendine boşalmasını engellemek amacıyla, çok küçük bir akımla şarj işlemine devam edilmesi gerekmektedir. Pratikte TAMPON ŞARJ olarak adlandırılan bu üçüncü aşama (E-F) sırasında, şarj gerilimi 16.44 Voltun üstüne çıkarılmamalıdır. (Hücre başına 2.74 Volt)[54].



Şekil 2.3. Şarj akım grafiği [43]

2.1.1. Devrenin Çalışması

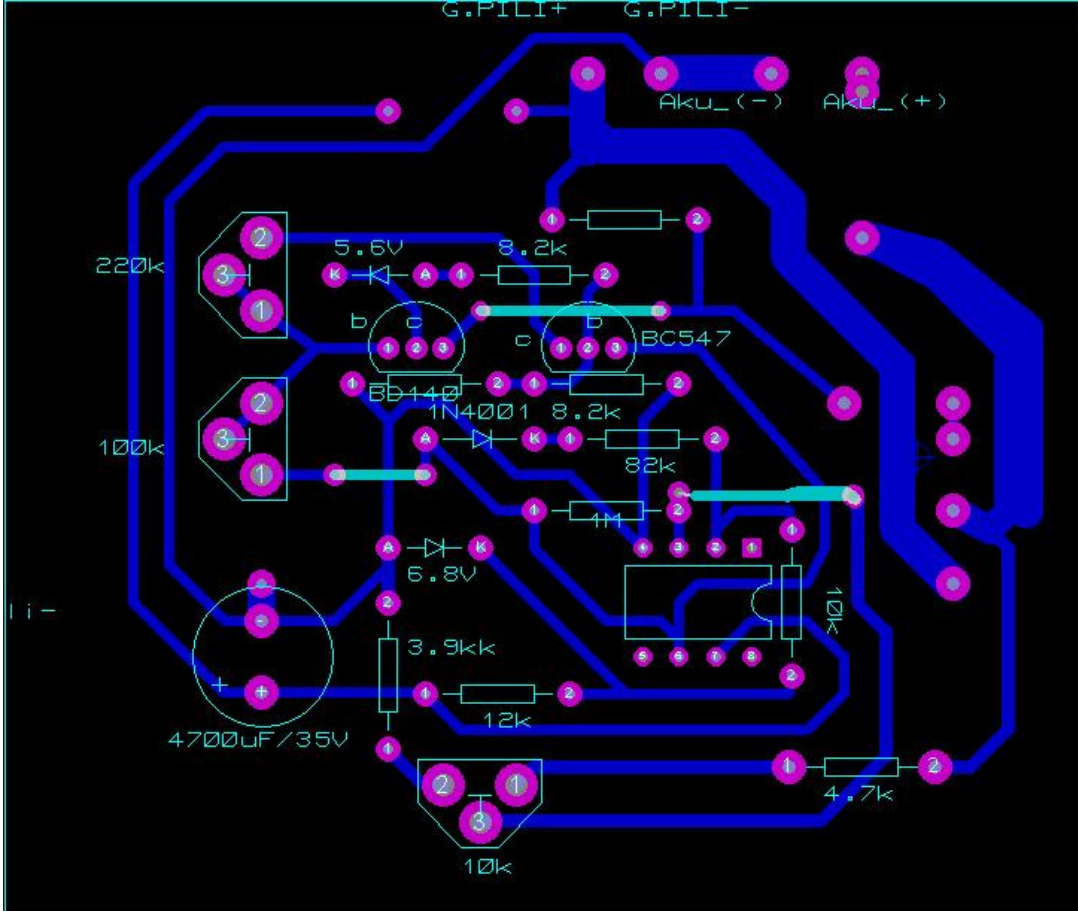
Şekil 2.4.' deki devrede akümülatörü şarj edecek akımın değeri T2 ve T3 transistörleri ile ayarlanmaktadır. Şekil 1.' deki grafiği elde etmek için boş bir akümülatörü devreye bağladığımızda T1 transistörü kesimde olacağından P2 akım değerini belirlemede etkisiz kalacaktır. P1 yardımıyla akım değeri ayarlanmaktadır. Bu değer akümülatörün toplam sığasının 1/20 sinden daha büyük olmamalıdır[3]. Akümülatör gerilimi 10-14V değerleri arasında olduğunda T1 tetiklenir ve ilettime geçer, bu durumda Şarj akımını P1 ve P2 dirençleri beraber belirler. Şekil 1' deki grafiğin ikinci aşaması gerçekleşir. Bu durumda IC1' in çıkışı sıfırdır. Akümülatörün gerilim seviyesinin artmasıyla P3 direncini gerilimi op-amp'ın (+) girişi gerilim seviyesi, D1 zener diyotunun 6.8 voltluk zener değerini geçtiğinde IC1 çıkış vermektedir. Bu çıkış gerilim değeri 1M ohm'luk geri besleme direnci ile zener diyota yakın bir değerde salınım yapar. Bu durumda T1 kesime girer ve P1 tekrar akım değerini sınırlamaya başlar.



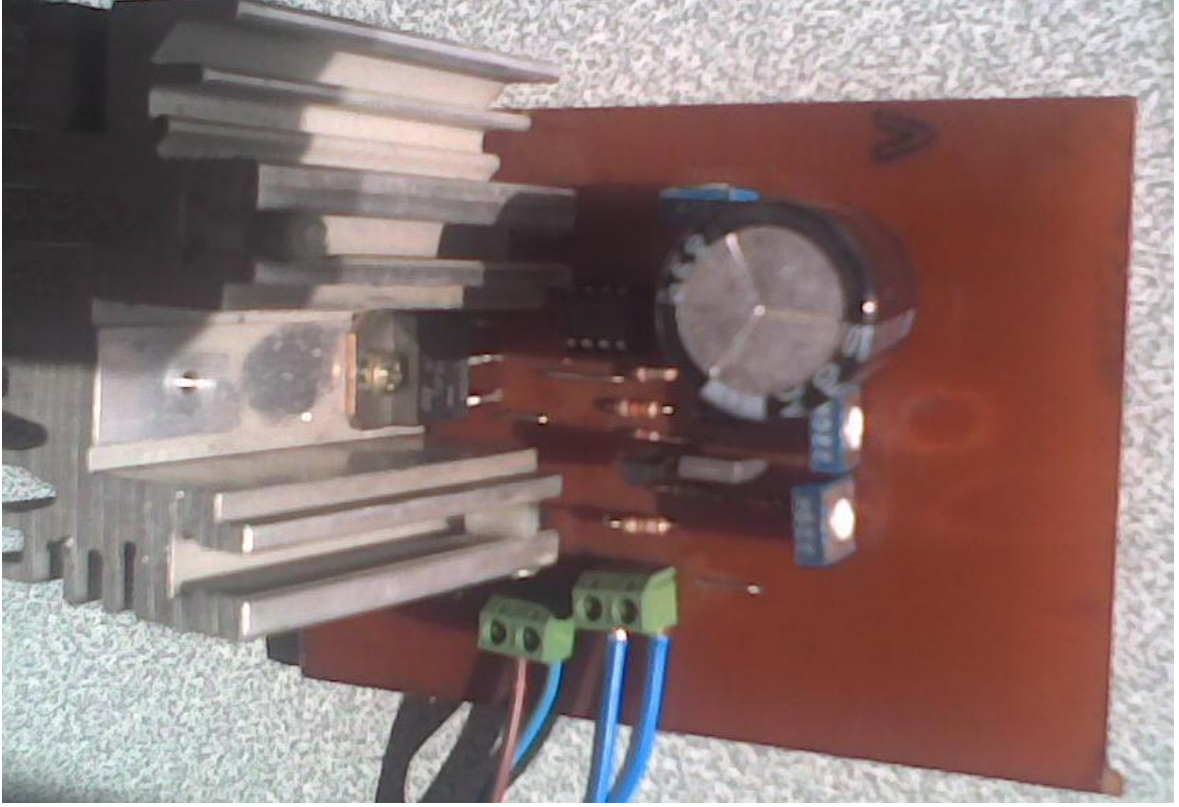
Şekil 2.4. Akü şarj devre şeması [32]

2.1.2. Devrenin Ayarlanması

Akümülatör şarj devresi Şekil 2.3' deki grafiğe uygun akım değerlerinin elde edilecek şekilde ayarlandı. Akümülatör ile devre arasına bir ampermetre bağlandı. Bu ampermetre yardımıyla akümülatörün çektiği akım değeri gözlemlendi. Devremizin çalışma mantığı 741 (karşılaştırıcı) kullanarak referans gerilim değeri ile akümülatörden aldığımız değerlerin karşılaştırılması ve bu durumlara göre çıkış üretmektir. İlk olarak devreye salınım akımını ayarlamak için dolu bir akümülatör bağlandı. Bu P3 ve P1 dirençleri yardımıyla çıkış akımı akümülatör sığasının 1/20 si kadar akım akacak şekilde ayarlandı. Daha sonra 10V civarında bir akümülatör bağlandı. Bu durumda aktif olan P2 direnci ayarlanarak akümülatör sığasının 1/10' u kadar akım geçecek şekilde direnç değerimiz ayarlandı. Akümülatör tamamen dolduğu zaman P3 direnci değeriyle akımın kesilmesini sağlayacak şekilde ayarlama yapıldı. Çıkıştaki seri direnç ters bağlantıda devremizi korumak amacıyla koyulmuştur. Şekil 2.4.' de görüldüğü gibi transistörümüzün (TIP2955) yüksek akımdan zarar görmemesi için soğutucu bağlanmıştır. Şekil 3' de devremizin baskı devre şeması gözükmektedir. Montaj hali Şekil 2.5.' de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.5. Şarj devresinin baskı devre şeması



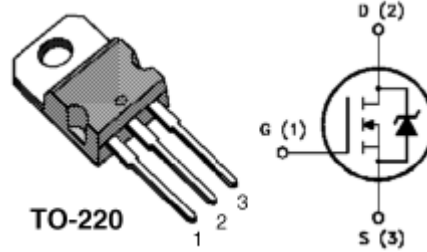
Şekil 2.6. Şarj devresi montaj hali

2.2. İnverter Devresi

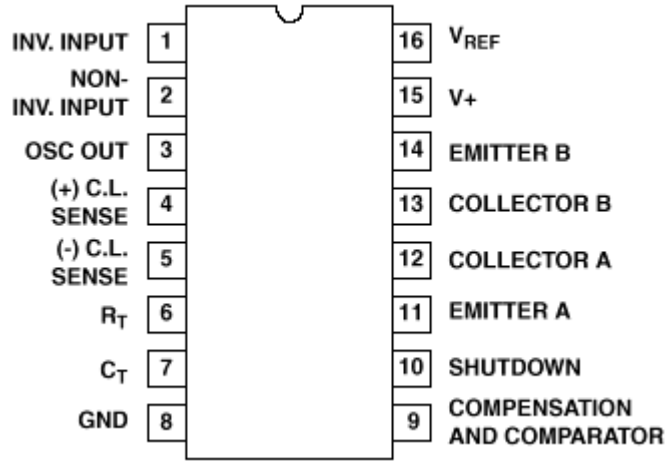
DC gerilimi değişken gerilim dalga biçimine dönüştürebilen; frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen devrelerdir. Eviricilerin üreteceği dalga şekilleri ve frekansları kullanılan yarı iletken elemanların (Tristör, BJT, IGBT, MOSFET) karakteristiklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır[33].

