

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

**BAĞIMSIZ GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN
BİLGİSAYAR İLE KONTROLÜ**

Ahmet ŞENPINAR

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELAZIĞ
2005**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞIMSIZ GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN
BİLGİSAYAR İLE KONTROLÜ**

Ahmet ŞENPINAR

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, 08.11.2005 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Mehmet CEBECİ

Üye: Doç. Dr. M. Salih MAMİŞ

Üye: Doç. Dr. Hanifi GÜLDEMİR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA

Üye: Yrd. Doç. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 'nun 30.11/2005 tarih ve 2005/40-4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışması süresince bana göstermiş olduğu büyük destek ve ilgisinden dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet CEBECİ 'ye saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA 'ya, Sayın Doç. Dr. Hanifi GÜLDEMİR 'e, mekanik çalışmalarım sırasında destek veren makine bölümünden Sayın Yrd. Doç. Dr. Vedat SAVAŞ 'a, makine teknikeri Sayın Mutemet YILDIZ 'a, birlikte çalışmış olduğum F.Ü. Teknik Bilimler M.Y.O. 'daki mesai arkadaşlarıma, Sayın Öğr. Gör. Cafer BAL 'a ve bana tüm çalışmam sırasında göstermiş olduğu sabır ve katkılarından dolayı aileme saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Ayrıca bir proje olarak bu tezi destekleyen üniversitemizin değerli birimi olan, F.Ü. Bilimsel Araştırma Birimi 'ne (FÜBAP) de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VII
EKLER LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER.....	IX
KISALTMALAR.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş ve Enerjisi.....	1
1.2. Güneş Spektrumu.....	2
1.3. Atmosferin Güneş Işığına Etkisi.....	3
1.4. Güneş Enerjisinden Yararlanma.....	3
1.4.1. Termodinamik Sistemler.....	4
1.4.2. Güneş Pili Sistemleri.....	5
1.5. Bu Çalışmanın Amacı.....	8
2. GÜNEŞ IŞIMASI.....	9
2.1. Genel Bilgi.....	9
2.2. Güneş Açıları.....	11
2.2.1. Esas Güneş Açıları.....	12
2.2.2. Türetilen Güneş Açıları.....	13
2.2.3. Açılara İlişkin Hesaplamalar.....	13
2.3. Eğik Yüzeyler için Açılar.....	18
2.3.1. Eğimli Bir Yüzeydeki Direkt Işımanın Yatay Bir Yüzeydeki Direkt Işımaya Oranı.....	18
2.3.2. İzleyici Yüzeyler İçin Açılar.....	20
2.4. Kollektör Üstündeki Işıma Miktarının Maksimum Yapılması.....	22
2.5. Gölgeleme.....	24
2.6. Yatay Bir Yüzeydeki Atmosfer Dışı Işıma.....	25
3. GÜNEŞ PILİ.....	26
3.1. Güneş Pilinin Fiziksel Karakteristikleri.....	26
3.2. Güneş Pili Modülü.....	29

3.3. Güneş Pili Paneli.....	32
4. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ.....	33
4.1. Güneş Pili Sistemlerinin Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları.....	33
4.1.1. Şebekeden Bağımsız Güneş Pili Sistemleri.....	36
4.1.2. Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri.....	37
4.1.3. Güneş Pili Sistemlerinin Elemanları.....	37
4.1.3.1. Şarj Kontrolörü (Regülatör).....	37
4.1.3.2. Akü.....	41
4.1.3.3. İnverter.....	42
4.2. Maksimum Güç İzleyiciler.....	46
4.3. Güneş Pili Sistemlerinde Kayıplar.....	47
5. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN TASARIMI.....	48
5.1. Tasarım Parametreleri.....	48
5.1.1. Alan Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırılması.....	50
5.1.2. Pil Verimi Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırılması.....	51
5.1.3. Pil Gücü Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırılması.....	51
5.2. Tasarım Adımları.....	52
5.2.1. Sistem Boyutlandırma.....	52
5.2.2. Şebeke Bağlantılı Sistemin Boyutlandırılması (Adım-3).....	54
5.2.3. Bağımsız Güneş Pili-Batarya Sisteminin Boyutlandırılması (Adım-4-5-6).....	55
5.2.4. Bağımsız Bir Güneş Pili-Hibrid Sisteminin Boyutlandırılması (Adım-7).....	56
5.2.5. Tasarım ve Simülasyon Programları.....	56
5.3. Örnek Tasarımlar.....	57
5.3.1. Güneş Enerjisi ile Çalışan Fan.....	57
5.3.2. Güneş Enerjisi ile Bir Evin Beslenmesi.....	61
5.3.3. Güneş Enerjisi ile Katodik Koruma.....	63
5.3.3.1. Sistemin Tasarımı.....	64
6. UYGULAMA.....	67
6.1. Uygulama Sistemleri.....	67
6.1.1. Sabit Sistem.....	67
6.1.2. Hareketli Sistem.....	68
6.2. Sabit Sistemde Kullanılan Elemanlar.....	69
6.2.1. Güneş Paneli.....	69
6.2.2. Ölçme Grubu.....	70
6.2.2.1. Akım ve Gerilim Transdüserleri.....	70

6.2.2.2. PCI-1711 Data Kartı (Data Acquisition Card, DAQ).....	71
6.2.3. Şarj Kontrolörü (Regülatörü).....	72
6.2.4. Akü.....	73
6.2.5. İnverter.....	74
6.3. Hareketli Sistemdeki Elemanlar.....	75
6.3.1. Artırımlı Kodlayıcı (Incremental Encoder).....	75
6.3.2. Asenkron Motor Sürücüsü.....	76
6.3.3. Asenkron Motor.....	77
6.3.4. Redüktör.....	78
6.3.5. Doğru Akım Motoru.....	79
6.3.6. Asenkron Motorun Devir Sayısının Hesabı.....	80
6.4. Deneysel Sonuçlar.....	82
6.4.1. Sabit Sistem Sonuçları.....	82
6.4.2. Hareketli Sistem Sonuçları.....	83
6.4.3. Deneylerde Elde Edilen Veriler.....	86
7. SONUÇ.....	102
8. KAYNAKLAR.....	104
9. ÖZGEÇMİŞ.....	107
10. EKLER.....	108

