

**T.C.
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**25,6 kW_p GÜCÜNDEKİ ŞEBEYE BAĞLI BİNAYA ENTEGRE
FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN ÜÇ YILLIK PERFORMANSININ
PARAMETRELERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEMİL SUDA

**EKİM 2007
MUĞLA**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Muğla Üniversitesinde kurulu Türkiye deki ilk binaya entegre 25.6 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı fotovoltaik güç sisteminin üç yıllık performansı değerlendirilmiştir.

Bu değerli çalışma konusunu belirleyen, yoğun çalışma temposu içerisinde bana zaman ayıran, çok değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve yararlanacağım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Şener OKTİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez ile ilgili çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Rüştü Eke, Araş. Gör. Cem Tozlu, Uzman Şadan Özden ve Araş. Gör. Nejmettin Avcı'ya ,Yüksek Lisans öğrenimim boyunca verdikleri emeklerinden dolayı bölüm hocalarıma, bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1 GÜNEŞ IŞIĞININ SPEKTRAL DAĞILIMI.....	7
2.2 GÜNEŞ GÖZESİNİN YAPISI VE ÇALIŞMASI.....	16
2.3 FOTOVOLTAİK MODÜLÜN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİĞİ.....	20
2.4 FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN YERLEŞTİRİLMESİ..	25
2.5 FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİ	29
2.5.1 İNVERTÖRLER	33
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	35
3.1 SİSTEMDE KULLANILAN PV MODÜLLER.....	36
3.2 SITOP SOLAR 1500 İNVERTÖRLER.....	38
3.3 ŞEBEKE İZLEME VE KORUMA ÜNİTESİ.....	42
3.4 ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	43
3.4.1 NEG DIS GÖSTERGE PANOSU.....	43
3.4.2 NEG LOG DATA LOGGER.....	44
3.4.3 SOZ - 03 IŞINIM SENSÖRÜ (SOLAR IRRADIATION SENSOR).....	46
3.4.4 DZ 4000 W TİPİ ÜÇ FAZLI ENERJİ SAYACI (THREE-PHASE ENERGY METER).....	47
3.5 VERİ KAYDETME VE DEĞERLENDİRME SİSTEMİ.....	48
3.6 PVSYSYST PAKET PROGRAMI.....	53

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	56
5. VERİLERİN ANALİZİ.....	60
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	84
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	91

**25.6 kWp GÜCÜNDEKİ ŞEBEKEYE BAĞLI BİNAYA ENTEGRE
FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN ÜÇ YILLIK PERFORMANSININ
PARAMETRELERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Cemil SUDA

**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

2007

ÖZET

Şebeke bağlantılı binaya entegre fotovoltaik sistemler yakın gelecekte Türkiye'nin güney kentsel çevresinde elektrik üretiminin ana kaynağı olması yönünde büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin 25,6 kWp gücündeki ilk binaya entegre fotovoltaik sistemi Mayıs 2003 tarihinde Muğla Üniversitesinde kurulmuştur, bu tarihten itibaren incelenmektedir. Bu çalışma sistemin üç yıllık performansını göstermektedir. Ayrıca güneş ışınımının ve sıcaklığın sistem verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sistem (BIPV) STC'de 120 Wp güce sahip 214 adet çok kristal silisyum PV modülden ve 1650 Wp de çalışan 15 adet Sitop Solar inventörden oluşmaktadır. PV modüller 290 m² lik çatının güney-batı kısmına 18⁰ lik eğim açısıyla yerleşmiştir. Yıllık ortalama enerji üretimi 2004, 2005, 2006 yıllarında sırasıyla 35681 kWh, 31246 kWh ve 29178 kWh olmuştur. Aylık ortalama PV sistem verimi Ağustos 2005'deki %8.5 ile Şubat 2004'deki %11 arasında değişmiştir. Sistem verimi artan modül sıcaklığı ile doğrusal olarak azalmaktadır. Yaz aylarında ortalama modül sıcaklığı 80 °C ye çıkmaktadır. Öğleden önce ve öğleden sonra aynı ışık şiddetinde farklı çıkış güçleri elde edilmiştir. Çünkü yüksek ışık şiddetinde PV modüller ısınır ve sistemin verimini azaltır. Yıllık ortalama sistemin performans oranı 2004, 2005, 2006 yıllarında sırasıyla 0.80, 0.81 ve 0.79 olarak hesaplandı. Bu sonuçlar Muğla bölgesinin PV sistem uygulamaları için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Şebekeye bağlı binaya entegre PV sistemler, Sistem performans oranı, Modül sıcaklığı, Sistem verimi

Sayfa adedi: 91

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Şener OKTİK

**THE THREE YEARS PERFORMANCE EVALUATION OF 25.6 kWp GRID-
CONNECTED BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)
POWER PLANT**

(Ph. M. Thesis)

Cemil SUDA

**MUGLA UNIVERSITY
INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY**

2007

ABSTRACT

Building-Integrated Photovoltaic Systems (BIPV) have great potential to become a major source of electricity production in the urban environment of south of Turkey in the near future. The first building-integrated 25.6 kWp photovoltaic system of Turkey was connected to the Mugla University Campus grid in May 2003, since then has been under investigation. This study presents the three years performance of the system. In addition, the effects of insolation and temperature on the system efficiency were investigated. This BIPV system consists of 214 poly crystalline silicon PV modules with 120 Wp under STC and 15 Siemens Sitop Solar inverters working at 1650 Wp. The PV modules are integrated on the south-west facing part of the roof which has an area of 290 m² with a tilt angle of 18 degrees. Mean annual energy production was 35861 kWh, 31246 kWh and 29178 kWh in 2004, 2005, 2006 respectively. The monthly average efficiency of the PV system changes between 8.5% in August 2005 and that of 11.0% in February 2004. The system efficiency decreases almost linearly with increasing module temperature. In summer months, the average module temperature reaches 80 °C. Before and after midday, the output power is different for the same insolation value. Because at high insolation, the PV modules becomes hot, which reduced the system efficiency. The average annual performance ratio of the system was calculated 0.80, 0.81 and 0.79 in

2004, 2005,2006 respectively. These results indicate that the Muğla region has a great potential for PV system applications.

Key Words: Grid-Connected Building Integrated PV System, System Performance Ratio, Module Temperature, System efficiency

Page Number: 91

Adviser: Prof. Dr. Şener OKTİK

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 1.1 Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelinin illere göre dağılımı.....	2
Şekil 1.2 Şebeke bağlantılı BIPV sistemin bir konut için uygulaması	3
Şekil 1.3 1995-2006 yılları arasında gerçekleşen ve 2010 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen toplam güneş gözesi üretimi.....	4
Şekil 1.4 PV piyasasındaki kurulu güçlerin ülkelere göre dağılımı ...	5
Şekil 1.5 Güneş gözesi teknolojisinin gelişimi.....	6
Şekil 2.1 Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi	8
Şekil 2.2 Atmosfer dışına ve yeryüzüne gelen güneş ışınımının spektral dağılımı	10
Şekil 2.3 Güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yol.....	11
Şekil 2.4 Farklı bağıl hava kütleleri için yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı	12
Şekil 2.5 Kuzey yarımküre için güneşin mevsimsel ve günlük hareketleri	12
Şekil 2.6 Enlem, saat ve deklinasyon açılarının gösterimi	14
Şekil 2.7 Güneşin yükseklik ve azimut açılarının gök küre üzerinde gösterimi ..	15
Şekil 2.8 Güneş gözesinin çalışma prensibi	16
Şekil 2.9 Güneş gözesinin yapısı.....	17
Şekil 2.10 Bir güneş gözesinin karanlıkta ve aydınlıkta akım-gerilim karakteristiği	18
Şekil 2.11 Bir güneş gözesinin veya modülün basitleştirilmiş elektronik devresi	20
Şekil 2.12 PV bir modülün akım-gerilim ve güç-gerilim ilişkisi	21
Şekil 2.13 Tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisinin modül sıcaklığı ile değişimi	23
Şekil 2.14 Işık şiddetindeki değişimin tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi	24
Şekil 2.15 Fotovoltaik bir modülün sabit bir açıda yerleştirilmesi.....	25
Şekil 2.16 Güneşi tek eksenle izleyen fotovoltaik bir modülün yerleşim şeması	26
Şekil 2.17 Güneşi iki eksenle izleyen fotovoltaik bir modülün yerleşim şeması	26
Şekil 2.18 Polikristal bir modülün sabit eğim açılı ve tek eksenli	

izleyici durumunda ürettiği güç	27
Şekil 2.19 Gün içerisinde izleyici sistemden elde edilen güç kazancı	28
Şekil 2.20 Tek bir güneş gözesinden örgüye kadar olan fotovoltaik güç üreteçlerindeki şekillenim	29
Şekil 2.21a Güneş pillerinin seri bağlanması ve oluşan I-V karakteristiği	30
Şekil 2.21b Güneş pillerinin paralel bağlanması oluşan I-V karakteristiği	31
Şekil 2.22 Şebekeden bağımsız fotovoltaik bir sistemin şematik gösterimi	31
Şekil 2.23 Hibrit sistemlerin şematik diyagramı	32
Şekil 2.24 Şebeke bağlantılı fotovoltaik bir sistemin şematik diyagramı.....	33
Şekil 3.1 Sistemin temel şeması.....	36
Şekil 3.2 PV örgü bağlantı şeması	37
Şekil 3.3 Master – Slave invertör verimlilik eğrisi η_{sis}	39
Şekil 3.4 Slave-Master-Slave invertörleri arasındaki bağlantı şeması.....	40
Şekil 3.5 Sitop solar 1500 Slave-Master-Slave üçlü ve ikili invertör gurubu	40
Şekil 3.6 İnvörtör grupları ile şebeke ve modül grupları arasında yapılan bağlantı	41
Şekil 3.7 Şebeke izleme ünitesi.....	42
Şekil 3.8 NEG DIS gösterge panosu.....	43
Şekil 3.9 NEG LOG data logger.....	44
Şekil 3.10 NEG LOG data logger içerisindeki verilerin bilgisayara kaydedilmesi..	46
Şekil 3.11 SOZ – 03 ışınım sensörü	47
Şekil 3.12 DZ 4000 W tipi üç fazlı enerji sayacı	48
Şekil 3.13 Log-Term programının aktif penceresi	49
Şekil 3.14 Data logger ile bilgisayar arasında bağlantı menüsü	50
Şekil 3.15 Data logger daki verilerin okuma menüsü	51
Şekil 3.16 Gün içerisinde alınan verilerin grafiksel gösterimi	52
Şekil 3.17 Data logger içerisindeki parametrelerin değiştirildiği menü penceresi...52	
Şekil 3.18 PV sistem özelliklerinin belirlenmesinin bilgisayar ortamındaki görünümü.....	54
Şekil 5.1 Her bir yıl için aylara göre PV örgü ve yatay düzlem üzerinde birim alana düşen günlük ortalama ışınım enerjisi	61
Şekil 5.2 PVSYST 3.02 programı ile Muğla ili için sabit eğim açıları için yapılan simülasyon sonuçları	62

Şekil 5.3 PVSYST 3.02 paket programı ile Muğla ilindeki birim yüzeye düşen enerjinin Ekim-Mart ayları için eğim açılarında yapılan simülasyon sonuçları.....	63
Şekil 5.4 PVSYST 3.02 paket programı ile Muğla ilindeki birim yüzeye düşen enerjinin Nisan-Eylül ayları için eğim açılarında yapılan simülasyon sonuçları.....	63
Şekil 5.5 Sistem tarafından birim alan başına üretilen AC enerjinin üç yıllık veriler doğrultusunda aylara göre değişimi	65
Şekil 5.6 Sistem tarafından üretilen enerji ile ışıınım enerjisi arasındaki değişimi aylara göre dağılımı	66
Şekil 5.7 Üç yıl için günlük ortalama sistem verimliliğinin aylara göre dağılımı... 67	
Şekil 5.8 Üç yıl için PV örgü yüzeyine düşen normalize edilmiş ortalama günlük ışıınım enerjisinin aylara göre dağılımı	68
Şekil 5.9 Üç yıl için normalize edilmiş ortalama günlük PV sistem enerji üretimi..69	
Şekil 5.10 Günlük ortalama sistem performans oranının aylara göre dağılımı ...	70
Şekil 5.11a Işıınıma bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi.....	71
Şekil 5.11b Işıınıma bağlı olarak sistem verimliliğinin Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi.....	72
Şekil 5.12a Işıınıma bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Mayıs ayında bir gün içindeki değişimi.....	72
Şekil 5.12b Işıınıma bağlı olarak sistem verimliliğinin Mayıs ayında bir gün içindeki değişimi.....	73
Şekil 5.13a Işıınıma bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Haziran ayında bir gün için tipik değişimi.....	74
Şekil 5.13b Işıınıma bağlı olarak sistem verimliliğinin Haziran ayında bir gün için tipik değişimi.....	74
Şekil 5.14 Işıınıma bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Haziran ayındaki bir gün için değişimi.....	75
Şekil 5.15 Sistem verimliliğinin modül sıcaklığına bağlı olarak Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi.....	76
Şekil 5.16 Sistem verimliliğinin modül sıcaklığına bağlı olarak Temmuz ayında bir gün içindeki değişimi.....	77
Şekil 5.17 Mayıs ayı için sistem verimliliğinin modül sıcaklığına göre değişimi... 78	
Şekil 5.18 Nisan ayı için sistem verimliliğinin modül sıcaklığına göre değişimi ...78	
Şekil 5.19 Temmuz ayı için sistem tarafından üretilen gücün ışıınım ve modül sıcaklığına bağlılığı	79

Şekil 5.20 Eylül ayı için sistem tarafından üretilen gücün ışıınım ve modül sıcaklığına bağılılığı	80
Şekil 5.21 Farklı sıcaklıklarda bir PV modülün maksimum güç noktaları ve I-V karakteristiğı	80
Şekil 5.22 Ekim 2006 tarihine ait normalize edilmiş sistem enerji üretiminin günlük ışıınım enerjisine bağılılığı	82
Şekil 5.23 Temmuz 2006 tarihine ait normalize edilmiş sistem enerji üretiminin günlük ışıınım enerjisine bağılılığı	82
Şekil 5.24 Modül sıcaklığı ve PV örgü üzerine gelen ışıınım enerjisinin sistemin enerji üretimine etkisi	83

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No.</u>
Tablo 2.1 Çeşitli hava durumları için yeryüzüne gelen toplam ışınım miktarı ve yaygın ışınım oranları	8
Tablo 3.1 Sistemde kullanılan çoklu kristal modülün elektriksel özellikleri.....	37
Tablo 3.2 Sistemde kullanılan invertörlerin teknik özellikleri.....	41
Tablo 3.3 Seçilen periyotlara karşılık Data Logger içerisinde verilerin depolanma süreleri.....	45

SEMBOLLER DİZİNİ

$^{\circ}C$	Santigrad
W	Güç
MW	Mega watt
GW	Giga watt
W_p	Maksimum güç
kWh	Kilo watt saat
K	Kelvin
G_{sc}	Güneş sabiti
G	Global ışınım
ϕ	Enlem açısı
ω	Saat açısı
δ	Deklinasyon açısı
ψ	Güneş azimut açısı
θ_z	Zenit açısı
α	Güneş yükseklik açısı
β	Yüzey eğim açısı
γ	Yüzey azimut açısı
B_0	Atmosfer dışında yatay düzlem üzerine doğrudan gelen güneş ışınımı
$B_{0\beta}$	Eğimli bir yüzey üzerine doğrudan gelen atmosfer dışı güneş ışınımı
τ_{atm}	Atmosferin geçirgenliği
AM	Hava kütlesi
E_g	Yasak band aralığı
V_a	Düz besleme gerilimi
I_s	Karanlık doyma akımı
k	Boltzmann sabiti
T	Sıcaklık

q	Elektron yükü
I_l	Fotovoltaik akım
n	Diyot idealite faktörü
I_{sc}	Güneş gözesi kısa devre akımı
V	Devre üzerine düşen gerilim
I	Devreden geçen akım
V_{oc}	Güneş gözesi açık devre gerilimi
P_m	Güneş gözesi maksimum gücü
I_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki akım
V_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
R_S	Güneş gözesi seri direnci
R_{SH}	Güneş gözesi paralel direnci
FF	Dolgu faktörü (Fill factor)
η	Verimlilik
P_{in}	Güneş gözesi üzerine düşen ışınım gücü
N_{CS}	Seri bağlı güneş gözesi sayısı
STC	Standart test koşulu (Standart test condition)
$T_{c,ref}$	Referans güneş gözesi sıcaklığı
T_c	Güneş gözesi sıcaklığı
A	Modül etkin alanı
MPP	Maksimum güç noktası (Maximum power point)
PV	Fotovoltaik (Photovoltaic)
$MPPT$	Maksimum güç nokta izleyicisi
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
Y_f	Normalize edilmiş sistem enerji üretimi
PF	Performans oranı
Y_R	Normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi
H_β	Eğimli yüzey üzerinde birim alana gelen ışınım enerjisi
G_{STC}	STC altında tanımlana ışınım gücü ($1000 W/m^2$)
$W_{p,e}$	Fotovoltaik örgünün STC altındaki kurulu güç değeri
$E_{\text{şebeke}}$	PV örgü tarafından şebekeye aktarılan AC enerji

P_{sys}	Sistem çıkış gücü
G_{β}	Eğimli yüzeyde birim alana gelen ışınım
$A_{PV\ örgü}$	PV örgünün toplam alanı
$\eta_{sys,g}$	Günlük sistem verimliliği
$H_{\beta,g}$	PV örgü yüzeyi üzerinde birim alana düşen günlük ışınım enerjisi
$\eta_{sys,a}$	Aylık ortalama günlük sistem verimliliği
$E_{sys,a}$	PV sistem tarafından şebekeye aktarılan aylık ortalama günlük enerji miktarı
β	Modüllerin eğim açısı
BIPV	Building Integrated PV
μm	Mikrometre
$I_{s,ref}$	$I_{s,ref}$ referans alınan durumdaki karanlık doyma akımı
μ_{Voc}	Açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı
G_{eff}	Modül yüzeyine gelen ışığın enerjisi

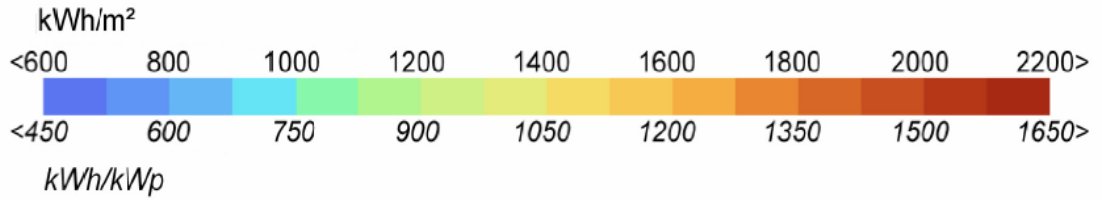
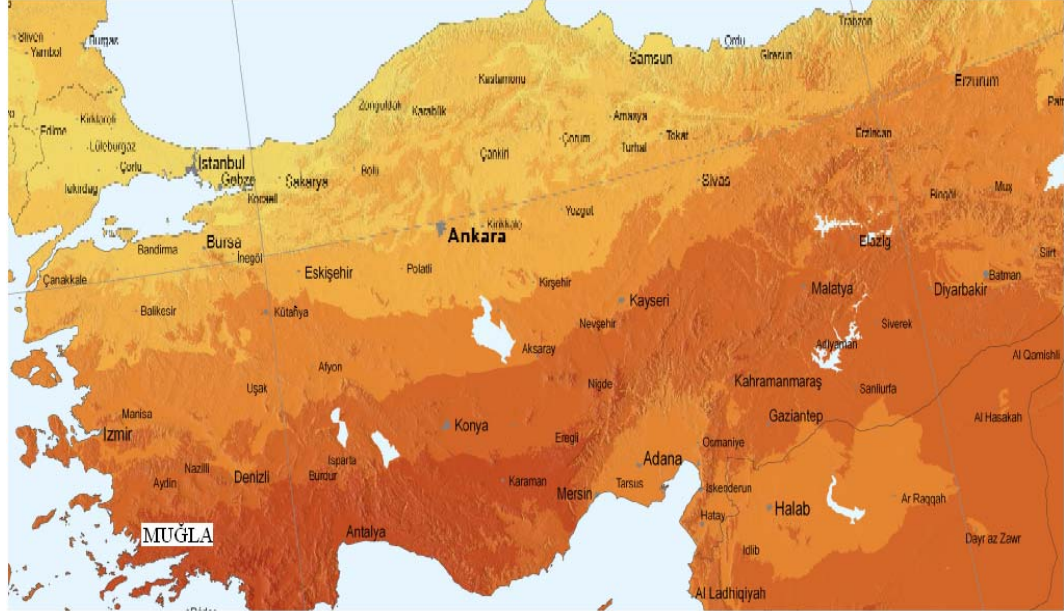
1.GİRİŞ

Fotovoltaik (PV) diyotlar (güneş gözeleri) üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren aygıtlardır. Bu enerji çevriminde herhangi bir hareketli parça bulunmaz. Güneş gözelerinin çalışma prensibi fotovoltaik olayına dayanır. Fotovoltaik olay ilk defa 1839 yılında Becquerel tarafından gözlemlenmiş ve o tarihten itibaren yapılan çalışmalar sonucunda verimi yüksek güneş gözeleri ve fotovoltaik güç santralleri geliştirilmiştir.

Teknolojideki gelişme, üretimdeki endüstrileşme ve talepteki artışa paralel olarak güneş gözeleri saat ve hesap makinelerinde, sokak aydınlatmasında, 1981 yılından bu yana da binalarda entegre olarak kullanılmaya başlamıştır (Markvart,1995).

Güneş enerjisi bol, sürekli, yenilenebilir ve bedava bir enerji kaynağıdır. Bunların yanı sıra konvansiyonel yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel sorunların çoğunun güneş enerjisi üretiminde bulunmayışı bu enerji türünü temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı yapmaktadır. Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan karbondioksit (CO₂) yayılımı (emisyonu) sonucunda, atmosferdeki CO₂ miktarı son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu miktarın bugüne oranla 1,4 kat daha artma olasılığı vardır. Atmosferdeki CO₂'nin neden olduğu sera etkisi son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0,7 °C yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 °C yükselmesi dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3 °C düzeyine varacak artışlar ise kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir (Varınca, 2006).

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması durumunda yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1100 kWh lik güneş enerjisi üretilebilir (EİE, 2006). Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan araştırmalara göre Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları Haziran ve Aralık aylarıdır. Şekil 1.1'de Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelinin illere göre dağılımı verilmektedir.

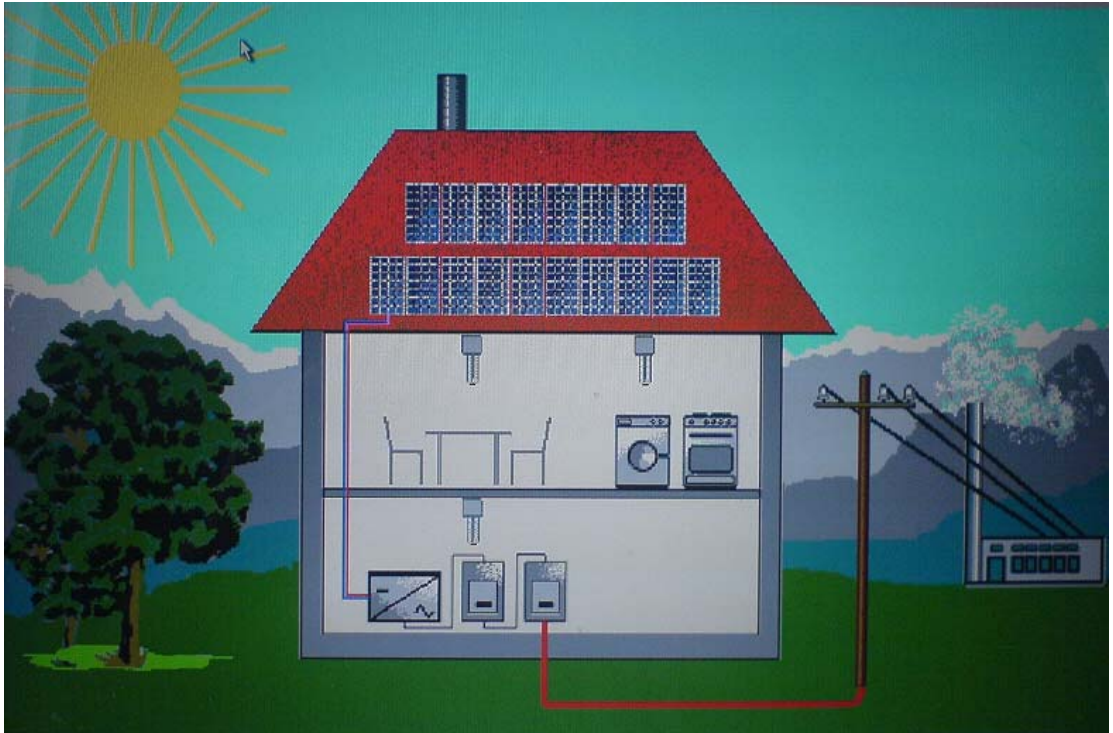


Şekil 1.1 Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelinin illere göre dağılımı(<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)

Çalışmanın yapıldığı Muğla bölgesi dikkate alındığında yıllık enerji üretiminin kWp kurulu güç başına 1300-1500 kWh, birim alan başına düşen ışınlam enerjisinin 1700-2000 kWh olduğu görülmektedir. Muğla ili aynı boylama Aydın, Manisa ve Balıkesir gibi illere göre güneş enerjisi açısından daha avantajlı konumdadır. Bu grafiğe göre 25,6 kWp gücündeki tipik bir PV sistemin yıllık enerji üretiminin 35000 kWh olması beklenmektedir.

PV panellerin çatılardaki uygulamaları 1980'li yıllarda başlamıştır. Özel çatı panelleri mevcut çatılara ek bir sistem olarak ilave edilmiş, daha sonraları ise doğrudan çatı kaplaması olarak kullanılabilen PV paneller üretilmiştir. Güneş ışınım miktarının panel üzerindeki etkileri, gölgeleme, ısı geçirgenlik değeri ve sızdırmazlık üzerine yapılan araştırmalar ve bulgular PV'lerin bina düşey kabuğunda da etkin olarak kullanılabileceğini göstermiş ve 1992 yılından itibaren bu konudaki uygulamalar artmıştır.

Binaya entegre fotovoltaik (Building Integrated Photovoltaic, BIPV) sistemler bu uygulamalar içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın yapıldığı 25,6 kWp gücündeki BIPV sistemi şu anda ülkemizde kurulmuş olan en büyük fotovoltaik sistemdir. BIPV sistemlerde PV modüller çatının üzerine yada cephelere yerleştirilir. Çatı üzerine kaplanan modüller binaya estetik açıdan değişik bir görünüm kazandırır (Messenger, 2003). BIPV uygulamalarının çoğu şebeke bağlantılıdır ve kentsel alanlarda kullanılır. Şekil 1.2'de şebeke bağlantılı (grid-connected) BIPV sistemin bir konut için uygulaması görülmektedir.



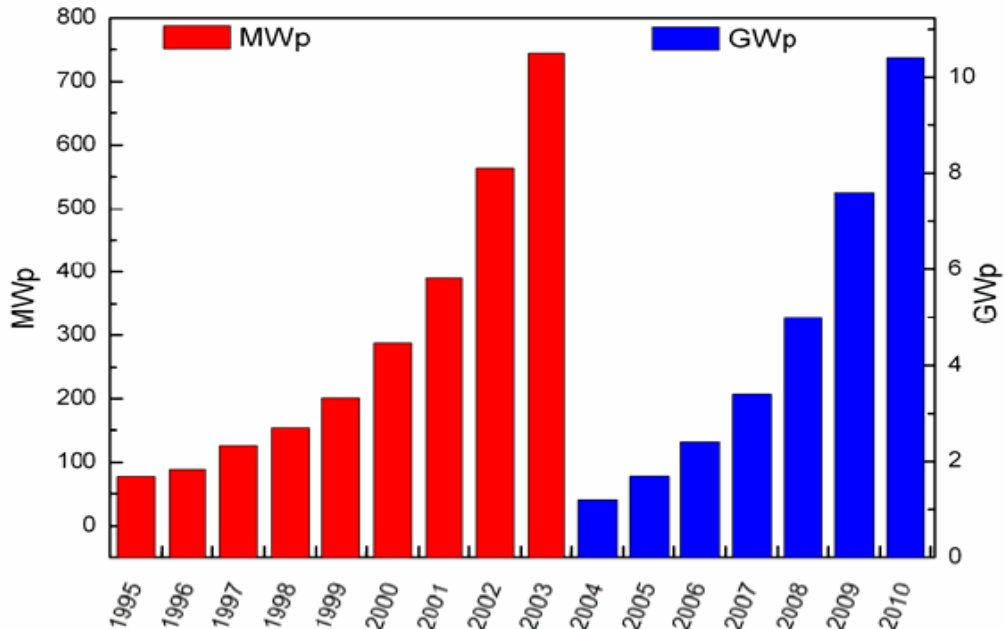
Şekil 1.2 Şebeke bağlantılı BIPV sistemin bir konut için uygulaması (www.valentin.de)

BIPV sistem başlıca şu kısımlardan oluşmaktadır:

- 1) Güneşten aldığı enerjiyi elektrik enerjisine çeviren ve çatıya yerleştirilmiş olan PV paneller
- 2) Panellerin ürettiği DC elektriği AC elektriğe çeviren invertör (dönüştürücü)
- 3) Güç depolayıcılar ve sistemin şebekeyle bağlantısını sağlayan kısım

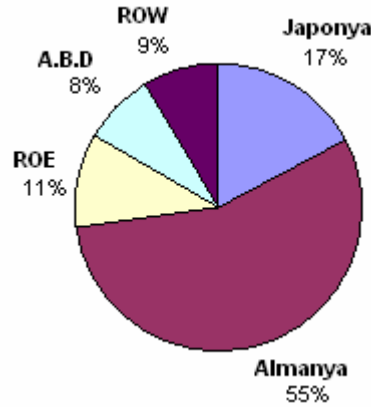
Bu tür sistemlerde binanın ihtiyacı olan elektrik enerjisi sistemden sağlanır. Sistem gerekli olan enerjiden daha fazla enerji üretirse, fazla enerji şebekeye aktarılır. Tam tersi bir durumda ise, yani sistem yeteri kadar enerji üretmemişse bu kez şebeke devreye girer ve bina şebeke tarafından beslenir. Kurulan sistem ile sistemin ürettiği elektriğin kullanıldığı bina birbirine yakın olduğu için iletim kayıpları düşüktür (Hill,2001).

Dünyadaki güneş gözesi yıllık toplam üretimine bakacak olursak, 1980 yılında 5MWp (Wp, 1000W/m² ışık şiddeti ve 25°C güneş gözesi sıcaklığında ölçülen güç) iken 2000 yılında 288MWp, 2006 yılında toplam 2200 MWp olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılında 10,4 GWp değerinde toplam güneş gözesi üretilmesi beklenmektedir (Şekil 1. 3).



Şekil 1. 3 1995-2006 yılları arasında gerçekleşen ve 2010 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen toplam güneş gözesi üretimi (Jäger-Waldau , 2006).

