

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNDE GTS VE
MGTS KULLANARAK VERİMLİLİĞİN ARTTIRILMASI**

Elektrik Müh. İsmail NAKİR

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ PİLLERİ	3
2.1 Güneşten Yeryüzüne Gelen Enerji	3
2.2 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli	5
2.3 Güneş Pillerinin Tarihi Gelişimi	5
2.4 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Yapısı	6
2.5 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	8
2.5.1 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantajları.....	8
2.5.2 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Dezavantajları.....	9
2.6 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri	9
2.7 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Elektriksel Modelleri.....	11
2.7.1 Basitleştirilmiş Model.....	11
2.7.2 Tek Diyotlu Model	12
2.7.3 İki Diyotlu Model	13
2.7.4 Güneş Pili Modellerinin I-V Karakteristikleri	13
3. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ.....	15
3.1 Panellerin Sabit Eğim Açısıyla Konumlandırılması.....	15
3.1.1 Sabit Panellerin Yansıtıcılarla Birlikte Kullanımı.....	16
3.2 Panellerin Tek Eksende Dönebilir Şekilde Konumlandırılması	17
3.3 Panellerin Çift Eksende Dönebilir Şekilde Konumlandırılması	18
3.4 Güneş Takip Kontrolörleri	20
4. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİSTEMLERİ.....	22
4.1 MGTS'lerinin Yapısı	24
4.1.1 Yükseltici Anahtarlamalı Dönüştürücü	26
4.1.2 Alçaltıcı Anahtarlamalı Dönüştürücü	28
4.1.3 Alçaltıcı-Yükseltici Anahtarlamalı Dönüştürücü	29

4.2	MGTS’de Geri Besleme Kontrolü.....	30
4.2.1	Açık Çevrim Geri Besleme	30
4.2.2	Kapalı Çevrim Geri Besleme	31
4.3	MGTS Kontrol Algoritmaları.....	31
4.3.1	Kaygılandır ve Gözetle (Perturb and Observe) Algoritması.....	31
4.3.2	Dinamik Bozulma Algoritması	33
4.3.3	Hesaplama Metodu	34
4.3.4	Artan İletkenlik (Incremental Conductance) Algoritması	34
4.3.5	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Algoritması.....	35
5.	UYGULAMA.....	38
5.1	Güneş Takip Sistemi.....	38
5.1.1	Güneş Takip Sisteminin Donanımı.....	38
5.1.2	GTS Yazılımı	41
5.1.3	GTS’li Yapılar İle Sabit Panelli Yapıların Verim Açısından Karşılaştırılması	43
5.2	Maksimum Güç Takip Sistemi.....	45
5.2.1	Maksimum Güç Takip Sisteminin Donanımı.....	45
5.2.2	MGTS Yazılımı	48
6.	SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR	52
	KAYNAKLAR.....	53
	Ek 1 Güneş takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı.....	57
	Ek 2 Maksimum güç takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı.....	61
	Ek 3 Beş günlük güneş pozisyon verileri.....	67
	Ek 4 North Platte’ye ait beş günlük ışınım verileri	70
	Ek 5 Güneş panelleri ışınım değerlerinin hesaplanması için MATLAB kodları	72

SİMGE LİSTESİ

D	Çevrim içi süre
E	Enlem açısı
E_{co}	Güneş sabiti
f_g	Güneş sabiti düzeltme faktörü
g	Gün sayısı
G	PV yapının iletkenliği
I	Güneş panelinin giriş akım
I_B	Direkt ışıınım
I_{BC}	Direkt ışıınım etkin değeri
I_D	Diyot akımı
I_P	Paralel direnç üzerinden akan akım
I_{ph}	Foton akımı
I_S	Diyot doyma akımı
N	Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı
m	Diyot faktörü
r_g	Güneş ile dünya arası uzaklık
r_o	Yıllık ortalama uzaklık
R_P	Paralel direnç
R_S	Seri direnç
s	Panel eğim açısı
t_{on}	İletim süresi
t_{off}	Kesim süresi
V	Güneş paneli çıkış gerilimi
V_L	Yük gerilimi
V_{ref}	Referans gerilimi
V_T	Termal gerilim
δ	Deklinasyon açısı,
θ	Güneş geliş açısı

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog Digital Converter (Analog Sayısal Dönüştürücü)
AGK	Anahtarlama Güç Kaynağı
ASTM	American Society of Testing Materials
BİS	Bağıl İletim Süresi
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EMK	Elektro Motor Kuvvet
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GTS	Güneş Takip Sistemi
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LCD	Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Gösterge)
LDR	Light Dependent Resistance (Işığa Duyarlı Direnç)
MGN	Maksimum Güç Noktası
MGTS	Maksimum Güç Takip Sistemi
MOSFET	Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistors
MPPT	Maximum Power Point Tracker (Maksimum Güç Noktası Takibi)
PV	Photovoltaic
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
ST	Sun Tracking (Güneş Takibi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Güneşten atmosfer dışına gelen enerjinin yıl içerisindeki değişimi	3
Şekil 2.2 Silikon güneş hücresi yapısı	7
Şekil 2.3 Fotovoltaik gruplar.....	7
Şekil 2.4 Tek hücre ve modüle ait I-V eğrileri	8
Şekil 2.5 Panel gruplarına ait I-V karakteristiği	10
Şekil 2.6 Işınının I-V karakteristiğine etkisi	10
Şekil 2.7 Sıcaklığın I-V karakteristiğine etkisi.....	11
Şekil 2.8 Güneş pili basitleştirilmiş elektriksel modeli	11
Şekil 2.9 Güneş pili tek diyotlu elektriksel modeli.....	13
Şekil 2.10 Güneş pili iki diyotlu elektriksel modeli	13
Şekil 2.11 Güneş pili modellerine ait I-V karakteristikleri	14
Şekil 3.1 Güneş panelinin sabit açılı konumlandırılması.....	15
Şekil 3.2 Panellerin eğim açısına bağlı olarak aylık göreceli verimleri	16
Şekil 3.3 Sabit panellerin yansıtıcı ile birlikte kullanımı.....	16
Şekil 3.4 Güneş panellerinin tek ekseninde döner şekilde konumlandırılması.....	17
Şekil 3.5 Sabit açılı panelde açılar.....	18
Şekil 3.6 Güneş panellerinin çift ekseninde döner şekilde konumlandırılması	19
Şekil 3.7 Güneş panellerinin konumlandırılması bağlı olarak mevsimsel enerji çıktıları	20
Şekil 3.8 Hareketli fotometre	20
Şekil 3.9 Gölgelemeli fotometre.....	21
Şekil 4.1 PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası	22
Şekil 4.2 PV panelin farklı ışınım altındaki I-V karakteristiği ve maksimum güç noktaları	23
Şekil 4.3 Üç farklı sıcaklık seviyesinde PV'ye ait I-V karakteristiği	24
Şekil 4.4 MGTS blok diyagramı.....	25
Şekil 4.5 Darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali	26
Şekil 4.6 Yükseltici anahtarlamalı dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması.....	27
Şekil 4.7 Alçaltıcı anahtarlamalı dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması	28
Şekil 4.8 Alçaltıcı-yükseltici anahtarlamalı dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması	30
Şekil 4.9 Tepeye tırmanma algoritması doğrultusunda yapılan iterasyon sonucu güç noktasındaki değişim.....	32
Şekil 4.10 Bir dinamik bozulma algoritmasına ait akış diyagramı.....	33
Şekil 4.11 PV panelin P-V karakteristiği üzerinde iletkenlik durumları	35
Şekil 4.12 Hata fonksiyonu ve hata fonksiyonunun değişimi	37

Şekil 5.1 Güneş takip sistemi donanımına ait blok şeması	38
Şekil 5.2 Aydınlık-karanlık algılayıcı devre şeması	39
Şekil 5.3 Fotometreye ait devre şeması	40
Şekil 5.4 Bir adım motoru ile çıkış katı devresi	40
Şekil 5.5 Adım motoru dönüşü için çıkış sinyalleri	41
Şekil 5.7 İki eksende GTS li paneller tarafından alınan enerji.....	43
Şekil 5.8 Hareketsiz sabit paneller tarafından alınan enerji.....	44
Şekil 5.9 GTS'li paneller tarafından alınan m ² başına aylık ortalama ışınım seviyeleri	44
Şekil 5.10 Hareketsiz sabit paneller tarafından alınan m ² başına aylık ortalama ışınım seviyeleri.....	45
Şekil 5.11 Maksimum güç takip sistemi donanımına ait blok şeması	46
Şekil 5.12 Yükseltici anahtarlama dönüştürücüye ait devre şeması.....	46
Şekil 5.13 Geri besleme yapısına ait devre şeması.....	47
Şekil 5.14 MGTS ait yazılımın akış diyagramı	49
Şekil 5.15 Akım-Gerilim karakteristiği üzerinde çevrim içi sürenin değişimi	50
Şekil 5.16 GTS-MGTS tümleşik devre şeması	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Çeşitli gök durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımında yaygın ışınma oranları.....	4
Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ...	5
Çizelge 4.1 Bulanık mantık kurallar tablosu	36

ÖNSÖZ

Dünyada klasik enerji kaynaklarının hızla azalması ve küresel ısınma gibi çevresel etkenlerden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi günümüzde daha da artmış ve tüm dünyada bu kaynaklar üzerinde yapılan çalışmalara büyük bir hız verilmiştir. Gelecekte bu tür alternatif enerji kaynaklarının toplam üretilen enerjideki payının artacağı ve ülkemizin alternatif kaynaklar bakımından zenginliği göz önüne alındığında yenilenebilir enerji konusunda ülkemizde birçok çalışmaya ihtiyaç duyulacağı açık bir şekilde görülmektedir.

Elektrik mühendisliği bünyesinde çalışma alanı, enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı olan elektrik tesisleri anabilim dalında araştırma yapan biri olarak yenilenebilir enerjinin bir alt başlığı olan fotovoltaik güneş pilleri üzerinde bir çalışma yapmanın güncel bir çalışma olacağını düşündüm. Fotovoltaik güneş pillerinden maksimum verim elde etmeyi amaçladığımız bu tez çalışmasının ülkemizdeki araştırmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN'e, sabır ve anlayışlarını hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada kullanımı giderek yaygınlaşan fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri incelenerek bu sistemlerin verimliliğini artıran iki yöntemin uygulaması yapılmıştır. Bu yöntemler, güneş ışınımından optimum bir şekilde faydalanmak üzere Güneş Takip Sistemi (GTS) ve sistemden yüke maksimum güç aktarımını sağlayan Maksimum Güç Takip Sistemidir (MGTS).

Güneş takip sisteminde gün içerisinde farklı açılarla yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının açıları bir takip edici ile tespit edilerek tespit edilen bu açılarla panellerin konumlandırılması amaçlanmıştır. Güneş takibinin en yüksek verimlilikte olması için takip sistemi iki ekseninde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle hem dünyanın günlük hareketi sonucu oluşan doğu-batı ekseninde ışınımın yön değiştirmesinin hem de dünyanın yıllık hareketi sonucu oluşan kuzey-güney ekseninde ışınımın yön değiştirmesinin sistem üzerine zayıflatıcı etkileri azaltılmıştır.

Maksimum güç takip sisteminde ise fotovoltaik yapılardan alınabilecek olan elektriksel gücün, yük veya çevresel şartlardan ötürü alınamamasının minimal seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistem, kontrollü bir DC-DC dönüştürücü ve kapalı çevrim bir geri besleme ile oluşturulmuş ve bu sistemin kontrolü bir mikro denetleyici tarafından yapılmıştır.

Fotovoltaik yapılarda verimliliği azaltan yukarıda belirttiğimiz iki önemli unsurun GTS ve MGTS ile minimal seviyelere çekilmesiyle bu sistemlerin elektriksel etkinlikleri artırılmıştır. Aynı zamanda, sistemlerde düşük maliyetli elemanların kullanılması ve tüm kontrollerin bir birimde toplanması ile ele alınan verimi artırıcı birimlerin kurulum maliyetleri azaltılmıştır.

ABSTRACT

In this thesis, photovoltaic (PV) system of which usage is increasing recently, has been studied, and two different methods for improving the efficiency of the PV system is applied to the system together. The methods applied are maximum power point and sun tracking systems (MPPT and ST). While MPPT system is used for transferring the maximum power to the load, ST system allows the PV panel to get maximum sun light

Incident sun beams arrives at different angles throughout the day time. By implementing the ST system, these angles are detected at different time intervals, and the PV panels are positioned accordingly. To get the tracking at highest efficiency, two axis tracking system is used. Hence, the attenuation effects of Earth movement at directions of both east to west and north to south axis on light effectiveness are minimized.

With the usage of MPPT system, electrical power could be obtained from the PV output is maximized under the varying environmental and loading conditions. This system is achieved by a DC/DC converter with feedback control and embedded into microcontroller.

Electrical performance of the PV system is therefore increased by implementing the MPPT and PV system together. Besides, overall system capital cost is kept minimized by using both low cost components and bringing all controls in one unit.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşam standartlarını yükseltme çabası sonucu ortaya çıkan ihtiyaçlar ve buna paralel olarak gelişen endüstrileşme, yük profilinin çeşitlenmesine ve yük seviyesinin artmasına neden olmuştur. Artan bu yük talebi, elektrik enerjisine olan ihtiyacı da artırmıştır.

Tarihsel gelişim içerisinde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere ilk olarak fosil yakıtları kullanan sistemler kullanılmıştır. Fosil yakıt rezervlerinin hızla tükeniyor olması ve özellikle 20. Yüzyılın son çeyreğinde baş gösteren fosil yakıtlarındaki maliyet sıkıntısı enerji piyasasına fiyat artımı olarak yansımıştır. Artan fosil yakıt fiyatlarına paralel olarak birim elektrik enerjisi fiyatları da yükselmiştir (Fahrenbruch ve Bube, 1983). Bununla birlikte fosil yakıtların çevreye verdiği zararların dünya gündemine girmesi tüm ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi çok eski tarihlerden bu yana ısıtma ve sıcak su elde etmek amacıyla birçok uygulamada kullanılmış olmasına rağmen güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştüren sistemler oldukça yenidir. Güneş pilleri adıyla anılan bu dönüştürücü sistemler ilk olarak uzay çalışmaları için geliştirilmiş; daha sonra şebekeden bağımsız yani, güç üretim merkezine uzak olan deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, telekomünikasyon istasyonları, dağ evleri gibi yerlerde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kullanılmaya başlanmıştır (Fahrenbruch ve Bube, 1983).

Güneş enerjisi sistemleri ile şebekeden bağımsız halde herhangi bir yük beslenebildiği gibi enterkonnekte sisteme bağlanmak suretiyle de enerji üretimi yapabilmektedirler. Ancak güneş pili yapılarının verimlerinin çok yüksek olmayışı ve kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle birim enerji fiyatı enterkonnekte sistemden alınabilecek enerjinin birim enerji fiyatından pahalıdır. Bunun için güneş pili yapılarında verimliliğin artırılması için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Güneş pilleri foton enerjisini kullanarak güneş ışığından elektrik enerjisi üretirler. Buradan elde edilen elektriksel çıkış panele düşen güneş ışığı miktarı ile doğru orantılıdır. Gün içerisinde güneş ışınları farklı açılarla yerküremize ulaşmaktadır. Dolayısı ile güneş pilleri maksimum elektrik enerji çıktısı elde etmek için güneş yörüngesini takip etmesi ile mümkündür. Güneş yörüngesini takip edip ışınımlardan maksimum seviyede faydalanmayı amaçlayan bu sisteme güneş takip sistemi (GTS) denmektedir.

Güneş pilleri doğru akım üreten yapılar olup pillerin seri veya paralel bağlanması ile verebilecekleri akım-gerilim seviyeleri değiştirilebilir. Bu şekilde birden çok güneş pilinin

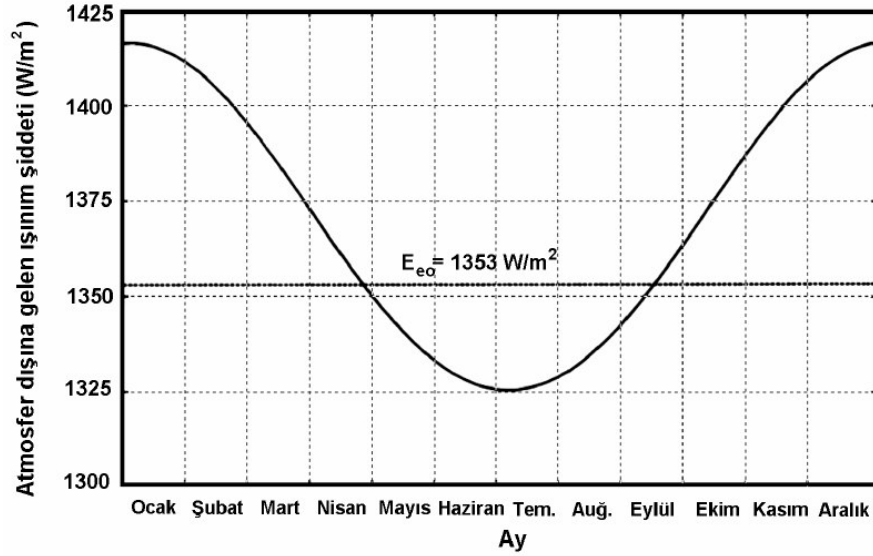
birbirleriyle seri veya paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş tümleşik yapıya güneş paneli denilmektedir. Güneş panellerinden güneş ışınımının olmadığı zaman dilimlerinde enerji elde edilemediğinden ve bu zaman dilimlerinde sistemin enerji devamlılığının sağlanması için gün içerisinde üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin depolanmasında yaygın olarak akümülatörler kullanılmaktadır. İhtiyaç fazlası enerjinin depolanması esnasında güneş panelleri akümülatör, yük ile çalışırken yük gerilimlerinde çalışmaya zorlandığından genelde güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapılamamaktadır. Güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapabilmek için ise kontrol edilebilir bir DC-DC dönüştürücü olan maksimum güç takip sistemleri (MGTS) kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında güneş panellerini belirli zaman aralığıyla güneşe dik konumlandıran güneş takip sistemi (GTS) ve güneş panellerinden depolama ünitesine maksimum güç transferi yapmak üzere geliştirilmiş bir maksimum güç takip sisteminin (MGTS) birlikte kullanılması durumunda verimliliği ortaya koymak üzere benzetim ve uygulama çalışması yapılmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ PİLLERİ

2.1 Güneşten Yeryüzüne Gelen Enerji

Güneşten ışınım yoluyla atmosfer dışına gelen enerji bir metrekare başına 1300 ila 1400 W arasındadır. Güneşten dünyaya gelen bu enerji, dünyanın güneş etrafında çizdiği yörüngenin eliptik olması nedeniyle değişkendir. Dünya ile güneş arasındaki mesafenin minimum olduğu 3 Ocak günü atmosfere ulaşan ışınım miktarı 1412 W/m^2 iken, mesafenin maksimum olduğu 4 Temmuz günü atmosfere ulaşan ışınım şiddeti 1322 W/m^2 olur. (DIN 5034, 1993) Güneşten dünyamıza gelen bu enerjinin değişim miktarı % 3 civarındadır. Atmosfere ulaşan enerjinin yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.1 de gösterilmiştir (Enarun, 1987).



Şekil 2.1 Güneşten atmosfere ulaşan enerjinin yıl içerisindeki değişimi

Güneş ışınım değerlerini hesaplamak üzere güneş sabiti E_{eo} değeri kullanılır. Bu değer, anlık olarak atmosfer dışında birim alana gelen tüm dalga boylarındaki güneş ışınımı olarak tanımlanır. Atmosfer dışına herhangi bir günde birim alana gelen tüm dalga boylarındaki güneş ışınım değeri, güneş sabiti E_{eo} , güneş ile dünya arası uzaklık r_g ve yıllık ortalama uzaklık r_o olmak üzere

$$E_g = \frac{r_o^2}{r_g^2} \cdot E_{eo} = f_g \cdot E_{eo} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu formülde f_g güneş sabiti düzeltme faktörüdür. Güneş sabiti düzeltme

faktörü f_g ise, “g” sene başından itibaren istenilen güne kadar olan gün sayısını göstermek üzere

$$f_g = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(360 - \frac{g}{365}\right) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir (Kılıç, 1982).

Thekaekara (1976) güneş sabitini 1353 W/m^2 olarak vermiş ve bu değer ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir.

Dünyaya gelen enerjinin en az % 3'lük kısmı atmosfer tarafından yutulmakta veya saçılmakta olduğundan bulutsuz açık bir günde yere dik olarak gelen güneş enerjisi 1000 W/m^2 civarında olabilmektedir (Ertürk, 1997). Güneşten yeryüzüne ulaşan ışınım, dolaysız (direkt) ve dolaylı (yaygın) olarak iki bileşenli bir biçimde ele alınabilir. Dolaysız ışınım, doğrudan güneşten gelen doğrultusu ve yönü bulunan ışınımdır. Yaygın ışınım ise tüm gökyüzünden gelen belirli bir doğrultusu ve yönü bulunmayan ışınımdır. Güneşten gelen ışınımın bir kısmı atmosferden geçerken toz ve su buharı gibi moleküller tarafından saçılarak dağılır. Dağılan bu ışınım yaygın ışınımı meydana getirirler (Enarun, 1987). Çizelge 2.1'de çeşitli gökyüzü şartları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımın yaygın ışınım oranları verilmiştir (Batman, 2001).

Çizelge 2.1 Çeşitli gök durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımın yaygın ışınım oranları

	Açık gökyüzü	Puslu gökyüzü	Tam kapalı gökyüzü
Toplam ışınım	600–1000 W/m^2	200–400 W/m^2	50–150 W/m^2
Yaygın (Dolaylı) ışınım	% 10 - %20	% 20 - % 80	% 80 - % 100

2.2 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizin coğrafi konumu ve ortalama güneşlenme süresinin yüksek olması nedeniyle oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, 1966–1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) genel müdürlüğünce ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verileri ışığında Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir (EİE, 2007).

Ancak, daha sonra yapılan çalışmalar bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğunu göstermiştir. EİE ve DMİ'nin yapmakta olduğu araştırmalar sonucunda gerçek potansiyelin daha fazla çıkması beklenmektedir.

Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süreleri ve metrekare başına toplam güneş enerjisi değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir (EİE, 2007).

Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m²-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

2.3 Güneş Pillerinin Tarihi Gelişimi

Güneş enerjisinden direkt olarak elektrik enerjisi üretimini sağlayan yapılara güneş pilleri ya da daha yaygın ismiyle fotovoltaik (Photovoltaic, PV) piller denilmektedir. Fotovoltaik

kelimesi Latince'de ışık anlamında kullanılan "Photo" ve elektriksel bir büyüklük olan gerilimin birimi "Volta" (Count Volta: 1745–1827 İtalyan fizikçi) kelimelerinin bileşiminden ortaya çıkmıştır.