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Dünya-Güneş arasındaki ilişki.....	1
Şekil 1.2 3000 °K, 5000 °K ve 5800 °K sıcaklıkları için siyah cisim ışıma spektrumu.....	2
Şekil 2.1 Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi	10
Şekil 2.2 Kışın ve yazın öğle saatinde, θ_z , δ ve ϕ açısı arasındaki ilişki.....	12
Şekil 2.3 Deklinasyon açısının yıllık değişimi.....	14
Şekil 2.4 Saat açısının gün içerisindeki değişimi ($-180^\circ \leq w \leq 180^\circ$).....	15
Şekil 2.5 Güneye eğimli bir yüzey için θ , ϕ , β ve $(\phi-\beta)$ açılarının dünya yüzeyindeki görünüşü.....	17
Şekil 2.6 Yatay ve eğimli yüzeylerdeki direkt ışıma.....	19
Şekil 2.7 Farklı sezonlarda sabit ve izleyici kolektörlerdeki toplam günlük ışıma miktarı.....	23
Şekil 2.8 Sabit bir kolektörün optimum montaj açısı.....	24
Şekil 3.1 Güneş pilinin yapısı.....	26
Şekil 3.2 Farklı ışıma seviyeleri altındaki gerçek ve ideal güneş pillerinin I-V karakteristiği.....	28
Şekil 3.3 Bir güneş pili çalışma sıcaklığındaki maksimum güç noktasının tanımlanması.....	28
Şekil 3.4 Bir güneş pilinin güç ve gerilim eğrisinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	29
Şekil 3.5 Bloklama diyotlu ve diyotsuz güneş modülü üzerinden bataryanın deşarjı.....	30
Şekil 3.6 Güneş modülü için birlikte çalışma karakteristiğinin tanımlanması.....	31
Şekil 3.7 Güneş paneli bağlantı örnekleri.....	32
Şekil 4.1 Güneş pili sistemlerine ait bağlantı örnekleri.....	33
Şekil 4.2 Güneş pili sistemleri genel uygulama alanları (a,b,c,d,e,f,g,h,i).....	32
Şekil 4.2 Güneş pili sistemleri genel uygulama alanları (j,k,l,m,n,o,p).....	35
Şekil 4.3 Şebekeden bağımsız güneş pili sisteminin blok şeması.....	36
Şekil 4.4 Şebeke bağlantılı güneş pili sisteminin blok şeması.....	37
Şekil 4.5 Sabit bir oranda şarj ve deşarj boyunca pil elektrolitinin özgül ağırlığı ve pil sıcaklığının değişimi.....	38
Şekil 4.6 Şarj ve deşarj şartları altındaki bir batarya için Thevenin eşdeğer devresi.....	38
Şekil 4.7 Şarj veya deşarj oranının fonksiyonu olarak uç gerilimi ve şarj durumu.....	39
Şekil 4.8 Gerilim algılayıcısı için düzeltici karşılaştırmacı kullanılırken şarj kontrolöründeki değişimi.....	40
Şekil 4.9 Bir şarj kontrolörün blok diyagramı.....	41
Şekil 4.10 Bir pwm dalga şeklinin üretilmesi.....	43
Şekil 4.11 Üç seviyeli pwm inverter konfigürasyonu ve çıkış sinyali.....	44

Şekil 4.12 Kontrolör ve güneş paneli bağlantısını gösteren tam dalga köprü pwm dönüştürücü.....	45
Şekil 4.13 Pompa ve güneş paneline ait I-V karakteristiği.....	46
Şekil 4.14 Bir buck-boost anahtarlama şeması kullanan maksimum güç izleyicisi.....	46
Şekil 5.1 Basit güç sistemi.....	48
Şekil 5.2 Yük profili.....	49
Şekil 5.3 Tahmini boyutlandırma sisteminin adımları.....	53
Şekil 5.4 Bir hibrid sistem kullanıldığı zaman panelin yük oranı ve yük boyutuna olan ilişkisi.....	56
Şekil 5.5 Fan ve güneş modülü için bağlantı ve performans karakteristikleri.....	58
Şekil 5.6 Bir parametre olarak basınç-hava akışı ve fan motor geriliminin değişimi.....	59
Şekil 5.7 Bataryalı güneş pili ile çalışan fan.....	59
Şekil 5.8 Güneş paneli ile beslenen ev.....	63
Şekil 5.9 Bir elektrolit sistemi içindeki yük taşıyıcıları ve akımın akışının şematik diyagramı.....	64
Şekil 5.10 Katodik koruma sistemi.....	66
Şekil 6.1 Sabit sistem.....	67
Şekil 6.2 Hareketli Sistem.....	68
Şekil 6.3 US-42 Güneş Paneli.....	70
Şekil 6.4 Akım ve Gerilim Transdüserlerine ait şekiller.....	71
Şekil 6.5 PCI-1711 Data kartı ve bilgisayar ile arabirim olan Adam 3968 bağlantı bordu.....	72
Şekil 6.6 ASC 12/8-E Şarj Regülatörü.....	72
Şekil 6.7 12 V, 105 Ah, Delphi Akü.....	74
Şekil 6.8 Xantrex (12 V d.a. / 220 V a.a, 50hz) inverter.....	74
Şekil 6.9 Thalheim marka Enkoder.....	76
Şekil 6.10 Siemens Micromaster420 sürücü parçaları ve anahtar kısmı.....	77
Şekil 6.11 Asenkron motor ve redüktörün birlikte görünüşü.....	78
Şekil 6.12 Goldmaster Motorun (18") iç yapısı ve görünüşü.....	79
Şekil 6.13 Asenkron motor ve redüktörün birlikte görünüşü.....	80
Şekil 6.14 Sabit sistem için deneysel bağlantı şeması.....	82
Şekil 6.15 Sabit Sistemin (2.Panel) Görünüşü.....	83
Şekil 6.16 Hareketli sistem için deneysel bağlantı şeması.....	83
Şekil 6.17 Hareketli Sistem (1.Panel).....	84
Şekil 6.18 Bilgisayardaki yazılım programının çalışması durumundaki ekran modu.....	85

Şekil 6.19 Güneş Azimut açısı ile güneşin geliş açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün).....	89
Şekil 6.20 Güneş Azimut açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün).....	90
Şekil 6.21 Güneş Azimut açısı ile saat açısı ve eğim açısının değişimi (1.gün).....	90
Şekil 6.22 Saat açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün).....	91
Şekil 6.23 Güneş Azimut açısı ile güneşin geliş açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün).....	91
Şekil 6.24 Güneş Azimut açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün).....	92
Şekil 6.25 Güneş Azimut açısı ile saat açısı ve eğim açısının değişimi (2.gün).....	92
Şekil 6.26 Saat açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün).....	93
Şekil 6.27 Saat 09:00 (doğudan) her iki panel sisteminin görünüşü.....	94
Şekil 6.28 Saat 09:00 (güneyden) her iki panel sisteminin görünüşü.....	94
Şekil 6.29 Öğle saat 12:10 (doğudan) her iki panel sisteminin görünüşü.....	95
Şekil 6.30 Öğle saat 12:10 (güneyden) her iki panel sisteminin görünüşü.....	95
Şekil 6.31 Saat 18:30 (doğudan, güneşin batışı) her iki panel sisteminin görünüşü.....	96
Şekil 6.32 Saat 18:30 (batıdan ve güneyden) her iki panel sisteminin görünüşü.....	96
Şekil 6.33 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin gerilim değerleri (güneşli bir gün)....	98
Şekil 6.34 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin akım değerleri (güneşli bir gün).....	98
Şekil 6.35 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin güçleri (güneşli bir gün).....	99
Şekil 6.36 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin gerilim değerleri(bulut./gün.gün).....	99
Şekil 6.37 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin akım değerleri (bulutlu/güneşli gün)100	
Şekil 6.38 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin güçleri (bulutlu/güneşli gün).....	100
Şekil 6.39 Saat 15:30, Hava bulutlu ve bulutlu-güneşli olduğu durum.....	101