İnverter devresi darbe genişlik modülasyonu (PWM) sürücü tüm devresi olan CA3524 üzerine kuruldu. Şekil 4.'de CA3524' ün bacak bağlantısı gösterilmiştir. İnverter devresi 300W' lık güç verebilecek şekilde tasarlandı. AC gerilim elde etmek için 350W gücünde orta uçlu 2x12V trafo kullanıldı. DC gerimi anahtarlayarak trafonun primerinde iki alternast oluşturmak için IRFZ44 Mosfeti ve fetin yüksek akımdan zarar görmemesi için soğutucu eklenmiştir. Şekil 4'de IRFZ44 Mosfetinin bacak bağlantısı verilmiştir. Şekil 2.6.' da devrenin bağlantı şeması verilmiştir. Çıkış işaretinin frekansı RV1 direnci ile ayarlanır. Çıkış geriliminin genliği ise RV2 direnci ile ayarlanır. Çıkış işaretinde ki bozulmalar R6 ve C3 elemanları ile düzeltilir. Devre şeması 150W lık inverter devresi

içindir. Devrenin gücünü artırmak için mosfet sayısı paralel bağlanarak artırıldı. Böylece 300W değerinde inverter tasarlandı.



Şekil 2.7. IRFZ44 Bacak bağlantısı [5]

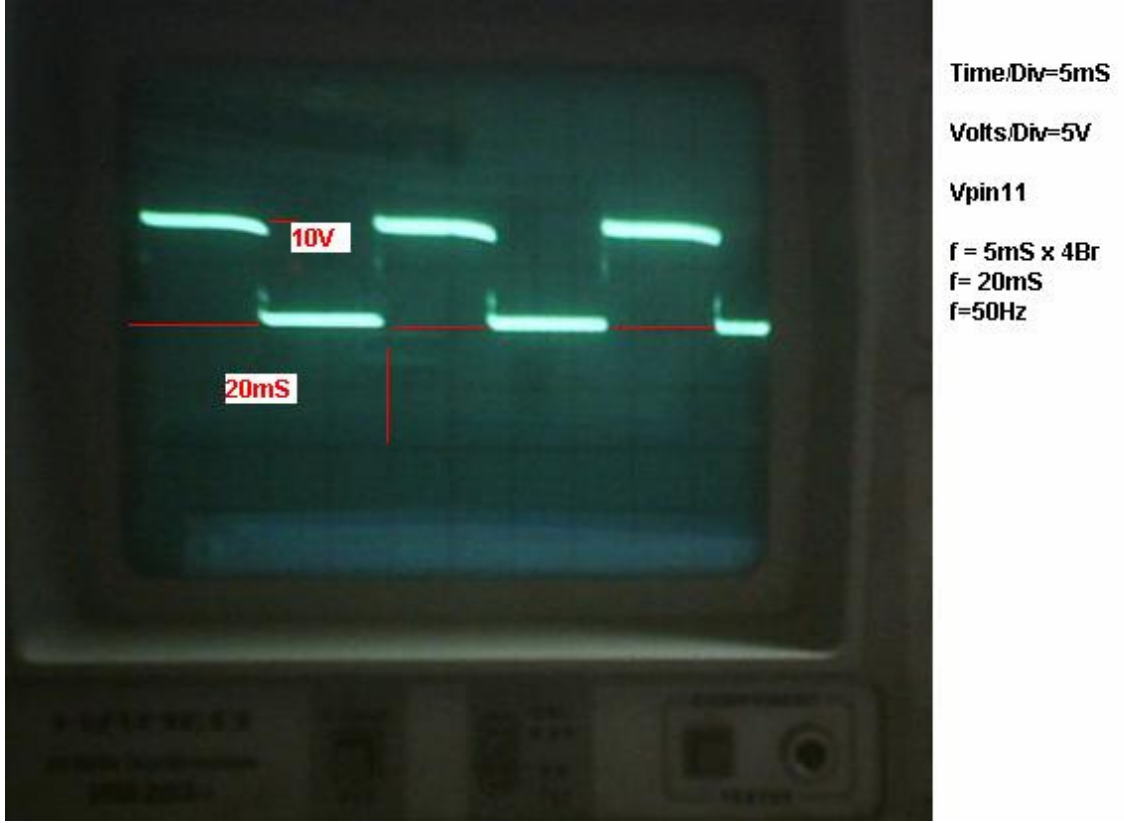


Şekil 2.8. CA3524 Bacak bağlantıları [5]

2.2.1. İnverter Devresinin Yapım Aşamaları

Şekil 2.10' daki baskı devre şeması kullanılarak, Şekil 2.9' deki devrenin son hali oluşturuldu. Aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek devrenin gerekli ayarlamaları yapıldı.

Birinci aşamada trafo bağlanmadan 14 ve 11 nolu bacaklardan mosfetleri sürececek olan kare dalgalar kontrol edildi. Şekil 2.9.' da osiloskoptan alınan işaretler gözükmemektedir.



Şekil 2.9. Mosfetlerin girişindeki dalga şekilleri

İkinci aşamada VR1 direnci ile 50Hz lik frekans değeri ayarlandı.

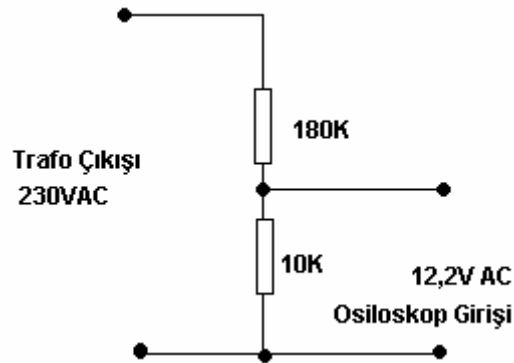
Trafo çıkışındaki gerilimi ölçmek için Şekil 2.10.'da ki devreyi kurduk. .

Gerilim V_{pp} değeri $20V = 20V$

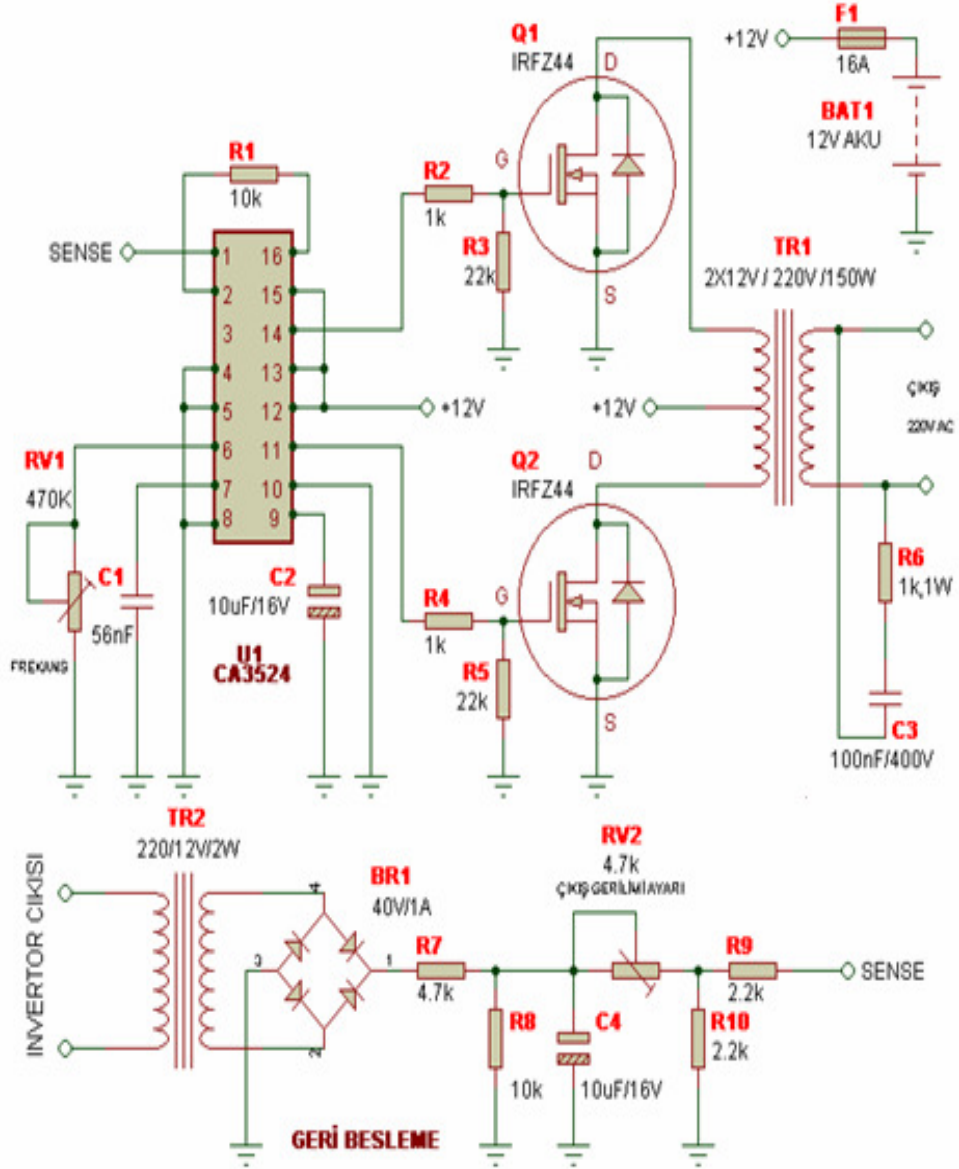
Gerilim Etkin değeri = $12,2V$

Crest Factor= $20/12,2 = 1,63$ (Sinus 1,4 – 1,7)