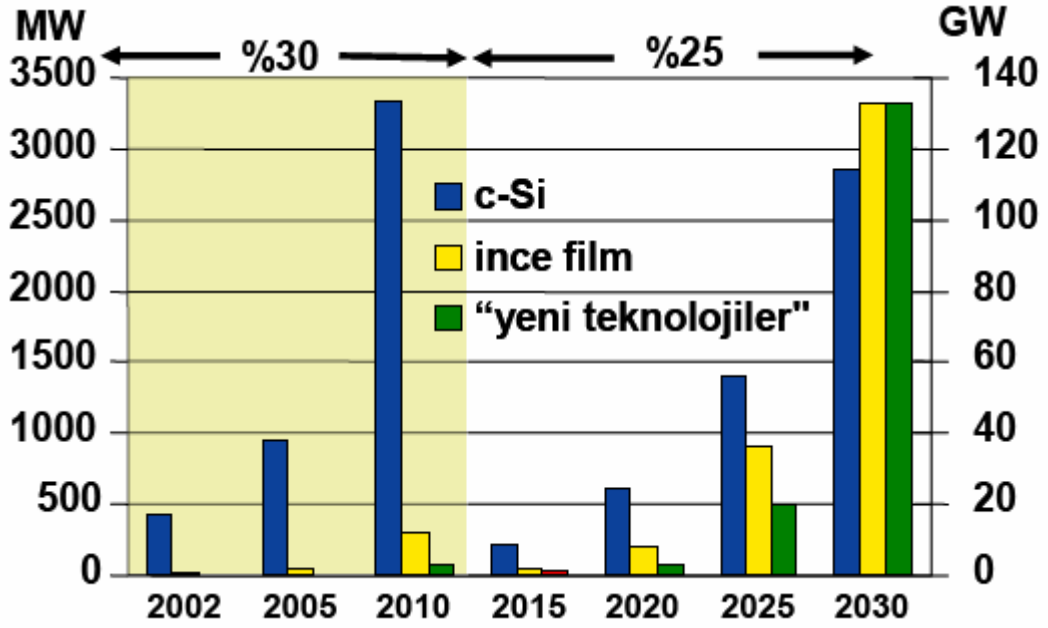
Üretilen güneş gözelerinin büyük bir kısmı şebekeye bağlantılı sistemlerde kullanılmıştır. Solarbuzz firmasının raporuna göre dünya PV piyasasında 2006 yılında 2005 yılına göre %19'luk bir artış gözlenmiştir ve toplam kurulu güç değeri 1744 MW olmuştur. Şekil 1. 4'te 2006 yılı kurulu PV sistem kurulu güçlerin ülkelere göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 1.4 PV piyasasındaki kurulu güçlerin ülkelere göre dağılımı(<http://www.solarbuzz.com/>)

Almanya'da şebeke bağlantılı PV sistemlerin kurulu gücü 2006 yılında %16 artarak 960 MW değerine çıkmıştır ve bu dünyadaki kurulu güçlerin %55'ini oluşturmaktadır. Şekil 1. 4'de Japonya'nın da bu konuda göz ardı edilmeyecek bir orana sahip olduğunu görülmektedir. Japonya'da güneş enerjisi uygulamalarının en büyüğü Japonya'nın merkezindeki Gifu-Ken bölgesidir. Sanyo'nun mandalina dilimi şeklindeki 'Güneş Gemisi' (Solar Ark) 315 m uzunluğunda ve en az 37,1 m yüksekliğinde olup hiç şüphesiz dünyanın en büyük güneş enerjisi üretim tesislerinden biridir. 3,3 milyar dolara mal olan bu yapı, her yıl 0,5 milyon kWh'in üzerinde enerji üretmektedir ([http:// www.sanyo-component.com](http://www.sanyo-component.com)).

2005 yılında üretilen güneş gözelerinin %94'ünü tek ve çok kristalli silisyum (c-Si) güneş gözeleri oluşturmaktadır. İnce film güneş gözelerinin dünya güneş gözesi üretimindeki payı %6 olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılında ise dünya güneş gözesi üretiminin %12'sinin ince film olması beklenmektedir. 2030 yılında ince film güneş gözesi üretiminin ve geliştirilecek yeni teknolojilerle üretilen güneş gözelerinin kapasitesinin c-Si güneş gözelerinden fazla olması beklenmektedir (Şekil 1. 5).



Şekil 1. 5 Güneş gözesi teknolojisinin gelişimi(<http://www.epia.org/>)

Bu çalışmada Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesi içerisinde kurulu olan 25,6 kWp gücündeki BIPV sistemin üç yıllık performansı dış parametrelere (sıcaklık, güneş ışınımı) göre değerlendirilmiştir. Sistemin verimliliği aylara göre karşılaştırılmış ve modül sıcaklığının çıkış gücüne ve sistem verimliliğine olan etkisi incelenmiştir. PV modüllerin gölgelemesi ve yüzey kirliliği gibi etkenlerin sistemin performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile güneş enerjisi bakımından zengin olan Muğla bölgesinde fotovoltaik güç sistemlerinin uygulanabilirliği, uygulandığında da elde edilecek kazanımların ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1) GÜNEŞ IŞIĞININ SPEKTRAL DAĞILIMI

Güneş ısı ve ışık yayan yüksek sıcaklıktaki bir gaz kütesidir. Güneşin yapısında %81,76 oranında H ve %18,17 oranında He atomları vardır. Doğal bir füzyon reaktörü olan güneşte saniyede 564 milyon ton H atomu 560 milyon ton He atomuna dönüşmektedir. Kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığında $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji elektromagnetik ışınım (radyasyon) şeklinde uzaya yayılmaktadır. Dünyaya güneşten gelen enerji dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20.000 katıdır (Anonymous, 2004).

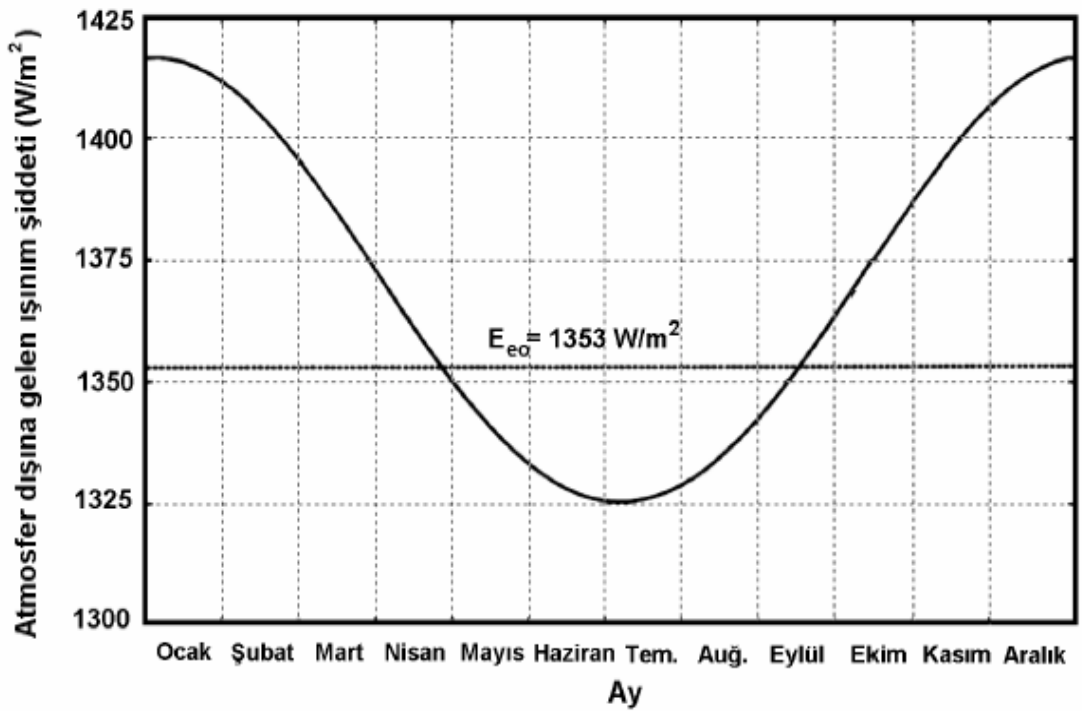
Güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanabilmek için güneşin yer düzlemine göre bir yıl içindeki hareketini bilmek gerekir. Güneşten dünya atmosferi dışına gelen enerji, metrekaşe başına 1300 ile 1400 watt arasında değişmektedir. Bu enerjinin en az %3 ü atmosfer tarafından soğurulmakta veya saçılmaktadır. Bulutsuz açık bir günde yere dik olarak gelen güneş enerjisinin değeri en fazla 1000 W/m^2 olmaktadır. Yeryüzüne gelen ışınım değerinin düşük olmasının nedeni; atmosferdeki CO₂, su buharı ve ozon gibi gazların güneş ışınımını soğurmasının yanında kat edilmesi gereken yolun uzun olmasıdır. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım, dolaysız (direkt) ve dolaylı (yaygın) olarak iki bileşene ayrılabilir. Doğrudan ışınım, adından da anlaşılacağı üzere doğrudan güneşten gelen ışınımdır. Yaygın ışınım ise, tüm gök küreden gelen belirli bir doğrultusu ve yönü bulunmayan ışınımdır. Yatay bir yüzeye gelen doğrudan ve yaygın ışınımın toplamına global güneş ışınımı denir. Bir yüzeyden tüm yönlerde yansıyan veya saçılan güneş ışınlarının yüzeye gelen toplam ışınım oranına albedo denir ve ρ ile gösterilir. Fotovoltaik sistemlerin uygulamaları için önemli bir parametre olan albedo 0,14 ile 0,85 arasında değer almaktadır (Ineichen P, 1990). Güneş ışınımının bir kısmı, atmosfer içine girdikten sonra yeryüzüne ulaşmaya kadar miktarı geçtiği hava kütesine bağlı olarak atmosferi oluşturan bileşenler (ozon ve su buharı) tarafından soğurulur. Hava içerisindeki moleküller toz ve su buharı tarafından saçılır. Işınımın bu soğurulan ve saçılan kısmı yaygın ışınımı oluşturur. Güneşten gelen ışınım yeryüzüne en fazla bulutsuz ve açık

gökyüzü koşullarında gelir. Çeşitli gök durumları için yeryüzüne gelen toplam ışınım miktarı ve yaygın ışınım oranları Tablo 2. 1 de verilmiştir (Ertürk, 1997).

Tablo 2. 1 Çeşitli hava durumları için yeryüzüne gelen toplam ışınım miktarı ve yaygın ışınım oranları

	Açık hava	Puslu hava (güneş zayıf olarak gözüküyor)	Tam kapalı hava
Toplam Işınım	6001000 W/m ²	200400 W/m ²	50150 W/m ²
Yaygın Işınım	%10 ... %20	%20 ... %80	%80 ... %100

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım şiddeti gün içinde güneşin geliş açısına bağlı olarak değişir. Bu şiddet öğle vaktinde o gün içindeki en yüksek değerine ulaşır. Bunun nedeni, güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yolun öğle vaktinde en kısa olmasıdır.



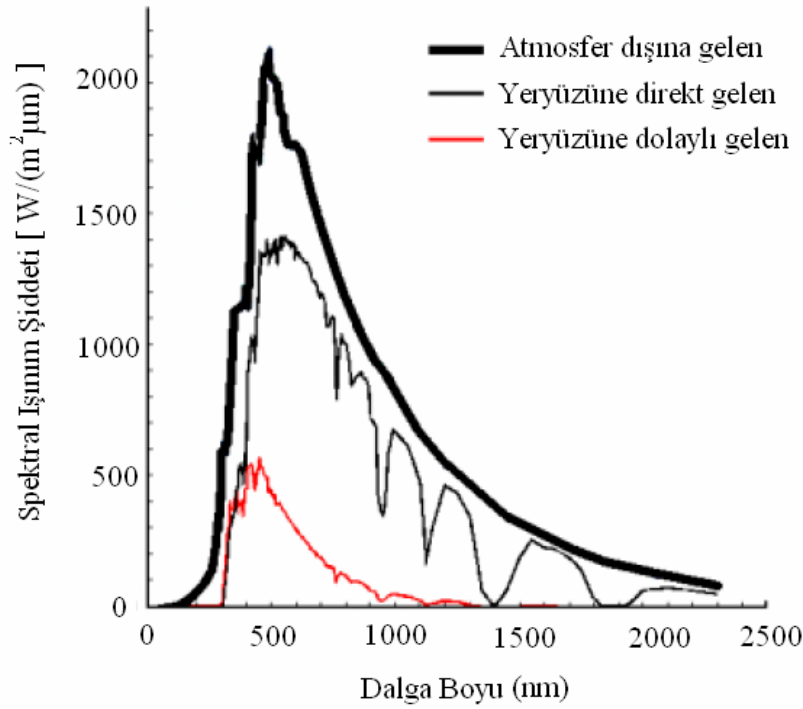
Şekil 2. 1 Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi

Bilindiği gibi, dünya Kepler kanunlarına göre bir yıl boyunca odağı güneş olan eliptik bir yörünge çizer. Ortalama 149,6 milyon km olan Dünya-Güneş arası uzaklık 3 Ocakta en az ve 4 Temmuzda en fazla olur. Bunun doğal bir sonucu olarak da dünya atmosferine güneşten gelen enerji Ocakta en yüksek değerini alarak 1412 W/m^2 değerine ulaşır ve Temmuzda en düşük değerini alarak 1322 W/m^2 değerine iner (DIN 5034, 1993. Teil 2, Tageslicht in Innenraumen-Grundlagen, Berlin 1993). Enerjideki bu değişim %3 civarındadır. Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi Şekil 2. 1 de gösterilmektedir.

Thekaekara güneş sabitini 1353 W/m^2 olarak vermiştir. Bu değer ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir (Thekaekare, M. P, 1977).

Güneş spektrumu 3 ana bölgeden oluşur. Dalga boyu $0,4 \mu\text{m}$ den küçük olan ultraviyole (mor ötesi) ışınlar ışınımın %9 unu, $0,4-0,7 \mu\text{m}$ arası dalga boyuna sahip ışınlar görünür ışık olup ışınımın %45 ini oluştururlar. Dalga boyu $0,7 \mu\text{m}$ den büyük ışınımlar infrared (kızılötesi) ise ışınımın %46'sını oluşturur ve ısıtma etkisine sahiptir. H_2O değişik dalga boylarında değişik miktarlarda ışınım soğurur. Güneş spektrumunun özellikle görünür kısmı ve kızılötesi kısmı H_2O tarafından soğurulur. Dalga boyu açısından bakacak olursak güneş 6000 K sıcaklıkta ışınım yayan bir siyah cisim gibi davranır.

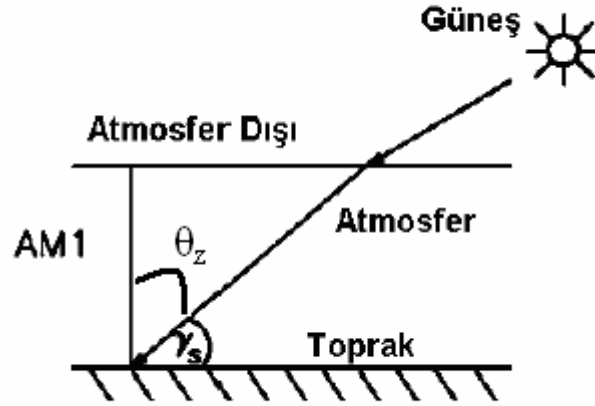
Atmosferde bulunan su buharı, ozon ve karbondioksit, gelen ışınımın büyük bir kısmını soğururlar. Oksijen, azot ve metan gibi gazlar da mor ötesi ışınımın bir kısmını soğururlar. Ancak, bu gazlar tarafından soğurulan ışınım miktarı, su buharı, ozon ve karbondioksit tarafından soğurulan ışınımın yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının spektrumu Şekil 2. 2 de gösterilmektedir (Boyle,1996).



Şekil 2.2 Atmosfer dışına ve yeryüzüne gelen güneş ışınımının spektral dağılımı(Boyle,1996).

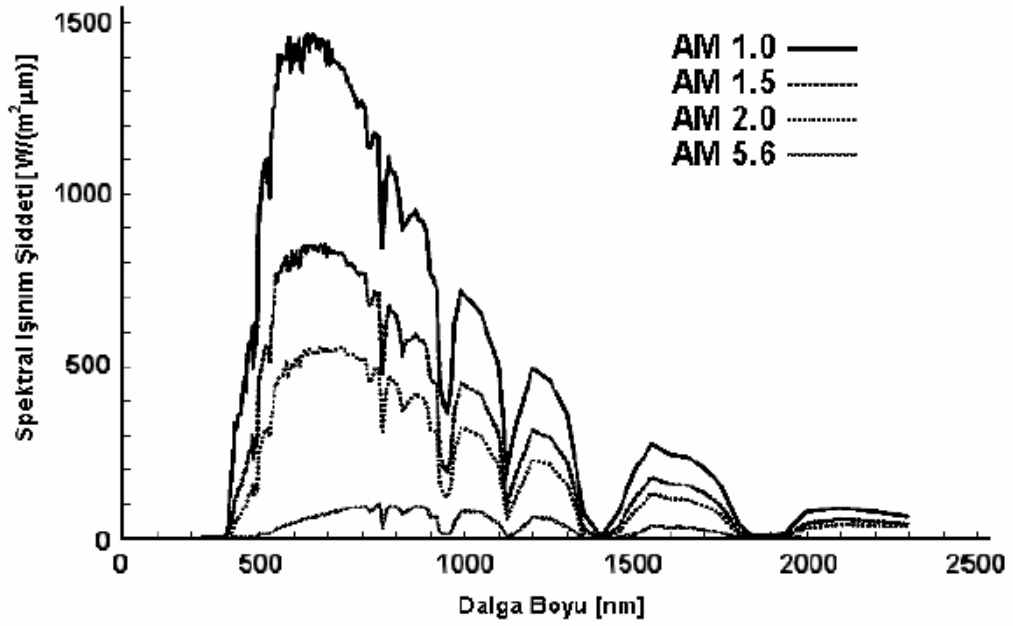
Şekilde eğriler arasında kalan bölgeler kaybolan ışınları göstermektedir. Şekil 2. 2 den de görüldüğü gibi yeryüzüne ulaşan ışınım şiddeti atmosfer dışındakinden daha azdır.

Güneşten gelen enerjinin atmosfer içinde zayıflaması, ışınların atmosfer içinde aldığı yolun uzunluğuna da bağlıdır. Güneşten gelen ışınımın herhangi bir doğrultuda atmosfer boyunca aldığı yolun, güneşin zenitte (tam tepede) bulunduğu konumda aldığı yola oranına hava kütlesi (air mass) adı verilir ve AM ile gösterilir. Hava kütlesi güneşin gökyüzündeki konumu ile belirlenmektedir. Şekil 2. 3 de güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yol gösterilmektedir (Ertürk, N, 1997).



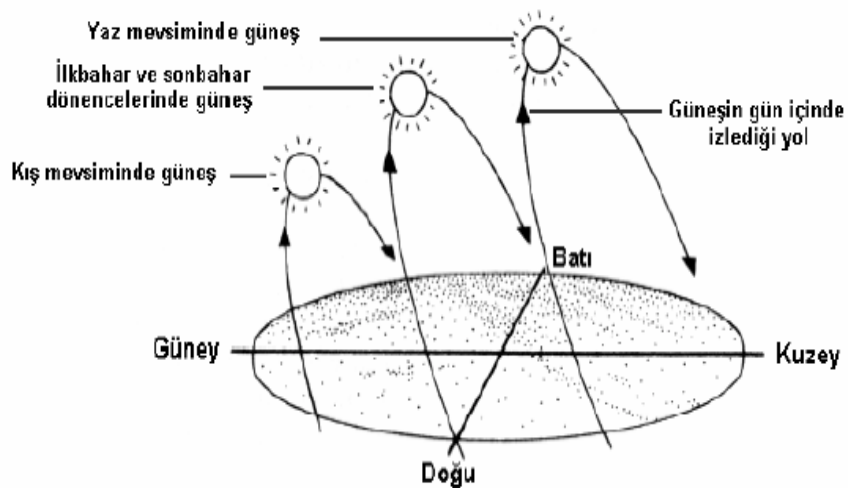
Şekil 2. 3 Güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yol.

Hava kütlesi, θ_z zenit açısı olmak üzere $\frac{1}{\cos \theta_z}$ formülü ile hesaplanır ve güneş ışığının dünyaya gelirken geçmek zorunda olduğu atmosfer kalınlığını ifade eder (Markvart, 1995). AM 1, güneşin zenitte (başucu noktasında) olması durumuna karşılık gelir. Diğer zamanlarda hava kütlesinin yeryüzündeki değeri 1 den büyüktür. Hava kütlesi atmosfer dışında AM 0 ile ifade edilir. Güneş ışınlarının yüzeyin normali ile 48° lik açı yaparak geldiği durumda ise AM 1.5 olarak alınır ve bu değer fotovoltaik modüllerin test edilmesinde kullanılır. Farklı hava kütleleri için yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı şekil 2. 4 de gösterilmektedir (Duffie J.A, 1991). Hava kütlesinin değeri arttıkça güneş ışınlarının alması gereken yol da artacağından ve dolayısıyla soğurulma da artacağından yeryüzüne ulaşan ışık şiddeti hava kütlesinin artan değerlerinde azalmaktadır.



Şekil 2. 4 Farklı bağıl hava kütleleri için yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı (Duffie,1991).

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım şiddeti güneşin yer ile yaptığı açı ile ilişkili olduğundan, herhangi bir anda güneşin hangi konumda olduğunun bilinmesi gerekir. Güneş yerdeki bir gözlemciye göre yıl içinde iki eksen üzerinde hareket eder. Şekil 2.5 kuzey yarımküre için güneşin mevsimsel ve günlük hareketlerini göstermektedir.



Şekil 2. 5 Kuzey yarımküre için güneşin mevsimsel ve günlük hareketleri

Güneşin yıllık ve günlük hareketleri, güneşin yükseklik açısı (γ_s) ve azimut açısı (α_s) yardımı ile matematiksel olarak modellenabilir ($\gamma_s=0$ güneşin ufuk çizgisinde, $\gamma_s=90^\circ$ güneşin zenit noktasında olduğu duruma karşılık gelir) (Chartrand, 1988).

Birim yüzeye gelen güneş ışınımının hesaplanabilmesi için güneşle doğrudan bağlantılı olan bazı temel açıların bilinmesi gerekir. Bu açılar ve aralarındaki ilişkiler aşağıda açıklanmıştır.

Enlem açısı (\emptyset) : Ekvator düzlemi ile göz önünde bulundurulmuş nokta arasındaki açıdır. Kuzey yarımkürede (+), güney yarımkürede (-) olarak kabul edilir.

Saat açısı (ω) : Göz önüne alınan yerin boylamıyla, güneşi dünyanın merkezine birleştiren doğru arasındaki açıdır ve her saat için 15° değişim gösterir. Saat açısı güneş öğlesinden önce ise (-), sonra ise (+) alınır. Güneş öğlesinde güneş saati 12'dir. Güneş öğlesinde yani güneş yüksekliğinin maksimum olduğu anda saat açısı sıfırdır (Beckmann, W.A. vd. 1997).

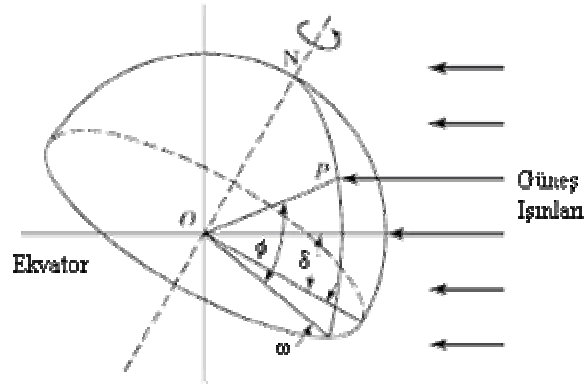
GS, güneş saati olmak üzere saat açısı $\omega = 15 (GS-12)$ ile verilir.

Güneş deklinasyon açısı (δ) : Dünyanın merkezi ile güneşin merkezini birleştiren doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Dünyanın kendi eksenini ile yörünge düzleminin normalini arasındaki $23,45^\circ$ lik açıdan dolayı meydana gelir. Yıl içerisinde $-23,45^\circ$ ile $+23,45^\circ$ arasında değerler almaktadır. Deklinasyon açısının gün içindeki değişimi $0,5^\circ$ den daha düşük olduğundan 1 gün boyunca deklinasyon açısı sabit kabul edilir (Uyarel vd,1987). Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi ;

$$\delta = 23,45 \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (2.1)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Burada n; 1 Ocak tarihinden itibaren 1 yıl boyunca geçen gün sayısını vermektedir (Iqbal,1983). Şekil 2. 6 da bu açılar gösterilmektedir.



Şekil 2. 6 Enlem, saat ve deklinasyon açılarının gösterimi (Ramsey,2003)

Güneş ışınımı hesaplamaları için bu üç temel açının yanında birkaç açı bağıntısına da ihtiyacımız olacaktır. Bunlar;

Zenit açısı (θ_z) : Direkt güneş ışınımı ile yatay düzlemin normalinin arasında kalan açıdır. Zenit açısı güneşin doğusunda ve batışında 90^0 iken ışınların dik geldiği durumda 0^0 dir.

Yükseklik açısı (γ_s) : Yatay düzlemle direkt güneş ışınımı arasında kalan açıdır.

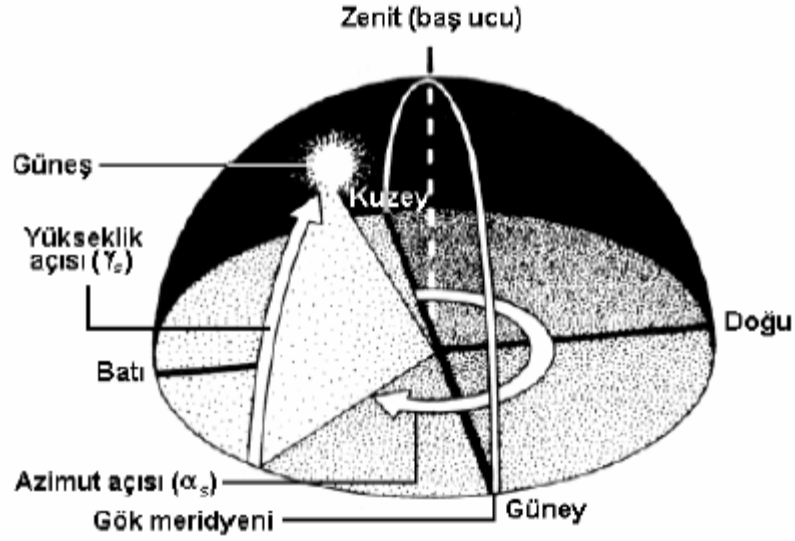
$\theta_z + \gamma_s = 90^0$ dir.

Güneş azimut açısı (α_s) : yatay düzlemde tam güney doğrultusu ile güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasında kalan açıdır.

Zenit açısı ;

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \omega \cos \delta + \sin \phi \sin \delta \quad \text{ile ifade edilebilir.}$$

$\theta_z + \gamma_s = 90^0$ olduğundan $\cos \theta_z = \sin \gamma_s$ yazılabilir. Bu açı değerleri şekil 2.7 de gösterilmektedir (Markvart., 1995).



Şekil 2. 7 Güneşin yükseklik ve azimut açılarının gök küre üzerinde gösterimi

Tanımlanan güneş açıları yardımıyla atmosferin dışındaki güneş ışınımı hesaplanabilir. Atmosfer dışındaki bir alana birim zamanda düşen ışınım enerjisi;

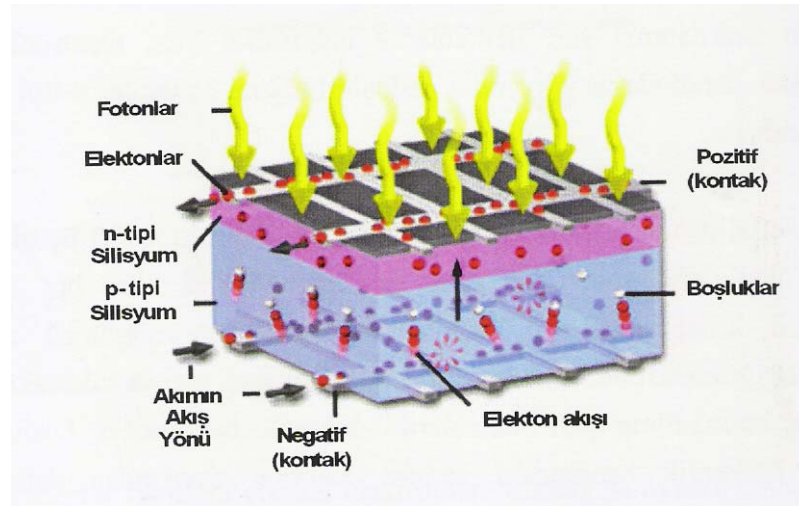
$$G_{on} = G_{sc} \left\{ 1 + 0,033 \cos \left[\left(\frac{2\pi d_n}{365} \right) \right] \right\} \quad (2.2)$$

ile verilir. Burada $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ güneş sabitini d_n de gün sayısını belirtmektedir. Atmosfer dışında yatay düzlem üzerine doğrudan gelen güneş ışınımı $B_0 = G_{on} \cos \theta_z$ ifadesi ile verilir.

Fotovoltaik sistem uygulamalarında güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için modüller belirli bir eğim açısı verilerek tasarlanırlar. Dolayısıyla eğimli yüzey üzerindeki güneş ışınımı daha fazla öneme sahiptir. Eğimli bir yüzeye gelen doğrudan ışınım $B_\beta = \tau_{atm} B_{0\beta}$ şeklinde ifade edilir. Burada $B_{0\beta}$ eğimli yüzey üzerine doğrudan gelen atmosfer dışı güneş ışınımını, τ_{atm} de yatay yüzeye doğrudan gelen güneş ışınımının atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınımına oranıdır.

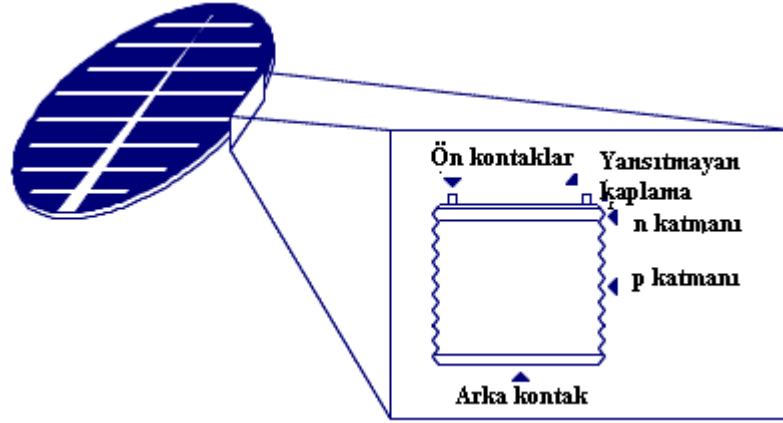
2.2 GÜNEŞ GÖZESİNİN YAPISI VE ÇALIŞMASI

Güneş gözeleri güneş-elektrik çevriminin kalbi olup optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemedен yapılmış diyodlardır. Güneş ışınları yarıiletken malzemenin üzerine düştüğünde, güneş gözesinin yapısını oluşturan malzemenin yasak enerji aralığına (E_g) eşit yada büyük enerjili fotonlar soğrulur ve enerji çevrimine katılır. Fotonun soğrulması sonucu meydana gelen elektron-boşluk çiftinin yoğunluğu azınlık taşıyıcısı yoğunluğundan fazla, çoğunluk yük taşıyıcılarının yoğunluğundan azdır. p-n eklem diyodun eklem bölgesindeki elektrik alan nedeniyle, p-tipi yarı-iletkende üzerine ışık düşmesi sonucu iletkenlik bandına çıkarılmış ve boşaltılmış bölge sınırına ulaşmış azınlık taşıyıcıları elektronlar, hızla n-tipi bölgeye çekilirler. Aynı yaklaşımla, n-tipi bölgede elektronların iletkenlik bandına geçmesi ile değerlik bandında kalan azınlık taşıyıcıları boşluklar boşaltılmış bölgenin kıyasına ulaştıklarında p-tipi bölgeye geçerler. Bu biçimde birbirlerinden ayrılmış elektronlar ve boşluklar, bir dış devre üzerinden birleştirildiğinde, dış devre elemanlarından akan elektriksel yükler, doğrudan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin kaynağıdır (Oktik,1999). Güneş gözesinin çalışma prensibi şekil 2. 8 de verilmektedir.