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Yılın farklı zaman dilimleri için deklinasyon açısındaki n değerleri ve sonuçları...	14
Tablo 4.1 Kurşun asitli batarya pil özelliklerinin şarj durumuyla değişimi.....	38
Tablo 4.2 İnverterlerin performans parametreleri.....	42
Tablo 5.1 Evlerde günlük kullanılan cihazlara ait güçler.....	62
Tablo 5.2 Standart 1000 Ω -cm toprağı içindeki toprakla anot direncinin değişimi.....	65
Tablo 5.3 Anot ayarlama çarpım faktörleri.....	66
Tablo 6.1 Uni-solar US-42 Güneş Paneli (Standart Test Şartları, 1000 W/m ² , AM1.5, 25°C için).....	69
Tablo 6.2 ASC 12/8-E Şarj Regülatörü.....	73
Tablo 6.3 Farklı frekans değerleri için motor ve redüktör çıkış değerleri.....	81
Tablo 6.4 Güneşli bir gün için Matlab programı yardımıyla 5 'er dakika aralıklarla hesaplanan güneşin açısal değerleri.....	86
Tablo 6.5. Güneşli bir gün için bilgisayara kaydedilen veriler tarafından elde edilen hareketli panele ve sabit panele ilişkin akım, gerilimi ve güç değerleri ile her bir adım sayısının zamanı.....	97

EKLER

Sayfa

Ek-1.....	108
-----------	-----



SİMGELER

$^{\circ}\text{K}$	Kelvin olarak sıcaklık birimi
G_{sc}	Güneş sabiti
W_{λ}	Planck 'in blackbody ışıınım formülü
C	Işık hızı
h	Planck sabiti
k	Boltzman sabiti
AM	Hava kütlesi
$AM1$	Güneş zenitte iken oluşan (1) hava kütlesi
$AM0$	Atmosfer dışındaki hava kütlesi
$AM1.5$	Standart Test Şartlarındaki hava kütlesi
θ_z	Zenit açısı
A°	Işık ve röntgenin dalga boyu ölçümündeki birim (Angstrom)
CdS	Kadmium sülfür
G	Güneş ışıması
d	Dünya ile güneş arasındaki mesafe
n	1 Ocak tarihinin 1 kabul edildiği yılın günü
H	1 günlük güneşlenme miktarı
I	Güneşlenme miktarı
m	Kütle
L_{st}	Lokal zaman için standart meridyen
L_{loc}	Yerleşim yerinin meridyeni
E	Zaman (dakika) eşitliği
$\varnothing$	Enlem açısı
δ	Deklinasyon açısı
ω	Saat açısı
β	Eğim açısı
γ	Yüzey azimut açısı
θ	Güneş geliş açısı
α_s	Güneş yükseklik açısı
γ_s	Güneş azimut açısı
ω_s	Güneş batış saat açısı
N	Gün uzunluğu
R_b	Geometrik faktör

G_o :	Atmosfer dışındaki güneş ışıması
H_o :	Toplam günlük atmosfer dışındaki ışıma
GaAs :	Galyum arsenit
CdTe :	Kadmiyum tellürid
q :	Elektriksel yük
I_{sc} :	Güneş pilinin kısa devre akımı
V_{oc} :	Güneş pilinin açık devre gerilimi
I_m :	Güneş pilinin maksimum akımı
V_m :	Güneş pilinin maksimum gerilimi
P_{max} :	Güneş pilinin maksimum gücü
FF :	Dolgu faktörü
Ah :	Amper saat
P_a :	Panel çıkış gücü
S :	Güneş yoğunluğu
Γ :	Güneşin doğrultusu ile panelin normali arasındaki bileşim açısı
η :	Güneş pili verimi
F :	Bütün panel tasarımı ve küçültme faktörlerinin toplamı
A :	Panel alanı
N_t :	Panel içindeki toplam güneş pili sayısı
S_o :	Pil çıkış gücü ile belirlenen referans yoğunluk
P_c :	Pil çıkış gücü
E_T :	Günlük enerji ihtiyacı
E_m :	Bir Modülün Günlük Enerji Üretim Miktarı
n_m :	Sistem içindeki gerekli modül sayısı
ft :	Foot (ölçü birimi, 1ft =0.3047m)
ρ :	Toprak öz direnci
d.a. :	Doğru akım
a.a. :	Alternatif akım
d/d :	Devir/dakika
d/sn :	Devir/saniye
M_ϕ :	Motor çıkışı
R_ϕ :	Redüktör çıkışı
I_1 :	Hareketli panelin akımı
U_1 :	Hareketli panelin gerilimi
I_2 :	Sabit panelin akımı

U_2 : Sabit panelin akımı
 P_1 : Hareketli panelin gücü
 P_2 : Sabit panelin gücü



KISALTMALAR

WRC :	Dünya Işıma Merkezi
STC :	Standart Test Şartları
NOCT :	Nominal Çalışma Pil Sıcaklığı
PWM :	Darbe Genlik Modülasyonu
MPT :	Maksimum Güç İzleyiciler
BVR :	Batarya Gerilim Regülatörü
DAQ :	Data Giriş / Çıkış Kartı
IGBT :	Kapıdan Yalıtılmış Bipolar Transistör



ÖZET

DOKTORA TEZİ

BAĞIMSIZ GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN BİLGİSAYAR İLE KONTROLÜ

Ahmet ŞENPINAR

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
2005, Sayfa:117

Bu tezde, yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisinden, güneş pilleri yardımıyla elektriksel olarak faydalanılmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, biri sabit, diğeri hareketli olan iki bağımsız güneş pili sistemi kurularak verimleri karşılaştırılmıştır.

Sabit sistem, deneyin gerçekleştirildiği bölgenin enlem, boylam değerlerine göre yapılan açısal hesaplamalar doğrultusunda, güneş ışığını maksimum alacak şekilde sabit bir eğimde yerleştirilmiştir.

Hareketli sistem, güneş ışığından maksimum olarak faydalanmak üzere bir bilgisayar programı yardımıyla kontrol edilmiştir. Panelin çalışma prensibi, güneşle ilgili açılara ve matematiksel denklemlere dayanmaktadır. Kullanılan yazılım ile günün herhangi bir anına ait güneşin tüm açısal hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan açılar yardımıyla, sabahtan akşama kadar güneşin iki eksenli (hem doğu-batı, hem de kuzey-güney) hareketi sürekli olarak izlenir. Gün içerisinde elde edilen her iki panele ait veriler sürekli olarak bilgisayara kaydedilmiş ve bir yazılım ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş pili, hareketli sistem, güneş açıları.

ABSTRACT

PhD Thesis

THE CONTROL OF THE STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC CELL SYSTEMS BY COMPUTER

Ahmet ŞENPINAR

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

2005, Page: 117

In this thesis, it is aimed to get benefit from the solar energy which is one of the renewable / alternative energy sources by using photovoltaic cells electrically. The photovoltaic cell system which includes two stand-alone photovoltaic systems, one is the fixed and the other is moving, established to compare their efficiency.

The fixed system is located as to get maximum sun light according to angular calculations due to the latitude and longitude values of the place where the experiment done.