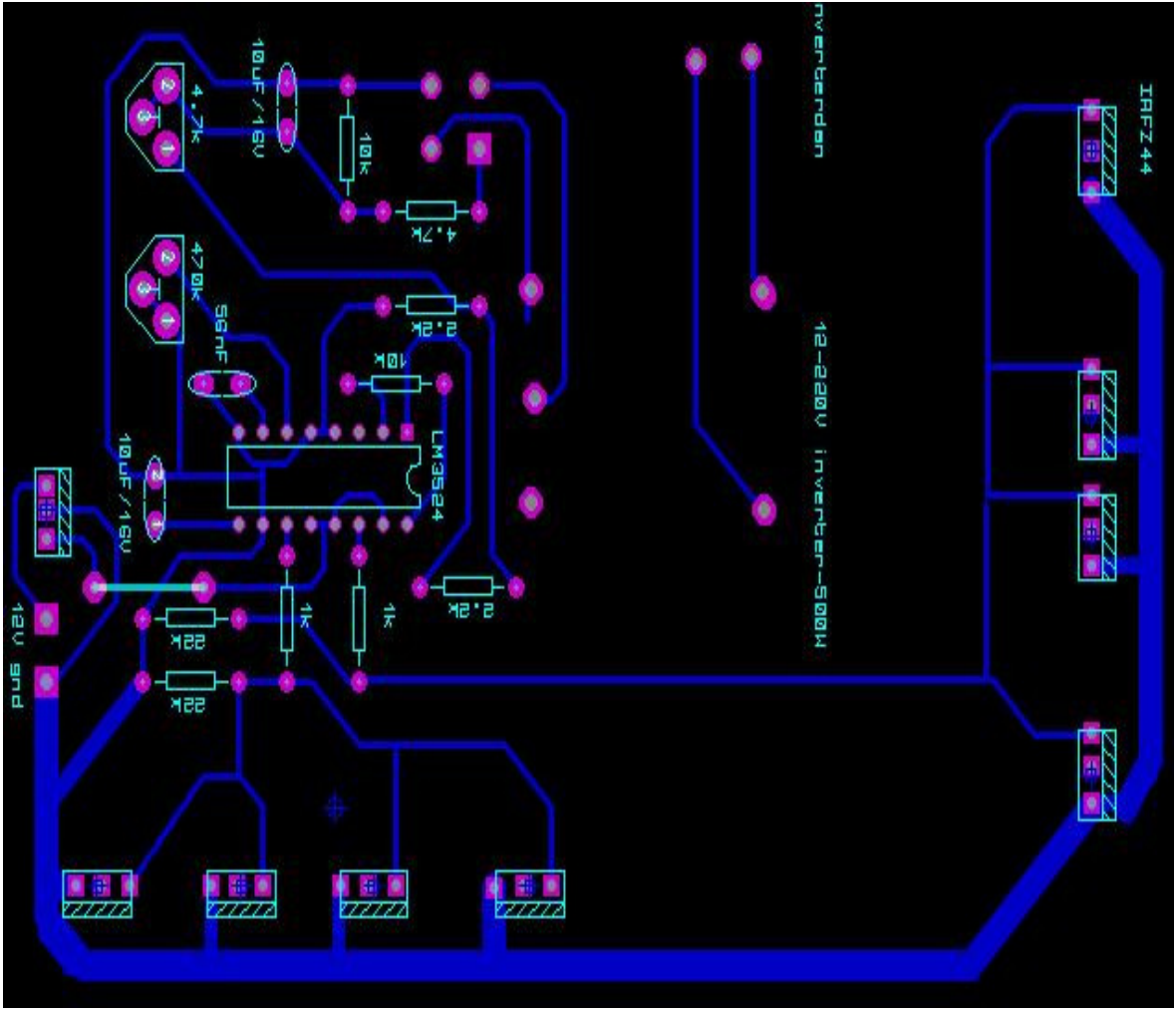
Üçüncü aşamada trafo devreye bağlandı ve VR2 ile çıkış gerilimi 220V AC değere göre ayarlandı. Yük yokken devreden 2A 'e yakın akım akmaktadır.



Şekil 2.10. Çıkış gerilimi ölçüm devresi



Şekil 2.11. İnverter devresinin açık şeması [54]



Şekil 2.12. Inverter devresinin baskı devre şeması



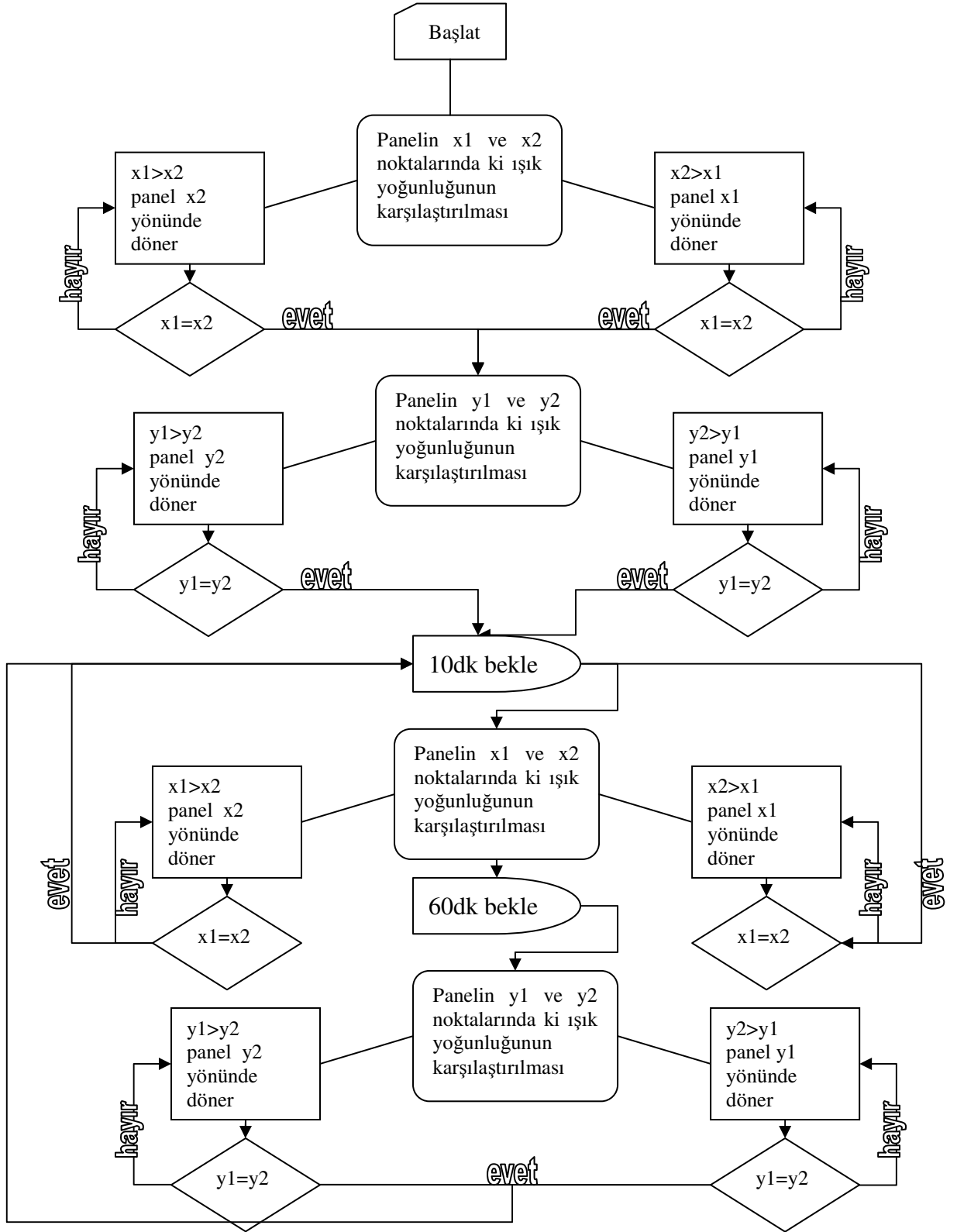
Şekil 2.13. İverter devresi montaj hali

2.3. Güneş Işıklarını İzleme Sisteminin Çalışma Prensibi

Güneş ışıklarının panelimize dik olarak vurması için güneş panelimiz de 4 adet izleyici sensör kullandık. Bu sensörler ışığın şiddetine göre direnci değişen LDR elemanlarından oluşmaktadır. Bu sensörleri panelimizin üst-alt ve sağ-sol kenarlarına yerleştirdik. Bu LDR lerden alınan gerilim değeri Pic18F628 mikro denetleyicisinin içerisinde yazılı olan algoritmaya göre panelimizin hareketini sağlamaktadır.

Güneş panelinin sağ-sol, yukarı-aşağı yönlerinde hareket etmesi için step motor ve dc motor kullanılmıştır. Güneş ışıkları doğu-batı yönlerinde ki hareketi gün içerisinde sürekli değiştiği için bu konumda daha hassas olan step motor kullanıldı. Bu iki motor mikro denetleyici tarafından kontrol edilmektedir.

2.3.1. Güneş Işıklarını İzleme Sisteminin Çalışma Algoritması



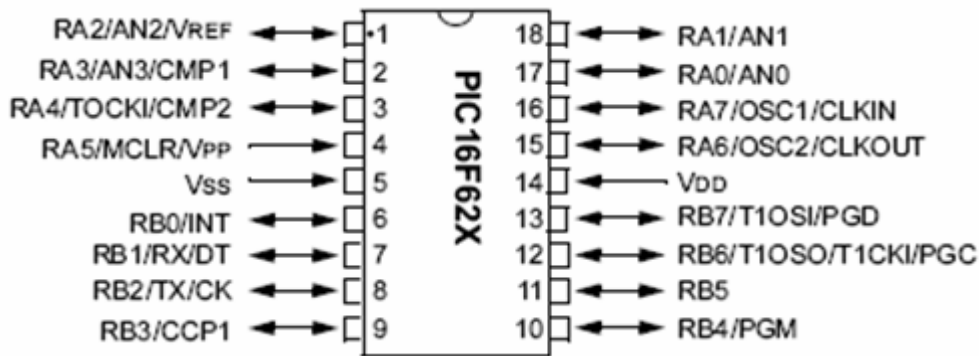
Şekil 2.14. Güneş izleme sisteminin çalışma algoritması

Şekil 2.14' de verilen algoritma bizim güneş izleme sistemimizin çalışma prensibini anlatmaktadır. Sistem ilk enerjilendiğinde panelin sağ ve sol kenarlarında bulunan x1 ve x2 kodlu, LDR' ler den gelen sinyale göre paneli güneş ışınlarını tam merkezde toplayacak şekilde hareket ettirir. Bu aşamadan sonra panel üst ve alt kenarlarda bulunan sensörlerden gelen bilgiye göre paneli y1 veya y2 yönünde hareket ettirir. Bu durumda güneş ışınları panel yüzeyine maksimum seviyede düşmektedir.

Sistem motorların harcayacağı gücü düşünerek sürekli izleme yapmamaktadır. Yapılan deney sonuçlarından elde edilen sonuca göre, paneli belli süre aralıklarında hareket ettirmektedir. x1-x2 yönünden yapılan izleme, y1- y2 yönünde yapılan izlemeden daha siktir. Bunun sebebi güneşin izlediği yolun daha çok doğu batı yönünde değişiklik göstermesidir.

2.3.2. Mikrodenetleyicinin Çalışma Algoritması

Pic16F628 mikrodenetleyicisi içerisinde 2 adet analog karşılaştırıcı bulundurmaktadır. Bu analog karşılaştırıcıları x1-x2 ve y1-y2 sensörlerinin gerilim değerlerini karşılaştırmak için programladık. Şekil 2.15. de Pic16F628' in bacak bağlantıları görülmektedir.

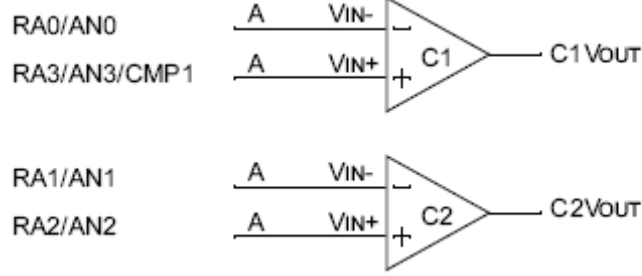


Şekil 2.15. Pic16F628 Mikrodenetleyicisinin bacak bağlantıları

Mikrodenetleyici karşılaştırıcının girişlerindeki gerilim seviyelerinin eşitlenmesini sağlayacak şekilde motorlara tetikleme sinyali gönderir.