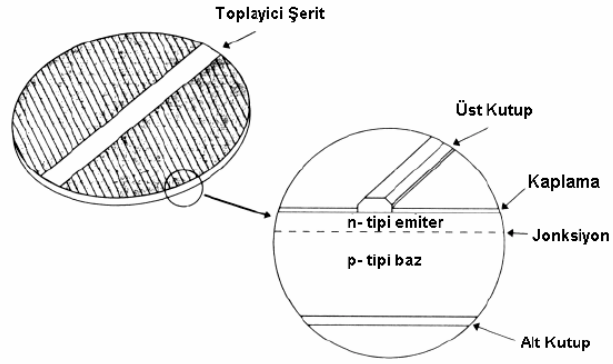
Güneşin dünyada bulunan nükleer ve jeotermal enerji kaynakları dışındaki diğer bütün enerji kaynaklarının ana kaynağı olduğu bilinen bir gerçek olmasına rağmen güneş enerjisinden direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren sistemler oldukça yenidir. Bu dönüşümü sağlayan ilk adım 1839 yılında Edmand Becquerel tarafından fotovolttaik etkinin bulunmasıyla atılmıştır. Becquerel'in içerisine elektrotlar daldırılmış bir elektrolite ışınım verilmesiyle gerilim elde etmesinden sonra bu yönde çalışmalara devam edilmiş ve 1914 yılında verimi %1 olan selenyum piller geliştirilmiştir (Spring, 1965). Günümüzde kullanılmakta olan yarı iletken teknolojisine sahip ilk güneş pilleri ise 1954 yılında Bell laboratuvarında çalışma yapan Chaplin ve ekibi tarafından geliştirilmiştir. Bu piller oldukça düşük verimli yapıları ve güneşten alınan enerjinin ancak % 4'ünü elektrik enerjisine dönüştürebiliyordu. Daha sonra uzay çalışmalarında, uyduların enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere güneş pillerinin kullanılmaya başlanması güneş pillerinin gelişimini hızlandırmıştır. Güneş pillerinin üretim teknolojisi itibariyle maliyetinin yüksek olması uzun yıllar laboratuvar çalışması olarak kalmasına neden olmuştur. Gelişen üretim teknolojileri ve malzeme bilimi sayesinde maliyetleri düşen yüksek verimli (%10-%20) güneş pilleri 1980'den sonra ticari arenada kendisini göstermiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır (Fahrenbruch ve Bube, 1983).

2.4 Fotovolttaik Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pilleri fotoelektrik etkiyi kullanarak çalışan yarı iletken teknolojiyle üretilmiş yapılardır. Son yörüngelerinde dört adet elektron bulunduran elementlere yarı iletken elemanlar denir. Son yörüngede bulunan bu elektronlara valans elektronları adı verilir. Silisyum, Germanyum vb. gibi yarı iletken elementler periyodik cetvelin IV. grubunda bulunurlar. Yarı iletken maddeler diyot, transistör, triyak tristör vb. gibi birçok elektronik elemanın yapıtaşlarıdır. Fotovolttaik pillerde ise transistör ve diyotlardan farklı olarak p ve n tipi malzemelerin birleştiği yüzeyler büyük tutulmuştur. Bu birleşim arakesatine jonksiyon adı verilir. Jonksiyonlar üzerine düşen fotonların enerjilerinin bir kısmı yarı iletken malzemedeki serbest elektronları hareket ettirir. Böylece elektrik akımı üretilmiş olur (Sutton, 1966; Fahrenbruch ve Bube, 1983).

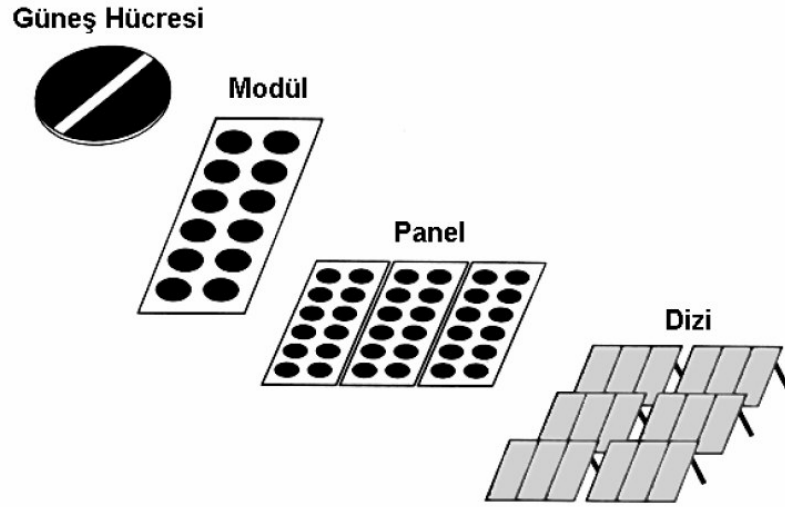
Bir silikon güneş hücresinin yapısı Şekil 2.2 de verilmiştir. Fotovolttaik hücrenin ışık alan yüzeyi güneş ışınlarının alt tabakaya geçmesine müsaade eden ve yansımayı engelleyen bir

yalıtkan malzeme ile kaplanmıştır (Batman, 2001).



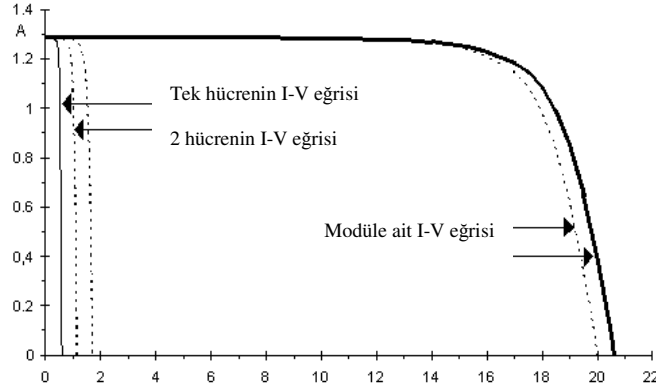
şekil 2.2 Silikon güneş hücresi yapısı

Fotovoltaik yapılarla yüksek güçler elde etmek için güneş hücreleri şekil 2.3 de gösterildiği gibi belirli gruplar halinde toplanırlar (Batman, 2001).



şekil 2.3 Fotovoltaik gruplar

Tek bir güneş hücresinin verebileceği gerilim yaklaşık 0,5 Volt olduğundan modüller oluşturulurken birçok güneş hücresi birbirlerine seri bağlanarak oluşturulacak olan modülün gerilimi arttırılır. Şekil 2.4 de tek hücre ve modüle ait I-V (Akım-Gerilim) eğrileri verilmiştir (Batcheller,1993).



Şekil 2.4 Tek hücre ve modüle ait I-V eğrileri

Fotovoltaik modüllerin ticari amaçlar doğrultusunda piyasaya sürülmüş birçok tipi bulunmaktadır. En bilinenleri: mono kristal silisyum, poli kristalli silisyum, kadmiyum tellür, amorf silisyum ve bakır indiyum diselenyum güneş pilleridir. Bu piller dışında çeşitli materyallerin yarıiletken malzemelerle kaplanmasıyla oluşturulabilen ince film tipi güneş pilleri de mevcuttur. İnce film tipi güneş pilleri kolay ve seri üretilbilir olduklarından diğer pillere nazaran ucuzdurlar; ancak verimleri oldukça düşüktür. Güneş pilleri arasında verimleri en yüksek olanlar mono kristal silisyum pillerdir. Güneş pilleri üzerinde yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmeler sayesinde ilerleyen yıllarda verimlerinin artması ve giderek maliyetlerinin azalması öngörülmektedir (Benner ve Kazmerski, 1999).

2.5 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde elektrik üretimi için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan diğer yöntemlere göre fotovoltaik yapıların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

2.5.1 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantajları

- Herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaç duymaz ve herhangi bir sisteme bağlantı gereksiz bağımsız bir şekilde elektrik üretebilir.
- Yapısında hareketli parçalar olmadığından elektrik üretiminde kullanılan hareketli

sistemlere (Hidro elektrik veya rüzgâr türbinleri, jeneratörler vb.) göre daha az bakıma ihtiyaç duyarlar.

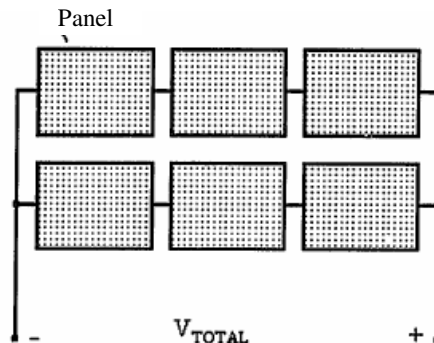
- Enerji girdisi hemen her yerde ücretsiz temin edebilmektedir. Taşıma ve depolama gibi sorunları yoktur.
- Güçlü rüzgârlar, nem ve ısı, kar ve buzlanma gibi doğa olaylarına dayanıklıdır.
- Genelde enerji üretimi noktasıyla kullanım noktası arasında mesafeler çok kısa olduğu için oluşabilecek kayıplar yok denecek kadar azdır.
- Modüler bir yapıya sahip olduğundan güç çıkışı kolaylıkla artırılabilir. Mevcut modüllere yenilerinin eklenmesi ile çıkış gücü artırılabilir.
- Elektrik şebekesinden bağımsız çalışabileceği gibi inverter ve trafo grupları ile enterkonnekte sisteme enerji verebilir (Boes, 1981).
- Çevreye herhangi bir atık madde bırakmadığından çevre uyumludur.

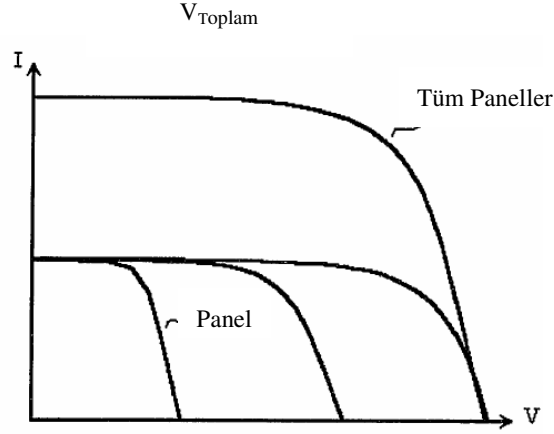
2.5.2 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Dezavantajları

- Büyük güçler üretilebilmesi için diğer sistemlere göre çok geniş alanlara ihtiyaç duyar.
- Işınımın olmadığı akşam saatlerinde enerji üretmez. Dolayısıyla şebekeden bağımsız yapılarda depolama sistemine ihtiyaç duyar.
- Kırılgan yapıda olduklarından modüllerin çerçeveselendirilmesi gerekmektedir.
- Güneş pilleri yüksek üretim teknolojisi gerektirmeleri nedeniyle maliyetleri yüksektir.

2.6 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri

Güneş panelleri doğru akım üreten yapılar olup panellerin seri veya paralel bağlanması ile verebilecekleri akım, gerilim seviyeleri değiştirilebilir. Şekil 2.5'te seri ve paralel bağlanmış bir panel grubuna ait I- V karakteristiği verilmiştir (Batcheller, 1993).

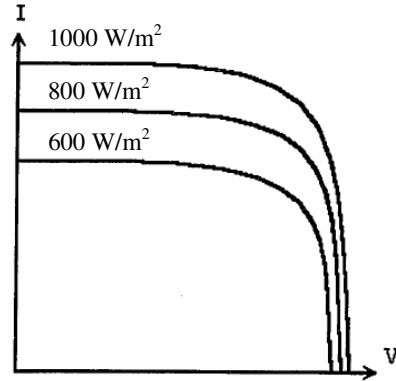




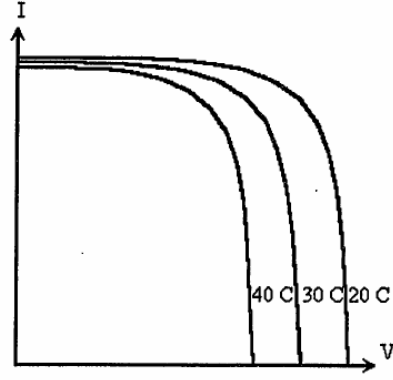
Şekil 2.5 Panel gruplarına ait I-V karakteristiği

Güneş panelleri bir akım kaynağı gibi, belirli bir noktadan sonra ise bir gerilim kaynağı gibi davranırlar. Kısa devre edildiğinde dahi güneş panelinden alınabilecek akım değeri sabittir. Bu değer panelin plaka değerleri ile birlikte verilir (Ross, 1985).

Güneş panellerinin elektriksel karakteristiğini etkileyen iki faktör vardır; bunlar, güneşten gelen ışınım miktarı ve sıcaklıktır. Şekil 2.6'da ışınımın, Şekil 2.7'de sıcaklığın I- V karakteristiği üzerine etkileri gösterilmiştir (Batcheller, 1993).



Şekil 2.6 Işınımın I-V karakteristiğine etkisi



Şekil 2.7 Sıcaklığın I-V karakteristiğine etkisi

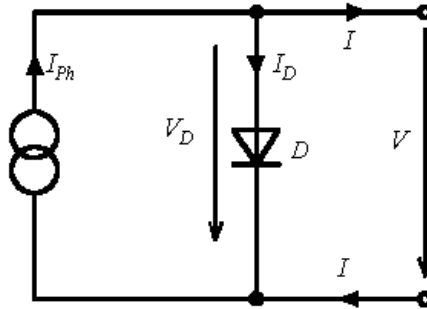
2.7 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Elektriksel Modelleri

Fotovoltaik güneş pilleri, fiziksel konumları göz ardı edilerek elektriksel eşdeğer devreler ile modellenenirler (Araujo vd., 2001).

2.7.1 Basitleştirilmiş Model

Fotovoltaik güneş pillerinin en sade elektriksel modeli, Şekil 2.8'te gösterilen basitleştirilmiş model ile ifade edilmiştir. Çeşitli ihmaller yapırsa güneş pillerinin, basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer modeli, bir diyot ve bir akım kaynağından oluşur.

Model üzerinde akım kaynağı (I_{Ph}) foton akımını ifade etmektedir ve bu akım güneş ışınımı ile doğru orantılıdır (Araujo vd., 2001). Güneş panelini oluşturan yarı iletken yapıyı (p-n arakesit) ise en basit hali ile bir diyot ile modellenmiştir (Volker, 2005).



Şekil 2.8 Güneş pili basitleştirilmiş elektriksel modeli

Kirchhoff akım yasası ile devre çözümlenirse,

$$I = I_{ph} - I_D \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade de I, panelin çıkış akımını, I_{ph} , foton akımını ve I_D , diyot akımını göstermektedir. Denklem 2.4 görüldüğü gibi I_D diyot akımı,

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{m.V_T}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde, I_S diyotun ters yönde doyma akımını, V panelin çıkış gerilimini m diyot faktörünü, V_T ise uç gerilimi ifade etmektedir. Çıkış gerilimi V_T 25° standart sıcaklıkta 25,7 mV değerini almaktadır.

2.7.2 Tek Diyotlu Model

Gerçek bir güneş pili yapısı üzerinde gerilim düşümleri ve kaçak akımlar meydana gelmektedir. Basitleştirilmiş model bu gerilim düşümlerini ve kaçak akımları gösteremediğinden tek diyotlu model geliştirilmiştir. Şekil 2.9 'da gösterilen tek diyotlu modelde güneş pili üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerini temsil etmek amacıyla R_S seri direnci ve kaçak akımları temsilen R_P paralel direnci modele dahil edilmiştir.

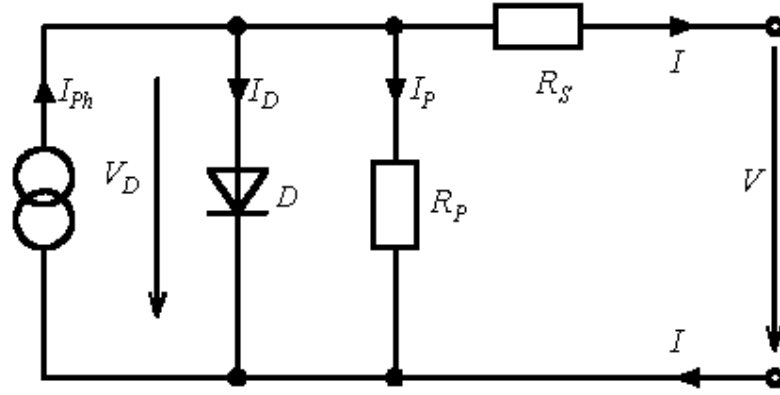
Tek diyotlu model üzerinde Kirchhoff akım yasası uygulanırsa,

$$I_{ph} - I_D - I_P - I = 0 \quad (2.5)$$

ve I_D , diyot akımı yerine konulursa, denklem 2.6 elde edilir.

$$I_{ph} - I_S \left(\left(e^{\frac{V + I.R_S}{m.V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I.R_S}{R_P} - I = 0 \quad (2.6)$$

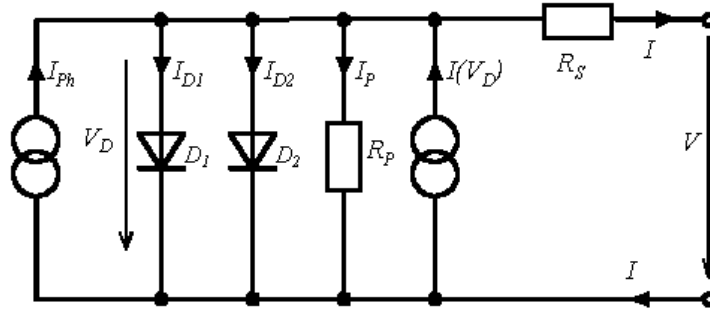
Elde edilen bu denklemin çözümü basitleştirilmiş model de olduğu gibi kolay değildir. Çözüme ulaşmak için denklem üzerinde nümerik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Volker, 2005).



Şekil 2.9 Güneş pili tek diyotlu elektriksel modeli

2.7.3 İki Diyotlu Model

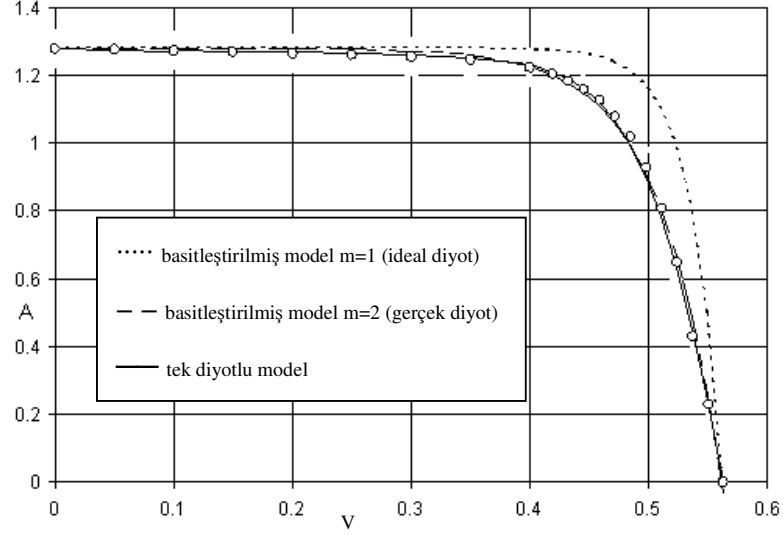
İki diyotlu model diğer modellerde bulunmayan negatif gerilim altında güneş pilindeki arıza durumunu sembolize edebilecek yapıdadır. Şekil 2.10'da gösterilen elektriksel modelde diyot faktörleri birbirinden farklı iki diyot kullanılmıştır. İkinci akım kaynağı ise diyotun negatif gerilim altındaki arızasını temsil için kullanılmıştır (Volker, 2005).



Şekil 2.10 Güneş pili iki diyotlu elektriksel modeli

2.7.4 Güneş Pili Modellerinin I-V Karakteristikleri

Şekil 2.11'de bir güneş pili modellerine ait gerilim-akım (I-V) karakteristikleri verilmiştir.



Şekil 2.11 Güneş pili modellerine ait I-V karakteristikleri

Şekil 2.11’de basitleştirilmiş ve tek diyotlu modele ilişkin I-V karakteristikleri verilmiştir. Basitleştirilmiş model karakteristiği hem ideal diyot, hem de gerçek bir diyot için çizilmiştir. ideal bir diyotlu yapının oluşturduğu basitleştirilmiş model karakteristiği gerçek karakteristiktan oldukça farklıdır. Basitleştirilmiş modelin gerçek bir diyotla birlikte kullanımı modelin gerçek karakteristiğe olan yakınsamasını arttırmıştır. Tek diyotlu model gerçek I-V karakteristiğine en yakın sonuçları vermektedir (Volker, 2005).

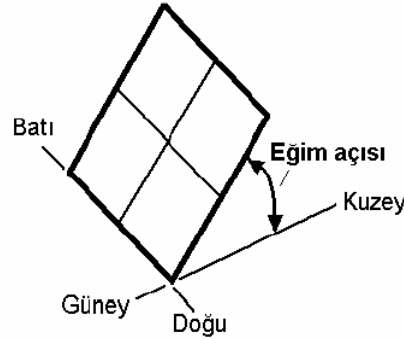
3. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Güneş pilleri foton enerjisini kullanarak güneş ışığından elektrik enerjisi üretirler. Buradan elde edilen elektriksel çıkış panele düşen güneş ışığı miktarı ile doğru orantılıdır. Gün içerisinde güneş ışınları farklı açılarla yerküremize ulaşmaktadır. Dolayısı ile güneş pillerinden maksimum elektrik enerjisi elde edebilmek için, PV sistemin güneş yörüngesini takip etmesi ile mümkündür. Güneş yörüngesini takip edip ışınımlardan maksimum seviyede faydalanmayı amaçlayan bu sisteme güneş takip sistemi (GTS) denir.

Günümüzde kullanılmakta olan düzlemsel fotovoltaik (PV) güneş panelleri genel olarak dört farklı biçimde yerleştirilmektedir.

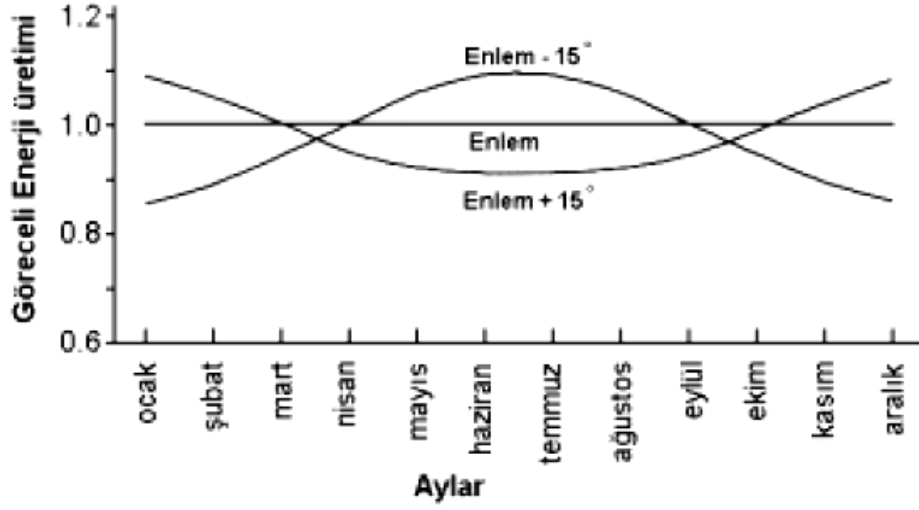
3.1 Panellerin Sabit Eğim Açısıyla Konumlandırılması

Bu tür konumlandırma, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi panelin kuzey güney doğrultusu üzerine sabit bir eğim açısıyla, kuzey yarım kürede ise güneye, güney yarı ise kuzeye yönlendirilmesiyle sağlanır (Batman, 1991).



Şekil 3.1 Güneş panelinin sabit açılı konumlandırılması

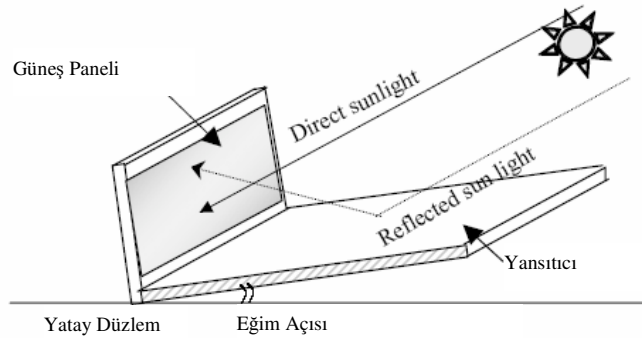
Sabit eğimli güneş panelleri buldukları bölgenin enlem açısından farklı eğimlerle yerleştirilebilmektedir. Şekil 3.2 de buldukları bölgenin enlem açısında, 15 derece altındaki bir enlem açısında ve 15 derece üstündeki enlem açısında eğim açısına sahip güneş panellerinin göreceli olarak aylık verimleri verilmiştir (Messenger ve Ventre, 2000).