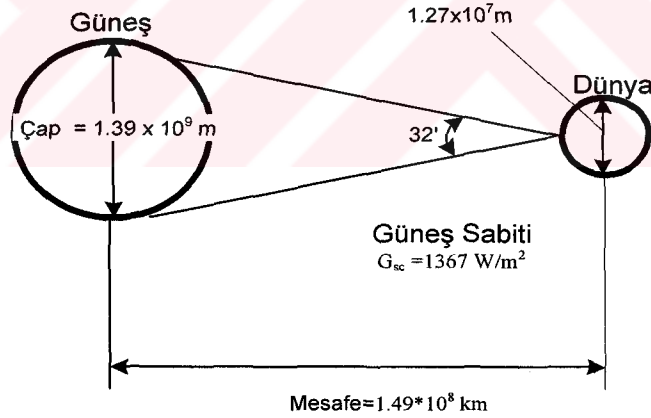
The moving system is controlled by a computer software to get maximum sun light. The operation principle of the array is based on the angles of the sun and the mathematical equations. All angular calculations were made by the software during whole daytime. The movement of the sun in two axis were observed continuously by the aid of these angles. The data from the two photovoltaic system taken in daytime and recorded and compared by the software.

Key words: Photovoltaic cell, moving system, solar angles.

1. GİRİŞ

1.1. Güneş ve Enerjisi

Güneş, 2.10^{27} ton kütleye sahip ve 7.10^5 km yarıçaplı sıcak bir gaz küresidir. Bu kütle, dünyanın kütesinin yaklaşık 330.000 katından daha büyüktür. Güneşten çıkan enerji miktarı $3,8 \cdot 10^{20}$ Mw civarındadır. Dünyamıza olan uzaklığı 149 milyon km 'dir. Şekil 1.1 'de dünya ile güneş arasındaki mesafe ve bazı büyüklükler görülmektedir. Güneşin etkili yüzey sıcaklığı yaklaşık 5800 °K civarındadır. Güneşin merkezi bölgelerinde bu sıcaklığın 8.10^6 - 40.10^6 °K arasında değiştiği tahmin edilmektedir [1]. Güneş enerjisi, en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten füzyon yoluyla elde edilen enerji, genellikle güneş ışığı ya da güneş enerjisi olarak adlandırılan elektromanyetik ışıma olarak dünyaya iletilir. Güneşten gelen ışımlar farklı dalga boylarına sahiptir. Gama, ultraviyole, infrared ve görünür ışınlar bu ışımların bir kısmını oluşturur. Güneşten, birim zaman içerisinde elde edilen enerji G_{sc} ile gösterilir ve buna Güneş Sabiti denir. Güneş sabitinin değeri, Dünya Işıma Merkezi (WRC, World Radiation Center) tarafından 1367 W/m^2 ($1,96 \text{ cal/cm}^2\text{-dk}$, $432 \text{ Btu/ft}^2\text{-saat}$ yada $4,921 \text{ Mj/m}^2\text{-saat}$) kabul edilmiştir [2].



Şekil 1.1 Dünya-Güneş arasındaki ilişki

Sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı, hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında, saniyede 4 milyon ton kütle enerjiye dönüşerek ışıma şeklinde uzaya yayılmasıdır. Samanyolu galaksisinde hayatın devamı için gerekli olan enerji güneşten sağlanır. Bir saat içinde, dünya güneşten yaklaşık 1 yıllık enerjisini karşılayacak kadar enerji alır. Bir başka deyişle, diğer enerji kaynakları ile dünyamıza giren enerjinin yaklaşık 5000 katı kadardır.

Dünyadaki tüm elektrik santrallerinin toplam gücü; güneşten gelen gücün 61000 'de birinden azdır. Güneşten gelen güç dünyadaki tüm nükleer santrallerin ürettiği toplam gücün 527000 katıdır.

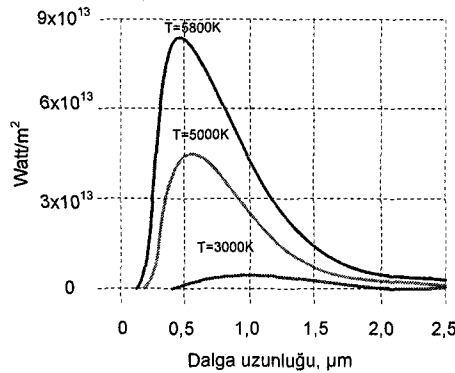
1.2. Güneş Spektrumu

Güneş ışınları ile ilgilenen uzmanlar, yer küresi tarafından kesilen enerjinin yaklaşık 1/3 kadarının yansıma, dağılma ve kırılma yoluyla uzay boşluğuna gönderildiğini kabul etmektedirler. 2/3 kadarı ise yer küresi tarafından emilir ve farklı termodinamik dönüşümlerden sonra büyük bir kısmı kızılötesi ışınlar halinde uzaya gönderilir. Yeryüzüne gelen ışınlar, ısı ve ışık getirirler. Isı suyun denizlerden, göllerden ve ıslak topraklardan buharlaşmasına sebep olur. Atmosfer içerisindeki ısı değişikliği sonucunda su buharı, yağmur ve kar yağışı olur. Bu suretle güneşin termik enerjisinden türeyen hidrolik enerji ortaya çıkar.

Güneş, hidrojen üstünlüğü olan gazların karışımından oluşmaktadır. Güneşteki hidrojen, ağır termonükleer füzyon reaksiyonu ile helyuma dönüştüğü zaman, kütle, Einstein 'in ünlü formülü $E = m.C^2$ ile uygun bir şekilde enerjiye dönüşür. Bu reaksiyonun sonucu olarak, güneşin yüzeyinde yaklaşık olarak 5800 °K sıcaklık oluşur. Bu enerji bütün yönlerde üniform olarak uzaklara doğru yayılır ve yayılan bu ışımaya Planck 'in siyah cisim (blackbody) ışınım formülüyle şöyle ifade edilir:

$$W_\lambda = (2 \cdot \pi \cdot h \cdot C^2 \cdot \lambda^{-5}) / (e^{hc/\lambda kT} - 1) \text{ (w/m}^2\text{)} \quad (1.1)$$

burada $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ watt.sn² (Planck sabiti) ve $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ joules/K (Boltzman sabiti), $C=300000$ km/sn (Işık hızı), λ dalga boyu (m).



Şekil 1.2 3000 °K, 5000 °K ve 5800 °K sıcaklıkları için siyah cisim ışımaya spektrumu

Denklem 1.1, (w/m²) olarak güneşin yüzeyindeki enerji yoğunluğunu verir. Bu enerji dünyaya, 93 milyon mil mesafede geldiği zaman, toplam atmosfer dışındaki enerji yoğunluğu

1367 w/m² 'ye azalır ve güneş sabiti olarak ifade edilir. Şekil 1.2 'de farklı sıcaklıklar için siyah cisim ısıtım grafikleri görülür [3].

1.3. Atmosferin Güneş Işığına Etkisi

Güneş ışığı, dünya atmosferine girdiği zaman, bir kısmı emilir, bir kısmı dağıtılır, bir kısmı atmosfer içinde moleküller tarafından etkilenmeden geçer ve bir kısmı da zemindeki nesneler tarafından ya emilir ya da yansıtılır. Emilen güneş ışığı emilen moleküllerin enerjisini artırır, bu yüzden onların sıcaklığı da artar. Dağılan güneş ışığı gerçekte havadaki bulutu mavi yapan şeydir. Atmosfersiz ve ışığın dağılmaması durumunda hava siyah görünecektir. Örneğin: gece karanlıktaki ay ışığı.