Şekil 2.8 Güneş gözesinin çalışma prensibi (micro.magnet.fsu.edu)

Güneş gözesinden daha fazla verim alabilmek için göze üzerine düşen ışığın yansımalarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Bunun için yüzey yansıtma bir tabaka ile kaplanmıştır. Bir güneş gözesinin içerdiği kısımlar ve bu kısımların sıralanışı güneş gözesinin yan tarafından kesit alınarak şekil 2. 9 da gösterilmiştir.



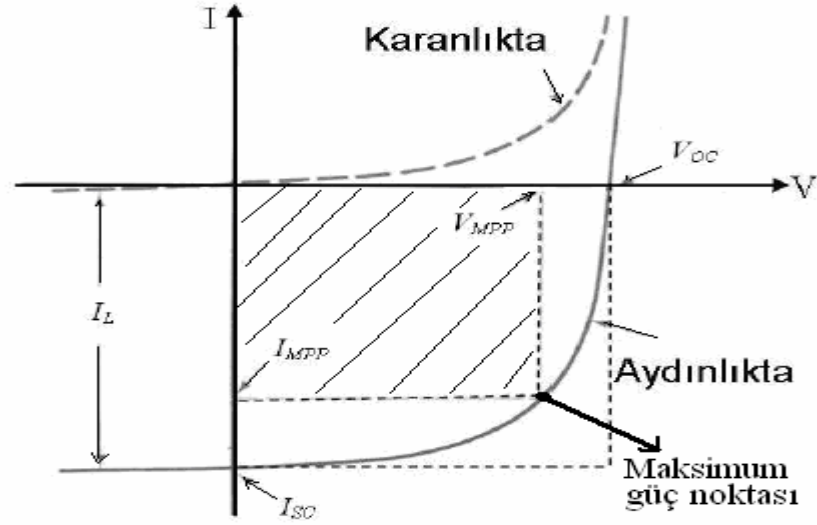
Şekil 2. 9 Güneş gözesinin yapısı.

Güneş gözesinin üzerine ışık düştüğü zaman oluşacak fotovoltajik akım I_l ile gösterilir ve diyodun karanlıktaki akım-gerilim eğrisinden akım I_l kadar aşağıya iner, yani devreye bir akım kaynağı ilave edilmiş olur. Böylece devrenin toplam akımı diyod akımı ile fotovoltajik akım arasındaki farka eşit olur ve

$$I = I_s \left(\exp \frac{qV}{nkT} - 1 \right) - I_l \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilir. Burada; V uygulanan gerilim değerini, I_s karanlık doyma akımı e elektronun yükünü, k Boltzman sabitini, T Kelvin cinsinden güneş gözesinin çalışma sıcaklığı ve n idealite faktörünü temsil etmektedir (Neamen, 1992).

Güneş gözesinin karanlık ve aydınlıktaki akım-gerilim karakteristiği şekil 2.10'da gösterilmektedir (Green, A.M.,1982).



Şekil 2.10 Bir güneş gözesinin karanlıkta ve aydınlıkta akım-gerilim karakteristiği

Akım-gerilim eğrisinde dört önemli parametre vardır. Bunlar kısa devre akımı, I_{sc} , açık devre gerilimi, V_{oc} , dolgu çarpanı, FF ve güneş gözesinin enerji çevrim verimidir ki η ile gösterilir. Bir güneş gözesinin performansı kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası ve dolgu çarpanı ile açıklanır.

Kısa devre akımı I_{sc} ; devrenin uçları arasındaki potansiyel farkı sıfır ($V=0$) olduğunda devreden geçen akımdır. Kısa devre akımı fotovoltaik akıma yaklaşık eşittir ($I_{sc}=I_l$) ve yüzeye gelen ışığın spektrumu ile orantılıdır.

Açık devre gerilimi V_{oc} ; akımın olmadığı durumda ($I=0$) devrenin uçları arasında ölçülen gerilimdir. Açık devre gerilimi

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_l}{I_s} + 1\right) \quad (2.4)$$

formülü ile hesaplanabilir (Markvart T, 1994).

Bir güneş gözesinden elde edilebilecek güç akım ve gerilim değerlerinin çarpımına eşittir. Aydınlıkta güneş gözesinin şekil 2.10 da gösterildiği gibi maksimum güç noktasında $I \times V$ en büyük değerini alır ve grafikteki taralı alan da P_m değerine eşittir. Şekildeki I_{MPP} ve V_{MPP} ifadeleri maksimum güç noktasındaki en

yüksek akım ve en yüksek gerilim değerlerini göstermektedir. V_{oc} ve I_{sc} değerlerinde sistemden herhangi bir şekilde güç elde edilemez.

Dolgu çarpanı FF ; maksimum güç noktasında eğrinin altında kalan alanın $V_{oc} \times I_{sc}$ çarpımıyla elde edilen alana oranı olarak ifade edilir ve

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (2.5)$$

ile tanımlanır.

Bu değer 1'den küçüktür ve ideal bir güneş gözesi için 0,70 – 0,85 arasında bir değer alır.

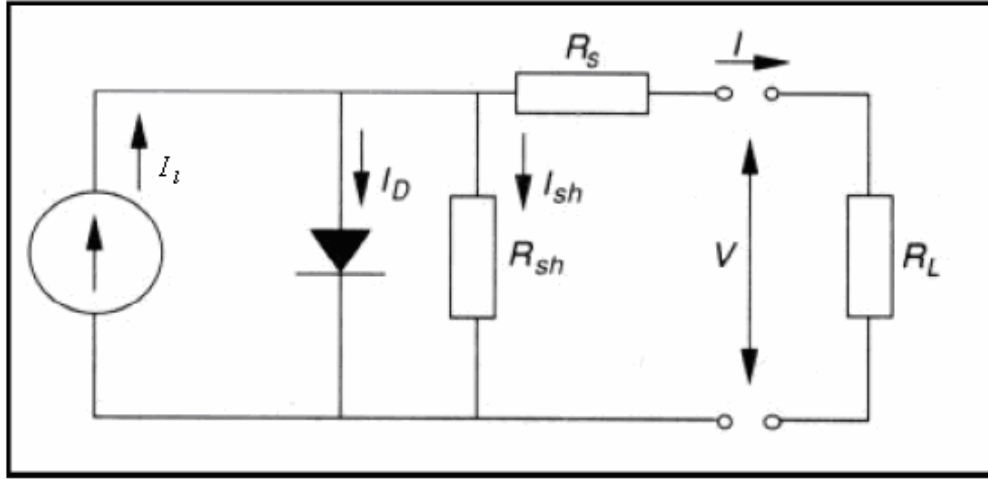
Verimlilik η ; güneşten gelen enerjinin elektrik enerjisine hangi oranda dönüştürüldüğünü gösterir. Güneş gözesinin verimliliği maksimum güç noktasındaki gücün güneş gözesi üzerine düşen ışığın gücüne oranı olarak tanımlanır ve

$$\eta = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{G \times A} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada P_{in} güneş gözesi üzerine düşen güneş ışığının gücünü, A modülün nominal alanını ve G modül yüzeyi üzerine gelen güneş ışınım değerlerini göstermektedir (Green, A.M.,1982).

2.3 FOTOVOLTAİK MODÜLÜN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİĞİ

Güneş gözeleri elektronik bir devrede akım kaynağı olarak kabul edilebilir. Şekil 2.11’de bir güneş gözesinin veya birkaç güneş gözesinin birleşmesiyle oluşturulmuş bir modülün eşdeğer devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Bir güneş gözesinin veya modülün basitleştirilmiş elektronik devresi

Böyle bir devreden geçen akımın tespit edilebilmesi için beş önemli parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler ; I_l ışıkla üreyen akım (fotovoltaik akım), I_s karanlık doyma akımı, R_s seri direnç, R_{SH} veya R_p paralel direnç ve α düzeltilmiş idealite faktörü olarak adlandırılan bir katsayıdan oluşmaktadır. Düzeltilmiş idealite faktörü; N_{CS} seri bağlı güneş gözesi veya modül sayısı, n diyot idealite veya kalite faktörü, k_B Boltzmann sabiti, q elektron yükü, T_C Kelvin olarak etkin güneş gözesi sıcaklığı olmak üzere $\alpha = N_{CS} n k_B T_C / q$ olarak hesaplanmaktadır (Duffie,1991).

Kirchhoff'un akım kuralına göre seçilen herhangi bir noktada devreden geçen akım için; I_l güneş gözesinde ışıkla üreyen akımı; V sürülen R_L yükü üzerine düşen gerilimi, I_D diyot akımını, I_{SH} kaçak akım olmak üzere devreden geçen akım için;

$$I = I_l - I_D - I_{SH} \quad (2.7)$$

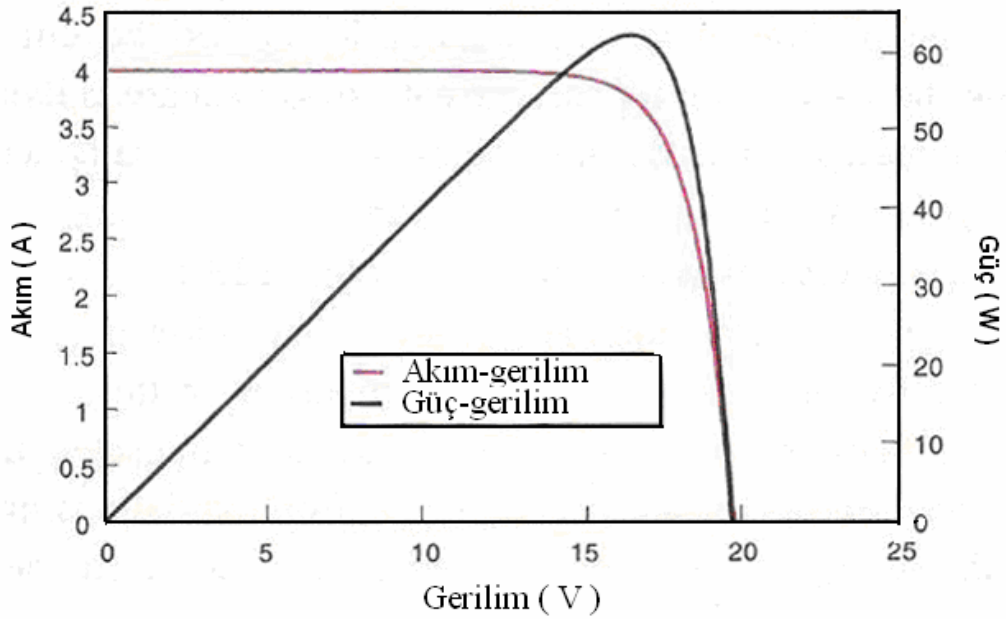
yazılabilir. I_D diyot akımı ve paralel direnç üzerinden geçen I_{SH} kaçak akımı denklem 2.7’de yerine koyularak devreden geçen akım için;

$$I = I_l - I_s \left\{ \exp \left[\frac{(V + IR_s)}{\alpha} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (2.8)$$

ifadesi elde edilir.

Burada I_s karanlık doyma akımıdır (Schröder,1990). Bu ifadedeki üçüncü terim sızıntı akımı olarak adlandırılır ve paralel direncin çok büyük olması durumunda ihmal edilebilir.

Bir modülün I-V karakteristiği modülü oluşturan güneş gözelerinin I-V karakteristiğine benzemektedir. Şekil 2.12’de bir modülün akım-gerilim ve güç-gerilim ilişkisi verilmektedir. Güneş gözesinin çalışma sıcaklığı yada ışık şiddeti değiştikçe bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalacak şekilde akım, gerilim ve dolayısıyla güç değerleri de değişir (Hill,2001).



Şekil 2.12 PV bir modülün akım-gerilim ve güç-gerilim ilişkisi

Güneş gözeleri üretici firmalar tarafından standart test koşulları (25°C güneş gözesi sıcaklığı, 1000 W/m^2 ışık şiddeti ve hava kütlesi AM:1,5 ;STC) altında ürettikleri güçlere göre piyasaya sürülmektedirler. Çalışma koşullarında ise daha düşük ışık şiddetleri görülebilmekte, güneş gözelerinin sıcaklıkları da STC daki

değerin üzerine çıkabilmektedir. Bunun yanında güneş gözelerinin sadece STC altındaki parametreleri verilmektedir. Çalışma koşullarında bu parametrelerdeki değişim güneş gözelerinin performansını doğrudan etkilemektedir. Güneş gözelerinin performansını etkileyen parametreleri iç parametreler ve dış parametreler olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz. *İç parametreler* ; bir güneş gözemesinin akım-gerilim karakteristiğinde belirtilen kısa devre akımı, açık devre gerilimi, seri direnç, paralel direnç ve dolgu faktörü şeklinde sıralanabilir. *Dış parametreler* ; güneş ışığının yoğunluğu, spektral dağılımı, bulutluluk, hava kütlesi ve nem gibi atmosferik koşullardır.

Işık şiddeti ve ortam sıcaklığı fotovoltaiik modülün yada fotovoltaiik bir sistemin performansını etkileyen iki önemli parametre olarak öne çıkmaktadır. Şekil 2.13'de tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisinin modül sıcaklığı ile değişimi gösterilmektedir.

Sıcaklık fotovoltaiik modüllerin çıkış parametrelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bir PV modülün karanlıktaki doyma akımının; E_g kullanılan malzemenin band aralığı olmak üzere sıcaklığa bağımlılığı

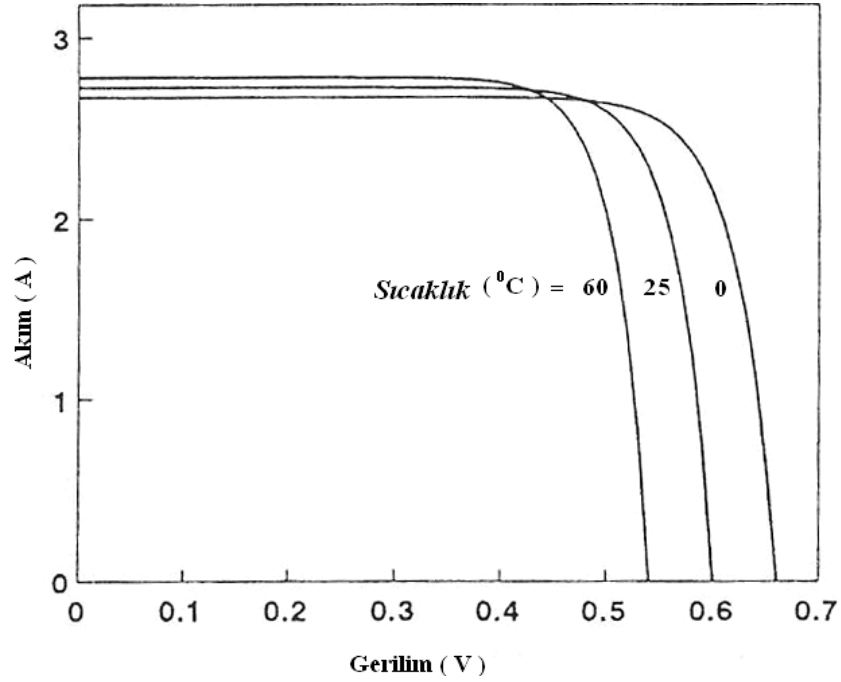
$$I_s = I_{s,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \times \exp \left[\left(\frac{qE_g}{nk} \right) \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2.9)$$

ile verilmektedir. Burada $I_{s,ref}$ referans alınan durumdaki karanlık doyma akımı, $T_{c,ref}$ referans alınan durumdaki güneş gözemesi sıcaklığını göstermektedir.

Artan sıcaklık PV modülün I_{sc} akımını artırırken gerilimi de azaltacak şekilde bir etkide bulunmaktadır. Sıcaklığın açık devre voltajına etkisi γ I_{sc} nin matematiksel ifadesinde sıcaklığa bağımlı üstel bir terim olmak üzere

$$\mu_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{dT} = - \frac{(E_g / q) - V_{oc} + \gamma(kT / q)}{T} \quad (2.10)$$

olarak ifade edilir. Burada μ_{voc} açık devre geriliminin sıcaklık katsayısıdır (Green, A.M., 1982). Silisyum kristalinden yapılmış bir güneş gözesi için bu değer -2,3 mV/K olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 2.13 Tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisinin modül sıcaklığı ile değişimi(Markvart, 1999)

Şekil 2.13'den de görüleceği gibi çalışma sıcaklığının artması modülün çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklıkla kısa devre akımı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Ancak sıcaklık artışının asıl etkisi gerilim üzerinde görülmektedir. Akım ve gerilimdeki bu değişimler doğrudan modülün çıkış gücünü de olumsuz etkilemektedir (Markvart,1999). Ortam sıcaklığının yüksek olması modülün çalışma sıcaklığını da artıracığından güneş enerjisinin termik uygulamalarının tersine güneş gözeleri için soğuk ortamlar daha uygundur.

Işık şiddetindeki değişimlerin modülün akım-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 2.14'de gösterilmektedir. Açık devre gerilimi güneş gözesinin veya modülün kısa devre ve karanlık doyma akımına logaritmik olarak bağlı olduğundan, artan ışık şiddetiyle açık devre geriliminin değeri de akımdaki değişime göre daha yavaş

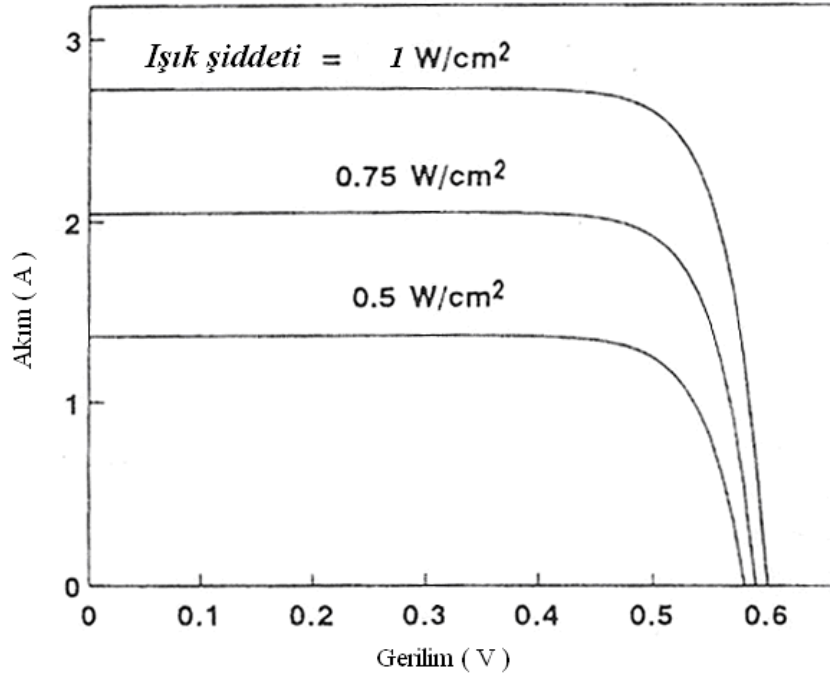
artmaktadır. Akım ve gerilimdeki bu artış modülün çıkış gücüne olumlu bir şekilde yansımaktadır (Markvart, 1999).

κ bir katsayı, G_{eff} yüzeye gelen ışığın enerjisini göstermek üzere kısa devre akımının ve açık devre geriliminin ışık şiddetiyle olan değişimi;

$$I_{SC} \cong I_L = \kappa G_{eff} \quad (2.11)$$

$$V_{OC} = \alpha \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} \right) = \alpha \ln \left(\frac{\kappa G_{eff}}{I_s} \right) \quad (2.12)$$

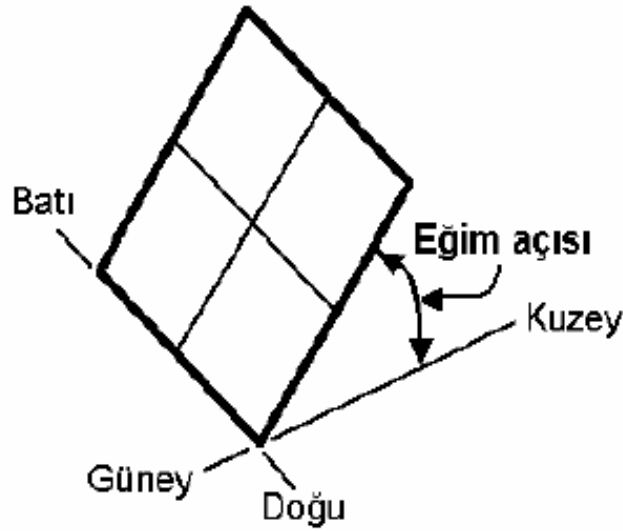
şeklinde ifade edilebilir (Lasnier, 1990). Denklem 2.11 ve 2.12 den de görüldüğü gibi kısa devre akımı ışık şiddeti ile doğru orantılı, gerilim ise ışınımına logaritmik olarak bağlıdır. Dolayısıyla MPP (maksimum güç noktası) yaklaşıkça aynı gerilimde oluşur.



Şekil 2.14. Işık şiddetindeki değişimin tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi (Markvart, 1994).

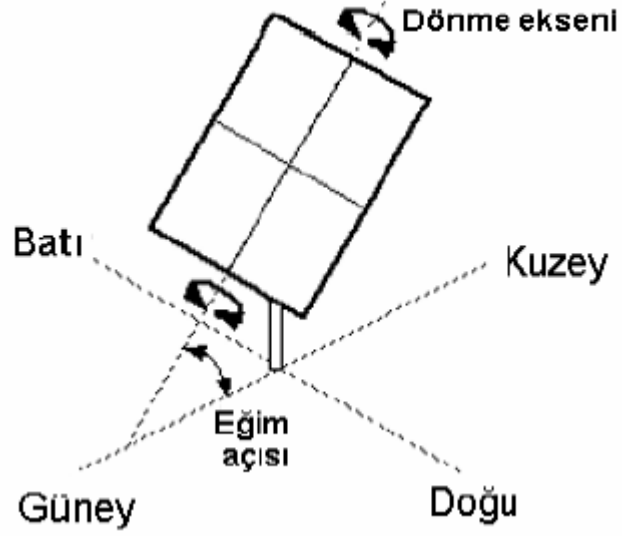
2.4 FOTOVOLTAİK MODÜLLERİNİN YERLEŞTİRİLMESİ

Fotovoltaik modüllerin doğru yerleştirilmesi, sistemden maksimum verim alabilmek için önemlidir. Bu amaç doğrultusunda güneş ışınlarının modül yüzeyine dik gelmesi sağlanmalıdır. Düzlemsel güneş modüllerinin yerleőtirilmesinde üç durum söz konusudur. Bunlardan birincisi, modülün sabit bir eğim açısıyla güney-kuzey doğrultusu üzerine yerleőtirildiđi durumdur (Şekil 2.15). Bu sistemlerde maksimum enerji elde etmek için eğim açısı modülün kurulduğu bölgenin enlem açısına yakın seçilir.



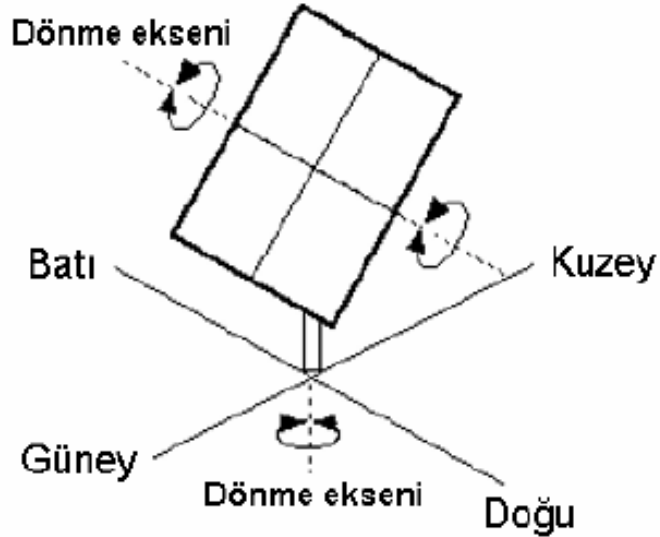
Şekil 2.15 Fotovoltaik bir modülün sabit bir açıda yerleştirilmesi (kuzey yarımküre ülkeleri için).

İkinci durum modüllerin güney-kuzey doğrultusu üzerine sabit bir açı yaparak ve doğu-batı doğrultusunda hareket ederek güneşin konumunu izleyecek şekilde yerleőtirilmesidir (Şekil 2.16). Bu sistemler güneőü tek eksenle izleyen sistemler olarak da bilinmektedir. İzleyici sistemler PV modülün gün içerisinde güneş ışınlarına daha fazla maruz kalmasını sağlar. Gün içerisinde güneş sürekli takip edildiğinden modülün performansını düşüren gölgeleme etkileri de ortadan kalkmaktadır. İzleyici sistemler sabit eğimli sistemlere göre daha maliyetli ve karmaşıktır.



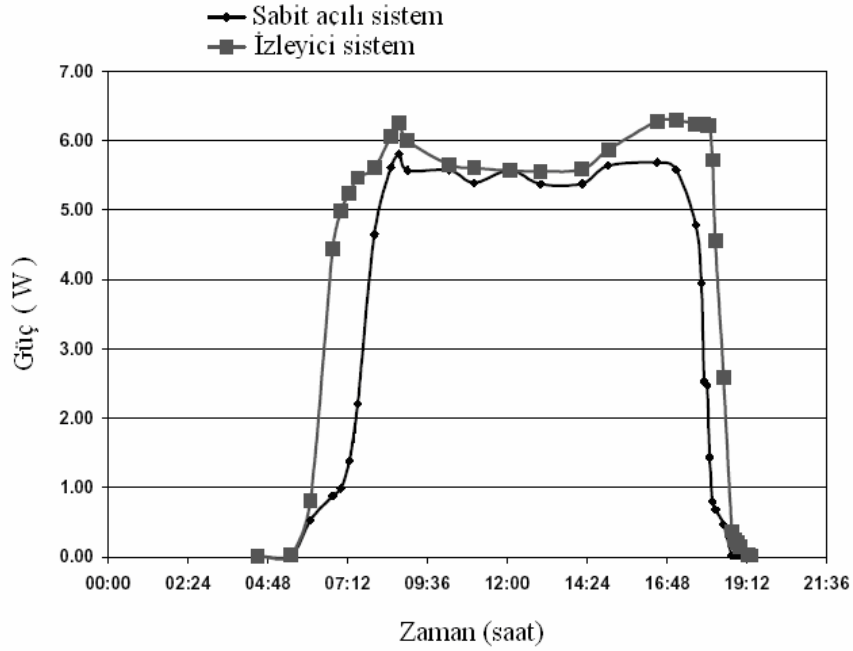
Şekil 2.16 Güneşi tek eksenle izleyen fotovoltaik bir modülün yerleşim şeması.

Üçüncü durum ise; modüllerin iki eksenle de hareketli olarak güneşi izledikleri durumdur (Şekil 2.17). Bu sistemler de güneşi iki eksenle izleyen sistemler olarak bilinir. Tek eksenli izleyici sistemler güneş ışınlarını doğu-batı yönünde takip ederken, iki eksenli izleyici sistemler buna ilave olarak güneşin değişen yükseklik açısını da izlemektedir (Al-Mohamad, 2004).



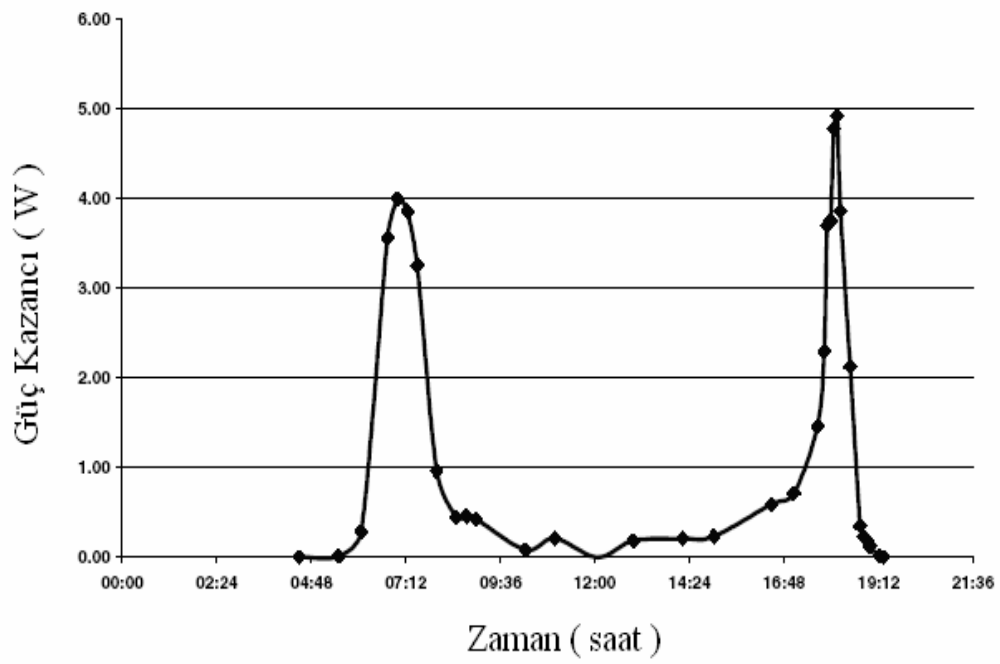
Şekil 2.17 Güneşi iki eksenle izleyen fotovoltaik bir modülün yerleşim şeması.

Yönelimi sabit bir modülle iki eksenle güneş ışınlarını izleyen bir modüle gelen enerjiler arasında %37'lik bir fark olduğu görülmüştür (Messenger, R., Ventre, J., 2003). Şekil 2.18 de polikristal bir modülün sabit eğim açılı ve tek eksenle izleyici durumunda gün içerisinde ürettiği güç değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Polikristal bir modülün sabit eğim açılı ve tek eksenli izleyici durumunda ürettiği güç (Al-Mohamad,2004).

Her iki sistem de saat 10:00-14:30 arasında yaklaşık aynı değerde güç üretmektedir. Çünkü bu saatler arasında iki sistemde de güneş ışınları PV modüle aynı açı ile gelmektedir. Ancak sabah ve öğleden sonra izleyici sistem güneşi takip ettiği için sabit açılı sisteme göre daha fazla güç üretmektedir. Örneğin saat 07:12 de sabit açılı sistemde PV modül 1,5 W güç üretirken, izleyici sistem 5,5 W güç üretmektedir. Saat 12:00 de ise her iki sistemde modülün 5,8 W güç ürettiği görülmektedir. Şekil 2.19 da izleyici sistemden elde edilen güç kazancı gösterilmektedir. Şekil 2.19 da görüldüğü gibi sistemden elde edilen en yüksek güç kazancı (5 W) saat 19:00 da gerçekleşmiştir.

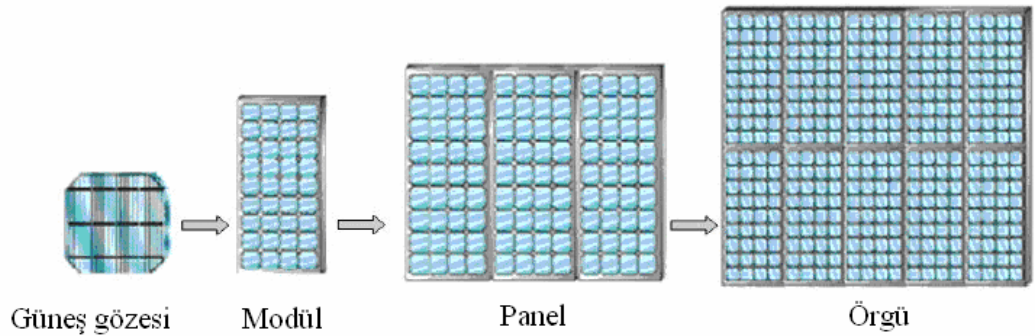


Şekil 2.19 Gün içerisinde izleyici sistemden elde edilen güç kazancı (Al-Mohamad,2004).