Şekil 3.2 Panellerin eğim açısına bağlı olarak aylık göreceli verimleri

3.1.1 Sabit Panellerin Yansıtıcılarla Birlikte Kullanımı

Sabit eğimli, hareketsiz paneller ışınım alma oranını arttırmak üzere yansıtıcı yapılar ile birlikte kullanılabilir. Şekil 3.3 de gösterildiği gibi, yansıtıcılarla birlikte kullanılan sistemlerde panel eğimi yansıtıcısız sistemlerdekilere göre daha büyük bir açıyla konumlandırılmakta ve panelin önüne yansıtıcı yapı belirli bir eğimle yerleştirilmektedir. Böylelikle güneşten gelen direkt ışınım ile yansıtıcı yapıdan yansıyan ışınımın toplamı panele etmektedir. Etkiyen bu ışınım yansıtıcısız panellere göre daha fazla olduğundan bu yapılar yansıtıcısız panellere göre daha yüksek güç üretim yoğunluğuna sahiptir (Matsushima, 2002).

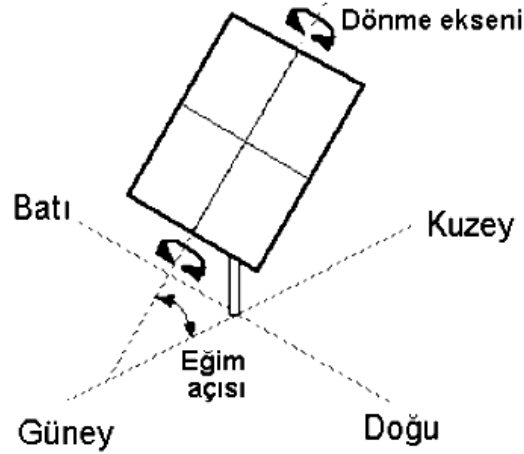


Şekil 3.3 Sabit panellerin yansıtıcı ile birlikte kullanımı

Sabit eğimli güneş panellerinin her ikisi de herhangi bir takip sistemine ihtiyaç duymadığından kurulum maliyeti düşük yapılardır.

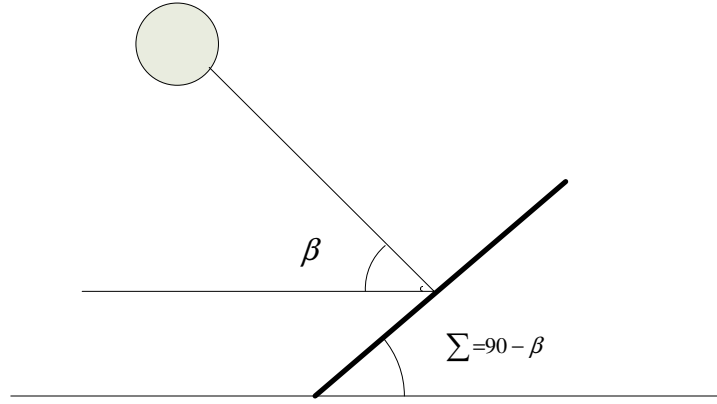
3.2 Panellerin Tek Eksende Dönebilir Şekilde Konumlandırılması

Panellerin tek eksenli dönebilir şekilde konumlandırılması genelde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi panellerin kuzey-güney doğrultusu üzerine sabit bir açı yaparak ve mekanizmanın paneli dönme eksenini etrafında (doğu-batı doğrultusunda) döndürebilecek şekilde dizayn edilmesiyle sağlanır (Gilbert, 2004).



Şekil 3.4 Güneş panellerinin tek eksende dönebilir şekilde konumlandırılması

Panelleri bulunduğu yerleşim noktasının enlem açısı ile eşit bir açıyla konumlandırılmasına kutupsal montaj denir. Kutupsal montajlı ve tek eksende güneş takibi yapan sistemler güneşten maksimum seviyede ışınım alan yapılar değildir; ancak sabit panellere göre daha fazla ışınım topladıkları bir gerçektir. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi enlem açısıyla konumlandırılmış panel, dünya dönüşüyle aynı oranda yani saatte 15 derece döndürülerek yüzü daima güneşe yönlendirilmektedir. Böyle bir panel için geliş açısı θ ile panelin normali arasındaki açı δ (deklınasyon) açısına eşit olur ve güneş ışınımındaki azalma aynı δ açısı ile orantılı olur. Bu durumda panel üzerine düşen direkt ışınım miktarı $I_b \cdot \cos \delta$ şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 3.5 Sabit açılı panelde açılar

Panel tarafından alınan yayınlık ışınım miktarı ve alınamayan yayınlık ışınım miktarını hesaplayabilmek için Şekil 3.5’de gösterilen eğim açısı bilinmelidir. Eğer eğim açısı olarak enlem açısı kullanılmış ise (Kutupsal montaj) ve tek eksenle güneş takibi yapılıyorsa panelin etkin açısı (Gilbert, 2004),

$$\Sigma_{etkin} = 90 - \beta + \delta \quad (3.1)$$

şeklinde verilebilir. Direkt ışınımın etkin miktarı

$$I_{BC} = I_B \cdot \cos \delta \quad (3.2)$$

Kutupsal montaja sahip tek eksenli güneş takibi yapan bir panel tarafından alınan yayınlık ışınım miktarı ve yansıyan (alınamayan) yayınlık ışınım miktarı,

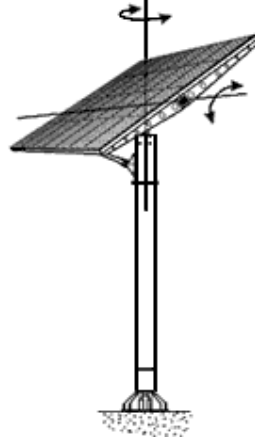
$$I_{DC} = C \cdot I_B \cdot \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (3.3)$$

$$I_{RC} = p(I_{BH} + I_{DH}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (3.4)$$

3.3 Panellerin Çift Eksende Dönebilir Şekilde Konumlandırılması

Panellerin çift eksenli dönebilir şekilde konumlandırılması Şekil 3.6’da gösterildiği gibi panellerin bir mekanizma sayesinde hem kuzey-güney doğrultusunda hem de doğu-batı

ekseninde döndürebilecek şekilde dizayn edilmesiyle sağlanır.



Şekil 3.6 Güneş panellerinin çift eksenle döner şekilde konumlandırılması

Çift eksenle döner şekilde konumlandırılmış paneller tek eksenle döner yapıya nazaran daha karmaşık bir yapıya sahip olsalar da güneş ışınımında faydalanma oranları daha yüksektir. Çünkü tek eksenle döner paneller farklı deklinasyon açılarında çift eksenle döner paneller kadar uyum gösteremezler ve ışınım almada δ ile orantılı olarak bir azalma söz konusudur. Çift eksenle güneşe yönlendirilen paneller için ifadeler aşağıdaki gibidir.

Direk ışınımın etkin miktarı

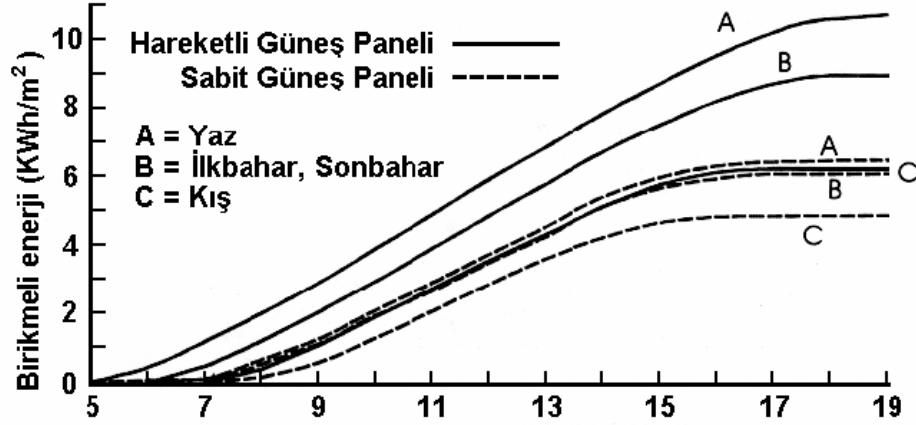
$$I_{BC} = I_B \quad (3.4)$$

Çift eksenli güneş takibi yapan bir panel tarafından alınan yayımlı ışınım miktarı ve atmosfer tabakasında yansıyan (alınamayan) yayımlı ışınım miktarı,

$$I_{DC} = C \cdot I_B \cdot \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (3.5)$$

$$I_{RC} = p(I_{BH} + I_{DH}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (3.6)$$

Güneş panellerinin konumlandırılmasına bağlı olarak güneş ışınımından faydalanma miktarı değiştiğinden, panellerden alınabilecek enerji miktarları değişmektedir. Şekil 3.7’de sabit ve güneşe göre konumlandırılan hareketli panellerin mevsimsel enerji çıktıları verilmiştir.



Şekil 3.7 Güneş panellerinin konumlandırılması bağlı olarak mevsimsel enerji çıktıları

3.4 Güneş Takip Kontrolörleri

Güneş takip kontrolörleri tek eksen ve çift eksen güneş takibi yapan sistemlerde güneşin panele göre pozisyonunu tespit etmek ve paneli bu doğrultuda yönlendirmek üzere oluşturulmuş sistemlerdir. Genel olarak bu kontrolörlerde güneşin panele göre pozisyonunun tespiti bir algılayıcı, paneli bu doğrultuda yönlendirme komutları bir denetleyici ve bu komutlar doğrultusunda yönlendirme bir mekanizma tarafından gerçekleştirilmektedir. Güneşin panele göre pozisyonunu algılamak üzere hareketli fotometreler veya gölgeleme prensibine göre algılama yapan fotometreler kullanılmaktadır. Şekil 3.8'de hareketli fotometreye, Şekil 3.9'da gölgeleme prensibine göre çalışan fotometreye ait birer örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Hareketli fotometre



Şekil 3.9 Gölgelemeli fotometre

Güneş takip sistemlerinde panelleri yönlendirme komutlarını veren denetleyici olarak mikro işlemciler, PLC vb. gibi kontrol yapıları kullanılmaktadır. Denetleyici tarafından verilen komutlar doğrultusunda panelleri yönlendirmek için oluşturulan mekanizma ise adım motorlu, küresel motorlu veya konum kontrollü DC motorlu olabilmektedir.

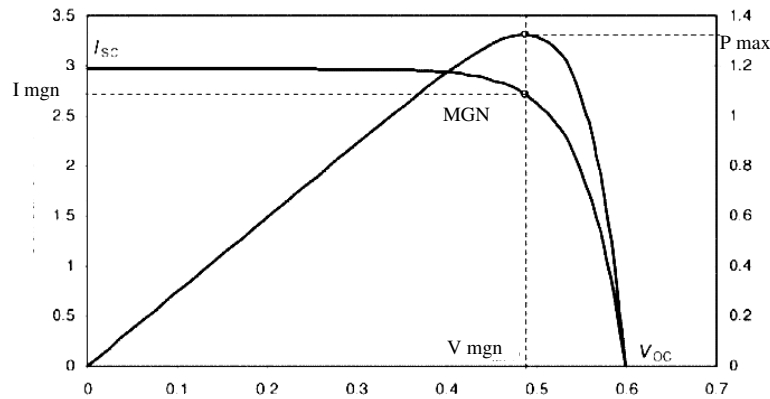
4. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİSTEMLERİ

Fotovoltaik sistemler genelde iki farklı çalışma durumuna sahiptir. Birinci çalışma durumunda, direkt yüke bağlı olarak yükü beslerken, İkinci çalışma durumunda, güneş panellerinden enerji elde edilemediği güneş ışınımının olmadığı zaman dilimlerinde sistemin enerji devamlılığının sağlanması için enerjinin depolanmasını sağlarlar. Elektrik enerjisinin depolanmasında yaygın olarak akümülatörler kullanılmaktadır. Fotovoltaik yapı direkt yükü beslediği birinci durumda yük gerilimlerinde, ihtiyaç fazlası enerjinin depolanmasında görev aldığı ikinci durumda ise akümülatör gerilimlerinde çalışmaya zorlandığından güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapılamamaktadır. Güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapabilmek için yapısında kontrol edilebilir bir DC-DC dönüştürücü barındıran sistemlere ihtiyaç duyulur. Panelleri, yük veya akümülatör gerilimlerinden bağımsız kılan bu kontrollü arabirime maksimum güç takip sistemi (Maximum Power Point Tracker, MPPT) denir.

Maksimum güç takip sistemlerinin temel amacı, panel üzerine düşen ışınım seviyesinde panelden elde edilebilecek maksimum gücün yüke veya depolama sistemine aktarılmasıdır. PV'ler doğru akım ürettiklerinden bir PV panelden yüke aktarılan güç ifadesi,

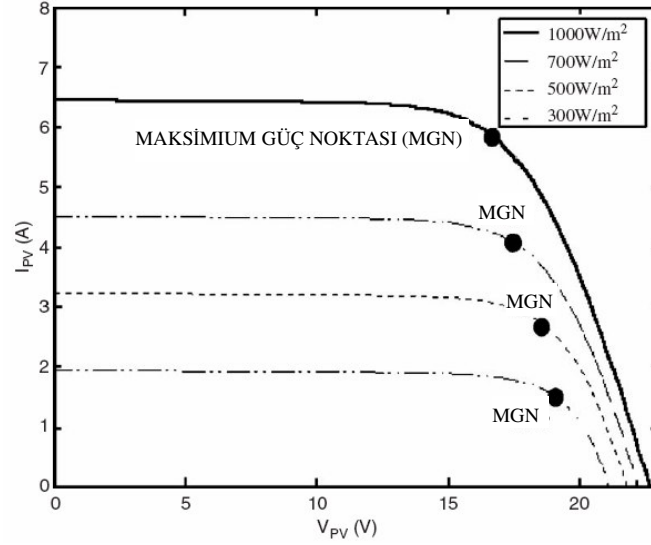
$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (4.1)$$

şeklinde dir. Bu güç ifadesi kullanılarak Şekil 4.1'de bir güneş paneline ait akım-gerilim ve aynı panele ait güç-gerilim karakteristiği üzerinde maksimum güç noktası(MGN) gösterilmiştir (Volker, 2005).



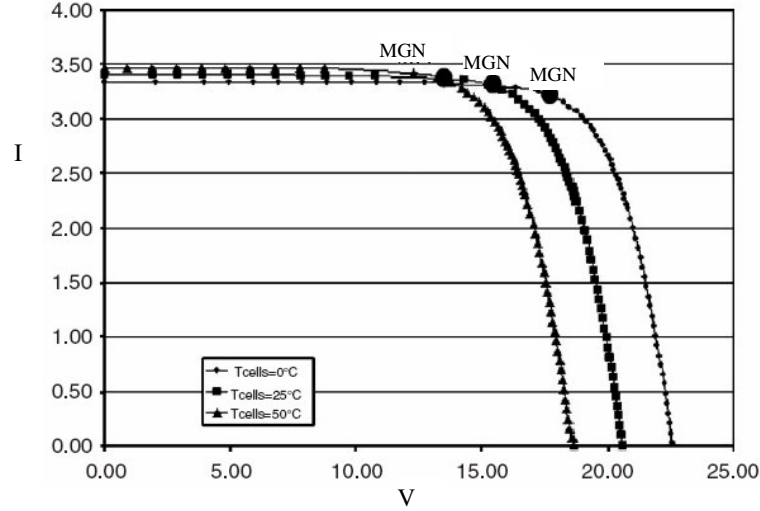
Şekil 4.1 PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası

Şekilden de görüldüğü gibi bir fotovoltaik panelden belirli bir akım-gerilim noktasında maksimum güç alınabilmektedir. Bir PV panele ait maksimum güç noktası, güneşten gelen ışınım, ortam sıcaklığı vb. gibi şartlara bağlı olduğundan bu nokta değişkendir. Şekil 4.2’de örnek bir PV panelin farklı ışınımlar altında I-V karakteristiği üzerinde maksimum güç noktaları gösterilmiştir (Salas vd. 2006).



Şekil 4.2 PV panelin farklı ışınımlar altında I–V karakteristiği ve maksimum güç noktaları

Güneş panellerinin I-V karakteristiği üzerine gelen ışınımına bağlı olarak her ışınım değeri için farklılık gösterir. Bu durumda her bir farklı I-V karakteristiği için farklı maksimum güç noktaları söz konusudur. Maksimum güç noktasını değişken kılan bir diğer faktör ise sıcaklıktır. Şekil 4.3’de farklı sıcaklık seviyelerinde panele ait akım-gerilim karakteristiği ve bu karakteristik üzerinde maksimum güç noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Üç farklı sıcaklık seviyesinde PV'ye ait I-V karakteristiği

Sıcaklık artışı güneş panellerinin çalışmalarına olumsuz etkimekte ve verimlerini düşürmektedir. Akım-gerilim karakteristiklerine dikkat edilirse ışınımın akım üzerinde, sıcaklığın ise gerilim üzerinde etkin olduğunu söylenebilir (Salas vd. 2006).

Maksimum güç takibi yapan sistemler, güneşten gelen ışınım ve sıcaklık gibi faktörler nedeniyle maksimum güç noktası değiştiğinden, panelden maksimum verimin alınabilmesi için maksimum güç noktasının daima takip edilmesini sağlayan ve fotovoltaik sistemi bu noktada çalıştıran bir elektronik devredir. Güneş takip sistemi gibi mekanik bir yapıya sahip değildirler; ancak güneş takip sistemleri ile birlikte kullanılabilirler.

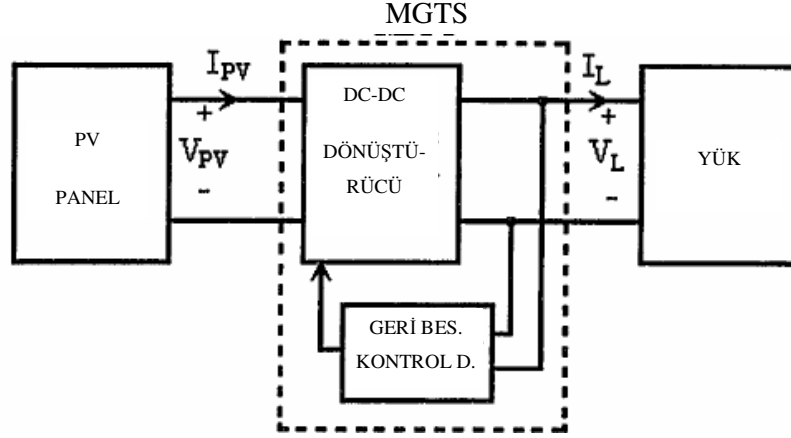
MGTS'ler güneş panellerinin sürekli maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayarak maksimum güç aktarımını sağladıkları gibi, her zaman maksimum güç aktarımı sağladığından ihtiyaç duyulan aynı enerji miktarı için kullanılacak olan güneş panellerinin sayısının azalmasına yol açarak maliyetlerin de azalmasını sağlamaktadırlar.

4.1 MGTS'lerinin Yapısı

Fotovoltaik yapılar ile yük veya akümülatör grupları arasındaki güç aktarımındaki uyumsuzluğu gidermek üzere birçok devre yapısı oluşturulmuştur. Birçok MGTS yapısında bir DC-DC dönüştürücü veya anahtarlama güç kaynağı (AGK) bulundurmakta ve PV ile yük arasında görev yapmaktadır (Salameh, 1988). MGTS'ler de genelde yükseltici, alçaltıcı veya hem yükseltici hem de alçaltıcı olan anahtarlama güç kaynağı yapıları kullanılmakta ve bütün çeşitler açık çevrim veya kapalı çevrim bir kontrol devresi bulundurmaktadır

(Batcheller, 1993).

MGTS’de bulunan anahtarlama güç kaynağı yapısı, yükün çalışmakta olduğu gerilimden bağımsız olarak PV’yi maksimum gücün sağlandığı gerilimde çalıştırma görevini yerine getirmektedir. Geri beslemeli kontrol devresi ise, çalışma durumuna göre giriş-çıkış gerilim oranlarını daima en uygun seviyede tutmaya çalışmaktadır. Şekil 4.4’de AGK’lı bir MGTS’ye ait blok diyagramı gösterilmiştir (Batcheller, 1993).



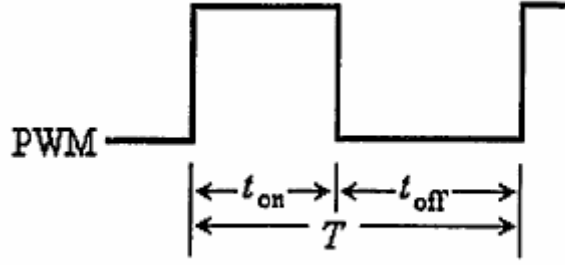
Şekil 4.4 MGTS blok diyagramı

Anahtarlama güç kaynakları çok uzun zamandır bilinen yapılar olsalar da yüksek hızlı ve az kayıplı anahtarlama elemanlarının bulunmasıyla ancak verimli hale gelmişlerdir (Kit Sum, 1984). En çok kullanılan anahtarlama elemanı, yüksek frekanslarda çalışabilen ve kolay tetiklenebilen MOSFET (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistors) elemanıdır (Salameh ve Taylor, 1988). Bazı anahtarlama DC-DC dönüştürücüler uygun şartlarda % 98 verimlere ulaşmaktadır (Bucciarelli vd, 1980; Rajan, 1990). Anahtarlama güç dönüşüm sistemleri yüksek frekansta yüksek güçlü anahtarlama elemanlarının iletim ve kesimde çalıştırılmasıyla işlemektedir (Kit Sum, 1984). Bu durumda MGTS için basitçe, “belirli bir giriş gerilim seviyesindeki gücü farklı gerilim seviyesindeki güce dönüştüren bir DC-DC dönüştürücüdür” denilebilir. Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı N ,

$$N = V_L / V_{PV} = I_{PV} / I_L \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Anahtarlama güç dönüştürücüsün N oran değeri MOSFET’in bağlı iletim süresinin (D) değiştirilmesiyle sağlanır. Buna darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) denir. Şekil 4.5’te bir darbe genişlik modülasyonuna ait bir

periyotluk dalga (sinyal) gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali

Bağlı iletim süresi D , MOSFET'in iletimde olduğu sürenin, iletimde ve kesimde olduğu süreler toplamı olan PWM sinyalinin periyoduna bölümüdür. Denklemsel olarak aşağıdaki gibi verilir. (Batcheller,1993).