Güneş ışığı dünyanın yüzeyine dağılmadan ve hiçbir engele takılmadan ulaşırsa buna direkt (beam) veya doğrudan ısıma adı verilir. Güneşten alınan ısımanın atmosfer tabakasından geçip dağıtıldıktan sonra yönünün değişmesi sonucundaki ışıma yayılan veya albedo (diffuse) ışıma denilir. Bu ışıma bazı meteorolojik literatürlerde gökyüzü ışıması ya da güneş gökyüzü ışıması olarak temsil edilir. Bir yüzey üzerindeki direkt ve yayılan güneş ışımasının toplamındaki ışıma ise toplam veya global ışıma denilir. Güneş ışımasının en yaygın ölçümleri, çoğunlukla yüzey üstündeki global ışıma olarak temsil edilen yatay yüzey üzerindeki toplam ışımadır. Toplam güneş ışıması bazen güneş spektrumunun bütün dalga boyları üzerindeki toplam miktarı göstermek için kullanılır.

Emilen ya da dağılan güneş ışığının miktarı, atmosfer içerisindeki yolun uzunluğuna bağlıdır. Bu yol uzunluğu, deniz seviyesinde 1 hava kütlesi (Air Mass=1, AM1) olarak ifade edilir. Burada, daha yüksek enlemdeki hava kütlesi, doğrudan güneşteki aşırı ısınma olduğundan dolayı daha fazla olacaktır. Genelde, güneş ışığının geçmesiyle oluşan hava kütlesi, direkt ışıma ile dikey eksen arasındaki ölçülen açının (zenit açısı, θ_z) sekantiyle orantılıdır. AM1 'de ışığın emilmesi hesaba katıldıktan sonra, toplam ışıma yoğunluğu atmosferin üst kısmında 1367 w/m² 'den deniz seviyesinde 1000 w/m² 'ye azalır. Buradan, AM1 yol uzunluğu için, güneş ışığının yoğunluğu onun orijinal AM0 (1367 w/m²) değerinden %70 'ne azalır.

$$I = 1367 \cdot (0,7)^{AM} \quad (1.2)$$

1.4. Güneş Enerjisinden Yararlanma

Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, dalga enerjisi alternatif enerji kaynaklarının bir kısmını oluştururlar. Bu kaynaklardan yararlanmak üzere kurulan sistemlerin, çevrede çok az olumsuz etki oluşturması nedeniyle bu kaynaklar, temiz enerji kaynakları olarak isimlendirilir.

Aynı zamanda bu kaynakların, teknolojik gelişmelere açık olması ve yenilenebilir özelliğe sahip olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları da denilir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakların çevreye ve insan hayatına olumsuz etkileri çok azdır. Güneş en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir.

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar, göller ve nehirlerden oluşan hidrolik kaynaklar ve uranyum, toryum gibi kimyasal maddelerden oluşan nükleer yakıtlar konvansiyonel enerji kaynaklarını oluştururlar. Dünya nüfusunun artması nedeniyle konvansiyonel enerji kaynaklarının bir süre sonunda tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu kaynakların çevreye olumsuz etkileri ve ömürlerinin sınırlı olması, araştırmacıları ve bilim adamlarını alternatif / yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Petrol, doğal gaz ve linyit yataklarının kaynağı da güneştir. Güneş tarafından yayılan elektromagnetik spektrum 1 Angstrom 'un (ışığın ve röntgenin dalga boyu ölçümünde kullanılan birim, $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{ m} = 0,1\text{ nm}$) kesirlerinden yüzlerce metreye kadar uzanır. Normalde güneş tarafından yayılan spektrumun 2500-30000 $\text{\AA}$ arasındaki bölge, güneş tarafından yayılan enerjinin %98 kadarını taşır. Bu sınırların dışındaki güneş ışınları önemli olmamakla beraber düşük şiddetlidirler. 30000 $\text{\AA}$ 'dan daha büyük dalga boylu kızıl ötesi ışınları bölgesinde hemen hemen bütün enerji, atmosferdeki su buharı ve karbondioksit tarafından soğurulur. Ultraviyole bölgede, deniz seviyesine ulaşabilen ışınlar için 2860 $\text{\AA}$ değerinde bir sınır dalga boyu vardır. Bundan daha küçük dalga boylu ışınlar atmosferin üst kısmında soğurulurlar [4].

Güneş enerjisinden ısı ve elektrik olarak iki şekilde faydalanılmaktadır. Bunun için kurulan sistemler, termodinamik sistemler ve güneş pili sistemleri diye isimlendirilmektedir.

1.4.1. Termodinamik Sistemler

Güneşten ısı olarak faydalanılan sistemlerdir. Kendi arasında pasif ve aktif sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

a) Pasif Sistemler

Pasif güneş sistemleri, güneş enerjisi kullanımı için geliştirilen en eski sistemlerden biridir. Başlıca, binaların ısıtılması, soğutulması için dizayn ve mimarisinde kullanılmaktadır. Güneş mimarisinde, güneş enerjisi yoğunluk ve süresinin ısı, ışık, sağlığa yararlı istenilen etkilerini elde edebilmek, bununla birlikte yüksek sıcaklık, aşırı aydınlık ve kişilere ve malzemelere zarar verecek, istenmeyen etkilerinden ise koruyacak şekilde kontrol edilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Kullanıldığı yerler: Binaların, kışın ısıtılmasında, yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanması. Seraların ısıtılması. Ziraî ürünlerin kurutulması.

Isı transferi ve sıcak akışkanın çevrimi doğal yolla olur. Pasif güneş ısı sistemleri, pencereler gibi enerji kollektör elemanları veya bina duvarları gibi depolama elemanlarını da içermektedir. Kullanılan teknik sistemler şunlardır:

- Direk toplama

Bu sistemlerde, güneş enerjisi kuzey yarım küre için, güneye bakan yönde düşey bir pencere yardımıyla toplanır. Gün boyunca gelen güneş enerjisi gece kullanılmak üzere, taban, tavan ve duvarlar gibi bina elemanları tarafından emilir

- Termal depolama duvarı

Bu sistemlerde güneye bakan bir pencerenin arkasında, ısı kollektörü vazifesi gören bir duvar vardır. Bu sistemlerin avantajı, içerisini ekstrem şartlardan izole etmesi, duvar arkasındaki odanın sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, istenmeyen veya malzemelere zarar verebilecek direk ışıktan da korumasıdır. Bu duvara, “trombe wall” adı verilir, özellikle güneşli fakat soğuk kışların görüldüğü iklim kuşakları için çok uygundur.