Mikrodenetleyicinin bir diğer görevi de step motorun sürülmesi için gerekli tarama frekansını ve tetikleme sinyallerini üretmektir. Biz 500mA akım çeken orta uçlu bobinli step motor kullandık. Step motoru sürmek 7 darlington dizisi içeren ULN2003A

entegresini kullandık. Böylece step motorun sürülmesi için gerekli akımı buradan sağlamış olduk.



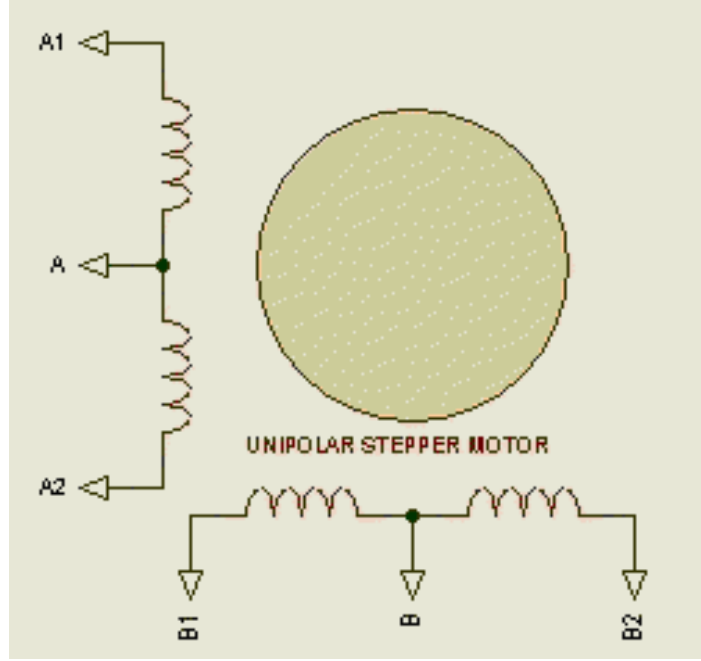
Şekil 2.16. Pic16F628 Mikrodenetleyicisinin karşılaştırıcı girişleri

Şekil 2.16' da pic mikrodenetleyicisinin analog girişleri ve çıkış bitleri gösterilmiştir.

Şekil 2.18.' de unipolar step motorun bağlantı uçları verilmiştir. Bizim devremizde ortak uçlar A ve B 12VDC kaynağımıza bağlanmıştır. Diğer bobin uçları ULN2003A darlington dizisi üzerinden pic ile bağlantılanmıştır. Step motorun sürülmesi için Şekil2.17.' de gösterilen adım tetiklemeleri uygulanır. Adımlar arasında ki gecikme süreleri ayarlanarak step motorun hızı değiştirilir. Ters yönde step motor kontrolü için adım tetiklemeleri ters yönde verilir.

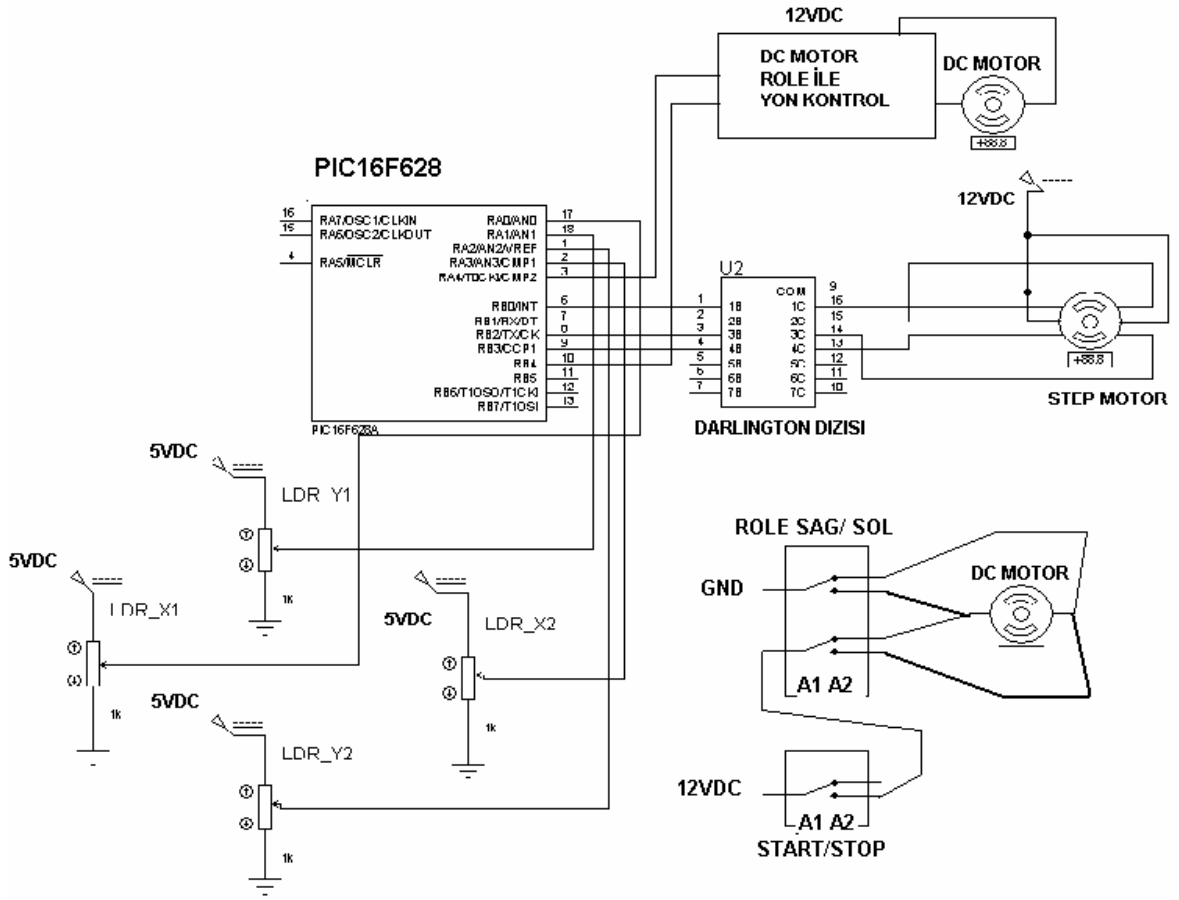
Unipolar Step Motor Adımları				
	A1	B1	A2	B2
1.Adım	1	0	0	0
2.Adım	0	1	0	0
3.Adım	0	0	1	0
4.Adım	0	0	0	1

Şekil 2.17. Unipolar step motor adımları



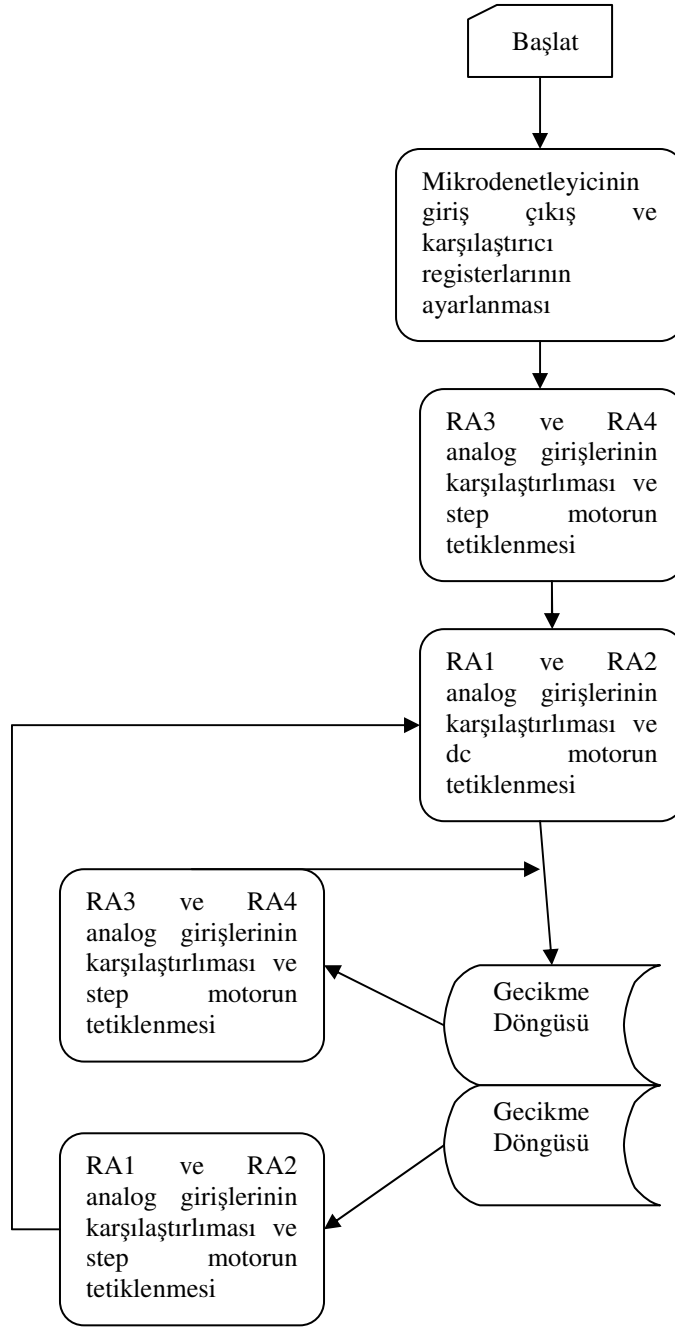
Şekil 2.18. Unipolar step motor bağlantı şekli

Şekil 2.19.' de güneş paneli izleme sisteminin proteus ile yapılmış olan simülasyon devre şeması görülmektedir. Burada LDR elemanları yerine potansiyometreler koyulmuştur. Bunlarla güneş ışınının şiddeti simgelenmektedir. DC motor kontrol ünitesinde 2 Adet röle bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi yön kontrolü için diğeri ise start/stop fonksiyonu için kullanılmıştır.



Şekil 2.19. Pic16F628 ile izleme simülasyonu

Şekil 2.20.' de Mikrodenetleyicinin güneş paneli ile beraber çalışmasını gösteren algoritma verilmiştir.