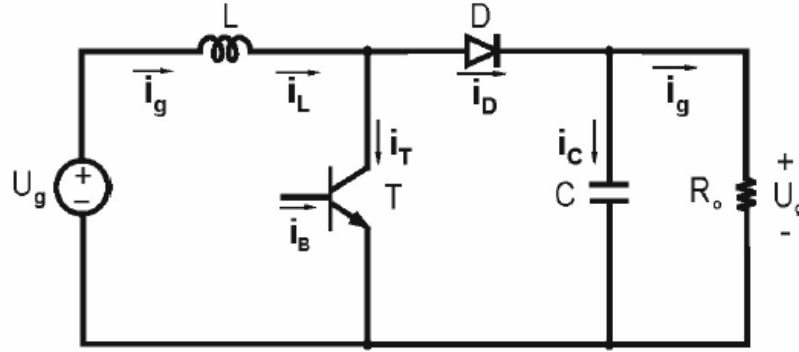
$$D = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} = \frac{t_{on}}{T} \quad (4.3)$$

PWM sinyalleri MOSFET'i iletime ve kesime getirmek için kapı adıyla anılan terminalinden verilir. PWM kare dalga sinyalinin frekansının değişimi ile N oran değeri değişmemekte ve genelde bu frekans 20 kHz olmaktadır. Yüksek frekansta anahtarlama kayıpları nedeniyle verim düştüğünden bu frekans çok arttırılmamaktadır. Düşük frekanslarda ise hem devrenin ses yayması (Rajan, 1990) hem de endüktans ve kapasitelerin boyutlarının büyük olmasını gerektirdiğinden (Kit Sum, 1984) bu frekansın alt değerleri tercih edilmemektedir. Maksimum güç takip sistemlerinde kullanılan birçok anahtarlama dönüştürücüler kullanılmaktadır. MGTS de kullanılan dönüştürücülere izleyen alt başlıklarda değinilmiştir.

4.1.1 Yükseltici Anahtarlama Dönüştürücü

Yükseltici yapıdaki dönüştürücüler adından da anlaşılacağı gibi gerilimi yükselten yapılardır. Basitleştirilmiş devre şeması Şekil 4.6'da verilmiştir (Bodur, 2005). Bu devreler fotovoltaiik sistemlerle kullanıldığında U_g giriş gerilimi, PV panelin gerilimi olmakta ve bu giriş gerilimini $U_ç$ çıkış gerilimine, yani sistemdeki akü veya yük gerilimine dönüştürme işlevini üstlenmektedirler. Bu tür devrelerde çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olduğundan

N dönüştürme oranı birden büyüktür.



Şekil 4.6 Yükseltici anahtarlamalı dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması

Bu dönüştürücüde dönüşüm, anahtarlama elemanı (T) iletimde iken PV yapı endüktans (L) üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa ilave enerji enjekte etmesi, ardından da anahtarlama elemanının kesime geçmesiyle endüktansta oluşan ters EMK'nın diyot üzerinden kapasite elemanını şarj etmesi suretiyle gerçekleşir. Ters EMK değeri giriş geriliminden daha yüksek bir gerilime çıkabiliyor olduğundan U_c çıkış gerilimi bu devre yapısıyla yükseltilebilmektedir. Çıkış gerilimi, anahtarlama elemanı iletim durumunda iken çıkışta bulunan kondansatörün (C) enerjisiyle sağlandığından, çıkış geriliminde dalgalanmalar söz konusudur. Bu dalgalanmaları filtre etmek üzere konulan paralel kapasitenin çıkış gerilimini sabit kılacak şekilde büyük olduğu kabul edilmektedir (Mohan, 2003). Ayrıca bu dönüştürücülerde yüksüz çalışma durumunda aşırı gerilimlerin oluşması söz konusu olduğundan aşırı gerilim koruma yapısına ihtiyaç duyarlar.

Sabit kabul ettiğimiz çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$N = \frac{V_L}{V_{PV}} = \frac{T}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (4.4)$$

İdeal bir dönüştürücü için,

$$P_{PV} = P_C \quad (4.5)$$

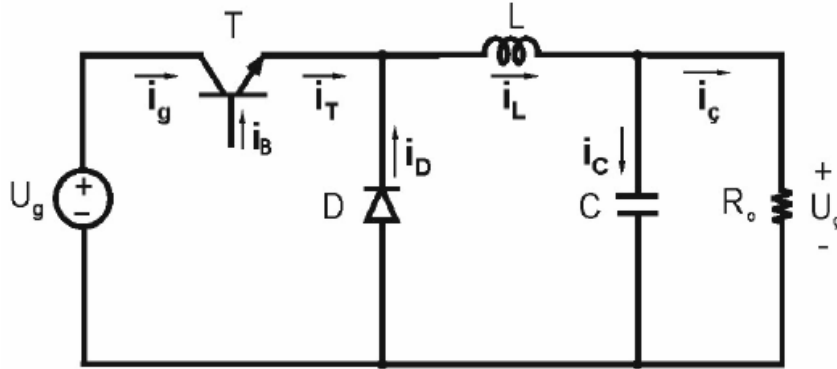
Ve

$$\frac{I_{\xi}}{I_{PV}} = (1 - D) \quad (4.6)$$

ifadeleri yazılabilir. Normalde çıkış gücü, devre elemanlarındaki kayıplardan dolayı PV panelden alınan güce eşit olmaz. Ancak iyi bir tasarım ile bu devrelerden çok yüksek seviyelerde verim alınabilmektedir. Yükseltici yapılar daha çok kendi başına yeten sistemlerde (stand-alone systems) ve maksimum güç noktasındaki gerilim değeri akü geriliminden düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

4.1.2 Alçaltıcı Anahtarlamalı Dönüştürücü

Alçaltıcı yapıdaki dönüştürücüler gerilimi alçaltan, dolayısıyla akımı yükselten devrelerdir. Bu yönleriyle ele alınırsa “akım yükselticiler” de denilebilir. Alçaltıcı anahtarlamalı dönüştürücülere ait basitleştirilmiş devre şeması Şekil 4.7’de verilmiştir (Bodur, 2005). Bu devreler fotovoltaiik sistemlerle kullanıldığında U_g giriş gerilimi, PV panelin gerilimi olmaktadır.



Şekil 4.7 Alçaltıcı anahtarlamalı dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması

Bu dönüştürücünün çalışması temel olarak, anahtarlama elemanı iletimde iken PV panelden alınan enerji hem yükü besler hem de akım yolu üzerinde bulunan endüktansta enerji depolanmasını sağlar. Anahtarlama elemanının devreden çıkmasıyla diyot(D) elemanı iletime geçerek endüktansta birikmiş olan enerjiyle yükü beslemeye devam eder. Bu devrelerde yükün direkt olarak PV panelden beslenmediği anahtarlama elemanını kesimde olduğu aralıkta endüktansta birikmiş olan enerji yüke aktarıldığı için çıkış gerilimindeki dalgalanma çok küçüktür. Dolayısıyla çıkış gerilimini filtrelemek oldukça kolaydır.

Alçaltıcı anahtarlamalı dönüştürücüler ile çıkış gerilimi, 0 ila giriş gerilimi arasında bir değere getirilebilmektedir. Bu tür dönüştürücülerde çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olduğundan N dönüştürme oranı birden küçüktür. Değeri ise,

$$N = \frac{t_{on}}{T} = D \quad (4.7)$$

dir.

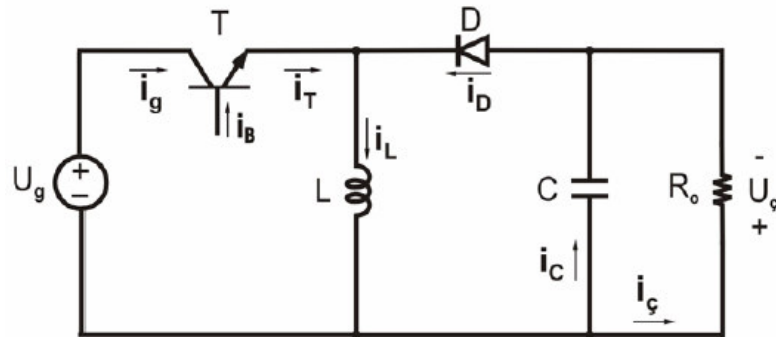
Bu dönüştürücüyü ideal, kayıpsız düşünürsek,

$$P_{PV} = P_C \quad (4.8)$$

olduğundan düşen gerilime karşılık akımda bir artışın olacağı muhakkaktır. Böyle bir dönüştürücü ile motorlara verilebilecek akım miktarı artırılarak motordan elde edilebilecek moment miktarı artırılabilir. Dolayısıyla yüksek moment gerektiren ilk kalkış durumları için etkin olarak kullanılabilirler. Bu yönüyle alçaltıcı anahtarlamalı dönüştürücüler genelde PV sistemli su pompalama istasyonlarında kullanılmaktadır (Requier vd., 1981; Dagher, 1989).

4.1.3 Alçaltıcı-Yükseltici Anahtarlamalı Dönüştürücü

Alçaltıcı-yükseltici yapıdaki dönüştürücüler tüm çalışma durumlarına uygun bir biçimde gerilimi hem alçaltabilen hem de yükseltebilen devrelerdir. Alçaltıcı-yükseltici anahtarlamalı dönüştürücülere ait basitleştirilmiş devre şeması Şekil 4.8’de verilmiştir (Bodur, 2005). Bu dönüştürücünün diğer dönüştürücülerden farklı olarak gerilimi tersleyen bir yapısı vardır. Dolayısıyla çıkış geriliminin yönü, giriş gerilim yönünün tersidir. Bundan ötürü “ters çıkışlı dönüştürücü” olarak da anılmaktadırlar.



Şekil 4.8 Alçaltıcı-yükseltici anahtarlama dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması

Bu tür dönüştürücüde temel olarak, anahtarlama elemanı iletimde iken devre endüktans üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa enerji enjekte eder ve daha sonra anahtarlama elemanı kesime geçince endüktansta oluşan ters EMK nedeniyle daha önce enjekte edilmiş olan enerji yük tarafına verilir. Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı N ,

$$N = \frac{D}{1-D} \quad (4.9)$$

Bu devrelerin verimi diğer dönüştürücüler kadar yüksek değildir. Dolayısıyla genelde MGTS de kullanılmazlar. Ancak daima yükseltici gibi çalıştırılma durumları için aynı durum söz konusu değildir (Batcheller, 1993). Ayrıca bu tür dönüştürücü sistemlerde giriş ve çıkış geriliminde dalgalanmalar oldukça fazladır ve bu devrelerde, dönüştürücünün yüksüz durumda çalışmasını engellemek üzere koruma yapılarına ihtiyaç vardır.

4.2 MGTS'de Geri Besleme Kontrolü

PV yapılarında yük ve ışınım, sıcaklık vb. gibi çevresel etmenlerin değişmesinden dolayı maksimum gücün alınabileceği gerilim noktası değişmektedir. MGTS, bu değişimleri algılayıp sistemi maksimum gücün alınabileceği yeni gerilim noktasında çalışabilmesi için bir geri besleme kontrolüne ihtiyaç duyar. Geri besleme kontrolleri açık ve kapalı çevrim olmak üzere iki tiptir.

4.2.1 Açık Çevrim Geri Besleme

Açık çevrim geri beslemeli MGTS'lerinde kontrol, PV panellerle eşdeğer bir PV modülden alınan referans gerilimi sayesinde yapılır. Geri besleme için kullanılacak olan PV modül maksimum güç transferini gerçekleştirecek olan PV panellerle aynı ortama yerleştirilmelidir. Açık çevrim geri beslemeli MGTS'lerinin çok belirgin iki dezavantajı vardır. Birincisi, sistem kontrolünün ilk kurulduğunda kalibre edilme gereksinimi duymasındadır(Salameh ve Daniel, 1990). İkinci, bu tür bir geri beslemeli kontrol da sadece ışınım ve sıcaklık gibi çevresel etkiler dikkate alınırken ve yükteki değişimlerin ise önemsenmemesidir. Bundan ötürü açık çevrim geri beslemeli bir MGTS de sistem her zaman maksimum güç çalışma noktasında çalışamaz.

Dolayısıyla da açık çevrim geri beslemeli yapılar daha verimsizdirler (Batcheller, 1993).

4.2.2 Kapalı Çevrim Geri Besleme

Kapalı çevrim geri besleme temel olarak, N değerini değiştirerek PV panelden yüke aktarılan güç miktarını maksimum yapan değeri takip eden yapıdır. Yapısal olarak daha karmaşık olmasına rağmen bu geri besleme sisteminde hem çevresel etkiler hem de yüke ait değişimler dikkate alındığından açık çevrim geri besleme tekniğine göre daha verimlidir (Batcheller, 1993).

4.3 MGTS Kontrol Algoritmaları

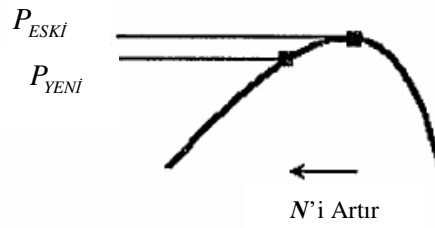
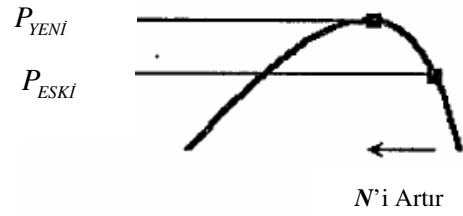
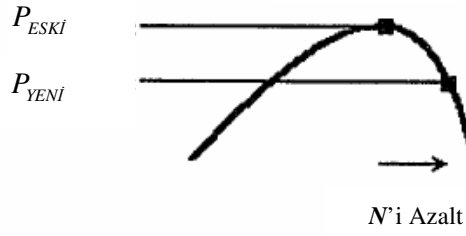
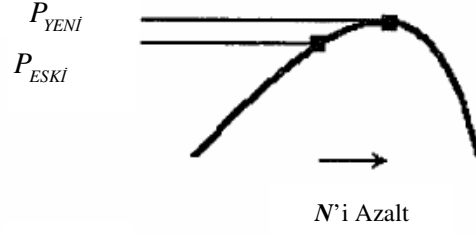
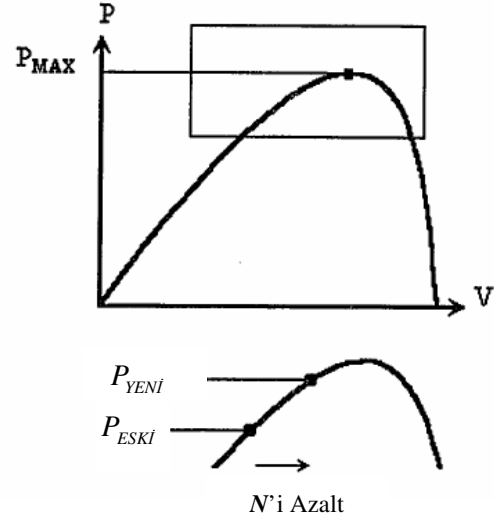
PV panelden yüke aktarılan güç miktarını maksimum yapmak üzere geliştirilmiş birçok analog, dijital devreler ve algoritmalar oluşturulmuştur. Aşağıda MGTS kullanılan algoritmalarından birkaçı verilmiştir.

4.3.1 Kaygılandır ve Gözetle (Perturb and Observe) Algoritması

PV sisteme deneme amaçlı gerilim artırımı ve azaltımı yapılarak çıkış gücünde oluşan değişime bakılarak karar verilmesini sağlayan bir algoritmadır. Bu algoritmaya aynı zamanda tepe tırmanma (Hill Climbing) algoritması da denilir. Bu algoritmada bir döngü süresinde aşağıdaki basamaklar adım adım uygulanır.

- i. Çevrim içi süreyi değiştirerek N gerilim oranını değiştir.
- ii. Bir önceki çevrimde PV panelden alınan güç ile yeni çevrimde alınan güç değerini karşılaştır.
- iii. Eğer bir önceki çevrimde alınan güç değeri yeni güç değerinden büyükse gerilimin artım veya azalım yönünü değiştir.
- iv. Başa dönerek döngüyü tekrarla

Şekil 4.9 de uygulanan algoritma doğrultusunda yapılan iterasyon sonucu güç noktasındaki değişim gösterilmiştir (Batcheller, 1993).

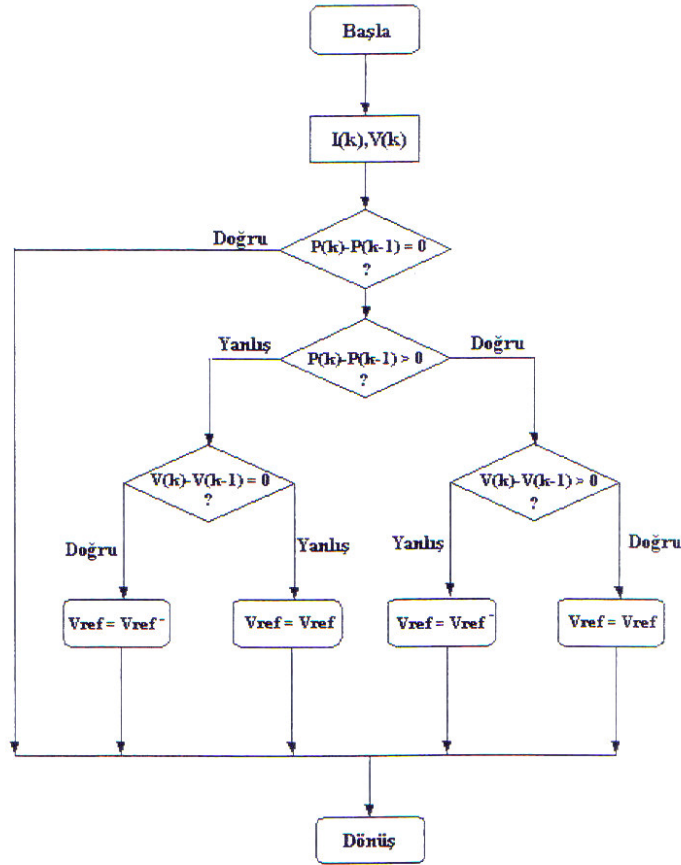


Şekil 4.9 Tepeye tırmanma algoritması doğrultusunda yapılan iterasyon sonucu güç noktasındaki değişim

Şekilden de görüldüğü gibi sistem, maksimum noktada çalışıyorsa dahi bu nokta etrafında salınım yaptırılarak maksimum güç izlenmesi yapılan bir metottür. Yapı olarak basit olduğu için çokça kullanılan yöntemdir. Bu metot güneş ışınımları değişiminin az olduğu sistemlerde avantajlı bir algoritmadır (He vd., 1998).

4.3.2 Dinamik Bozulma Algoritması

Güneş panellerinin karakteristiği ile panel çıkış değerlerini karşılaştırarak maksimum güç noktası takip metodudur. Bu yöntemde çıkış değerleri için üç sınıf söz konusudur. Bu sınıflar, akım değerinin optimum güç seviyesindeki değerinden az olduğu, çok olduğu ve optimum güç seviyesindeki değerine eşit olduğu durumlardır. Bu durumlardan eğer akım değeri optimum güç seviyesinden az ise güç ve gerilim negatif, akım seviyesi optimum güç seviyesindeki değerinden fazla ise güç ve gerilim pozitif ve sistem maksimum güç noktasında ise güç ve gerilim sıfır kabul edilir (Ross ve Smockler, 1986).



Şekil 4.10 Bir dinamik bozulma algoritmasına ait akış diyagramı

Şekil 4.10 de bir dinamik bozulma algoritmasına ait akış diyagramı verilmiştir (Nizam, 2004). Akış diyagramında da görüldüğü gibi sistemde çıkış gerilimi artış gösteriyor ve bununla birlikte güç değeri artıyor ise bir sonraki döngü için referans gerilimi (V_{ref}) arttırılır. Yani, sistemde güç düşüşü olana kadar V_{ref} artım yönünde değiştirilir. Böylece çıkış gücünün maksimum güç noktası etrafında salınım yapması sağlanır (He vd., 1998; Edigo ve Lorenzo, 1992).

4.3.3 Hesaplama Metodu

Güneş panellerine ait lineer olmayan I-V karakteristikleri bir sayısal yaklaşımla matematiksel olarak modellenerek sistemin çevresel değişkenlere göre cevap vermesi sağlanmasını sağlayan yöntemdir. Bu yöntemde her türlü çevresel duruma göre bir matematiksel model oluşturmak gerekmektedir. Bu metotta matematiksel modelle temel olarak, değişen çevre şartlarına göre farklı yük koşullarında maksimum güç noktasını, panelin açık devre gerilimini ve kısa devre akımını hesaplamaktır (He vd., 1998; Edigo ve Lorenzo, 1992).

4.3.4 Artan İletkenlik (Incremental Conductance) Algoritması

Artan iletkenlik metodunda maksimum güç takip, PV panelden anlık alınan akım ve gerilim artışlarına göre PV yapının iletkenliğinin gözlenmesi temeline dayanır. PV yapının iletkenliği,

$$G = \frac{I}{V} \quad (4.10)$$

olduğundan artan iletkenliği,

$$DG = \frac{dI}{dV} \quad (4.11)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Bu algoritmada artan iletkenlik değeriyle iletkenlik değeri karşılaştırılarak maksimum güç noktasına ulaşılmaya çalışılır. Şekil 4.11'de (Incremental Conductance) gösterilen iletkenlik durumlarından da anlaşılacağı gibi algoritma mantığı,

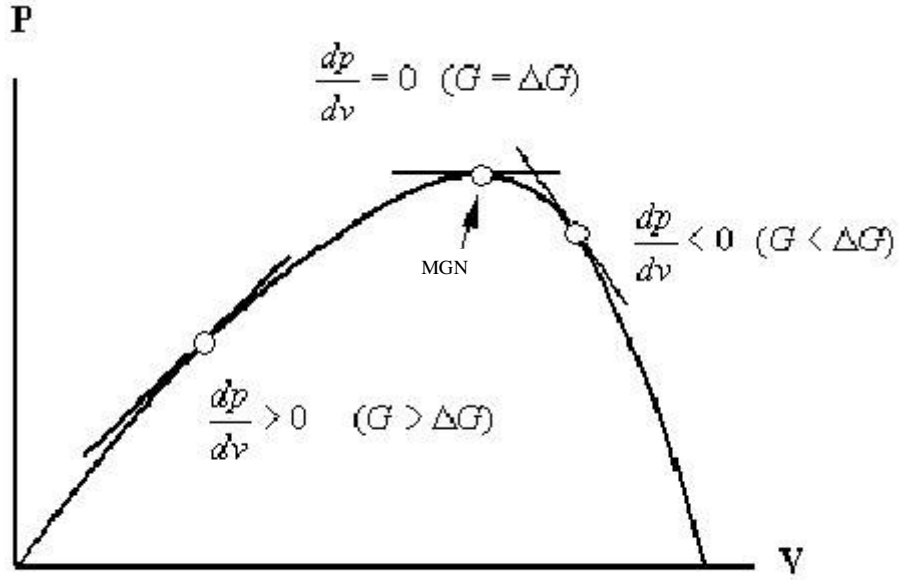
$$\text{Eğer } G > \Delta G \text{ ise } dP/dV > 0 \quad (4.12)$$

$$\text{Eğer } G < \Delta G \text{ ise } dP/dV < 0 \quad (4.13)$$

$$\text{Eğer } G = \Delta G \text{ ise } dP/dV = 0 \quad (4.14)$$

şeklinde ve dolayısıyla maksimum güç noktasına $G = \Delta G$ ise ulaşılmıştır. Ya da başka bir

değişle $G = \Delta G$ olduğu anda PV deki gerilim, maksimum güç anındaki gerilimdir.



Şekil 4.11 PV panelin P-V karakteristiği üzerinde iletkenlik durumları

Artan iletkenlik algoritması metodu çok hızlı değişen ortam koşullarında iyi bir performans sergiler (He vd., 1998; Edigo ve Lorenzo, 1992); ancak algoritmasının çok karmaşık olması nedeniyle yüksek işlem kabiliyetine sahip yapılar gerektirir.

4.3.5 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Algoritması

Bulanık mantık algoritması PV panelden aldığı ΔU , dP/dI ve $\Delta(dP/dI)$ gibi girdileri bulanık mantık yönteminin dil yapısına dönüştürüp işlem yaptıktan sonra çıktılara göre maksimum güç takip yöntemidir. Girdiler, bulanık mantığa ait dil yapısında PB (Pozitive Big), PS (Pozitive Small), ZO (Zero), NS (Negative Small) veya NB (Negative Big) şeklinde tanımlanır ve Çizelge 4.1 deki gibi oluşturulan kurallar tablosuna göre işleme tabi tutulur.