- Güneş uzayı (sun space):

Bu sistem direk toplayan ve trombe wall sistemlerinin bir kombinasyonu gibidir. Pencere ile güney yönündeki duvar arasında bir sera oluşturulmuş şeklindedir.

b) Aktif Sistemler

Isı, pek çok uygulama alanında, farklı sıcaklıklarda gereklidir ve faydalı enerji tiplerinin büyük bir bölümünü temsil eder. Güneş radyasyonunu ısıya dönüştüren sistemler çok çeşitlidir. En basit güneş kollektörleri ile bir kaç yüz watt 'dan, güneş güç istasyonlarıyla birkaç yüz megawatt 'a kadar enerji elde edilebilir. Aktif sistemler, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi amaçlarla kullanılabilir. Aktif termal sistemler, durağan (stasyoner) veya güneş izleyici (sun-tracking) sistemler olabilir. Durağan sistemlerde güneş enerjisi stasyonier bir toplayıcı (kollektör) ile toplanır, daha sonra ısıya dönüştürülerek bir akışkana transfer edilir. Kullanım amaçları: düşük sıcaklıklarda su ısıtılması, binaların ısıtılması ve soğutulması, dondurma, organik maddelerin kurutulması.

1.4.2. Güneş Pili Sistemleri

Bu sistemler, güneş pili adı verilen elemanlar yardımıyla elektrik enerjisinin üretildiği sistemlerdir. Güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için CdS ya da silikon maddelerinden imal edilen, üzerine gelen güneş ışığı sonucunda elektrik enerjisi üreten elemanlardır. Pil çıkışında d.a. elektrik üretilir. Üretilen enerji, güneş ışığının pil üzerindeki etkisiyle orantılıdır. Güçlerinin düşük olması nedeniyle, güneş pilleri birleşerek güneş modüllerini ve güneş modülleri birleşerek güneş panellerini meydana getirirler.

Güneş pilinin kullanımı dünya üzerinde günden güne artmaktadır. Brezilya, Arjantin ve Meksika gibi ülkeler bağımsız güneş pili uygulamalarının yayılmasında farklı yaklaşım modellerini incelemişlerdir [5].

Güney Afrika bölgesinde güneş pili sistemlerinin gelişimini araştırmak üzere bir pilot bölge seçilmiştir. Burada 1996 'dan beri kurulan güneş pili sisteminin hem pozitif hem de negatif yönleri üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca teknoloji transferi ve lokal kapasiteli binalar için bir model önerilmiş ve kırsal bölgedeki güneş pili sisteminin ilgili konuları ve finansal boyutları da birlikte incelenmiştir [6].

Japonya 'da evlerde ve binalarda şebeke bağlantılı güneş pili güç üretim sistemi kullanımı zamanla artmaktadır. Böyle uygulamalar için yeni model teknolojileri ve tüm programlar hükümete sunulmuştur. Çalışma, güneş pilleri temeline dayalı olan geleceğin enerji kaynağı sistemleri için öneriler içermektedir [7].

Uluslararası topluluklarda gelişen ülkeler, fiyat-etkili ekonomik gelişmeyi sağlamak için uyum programları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bir telekomünikasyon sisteminin temel kısmını oluşturan güç kaynağı için güneş pili sistemi düşünüldüğünde, en düşük fiyatlı ve uzun ömürlü güç kaynağı opsiyonu önemli bir seçimdir. Nijerya 'da bazı telekomünikasyon sistemleri için birkaç güç kaynağı alternatifi değerlendirilmiştir. Dizel generatör sistemiyle karşılaştırıldığı zaman, bir hibrid (güneş/generatör) sistemin daha etkili fiyata sahip olduğu görülmüştür [8].

Son 30 yıl içinde teknolojik gelişmelerle birlikte en yaygın olarak kullanılan güneş pili malzemesi %24 verimi aşan silikondur (Si). Bunlar, yüksek verimli tek kristalize piller olarak bilinir. Son 20 yıl içinde tek kristalize pillerin pahalı olması nedeniyle ince film teknolojisiyle oluşan piller gelişme göstermektedir. Son yıllarda dünya üzerinde, güneş pili üretimi ortalama olarak yıllık %30 civarında bir artış göstermektedir [9].

Pil üretimindeki fiyat artışı sonucunda, potansiyel olarak ince film teknolojisi ikinci üretim olarak gelişmektedir. Hem üretim hacminin artması hem de teknolojinin gelişmesiyle fiyattaki azalma pillerin daha geniş alanda kullanılmasına imkan sunar [10].

Değişik iklim şartları için güneş pili modüllerinin optimal kullanımı ekonomik problemlerden birisidir. Genellikle kırsal alanlarda ve merkezden uzaktaki yerleşim yerlerinde, güneş modülleri iklim şartları ve güneş ışığı eksikliğinden dolayı ekonomik olmayabilir. Bu yüzden modüllerin eğim açıları üzerine çalışmalar yapılmıştır [11].

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça önemli potansiyele sahip bir ülkedir. Güneş enerji uygulamaları, genellikle 1980 'li yıllarda karasal ve endüstri uygulamaları ile başlamıştır. İzmir 'deki Güneş Enerjisi Enstitüsünde rüzgar-güneş pili sisteminden oluşan hibrid sistemin ürettiği elektrik enerjisi araştırılmıştır [12]. Çalışmanın amacı, elektrik tüketiminin olduğu uygun bir rüzgar-güneş pilinden oluşan hibrid sistemini tasarlamaktır. Güneş

ve rüzgar enerjisinin 1995-2002 yılları arasındaki kayıtlı verileri sonunda rüzgar ve güneş enerji arasındaki ilişki incelenmiştir.

Yine Türkiye 'de güneş-rüzgardan oluşan bir başka hibrid sistemde boyutlandırma prensibi üzerine farklı bir yaklaşım üzerine çalışma yapılmıştır [13]. Optimizasyon boyunca, sistemin fiyatı ve performansı ile ilgili kayıtlar alınmıştır. Bütün bu uygulamalar ve benzetimler matlab yazılım programıyla değerlendirilmiştir.

Güneş pili modüllerinin düşük ışık karşısındaki verimi, bina güneş pili sistemlerinin optimizasyonu için önemlidir. Güneş pili modülleri bir binaya monte edildiği zaman, mimari tasarım düşünceleri, maksimum güneş pili enerji üretmesi açısından rekabet içindedir. Bu paneller genellikle güneşe eğimli değil, çoğunlukla dikey olarak montajları yapılır. Belli şartlar altında, panele gelen toplam güneş ışığının büyük bir kısmı yayılır. Panelin hesaplanan güç çıkışı için algoritmada, bir güneş pilinin tek diyot modelinde kullanılan ideal diyot denkleminden faydalanılmıştır [14].

Güneş pilinden oluşan sistem, güneş pili generatör sistemi olarak da isimlendirilir. Güneş pili generatörü bir nonlineer I-V karakteristiği sunar ve sistemin maksimum güç izleme noktası güneşlenmeyle değişir. Maksimum güç noktasında güneş panelinin çalışmasını sağlamak ve yük ile güneş pili generatörü arasında uyum sağlamak için bir dönüştürücüye ihtiyaç duyulmaktadır. İzleyici sistemin algoritması, gelen güneşlenme miktarına göre, maksimum güç noktasına karşılık gelen güneş pili paneli gerilimini ayarlar. Bu işlem, maksimum noktaya karşılık gelen bir referans gerilimi ile panel geriliminin sürekli olarak karşılaştırılmasıyla yapılır. Maksimum güç noktasının kontrolündeki referans gerilimi için eğitilmiş neural network sisteminden faydalanılır [15,16]. Ayrıca maksimum güç izleyici sistemler üzerine değişik çalışmalarda mevcuttur [17-19].