Şekil 2.20. Mikrodenetleyici sisteminin çalışma algoritması

2.4. Sabit Konumlu Panel İle Yapılan Ölçümler

2.4.1. Yatay ve Yatayla 45 Derece Açı Yapan Panelden Alınan Gerilim Değerleri

Tablo 2.2. Yatay ve 45 derece dik konumda güney-doğu yönünde yerleştirilmiş yüksüz durumdaki panelden alınan ölçüm değerleri

	10.10.2006		11.10.2006		12.10.2006		13.10.2006		14.10.2006	
	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y
10:00	20,45	18,89	14,88	12,68	20,85	20,40	20,45	18,40	20,00	18,88
10:30	19,40	18,92	15,00	14,28	17,37	16,40	20,40	18,30	19,55	18,80
11:00	19,10	18,90	15,92	14,48	17,60	16,50	19,45	18,55	18,05	18,82
11:30	19,10	19,11	17,55	16,55	17,50	16,45	19,21	18,37	19,60	18,60
12:00	18,80	19,00	17,80	16,80	16,20	14,76	19,28	18,48	19,54	18,78
12:30	18,40	18,20	17,21	16,00	19,05	18,16	19,30	18,40	18,56	17,49
13:00	18,40	18,08	15,07	13,35	14,90	13,10	19,28	18,00	18,40	17,40
13:30	17,00	16,30	14,49	13,51	14,70	13,10	18,00	18,20	18,09	17,21
14:00	16,74	16,09	15,40	15,00	15,00	14,00	18,10	17,10	18,00	15,60
14:30	15,60	15,00	14,34	12,59	16,64	15,22	16,70	15,50	16,60	15,30
15:00	14,34	12,59	12,37	10,50	15,85	15,30	16,78	15,60	16,00	14,00
15:30	12,30	9,30	12,20	10,20	10,00	8,00	15,32	13,75	12,00	10,00
16:00	12,30	12,90	11,00	9,80	8,16	6,15	15,00	12,00	11,60	9,00

(Koyu renkler güneşli, açık renkler bulutlu koşulları gösterir)

Tablo2.2' den elde edilen verilerden yatay konumda ki güneş panelinin veriminin 45 derece dikey konumda bulunan panelden daha düşük olduğunu görüyoruz.

2.4.2. Aylara Göre Değişik Panel Konumlarından Alınan Elektriksel Değerler

Ocak ayına ait panelin yatay 45 derece doğu, 45 derece güney ve çift yönlü konumlarından alınan ölçüm değerleri Tablo 2.3., Tablo 2.4., Tablo 2.5. ve Tablo 2.6.' da gösterilmiştir. Şekil 2.21.' de bu tablolardan alınan güç ölçüm değerlerine göre konumların karşılaştırılması grafiği çizilmiştir.

Tablo 2.3. Ocak Ayına ait yatay konumlu ölçüm değerleri

OCAK AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU YATAY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	17,97	0,22	11,31	0,19	2,15	35	0,0965
09:00	20,58	0,71	17,32	0,63	10,91	135	0,1271
11:00	20,85	1,34	17,68	1,18	20,86	257	0,1276
12:00	20,81	1,23	17,65	1,08	19,06	236	0,1270
13:00	20,66	0,96	17,49	0,84	14,69	183	0,1262
14:00	20,66	0,95	17,48	0,84	14,68	181	0,1276
16:00	19,79	0,34	15,98	0,30	4,79	65	0,1160

Tablo 2.4. Ocak Ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri

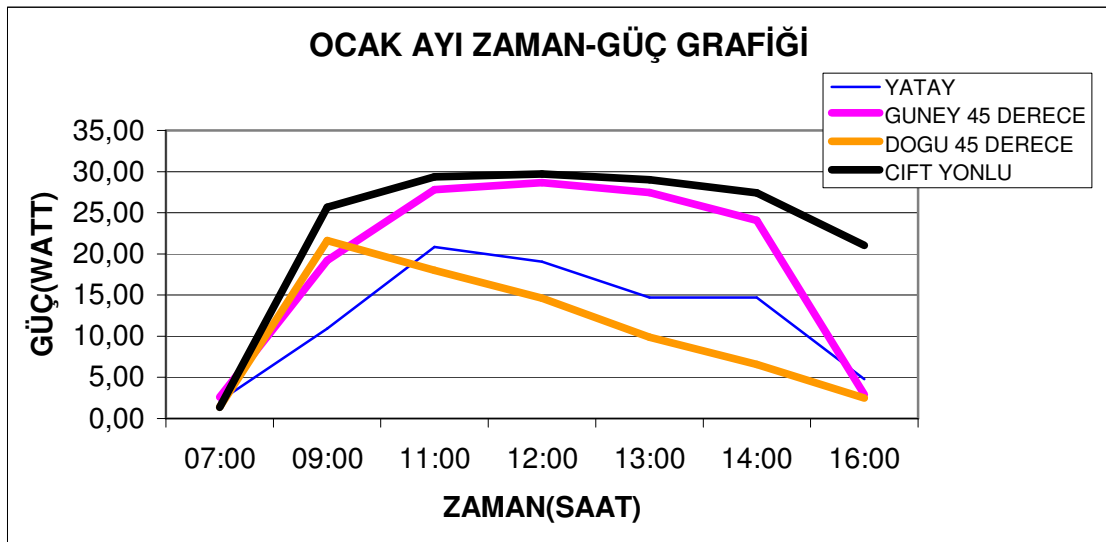
OCAK AYINA AİT 2. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE DOĞU							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,29	0,11	13,93	0,10	1,39	21,00	0,1043
09:00	21,34	1,35	18,18	1,19	21,63	254,00	0,1339
11:00	21,14	1,14	17,99	1,00	17,99	219,00	0,1292
12:00	21,02	0,93	17,85	0,82	14,64	179,00	0,1286
13:00	20,63	0,65	17,33	0,57	9,88	124,00	0,1253
14:00	20,42	0,44	16,88	0,39	6,58	84,00	0,1232
16:00	19,93	0,21	15,57	0,16	2,49	39,00	0,1004

Tablo 2.5. Ocak Ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri

OCAK AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE GÜNEY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,72	0,19	15,24	0,17	2,59	36,00	0,1132
09:00	21,28	1,20	18,14	1,06	19,23	227,00	0,1332
11:00	20,94	1,78	17,70	1,57	27,79	343,00	0,1274
12:00	20,94	1,84	17,70	1,62	28,67	354,00	0,1274
13:00	20,94	1,76	17,71	1,55	27,45	338,00	0,1277
14:00	21,14	1,53	17,96	1,34	24,07	292,00	0,1296
16:00	19,69	0,21	15,33	0,19	2,91	39,00	0,1174

Tablo 2.6. Ocak Ayına çift yönlü izleme ölçüm değerleri

OCAK AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU ÇİFT YÖNLÜ İZLEME							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,11	0,11	13,64	0,10	1,36	20	0,1072
09:00	21,40	1,60	18,20	1,41	25,66	303	0,1332
11:00	20,95	1,88	17,69	1,66	29,37	361	0,1279
12:00	20,75	1,88	17,47	1,70	29,70	364	0,1283
13:00	20,74	1,84	17,47	1,66	29,00	356	0,1281
14:00	20,71	1,73	17,47	1,57	27,43	334	0,1291
16:00	20,66	1,34	17,52	1,20	21,02	253	0,1307



Şekil 2.21. Ocak ayı zaman-güç grafiği

Şubat ayına ait panelin yatay 45 derece doğu, 45 derece güney ve çift yönlü konumlarından alınan ölçüm değerleri Tablo 2.7., Tablo 2.8., Tablo 2.9. ve Tablo 2.10.' da gösterilmiştir. Şekil 2.22.' de bu tablolardan alınan güç ölçüm değerlerine göre konumların karşılaştırılması grafiği çizilmiştir.

Tablo 2.7. Şubat Ayına ait yatay konumlu ölçüm değerleri

ŞUBAT AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU YATAY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,98	0,21	15,67	0,19	2,98	42	0,1115
09:00	21,07	1,16	17,92	1,03	18,46	222	0,1307
11:00	20,98	1,63	17,77	1,44	25,59	313	0,1285
12:00	20,99	1,68	17,77	1,48	26,30	322	0,1284
13:00	20,97	1,60	17,77	1,41	25,06	307	0,1283
14:00	20,92	1,41	17,75	1,24	22,01	268	0,1291
16:00	20,61	0,61	17,28	0,54	9,33	118	0,1243

Tablo 2.8. Şubat Ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri

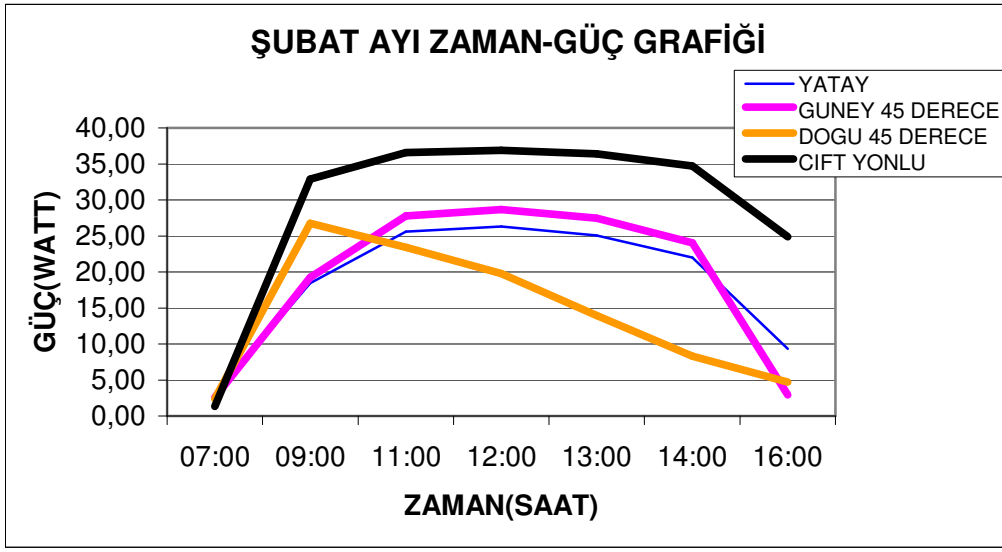
ŞUBAT AYINA AİT 2. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE DOĞU							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,63	0,18	15,02	0,16	2,40	33,00	0,1145
09:00	21,17	1,69	17,95	1,49	26,75	320,00	0,1314
11:00	20,90	11,55	17,21	1,36	23,41	298,00	0,1235
12:00	20,82	1,27	17,66	1,12	19,78	244,00	0,1275
13:00	20,63	0,90	17,44	0,80	13,95	174,00	0,1261
14:00	20,38	0,56	16,99	0,49	8,33	106,00	0,1235
16:00	20,01	0,33	16,18	0,29	4,69	62,00	0,1190

Tablo 2.9. Şubat Ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri

ŞUBAT AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE GÜNEY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,63	0,18	15,02	0,16	2,40	33	0,1145
09:00	21,16	1,66	17,96	1,46	26,22	314	0,1313
11:00	21,08	2,26	17,73	1,99	35,28	435	0,1275
12:00	20,95	2,33	17,59	2,05	36,06	447	0,1268
13:00	20,96	2,22	17,62	1,95	34,36	426	0,1268
14:00	21,07	1,95	17,80	1,72	30,62	373	0,1291
16:00	20,77	0,93	17,59	0,82	14,42	175	0,1296

Tablo 2.10 Şubat Ayına çift yönlü izleme ölçüm değerleri

ŞUBAT AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU ÇİFT YÖNLÜ İZLEME							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	18,85	0,11	13,32	0,10	1,33	20	0,1047
09:00	21,27	2,08	17,97	1,83	32,89	395	0,1309
11:00	21,04	2,35	17,67	2,07	36,58	452	0,1272
12:00	21,04	2,38	17,66	2,09	36,91	457	0,1270
13:00	21,04	2,34	17,67	2,06	36,40	449	0,1275
14:00	21,04	2,23	17,70	1,96	34,69	427	0,1277
16:00	21,21	1,57	18,02	1,38	24,87	295	0,1325



Şekil 2.22. Şubat ayı zaman-güç grafiği

Mart ayına ait panelin yatay 45 derece doğu, 45 derece güney ve çift yönlü konumlarından alınan ölçüm değerleri Tablo 2.11., Tablo 2.12., Tablo 2.13. ve Tablo 2.14.' da gösterilmiştir. Şekil 2.23.' de bu tablolardan alınan güç ölçüm değerlerine göre konumların karşılaştırılması grafiği çizilmiştir.