2.5 FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİ

Bir fotovoltaik sistem üç temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar fotovoltaik güç üreteçleri, güç izleme-kontrol ünitesi ve sistemde depolamaya ihtiyaç var ise akülerdir. Güneş gözelerinin birbirine bağlanmasıyla fotovoltaik modüller, modüllerin birbirine bağlanmasıyla da paneller elde edilir. Son olarak da panellerin uygun şekilde istenilen akım ve gerilim değerlerine göre birbirine bağlanmasıyla fotovoltaik örgü elde edilerek diğer çevirici (AC/DC) elemanların da örgüye bağlanmasıyla fotovoltaik güç sistemi oluşturulmuş olur. Güneş gözesinden fotovoltaik örgüye giden bu şekillenim şekil 2. 20 de gösterilmektedir (Oktik, 1999).

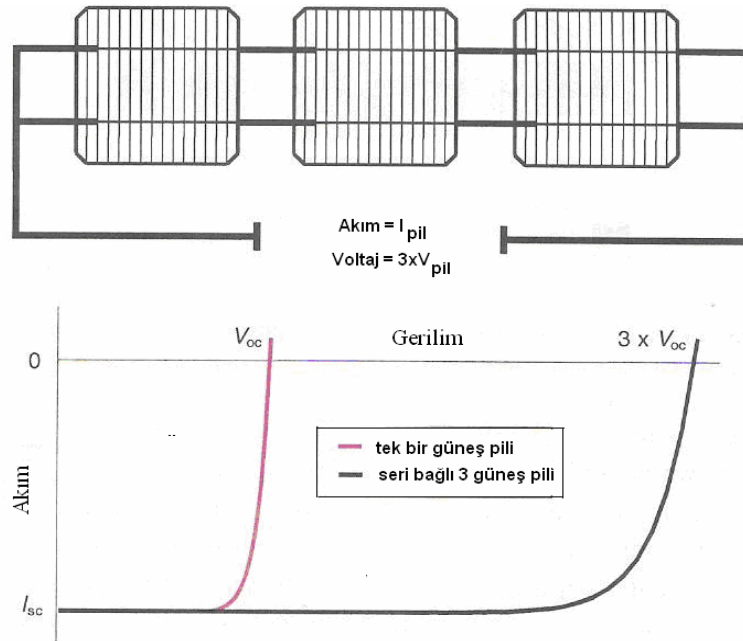
Standart test koşullarında (STC; 1000 W/m^2 güneş ışınımı, AM 1,5 spektral dağılımı ve 25°C güneş gözesi sıcaklığı) tek kristal silisyum bir güneş gözesinden 2-2,5 A akım ve 0,5-0,6 V arasında gerilim elde edilmektedir. Bu akım ve gerilim değerleri birçok elektronik uygulama için yeterli değildir. İstenilen akım ve gerilim değerlerine göre güneş gözeleri birbirine elektriksel olarak bağlanarak 30-340 W güce sahip fotovoltaik modüller elde edilir. Bir araya getirilen güneş gözelerinin ön yüzlerinde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip cam ve arka yüzlerinde de EVA (ethelene vinly acetate) kullanılarak laminasyon teknolojisiyle birleştirilir.



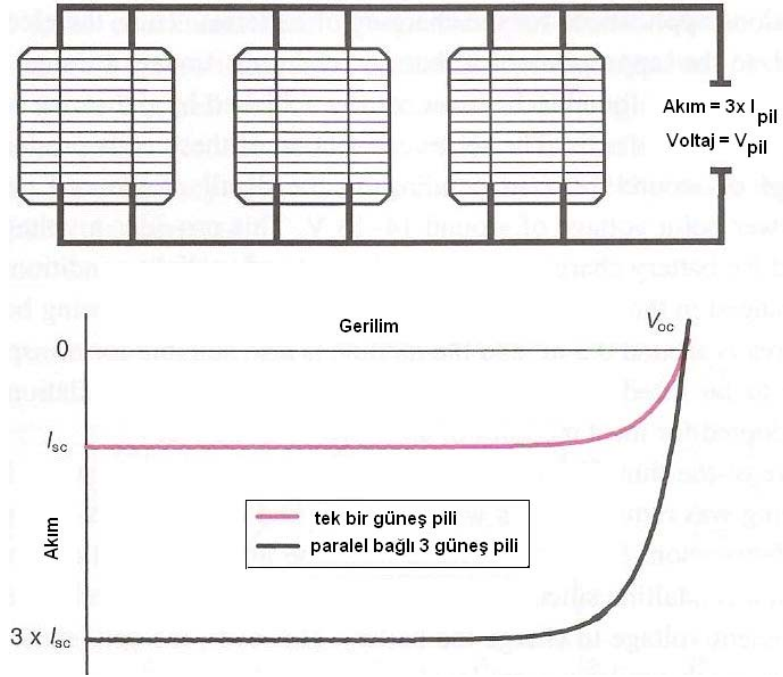
Şekil 2.20 Tek bir güneş gözesinden örgüye kadar olan fotovoltaik güç üreteçlerindeki şekillenimi.

Ayrıca camı korumak, oluşturulan sistemi kolay kullanılabilir hale getirmek ve sağlam bir yapıya kavuşturmak için modül metal bir çerçeve içerisine yerleştirilir (Robert,1991).

Güneş gözelerinin birbirine elektriksel olarak seri veya paralel bağlanması oluşturulmak istenilen sisteme göre belirlenir. Yüksek gerilim değerleri elde etmek için güneş gözeleri elektriksel olarak birbiriyle seri olarak bağlanır. Şekil 2.21a 'da üç güneş gözesi birbirine seri bağlanmıştır. Sistemden elde edilen akım bir tek güneş gözesinden elde edilen akıma eşitken, toplam gerilim $3 \times V_{pil}$ olarak ifade edilir. Benzer şekilde yüksek akım değerleri elde etmek için güneş gözeleri şekil 2.21b 'deki gibi birbirine paralel bağlanır. Sistemden elde edilen akım değeri $3 \times I_{pil}$ ve gerilim değeri de V_{pil} olacaktır (Hill, 2001).

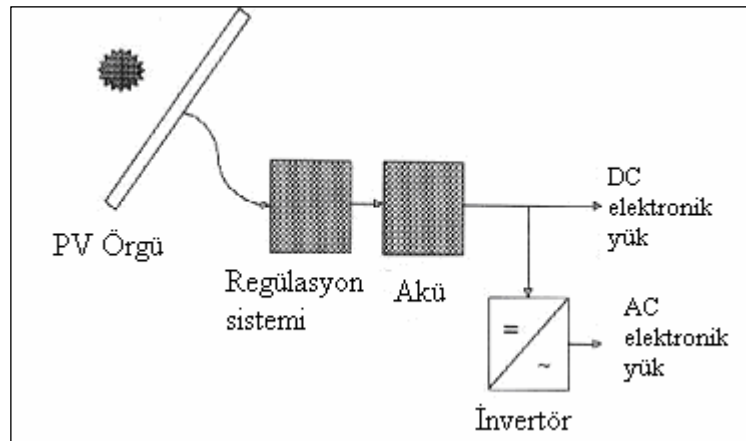


Şekil 2. 21a Güneş gözelerinin seri bağlanması ve oluşan I-V karakteristiği (Hill, 2001).



Şekil 2.21 b Güneş gözelerinin paralel bağlanması oluşan I-V karakteristiği (Hill, 2001).

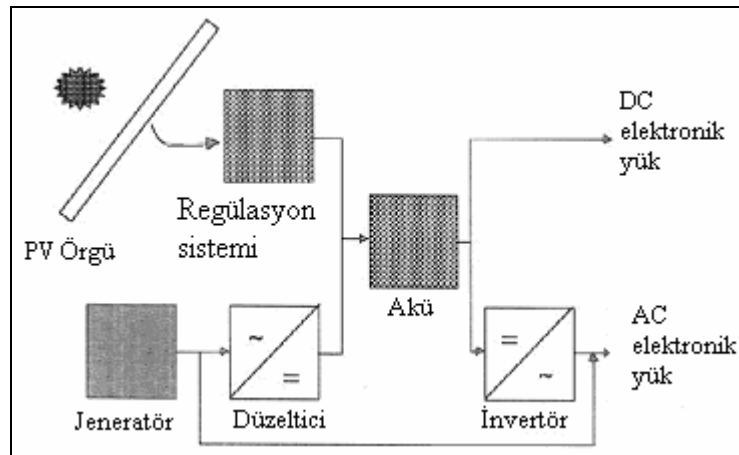
Fotovoltaik sistemler kullanım alanlarına göre şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Şekil 2.22’de şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemin kısımları gösterilmektedir. Sistem PV örgü, regülasyon sistemi, akü ve invertörden oluşmaktadır.



Şekil 2.22 Şebekeden bağımsız fotovoltaik bir sistemin şematik gösterimi (Hill,2001)

Bu sistemler özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde, jeneratörle yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda yada özellikle geceleri kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulur. Güneş gözeleri gün boyunca güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Elde edilen elektrik enerjisi akülerde depolanır ve yüke gerekli olan enerji akülerden sağlanır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olmasını önlemek için kullanılan regülasyon sistemi akünün durumuna göre ya güneş gözelerinden gelen akımı keser yada yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda sisteme bir invertör eklenerek aküdeki DC gerilim 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Bazı sistemlerde güneş gözelerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı (Maksimum Power Point Tracker MPPT) bulunur (Hill,2001).

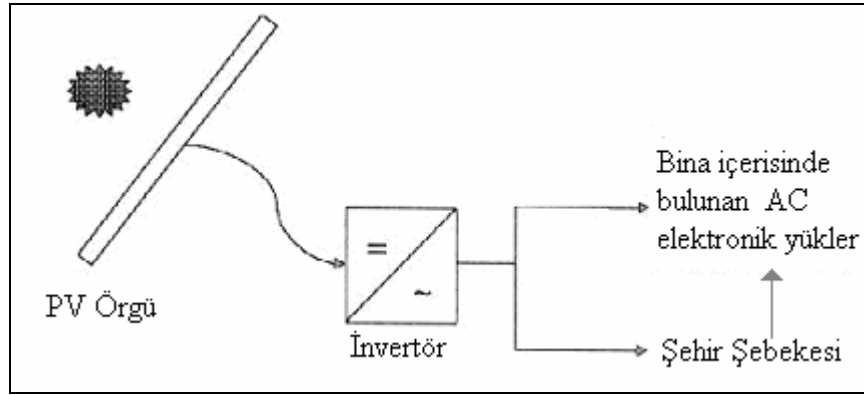
Şebekeden bağımsız sistemler güneş enerjisinin yeterli olmadığı veya PV örgü tarafından akülerin yeteri kadar beslenemediği durumlarda Şekil 2.23'da gösterildiği gibi rüzgar tribünleri, dizel jeneratörler gibi yardımcı güç kaynakları ile birlikte kullanılabilir. Bu tür sistemlere Hibrit (hybrid) sistemler denir (Hill, 2001).



Şekil 2.23 Hibrit sistemlerin şematik diyagramı (Hill,2001).

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler yüksek güçte-santral boyutunda sistemler olabileceği gibi daha çok görülen binaya entegre fotovoltaik (Building Integrated

Photovoltaic) uygulamalardır. Şekil 2.24’de şebeke bağlantılı bir sistemin şematik diyagramı verilmektedir.



Şekil 2. 24 Şebeke bağlantılı fotovoltaik bir sistemin şematik diyagramı

Bu sistemlerde bir konutun elektrik ihtiyacı karşılanırken, üretilen fazla elektrik enerjisi şebekeye verilir. Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolamaya gerek yoktur, üretilen DC elektriğin AC elektriğe dönüştürülmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

2.5.1 İNVERTÖRLER (DÖNÜŞTÜRÜCÜLER)

Fotovoltaik sistemlerin en önemli kısmı olan güneş gözeleri DC elektrik enerjisi üretirler. Sistemde üretilen doğru (DC) akımı alternatif akıma (AC) çeviren elektronik cihaz invertördür. İnvertörler de PV sistemler gibi şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Şebekeden bağımsız invertörler şehir şebekesinin elektriksel parametrelerinden bağımsız olarak PV sistemin elektrik üretiminin bir parçası olarak çalışırlar. Şebekeye bağlı invertörler ise şehir şebekesinin gerilim ve frekans değerlerine bağlı olarak çalışmaktadır. Şebekeden bağımsız invertörler PV örgüden gelen DC güce göre aktif hale gelerek enerji dönüşümünü gerçekleştirirler. İnvertör girişi PV sistemin tasarımına, istenilen çıkış karakteristiğine ve invertör tipine bağlı olarak değişir. Şebekeden bağımsız invertörler 12, 24, 48 V, şebekeye bağlı invertörler ise 110 V değerinden yüksek bir

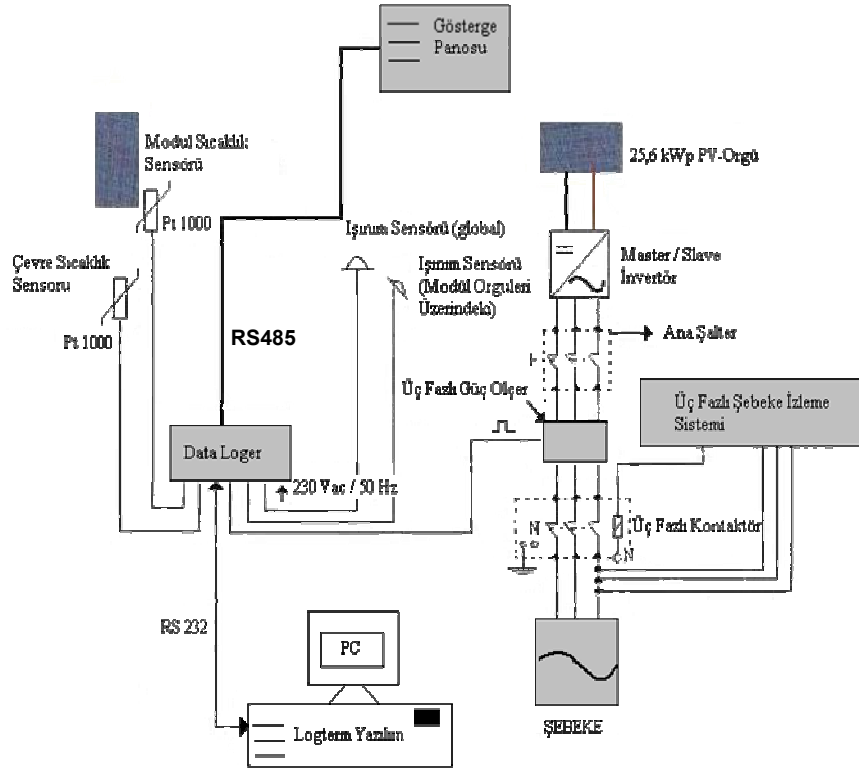
giriş gerilim değerine sahiptir (Strong, 1993). Bir invertörün çıkışının ise; sabit gerilim, kararlı bir AC frekans ve sinüs eğrisine yakın bir dalga şekli olmalıdır. İnvvertörün çıkış gücünün giriş gücüne oranı o invertörün verimliliğini ifade etmektedir. Bir PV sistemde kullanılacak invertör mümkün olduğu kadar yüksek bir ortalama verime sahip olmalıdır. İnvvertörün giriş gücü sistemin ürettiği güce bağlı olarak değişmektedir. PV örgününün ürettiği güç değeri, güneş ışınımı şiddeti, güneş ışınlarının örgü üzerine geliş açısı ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olduğundan üretilen enerji gün içerisinde sürekli değişmektedir. Dolayısıyla sistem ancak küçük bir zaman dilimi içerisinde tam kapasiteyle çalışabilmektedir. Bu nedenle PV sistemin boyutu ile kullanılan invertörün boyutu uyumlu olmalıdır (Lasnier, 1990). Şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda invertörün şebekeye enerji aktarımını sürdürmesi en büyük sorundur. Bu sorunu önlemek için şebekenin gerilim ve elektriksel parametrelerinin normal değerlerinin üzerinde yada altında sistemin şebeke ile olan bağlantısını kesen yüksek-düşük voltaj ve frekans röleleri kullanılır (Ropp.M.E vd, 1999). Güneşin olmadığı veya sınırlı olduğu durumlarda şebekeye bağlı invertörler otomatik olarak kendisini devre dışı bırakır. Güneş ışınımının yeterli olduğu durumda tekrar şebekeye güç aktarılmaya başlanır. Değişen sistem parametrelerine(güneş ışınımı şiddeti, sıcaklık) karşı invertörün daha yüksek verimde çalışması ve daha fazla DC enerjinin AC enerjiye dönüşümünü sağlamak için invertörlerde maksimum güç noktası izleyicileri (Maksimum Power Point Tracker, MPPT) kullanılır. Bu özellik PV panelden tüm koşullarda maksimum verim elde edilmesini sağlar. Maksimum güç noktası izleyicili sistemlerin PV panelin her zaman maksimum güç üretecek noktada çalışmasını temin etmesinden dolayı çalışma performansları yüksektir (Zaki ve Eskandar,1996).

3. DENEYSEL YÖNTEM

Şebekeye bağlı binaya entegre standart test koşulları altında 25,6 kW_p kurulu güce sahip “Türk Evi” fotovoltaik güç sistemi dört temel kısımda incelenebilir.

- I. Fotovoltaik sistemlerin temel bileşenleri olan PV modüller
- II. PV sistemlerden elde edilen DC enerjinin AC enerjiye dönüştürülmesinde ve enerjinin şebekeye aktarılmasında kullanılan ve sistem dengeleme birimi olan invertörler
- III. PV sistemin şebekeye bağlantısında önemli rolü olan şebeke izleme üniteleri ve koruma üniteleri
- IV. PV sistemin performansının değerlendirmesinde kullanılan ölçüm sistemi

Sistem 37° 13' enlem ve 28° 22' boylam derecelerine sahip, deniz seviyesinden 646 metre yükseklikteki Muğla'da kurulu olan Muğla Üniversitesindeki 18° eğim açısına sahip Türk Evi çatısının yaklaşık 290 m² alana sahip güney batıya bakan kısmına yerleştirilmiştir. Sistemi oluşturan tüm bileşenlerin temel şeması şekil 3.1'de verilmektedir. Sistemin çalışmasını özetlemek gerekirse; birbirinden bağımsız 15 gruptan meydana gelen toplam 214 adet çoklu (poli) kristal silisyum yapısına sahip fotovoltaik modüllerin oluşturduğu 25,6 kW_p kurulu DC güç değeri, 15 adet invertöre iletilmektedir. Burada her bir grup 1 adet invertöre sahip olmaktadır. İnvvertörler içerisinde yönetici rolü oynayan 6 adet Master tipi invertörlere şebeke hattı bağlanarak, PV örgüden gelen DC güç AC güce çevrilmektedir. Elde edilen AC güç şebeke hattı üzerinden tekrar, şebekeye aktarılmaktadır. Şebeke ile invertörler arasında şebeke izleme ünitesi oluşturularak şebeke içerisinde meydana gelebilecek yüksek şebeke frekansı ve gerilim değerleri engellenmektedir. İnvvertörlerden elde edilen AC enerji üç fazlı enerji sayacına bağlanmakta ve bu enerji değeri bu sayaç içerisinde kare dalgaya dönüştürülerek data logger'a iletilmektedir.



Şekil 3.1 Sistemin temel şeması

Ayrıca çevre sıcaklığını, modül sıcaklığını, yatay düzlemdeki ışınımı ve modül üzerindeki ışınımı ölçen sensörler bu data logger'a bağlanmaktadır. Data logger da depolanan bu değerler RS 232 arayüzey portu kullanılarak Log Term programı sayesinde sistem ile ilgili veriler PC'ye kaydedilmektedir. Data Logger üzerinde bulunan RS 485 portu ile sistemin anlık ve çalışmaya başlamasından itibaren elde edilen değerler Türk Evi içerisinde bulunan gösterge panolarına iletilmektedir.

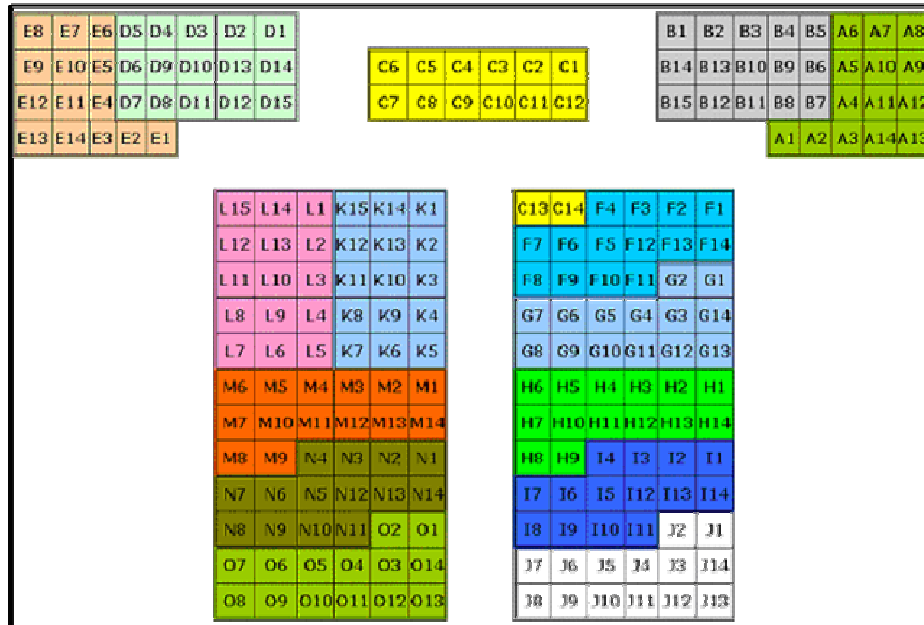
3.1 SİSTEMDE KULLANILAN PV MODÜLLER

Sistemde güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmede kullanılan PV modüller çoklu kristal silisyum yapısına sahiptir. Standart test koşulları altında maksimum gücü $120 W_p$ olan çok kristalli Silisyum fotovoltaik modülün üretici firma tarafından verilen elektriksel özellikleri tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 Sistemde kullanılan çoklu kristal modülün elektriksel özellikleri

Parametreler	Nominal Değerler	Tolerans Değerleri
Maksimum Güç (P_{max})	120 W _p	+ %10/-%5
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	23,9 V	± %10
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	6,89 A	± %10
Maksimum Gerilim (V_{mp})	19,0 V	-
Maksimum Akım (I_{mp})	15 A	-
Maksimum by-pass diyot oranı	12,5 A	-

Yukarıdaki tabloda yer alan değerler standart test koşulları altında (güneş gözesi sıcaklığı 25⁰C, 1000 W/m² güneş ışınımı ve hava kütlesi AM: 1,5) ölçülen değerlerdir. Kullanılan modüller -20 ⁰C ile 40 ⁰C çevre sıcaklığı, -20 ⁰C ile 83 ⁰C güneş gözesi sıcaklığı arasında çalışmaktadır. 2000 Pa altındaki değerlerde üstüne düşen kar basıncına ve 3000 Pa altındaki değerlerde rüzgar basıncına dayanıklıdır.



Şekil 3.2 PV örgü bağlantı şeması

25,6 kW_p kurulu güce sahip sistem 214 adet çoklu kristal silisyum modülden oluşmakta ve nominal PV örgü alanı 215 m² dir. Türk Evi çatısında yer alan PV örgü şekil 3.2’de gösterildiği gibi birbirleriyle seri olarak bağlı olan modüllerin oluşturduğu toplam 15 gruptan oluşmaktadır. 11 adet grupta 14 seri bağlı modül bulunmaktadır ve geriye kalan 4 adet grubu ise 15 adet seri bağlı modüller oluşturmaktadır. Bu gruplandırmadaki amaç invertörlerin maksimum giriş gerilimlerine yakın değerlerin elde edilmesi ile maksimum güç noktalarında çalışmalarını sağlamaktır. Modüllerin elektriksel bağlantıları sonucunda invertörlerin giriş gerilim değerleri 340 V_{dc} ile 280 V_{dc} arasında değişmektedir.

3.2 SITOP SOLAR 1500 İNVERTÖRLER

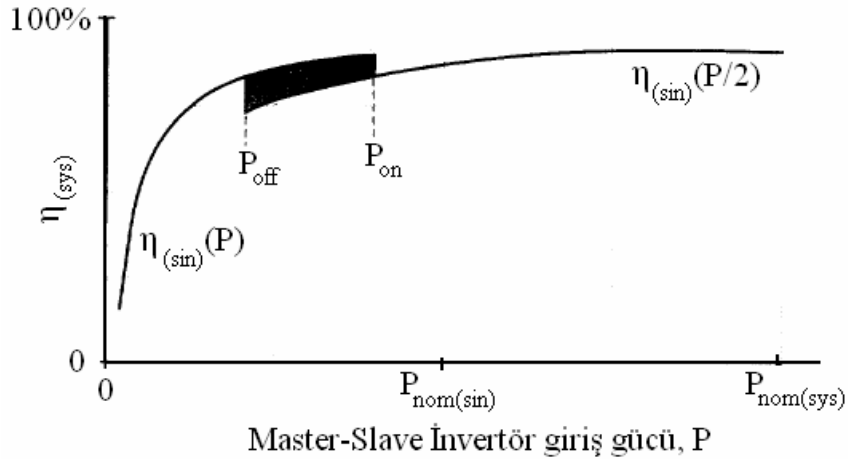
25,6 kW_p kurulu güce sahip sistem 214 adet çoklu kristal silisyum modülden oluşmakta ve nominal PV örgü alanı 215 m² dir. Türk Evi çatısında yer alan PV örgü şekil 3.2’de gösterildiği gibi birbirleriyle seri olarak bağlı olan modüllerin oluşturduğu toplam 15 gruptan oluşmaktadır. 11 adet grupta 14 seri bağlı modül bulunmaktadır ve geriye kalan 4 adet grubu ise 15 adet seri bağlı modüller oluşturmaktadır. Bu gruplandırmadaki amaç invertörlerin maksimum giriş gerilimlerine yakın değerlerin elde edilmesi ile maksimum güç noktalarında çalışmalarını sağlamaktır. Modüllerin elektriksel bağlantıları sonucunda invertörlerin giriş gerilim değerleri 340 V_{dc} ile 280 V_{dc} arasında değişmektedir.

25,6 kW_p kurulu güce sahip sistem 214 adet çoklu kristal silisyum modülden oluşmakta ve nominal PV örgü alanı 215 m² dir. Türk Evi çatısında yer alan PV örgü şekil 3.2’de gösterildiği gibi birbirleriyle seri olarak bağlı olan modüllerin oluşturduğu toplam 15 gruptan oluşmaktadır. 11 adet grupta 14 seri bağlı modül bulunmaktadır ve geriye kalan 4 adet grubu ise 15 adet seri bağlı modüller oluşturmaktadır. Bu gruplandırmadaki amaç invertörlerin maksimum giriş gerilimlerine yakın değerlerin elde edilmesi ile maksimum güç noktalarında çalışmalarını sağlamaktır. Modüllerin elektriksel bağlantıları sonucunda invertörlerin giriş gerilim değerleri 340 V_{dc} ile 280 V_{dc} arasında değişmektedir.

Master-slave (yönetici ve yardımcı) model invertörler, PV örgüden elde edilen gücün gün içerisinde tam kapasiteye ulaşmadığı zamanlarda sergilediği yüksek verimlilikten dolayı güç kapasitesi yüksek olan fotovoltaik sistemlerde

kullanılmaktadır. Temel olarak master-slave sistemi iki birimden oluşur ve slave invertörün fonksiyonları iki güç seviyesi, P_{on} ve P_{off} , tarafından kontrol edilmektedir. Master ve slave invertörlerin temel çalışma prensibi master invertöre gelen güç değerine dayanmaktadır. Master invertörün giriş gücü değeri kapasitesinin üzerinde olursa (P_{on}) slave invertör devreye girer. Eğer master invertöre gelen giriş gücü değeri, bu invertörün tanımlı olan limit değerleri arasında ise slave tipi invertör devreye giremez.

Şekil 3.3’de gösterildiği gibi sıfır ile P_{off} arasındaki güç değerlerinde master tipi invertör aktif olarak çalışır ve tüm gücü yönetir. Bu durumda invertör verimliliği tek bir invertörün verimliliğine eşit olur. P_{on} ile $P_{nom(sys)}$ (nominal sistem gücü) arasındaki giriş gücü değerlerinde ise toplam gücün yarısı master diğer yarısı ise slave invertör tarafından şebekeye aktarılır (Maranda vd, 1998).

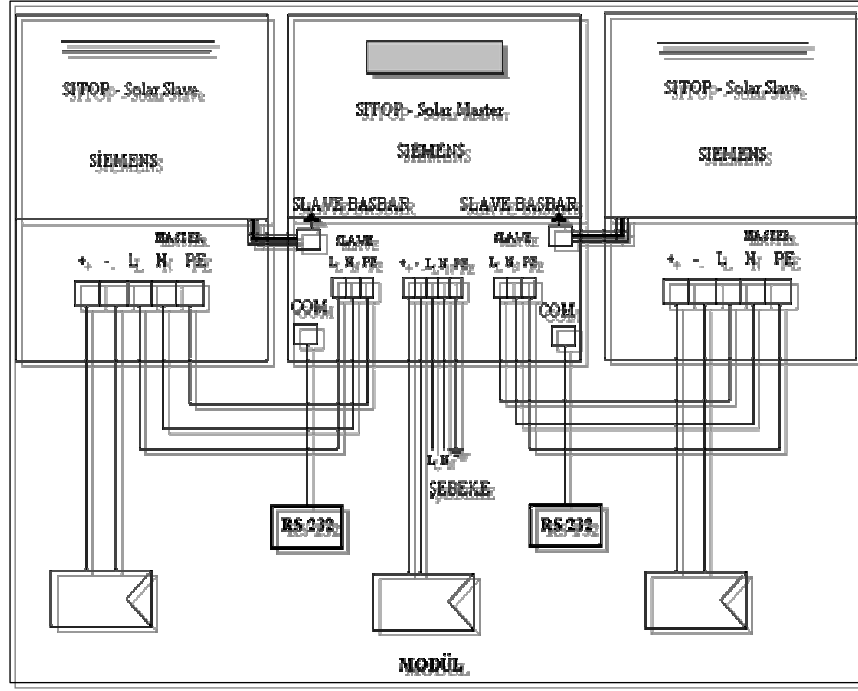


Şekil 3.3 Master – Slave invertör verimlilik eğrisi η_{sis} (Maranda vd, 1998)

Muğla Üniversitesinde kurulu olan 25,6 kW_p gücündeki sistemde kullanılan master-slave invertörlerin gruplandırılması iki şekilde olmaktadır.

- 3 adet 1 Master 2 Slave invertörden oluşan üçlü grup
- 3 adet 1 Master 1 Slave invertörden oluşan ikili grup

bu şekilde gruplandırmadaki amaç her bir şebeke fazına eşit miktarda güç aktarmaktır. Bu amaçla üçlü ile ikili grupların her biri aynı şebeke fazına bağlıdır. Şekil 3.4’de üçlü grup olarak çalışan master-slave invertörleri arasındaki bağlantı şeması verilmektedir.