Herhangi bir güneş enerji sisteminin çıkış enerjisi, sisteme giren güneş enerjisine bağlıdır. Güneş enerji sistemini izlemek için farklı yollar kullanarak izleyicinin türüne göre güneş enerjisinin girişi artabilir. Pratik çalışmalar, farklı güneş izleyici sistemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bir çalışmada biri sabit, diğerleri hareketli olan iki eksenli izleyici sistemler kullanılmıştır [20]. İzleyiciler mikroişlemci kontrollüdür ve bütün sistemler elektrik enerji üretimi için güneş pili panellerine sahiptir. Farklı sistemlerin değerlendirilmesi sisteme giren güneş ışığının ve sistemin elektrik güç çıkışının yıl içerisinde ölçülmesi temeline dayanmaktadır. Çalışma sonucunda, izleyici güneş sisteminin elektriksel çıkış enerjisinin sabit sistemden daha fazla olduğu görülmüştür.

Güneş pillerinde farklı alanlarda; kontrol devreleri, batarya, regülatör yapıları ve sistem elemanlarının performansı olmak üzere değişik çalışmalar yapılmıştır [21-24].

Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici artıkların bulunmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların ısıtılması, soğutulması, endüstriyel, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Güneş enerjisi geniş bir coğrafi dağılıma sahip bir enerji kaynağıdır. Coğrafi olarak 36-42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içindedir. Şu an için güneş enerjisinin kullanımı oldukça azdır, ancak geleceğin dünyasının enerji gereksiniminin karşılanmasında, geleneksel enerji kaynaklarının yanında en önemli seçeneklerden biri olacağı düşünülmektedir.

1.5. Bu Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyüğü olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek üzere kurulan güneş pili sistemleri incelenerek, üretim veriminin artırılmasına yönelik yöntem ve teknikler üzerinde durulacaktır. Bu amaçla, uygulama çalışmasında biri sabit, diğeri iki eksenli hareket yapabilen iki ayrı güneş paneli kullanılacaktır.

Önce her iki sistemin matematiksel modeli çıkarılır. Bunlar doğrultusunda sabit ve hareketli panelin mekanik tasarımları tamamlanır. Sonra iki sistem de deneyin yapılacağı yerde kurulur. Çalışmanın yapılacağı yere ait enlem, boylam gibi coğrafi bilgiler ve deneyin yapılacağı tarih, zaman bilgileri bilgisayara yüklenir. Bu bilgiler yardımı ile güneşin açısal hesapları ve matematiksel denklemleri matlab programı tarafından belirlenir. Hesaplanan açılar doğrultusunda sabit sistem, deneyin yapılacağı tarihe göre güneş ışığından maksimum yararlanacak şekilde sabit belirli bir eğimde yerleştirilir. Daha sonra sabit sistemin çıkışındaki akım ve gerilim bilgileri elektronik devreler yardımıyla bilgisayara kaydedilmek üzere aktarılır.

Hareketli panelin çalışma prensibi güneş açıları yardımıyla gün içerisinde güneşin hareketinin izlenmesidir. Bu amaçla bilgisayar tarafından kontrol edilen iki ayrı motor sistemi kullanılacaktır. Motorlar, panelin hem doğu-batı hem de kuzey-güney yönünde hareket etmesini sağlayacaktır. Böylece gün içinde farklı zamanlarda güneş ışığının panel üzerine dik olarak gelmesi sağlanacaktır. Böylece gün içinde güneş ışığından maksimum olarak faydalanılacaktır. Sonra hareketli sistemin çıkışındaki akım ve gerilim bilgileri bilgisayara aktarılabacaktır.

Deneysel çalışmada hem sabit hem de hareketli panel sistemi eş zamanlı olarak çalıştırılacak, sonra her iki sisteme ait gün içerisindeki deneysel veriler bilgisayara kaydedilecektir. Elde edilen sonuçlardan matlab programı yardımıyla grafikler çizilecektir. Ayrıca sabit ve hareketli sistem karşılaştırılarak, sonuçlar irdelenecektir.

2. GÜNEŞ İŞIMASI

2.1. Genel Bilgi

Günümüzde yeryüzü üzerinde faydalanılan enerjinin en büyüğü ve önemlisi güneştir. Güneş yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 5800 °K olan akkor bir gaz kütlesi olarak bilinmektedir. Güneş ışınları dünyaya olan mesafe ve uzay boşluğunun etkisiyle atmosfere girmeden önce ve girdikten sonra değişikliklerden geçer. Güneş ışığı, farklı frekansa sahip olan elektromagnetik dalgaların bileşimi şeklindedir. Elektromagnetik dalga özelliği gösteren ışık, foton denilen ışık kuantumlarının meydana getirdiği bir enerji şeklidir. Eğer güneşten elde edilen enerji artırmak istersek güneşin hareketini izleyen sistemlerin kullanılması gerekmektedir. Güneşin, farklı zamanlarda dünyaya göre olan konumu belirlemek için güneşle ilgili bazı açısal tanımların bilinmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

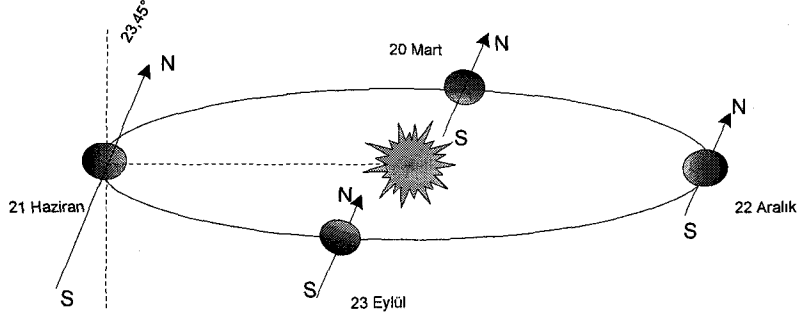
a) Işıma (Irradiance, w/m^2)

Bir yüzey üzerindeki, yüzeyin her bir birim alanına gelen ışıma enerjisindeki orandır. Güneş ışıması için G sembolü kullanılır. Güneş ışığının güç yoğunluğunun ölçümüdür ve W/m^2 diye ölçülür. Işıma bir anlık miktardır. Yeryüzü için güneş sabiti, atmosferin üst kısmında dünya tarafından güneşten alınan ışımadır, örneğin; AM0 değeri $1367 w/m^2$ 'ye eşittir. AM1 yol uzunluğuyla atmosfer içerisinden geçtikten sonra, ışıma yaklaşık olarak $1000 w/m^2$ 'ye azalır ve atmosferik emilmeden dolayı düzeltilmiş hayali bir içeriğe sahiptir. AM1.5 için ışıma miktarı, güneş pilleri için Standart Kalibrasyon Spektrumu (Standart Test Şartları, STC) kabul edilir. Güneş ışığının enerji yoğunluğu ölçümü kwh/m^2 olarak ölçülür. Bu miktar, ışımının toplamıdır. Toplam ışıma, güneşin olduğu saatler boyuncadır. Işıma ve ışıma miktarı her ikisi de güneş ışığının bütün elemanlarına uygulanır. Verilen bir gün içindeki zaman dilimi gibi miktarlar yılın zamanına ve hava durumu şartlarına ve yerleşim yerine bağlıdır. Onlar aynı zamanda yüzeyin yatay ve eğimli olmasına ayrıca binalar veya ağaçlar tarafından gölgelenip gölgelenmediğine de bağlıdır. Verilen herhangi bir zamanda, bir yerleşim yerinde elektriğe dönüşen uygun ışıma miktarını belirlemek için, yüzey ve gelen ışık arasındaki açıya bağımlı olan yüzey üstündeki ışıma formüllerini geliştirmek gereklidir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe;

$$d = 1,5.10^{11} \left(\frac{1 + 0,017 \sin((360(n - 93)))}{365} \right) \text{ (metre)} \quad (2.1)$$

Burada n; yılın gününü gösterir ve 1 Ocak için 1 kabul edilerek sayılır.