Tablo 2.11. Mart Ayına ait yatay konumlu ölçüm değerleri

MART AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU YATAY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,24	0,47	16,73	0,41	6,86	90	0,1198
09:00	20,99	1,70	17,77	1,49	26,48	323	0,1289
11:00	20,92	2,21	17,58	1,94	34,11	421	0,1274
12:00	20,80	2,25	17,45	1,98	34,55	431	0,1260
13:00	20,80	2,12	17,48	1,86	32,51	413	0,1238
14:00	20,90	1,95	17,63	1,72	30,32	371	0,1285
16:00	20,78	1,08	17,62	0,95	16,74	207	0,1271

Tablo 2.12. Mart Ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri

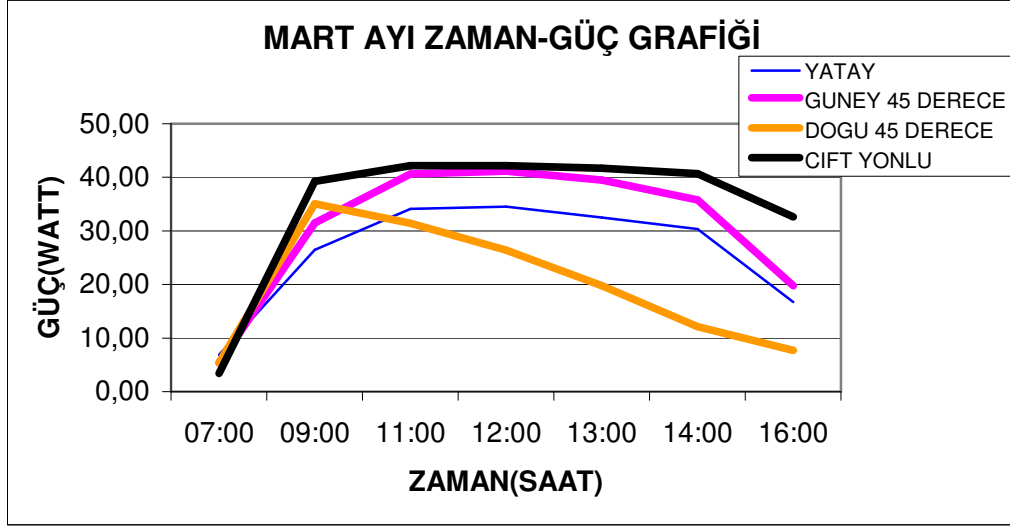
MART AYINA AİT 2. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE DOĞU							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,13	0,37	16,43	0,33	5,42	70,00	0,1218
09:00	20,96	2,26	17,61	1,99	35,04	427,00	0,1290
11:00	20,84	2,03	17,54	1,79	31,40	390,00	0,1266
12:00	20,81	1,70	17,59	1,50	26,39	327,00	0,1269
13:00	20,82	1,27	17,66	1,12	19,78	244,00	0,1275
14:00	20,54	0,80	17,32	0,70	12,12	152,00	0,1254
16:00	20,20	0,52	16,76	0,46	7,71	99,00	0,1224

Tablo 2.13. Mart Ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri

MART AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE GÜNEY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,01	0,37	16,29	0,33	5,38	70	0,1207
09:00	20,96	2,02	17,67	1,78	31,45	382	0,1295
11:00	20,81	2,66	17,35	2,34	40,60	511	0,1249
12:00	20,68	2,73	17,21	2,39	41,13	522	0,1239
13:00	20,70	2,61	17,25	2,29	39,50	500	0,1242
14:00	20,83	2,33	17,46	2,05	35,79	445	0,1265
16:00	20,82	1,27	17,66	1,12	19,78	239	0,1301

Tablo 2.14. Mart Ayına ait çift yönlü ölçüm değerleri

MART AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU ÇİFT YÖNLÜ İZLEME							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(Watt)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,62	0,25	15,46	0,22	3,40	47	0,1138
09:00	21,03	2,53	17,61	2,23	39,27	480	0,1286
11:00	20,90	2,75	17,42	2,42	42,16	528	0,1255
12:00	20,78	2,77	17,29	2,44	42,19	532	0,1247
13:00	20,78	2,75	17,30	2,41	41,69	526	0,1246
14:00	20,91	2,65	17,45	2,33	40,66	507	0,1261
16:00	21,03	2,09	17,73	1,84	32,62	394	0,1302



Şekil 2.23. Mart ayı zaman-güç grafiği

Nisan ayına ait panelin yatay 45 derece doğu, 45 derece güney ve çift yönlü konumlarından alınan ölçüm değerleri Tablo 2.15., Tablo 2.16., Tablo 2.17. ve Tablo 2.18.' da gösterilmiştir. Şekil 2.24.' de bu tablolardan alınan güç ölçüm değerlerine göre konumların karşılaştırılması grafiği çizilmiştir.

Tablo 2.15. Nisan Ayına ait yatay konumlu ölçüm değerleri

NİSAN AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU YATAY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,37	1,01	17,19	0,89	15,30	203	0,1185
09:00	20,56	2,13	17,24	1,87	32,24	403	0,1258
11:00	20,43	2,65	16,98	2,32	39,39	505	0,1227
12:00	20,43	2,69	16,96	2,36	40,03	514	0,1224
13:00	20,32	2,61	16,87	2,28	38,46	498	0,1214
14:00	20,44	2,40	17,05	2,11	35,98	455	0,1243
16:00	20,34	1,50	17,15	1,32	22,64	287	0,1240

Tablo 2.16. Nisan Ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri

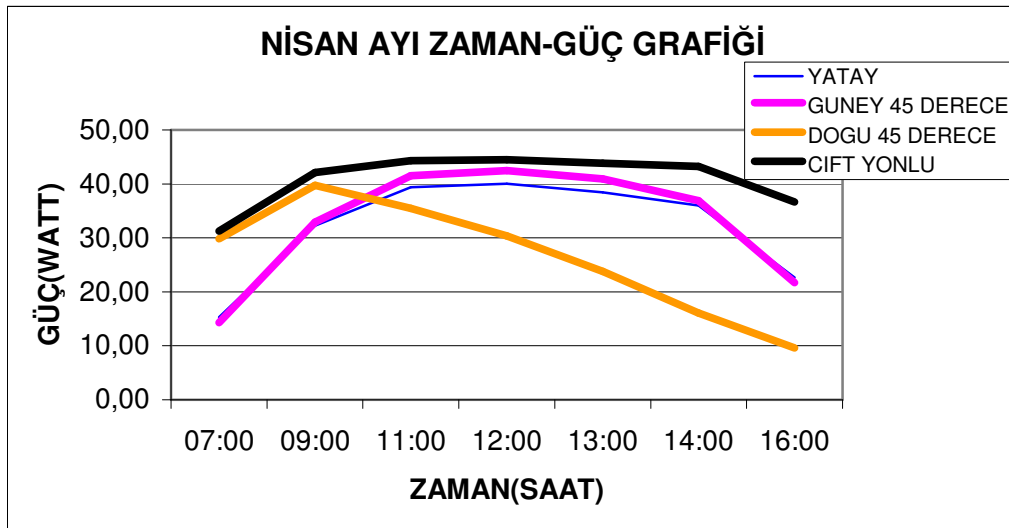
NİSAN AYINA AİT 2. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE DOĞU							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,71	1,94	17,44	1,71	29,82	358,00	0,1310
09:00	20,45	2,67	16,99	2,34	39,76	503,00	0,1243
11:00	20,35	2,39	16,97	2,09	35,47	457,00	0,1220
12:00	20,35	2,03	17,06	1,78	30,37	388,00	0,1231
13:00	20,30	1,59	17,10	1,39	23,77	303,00	0,1233
14:00	20,12	1,08	16,95	0,95	16,10	205,00	0,1235
16:00	19,89	0,66	16,57	0,58	9,61	125,00	0,1209

Tablo 2.17. Nisan Ayına ait 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri

NİSAN AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE GÜNEY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,41	0,94	17,22	0,83	14,29	176	0,1277
09:00	20,48	2,18	17,15	1,92	32,93	412	0,1257
11:00	20,32	2,82	16,82	2,47	41,55	539	0,1212
12:00	20,31	2,89	16,78	2,53	42,45	553	0,1207
13:00	20,32	2,77	16,83	2,43	40,90	530	0,1213
14:00	20,35	2,49	16,93	2,18	36,91	474	0,1224
16:00	20,27	1,45	17,09	1,27	21,70	277	0,1232

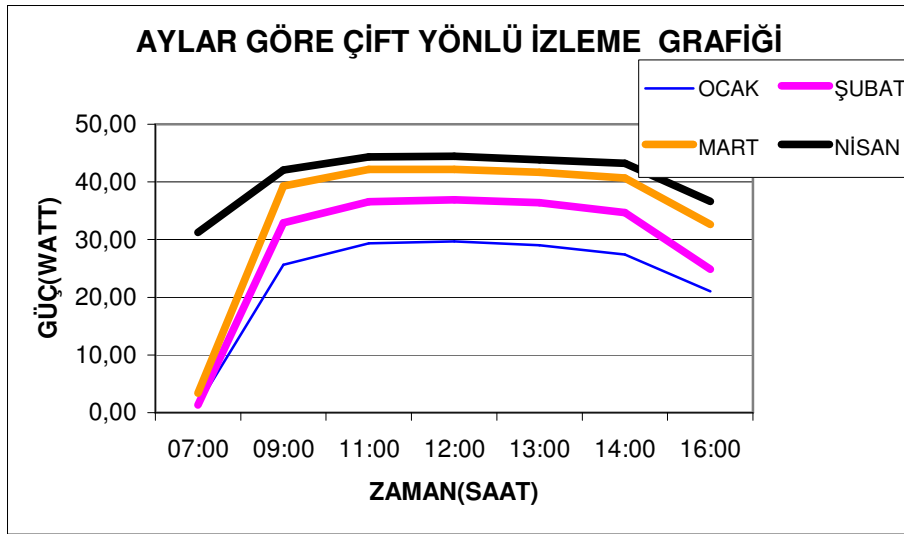
Tablo 2.18. Şubat Ayına ait çift yönlü ölçüm değerleri

NİSAN AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU ÇİFT YÖNLÜ İZLEME							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	20,67	2,05	17,37	1,80	31,27	380	0,1294
09:00	20,54	2,82	17,04	2,47	42,09	534	0,1239
11:00	20,40	3,00	16,85	2,63	44,32	574	0,1214
12:00	20,40	3,01	16,84	2,64	44,46	576	0,1214
13:00	20,29	2,99	16,73	2,62	43,83	572	0,1205
14:00	20,41	2,92	16,88	2,56	43,21	557	0,1220
16:00	20,44	2,46	17,04	2,15	36,64	459	0,1255



Şekil 2.24. Nisan ayı zaman-güç grafiği

Şekil 19.' da aylara göre çift yönlü izleme grafikleri bir arada gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Aylara göre çift yönlü izleme güç grafiği

Ağustos ayına ait panelin yatay, 45 derece doğu ve 45 derece güney konumlarından alınan ölçüm değerleri Tablo 2.19., Tablo 2.20., ve Tablo 2.21.' de gösterilmiştir. Şekil 2.26..' de bu tablolardan alınan güç ölçüm değerlerine göre konumların karşılaştırılması grafiği çizilmiştir.