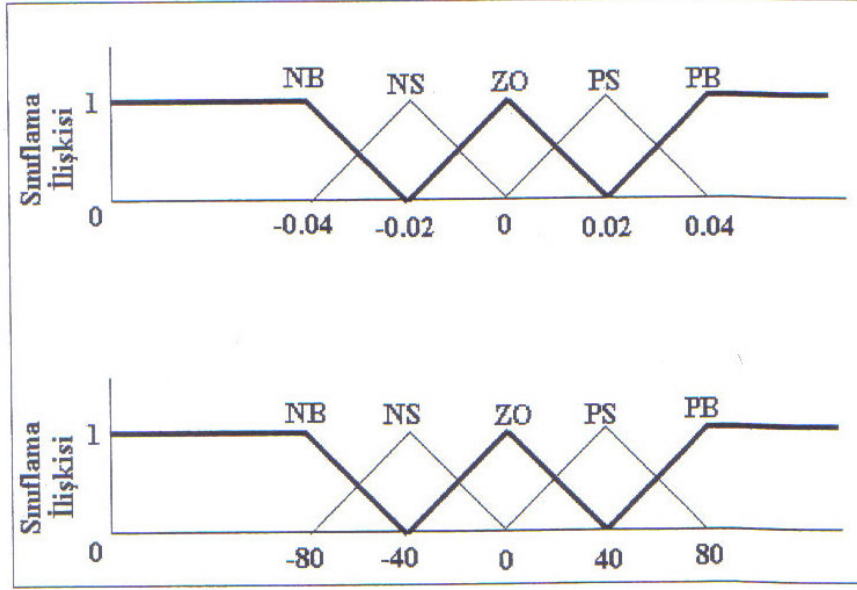
Çizelge 4.1 Bulanık mantık kurallar tablosu

CE E	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	ZO	ZO	NB	NB	NB
NS	ZO	ZO	NS	NS	NS
ZO	NS	ZO	ZO	ZO	PS
PS	PS	PS	PS	ZO	ZO
PB	PB	PB	PB	ZO	ZO

İşlemlerin bir sonuca bağlanması için kontrol algoritmasında bulanıklaştırma, bulanıklaştırmayı sona erdirmeye ve sonuç çıkarma gibi sınıflar bulunmaktadır. Bulanıklaştırma periyodunda Şekil 4.12’de değişimi gösterilen hata fonksiyonu ve hata değişim fonksiyonu meydana getirilir ve hesaplanır. Sonuç çıkarma periyodunda önceden belirlenmiş sonuç çıktıklarına göre uygun bulanık mantık denklemleri geliştirilir. Bulanıklaştırmayı sona erdirmeye periyodunda Çizelge 4.1’deki kurallar yardımıyla sistemin vereceği cevaplara göre sonuçlar elde edilir. Bu yöntemin diğer algoritmalara göre avantajı, güvenilir ve yüksek cevap hızına sahip olmasıdır (Nizam, 2004).

$$E = \frac{P_{PV}(k) - P_{PV}(k-1)}{I_{PV}(k) - I_{PV}(k-1)} \quad (4.15)$$

$$CE = E(k) - E(k-1) \quad (4.16)$$



Şekil 4.12 Hata fonksiyonu ve hata fonksiyonunun değişimi

5. UYGULAMA

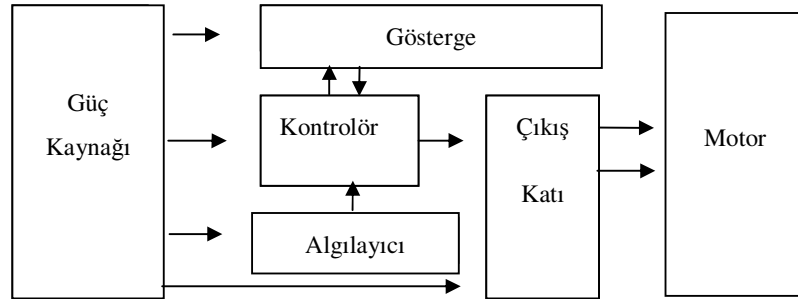
Uygulama çalışması iki ana başlık altında incelenecektir. Birincisi, Güneş Takip Sistemi diğeri ise Maksimum Güç Takip Sistemi'dir. Her bir sistem de kendi içerisinde hem donanımsal hem de yazılımsal öğeler bulundurduğundan her bir bölüm donanım ve yazılım alt başlıklarıyla verilmiştir.

5.1 Güneş Takip Sistemi

Dünyamızın günlük ve yıllık hareketi nedeniyle güneşten yeryüzüne gelen ışınımın açısı değişmektedir. Bu değişim nedeniyle güneş takip sistemine sahip olmayan fotovoltaik yapılar ışınım yoluyla ulaşan bu enerjiden belirli bir seviyenin üstünde faydalanamazlar. Bu nedenle, uygulamada GTS'ye sahip olan fotovoltaik yapıların böyle bir sisteme sahip olmayan yapılardan daha verimli oldukları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu verimliliği ortaya koymak üzere panellerin çift eksenle dönebilir şekilde konumlandırılması ve kontrolüyle oluşan GTS oluşturulmuş ve sayısal olarak hareketsiz sabit panellerle karşılaştırılmıştır.

5.1.1 Güneş Takip Sisteminin Donanımı

Güneş takip sistemine ait donanım yapısı temel olarak, güç kaynağı, algılayıcı, gösterge, kontrolör, çıkış katı ve motor kısımlarından oluşmaktadır. Donanıma ait blok şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.

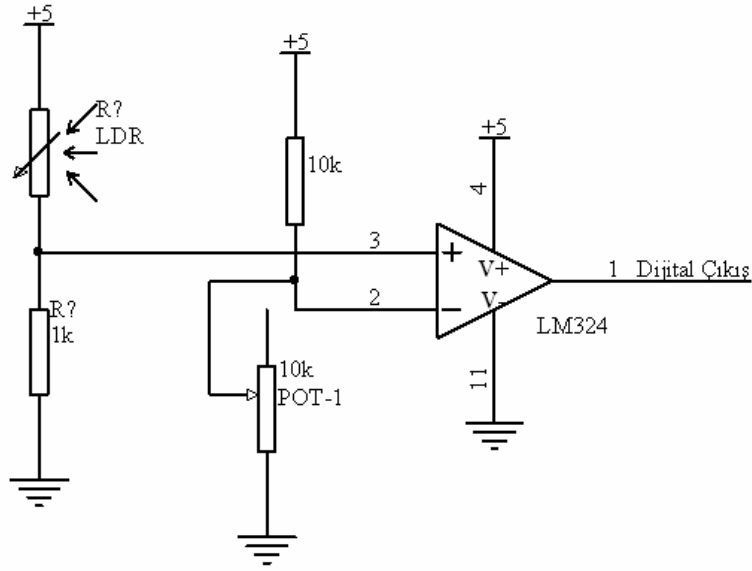


Şekil 5.1 Güneş takip sistemi donanımına ait blok şeması

Güç kaynağı, gösterge, kontrolör ve motor kısımlarının ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak üzerine tasarlanmış 5 V ve 15 V gerilim çıkışları bulunan bir doğru akım kaynağıdır. Gösterge olarak kendi içerisindeki mikro işlemci sayesinde kontrolör ile haberleşerek konum ve ışık şiddeti bilgisini ekrana yansıtan iki satır, on altı karakterli LCD (Liquid Crystal Display)

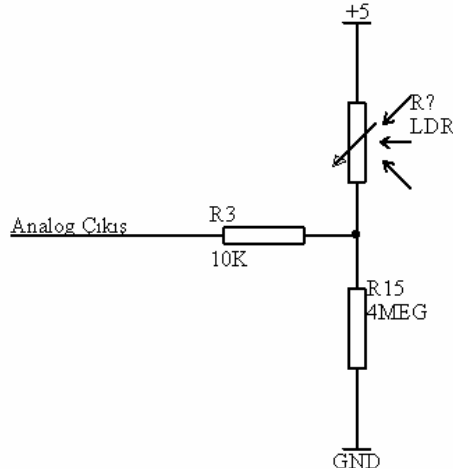
kullanılmıştır. Algılayıcı katında iki adet algılayıcı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, devre şeması Şekil 5.2’de verilen, çalışma ortamının aydınlık mı, karanlık mı olduğuna karar veren ve kontrolöre dijital sinyal gönderen algılayıcı devredir. Bu devre üzerindeki potansiyometre ile opamp’a ait referans gerilimi(V_{ref}) değiştirilerek aydınlık-karanlık algılama seviyesi ayarlanabilmektedir.

$$V_{ref} = \frac{5 \times R_{pot}}{10 + R_{pot}} \quad (5.1)$$



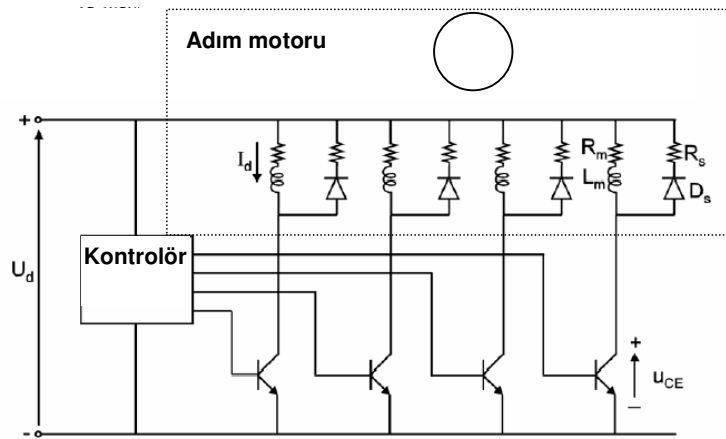
Şekil 5.2 Aydınlık-karanlık algılayıcı devre şeması

İkinci kısımda ise motorlar sayesinde konumlandırılma açısı değiştirilen bir LDR’li (Light Dependent Resistance) fotometre ile ışık şiddeti bilgisi alınarak analog sinyal olarak kontrolöre ileten bir devre bulunmaktadır.



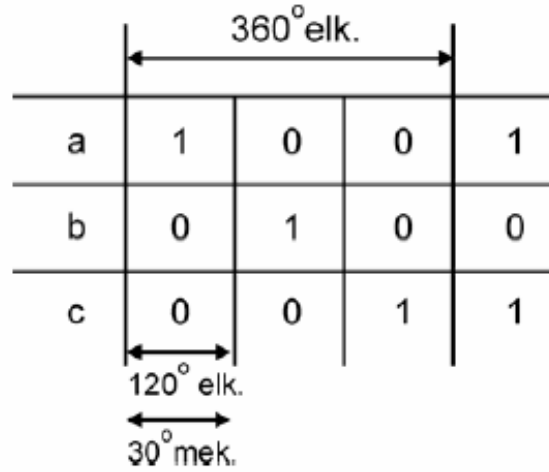
Şekil 5.3 Fotometreye ait devre şeması

Donanım yapısında bulunan bir diğer öge olan çıkış katı ise kontrolörden aldığı sinyaller doğrultusunda adım (step) motorların çalışmasını sağlayan bir sürücü ve bu sürücüye ait çevre elemanlarından oluşmaktadır. Sürücü devresinin modüler olması içinse 7 kanallı, çıkış gerilimi 50V ve çıkış akımı 600 mA olan ULN2003A entegresi kullanılmıştır. Blok diyagramda görüldüğü gibi sadece çıkış katına bağlı olan motor kısmında ise 4 adet tek kutuplu dört fazlı adım motor kullanılmıştır. Bu motorların ikisi, ışık şiddetini algılayan fotometreyi düşey ve yatay ekseninde hareket ettirmek için, diğer ikisi ise güneş panelinin düşey ve yatayda istenilen açıda konumlandırılması için kullanılmıştır. Sistemin mekanik kısmının adım motorlarla yapılmasının nedeni konum kontrolünün step motorlarla kolaylıkla yapılabilmesidir. Şekil 5.4 de tek kutuplu dört fazlı bir adım motoru ile çıkış katı birlikte verilmiştir (Bodur, 2005).



Şekil 5.4 Bir adım motoru ile çıkış katı devresi

Adım motorlarının dönüş hareketleri, kontrolör sinyalleri sayesinde sırasıyla her bir fazın çıkış katından çektikleri akımlar sayesinde sağlanır. Motorun dönüş yönü de yine bu sinyallerin sırasının değişimi ile sağlanır. Tek kutuplu dört fazlı bir adım motoruna bir adımlık dönüş sağlamak için Şekil 5.5'deki tabloda "a" satırından "c" satırına belirli bir zaman gecikmesiyle adım adım çıkış sinyalinin verilmesi gerekmektedir. Bu dönüşten sonra ters yöne bir adım döndürmek için ise aynı işlemi "c" den "a" ya doğru yapmak gerekmektedir. Geçişler arasındaki zaman gecikmesi bu motorların dönüş hızını belirlemektedir.



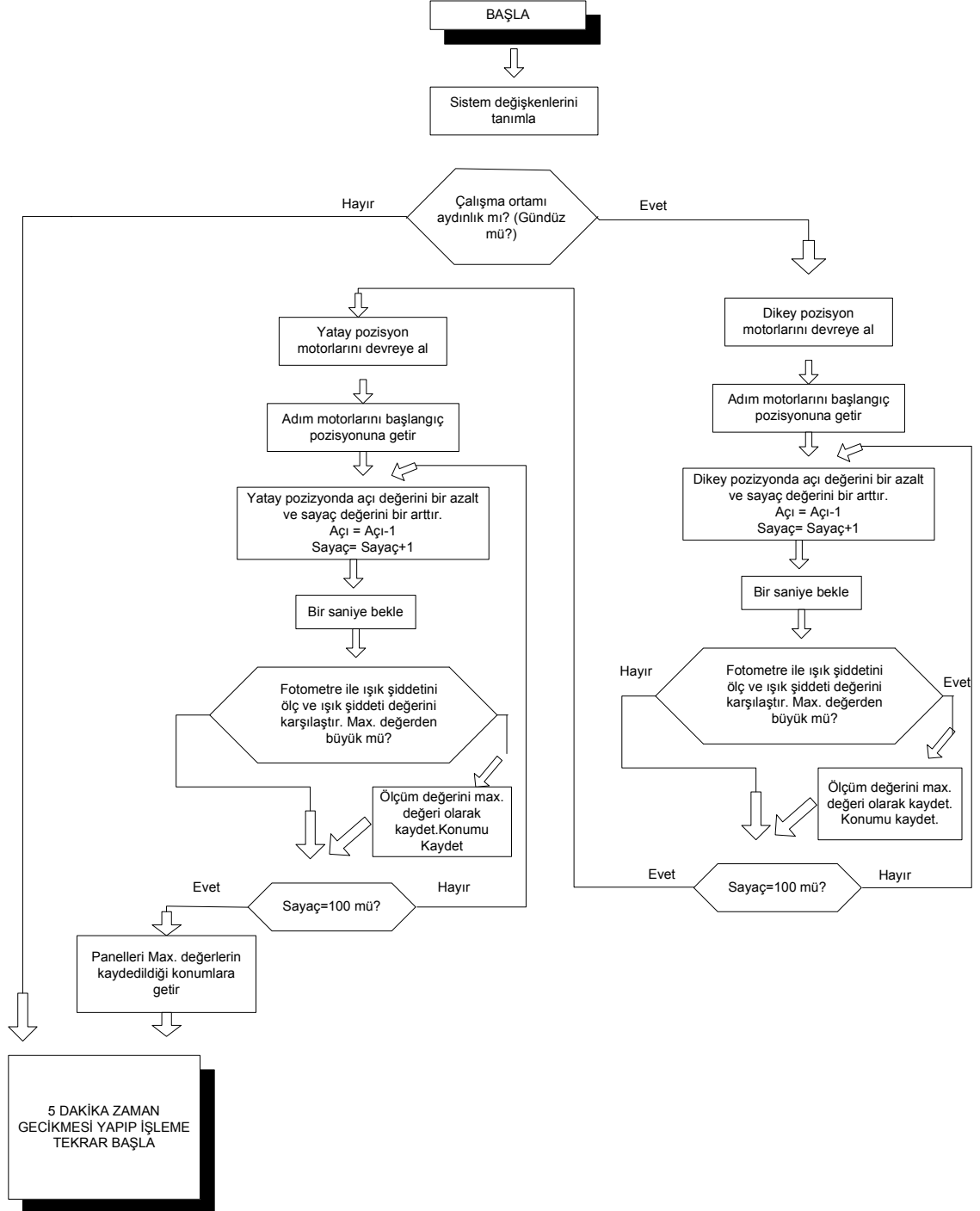
Şekil 5.5 Adım motoru dönüşü için çıkış sinyalleri

Hafızasındaki yazılım doğrultusunda donanım yapısında bulunan tüm girdi ve çıktıları değerlendirip sonuçlandıran birim ise kontrolör bloğudur. Kontrolör bloğunun temel elemanı bir mikro denetleyicidir. Bu mikro denetleyici Microchip firmasına ait 8 bitlik, 20 Mhz çalışma frekanslı 16F877-20P dir. Bu mikro denetleyici, kendi üzerinde 8 kanal analog-dijital çeviricinin olması, 3 kanal PWM sinyali üretebilmesi ve 33 adet giriş-çıkış kanalının bulunması, dolayısıyla birçok çevresel ünitenin kontrol edilmesine imkân tanınmasından dolayı tercih edilmiştir.

5.1.2 GTS Yazılımı

Güneş takip sistemi için oluşturulan yazılım temel olarak, belirli zaman aralıklarıyla güneşin panele göre konumunu farklı açılarda konumlandırılan LDR'li fotometre sayesinde algılayıp güneş panellerini güneşe döndürme işlemini gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda, güneş ışınımının olmadığı akşam saatlerinde yazılım güneş ışınımını algılama sürecini durdurup

gereksiz taramalara engel olmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yazılım PIC BASIC PRO dilinde Microcode Studio Plus programıyla oluşturulmuştur. Yazılıma ait akış diyagramı Şekil 5.6 de verilmiştir.



Şekil 5.6 GTS ait yazılımın akış diyagramı

5.1.3 GTS'li Yapılar İle Sabit Panelli Yapıların Verim Açısından Karşılaştırılması

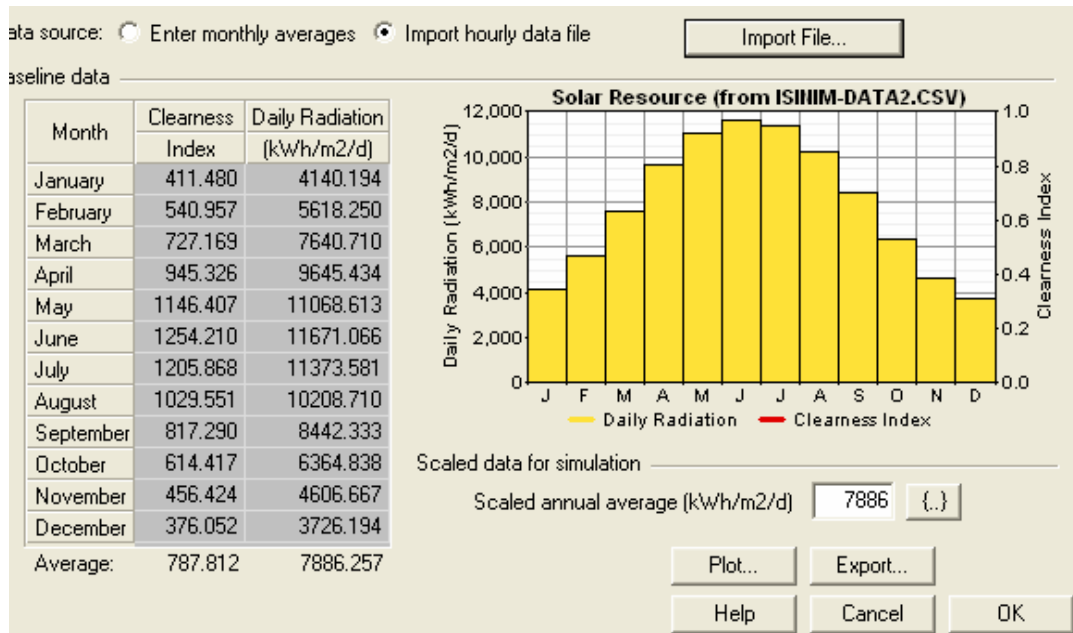
Fotovoltaik paneller alt bölüm 2.6'da gösterildiği gibi üzerine düşen ışınım ile doğru orantılı olarak enerji çıktısı verirler. GTS'li yapılarda paneller daima güneşe yönlendirdiği için gelen ışınım panelin normaline doğrultusundadır. Yer zemini ile sabit bir açı yaptırılarak konumlandırılan panellerde ise, panele gelen ışınım panelin normaline değişken bir açıyla gelir. Bu açıya güneş geliş açısı denir. Güneş geliş açısı ifadesi θ olmak üzere güneş ışınımının panele etkiyen miktarı I_{BC} Denklem 5.2 de verildiği gibidir.

$$I_{BC} = I_B \times \cos \theta \quad (5.2)$$

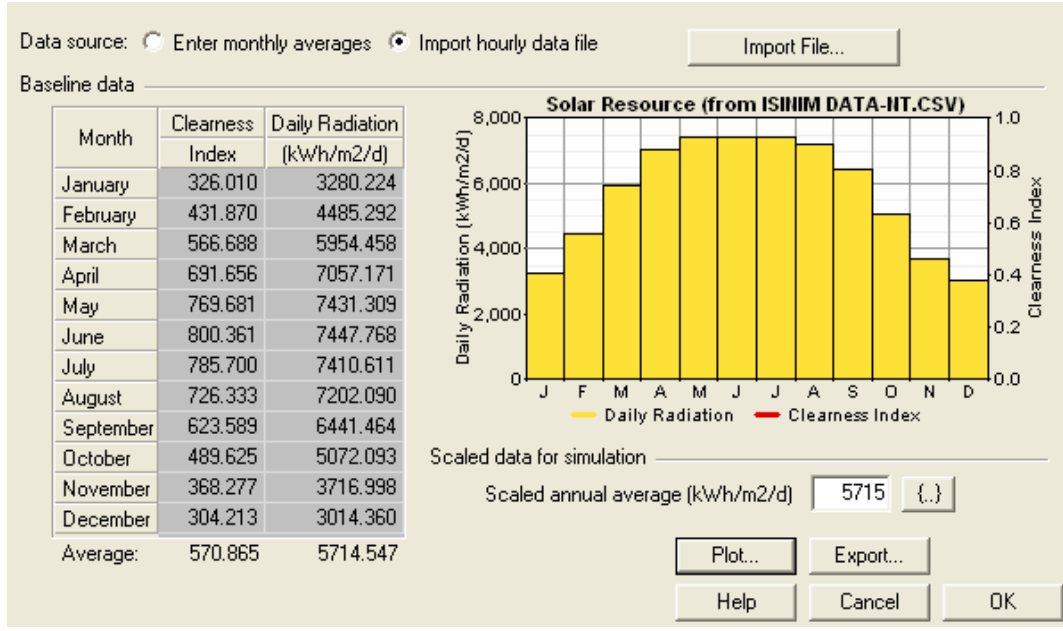
Eğik bir düzlem için h güneş saat açısı, δ deklinasyon açısı, e enlem açısı, s panel eğim açısı olmak üzere güneş geliş açısının kosinüsü ifadesi,

$$\cos \theta = \cos \delta \times \cos h \times \cos(e - s) - \sin \delta \times \sin(e - s) \quad (5.3)$$

şeklindedir (Kılıç ve Öztürk). Bu ifadelerden yola çıkarak İstanbul ilimizle aynı enlemde bulunan North Platte'ye ait Ek 2 ve Ek 3 de verilen saatlik güneş verilerini (Işınım, deklinasyon açısı, güneş saat açısı) kullanarak bir senelik sonuçlar HOMER programıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucu Şekil 5.7'de görüldüğü gibi iki eksenle GTS'li yapılarda yıllık ortalama metrekare başına günlük 7886 kWh lik ışınım alınabiliyor iken hareketsiz sabit panellerle 5715 kWh lik ışınım alınabildiği görülmüştür (Şekil 5.8) .