Şekil 3.4 Slave-Master-Slave invertörleri arasındaki bağlantı şeması

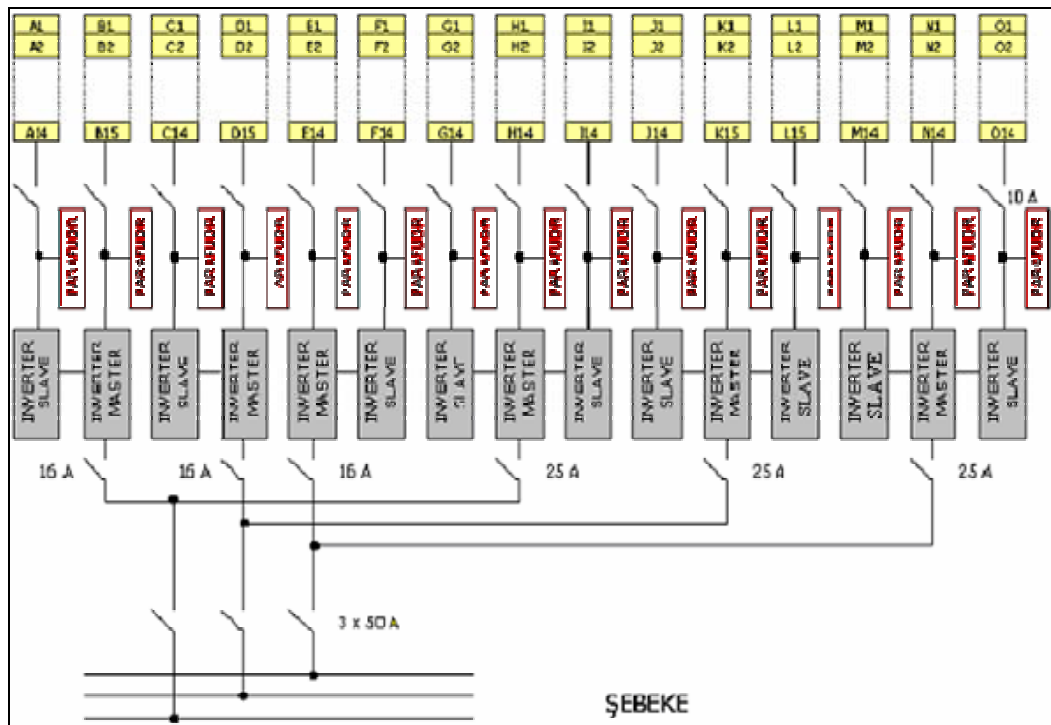


Şekil 3.5 Sitop solar 1500 Slave-Master-Slave üçlü ve ikili invertör gurubu

Tablo 3.2 de üretici firma Siemens tarafından verilen Master ve Slave invertörlerin elektriksel parametreleri verilmektedir.

Tablo 3.2 Sistemde kullanılan invertörlerin teknik özellikleri (Sitop solar invertör el kitapçığı)

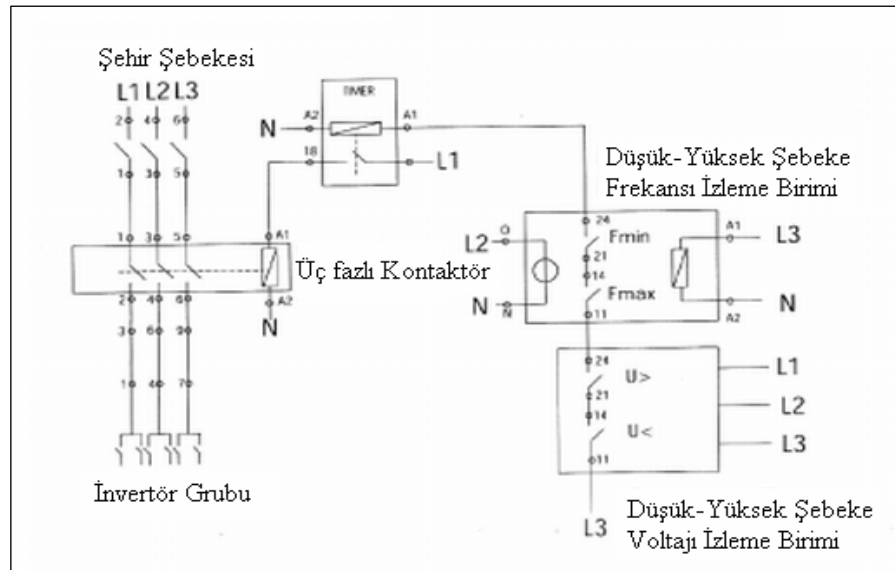
Teknik Özellikler	Master	Slave
Nominal ac çıkış gücü	1500 W	1500 W
Maksimum ac çıkış gücü	1650 W	1650 W
Önerilen maksimum giriş gücü (STC)	1800 W _p	1800 W _p
Giriş gerilim aralığı (dc)	200-520 V	200-520 V
Maksimum giriş gerilimi (dc)	550 V	550 V
Maksimum besleme akımı (dc)	6,5 A	6,5 A
Harcadığı Güç	9 W	4 W
İzin verilebilir çevre sıcaklığı	-10...50 °C	-10...50 °C
Maksimum Verimlilik	%94	%94,5



Şekil 3.6 İnvvertör grupları ile şebeke ve modül grupları arasında yapılan bağlantı.

3.3 ŞEBEKE İZLEME VE KORUMA ÜNİTESİ

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde karşılaşılan en önemli sorun şebeke hatları içerisinde meydana gelen dalgalanmalardır. Bu durum yıldırım düşmesi sonucunda şebeke içerisinde meydana gelen voltaj ve frekans değerlerinin anlık değişmesi, ana şebeke besleme hattında meydana gelebilecek dengesizlikler ve PV sistemin bağlı olduğu şebeke hattından büyük değerlerde güç çekilmesi gibi durumlar meydana gelebilir. Bu durumda invertörler bu dalgalanmalara karşı verimsiz çalışacaktır ve invertör içerisindeki elektriksel bileşenlerin zarar görmesine neden olacaktır. Bu durumu engellemek amacıyla sistemde şebekedeki voltaj ve frekans değerlerini izleyen bir ünite yer almaktadır. Bu sistemde invertörlerin çıkış değer aralığına eşdeğer olan şebeke gerilim ve frekans parametrelerinin değerleri ayarlanarak sistem koruma altına alınmaktadır. Şebekenin gerilim ve frekans değerleri, ayarlanan limit değerlerinin altında veya üzerinde olması durumunda koruma ünitesi devreye girerek PV sistem ile şebeke arasındaki güç aktarımını durdurur devre dışı kalacak ve şebekeden sisteme gelen enerji kesilecektir. Şekil 3.7’de sistemin bağlantı şeması gösterilmektedir. Şebeke gerilim değeri + %105 ve - %95 oranları arasında ayarlanmış olup, izinli frekans değerleri 49-51 Hz değerleri arasındadır.



Şekil 3. 7 Şebeke izleme ünitesi.

3.4 ÖLÇÜM SİSTEMİ

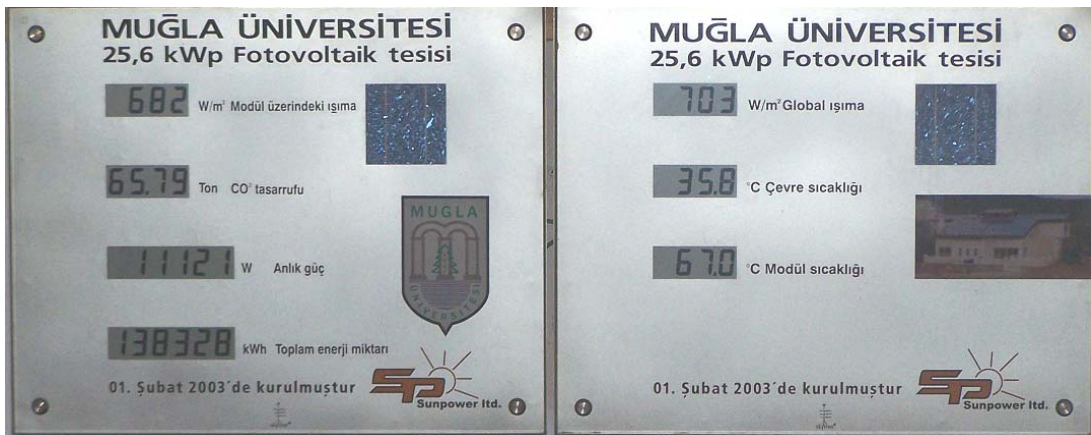
25,6 kWp kurulu güce sahip Türk Evi fotovoltaik çatı projesinde sistem verilerinin elde edilebilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla NEG ölçüm sistem bileşenleri kullanılmaktadır. Sistem bileşenleri geniş alanlı NEG DIS gösterge panosu, NEG LOG data logger, SOZ-03 ışınım sensörü, ABB DZ 4000 W dalga çıkışlı üç fazlı enerji sayacı ve LOG TERM yazılımından oluşmaktadır.

3.4.1 NEG DIS GÖSTERGE PANOSU

Türk Evi içerisinde duvara yerleştirilen gösterge panosu vasıtasıyla;

- PV örgü üzerinde birim alana gelen güneş ışınımı (W/m^2)
- Yatay düzlem üzerinde birim alana gelen güneş ışınımı (W/m^2)
- Sistemin şebekeye aktardığı güç (W)
- Sistemin çalışmaya başlamasından itibaren ürettiği toplam enerji miktarı (kWh)
- Sistemin yıllık ürettiği enerji miktarı (kWh)
- CO₂ tasarruf miktarı (kg)
- Modül sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- Çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Parametrelerinin değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 8 NEG DIS gösterge panosu

3.4.2 NEG LOG DATA LOGGER

NEG LOG data logger fotovoltaik güç sisteminden elde edilen verilerin depolanmasında kullanılmaktadır. Data logger'a yatay yüzey ile modül yüzeyinin birim alanına gelen güneş ışınımını ve modül ile çevre sıcaklık değerlerini ölçen sensörler bağlıdır. NEG LOG, NEG DIS gösterge panosu üzerindeki değerlerin transferini ve çevirimini yapabilmektedir. Çevresel faktörlerden etkilenmemesi amacıyla IP65 plastik koruyucu ile dış yüzeyi kaplıdır. NEG LOG data logger aşağıda özelliklere sahiptir.

- PV sistemin ürettiği güç değerlerinin ölçümü için 1 sinyal girişi
- Sıcaklık probu bağlantısı için 1 giriş
- Işınım sensörü için 1 giriş
- Ölçülen değişkenlerin her biri için 16 kbyte hafıza kapasitesi
- Güç kaynağı olarak yedek batarya
- PC'ye doğrudan bağlantı için RS 232 arayüzey portu
- Uzun erişimli data transferi için RS 485 arayüzey portu
- Gösterge panosuna data transferi için RS 485 arayüzey portu



Şekil 3.9 NEG LOG data logger

NEG LOG Data Logger'ın konfigürasyonu Log Term bilgisayar yazılımı ile değiştirilmektedir. NEG LOG uygun zaman periyotları içinde veri değerlerinin aritmetik ortalamasını alarak ve ölçülen her bir veri setinin zaman ve tarihlerini kaydetmektedir. Kaydedilen her ortalama değer arasındaki zaman periyodu fabrika ayarı olarak 60 dakikadır ve değerler 341 gün boyunca Data Logger içerisinde depolanmaktadır. Log Term yazılımı kullanılarak bu 60 dakikalık periyot süresi 3 dakika, 10 dakika veya 30 dakikalık periyotlar olarak da ayarlanılabilmektedir. Her periyoda karşılık gelen verilerin Data Logger'da depolanma süreleri tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3. 3 Seçilen periyotlara karşılık Data logger içerisinde verilerin depolanma süreleri.

Seçilen periyot	Veri depolama süresi
1 dakika	5 gün
10 dakika	56 gün
30 dakika	170 gün
60 dakika	341 gün
1 gün	22 yıl

Data logger içerisindeki veriler yukarıdaki tabloda belirtilen periyot değerlerine karşılık gelen süreler içerisinde bilgisayara kaydedilmez ise veriler ilk günden başlamak üzere silinir. Örnek olarak; tablo 3.3 de birinci satırı seçersek, birer dakika arayla ışınım verileri data logger içerisinde kaydedilecek ve verilerin data logger içerisinde maksimum depolanma süreleri 5 gün olacaktır. Eğer veriler bilgisayara 6. gün kaydedilir ise 1. günde kaydedilen verilerin hepsi data logger dan silinecektir. Data Logger'ın ölçülen her bir veri için hafıza değeri 16 kbyte dir.

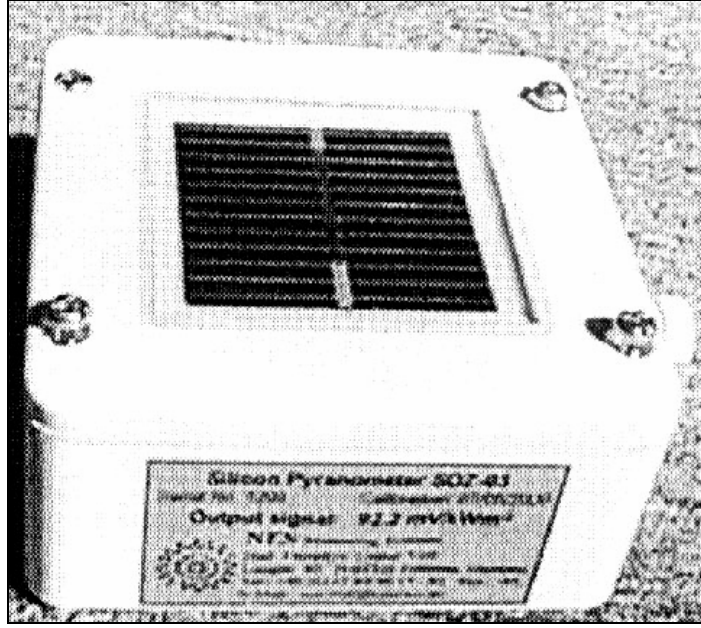
NEG LOG ayrıca küçük bir gösterge panosu yardımıyla her kaydedilen değeri ekrana yansıtmaktadır. Böylece anlık ışınım, anlık sistem performansı, sistemin çalışmaya başladığı zamandan itibaren üretilen toplam enerjiyi, yıllık üretilen enerjiyi, tarih ve zamanı göstermektedir. RS 232 portu kullanılarak NEG LOG içerisindeki verileri bilgisayara doğrudan kaydedilmektedir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10 NEG LOG data logger içerisindeki verilerin bilgisayara kaydedilmesi.

3.4.3 SOZ - 03 IŞINIM SENSÖRÜ (SOLAR IRRADIATION SENSOR)

PV örgü üzerindeki düzleme ve yatay düzleme düşen birim alandaki ışınım şiddetini ölçmek için iki adet SOZ – 03 tipi ışınım sensörü kullanılmaktadır. SOZ – 03 tipi ışınım sensörünün yapısı fotovoltaik modül ile benzerdir. SOZ – 03 ışınım sensörü şekil 3.11’de gösterildiği gibi cam, güneş gözesi, alt tabaka ve plastik koruyucudan meydana gelmektedir.



Şekil 3.11 SOZ – 03 ışınım sensörü.

Üzerine düşen güneş ışınlarının etkisiyle potansiyel fark oluşturan güneş gözesinin çıkış voltajına göre ışınım değeri değişmektedir. Güneş gözesinin 100 mV (± 10 mV) çıkış voltajı 1000 W/m^2 ışınım değerine eşdeğer olmaktadır. Bir *pyranometre* (*pyranometer*) ışınım sensörüne karşılık SOZ – 03 tipi ışınım sensörünün doğruluğu 1 aylık ölçümler sonucunda $\pm \%5$ hata payları içerisinde. Kalibrasyonu Fraunhofer Enstitüsü tarafından geliştirilen referans bir göze ile SOZ – 03 ışınım sensörünün kalibrasyonu yapılmakta ve 100 mV değeri kalibrasyon için kullanılmaktadır.

3.4.4 DZ 4000 W TİPİ ÜÇ FAZLI ENERJİ SAYACI (THREE-PHASE ENERGY METER)

DZ 4000 W tipi enerji sayacı PV örgü tarafından üretilen enerjiyi sinyale çevirmede kullanılmakta ve her bir sinyal çıkışı 1 kWh enerji değerine eşit olmaktadır. Cihaz üzerindeki sinyal çıkışı doğrudan NEG LOG'a iletilerek burada üretilen enerji değeri sayısal bir ifadeye çevrilmekte ve data logger tarafından kaydedilmektedir. Kurulu gücü 5kWp den fazla olan PV sistemlerde üç fazlı enerji sayacı kullanılmaktadır (Skytron-Regenerative Energietechnik).

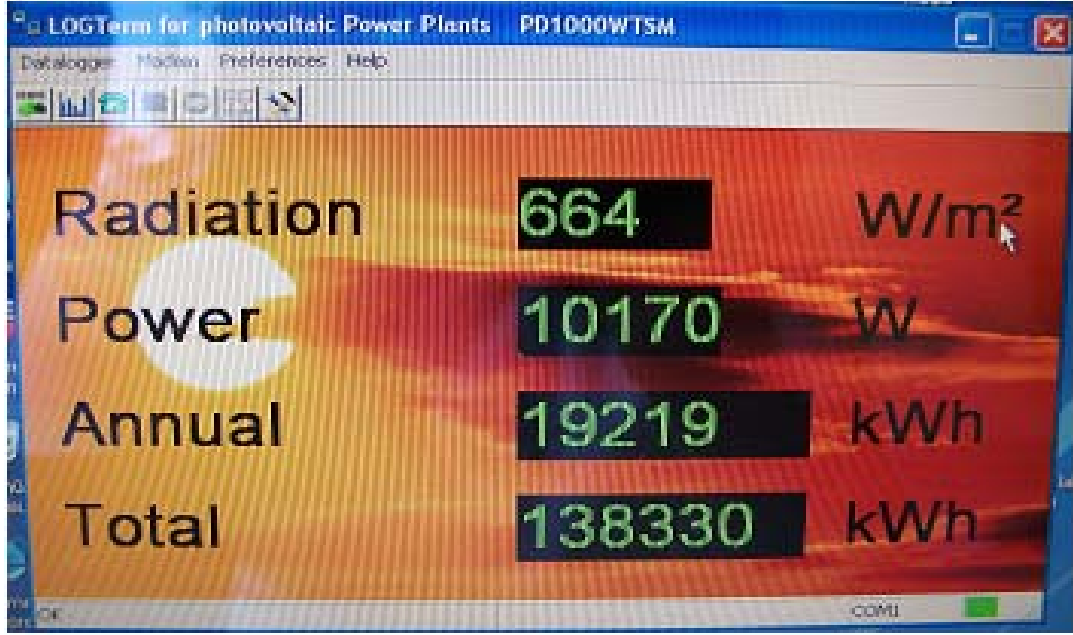


Şekil 3.12 DZ 4000 W tipi üç fazlı enerji sayacı


3.5 VERİ KAYDETME VE DEĞERLENDİRME SİSTEMİ

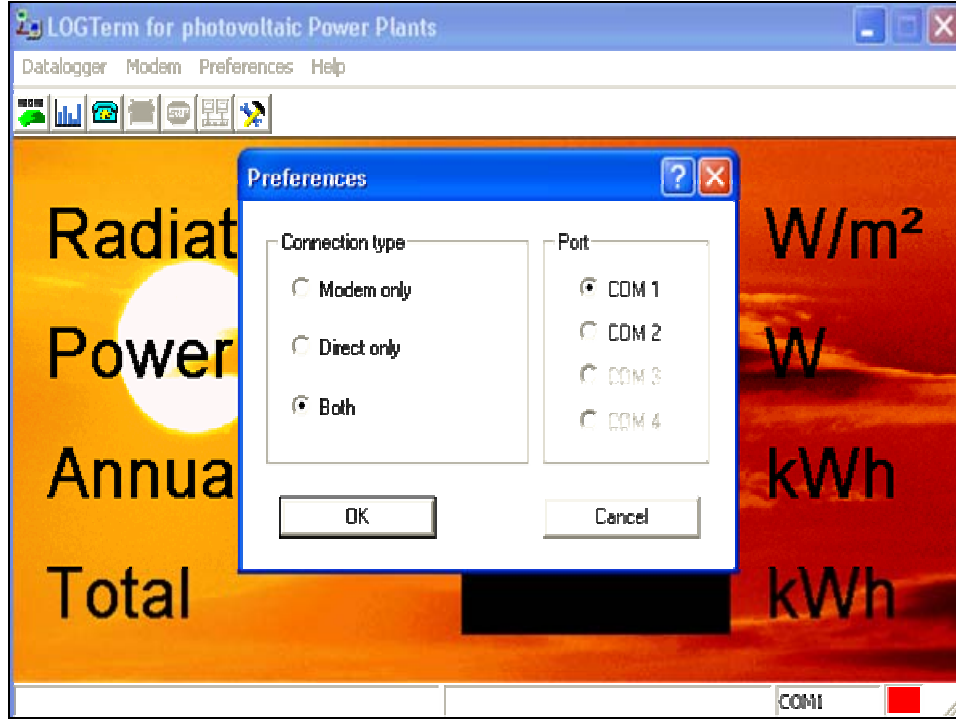
NEG LOG data logger tarafından depolanan sistem verilerinin bilgisayar ortamına taşınması için, data logger ile uyumlu LOG TERM bilgisayar yazılımı kullanılmaktadır. LOG TERM bilgisayar yazılımı ana hatlarıyla verilerin data logger'dan yüklenilmesi (*Log Term*) ve bu verilerin grafiksel olarak gösterilmesi (*Log Dia*) olarak iki kısma ayrılmaktadır.

Log Term programı; data logger ile bilgisayar arasında RS 232 seri portu yardımıyla iletişim kuran yazılımdır. Log Term yazılımı data logger'ın kullanılması için gereken tüm alt programlarının yer aldığı *Data logger* menüsü, program ile bağlantı tercihlerinin yer aldığı tercihler (*Preferences*) menüsü, internet veya yerel ağ üzerinden bağlantı kurulabilmesi için kullanılan *Modem* menüsü ve program ile ilgili yardım (*Help*) menüsünden oluşmaktadır. Log Term programı çalıştırıldığında ve data logger ile bağlantı kurulduğu zaman bilgisayar ekranında şekil 3.13 deki görüldüğü gibi aktif bir pencere çıkar. Bu aktif pencereden data logger'ın gösterge panosunda gösterilen anlık ışınım (*Radiation*), anlık güç (*Power*), üretilen toplam enerji (*Total*) ve yıllık enerji (*Annual*) değerleri online olarak okunabilmektedir.




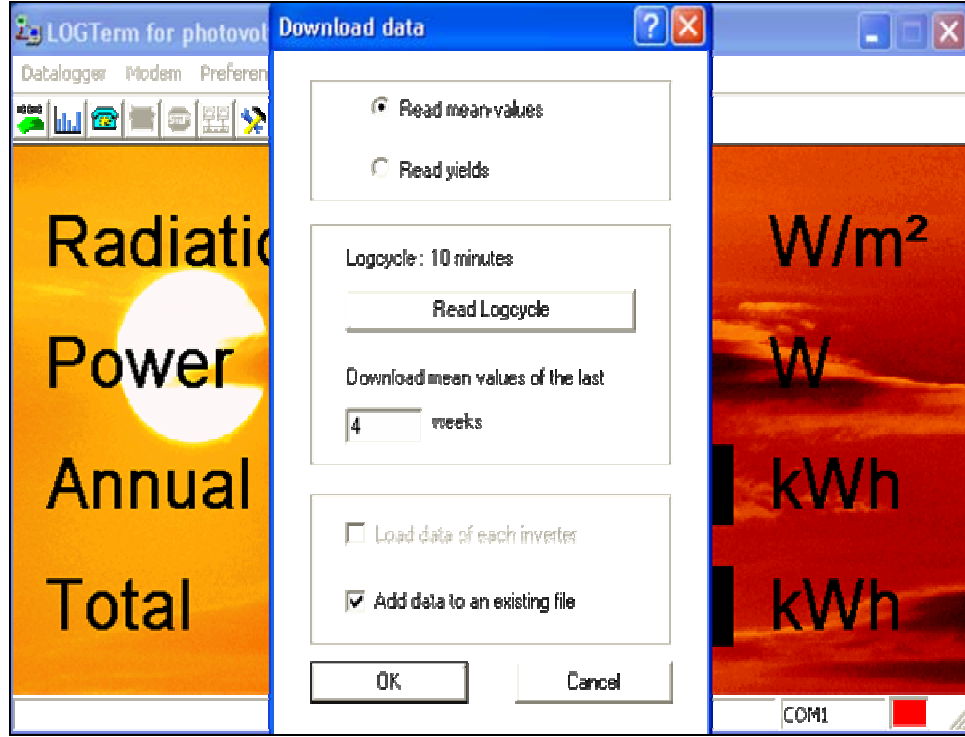
Şekil 3.13 Log-Term programının aktif penceresi

Aktif penceredeki değerler sürekli ve durum çubuğundaki kırmızı alan yeşil konumda ise bilgisayar ile data logger arasındaki iletişim doğru olarak çalışmaktadır. Data logger'ın hafızasında yer alan verilerin bilgisayara aktarımını yapabilmek için data logger ile bilgisayar arasındaki bağlantının doğru şekilde yapılabilmesi gereklidir. Bunun için şekil 3.14 deki gösterilen tercihler (*Preferences*) menüsünden ara yüzey (*interface*) seçilerek karşımıza çıkan pencereden doğrudan (*direct only*) ve doğru seri portun seçilmesi gereklidir. Doğru seri portun seçilememesi durumunda data logger'ın hafızasındaki değerler online olarak ana pencere üzerinde görülmez. Verilerin bilgisayara aktarımı için data logger menüsünden download veya araç çubuğunda yer alan menülerden  kısa yolu seçilir. Karşımıza gün içerisinde elde edilen anlık verilerin (*read-mean values*) ve günlük verilerin (*read-yields*) seçenek şeklinde sunulduğu bir pencere çıkmakta ve kaydedilecek verilerin zaman dilimini belirten bir seçenek bulunmaktadır. Buraya kaç haftalık veya yıllık verilerin yükleneceği rakam ile belirtilir. Gün içerisinde oluşan anlık verilerin bilgisayara kaydedilmesi için, şekil 3.15'de gösterildiği ilk önce *read-mean values* seçeneğini seçmemiz gerekmektedir. Altta oluşan *downloads mean values of last* seçeneğinin içerisine yazdığımız 4 rakamı, programın geçmiş 4 hafta içerisinde data logger hafızasında depolanan verilerin bilgisayara kaydetmesine olanak sağlamaktadır.




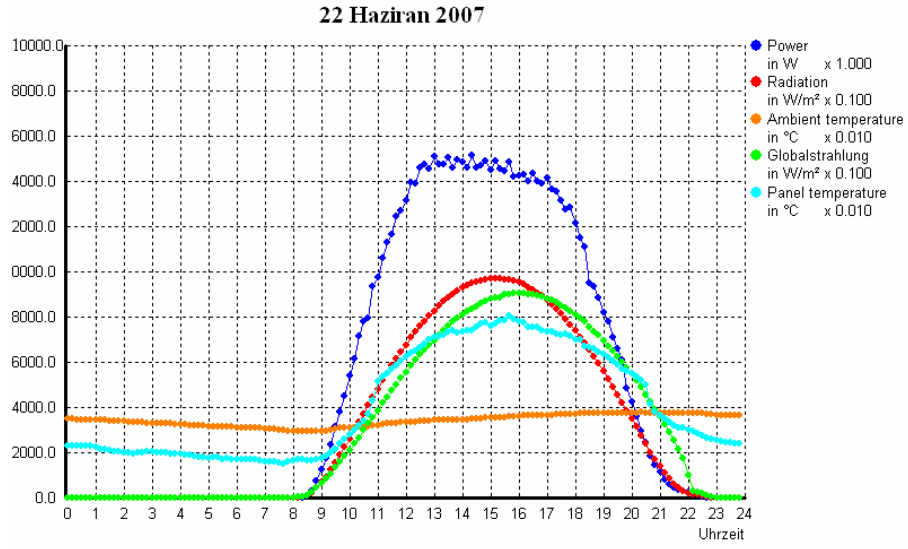
Şekil 3.14 Data logger ile bilgisayar arasında bağlantı menüsü

Pencerenin altında bulunan *add the data to an existing file* seçeneği işaretlendiği zaman kaydedilecek olan veriler, önceden kaydedilmiş olan dosyanın üzerine eklenir. Günlük verilerin kaydedilmesi için *read-yields* seçeneği işaretlenerek *downloads yields of last seçeneğinin* içerisine 1 yazılması gereklidir. Data logger'da yer alan verilerin bilgisayara gönderilmesinden sonra karşımıza bir pencere çıkar ve bu pencere yardımıyla veriler bilgisayar içerisindeki sabit diske dosya ve klasör ismi belirtilerek kaydedilir. Yıllık datalar *.NEF uzantılı dosyalar şeklinde, gün boyunca alınan anlık veriler de *.NMF uzantılı dosyalar şeklinde bilgisayara kaydedilmektedir. Log Term programının ikinci kısmını bilgisayara yüklenen verilerin grafiksel gösterimini oluşturan Log Dia alt programıdır. Log Term programının data logger menüsünde yer alan grafik gösterme (*show graphic*) veya araç çubuğundaki menülerden  kısa yolu seçilerek, karşımıza çıkan pencerede anlık verilerin oluşturduğu *.NMF veya günlük değerlerin oluşturduğu *.NEF uzantılı önceden kaydedilen veriler otomatik olarak yüklenir ve ölçülen her bir parametreye karşılık bir eğri oluşur.

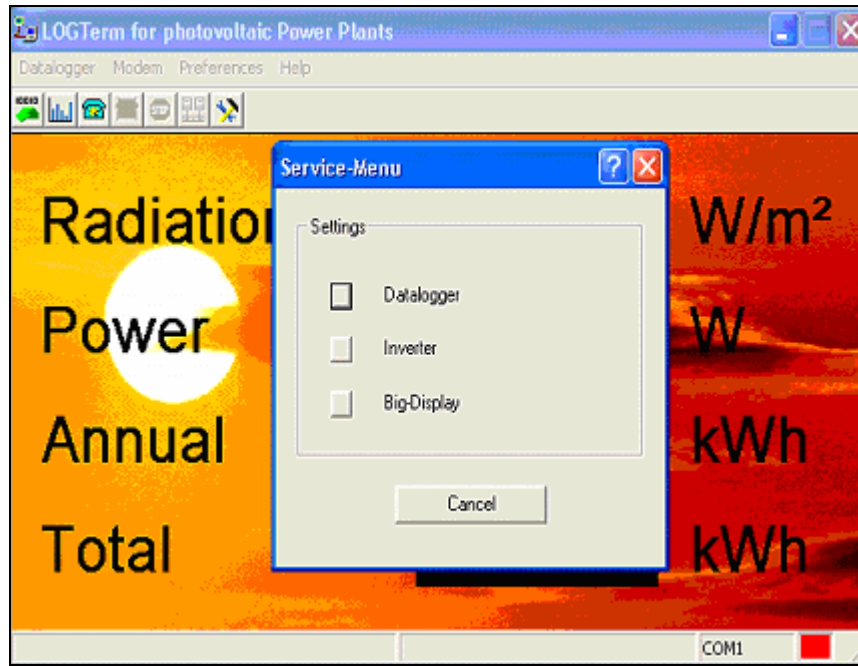


Şekil 3.15 Data logger daki verilerin okuma menüsü

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi her bir parametreye karşılık gelen eğri farklı renklerle gösterilmektedir. Şekil 3.16'da gösterilen grafik bir gün boyunca sistemden elde edilen anlık verileri ve dağılımını göstermektedir. x eksenini saat biriminde zamanı, y eksenini ise verilerin sayısal değerlerini göstermektedir. Log dia programında yer alan chart menüsünden yer alan *load file* seçeneği ile manuel olarak istenilen dosyanın grafiksel gösterimi sağlanır. Data logger içerisinde yer alan standart parametrelerin değiştirilmesi Log Term programının ana penceresinin çubuğundaki  imgesinin seçilmesi ile mümkündür. Şekil 3.17'de gösterilen karşımıza çıkan pencereden data logger içerisinde yer alan zaman ve tarih değerleri (*set clock*), data logger'a verilerin kaçar dakika arayla kaydedileceği (*log cycle*), yıllık üretilen enerji miktarı (*set annual yields*), toplam üretilen enerji değeri (*set total yields*) ve isteğe bağlı ölçümler ayarlanabilmektedir (*optional measurements*).



Şekil 3.16 Gün içerisinde alınan verilerin grafiksel gösterimi



Şekil 3.17 Data logger içerisindeki parametrelerin değiştirildiği menü penceresi.