Tablo 2.19. Ağustos Ayına ait yatay konumlu ölçüm değerleri

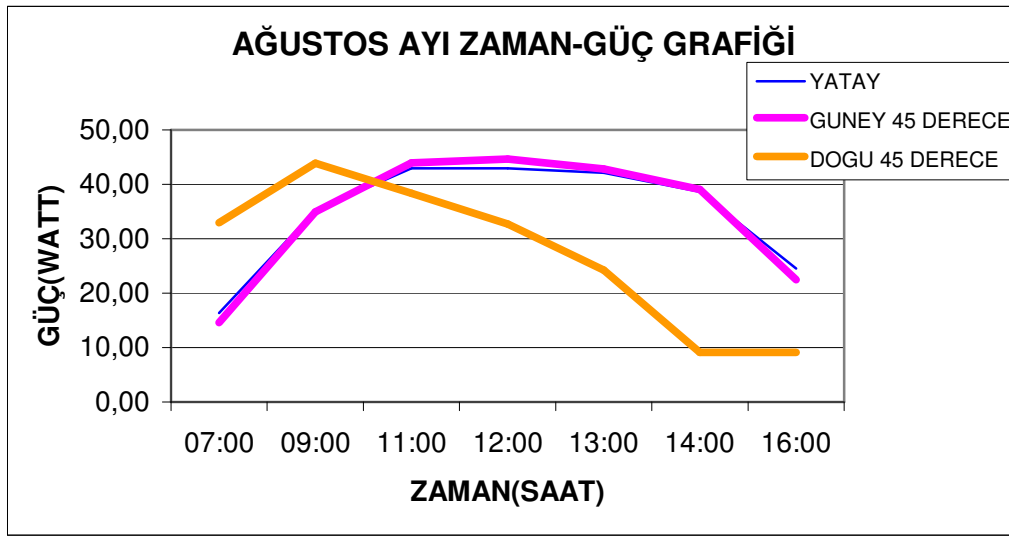
AĞUSTOS AYINA AİT 1. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU YATAY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	18,95	1,19	15,75	1,04	16,38	245,00	0,1051
09:00	19,03	2,59	15,58	2,26	35,21	489,00	0,1132
11:00	18,72	3,29	15,07	2,85	42,95	621,00	0,1087
12:00	18,47	3,34	14,81	2,90	42,95	633,00	0,1067
13:00	18,61	3,24	14,98	2,81	42,09	611,00	0,1083
14:00	18,65	2,95	15,10	2,56	38,66	554,00	0,1097
16:00	18,77	1,82	15,51	1,58	24,51	346,00	0,1114

Tablo 2.20. Ağustos Ayına ait 45 derece doğu konumlu ölçüm değerleri

AĞUSTOS AYINA AİT 2. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE DOĞU							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATT)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	19,16	2,40	15,77	2,09	32,96	438,00	0,1183
09:00	18,95	3,30	15,30	2,87	43,91	616,00	0,1121
11:00	18,53	2,95	14,98	2,56	38,35	560,00	0,1077
12:00	18,56	2,49	15,14	2,16	32,70	472,00	0,1089
13:00	18,54	1,90	15,16	1,60	24,26	360,00	0,1059
14:00	18,08	0,71	14,69	0,62	9,11	135,00	0,1061
16:00	18,20	0,71	14,69	0,62	9,11	133,00	0,1077

Tablo 2.21. Ağustos 45 derece güney konumlu ölçüm değerleri

AĞUSTOS AYINA AİT 3. GÜN ÖLÇÜMLERİ - PANEL KONUMU 45 DERECE GÜNEY							
SAAT	VAD(V)	IKD(A)	VYUK(V)	IYUK(A)	GÜÇ(WATTP)	W/m2 IŞIK Ş.	VERİM(%)
07:00	18,89	1,07	15,67	0,93	14,57	198,00	0,1157
09:00	19,03	2,58	15,59	2,24	34,92	482,00	0,1139
11:00	18,58	3,40	14,90	2,95	43,96	646,00	0,1070
12:00	18,45	3,50	14,74	3,03	44,66	663,00	0,1059
13:00	18,48	3,34	14,81	2,89	42,80	635,00	0,1060
14:00	18,64	2,98	15,08	2,59	39,06	562,00	0,1093
16:00	18,74	1,67	15,51	1,45	22,49	310,00	0,1141



Şekil 2.26. Ağustos ayı zaman-güç grafiği

2.5. Güneş Panellerinin Verimlerinin Hesaplanması

PV enerji sistemleri güneşten aldıkları enerjiyi, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. PV sistem tarafından, güneş enerjisinin gerçekte ne kadarının kullanılabilir elektrik enerjisine çevrildiği sorusunun cevabı, verimi tanımlar.

Yüzde olarak verimi hesaplamak için; sistemde üretilen enerji miktarı($P_{\text{ç}}$), üretilmesi gereken enerji miktarına (P_{g}) bölünüp, yüz ile çarpılır.

$$\eta = (P_{\text{g}} / P_{\text{ç}}) * 100 \quad (2.1)$$

Sistemde üretilen güç miktarı; o an sistemin verdiği akım(I_{panel}), gerilim (U_{panel}) değerlerinin çarpımından,

$$\mathbf{P_{\text{çıkış}} = U_{\text{panel}} * I_{\text{panel}}} \quad (2.2)$$

Üretilmesi gereken güç miktarı ise; o anki, metre kare başına düşen ışınım şiddetiyle (SI); panel yüzey alanını (A) çarpımından hesaplanır.

$$\mathbf{P_{\text{giriş}} = SI * A_p} \quad (2.3)$$

Örnek olarak; Ağustos ayı saat 12:00' da ışık şiddeti $600\text{W}/\text{m}^2$, panelimizin alanı $0,636\text{ m}^2$. Bu değerlere göre panelimizin vermesi gereken güç $P_g = 600 \times 0,636 = 381,6$ Watt 'dır.

Panelden yük altında aldığımız gerilim değeri $U = 14,81\text{V}$, akım değeri $I = 2,90\text{A}$
Bu değerlere göre güç $P_ç = 14,81 \times 2,90 = 42,95\text{ W}$
 $\text{Verim} = P_ç / P_g = 42,95 / 381,6 = 0,1067 = \%10,67$ 'dir.

2.6. Güneş Paneli İzleme Sistemi Kullanılarak Yapılan Otomasyon Uygulaması

Elde ettiğimiz ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, iki eksenli hareket eden sistemin veriminin yüksek olduğunu gördük. Bu sonuçtan yola çıkarak güneş panelleri ile yapılabilecek iki uygulama örneği gerçekleştirdik.

2.6.1. İki Eksenli Hareket Edebilen Güneş Paneli ile Akü Şarj Uygulama Örneği

Bu sistemde güneş ışınlarının yüksek olduğu gündüz saatlerinde akü şarj denetleyicisi ile 12V-30Ah lik akümülatörümüzün şarjı gerçekleştirildi. Güneş ışınlarının düşük olduğu gece saatlerinde ise depolanan bu enerji inverter devresi ile 220V AC gerilime dönüştürülerek örnek olarak 60W lık bir lamba yakıldı.

2.6.2. İki Eksenli Hareket Edebilen Güneş Paneli ile Jeneratör Uygulama Örneği

Bu sistemde güneş ışınlarının yüksek olduğu gündüz saatlerinde akü şarj denetleyicisi ile 12V-30Ah lik akümülatörümüzün şarjı gerçekleştirildi. Şarj sırasında güneş panelinden alınan 12V luk DC gerilim inverter devresi ile 220V AC gerilime dönüştürüldü. Panelden alınan gücün büyük miktarı akümülatörü şarj etmek için kullanıldığı için inverter devresine küçük yükleri besleyecek kadar bir güç değeri düşmektedir. Bu uygulamada elektrik kesildiği zaman akü ve panel direkt olarak inverter

devresinin girişine bağlanmaktadır ve jeneratör mantığında olduğu gibi enerjisiz sisteme tekrar enerji verilmektedir.

Şekil 2.27.' de paneli y1-y2 yönlerinde hareket ettirecek dc motor ve mekanik bağlantısı görülmektedir. Şekil 2.28' de panelin x1-x2 yönlerinde hareket ettirecek step motor ve kayış sistemi görülmektedir. Şekil 2.29' da hareket mekanizmasının genel görünümü gösterilmiştir. Şekil 2.30' da panelin sisteme monte edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 2.27. DC y1-y2 yönlendirme mekanizması



Şekil 2.28. STEP Motor x1-x2 yönlendirme mekanizması



Şekil 2.29. Yönlendirme mekanizması



Şekil 2.30. İzleme sisteminin genel görünümü

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada 80W güneş panelinin verim optimizasyon çalışması yapılmıştır. 80W güneş paneli farklı konumlarda sabit ve güneşi takip edebilecek şekilde hareketli olarak incelenmiştir. Hareketli ünite güneşin maksimum ışık şiddetine göre izleme yapıp paneli odaklamaktadır. Her iki durum için fiyat ve güç(verim) analizi yapılmıştır. Sabit ve hareketli sistemin güç ve fiyat analizi şöyle tespit edilmiştir.

Sabit yatay panel; Ocak ayı için ortalama günlük güç yaklaşık olarak 9 Watt, 45 derece güney konumu için 19 Watt, çift yönlü takip için 24 Watt olarak hesaplanmıştır. Şubat ayı içinde aynı sıralamayla günlük yaklaşık ortalama güç; 19 Watt, 25 Watt, 29 Watt, Mart ayı için; 26 Watt, 31 Watt, 35 Watt, Nisan ayı için 32 Watt,32 Watt,42 Watt olarak hesaplanmıştır.

Hareketli sistem maliyet dezavantajının yanında güç açısından karşılaştırıldığında sabit sisteme göre güç ortalama olarak %14,4 – %31,2 kadar büyük olmaktadır. Maliyet hesabı yapılırsa sabit sisteme ek olarak mekanik aksam ve step motor kontrol devresi eklenmektedir. Bu mekanizmanın maliyeti panel maliyeti yanında önemsenecek bir değerdedir. Seri üretim düşünüldüğünde bu değer çok daha fazla küçülecektir.