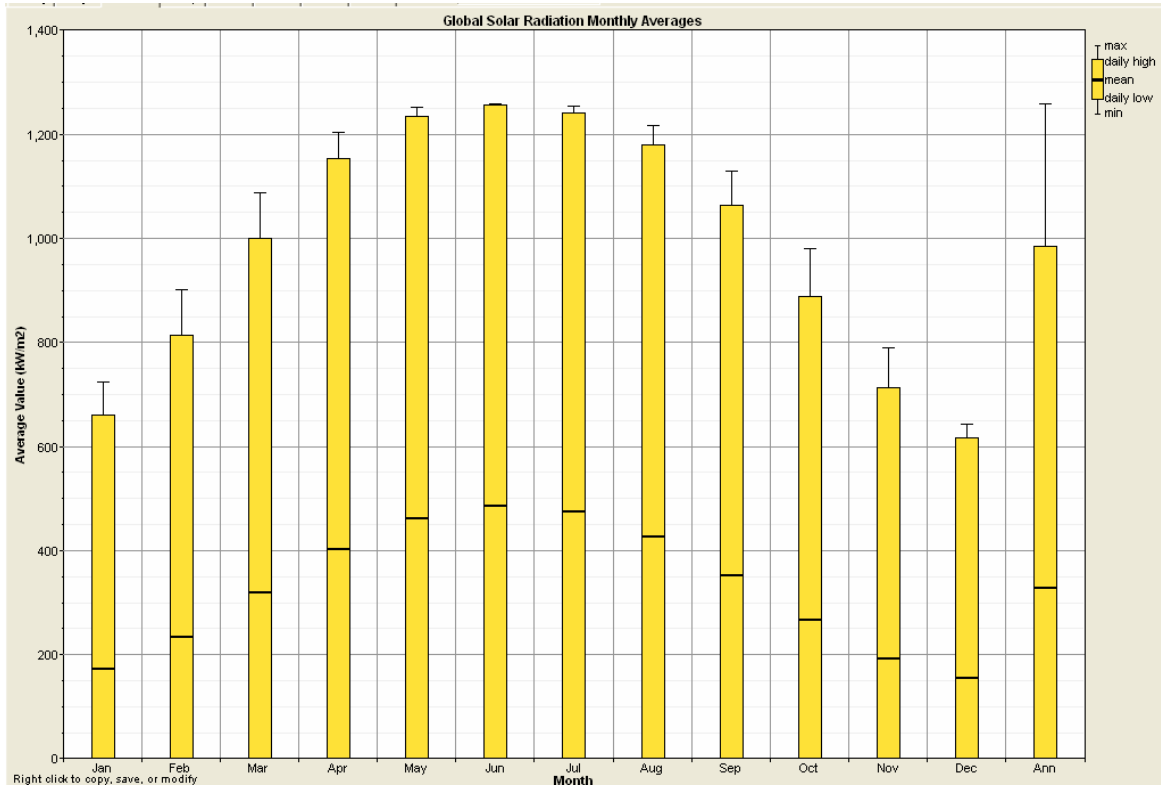


Şekil 5.7 İki eksenle GTS li paneller tarafından alınan enerji

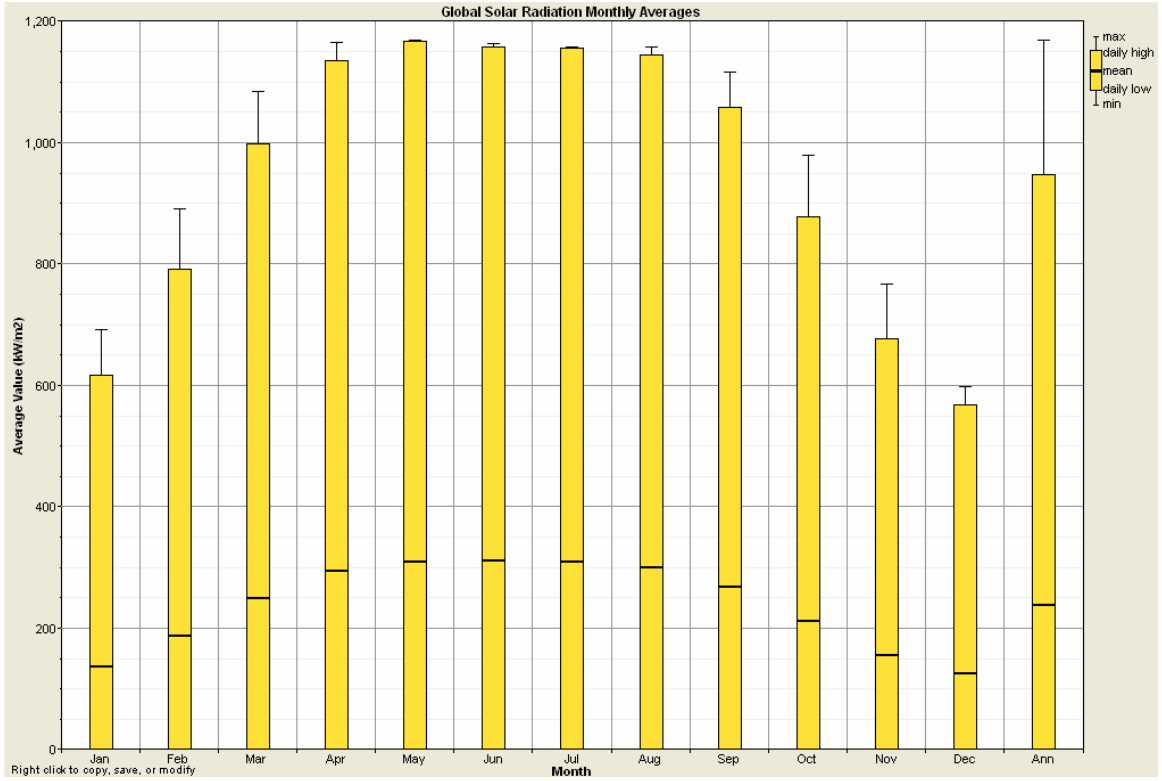


Şekil 5.8 Hareketsiz sabit paneller tarafından alınan enerji

HOMER Programında hesaplanan GTS'li paneller ile hareketsiz paneller tarafından alınabilen aylık ortalama, minimum ve maksimum ışınım değerleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 da verilmiştir.



Şekil 5.9 GTS'li paneller tarafından alınan m² başına aylık ortalama ışınım seviyeleri



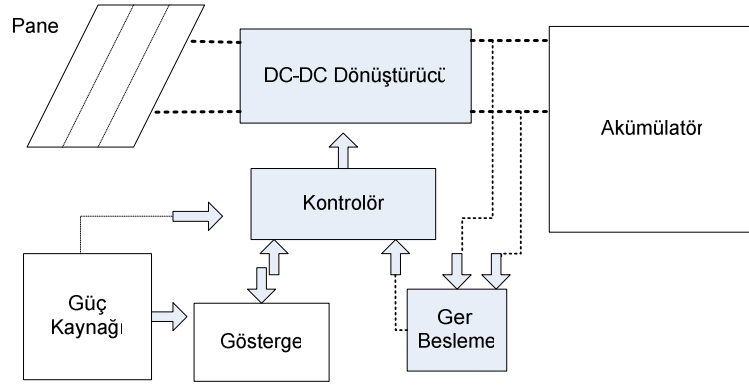
Şekil 5.10 Hareketsiz sabit paneller tarafından alınan m^2 başına aylık ortalama ışınım seviyeleri

5.2 Maksimum Güç Takip Sistemi

Maksimum güç takip sistemleri güneş panellerinden alınabilecek olan maksimum gücün, panelin yük veya batarya geriliminde çalışmaya zorlanması nedeniyle panelden alınamaması problemini ortadan kaldırmak üzere oluşturulmuş elektronik yapılardır. Yaptığımız uygulamada değişik ışınım şartlarında panelden alınabilecek maksimum gücün bir akümülatöre aktarılması için kapalı çevrim kontrollü, yükseltici anahtarlamalı dönüştürücüye sahip bir maksimum güç takip sistemi oluşturulmuştur.

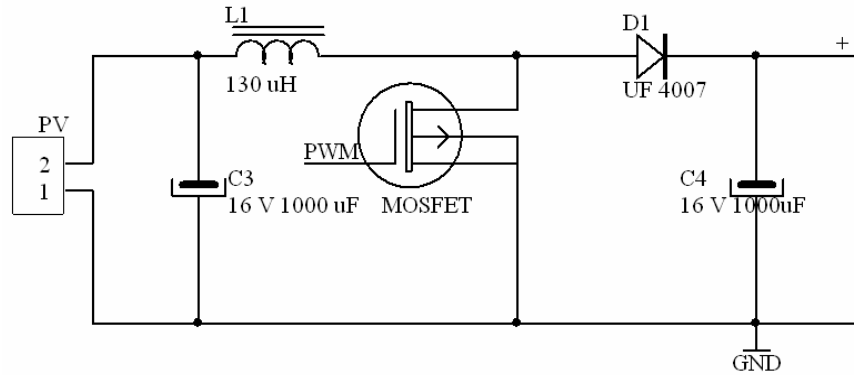
5.2.1 Maksimum Güç Takip Sisteminin Donanımı

Maksimum güç takip sistemine ait donanım yapısı temel olarak, güç kaynağı, geri besleme, gösterge, kontrolör, DC-DC dönüştürücü kısımlarından oluşmaktadır. Donanıma ait blok şeması Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11 Maksimum güç takip sistemi donanımına ait blok şeması

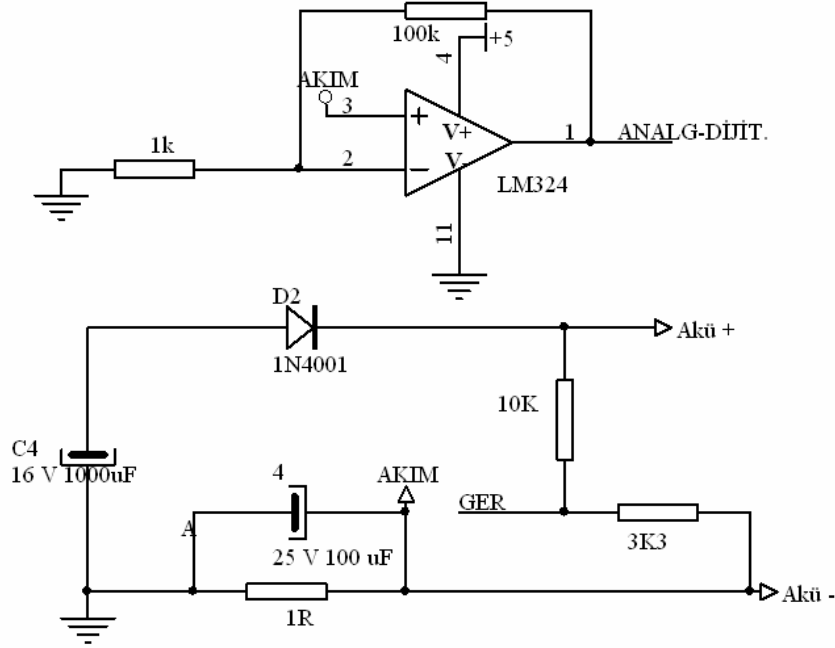
Donanıma ait blok şemasında MGTS nin temel elemanları gri tonla gösterilmiştir. GTS de kullanılan kontrolör, güç kaynağı ve gösterge bu sistemde de görev almaktadır. Ancak, güç kaynağı bloğuna DC-DC dönüştürücüde bulunan MOSFET elemanının kapı devresi için gerekli bağımsız bir DC kaynak eklenmiştir. Sistemde kullanılan akümülatör geriliminin 12 V olması ve panelin maksimum güç noktasının genelde bu gerilim değerinden düşük olması nedeniyle DC-DC dönüştürücü yükseltici tipe seçilmiştir. Yükseltici anahtarlamalı dönüştürücüye ait devre şeması Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12 Yükseltici anahtarlamalı dönüştürücüye ait devre şeması

Yükseltici anahtarlamalı DC-DC dönüştürücü giriş gerilimi 3V-15V aralığı, çıkış gerilimi akümülatörü tam olarak doldurabilmek üzere 15V olarak tasarlanmıştır. Bu da PV panelin maksimum güç noktasının 3V ve 15 V arasında aranabilmesini sağlamıştır. Anahtarlama elemanı olarak, yüksek frekansta çalışmaya uygunluğu ve kolay bir şekilde sürülebilmesi nedeniyle MOSFET seçilmiştir. MOSFET’i sürmek üzere güç kaynağı bloğundaki bağımsız

kaynaktan beslenen TLP250 adlı bir sürücü entegre kullanılarak PWM sinyallerinin genliği 15 Volt'a çıkarılmıştır. Geri besleme yapısı DC-DC dönüştürücünün çıkışındaki gerilim ve dönüştürücüden çekilen akım değerlerini okuyarak mikro denetleyicinin analog-dijital kanalından algılanabilecek seviyeye çıkarır. Şekil 5.13'de geri besleme yapısına ait devre şeması verilmiştir.



Şekil 5.13 Geri besleme yapısına ait devre şeması

Şekilde görüldüğü gibi gerilim ölçmek üzere oluşturulmuş olan gerilim bölücü kısım akümülatör gerilimini baz almaktadır. Bu şekilde güç izlemenin yanında akümülatörün gerilimi izlenerek akünün aşırı şarj edilmesi engellenmiştir.

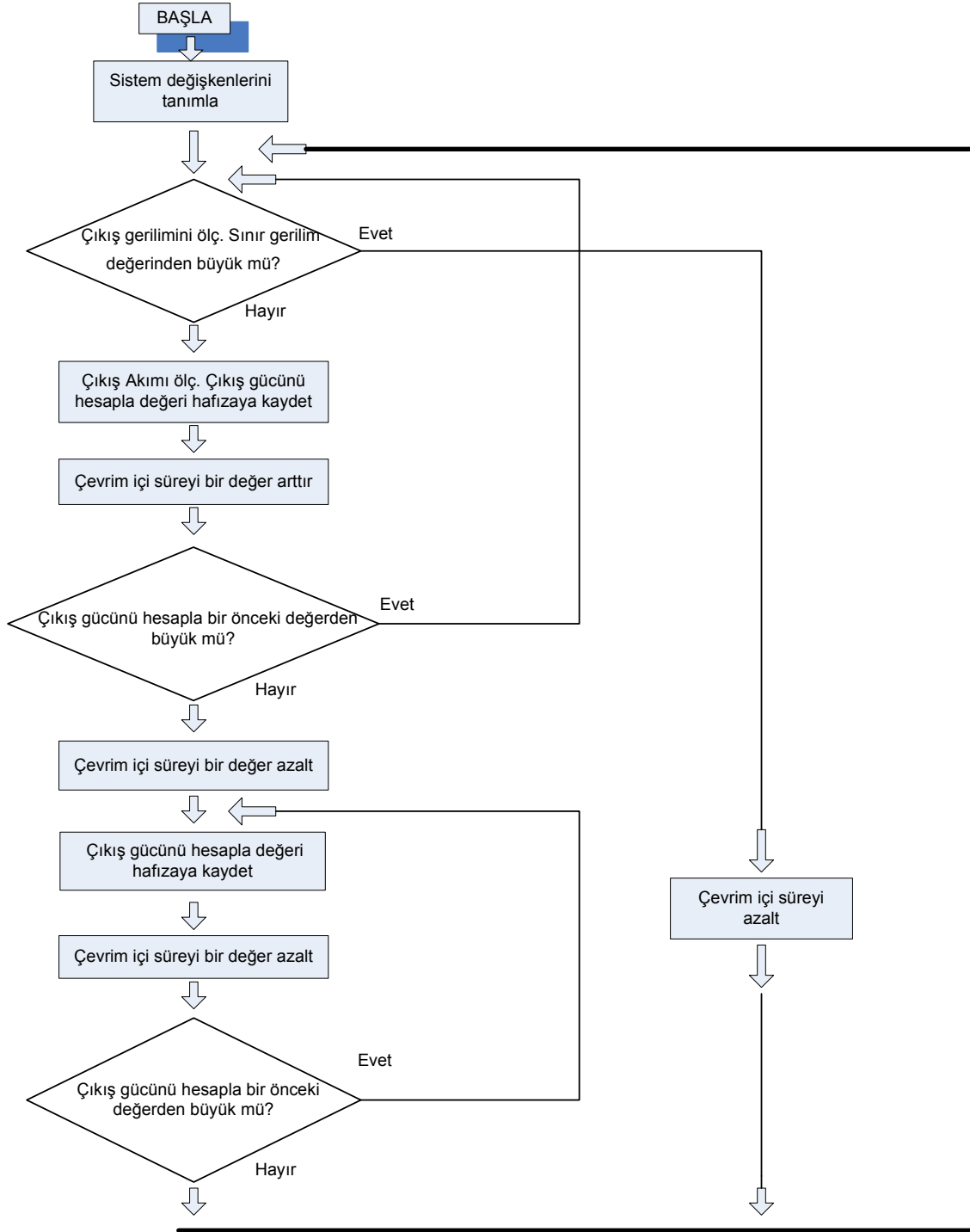
GTS'de görev alan ve çevre üniteleri kontrol eden mikro denetleyici, yüklenen yazılım doğrultusunda MGTS'inde aşağıda sıralanan kontrolleri yapmaktadır.

- Darbe genişlik modülasyonu kanalıyla anahtarlama elemanına PWM sinyalleri göndererek çıkış gerilimini ayarlamakta,
- Geri besleme sisteminden alınan analog işaretleri ADC (Analog Digital Converter) kanallarıyla dijital sinyallere çevirmekte ve işlemekte,
- Akümülatör şarj akımı, gerilimi ve akümülatöre aktarılan güç ve çevrim içi süreyi gösterge arabirimi ile yansıtmakta,

- Akümülatörün gerilimini izleyerek akümülatörün aşırı şarja maruz kalmasını engellemekte,
- Dönüştürücünün boшта çalışması durumunda oluşabilecek aşırı gerilim endüklenmesini engelleyerek sistemi korumaktadır.

5.2.2 MGTS Yazılımı

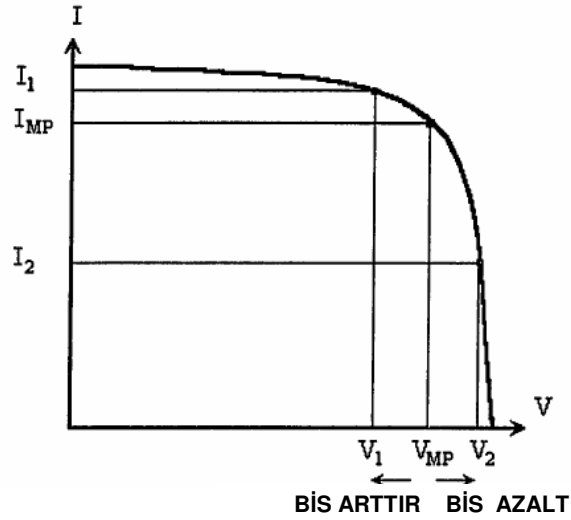
Sisteme ait yazılım sayesinde mikro demetleyici bir önceki bölümde sıralanan kontrollerin yanında Maksimum gücün akümülatöre aktarılması için “kaygılandır ve gözetle” ya da diğer bir ismiyle “tepe tırmanma” algoritmasıyla maksimum güç takibi yapmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yazılım yine PIC BASIC PRO dilinde Microcode Studio Plus programıyla oluşturulmuştur. Yazılıma ait akış diyagramı Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.14 MGTS ait yazılımın akış diyagramı

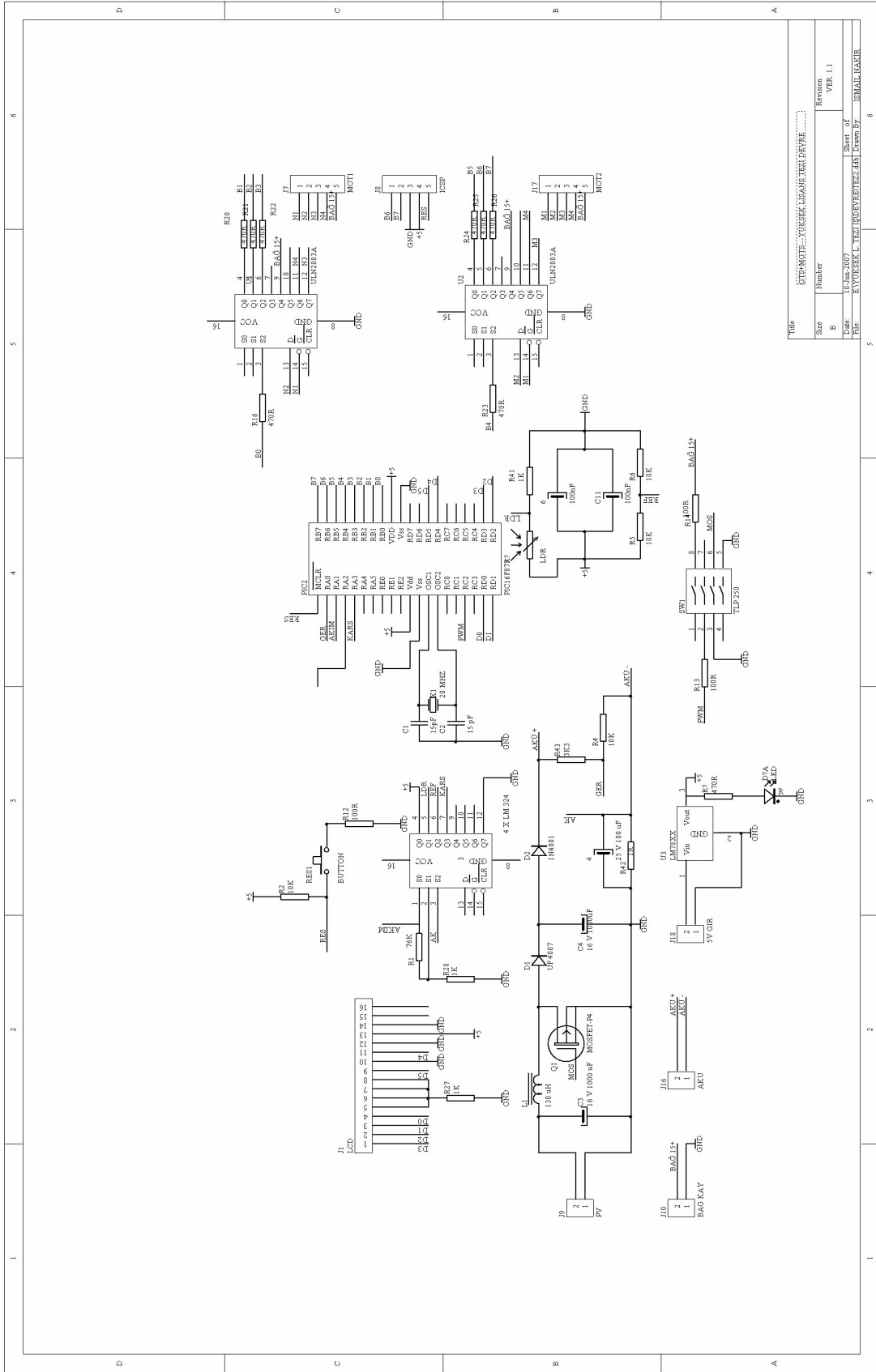
Akış diyagramından da anlaşılacağı gibi sisteme ait algoritma oldukça basit bir çalışma prensibine sahiptir. Çıkış gerilimi sınır gerilimini geçmediği müddetçe gerilimdeki değişim

yönü, maksimum gücün aktarıldığı yöne doğru değiştirilmek suretiyle maksimum güç takibi yapılır. Bu takip yapılırken maksimum gücün elde edildiği güç noktası etrafında bir salınım hareketi yapılır. Bu salınım hareketi aktarılan güç miktarını düşürse de bu algoritmanın işleyebilmesi için bu taramanın yapılması gerekmektedir. Fotovoltaik panellerin sabit ışımım ve sıcaklık altındaki akım-gerilim karakteristiği üzerinde bu algoritmanın çalışması esnasında çevrim içi sürenin değişimi Şekil 5.15'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.15 Akım-Gerilim karakteristiği üzerinde çevrim içi sürenin değişimi

Bağıl iletim süresi (BİS) azaltılarak panelden çekilen akım değeri yavaş yavaş artırılıp maksimum güç noktasına ulaşılır ve BİS değişim yönü değişmediğinden bu güç noktası da geçilir. Ne zaman ki bir sonraki çevrim sonucu güç değeri maksimum güçten az olur, BİS'in değişim yönü değişir ve bu defa da aynı işlem gerilimi arttıracak yönde yani BİS'i arttıracak yönde işler. Böylece maksimum güç takibi yapılmış olur.