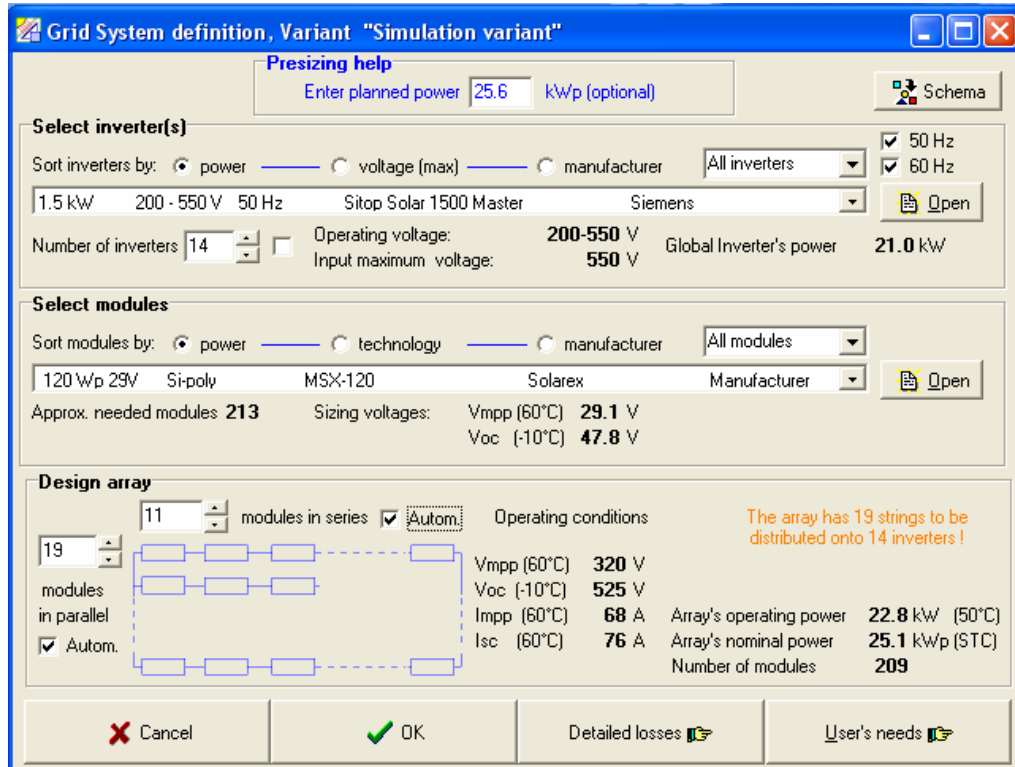
3.6 PVSYST PAKET PROGRAMI

PVSYST paket programı şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı PV sistemlerin simülasyonunda kullanılabilir. Kullanılan paket program benzerleri içerisinde en detaylı hesaplama yapan, birçok farklı parametre kullanılmasına izin veren ve sonuçları gerçek değerlere çok yakın olan bir simülasyon programıdır. Bu yazılım ile bölgelere ait aylık toplam güneş ışınımı verileri saatlik güneş ışınımı verilerine dönüştürülmüş ve tasarlanan PV güç sistemlerinin performans tahminleri yapılmıştır. Program içerisinde ön tasarım ve proje tasarımı olmak üzere iki ayrı hesaplama yapılabilir.

Ön tasarım seçeneğinde bir projenin ön analizleri yapılmaktadır. Bu seçenek “*Location, System, Results*” kısımlarından oluşmaktadır. *Location* kısmında sistemin kurulacağı bölge belirlenir. Bölge programın veri tabanı içerisinde bulunmuyorsa yeni bir alan “*New Site*” tanımlanarak bu bölgenin enlem, boylam, rakım ve saat dilimi belirtildikten sonra aylık toplam global ışınım ve yayılı ışınım değerleri belirtilmelidir. Bölge için aylık ortalama sıcaklık değerleri ve rüzgâr hızı değerleri de elde edilememiş veya ölçülememişse etkisiz (*default*) olarak seçilerek hesaplamalar için gerekli olan meteorolojik veriler tamamlanmış olur. Daha sonra “*System*” kısmında PV sistemin kurulacağı alan, istenilen güç, kullanılacak PV modüllerin teknolojisi ve sistemin yönelimi belirlenerek sonuçlar alınabilir. Fakat burada sistem için sadece sabit eğim açısı değeri için enerji hesaplamaları gerçekleştirilebilmektedir. *Results* kısmında yatay ve eğimli yüzeye gelen aylık toplam enerji değerlerinin karşılaştırılması ile sistemin üretmesi beklenen aylık ortalama enerji değerleri ayrı birer grafikte verilmektedir.

Proje tasarımı seçeneğinde PV sistem için saatlik güneş ışınımı verileri kullanılarak sistem parametreleri hakkında detaylı bir inceleme yapılabilir. Şebeke bağlantılı bir PV sistem için, sistemin bulunduğu yerin meteorolojik ve coğrafik özelliklerinden sistemde kullanılacak her bir parçanın teknik özelliklerinin belirlenmesiyle simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu simülasyonda sırasıyla *Project/Variant, Orientation, Horizon, System ve Simulation* basamakları takip edilmelidir.

Proje ve değişkenler (*Project/Variant*) seçeneğiyle öncelikle projenin ismi belirlenir ve daha sonra projenin gerçekleştirileceği bölge ülke ve şehir olarak belirtilir. Yönelim (*Orientation*) seçeneği ile fotovoltaik örgünün nasıl bir yönelime sahip olacağı belirlenmektedir. Sabit eğimli sistemlerin açı değerleri için genellikle bulunan bölgenin enlem değeri önerilmektedir. Atmosfer, ufuk (*Horizon*) seçeneğinde ise seçilen bölge için azimut açısına göre güneş yüksekliğinin saatlere ve aylara göre yıl içerisindeki değişimi belirlenebilmektedir. System özellikleri (*System*) seçeneğinde ise fotovoltaik sistemin güç üretimi ve enerji dönüşümünü sağlayan PV modül ve invertörler belirlenmektedir. Simülasyon değişkenlerinden sistem özelliklerinin belirlenmesi, kurulacak sistemin gücüne göre Şekil 3.18 de belirtildiği gibi kullanılacak invertör ve modüllerin seçimi ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.18. PV sistem özelliklerinin belirlenmesinin bilgisayar ortamındaki görünümü

Kurulacak olan sistemin standart koşullar altındaki gücü (kWp) olarak belirlenir. Daha sonra program veri tabanında bulunan 0,5kW'den 100kW'ye kadar geniş bir aralıkta değişen güçlere sahip invertörlerden biri seçilir. İvertör seçiminde güç

bağlantısının yapılacağı şebeke ile invertör çıkış voltajının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Program otomatik olarak belirlenen güçte bir sistem için kaç adet invertör gerekeceğini belirler. İntertör ismini belirten satırın yanındaki “*Open*” seçeneğinden invertöre ait tüm elektriksel özellikler görülebilir. Program veri tabanında 10Wp’den 340Wp’ye kadar farklı büyüklük ve çeşitli teknolojilerle üretilmiş piyasada bulunan ticari modüller arasından sistemde kullanılacak PV modül seçimi yapılabilir. Seçilen modülün isminin yazılı olduğu satırın yanındaki “*Open*” seçeneğinden modüle ait olan tüm elektriksel özellikler görülebilir. Örgü tasarımı (Design Array) kısmında seçilen modüllerin seri ve paralel olarak bağlanmalarındaki sayıları seçilen invertörün elektriksel özelliklerine göre program tarafından belirlenir. Fotovoltaik sisteme ait tüm özellikler belirlendikten sonra simülasyon gerçekleştirilebilir.

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu kısımda 25,6 kWp gücündeki şebekeye bağlı binaya entegre fotovoltaik güç sisteminin üç yıllık performansındaki değişim incelenecektir. 2004 Ocak ile 2006 Aralık tarihleri arasındaki veriler göz önüne alınarak sıcaklık, ışık şiddeti gibi değişkenlerin sistem verimliliği üzerindeki etkileri araştırılacaktır. Ayrıca sistemin üç yıl süresince üretmiş olduğu enerjinin aylara göre dağılımı incelenip sistemin performans oranı hesaplanacaktır.

Bir parametreyi kendisiyle ilgili bir büyüklüğe bölerek onu birimlendirmeye normalize etmek denir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin performanslarını değerlendirmek için, fotovoltaik sistemlerin enerji üretimi ve kayıpları STC koşulları altındaki kurulu güç değerlerine normalize edilir. Aktif örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi (reference yield), Y_R , normalize edilmiş PV sistem enerji üretimi (final yield), Y_f , ve PV sistem performans oranı (performance rating), PR , fotovoltaik bir sistemin performans analizini yapmak açısından önemli parametrelerdir.

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde Y_R , aktif örgü yüzeyinin birim alanına düşen ışınım enerjisinin (kW-saat/m²), STC koşulları altında tanımlı olan birim alandaki ışınımına (W/m²) normalize edilmesi olarak tanımlanır.

$$Y_R = \frac{H_{\beta,g}}{G_{STC}} \quad (4.1)$$

Burada $H_{\beta,g}$ ifadesi eğimli yüzey üzerine gelen ışınım enerjisini ifade etmektedir, G_{STC} değeri ise 1000 W/m² dir. Y_R ifadesinin birimi güneş ışınlarının var olduğu süreyi gösteren saat veya "kW-saat/kW_p" dir (Sasitharanauwat, 2006).

Normalize edilmiş sistem enerji üretimi, Y_f PV örgülerden elde edilen enerjinin invertör tarafından AC enerjiye dönüştürülmesinden sonra ortaya çıkan enerji değerinin, STC koşulları altında verilen PV sistemlerin kurulu güç değerine normalize edilmesi ile hesaplanmaktadır.

$$Y_f = \frac{E_{\text{şebeke}}}{W_{p,e}} \quad (4.2)$$

Bu ifadede yer alan $E_{\text{şebeke}}$ fotovoltaik örgü tarafından üretilen ve şebekeye aktarılan AC enerjisi (invertörün çıkış enerjisi), $W_{p,e}$ ise fotovoltaik örgülerin STC altındaki kurulu güç değerinin göstermektedir. Normalize edilmiş sistem enerji üretiminin birimi *saat* veya "*kW-saat/kW_p*" dir.

Sistem performans oranı PR, normalize edilmiş PV sistem enerji üretiminin, normalize edilmiş PV örgü yüzeyi üzerine düşen ışınım enerjisine oranı olarak tanımlanır ve

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade, gerçek sistem enerji üretimi ile standart test koşulları altında tanımlı PV örgülerin verimlilik değerleri ile çalışan ideal sistemin enerji üretimi arasındaki oran olarak yorumlanabilir. Sistem performans oranı farklı yerlerde kurulu olan PV sistemleri kıyaslamak için kullanılabilir (Mondol, 2006).

Sistemin performansını incelerken günlük, aylık ve yıllık olmak üzere üç farklı zaman dilimi içerisinde değerlendirilmektedir. Anlık sistem verimliliği;

$$\eta_{\text{sys}} = \frac{P_{\text{sys}}}{G_{\beta} \times A} \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada P_{sys} sistem tarafından şebekeye aktarılan güç (W), G_{β} eğimli yüzeye birim alanda gelen ışınım (W/m^2), A PV örgünün toplam alanıdır (m^2). Günlük, aylık ve yıllık sistem verimliliği belirtilen zamanda şebekeye sistem tarafından aktarılan enerjinin toplam PV örgü üzerine gelen ışınım enerjisine oranıdır. Günlük sistem verimliliği;

$$\eta_{sys,g} = \frac{E_{sys,g}}{H_{\beta,g} \times A} \quad (4.5)$$

ile hesaplanabilir.

Bu ifadede $E_{sys,g}$ sistem tarafından şebekeye aktarılan günlük AC enerjiyi (kW-saat), $H_{\beta,g}$ PV örgü üzerinde birim alana düşen günlük ışınlam enerjisidir (kW-saat/m²). Her bir ay için ortalama günlük sistem verimliliği;

$$\eta_{sys,a} = \sum \eta_{sys,g} / D \quad (4.6)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada D değerlendirmenin yapıldığı ay için verilerin alındığı toplam gün sayısını belirtmektedir (Sidrach-de-Cardona vd, 1999).

Benzer şekilde PR, Y_f ve Y_R parametrelerinin günlük ve aylık değişimlerini hesaplayarak gözlemlemek mümkündür.

Sistemin günlük performans oranı; normalize edilmiş günlük sistem enerji üretiminin, normalize edilmiş günlük ortalama örgü yüzeyine düşen ışınlam enerjisine oranı olarak tanımlanabilir.

$$PR_g = \frac{Y_{f,g}}{Y_{R,g}} \quad (4.7)$$

Normalize edilmiş günlük sistem enerji üretimi ise PV örgü tarafından üretilen ve şebekeye aktarılan günlük AC enerjinin PV örgünün STC altındaki kurulu gücüne oranı şeklinde ifade edilir.

$$Y_{f,g} = \frac{E_{sys,g}}{W_{p,e}} \quad (4.8)$$

Sistem performans oranı ve normalize edilmiş sistem enerji üretimindeki günlük değerlendirmeler gün içerisinde sistemin herhangi bir kısmında oluşan sorunun tespit edilmesi açısından önemlidir.

Aktif PV örgü yüzeyine düşen günlük ışınım enerjisi; eğimli yüzey üzerine üzerine gelen günlük ışınım enerjisinin, STC altında tanımlı olan birim alandaki ışınımına oranı olarak tanımlanır ve

$$Y_{R,g} = \frac{H_{\beta,g}}{G_{STC}} \quad (4.9)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade gün içerisinde sistemin ortalama güneş ışınlarına maruz kaldığı süreyi ifade eder. (4.7), (4.8) ve (4.9) eşitliklerinde belirtilen parametrelerin her bir ay için ortalama günlük değerlerini hesaplamak mümkündür.

Sistemin aylık performans oranı;

$$PR_a = \sum PR_g / D \quad (4.10)$$

formülü ile hesaplanabilir. Bu ifadedeki PR_g ay içindeki her bir güne ait günlük sistemin performans oranını göstermektedir. Sistemin enerji üretiminin normalize edilmiş aylık ortalaması ise;

$$Y_{f,a} = \sum Y_{f,g} / D \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $Y_{f,g}$ normalize edilmiş günlük sistemin enerji üretimidir. Son olarak normalize edilmiş PV örgü yüzeyine düşen aylık ortalama ışınım enerjisi

$$Y_{R,a} = \sum Y_{R,g} / D \quad (4.12)$$

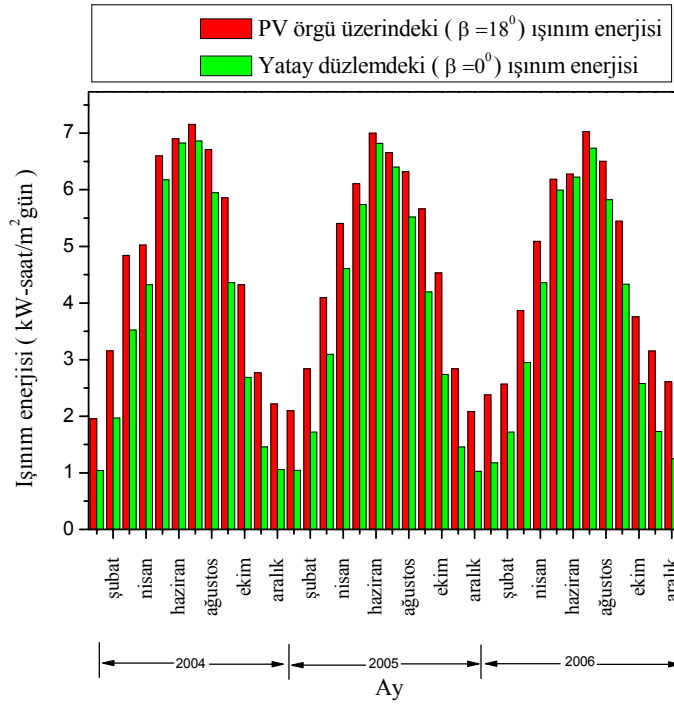
formülü ile hesaplanabilir. Burada $Y_{R,g}$ aktif PV örgü yüzeyine düşen günlük ışınım enerjisini göstermektedir (Mondol,2006).

Bu ifadelerdeki D değerlendirmenin yapıldığı ay içindeki gün sayısıdır. Yapılan aylık değerlendirmeler sistemin hangi mevsimlerde daha verimli çalıştığını göstermektedir. Değerlendirmeler yapılırken invertör sorunu gibi sistem dizaynından kaynaklanan hatalar göz önünde bulundurulmalıdır.

5. VERİLERİN ANALİZİ

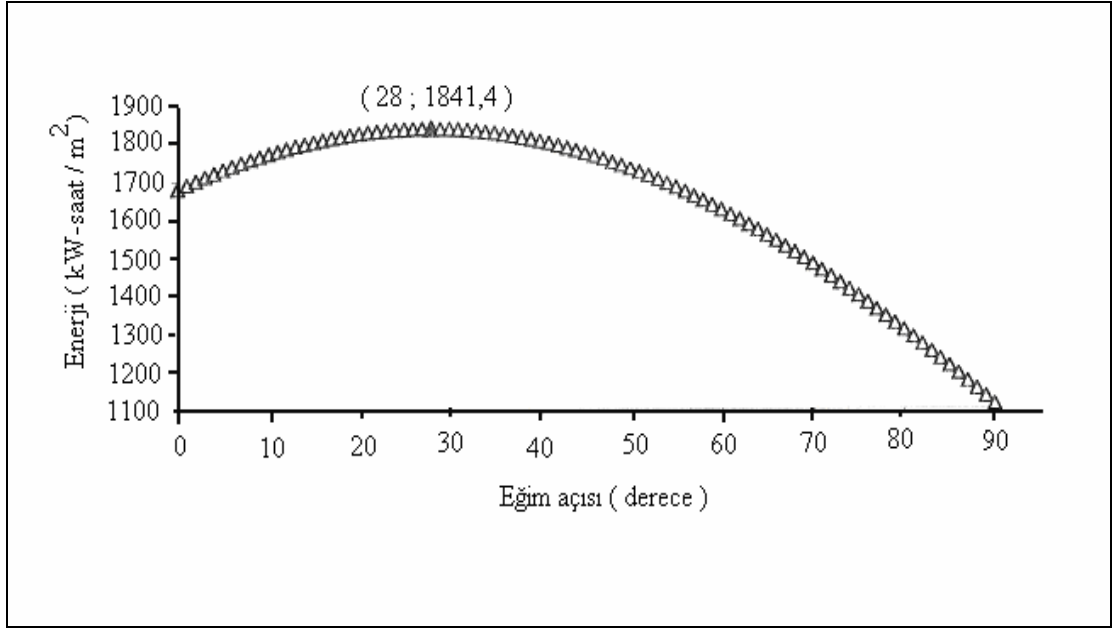
Türk evi öğrenci kafeteryasındaki 25,6 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik sistemden üç yıllık periyot üzerinden alınan günlük ve yıllık verilerden yola çıkarak sistemin performansı incelendi.

Yatay düzlem ve eğimli yüzeylerde bulunan ışınım sensörlerinden elde edilen veriler yardımıyla PV örgü ($\beta=18^0$) ve yatay düzlem ($\beta=0^0$) üzerine birim alana düşen ışınım enerji değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 5.1'de verilmektedir. Üç yıllık veriler göz önüne alındığında PV örgü üzerine gelen en yüksek günlük ortalama ışınım enerjisi 7,16 kW-saat/m² gün ile 2004 Temmuz ayında ve en düşük ışınım enerjisi ise 2,10 kW-saat/m² gün değeri ile 2005 Ocak ayında ölçüldü. 18⁰ eğim açısına sahip PV örgü üzerine gelen yıllık ışınım enerjisi 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 1749,41 kW-saat/m², 1692,87 kW-saat/m² ve 1668,94 kW-saat/m² dir. Yatay düzleme gelen yıllık ışınım enerjisi ise 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 1406,20 kW-saat/m², 1349,39 kW-saat/m² ve 1365 kW-saat/m² dir. Şekil 5.1'deki grafiğe bakıldığında iki önemli nokta dikkati çekmektedir. Birincisi; üç yıllık veriler incelendiğinde, eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisinin yatay düzlemdeki ışınım enerjisinden büyük olması, ikincisi ise kış aylarında eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisi ile yatay düzlemdeki ışınım enerjisi arasındaki farkın yaz aylarına göre büyük olmasıdır.



Şekil 5.1 Her bir yıl için aylara göre PV örgü ve yatay düzlem üzerinde birim alana düşen günlük ortalama ışınım enerjisi.

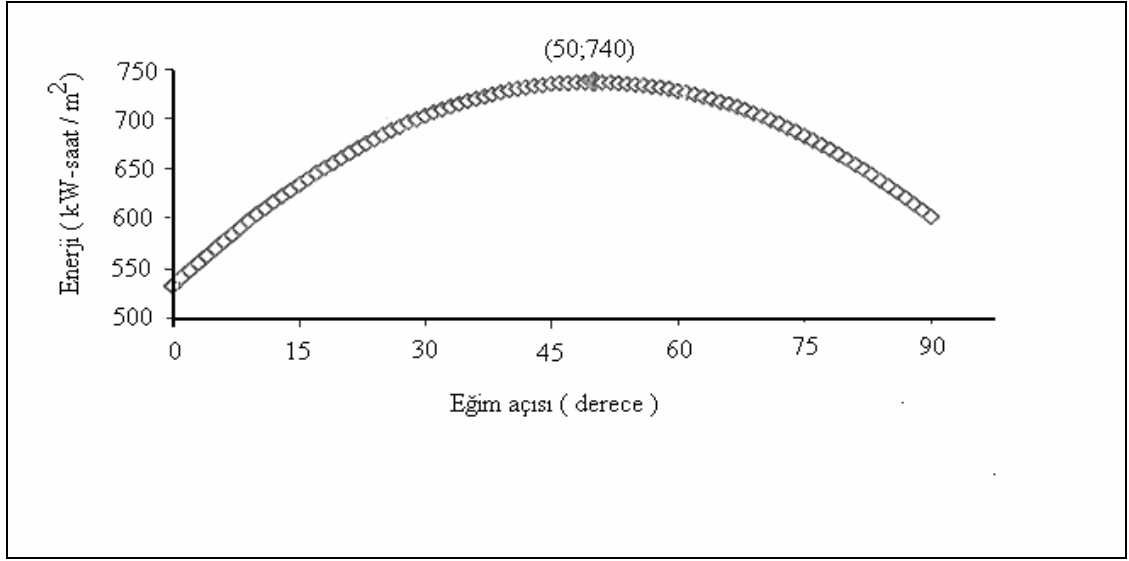
Bu noktaları açıklamak ve yapılan bu deneysel çalışmayı desteklemek için Muğla iline ait yatay yüzeye gelen ışınım verileri kullanılarak PVSYST 3.02 programı ile bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Eğim açısına göre yüzeye gelen enerji miktarları Şekil 5. 2 de verilmektedir.



Şekil 5.2) PVSYST 3.02 programı ile Muğla ili için sabit eğim açıları için yapılan simülasyon sonuçları (PVSYST 4.1 paket programı)

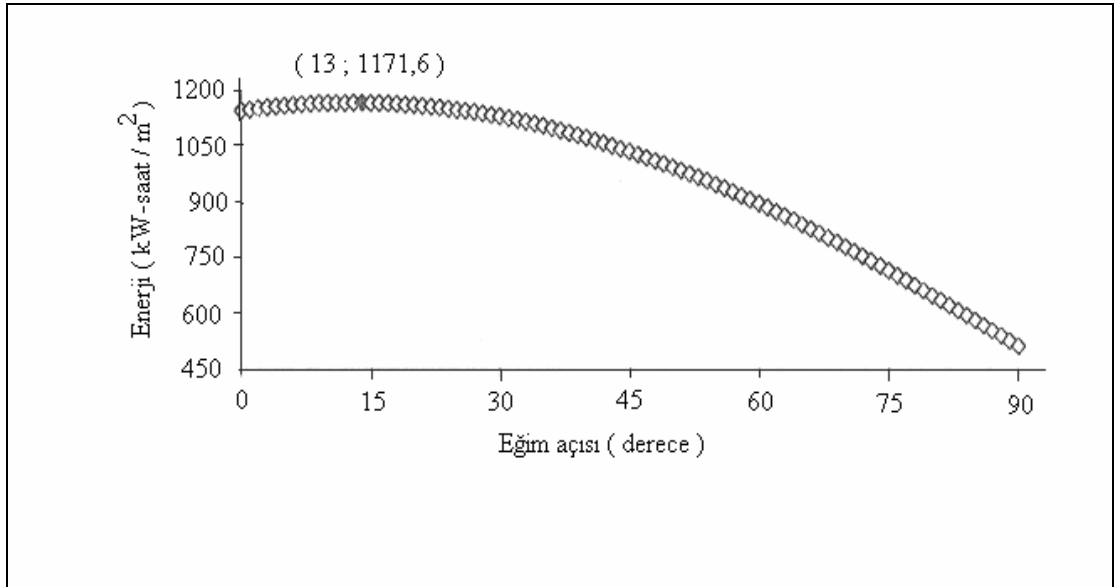
Yapılan simülasyon çalışması sonucunda 18^0 lik eğimli yüzeye gelen enerji 1790 kW-saat/m^2 iken yatay düzleme gelen enerji ise 1680 kW-saat/m^2 olarak hesaplanmıştır. Gölgeleme etkisi ve modül sıcaklığındaki artış eğimli yüzeye gelen ışıma enerjisi değerinin, simülasyon çalışmasında deneysel sonuçlara göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Simülasyon çalışması sonucunda yatay düzleme gelen yıllık toplam 1680 kW-saat/m^2 olan güneş enerjisi değerinin 28^0 lik sabit eğimde yıllık toplam $1841,4 \text{ kW-saat/m}^2$ ye ulaşacağı hesaplanmıştır.

Şekil 5.3 de ise birim yüzeye düşen enerjinin Ekim-Mart ayları arası için farklı eğim açılarında yapılan simülasyon sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.3) PVSYST 3.02 paket programı ile Muğla ilindeki birim yüzeye düşen enerjinin Ekim-Mart ayları arası için eğim açılarındaki yapılan simülasyon sonuçları

Kış mevsiminde 18⁰ lik sabit eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisi 640 kW-saat/m² ve yatay düzleme gelen ışınım enerjisi 540 kW-saat/m² olarak hesaplanmıştır. Eğim açısının mevsimlik olarak değiştirilmesi durumunda en uygun eğim açısı değerinin kış mevsiminde 50⁰ olacağı görülmektedir.

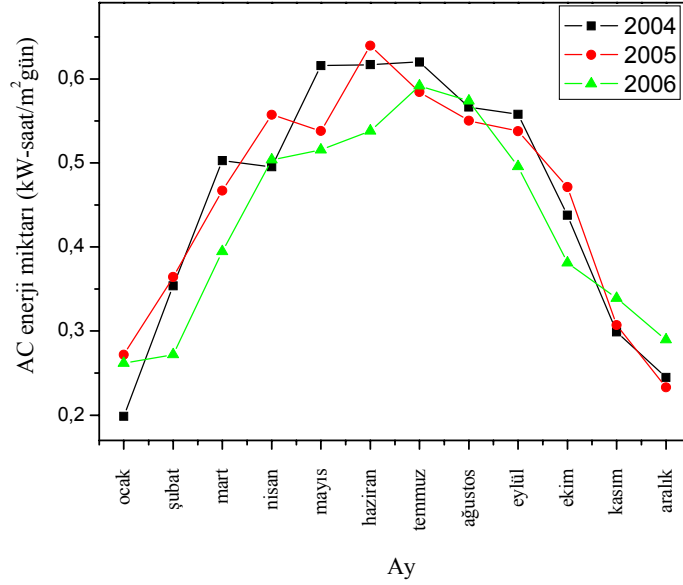


Şekil 5.4) PVSYST 3.02 paket programı ile Muğla ilindeki birim yüzeye düşen enerjinin Nisan-Eylül ayları arası için eğim açılarındaki yapılan simülasyon sonuçları.

Kış mevsiminde güneş ışınları yeryüzüne küçük açılarla geldiğinden sistemden daha fazla verim alabilmek için PV modüllerin eğim açıları büyük seçilmelidir.

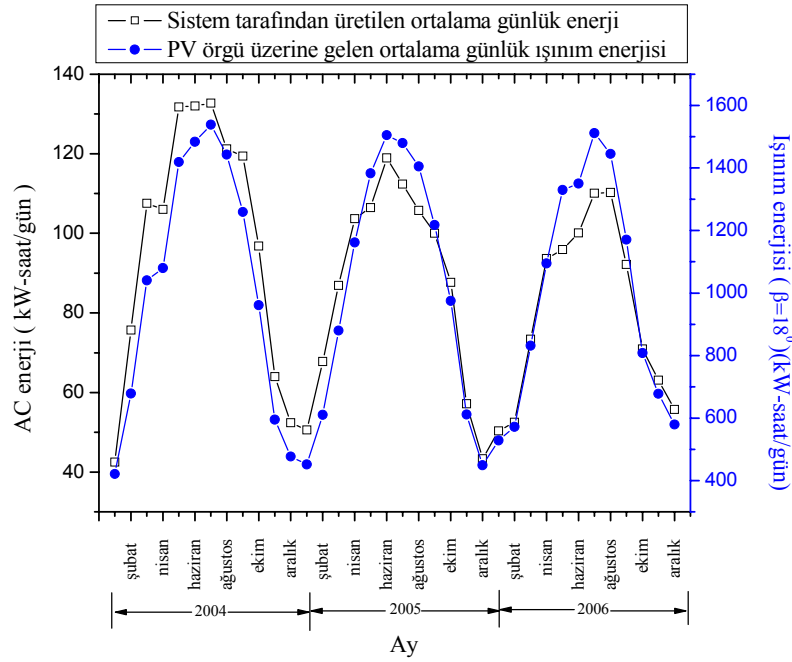
Yaz mevsimi için yapılan simülasyon çalışması sonucunda (Şekil 5.4) eğimli yüzeye($\beta=18^0$) ve yatay düzleme gelen ışınlam enerji değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum güneş ışınlarının yeryüzüne yazın dik açılarla gelmesinden ve güneş spektrumundaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Mevsimlik eğim açısının uygulanması durumunda en uygun eğim açısı değerinin, Nisan-Eylül ayları arasında 13^0 olacağı görülmektedir. PVSYST 3.02 programı ile yapılan simülasyon çalışmaları Şekil 5.1 deki deneysel sonuçlarla uyum içerisindedir.