Sabit sistemde ortalama panel gücünü daha verimli hale getirmek için, mevcut panel yüzeyinin veya panel sayısının artırılması gerekmektedir. Bu yöntemler de sistemin maliyetini artıracak yönde etki yapmaktadır. Bu artış hareketli sistemin maliyetinden daha fazla olacaktır. Güç ve maliyet beraber düşünüldüğünde hareketli sistem kullanılması daha ekonomik ve verimli olmaktadır.

4. ÖNERİLER

1. Bu projede esas olarak güneş ışınlarının vuruş açısına göre panelin hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Bölgesel olarak güneş ışınlarının hareket çizgisi otomasyon sistemine tanıtılabilirse daha yüksek verim elde edilebilir.
2. Ölçmelerin mevsimlere göre hatta yıl boyu ve tam gün periyotlarla tekrarlanması ülkemiz için en gerçekçi verileri verecektir.
3. Güneş ışınım değerleri belli olduğundan, sisteminizin verimini kullanarak diğer bölgeler için ne kadar efektif olduğu belirlenebilir.
4. Sistemin kullanılacağı uygulama alanların da, entegre edilecek ek güç harcayan elemanlar. Minimum güç harcayacak şekilde sisteme adapte edilmelidir. Böylece verim artırılabilir.
5. Yapılan ölçümlere göre Nisan ayına kadar saat 09:00' a gündüz saatinde sabit sistem daha fazla güç üretmiştir. Bu nedenle sistem gücünden tasarruf etmek amacıyla hareketli panel bu saate kadar sabit konumda kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Çengel, Y.A., Dünyada ve Türkiye' de Jeotermal Rüzgar ve Diğer Yenilenebilir Enerjilerin Kullanımı, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2003/330, 1-14.
2. Çıtıroğlu, A., Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Mühendis ve Makine Dergisi, 485 (2000) 14-19.
3. Altın, V., Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33 (2004) 28-31.
4. Ültanır, M.Ö., 21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik Dergisi, 340 (1996) 50-55.
5. Varınca, K.B. ve Varank, G., Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 25-25 Haziran 2005, İçel.
6. Koutroulis, E. ve Kalaitzakis, K. ve Voulgaris, N.C., Development Of a Microcontroller Based Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System, IEEE Transaction On Power Electronics, 16, 1 (2001) 231-139.
7. Çelik, A.N. ve Açıkgoz, N., 240 W Gücünde Akü Depolu Bağımsız Bir Fotovoltaik Enerji Sistem Tasarımı ve Uygulaması, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20-21 Haziran 2003, Mersin, Bildiriler Kitabı, E/2003/321, 23-32.
8. Oktik, Ş., Güneş- Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı, Ankara, 2001.
9. Canan, F., Mimaride Fotovoltaik Panel Uygulamaları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2003/330, 43-52.
10. Erişti, O., Güneş Pilleri ile Dış Aydınlatma Sistemi Optimum Pil ve Akü Seçimi, Türkiye 5. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, 3, Ekim 1990, Ankara, 631-640.
11. Muntasser, M.A., Bara, M.F., Quadri, H.A., El-Tarabelsi, R. ve La-Azabi, I.F., Fotovoltaic Marketing İn Developing Ccounties, Applied Energy, 65, 1 (2000) 67-72
12. Altın, V., Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması, Bilim ve Teknik Dergisi, 464 (2006) 41.
13. Altaş, İ.H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik- 3e Dergisi, 47 (1998) 66-71.

14. Akyüz, İ., Köse, S., Atay, F. ve Bilgin, V., Zn_xCd_xS Filmlerinin Fotovoltaik Güneş Pillerinde Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Haziran 2003, 187-196.
15. Şenol, R. ve Üçgül, İ., Güneş Pilleriyle Sinyalizasyon Sistemi ve Gerekli Parametrelerin Belirlenmesi, S. D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8, 1 (2004) 109-113.
16. Akkaya, R., Kulaksız, A.A. ve Aydoğdu, Ö., Yüksek Verimli Fotovoltaik Sistemle Çalıştırılan Klima Sisteminin DSP Tabanlı Kontrolü, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projeleri, 2002, Konya, 11-26.
17. Archer, M.D. ve Hill, R., Clean Electricity From Photovoltaics, 1st ed. World Scientific Publishing Co., London, 2001.
18. Chapin, D.M., Fuller, C.S. ve Pearson, G.O., A New Silicon P-N Junction Photocell For Converting Solar Radiation Into Electrical Power, J. Appl. Phys., 25 (1954) 676-677.
19. Akkaya, R. ve Kulaksız, A.A., A Microcontroller-Based Stand-Alone Photovoltaic Power System For Residential Appliances, Applied Energy, 78 (2004) 419-431.
20. Fıratoğlu, Z.A. ve Yeşilata, B., Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 1 (2003) 147-158.
21. Yeşilata, B. ve Fıratoğlu, Z.A., Bataryalı ve Direkt Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Tespiti, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2001, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2001/275, 129-136.
22. Aydın, M. ve Yeşilata, B., Fotovoltaic Panellerde Eğim Açısı Etkisinin Deneysel Tespiti, Termodinamik Dergisi, 148 (2004) 88-98.
23. Haouari-Merbih, M., Belhamed, M., Tobias, I., ve Ruiz, J.M., Extraction And Analysis Of Solar Cell Parameters From The Illuminated Current-Voltage Curve, Solar Energy Materials And Solar Cell, 87, 1 (2005) 225-233.
24. Carstensen, J., Popkirov, G., Bahr, J. ve Föll, H., Cello: An Advanced LBIC Measurement Technique For Solar Cell Local Characterization, Solar Energy Materials And Solar Cell, 76, 4 (2003) 599-611.
25. Li, D.H.W., Cheung, G.H.W. ve Lam, J.C., Analysis Of The Operational Performance And Efficiency Characteristic For Photovoltaic System In Hong Kong, Energy Conversion And Management, 46 (2005) 1107-1118.
26. Yakup, M.A.H.M., Malik, A.Q., Optimum Tilt Angle And Oriantatin For Solar Collector In Brunei Darusselam, Renewable Energy, 24 (2001) 223-234.

27. Tang, R. ve Wu, T., Optimal Tilt Angles For Solar Collectors Used In China, Applied Energy, 79 (2004) 239-248.
28. Hussein, H.M.S., Ahmad, G.E. ve El-Ghetany, H.H., Performance Evaluation Of Photovoltaic Modules At Different Tilt Angles And Orientations, Energy Conversion And Management, 45 (2004) 2441-2452.
29. Shariah, A., Al-Akhras, M.A. ve Al-Omari, I.A., Optimizing The Tilt Angle Of Solar Collectors, Renewable Energy, 26 (2002) 587-598.
30. Abdallah, S. ve Nijmeh, S., Two Axes Sun Tracking System With PLC Control, Energy Conversion And Management, 45 (2004) 1931-1934.
31. Kulaksız, A.A., Güneş Panelinden Sağlanan Elektrik Enerjisinin Güç Elektroniği Sistemleriyle Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2001.
32. Perdahçı, C., Güneş Pili Verimleri ve Ekonomik Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1996.
33. <http://www.dunyaprestigesolar.com>, Solar Sistemler, 17 Ağustos 2006
34. Koçu, N. ve Dereli, M., Mimaride Güneş Enerjisinden Yararlanma Teknikleri ve Fotovoltaik Panellerin Yapılar İçin Önemi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu, Mayıs 2004, Kütahya, 10-17.
35. Güven, Ş. ve Şenol, R., Güneş Pili Destekli Çevre Aydınlatma ve Sulama Sisteminin Örnek Bir Uygulaması, Mühendis ve Makine Dergisi, 46, 548, (2005), 13-20.
36. Yeşilata, B. ve Işıker, Y., Fotovoltaik Güçle Çalışan Bir Buzdolabı Sisteminin Deneysel Analizi, Mühendis ve Makine, 47, 558 (2006) 54-60.
37. Al- Shaban, S. ve Mohmoud, A., Self Kontrol In Storage Unit Of PV Plants, Applied Energy, 65 (2000) 85-90.
38. Durisch, W., Tille, D., Wörz, A. ve Plapp, W., Characteristion Of Photovoltaic Generators, Applied Energy, 65 (2000) 273-284.
39. Kızılyalı, H.M., Hidrojelenmiş Amorf Silisyum Güneş Pillerinde Son Gelişmeler, Elektrik Mühendisliği III. Ulusal Kongresi, 1989, Ankara, 43-45.
40. Sarıtaş, M. ve Gökpınar, H., Silikon Güneş Pillerinin Verim Optimizasyonu, Elektrik Mühendisliği III. Ulusal Kongresi, 1989, Ankara, 30-35.
41. Dalbaz, A., 700 VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Ankara, 1997.

42. Sarıtaş M., Aydemir T.M. ve Dalbaz A., 700VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 17 (2002) 33-42.
43. <http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/akuler.htm>, Aküler Yapıları ve Çeşitleri, 07 Ekim 2006.
44. <http://www.eproje.com/modules.php?name=News&file=article&sid=627> İpekhan B. , Kurşun Asit Akümülatör şarj Cihazı, 26 Eylül 2006.
45. www.picproje.org/main/modules.php?name=News&file=article&sid=47, Akü Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar, 22 Aralık 2006
46. Addoweesh, K.E.,Shepherd, W. ve Hulley, L. N., Induction Motor Speed Control Using a Microprocessor-Based PWM Inverter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 36, 4 (1989) 516-522.
47. Sımard, R., Cheriti, A., Meynard, T.A. ve Al- Haddad, K., An Eprom-Based PWM Modulator For a Three- Phase Soft Commutaded Inverter, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 38, 1 (1991) 79-81.
48. Razzaghi, M., Nazarzadeh, J. ve Nicravesh, K.Y., A Block- Pulse Domain Technique of Harmonics Elimination in Multilevel Pulse- width Modulated Inverters, Electric Power Systems Research, 46 (1998) 77-81.
49. Vadivel, S., Bhuvaneswari, G. ve Sridhara, G., A Unified Approach to the Real-Time Implementation of Microprocessor-Based PWM Waveforms, IEEE Transactions on Power Electronics, 6, 4 (1991) 565-575.
50. Pollmann, A., A Digital Pulsewidth Modulator Employing Advanced Modulation Techniques, IEEE Transactions On Industry Applications, 19, 3 (1983) 409-413
51. M.E.B., Step Motor ve Sürülmesi, MEGEP Projesi, Ankara, 2005.
52. <http://www.elektronikmerkezi.net/?sg=yazi&no=35>, Step (Adım) Motorları, 20 Eylül 2006.
53. Altınbaşak, O., Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama, 7. baskı, Atlas Yayıncılık ve Elektronik Tic. Ltd. şti., İstanbul, 2006.
54. <http://www.eproje.com> , AP3003- PWM 12V DC-220V AC 150 W Invertör, 11 Mart 2006.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ankara' da doğdu. İlköğrenimini Akşehir Beyazıt İlkokulu, orta öğrenimini Akşehir Merkez Ortaokulu, lise eğitimini Marmaris Lisesi' de tamamladı. K.T.Ü. Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Anabilim Dalı' ndan 1993 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1995 yılında öğretmenliğe başladı ve halen Bursa Demirtaşpaşa Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi' nde Elektrik Bölümü Öğretmeni olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.