Şekil 5.16 GTS-MGTS tımleşik devre şeması

Title		GTS-MGTS...YIKSSEK LİSANS TEZİ (DİJİTAL...)	
Star	Number	Revision	VER 1.1
Yaz	U.Öm.2007	Sheet of	5
File	KYDUSEKEL_TESI_SUREKTEZ_04b	Drawn by	SMALMAKAR

6. SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar ortaya konulmuştur:

- LDR'li bir fotometre tasarlanarak mikro denetleyicili bir güneş takip sistemi gerçekleştirilmiştir.
- Yükseltici anahtarlamalı dönüştürücü tasarlanarak ve mikro denetleyici yazılımında bir "Tepeye tırmanma algoritması" kullanarak maksimum güç takip sistemi gerçekleştirilmiştir.
- Güç takip sistemi ile maksimum güç takip sistemini bir tek devre üzerinde gerçekleştirilerek sistem maliyeti düşürülmüştür.
- Çift eksenli güneş takibi yapan panellerle sabit açılı, güneş takibi yapmayan panellerin gerçek ışınım verilerinin benzetim modelleri üzerinde hesaplanmasıyla verim karşılaştırılması yapılmış ve güneş takibi yapan panellerin hareketsiz panellere göre % 37 daha fazla ışınım aldıkları ortaya konulmuştur.
- Yapılan sistemle maksimum güç takibinin "Tepeye tırmanma algoritması" ile yapılması durumunda sistemin güneş ışınımının değişimine adaptasyonu yavaş olduğu görülmüştür.
- Uygulanan sistem yük, enerji depolama yapısı, panel boyutu, güneş takip sistemi maksimum güç takip sistemini tümünden ele alan bir optimizasyon çalışması ile daha verimli bir sistem ortaya konabilir.

KAYNAKLAR

- Araujo, R.G., Krouter S., Onnekin K. ve Quaschnig V. (2001), "Photovoltaic Energy Systems", TU, Berlin
- Batchheller, P., (1993), "Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic system, Ms thesis" B.S., Devry institute of technology
- Batman, M. A., (1991) Enerji Sistemlerinde Güneş Pillerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul
- Batman, M. A., (2001) "Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi arttırıcı yeni bir yöntem, Doktora Tezi", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul
- Benner, J. P. and Kazmerski, L., (1999), "Photo voltaics Gaining greater visibility" IEEE Spectrum, 36, 9, 34-42.
- Bodur, H., (2005) "Güç Elektroniğinin Endüstriyel Uygulamaları 1, Ders Notu", Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Boes, E.G. (1981), "Fundamentals of Solar Radiation, in Solar Energy Handbook", Chapter 2. New York: McGraw-Hill.
- Bucciarelli, L.L., Grossman B. L., Lyon E. F. ve Rasmussen N. E., (1980),"The Energy Balance Associated With the Use of a Maximum Power Tracer in a 100-kW-Peak Power System", Proceedings of the 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p. 523-527
- Dagher, R.E.,(1989),"Optimization Techniques for a Photovoltaic Powered Positive Displacement Water Pump", Master Thesis, University of Lowell, MA, Chemical and Nuclear Department
- Eajan, A., (1990), "A Maximum Power Point Trucker Optimized for Solar Powered Cars",p 1408
- DIN 5034, (1993), Teil 2, Tageslkt in Innenraumen-Gmndlagen, Berlin 1993.
- Egido, M.A. ve Lorenzo, E., (1992), "The sizing of stand-alone PV systems: a review and proposed new method", Solar Energy Materials and Solar Cells, 26, 51
- Enarun, D., (1987) "Bina Tasarım Aşamasında Hacim İçindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek İçin Bir Model, Doktora Tezi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Erturk, N., (1997), "Simulation und experimentelle Untersuchugen von Stationaren und nachgeführten Photovoltaiksystemen, PhD Thesis", Berlin Technical University, ISBN:3-89574-268-6.
- Fahrenbruch, A.L. ve Bube, R.T., (1983), "Fundamentals of Solar Cells", Academic Press
- Gilbert M. M., (2004), "Renewable and Efficient Electric Power Systems" John Wiley & Sons, Inc.
- He, W., Markwart, T. ve Arnold, R., (1998) "Islanding of grid-connected PV generators: experimantal results", Proc. of 2nd World Conference and Exhibition on PV Solar Energy Conversion, pp. 2772-5, Vienna, Australia
- Kılıç, A., (1982) "Direkt Güneş Işınımı Tayini İçin Yeni Bir Metod Doktora Tezi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Matbaası.

- Kılıç, A. ve Öztürk A.,(1984) “Güneş ışınımı ve düz toplayıcılar” SEGEM, Ankara
- Kit Sum, K., (1984), "Switch Mode Power Conversion", p. 1-17.
- Markvart, T., (1994) “Solar electricity”, John Wiley & Sons Inc.. New York. ISBN: 0-471-94161-1.
- Matsushima, T., Setaka, T. ve Muroyama S., (2003), “Concentrating solar module with horizontal reflectors”, Solar Energy Materials& Solar Cells, Volume 75, Issues 3-4,
- Messenger, R. and Ventre, J., (2000), “Photovoltaic systems engineering”, CRC Pi-ess, New York. ISBN: 0-8493-2017-8.
- Mohan, N; Çev. Nejat, T., Gökaşan M., Boğosyan S.,(2003) “Güç elektroniği, çeviriciler, uygulamalar ve tasarım”,İstanbul
- Nizam, O.,(2004), “Güneş enerjisi sistemlerinde maksimum güç transferi, Y.L. tezi” , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul
- Rajan, A.,(1990), “A Maximum Power Point Tracker Optimized for Solar Powered Cars”, p.1408
- Rashid, M. H., (1988), “Power Electronics” p. 196-199, Prentice-Hall, Inc.
- Requier, JP., Barlaud, M. ve Rouan, P. (1981), "Optimization of Photovoltaic solar Pump by Means of Static Converters Driven by Microprocessor”, 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p. 1395-1398
- Ross, R.G., (1985), “Photovoltaic module and design, in torial notes, 18th/ IEEE Photovoltaic Specialist Conf., Las Vegas.
- Salameh, Z.M., Mulpur A. ve Fouad D., (1988), "Two-Stage Electrical Array Reconfiguration Controller for PV-Powered Water Pump", IEEE PV Specialists Conference, p. 399-404,19BS.
- Salameh, Z.M., ve Taylor D., (1990), "Step-Up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", Solar Energy Vol. 44, No. 1, p. 57-61,
- Salameh, Z.M., Dagher F. ve Lynch W.A., (1991), “Step-Down Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Systems” Solar Energy Vol. 46, No. 5, p. 279-282.
- Salas, V., Olias, E., Barrado, A., Lazzaro, A., (2005), “ Review of the maximum power point tracker algorithms for stand-alone photovoltaic systems” Solar Energy Materials& Solar Cells, Volume 90, Issue 11, Pages 1555-1578
- Spring, K. H., (1965) “Direct generation of electricity” Academic Press
- Sutton, G.W., (1966) “Direct Energy Conversion”, Mcgraw-Hill
- Thekaekara, M. P., (1977) Solar Radiation Measurements, Techniques and Instrumentation, Solar Energy Engineering, 37-59, Academic Press
- Volker, Q. (2005), “Understanding Renewable Energy Systems”, Earthscan, Kanada..

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.eie.gov.tr

[2] <http://rredc.nrel.gov>

[3] <http://www.susdesign.com>

[4] <http://www.cimel.fr>

[5] <http://www.yesinc.com>

EKLER

- Ek 1 Güneş takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı
- Ek 2 Maksimum güç takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı
- Ek 3 Beş günlük güneş pozisyon verileri
- Ek 4 North Platte'ye ait beş günlük ışınım verileri
- Ek 5 Sabit eğimli güneş panellerine etkiyen ışınımın hesaplanması için matlab kodları

Ek 1 Güneş takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı

```

*****
* Name   :GTS-103.BAS                               *
* Author : İSMAİL NAKİR                             *
* Notice : Copyright (c) 2007                       *
*         : All Rights Reserved                     *
* Date   : 27.05.2007                               *
* Version: 103.1                                    *
*****
DEFINE LCD_DREG PORTD
DEFINE LCD_DBIT 0
DEFINE LCD_RSREG PORTD
DEFINE LCD_RSBIT 4
DEFINE LCD_EREG PORTD
DEFINE LCD_EBIT 5
DEFINE LCD_BITS 4
DEFINE LCD_LINES 2
TRISA=%00000001
TRISB=%00000000
TRISC=%11111111
TRISD=%00000000
INTCON=%00100000
ADCON0=%01000001 ;Konum/8, A/D enabled
OPTION_REG=%10000111 ;TMR0 prescaler, 1:256 Bölme palsı
ADCON1=%00001110 ;Left seçme,1 analog channel
SONAD VAR BYTE
KON VAR BYTE
O VAR BYTE
A VAR byte
SON0 VAR BYTE
MXX VAR BYTE
MX VAR BYTE
MXK VAR BYTE
SADOR VAR BYTE
SYMBOL GOS=$8
PORTB=0
PORTD=0
GOTO BASLA
SADO:
  PAUSE 10
  PORTB=%00000011
  PAUSE 3
  PORTB=%00000001
  PAUSE 3
  PORTB=%00001001
  PAUSE 3
  PORTB=%00001000
  PAUSE 3
  PORTB=%00001100
  PAUSE 3
  PORTB=%00000100
  PAUSE 3
  PORTB=%00000110
  PAUSE 3
  PORTB=%00000010
  PAUSE 3
  MXK=MXK-1
  SADOR=SADOR+1
  RETURN
SODO:
  PAUSE 10
  PORTB=%00000010
  PAUSE 3
  PORTB=%00000110
  PAUSE 3
  PORTB=%00000100
  PAUSE 3
  PORTB=%00001100
  PAUSE 3
  PORTB=%00001000
  PAUSE 3
  PORTB=%00001001
  PAUSE 3
  PORTB=%00000001
  PAUSE 3

```

```

PORTB=%0000011
PAUSE 3
MXK=MXK+1
SADOR=SADOR-1
RETURN
SAG:
IF SONAD=%00000010 THEN
PORTB=%00000011
SONAD=%00000011
PAUSE 3
endIF
IF SONAD=%00000011 THEN
PORTB=%00000001
SONAD=%00000001
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000001 THEN
PORTB=%00001001
SONAD=%00001001
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001001 THEN
PORTB=%00001000
SONAD=%00001000
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001000 THEN
PORTB=%00001100
SONAD=%00001100
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001100 THEN
PORTB=%00000100
SONAD=%00000100
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000100 THEN
PORTB=%00000110
SONAD=%00000110
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000110 THEN
PORTB=%00000010
SONAD=%00000010
PAUSE 3
ENDIF
PORTB=0
A=A+1
KON=KON+1
ASM
YENILE:
BTFSS INTCON, T0IF ;Bekleme Timer0 to çıkışı
GOTO YENILE
BCF INTCON, T0IF
BSF ADCON0,GO ;basla A/D cevirmeye
WAIT:
BTFSSPIR1, ADIF ;islem bitene kadar bekle
GOTOWAIT
MOVF ADRESH, W ;
MOVWF _SON0
ENDASM
PAUSE 200
IF SON0>100 THEN
MX=SON0
ENDIF
IF MX>MXX THEN
MXX=MX
MXK=KON
ENDIF
PAUSE 100
LCDOUT $FE,2,"SEV:",#MXX
RETURN
SOL:
PAUSE 10
IF SONAD=%00000011 THEN
PORTB=%00000010
SONAD=%00000010

```

```

PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000010 THEN
PORTB=%00000110
SONAD=%00000110
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000110 THEN
PORTB=%00000100
SONAD=%00000100
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000100 THEN
PORTB=%00001100
SONAD=%00001100
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001100 THEN
PORTB=%00001000
SONAD=%00001000
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001000 THEN
PORTB=%00001001
SONAD=%00001001
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00001001 THEN
PORTB=%00000001
SONAD=%00000001
PAUSE 3
ENDIF
IF SONAD=%00000001 THEN
PORTB=%00000011
SONAD=%00000011
ENDIF
PORTB=0
O=o+1
KON=KON-1
ASM
YENILE2:
BTFS INTCON, T0IF ;Bekleme Timer0 to çıkışı
GOTO YENILE2
BCF INTCON, T0IF
BSF ADCON0,GO ;basla A/D cevirmeye
WAIT2:
BTFS PIR1, ADIF ;islem bitene kadar bekle
GOTO WAIT2
MOVF ADRESH, W ;
MOVWF _SON0
ENDASM
PAUSE 200
IF SON0>100 THEN
MX=SON0
ENDIF
IF MX>MXX THEN
MXX=MX
MXK=KON
ENDIF
pause 100
LCDOUT $FE,2,"SEV:",#MXX
RETURN
BASLA:
PAUSE 300
lcdout $fe, 1
A=0
O=0
mx=0
mxx=0
SADOR=0
KON=%01100100
PAUSE 100
PORTB=%00000011
PAUSE 3
PORTB=%00000001
PAUSE 3
PORTB=%00001001

```

```
PAUSE 3
PORTB=%00001000
PAUSE 3
PORTB=%00001100
PAUSE 3
PORTB=%00000100
PAUSE 3
PORTB=%00000110
PAUSE 3
PORTB=%00000010
PAUSE 15
PORTB=%00000010
PAUSE 3
PORTB=%00000110
PAUSE 3
PORTB=%00000100
PAUSE 3
PORTB=%00001100
PAUSE 3
PORTB=%00001000
PAUSE 3
PORTB=%00001001
PAUSE 3
PORTB=%00000001
PAUSE 3
PORTB=%00000011
SONAD=%00000011
PORTB=0
PAUSE 3
SAGCI:
CALL SAG
IF A>=120 THEN
GOTO SOLCU
ELSE
GOTO SAGCI
ENDIF
SOLCU:
CALL SOL
IF o>=120 THEN
GOTO GIT
ELSE
GOTO SOLCU
ENDIF
GIT:
WHILE MXK>100
CALL SADO
WEND
IF MXK=100 THEN
ENDIF
BASADON:
PAUSE 10000
WHILE SADOR>0
CALL SODO
WEND
IF SADOR=0 THEN
PAUSE 5000
GOTO BASLA
ENDIF
END
```

Ek 2 Maksimum güç takip sistemi için PIC BASIC PRO yazılımı

```

*****
* Name :MGTS-172.BAS *
* Author : İSMAİL NAKİR *
* Notice : Copyright (c) 2007 *
* : All Rights Reserved *
* Date : 27.05.2007 *
* Version : 172.1 *
* Notes : *
* : *
*****
DEFINE LCD_DREG PORTD
DEFINE LCD_DBIT 0
DEFINE LCD_RSREG PORTD
DEFINE LCD_RSBIT 4
DEFINE LCD_EREG PORTD
DEFINE LCD_EBIT 5
DEFINE LCD_BITS 4
DEFINE LCD_LINES 2
DEFINE OSC 20
TRISA=%00001111
TRISB=%00000000
TRISC=%11111011
TRISD=%00000000
INTCON=%00100000
ADCON0=%01000001 ;Konum/8, A/D enabled
OPTION_REG=%10000111 ;TMR0 prescaler, 1:256 Bölme palsı
ADCON1=%00000100 ;Left seçme,3 analog channel
CCP1CON=%000001100
PR2=150; PWM PERİYODU
T2CON=%00000100 ;PWM İÇİN TMR2 Yİ ÇALIŞTIR
G VAR BYTE
A VAR BYTE
G1 VAR BYTE
A1 VAR BYTE
G2 VAR BYTE
A2 VAR BYTE
G3 VAR BYTE
A3 VAR BYTE
G4 VAR BYTE
A4 VAR BYTE
G5 VAR BYTE
A5 VAR BYTE
G6 VAR BYTE
A6 VAR BYTE
G7 VAR BYTE
A7 VAR BYTE
G8 VAR BYTE
A8 VAR BYTE
G9 VAR BYTE
A9 VAR BYTE
G10 VAR BYTE
A10 VAR BYTE
G11 VAR BYTE
A11 VAR BYTE
G12 VAR BYTE
A12 VAR BYTE
G13 VAR BYTE
A13 VAR BYTE
G14 VAR BYTE
A14 VAR BYTE
G15 VAR BYTE
A15 VAR BYTE
G16 VAR BYTE
A16 VAR BYTE
G17 VAR BYTE
A17 VAR BYTE
G18 VAR BYTE
A18 VAR BYTE
G19 VAR BYTE
A19 VAR BYTE
G20 VAR BYTE

```

```

A20 VAR BYTE
G21 VAR BYTE
A21 VAR BYTE
G22 VAR BYTE
A22 VAR BYTE
G23 VAR BYTE
A23 VAR BYTE
G24 VAR BYTE
A24 VAR BYTE
G25 VAR BYTE
A25 VAR BYTE
G26 VAR BYTE
A26 VAR BYTE
G27 VAR BYTE
A27 VAR BYTE
G28 VAR BYTE
A28 VAR BYTE
G29 VAR BYTE
A29 VAR BYTE
G30 VAR BYTE
A30 VAR BYTE
G31 VAR BYTE
A31 VAR BYTE
G32 VAR BYTE
A32 VAR BYTE
G33 VAR BYTE
A33 VAR BYTE
G34 VAR BYTE
A34 VAR BYTE
G35 VAR BYTE
A35 VAR BYTE
G36 VAR BYTE
A36 VAR BYTE
G37 VAR BYTE
A37 VAR BYTE
G38 VAR BYTE
A38 VAR BYTE
G39 VAR BYTE
A39 VAR BYTE
G40 VAR BYTE
A40 VAR BYTE
A41 VAR BYTE
TRYC VAR BYTE
MGKON VAR BYTE
GER VAR WORD
GER1 VAR WORD
GER2 VAR WORD
GUC VAR WORD
GUCILK VAR WORD
MG VAR WORD
MGUC VAR WORD
AKIM VAR WORD
AKIM1 VAR WORD
AKIM2 VAR WORD
CIS VAR BYTE
SYMBOL GOS=$8
TRYC=11
CIS=49
PORTB=0
PORTD=0
MGUC=0
GOTO BASLA
GERAKOK:
    ADCON0=%01000001
    pauseus 200
    ASM
BSF ADCON0,GO ;basla A/D cevirmeye
WAIT
BTFS PIR1, ADIF ;islem bitene kadar bekle
GOTO WAIT
MOVF ADRESH, W
MOVWF _G
BCF PIR1, ADIF
    ENDASM
    ADCON0=%01001001
    pauseus 200
    ASM

```

```

BSF ADCON0,GO ;basla A/D cevirmeye
WAITA
BTFSS PIR1, ADIF ;islem bitene kadar bekle
GOTO WAITA
MOVF ADRESH, W ;
MOVWF _A
  BCF PIR1, ADIF
  ENDASM
  RETURN
AZALT:
  IF CIS>3 THEN
  CIS=CIS-1
  ENDIF
  ASM
  MOVF _CIS, W
  MOVWF CCP1L
  ENDASM
  RETURN
ARTIR:
  IF CIS<40 THEN
  CIS=CIS+1
  ENDIF
  ASM
  MOVF _CIS, W
  MOVWF CCP1L
  ENDASM
  RETURN
OLC:
  CALL GERAKOK
  A1= A
  G1= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A2= A
  G2= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A3= A
  G3= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A4= A
  G4= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A5= A
  G5= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A6= A
  G6= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A7= A
  G7= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A8= A
  G8= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A9= A
  G9= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A10= A
  G10= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A11= A
  G11= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK
  A12= A
  G12= G
  PAUSE 10
  CALL GERAKOK

```

A13= A
G13= G
PAUSE 60
CALL GERAKOK
A14= A
G14= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A15= A
G15= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A16= A
G16= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A17= A
G17= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A18= A
G18= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A19= A
G19= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A20= A
G20= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A21= A
G21= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A22= A
G22= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A23= A
G23= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A24= A
G24= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A25= A
G25= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A26= A
G26= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A27= A
G27= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A28= A
G28= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A29= A
G29= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A30= A
G30= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A31= A
G31= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A32= A

```

G32= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A33= A
G33= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A34= A
G34= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A35= A
G35= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A36= A
G36= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A37= A
G37= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A38= A
G38= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
A39= A
G39= G
PAUSE 10
CALL GERAKOK
G40= G
AKIM1=(A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8+A9+A10+A11+A12+A13+A14+A15+A16+A17+A18+A19+A20)/7
GER1=(G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7+G8+G9+G10+G11+G12+G13+G14+G15+G16+G17+G18+G19+G20)/5
AKIM2=(A21+A22+A23+A24+A25+A26+A27+A28+A29+A30+A31+A32+A33+A34+A35+A36+A37+A38+A39)/7
GER2=(G21+G22+G23+G24+G25+G26+G27+G28+G29+G30+G31+G32+G33+G34+G35+G36+G37+G38+G39+G40)/5
AKIM=(AKIM1+AKIM2)/2
GER=(GER1+GER2)/20
GUC= AKIM*GER
IF GUC>1000 THEN
MG=GUC
ENDIF
IF MG>MGUC THEN
MGUC=MG
MGKON=CIS
ENDIF
return
GOSTER:
LCDOUT $FE,1
LCDOUT $FE,2,"GER:",#GER,"GUC:",#GUC
LCDOUT $FE,$C0,"AKIM:",#AKIM,"CIS:",#CIS
RETURN
BASLA:
TRYC=0
CALL OLC
call GOSTER
IF GUC=0 THEN
GOTO AZALTICI
ENDIF
ARTIRICI:
CALL OLC
GUCILK=GUC
CALL ARTIR
PAUSE 100
CALL OLC
CALL GOSTER
PAUSE 1000
IF GUC>GUCILK THEN
GOTO ARTIRICI
ELSE
CALL AZALT
ENDIF
AZALTICI:
CALL OLC
GUCILK=GUC
CALL AZALT
PAUSE 100