Sistem tarafından birim alan başına üretilen AC enerjinin üç yıllık veriler doğrultusunda aylara göre değişimi ise Şekil 5.5’de verilmektedir. Sistemin yıllık enerji üretimi 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 35861 kW-saat/yıl, 31246 kW-saat/yıl, 29178 kW-saat/yıl dır. 2005 Haziran ayında en yüksek, 2004 Ocak ayında da minimum enerji üretimi gerçekleşmiştir. Enerji üretimindeki bu düşüş PV örgü üzerine gelen ışınlam enerjisi değerindeki azalmadan kaynaklanmaktadır. 2005 ve 2006 yıllarının bazı dönemlerinde Master tipi invertörlerden birinin devre dışı kalması enerji üretimindeki azalışın diğer bir sebebidir. İnvvertörlerden birinin arızalanması aktif örgü alanını değiştireceğinden şekil 5.5 deki grafik birim alan başına üretilen enerji değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.5 Sistem tarafından birim alan başına üretilen AC enerjinin üç yıllık veriler doğrultusunda aylara göre değişimi

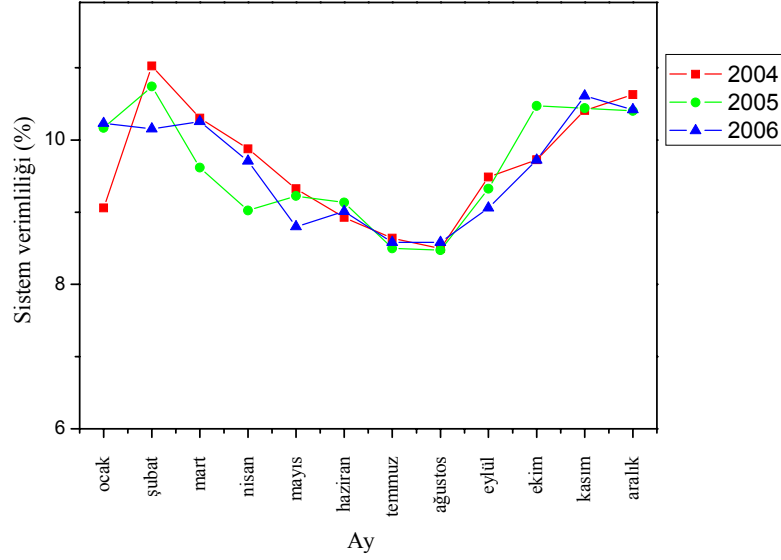
Sistemin ürettiği enerji ile PV örgü üzerine gelen ışınım enerjisi arasındaki ilişki Şekil 5. 6'da verilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi sistemin ürettiği enerji ışınım enerjisi ile birlikte artmaktadır. Kış aylarında azalan ışınım enerjisine bağlı olarak üretilen enerji miktarlarında da bir düşüş görülmektedir. Sistem tarafından üretilen en düşük ortalama günlük enerji 42,509 kW-saat/gün değeri ile 2004 Ocak ayında, en yüksek ortalama günlük enerji 132,71 kW-saat/gün değeri ile 2004 Temmuz ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 5. 6 Sistem tarafından üretilen enerji ile ışınım enerjisi arasındaki değişimin aylara göre dağılımı

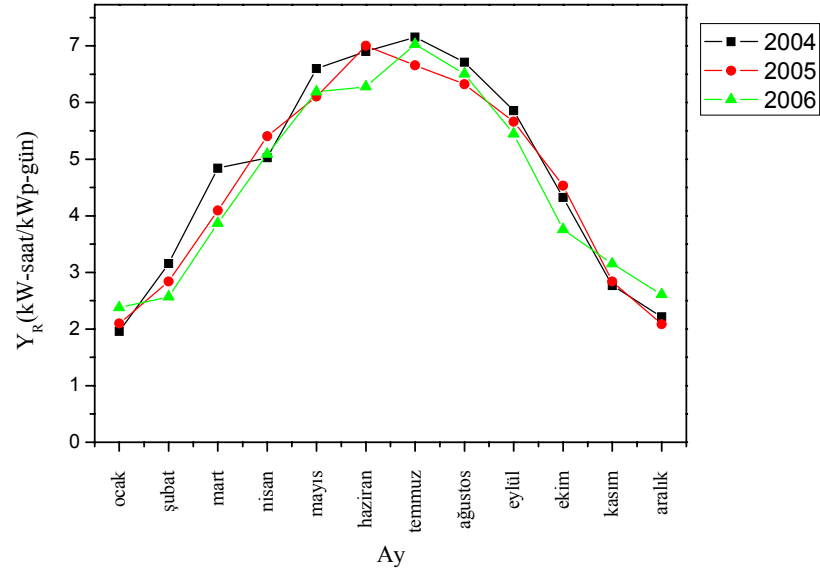
Üç yıllık veriler ışığında (4.6) eşitliği kullanılarak ortalama günlük sistem verimliliğinin aylara göre dağılımı Şekil 5. 7’de verilmektedir. Ortalama günlük sistem verimliliği %8,47 ile %11,02 arasında değişmektedir. En yüksek sistem verimliliği %11,02 ile 2004 Şubat ayında, minimum sistem verimliliği %8,47 ile 2005 Ağustos ayında görülmektedir. Yıllık ortalama sistem verimliliği 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırasıyla %9,65, %9,62, %9,59 olarak hesaplanmıştır. Sistem verimliliğindeki bu kayıp 2005 ve 2006 yıllarının bazı dönemlerinde invertörden kaynaklanan sorunlardan ortaya çıkmaktadır. Yaz aylarında sistem verimliliği artan ışınım enerjisi ile birlikte azalmaktadır. Bunun nedeni yaz aylarında artan modül sıcaklığının PV modülün akım ve gerilim değerleri üzerindeki etkisi incelenerek açıklanabilir.

Şekil 2.13 de görüldüğü gibi modül sıcaklığı arttıkça akımdaki küçük artışların yanında gerilimdeki düşüşlerin büyük olması modülün verimini azaltmaktadır. Dolayısıyla artan modül sıcaklığı ile birlikte sistemin verimi düşmektedir.



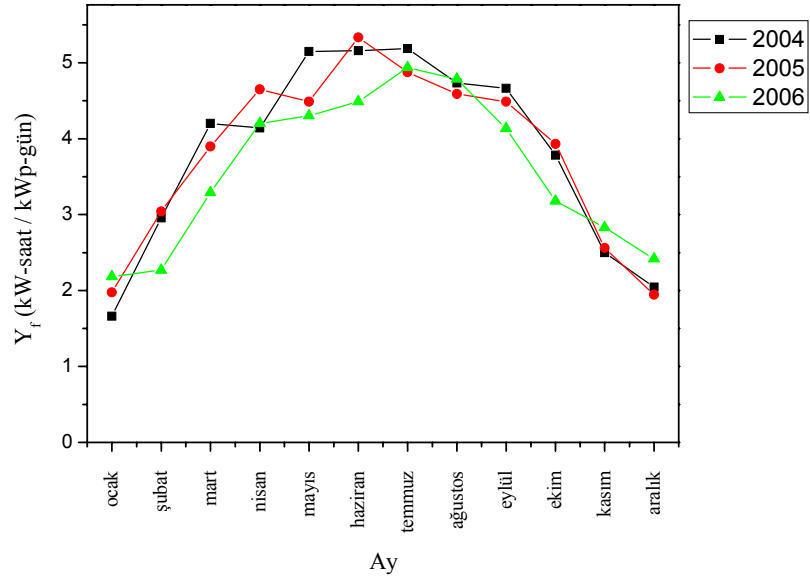
Şekil 5. 7 Üç yıl için günlük ortalama sistem verimliliğinin aylara göre dağılımı

(4.12) eşitliği kullanılarak örgü yüzeyine düşen normalize edilmiş ortalama günlük ışınım enerjisinin (Y_R) aylara göre değişimi Şekil 5. 8’de verilmektedir. Normalize edilmiş ortalama günlük ışınım enerjisi 2004 ve 2006 yıllarının Temmuz aylarında, 2005 yılının Haziran ayında maksimum değerlere ulaşmıştır. 2004 Temmuz ayında güneş ışınları ortalama günlük 7,15 saat PV örgü üzerine düşmüştür. Yaz aylarında günlerin uzamasıyla birlikte Y_R değeri kış aylarına göre daha yüksek olmaktadır. 21 Haziran ve 23 Temmuz’da ortalama 15 saat, 22 Aralık tarihinde de 8,5 saat gündüzün yaşandığı ülkemizde Y_R en düşük değerini Aralık ve Ocak, en yüksek değerini de Haziran ve Temmuz aylarında almaktadır.



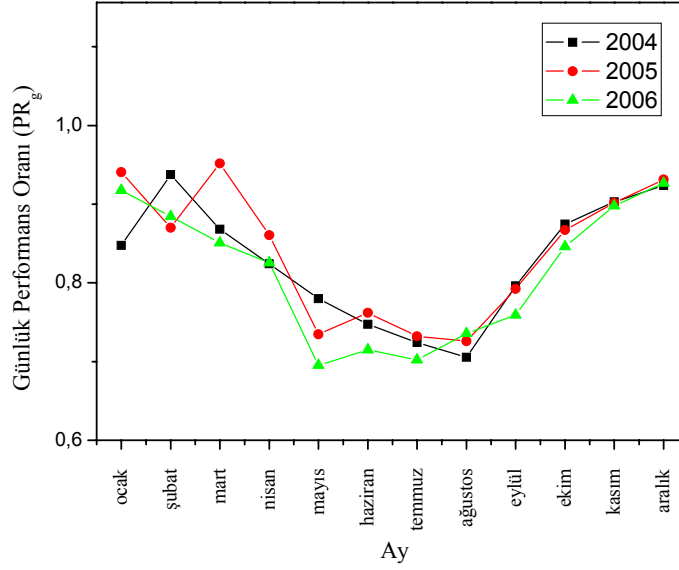
Şekil 5. 8 Üç yıl için PV örgü yüzeyine düşen normalize edilmiş ortalama günlük ışınım enerjisinin aylara göre dağılımı

Sistemden alınan veriler yardımıyla (4.11) eşitliği kullanılarak normalize edilmiş ortalama günlük sistem enerji üretiminin üç yıllık periyot üzerinden aylara göre dağılımı şekil 5. 9'da verilmektedir. 2005 Haziran ayında watt başına 5,34 W-saat enerji üretimi ile sistemin en yüksek enerji üretimi gerçekleşmiştir. Sistemin enerji üretimi 2004,2005 ve 2006 yıllarında ortalama watt başına sırasıyla 3,85 W-saat, 3,81 W-saat, 3,59 W-saat olarak hesaplanmıştır. Normalize edilmiş ortalama günlük PV sistem enerji üretimi, güneşlenme süresinin daha uzun olduğu ve güneş ışınlarının yeryüzüne dik açıyla geldiği yaz aylarında yüksek değerlere çıkmıştır. Yaz mevsiminde PV sistemin ortalama enerji üretimi 112 kWh iken kış mevsiminde bu değer 62 kWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. 9 Üç yıl için normalize edilmiş ortalama günlük PV sistem enerji üretimi

Sistemin performans oranı; gerçek sistem enerji üretimi ile STC altında çalışan sistemin enerji üretimi arasındaki oranın bir göstergesi olarak tanımlanır. (4.10) eşitliği kullanılarak sistemin performans oranının aylara göre değişimi şekil 5.10'da verilmektedir. Günlük ortalama sistem performans oranının dağılımına baktığımızda 2005 Mart ayında %95 ile en yüksek değerine ulaştığı, 2006 Mayıs ayında %69 ile en düşük değerini aldığı görülmektedir. Sistem verimliliğinde olduğu gibi sistemin performans oranı da artan modül sıcaklığı ile birlikte yaz aylarında düşmektedir. Kış aylarında sistem ortalama %80 performansla çalışırken yaz aylarında bu oran ortalama %70 olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında sistemin performansında %10 luk bir düşüş olmuştur. PV modüller yaz aylarında aşırı ısındığı için sistemin performansında önemli kayıplar oluşmaktadır. Güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine güneş gözeleri için çok sıcak ortamlar uygun değildir.

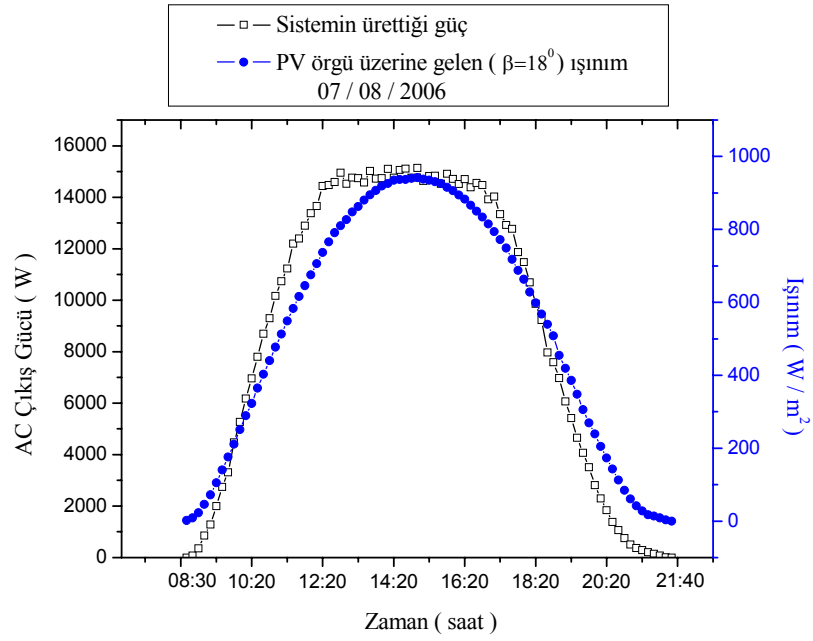


Şekil 5. 10 Günlük ortalama sistem performans oranının aylara göre dağılımı

Buraya kadar olan kısımda sistemin üç yıllık performansı yıllara ve aylara göre değerlendirildi. Şimdi de sistemin performansını etkileyen sıcaklık, ışınım gibi parametrelerin sistemin verimliliği üzerindeki etkileri incelenecektir. Sıcaklık ve ışınım değerlerindeki değişimler PV modülün akım-gerilim değerlerini etkilemektedir. Yıl içerisinde değişik günlerde alınan günlük veriler yardımıyla bu değişim ve etki gözlemlendi.

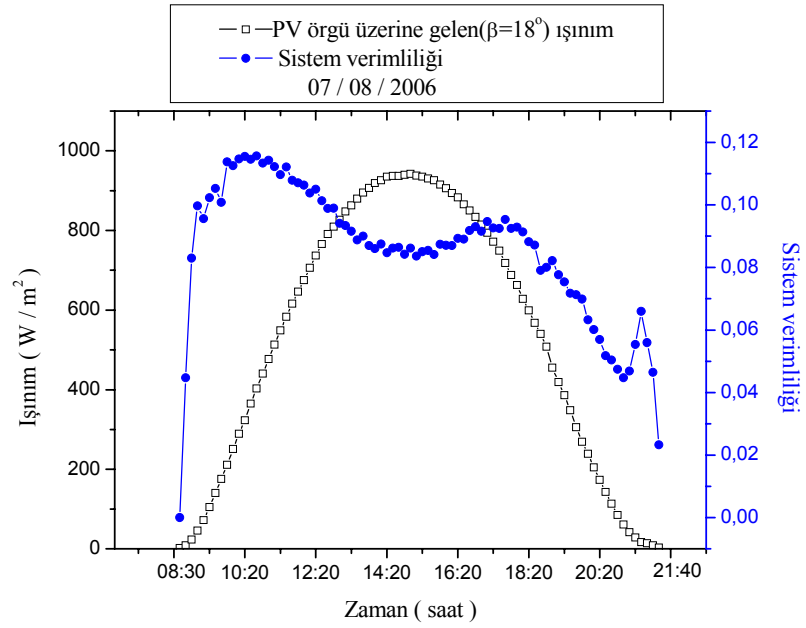
5.1 GÜNEŞ IŞINIMININ SİSTEM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

2006 Ağustos ayına ait bir gün içerisinde alınan güç ve PV örgü üzerine gelen ışınım değerleri şekil 5.11a da gösterilmektedir. Güç-ışınım grafiğine baktığımızda sabah güneşin doğuşuyla birlikte sistem güç üretmeye başlamıştır. Artan ışınım değerleriyle birlikte sistemin ürettiği güç artmıştır ve öğle zamanında maksimum değerini almıştır. Sistem tarafından üretilen güç ile ışınım arasında doğru orantılı bir ilişki görülmektedir.

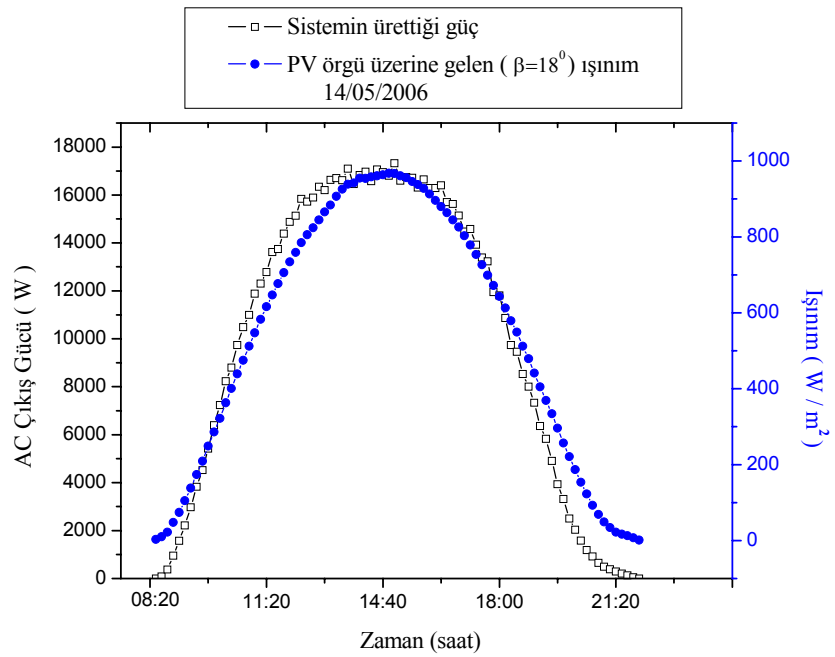


Şekil 5. 11a Işınımına bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi

(4.4) eşitliği kullanılarak aynı gün içerisindeki ışınım ile sistem verimliliği arasındaki değişim incelendiğinde (Şekil 5.11b) ışınım değeriyle birlikte arttığı görülmektedir. Ancak modül sıcaklığının 70°C nin üzerine çıktığı saat 14:00 den itibaren sistem verimliliğinde düşüş gerçekleşmiştir. Öğleden sonra da modül sıcaklığı giderek arttığı için sistem verimliliğindeki düşüş devam etmektedir.

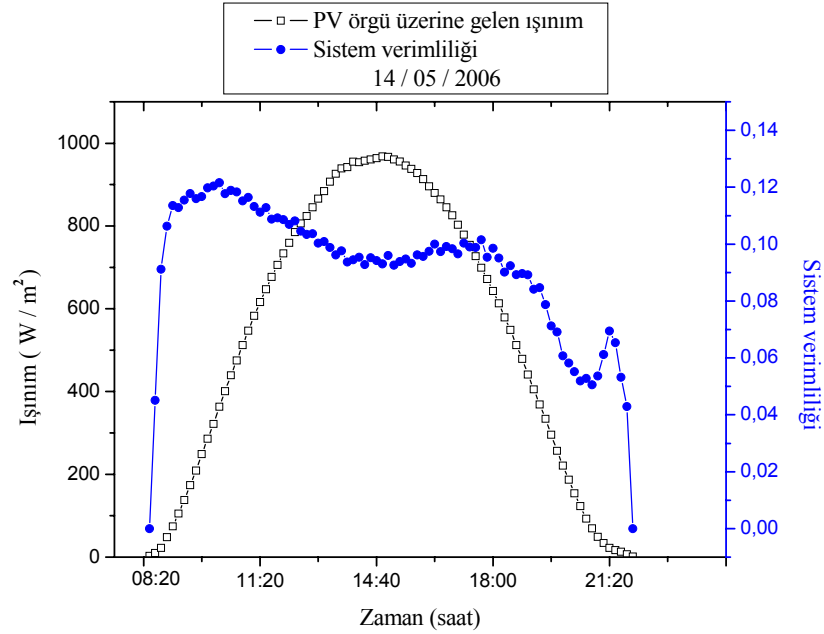


Şekil 5.11b Işınımına bağlı olarak sistem verimliliğinin Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi



Şekil 5.12a Işınımına bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Mayıs ayında bir gün içindeki değişimi

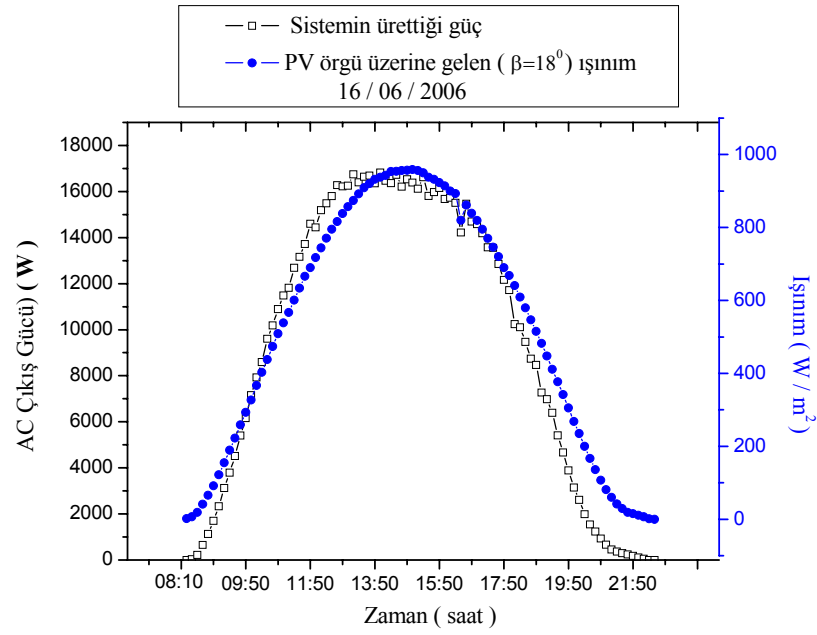
Benzer değişimler yılın değişik zamanlarında alınan ölçümlerde de görülmektedir. Mayıs 2006 tarihindeki ölçüm sonuçları güç ve ışınım değerlerinin bire-bir örtüşüğünü göstermektedir (Şekil 5.12a, Şekil 5.12b)



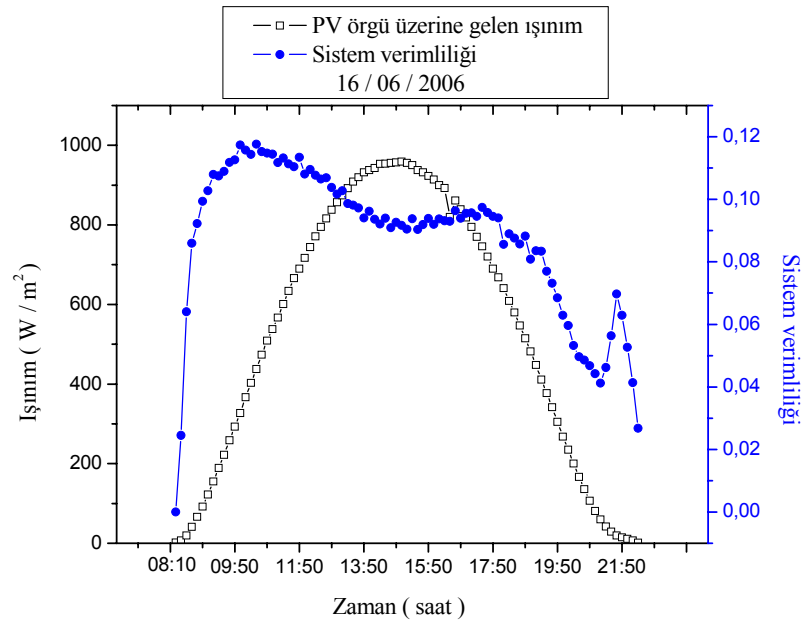
Şekil 5.12b Işınıma bağlı olarak sistem verimliliğinin Mayıs ayında bir gün içindeki değişimi

14.05.2006 tarihinde sistem tarafından üretilen gücün 07.08.2006 tarihinde üretilen güçten daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum Mayıs ve Ağustos aylarında ölçülen ışınım değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. 07.08.2006 tarihindeki maksimum ışınım değeri 942 W/m^2 iken 14.05.2006 tarihinde bu değer 980 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Aynı tarihlerdeki sistem verimliliklerine baktığımızda; Mayıs 2006 tarihinde maksimum sistem verimliliği %12 ($T_{\text{modül}}=71 \text{ }^\circ\text{C}$) iken Ağustos 2006 tarihinde en yüksek sistem verimliliği %11.60 ($T_{\text{modül}}=78 \text{ }^\circ\text{C}$) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.13 de Haziran ayındaki bir gün için tipik güç-ışınım ve ışınım-sistem verimliliği değişimleri verilmektedir. Işınım, güç ve verimlilik değerlerine baktığımızda Mayıs ve Ağustos aylarındaki değerler arasında ölçüm sonuçlarının elde edildiği görülmektedir.



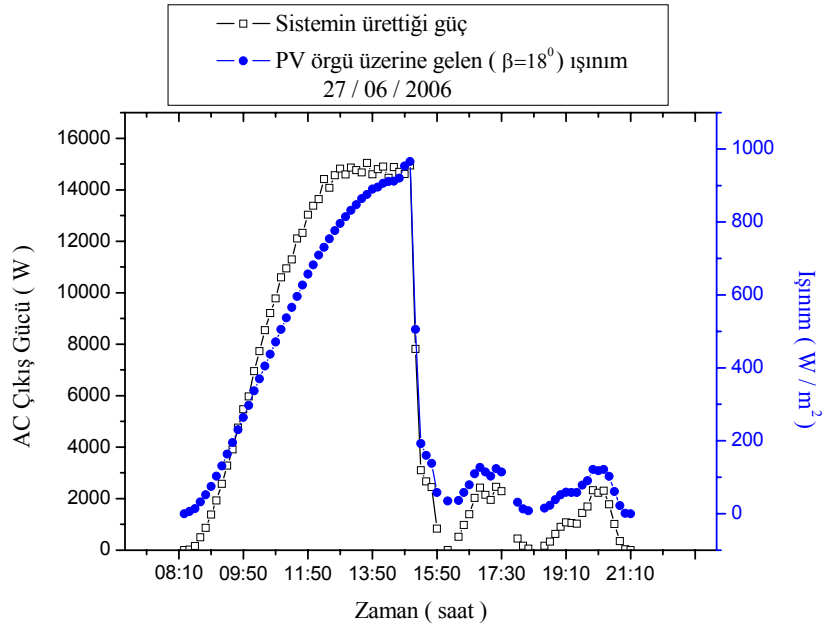
Şekil 5. 13a Işınlama bağılı olarak PV sistem çıkış gücünün Haziran ayında bir gün içindeki değişimi



Şekil 5. 13b Işınlama bağılı olarak sistem verimliliğinin Haziran ayında bir gün içindeki değişimi

Şekil 5. 14'deki grafik dış parametrelerin PV sistemlerin performansı üzerindeki etkisini göstermektedir. 27.06.2006 tarihinde alınan güç ve ışınım değerlerine

bakıldığında sistemde saat 14:50'e kadar bir sorun olmadığı görülmektedir. Ancak saat 14:50 de ışınım ve güç değerleri aniden düşmüştür. Bu düşüşün iki nedeni üzerinde durulabilir. Bunlardan birincisi; sistemin dizaynından kaynaklanan (invertörlerin çalışmaması, gerilim ve frekans rölesinin seçim aralıklarındaki hata v.s) sorunlar olabilir. İkincisi ise sistemin performansını etkileyen dış parametrelerdeki (sıcaklık, bulutluluk, nem,rüzgar v.s) değişimler olabilir. 27.06.2006 tarihindeki hava durumuna bakıldığında sistemin bulunduğu yerleşkeye saat 14:50 de yağmur yağmıştır. Yağmurun yağmasıyla birlikte güneş gözelerinin çalışması için gerekli olan güneş ışığı kaybolduğundan sistem düşük değerlerde güç üretmeye başlamıştır.

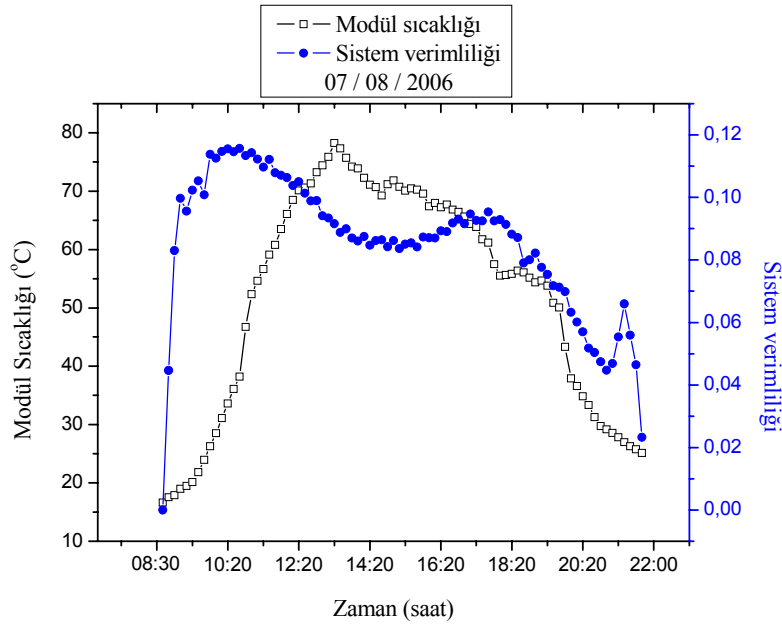


Şekil 5. 14. Işınımına bağlı olarak PV sistem çıkış gücünün Haziran ayındaki bir gün için değişimi

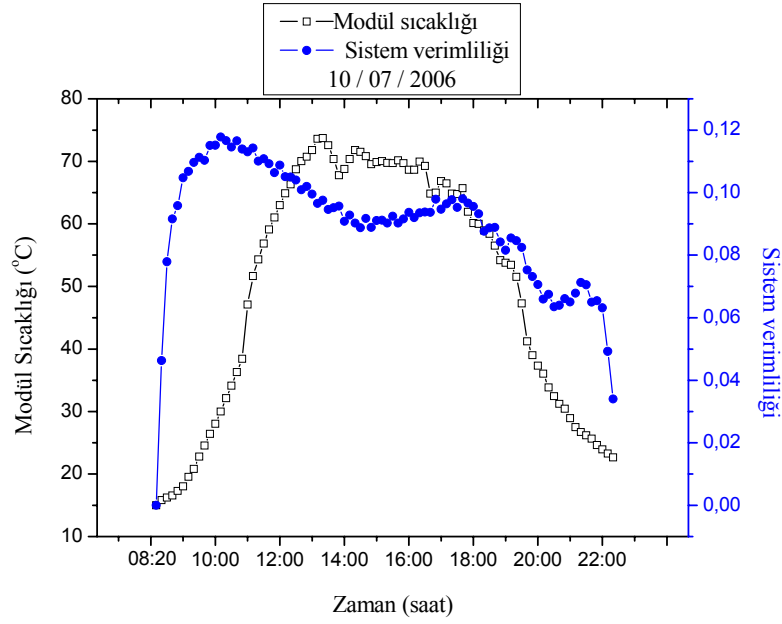
5.2 SICAKLIĞIN SİSTEM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Sıcaklık da ışınım gibi PV sistemin verimini etkileyen bir değişkendir. Modül sıcaklığının sistemin performansı üzerindeki etkilerini gözlemlemek amacıyla yıl içerisinde değişik günlerde ölçümler alındı. Şekil 5.15 de Ağustos 2006 tarihinde bir

gün içindeki modül sıcaklığının sistem verimliliği üzerindeki etkisi görülmektedir. Modül sıcaklığı 70°C ye çıkıncaya kadar artan sıcaklık değeriyle birlikte sistem verimliliği de artmıştır. Ancak modül sıcaklığı 70°C nin üzerine çıkınca PV modüller aşırı ısındığı için sistemin veriminde belirgin düşüşler gözlenmektedir. Bu düşüşler güneş ışınlarının dik geldiği saat 12:00 ile 14:00 arasında açıkça görülmektedir. Saat 16:00'dan sonra modül sıcaklığı azaldığı için sistemin verimi de buna bağlı olarak düşmüştür. Gün içerisinde sistemin en yüksek verimi %11 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.16 de Temmuz 2006 tarihinde bir gün içindeki sistem verimliliğinin modül sıcaklığına bağlılığı gösterilmektedir. Temmuz ayında sistemin verimi maksimum %11,20 olmuştur. Ağustos ayına göre Temmuz ayında sistemin verimindeki bu artış sıcaklık değeriyle açıklanabilir. Şekil 5.15 de görüldüğü gibi modül sıcaklığı Ağustos ayında 77°C ye çıkarken, Temmuz ayında modül sıcaklığı maksimum 73°C olarak ölçülmüştür. Modül sıcaklığı arttıkça sistemin veriminin düştüğü görülmektedir.

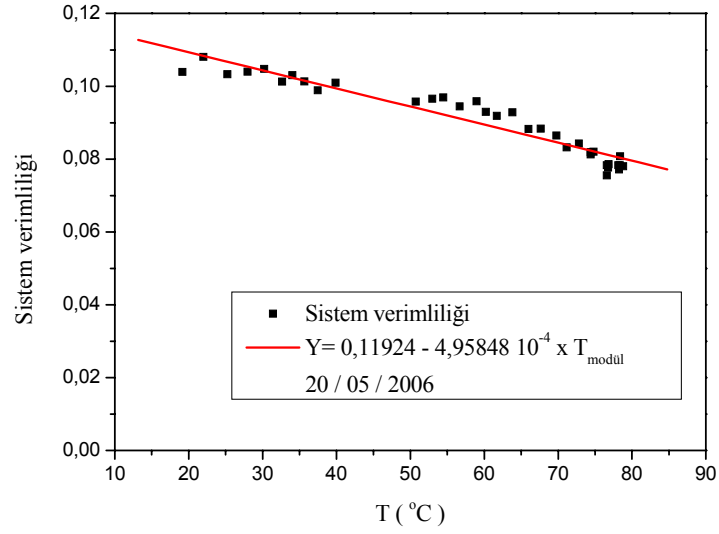


Şekil 5.15 Sistem verimliliğinin modül sıcaklığına bağlı olarak Ağustos ayında bir gün içindeki değişimi

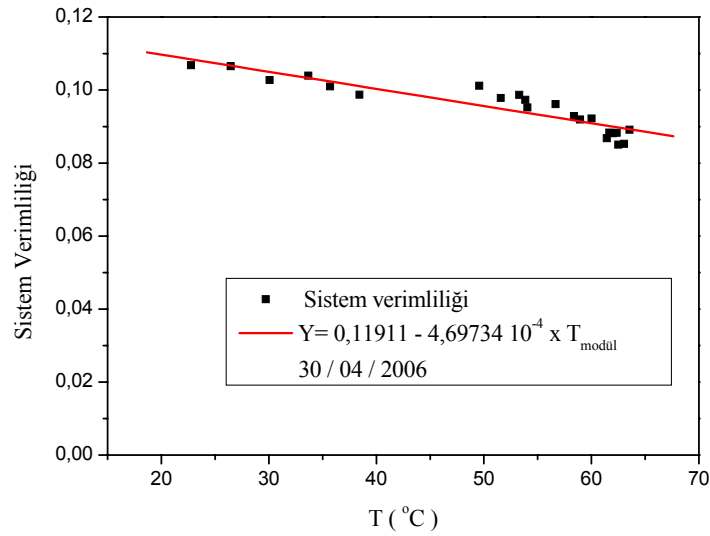


Şekil 5.16 Sistem verimliliğinin modül sıcaklığına bağlı olarak Temmuz ayında bir gün içindeki değişimi

Temmuz ve Ağustos aylarında modül üzerine gelen ışınım enerjisinin artmasıyla birlikte modül sıcaklığı 80°C nin üzerine çıkmaktadır. Modül sıcaklığının en yüksek günlük ortalama değeri 40°C ile 2006 Ağustos ayında, en düşük günlük ortalama değeri 7°C ile 2005 Şubat ayında ölçülmüştür. Şekil 5.17 de Mayıs 2006 tarihinde bir gün içindeki sistem verimliliğinin modül sıcaklığına göre değişimi görülmektedir. Sistem verimliliği modül sıcaklığı 60°C nin üzerine çıktığı anlarda belirgin bir şekilde azalmaktadır. Modül sıcaklığı 62°C iken sistem verimliliği %92, modül sıcaklığı 78°C ye çıktığında ise %81 olarak hesaplanmıştır. Sistem verimliliği artan modül sıcaklığı ile doğrusal olarak azalmaktadır.



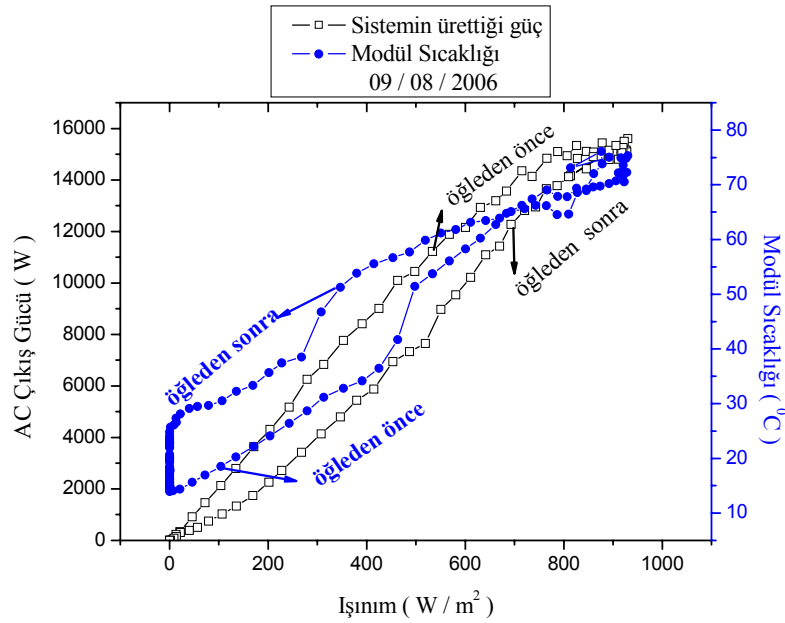
Şekil 5. 17 Mayıs ayı için sistem verimliliğinin modül sıcaklığına göre değişimi



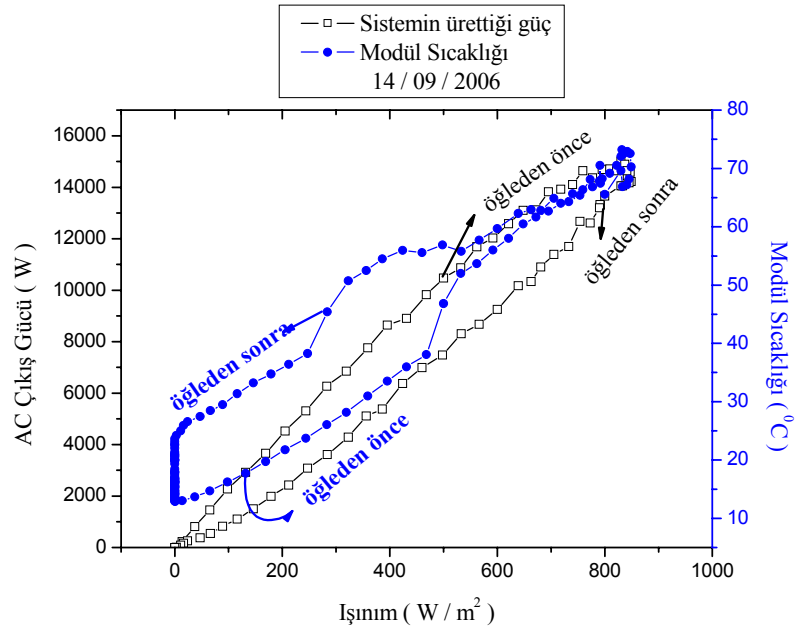
Şekil 5. 18 Nisan ayı için sistem verimliliğinin modül sıcaklığına göre değişimi

Nisan 2006 tarihinde alınan ölçüm sonuçları şekil 5.18 de verilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi Nisan ayında modül sıcaklığı maksimum 63 °Cye çıkmaktadır. Yaz aylarında PV modüllerde görülen aşırı ısınma durumu Nisan ayında daha az gerçekleştiği için sistem verimliliğindeki düşüşler daha yavaş olmaktadır. Modül sıcaklığı 51 °C iken sistem verimliliği %9.8, 63 °C ye çıktığında ise %9.0 olarak hesaplanmıştır.

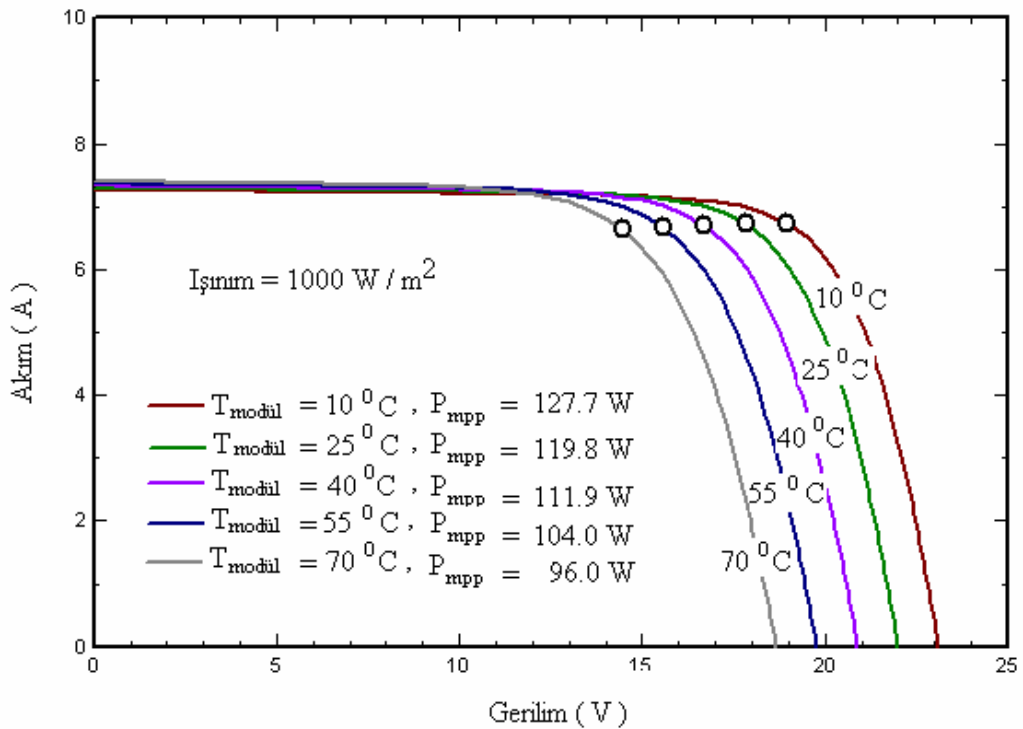
Sistemin ürettiği güç ile ışıınım arasındaki ilişki modül sıcaklığına bağlı olarak şekil 5.19 ve şekil 5.20’de verilmektedir. Gün içindeki AC çıkış gücü-ışıınım grafiği hysteresis özelliği göstermektedir. Burada üzerinde durulması gereken nokta; aynı ışık şiddetlerinde sistemin farklı değerlerde güç üretmesidir. Bunun sebebi artan modül sıcaklığı ile birlikte üretilen güç değerinin azalmasıdır (Mondol vd, 2006). Modül sıcaklığı arttıkça PV modülün akım ve gerilim değerleri değişmektedir ve bu sistemin ürettiği güce doğrudan yansımaktadır. Şekil 5.19 ya baktığımızda 600 W/m^2 ışıınım değerinde sistem öğleden önce 1100 W ($T_{\text{modül}} = 57^\circ \text{C}$) güç üretirken, öğleden sonra aynı ışıınım değerinde sistem 900 W ($T_{\text{modül}} = 62^\circ \text{C}$) güç üretmektedir. Eylül 2006 tarihindeki grafikte de benzer etki görülmektedir. Ayrıca öğleden önce ve öğleden sonraki güneş ışığının spektrumundaki farklılık sistemin farklı değerlerde güç üretmesinde etkilidir.



Şekil 5. 19 Temmuz ayı için sistem tarafından üretilen gücün ışıınım ve modül sıcaklığına bağlılığı



Şekil 5.20 Eylül ayı için sistem tarafından üretilen gücün ışınım ve modül sıcaklığına bağlılığı

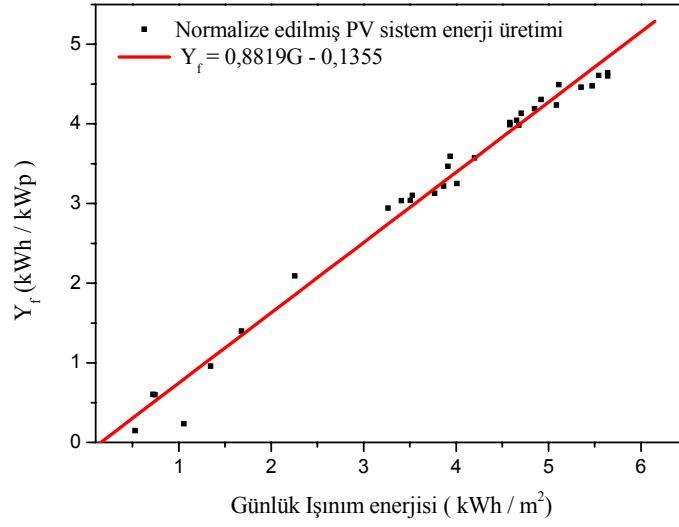


Şekil 5.21 Farklı sıcaklıklarda bir PV modülün maksimum güç noktaları ve I-V karakteristiği

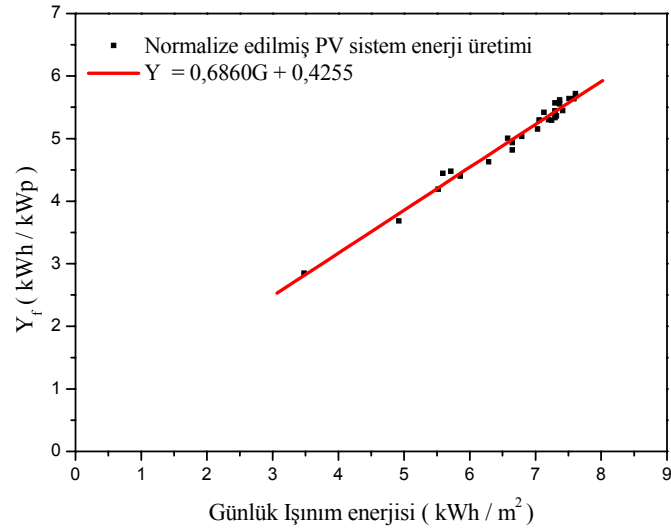
PVSYSYT 4.1 simülasyon programı kullanılarak bir PV modülün (çoklu kristal) I-V karakteristiği üzerindeki sıcaklığın etkisi Şekil 5.21 de gösterilmektedir.

Modül sıcaklığındaki artış fotoakımı, dolayısıyla kısa devre akımını (I_{sc}) attırmasına rağmen açık devre gerilimi (V_{oc}) değeri termal örgü titreşimlerinin artmasından kaynaklanan elektron-fonon saçılmaları, taşıyıcı mobilitelerindeki azalmadan dolayı düşmektedir. Şekil 5.21 den görüldüğü gibi artan modül sıcaklığı birlikte, kısa devre akımındaki küçük artışların yanında açık devre gerilimi hızlı bir şekilde azalmaktadır. Açık devre voltajındaki hızlı düşüş doluluk faktörü değerini düşürür ve modülün verimliliğinin azalmasına neden olur (Radziemska, 2003). Bir PV modülün verimliliği, modülden elde edilen gücün modül üzerine düşen güneş ışınım gücüne oranı olarak tanımlandığından, modülün verimindeki düşüş maksimum güç değerinin azalmasına yol açar. Dolayısıyla yapılan bu simülasyon çalışması Şekil 5.19 ve 5.20 deki deneysel çalışmaları desteklemektedir.

Eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisi PV sistemin enerji üretimini etkilemektedir. Şekil 5.22 de Normalize edilmiş PV sistem enerji üretiminin PV örgü üzerine gelen günlük ışınım enerjisi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ekim 2006 tarihindeki veriler kullanılarak çizilen şekil 5.18 deki grafiğin eğimi sistemin bu aydaki performans oranını vermektedir (Rindelhardt, 2006). Şekil 5.10'a baktığımızda Ekim 2006 da sistemin performans oranının %88 olduğu görülmektedir. Bu değer şekil 5.21 deki grafiğin eğimine (0,88) eşittir. Yaz aylarında PV örgü üzerine gelen günlük ışınım enerjisinin değeri 8 kWh/m^2 ile 3 kWh/m^2 arasında değerler aldığından değişim şekil 5.23 deki gibi olacaktır.

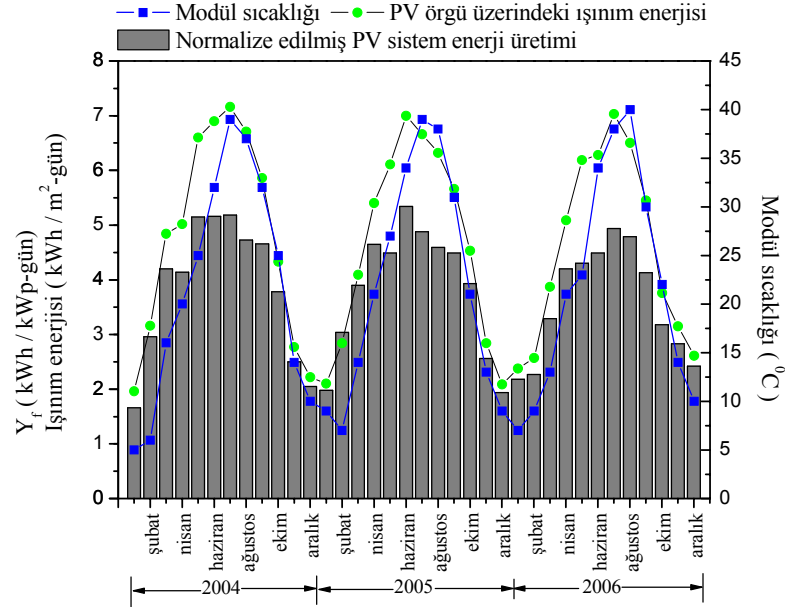


Şekil 5.22 Ekim 2006 tarihine ait normalize edilmiş sistem enerji üretiminin günlük ışınım enerjisine bağlılığı



Şekil 5.23 Temmuz 2006 tarihine ait normalize edilmiş sistem enerji üretiminin günlük ışınım enerjisine bağlılığı

Buraya kadar olan kısımda sistemin verimliliğini, performansını, güç ve enerji üretimini etkileyen sıcaklık ve ışınım gibi dış parametreler ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 5.24 üç yıllık süreçte modül sıcaklığının ve PV örgü üzerindeki ışınım enerjisinin normalize edilmiş PV sistem enerji üretimi üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 5.24 Modül sıcaklığı ve PV örgü üzerine gelen ışınım enerjisinin sistemin enerji üretimine etkisi

Artan ışınım enerjisi ile birlikte modül sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Yaz aylarına doğru artan ışınım enerjisi ile birlikte sistemin enerji üretimi artmaktadır. Işınım enerjisinin maksimum olduğu Haziran ve Temmuz aylarında sistem daha fazla enerji üretmiştir. Çünkü kuzey yarımkürede Haziran ve Temmuz aylarında en uzun günler yaşanmaktadır. En yüksek enerji üretimi 2005 Haziran ayında gerçekleşmiştir. 2004 yılının Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında artan ışınım enerji değerlerine rağmen sistemin aynı değerlerde enerji ürettiği görülmektedir. Bunun nedeni, sistemdeki invertörlerden birinin Nisan-Ağustos ayları arasında devre dışı kalmasıdır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Muğla ilinde bulunan 25,6 kWp kurulu güce sahip binaya entegre fotovoltaik güç sisteminin üç yıllık performansı değerlendirildi. Üç yıllık periyot üzerinden alınan veriler yardımıyla yatay düzlem ve PV örgü üzerine gelen ışınım enerji miktarlarının aylara göre karşılaştırılması yapıldı. Sistem tarafından üretilen ortalama günlük enerjinin PV örgü üzerine gelen ışınım enerjisine olan bağılılığı incelendi. Sıcaklık ve ışık şiddetinin sistem verimliliği üzerindeki etkileri araştırıldı. Sistemin günlük performans oranı aylara ve yıllara göre değerlendirildi. PVSYST 4.1 programı kullanılarak yapılan simülasyon ile sistemden elde edilen veriler sonucunda yapılan analizler karşılaştırıldı. 27.06.2006 tarihindeki veriler yardımıyla meteorolojik şartların sistem üzerindeki etkinliği vurgulandı.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda PV örgü üzerine gelen en yüksek ışınım enerjisi 7,16 kW-saat/m² gün ile 2004 Temmuz ayında ölçüldü. En düşük ışınım enerjisi ise 2,10 kW-saat/m² gün değeri ile 2005 Ocak ayında görüldü. 18⁰ eğim açısına sahip PV örgü üzerine gelen yıllık ışınım enerjisi 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 1749,41 kW-saat/m², 1692,87 kW-saat/m² 1668,94 kW-saat/m² dir. Yatay düzleme gelen yıllık ışınım enerjisi ise 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 1406,20 kW-saat/m², 1349,39 kW-saat/m² ve 1365 kW-saat/m² dir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisi yatay düzlemdeki ışınım enerjisinden büyüktür. Ayrıca kış aylarında eğimli yüzeye gelen ışınım enerjisi ile yatay düzlemdeki ışınım enerjisi arasındaki farkın yaz aylarına göre büyük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni eğimli yüzey üzerindeki ışınım kış aylarında yayılmış ve albedo ışınımın katkı yapmasıdır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda 18⁰ lik eğimli yüzeye gelen enerji 1790 kW-saat/m² iken yatay düzleme gelen enerji ise 1680 kW-saat/m² olarak hesaplanmıştır. Gölgeleme etkisi ve modül sıcaklığındaki artış eğimli yüzeye gelen ışınım enerji değerinin, simülasyon çalışmasında deneysel sonuçlara göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Simülasyon çalışması sonucunda yatay düzleme gelen yıllık toplam 1680 kW-saat/m² olan güneş enerjisi değerinin 28⁰ lik sabit eğimde yıllık toplam 1841,4 kW-saat/m² ye ulaşacağı hesaplanmıştır. Mevsimlik eğim açısının uygulanması durumunda en uygun eğim açısı değerinin Nisan-Eylül ayları arasında 13⁰, Ekim-

Mart ayları arasında olacağı görülmüştür. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 de yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçları Şekil 5.1 deki deneysel sonuçlarla uyum içerisindedir.

Sistem tarafından birim alan başına üretilen AC enerjinin üç yıllık veriler doğrultusunda aylara göre değişimi değerlendirildiğinde 2005 Haziran ayında maksimum, 2004 Ocak ayında da minimum enerji üretimi gerçekleşmiştir. Sistemin yıllık enerji üretimi 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırası ile 35861 kW-saat/yıl, 31246 kW-saat/yıl, 29178 kW-saat/yıl'dır. Enerji üretimindeki bu düşüş PV örneğine üzerine gelen ışınım enerjisi değerindeki azalmadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca invertörlerden birinin devre dışı kalması enerji üretimindeki bu düşüşün diğer bir nedenidir. Sistemin ürettiği enerji ile PV örgü üzerine gelen ışınım enerjisi arasındaki ilişki incelendiğinde sistem tarafından üretilen enerjinin ışınım enerjisiyle doğru orantılı bir şekilde değiştiği görülmüştür. Sistem tarafından üretilen en düşük ortalama günlük enerji 42,509 kW-saat/gün değeri ile 2004 Ocak ayında, en yüksek ortalama günlük enerji 132,71 kW-saat/gün değeri ile 2004 Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Üç yıl süresince ortalama günlük sistem verimliliği %8,47 ile %11,02 arasında değişmektedir. Maksimum sistem verimliliği %11,02 ile 2004 Şubat ayında, minimum sistem verimliliği %8,47 ile 2005 Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Yıllık ortalama sistem verimliliği 2004, 2005 ve 2006 yıllarında sırasıyla %9,65, %9,62, %9,59 olarak hesaplanmıştır. Sistemin yanındaki ağaçlar gölgeleme etkisi yaptığından sistemin veriminde yıllara göre azalma görülmüştür. Yaz aylarında sistem verimliliği artan modül sıcaklığı ve PV örgü yüzeyi üzerinde biriken tozlardan dolayı diğer aylara göre düşük olmaktadır. PV örgü yüzeyine düşen normalize edilmiş ortalama günlük ışınım enerjisinin aylara göre değişimine baktığımızda 2004 ve 2006 yıllarının temmuz aylarında, 2005 yılının Haziran ayında maksimum değerlere ulaşmıştır. 2004 Temmuz ayında güneş ışınları ortalama günlük 7,15 saat PV örgü üzerine düşmüştür. Yaz aylarında günlerin uzamasıyla birlikte Y_R değeri kış aylarına göre daha yüksek olmaktadır. 21 Haziran ve 23 Temmuz'da ortalama 15 saat, 22 Aralık tarihinde de 8,5 saat gündüzün yaşandığı ülkemizde Y_R en düşük değerini Aralık ve Ocak, en yüksek değerini de Haziran ve Temmuz aylarında almaktadır. Ayrıca 2005 Haziran ayında watt başına 5,34 W-saat enerji üretimi ile sistemin en yüksek enerji üretimi gerçekleşmiştir. Sistemin enerji üretimi 2004,2005

ve 2006 yıllarında ortalama watt başına sırasıyla 3,85 W-saat, 3,81 W-saat, 3,59 W-saat olarak hesaplanmıştır. Normalize edilmiş ortalama günlük PV sistem enerji üretimi, güneşlenme süresinin daha uzun olduğu ve güneş ışınlarının yeryüzüne dik açıyla geldiği yaz aylarında yüksek değerlere çıkmıştır. Yaz mevsiminde PV sistemin ortalama enerji üretimi 112 kWh iken kış mevsiminde bu değer 62 kWh olarak hesaplanmıştır.

Sistemin performans oranı 2005 Mart ayında %95 ile en yüksek değerine ulaşırken, 2006 Mayıs ayında %69 ile en düşük değerini almıştır. Kış aylarında sistem ortalama %80 performansla çalışırken yaz aylarında bu oran ortalama %70 olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında sistemin performansında %10 luk bir düşüş olmuştur. Düşük performans oranı PV örgünün gölgelenmesi ve sistem dizaynındaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Sistem dizaynından kaynaklanan hatalar genel olarak; invertör hataları, düşük invertör verimliliği, PV örgülerin arka yüzeylerinde yeterli düzeyde hava akımının olmamasından kaynaklanan modül sıcaklık artışlarıdır.

Işık şiddetinin sistemin verimliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde PV örgü üzerine gelen ışık şiddeti arttıkça sistemin ürettiği gücün de arttığı görülmüştür. Artan ışık şiddeti ile birlikte sistem verimliliğinde artış olmuştur. Ancak ışık şiddetinin sürekli artması modül sıcaklığını da arttıracığından sistem verimliliğinde düşüşler gözlenmiştir. Bu değişim Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13 de görülmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında modül üzerine gelen ışınım enerjisinin artmasıyla birlikte modül sıcaklığı 80 °C nin üzerine çıkmaktadır. Modül sıcaklığının en yüksek günlük ortalama değeri 40 °C ile 2006 Ağustos ayında, en düşük günlük ortalama değeri 7 °C ile 2005 Şubat ayında ölçülmüştür. Sistem verimliliği modül sıcaklığı 70 °C'nin üzerine çıktığı anlarda azalmaktadır. Şekil 5.17 deki grafiğe baktığımızda modül sıcaklığı 62 °C iken sistem verimliliği %92, modül sıcaklığı 78 °C ye çıktığında ise %81 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla sistem verimliliğinin artan modül sıcaklığı ile lineer olarak azaldığı görülmüştür. Şekil 5.19 ve 5.20 de sistemin aynı ışık şiddetlerinde sistemin farklı değerlerde güç ürettiği görülmüştür. Bunun nedeni artan modül sıcaklığı ile birlikte üretilen güç değerinin azalmasıdır. Şekil 5.21 de yapılan simülasyon çalışması deneysel sonuçları desteklemektedir.

Güneş enerjisi potansiyeli açısından zengin olan Muğla ilinde yapılan bu çalışma ile şebeke bağlantılı BIPV sistemden elde edilen kazanımlar ortaya konmuştur.

Ayrıca bu araştırma Muğla ve Türkiye'nin Güney bölgeleri için BIPV sistemlerin alternatif enerji kaynakları açısından oldukça cazip ve etkileyici olduğunu göstermektedir. Muğla Üniversitesi'ndeki bu tür uygulamalar güneş enerjisinden yararlanmak isteyen kişi ve kurumlar için itici bir güç olacaktır.

KAYNAKLAR

Anonymous, 2004. http://www.eere.energy.gov/solar/sh_basics.html

Ineichen P., Guisan O., Perez R., Ground Reflected Radiation and Albedo, *Solar Energy*, 44,207-214, 1990.

Ertürk N., 1997. Simulation und experimentelle Untersuchungen von Stationären und nachgeführten Photovoltaiksystemen, PhD Thesis, Berlin Technical University, ISBN:3-89574-268-6.

DIN 5034, 1993. Teil 2, Tageslicht in Innenräumen-Grundlagen, Berlin 1993.

Thekaekara, M.P., 1997. Solar Radiation Measurements, Techniques and Instrumentation, *Solar Energy Engineering*, 37-59, Academic Press.

Boyle G., 1996. Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, The Open University, 477 p.

Markvart T., 1995. *Solar Electricity*, John Wiley and Sons.

Duffie J. A. and Backman W. A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 919p

Chartrand, M.R.,1990. National Audubon Society Field Guide to the Night Sky, Alfred A.Knopf Inc. 10 th Printing. ISBN:0-679-40852-5.

Beckmann, W.A. vd. 1997. *Solar Heating Design*. s.13-30

Uyarel Y., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi.239 p.

Iqbal M., 1983. *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, 390 p.

Oktik S., 1999. Güneş-Elektrik Dönüşümleri, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara, Türkiye, 40s.

Neamen D. A., 1992. *Semiconductor Physics and Devices Basic Principles*, Richard D. Irwin,Inc., 741 p.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries,

(<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)

Green A.M., 1982. *Solar Cells*.In The United States of America. 274 p.

Eke R., 2007. *Güneş Pili Parametrelerinin İşletme Koşullarıyla İlişkilendirilmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hill R., 2001. *Clean Energy From Photovoltaics. Series on Photoconversion of Solar Energy*. 845 p.

Lasnier and Ang., 1990. *Photovoltaic Engineering Handbook*, Adam Hilger, Bristol and New York. 548 p.

Messenger A., 2003. *Photovoltaic Systems Engineering*. CRC Pres

Eke R., 2000. Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tozlu C., 2004. Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi , Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Strong S.J., 1993. *The Solar Electric House*, Sustainability Press, Stil River, Massachusetts, Scheller W.G.,

Ropp M.E, Begovic M., Rohatgi A., 1999. Prevention of islanding in Grid-connected Photovoltaic Systems, *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, 7:39-59

Zaki A.M., Eskandar M.N., 1996. *Matching of Photovoltaic Motor-Pump Systems for Maximum*

Maranda W., De Mey G., De Vos A., 1998. Optimization of the master-slave inverter system for grid-connected photovoltaic plants, *Energy Conversion & Management*, 39: 1239-1246

Sitop solar inverter el kitapçığı

Skytron-Regenerative Energietechnik, Instruction Manual for the measuring and visulation unit for solar facilities, NEG DIS.

Installation Instruction for Photovoltaic Module, Model: PV-MF120EA2

Jäger-Waldau A., 2006. PV Status Report 2006 “Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics”, European Commission-Directorate General, Joint Research Centre, August 2006, Switzerland, 121 p.

[http:// www.sanyo-component.com](http://www.sanyo-component.com)

Al-Mohamad Ali., 2004. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system. *Applied Energy* 79 (2004) 345-354.

www.valentin.de. The Dynamic Simulation Programme for the Design and Calculation of Photovoltaic Programmes

Sasitharanuwat A., Rakwichian W., Ketjoy N., Yammen S., 2006. Renewable Energy. Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand.

Mondol J.D., Yohanis Y., Smyth M., Norton B., 2006. *Energy Conversion & Management*, 47., 2925-2947.

Sidrach-de-Cardona M., L1. Lopez M., 1999. Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system, Energy, 24:93-102

PVSYST programı

Rindelhardt U., A Simple Approach To Estimate The Performance Ratio of Distributed PV Plants, 21 st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany

<http://www.epia.org/>

Radziemska E., 2003. The effect of Temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. Renewable Energy 28 (2003) 1-12

Varınca K., 2006. *Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma*. I.Ulusal Güneş ve Hidrojen Kongresi

<http://www.solarbuzz.com/>

Roberts S., 1991. Solar Electricity, Prentice Hall, 434 p.

Schröder D. K., 1990. Semiconductor Material and Device Characterisation, John Wiley&Sons, New York, USA, 599p.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cemil SUDA
Doğum Yeri ve Tarihi : MUĞLA / 23-10-1980

EĞİTİM ve AKADEMİK BİLGİLER

Lise :Muğla Turgut Reis Lisesi 1995-1999
Lisans :1999-2003 Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü
Y.Lisans :Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik A.B.D
Yabancı Dil :İngilizce

MESLEKİ BİLGİLER

2004- :Muğla Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Araştırma Görevliliği