```

```
CALL OLC  
CALL GOSTER  
PAUSE 1000  
IF GUC>GUCILK THEN  
GOTO AZALTICI  
ENDIF  
GOTO BASLA  
END
```

Ek 3 Beş günlük güneş pozisyon verileri

Latitude is 41.1 degrees north
Output angle units are
degrees

date	time	azimuth	declination	eot	hour angle	day length
January 1	00:00	180.00	-23.07	-3.06	180.00	545.49
January 1	01:00	140.51	-23.07	-3.08	165.00	545.51
January 1	02:00	116.42	-23.07	-3.10	150.00	545.54
January 1	03:00	101.51	-23.06	-3.12	135.00	545.57
January 1	04:00	90.52	-23.06	-3.14	120.00	545.60
January 1	05:00	81.14	-23.06	-3.16	105.00	545.63
January 1	06:00	72.22	-23.05	-3.18	90.00	545.65
January 1	07:00	63.06	-23.05	-3.20	75.00	545.68
January 1	08:00	53.14	-23.05	-3.22	60.00	545.71
January 1	09:00	42.00	-23.04	-3.24	45.00	545.74
January 1	10:00	29.33	-23.04	-3.26	30.00	545.77
January 1	11:00	15.16	-23.04	-3.28	15.00	545.80
January 1	12:00	0.00	-23.03	-3.30	0.00	545.83
January 1	13:00	-15.16	-23.03	-3.32	-15.00	545.86
January 1	14:00	-29.34	-23.03	-3.34	-30.00	545.89
January 1	15:00	-42.01	-23.02	-3.36	-45.00	545.92
January 1	16:00	-53.16	-23.02	-3.38	-60.00	545.95
January 1	17:00	-63.09	-23.02	-3.40	-75.00	545.98
January 1	18:00	-72.25	-23.01	-3.42	-90.00	546.01
January 1	19:00	-81.18	-23.01	-3.44	-105.00	546.04
January 1	20:00	-90.58	-23.01	-3.46	-120.00	546.07
January 1	21:00	-101.58	-23.00	-3.48	-135.00	546.10
January 1	22:00	-116.51	-23.00	-3.50	-150.00	546.13
January 1	23:00	-140.61	-23.00	-3.52	-165.00	546.16
January 2	00:00	180.00	-22.99	-3.53	180.00	546.19
January 2	01:00	140.62	-22.99	-3.55	165.00	546.22
January 2	02:00	116.53	-22.99	-3.57	150.00	546.25
January 2	03:00	101.61	-22.98	-3.59	135.00	546.28
January 2	04:00	90.60	-22.98	-3.61	120.00	546.31
January 2	05:00	81.21	-22.98	-3.63	105.00	546.34
January 2	06:00	72.28	-22.97	-3.65	90.00	546.38
January 2	07:00	63.12	-22.97	-3.67	75.00	546.41
January 2	08:00	53.19	-22.96	-3.69	60.00	546.44
January 2	09:00	42.04	-22.96	-3.71	45.00	546.47
January 2	10:00	29.37	-22.96	-3.73	30.00	546.50
January 2	11:00	15.18	-22.95	-3.75	15.00	546.53
January 2	12:00	0.00	-22.95	-3.77	0.00	546.57
January 2	13:00	-15.18	-22.95	-3.79	-15.00	546.60
January 2	14:00	-29.37	-22.94	-3.81	-30.00	546.63
January 2	15:00	-42.06	-22.94	-3.83	-45.00	546.66
January 2	16:00	-53.21	-22.94	-3.85	-60.00	546.70

date	time	azimuth	declination	eot	hour angle	day length
January 2	17:00	-63.15	-22.93	-3.87	-75.00	546.73
January 2	18:00	-72.32	-22.93	-3.89	-90.00	546.76
January 2	19:00	-81.26	-22.92	-3.91	-105.00	546.79
January 2	20:00	-90.66	-22.92	-3.93	-120.00	546.83
January 2	21:00	-101.69	-22.92	-3.95	-135.00	546.86
January 2	22:00	-116.64	-22.91	-3.96	-150.00	546.89
January 2	23:00	-140.73	-22.91	-3.98	-165.00	546.93
January 3	00:00	180.00	-22.91	-4.00	180.00	546.96
January 3	01:00	140.74	-22.90	-4.02	165.00	546.99
January 3	02:00	116.66	-22.90	-4.04	150.00	547.03
January 3	03:00	101.71	-22.89	-4.06	135.00	547.06
January 3	04:00	90.70	-22.89	-4.08	120.00	547.09
January 3	05:00	81.29	-22.89	-4.10	105.00	547.13
January 3	06:00	72.36	-22.88	-4.12	90.00	547.16
January 3	07:00	63.19	-22.88	-4.14	75.00	547.20
January 3	08:00	53.25	-22.88	-4.16	60.00	547.23
January 3	09:00	42.09	-22.87	-4.18	45.00	547.27
January 3	10:00	29.41	-22.87	-4.20	30.00	547.30
January 3	11:00	15.20	-22.86	-4.22	15.00	547.33
January 3	12:00	0.00	-22.86	-4.24	0.00	547.37
January 3	13:00	-15.20	-22.86	-4.25	-15.00	547.40
January 3	14:00	-29.41	-22.85	-4.27	-30.00	547.44
January 3	15:00	-42.11	-22.85	-4.29	-45.00	547.47
January 3	16:00	-53.27	-22.84	-4.31	-60.00	547.51
January 3	17:00	-63.22	-22.84	-4.33	-75.00	547.54
January 3	18:00	-72.39	-22.84	-4.35	-90.00	547.58
January 3	19:00	-81.34	-22.83	-4.37	-105.00	547.62
January 3	20:00	-90.76	-22.83	-4.39	-120.00	547.65
January 3	21:00	-101.80	-22.82	-4.41	-135.00	547.69
January 3	22:00	-116.77	-22.82	-4.43	-150.00	547.72
January 3	23:00	-140.86	-22.82	-4.45	-165.00	547.76
January 4	00:00	180.00	-22.81	-4.47	180.00	547.80
January 4	01:00	140.87	-22.81	-4.49	165.00	547.83
January 4	02:00	116.79	-22.80	-4.50	150.00	547.87
January 4	03:00	101.83	-22.80	-4.52	135.00	547.90
January 4	04:00	90.79	-22.80	-4.54	120.00	547.94
January 4	05:00	81.38	-22.79	-4.56	105.00	547.98
January 4	06:00	72.43	-22.79	-4.58	90.00	548.01
January 4	07:00	63.26	-22.78	-4.60	75.00	548.05
January 4	08:00	53.32	-22.78	-4.62	60.00	548.09
January 4	09:00	42.15	-22.77	-4.64	45.00	548.13
January 4	10:00	29.45	-22.77	-4.66	30.00	548.16
January 4	11:00	15.22	-22.77	-4.68	15.00	548.20
January 4	12:00	0.00	-22.76	-4.70	0.00	548.24
January 4	13:00	-15.22	-22.76	-4.71	-15.00	548.28
January 4	14:00	-29.46	-22.75	-4.73	-30.00	548.31
January 4	15:00	-42.16	-22.75	-4.75	-45.00	548.35
January 4	16:00	-53.34	-22.74	-4.77	-60.00	548.39
January 4	17:00	-63.29	-22.74	-4.79	-75.00	548.43
January 4	18:00	-72.48	-22.74	-4.81	-90.00	548.46
January 4	19:00	-81.43	-22.73	-4.83	-105.00	548.50
January 4	20:00	-90.86	-22.73	-4.85	-120.00	548.54
January 4	21:00	-101.92	-22.72	-4.87	-135.00	548.58
January 4	22:00	-116.91	-22.72	-4.88	-150.00	548.62

date	time	azimuth	declination	eot	hour angle	day length
January 4	23:00	-140.99	-22.71	-4.90	-165.00	548.66
January 5	00:00	180.00	-22.71	-4.92	180.00	548.70
January 5	01:00	141.01	-22.71	-4.94	165.00	548.73
January 5	02:00	116.94	-22.70	-4.96	150.00	548.77
January 5	03:00	101.95	-22.70	-4.98	135.00	548.81
January 5	04:00	90.90	-22.69	-5.00	120.00	548.85
January 5	05:00	81.47	-22.69	-5.02	105.00	548.89
January 5	06:00	72.52	-22.68	-5.04	90.00	548.93
January 5	07:00	63.34	-22.68	-5.05	75.00	548.97
January 5	08:00	53.39	-22.67	-5.07	60.00	549.01
January 5	09:00	42.21	-22.67	-5.09	45.00	549.05
January 5	10:00	29.49	-22.66	-5.11	30.00	549.09
January 5	11:00	15.25	-22.66	-5.13	15.00	549.13
January 5	12:00	0.00	-22.66	-5.15	0.00	549.17
January 5	13:00	-15.25	-22.65	-5.17	-15.00	549.21
January 5	14:00	-29.50	-22.65	-5.19	-30.00	549.25
January 5	15:00	-42.22	-22.64	-5.20	-45.00	549.29
January 5	16:00	-53.41	-22.64	-5.22	-60.00	549.33
January 5	17:00	-63.37	-22.63	-5.24	-75.00	549.37
January 5	18:00	-72.56	-22.63	-5.26	-90.00	549.41
January 5	19:00	-81.53	-22.62	-5.28	-105.00	549.45
January 5	20:00	-90.97	-22.62	-5.30	-120.00	549.50
January 5	21:00	-102.05	-22.61	-5.32	-135.00	549.54
January 5	22:00	-117.07	-22.61	-5.33	-150.00	549.58
January 5	23:00	-141.14	-22.60	-5.35	-165.00	549.62

Ek 4 North Platte'ye ait beş günlük ışımm verileri

24023 NORTH PLATTE

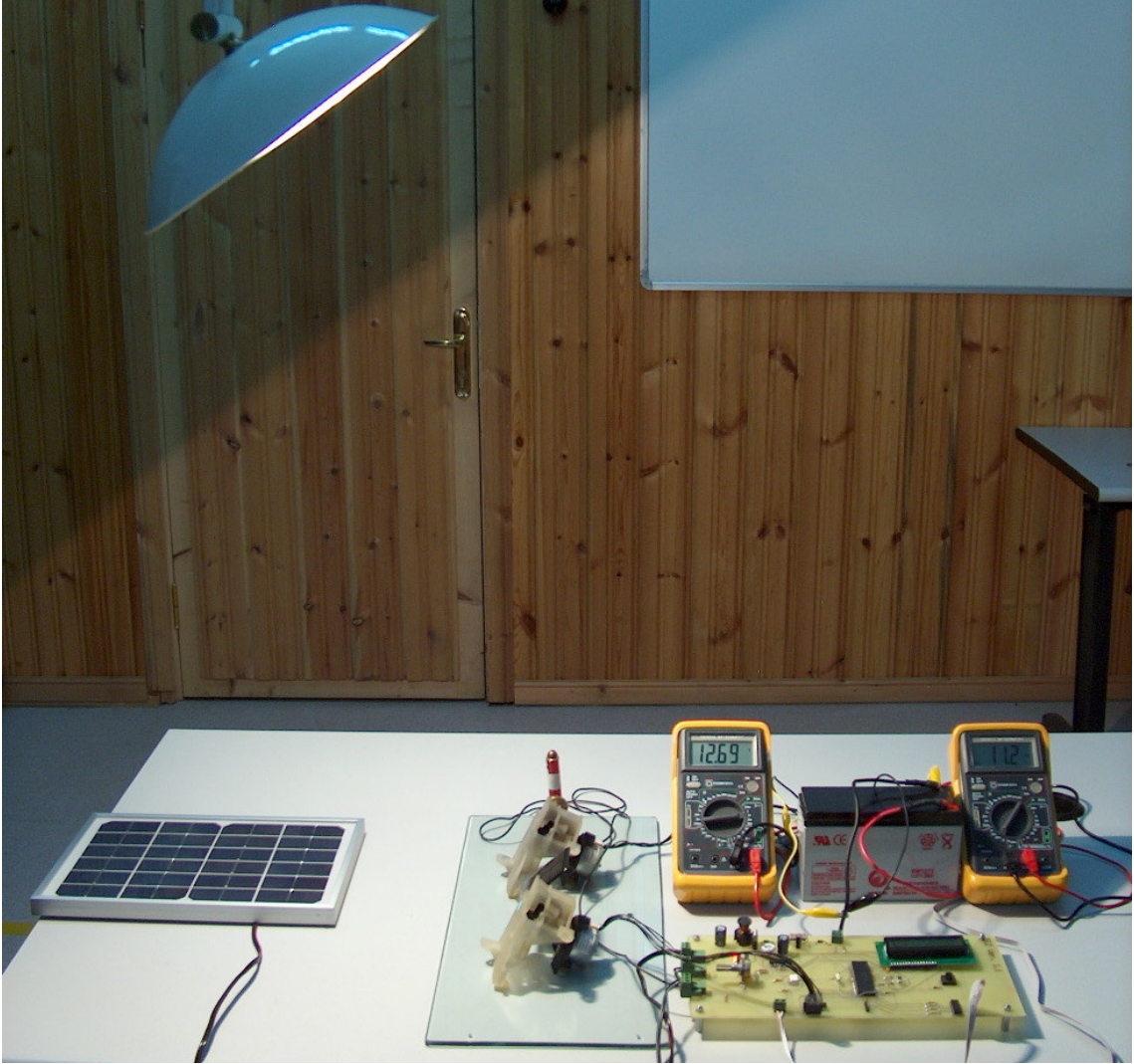
90	1	1	1	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	2	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	3	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	4	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	5	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	6	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	7	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	8	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	9	95	1108	39 G5	258 G4	17 G5
90	1	1	10	282	1415	125 G5	274 G5	71 G5
90	1	1	11	450	1415	227 G5	370 G5	109 G5
90	1	1	12	564	1415	296 G5	444 G5	119 G5
90	1	1	13	615	1415	432 G5	697 G5	129 G5
90	1	1	14	599	1415	339 G4	531 G4	114 G5
90	1	1	15	517	1415	337 G4	811 G4	41 G5
90	1	1	16	376	1415	234 G4	765 G4	31 G5
90	1	1	17	185	1415	86 G5	476 G4	24 G5
90	1	1	18	45	424	15 G5	83 G4	7 G5
90	1	1	19	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	20	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	21	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	22	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	23	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	1	24	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	1	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	2	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	3	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	4	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	5	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	6	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	7	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	8	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	9	94	1108	33 G5	166 G4	19 G5
90	1	2	10	282	1415	117 G5	244 G5	69 G5
90	1	2	11	451	1415	237 G5	437 G5	98 G5
90	1	2	12	565	1415	288 G5	316 G5	162 G5
90	1	2	13	616	1415	406 G4	687 G4	107 G5
90	1	2	14	601	1415	324 G5	429 G5	142 G5
90	1	2	15	520	1415	266 G5	343 G5	141 G5
90	1	2	16	379	1415	166 G4	127 G4	132 G5
90	1	2	17	188	1415	60 G5	4 G4	59 G5
90	1	2	18	48	448	9 G5	1 G4	9 G5
90	1	2	19	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	20	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	21	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	22	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	23	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	2	24	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	1	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	2	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	3	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	4	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	5	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	6	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	7	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	8	0	0	0 ?0	0 ?0	0 ?0
90	1	3	9	94	1108	19 G5	2 G4	18 G5
90	1	3	10	282	1415	59 G5	34 G4	52 G5

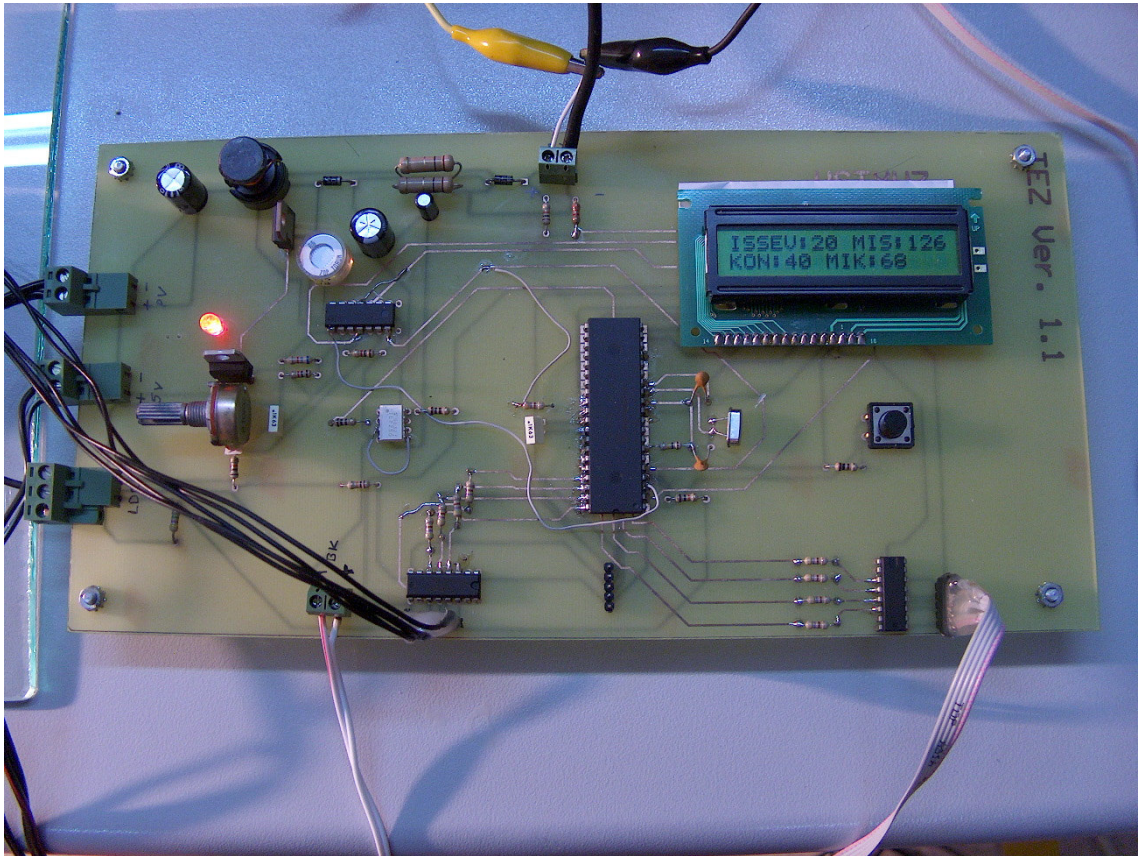
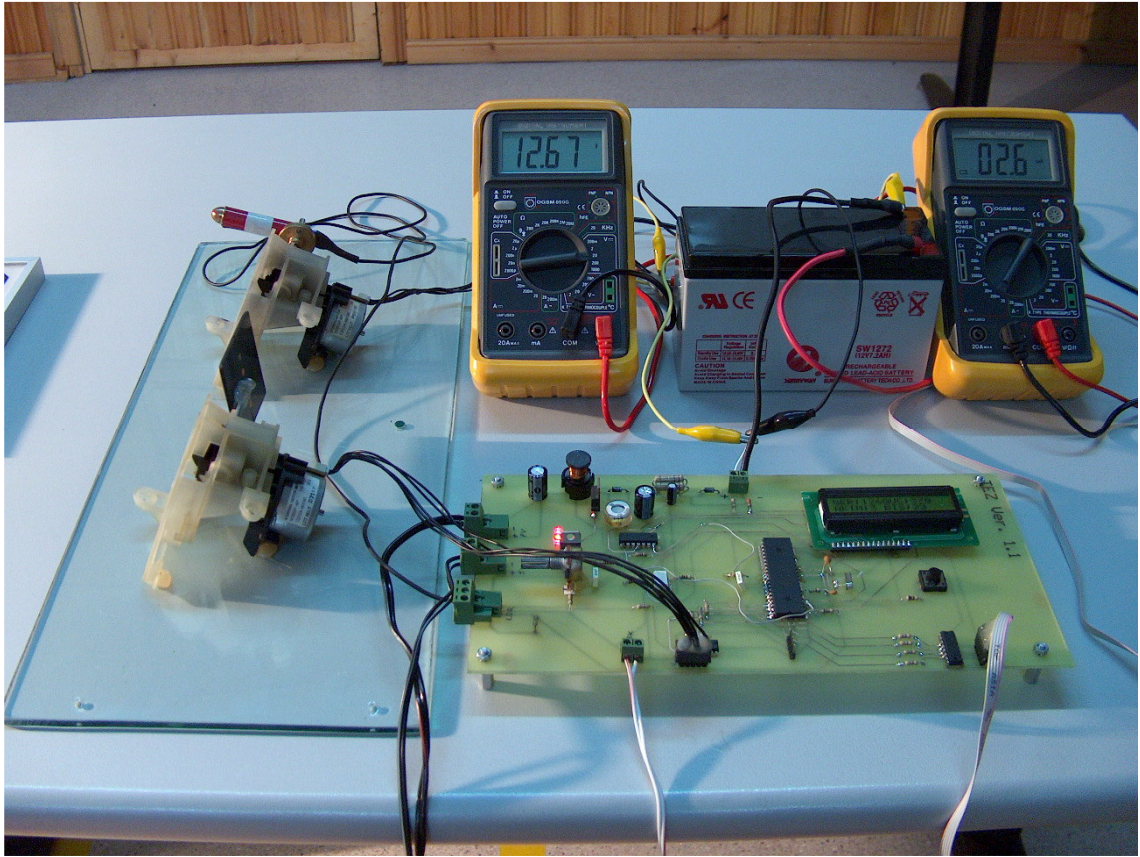
90	1	3	11	452	1415	186	G4	208	G4	120	G5
90	1	3	12	566	1415	361	G4	715	G4	75	G5
90	1	3	13	618	1415	360	G5	556	G5	117	G5
90	1	3	14	603	1415	304	G5	235	G5	204	G5
90	1	3	15	522	1415	282	G5	385	G5	140	G5
90	1	3	16	382	1415	104	G4	80	G4	82	G5
90	1	3	17	192	1415	48	G5	3	G4	48	G5
90	1	3	18	47	472	6	G5	0	G4	6	G5
90	1	3	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	3	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	1	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	2	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	3	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	4	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	5	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	6	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	7	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	8	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	9	94	1108	41	G5	312	G4	15	G5
90	1	4	10	283	1415	165	G5	612	G4	43	G5
90	1	4	11	453	1415	252	G5	504	G5	90	G5
90	1	4	12	568	1415	350	G4	633	G4	96	G5
90	1	4	13	620	1415	370	G5	568	G5	121	G5
90	1	4	14	605	1415	404	G4	794	G4	65	G5
90	1	4	15	525	1415	373	G4	902	G4	39	G5
90	1	4	16	385	1415	254	G4	820	G4	31	G5
90	1	4	17	195	1415	109	G5	650	G4	20	G5
90	1	4	18	50	495	20	G5	136	G4	7	G5
90	1	4	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	4	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	1	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	2	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	3	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	4	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	5	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	6	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	7	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	8	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	9	95	1108	23	G5	12	G4	22	G5
90	1	5	10	283	1415	124	G5	258	G5	73	G5
90	1	5	11	454	1415	179	G4	78	G4	154	G5
90	1	5	12	569	1415	301	G5	431	G5	128	G5
90	1	5	13	622	1415	385	G5	604	G5	119	G5
90	1	5	14	608	1415	342	G5	533	G5	113	G5
90	1	5	15	528	1415	223	G4	129	G4	175	G5
90	1	5	16	388	1415	154	G5	165	G5	108	G5
90	1	5	17	198	1415	87	G5	281	G5	48	G5
90	1	5	18	50	519	19	G5	109	G4	8	G5
90	1	5	19	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	20	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	21	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	22	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	23	0	0	0	?0	0	?0	0	?0
90	1	5	24	0	0	0	?0	0	?0	0	?0

Ek 5 Güneş panelleri ışınım değerlerinin hesaplanması için MATLAB kodları

```
d=data1;dr=(pi/180).*d;  
h=data2;hr=(pi/180).*h;  
IN=data3;  
aci=cos(dr).*cos(hr)  
IS=IN.*aci;  
M=find(acii<=0);
```

```
IS(M)=0
```

Ek 6 Uygulamaya Ait Fotoğraflar



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 27.06.1980

Doğum yeri Malatya

Lise 1995-1998 Malatya Fatih Lisesi

Lisans 2000-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı

Çalıştığı kurum

2005-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Araştırma Görevlisi