Dünya kendi kutupsal eksenini etrafında günde 1 defa döner. Dünyanın kutupsal eksenini, güneşin etrafında dünyanın yörüngesinin düzlemiyle $23,45^\circ$ 'lık bir açı kadar eğimlidir. Bu eğim, yaz ve kış içerisinde güneşin yüksekliğini etkiler. Aynı zamanda yazın daha uzun güneş ışığı saatlerine ve kışın daha kısa güneş ışığı saatlerine de sebep olur. Şekil 2.1, eğimli kutupsal eksenindeki dünyanın güneş etrafındaki yörüngesini gösterir [3].



Şekil 2.1 Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi

b) Güneşlenme (Irradiation, Radiation Exposure, j/m^2)

Bir yüzeydeki birim alana gelen enerji miktarıdır, belirli bir zaman dilimi üzerindeki ışımanın toplanmasıyla bulunur. Genellikle zaman dilimi bir saat ya da bir gün kullanılır. Güneşlenme, güneş enerji ışıması için özellikle uygulanan bir terimdir. Bir günlük güneşlenme sembolü için H kullanılır. Bir saatlik güneşlenme için I sembolü kullanılır. H ve I sembolleri direkt, yayılan veya toplam ışımayı temsil eder ve herhangi bir yönelmenin yüzeyi üzerinde olabilir. G, H ve I üzerindeki indisler şunları temsil eder, yerkabuğu atmosferi üzerindeki yani atmosfer dışındaki ışımayı temsil eder, b ve d; direkt ve yayılan ışımayı temsil eder, T ve n; eğimli bir yüzey üzerindeki ışımayı ve yayılma yönündeki düzlem normalini temsil eder. Eğer T veya n görünmüyorsa, ışıma yatay düzlem üzerindedir.

c) Hava Kütlesi (m)

Direkt ışımanın geçmesi sırasındaki atmosfer kütlesinin, güneşin zenit açısında iken (saat 12:00) atmosfer kütlesine olan oranıdır. Deniz seviyesinde, güneş zenitte olduğu zaman $m=1$ olur, zenit açısı (θ_z) 60° için $m=2$ olur. Deniz seviyesinde 0° 'den 70° 'ye olan zenit açıları için kütle yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$m = 1/\cos\theta_z \quad (2.2)$$

Daha yüksek zenit açıları için, yerkağının eğrisinin etkisi belirgin olur ve hesaba katılması gerekir.

d) Ekinoks

Gece ve gündüz uzunluğunun eşit olduğu zaman dilimidir. 20 Mart İlkbahar Ekinoksu ve 23 Eylül Sonbahar Ekinoksu olarak bilinir. Ekinoks tarihlerinde güneş ışınları ekvatora göre paralel durumdadır.

e) Gündönümü

Yaz içerisinde gündüz uzunluğunun en uzun olduğu ve kış içerisinde en kısa olduğu zamanlardır. Yaz gündönümü 21 Haziran ve kış gündönümü 22 Aralık tarihlerine karşılık gelir. Yaz gündönümünde deklinasyon açısı $+23,45^\circ$ ve kış gündönümünde ise deklinasyon açısı $-23,45^\circ$ değerine karşılık gelir.

f) Güneş Zamanı

Gökyüzündeki güneşin uygun açısal hareketi temeline dayanan zaman dilimidir. Öğle zamanında güneş, gözlemcinin meridyenini keser. Güneş zamanı, güneş açı ilişkilerinin hepsinde kullanılan bir zamandır, lokal saatle aynı değildir. Bu yüzden güneş zamanını standart zamana dönüştürmek için iki formülden faydalanılır. Güneş, meridyenin 1° 'lik dönmesini 4 dakika içerisinde tamamlar. Bu yüzden, lokal standart zamanın bulunduğu meridyen ve gözlemcinin bulunduğu meridyen arasında ortak bir ilişki vardır. Güneş zamanı ve standart zaman arasındaki dakika içerisindeki fark aşağıdaki formülle ifade edilir [2]:

$$\text{Güneş zamanı-Standart zaman} = 4.(L_{st}-L_{loc}) + E \quad (2.3)$$

burada; L_{st} , lokal zaman için standart meridyendir, L_{loc} , yerleşim yerinin meridyeni ve E zamanın (dakika) eşitliğidir.

2.2. Güneş Açıları

Herhangi bir zaman diliminde güneşin konumunu hesaplamak için bazı açıların bilinmesi gereklidir. Herhangi sabit ya da hareketli bir düzlemdeki yüzeye gelen güneş ışımlarının değeri düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik göstermektedir. Düzlemin konumu, eğimi gibi hesaplamalar güneşin yüzey üzerindeki ışımasını değiştirir. Bu yüzden direkt gelen güneş ışımlarını kapsayan güneşin pozisyonunu belirlemek gerekmektedir. Bu hesaplamalarda kullanılacak olan açılar ve tanımlar esas ve türetilen güneş açıları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1. Esas Güneş Açıları

a) Enlem Açısı (ϕ)

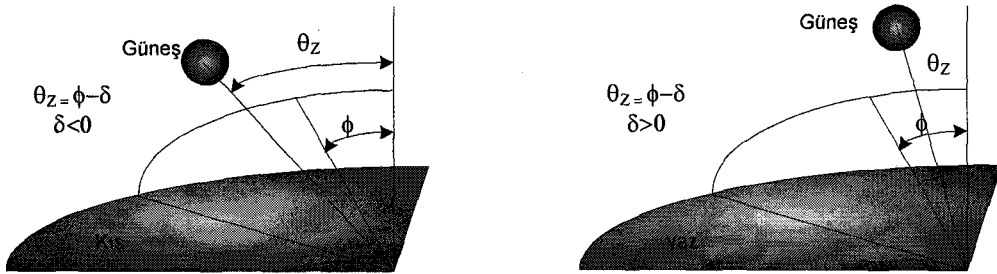
Ekvatorun kuzeyinde ya da güneyinde bulunduğu açısal yerleşim yeridir. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilir. Enlem açısı, $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ arasında değişim gösterir.

b) Deklinasyon Açısı (δ)

Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açı miktarıdır. Kuzey pozitif olmak üzere, deklinasyon açısı, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ arasında değişir. Ekinoks tarihlerinde (20 Mart ilkbahar ekinoksu, 23 Eylül sonbahar ekinoksu) yani gece ile gündüz zaman diliminin eşit olduğu zamanlarda deklinasyon açısının değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır. Yaz gündönümünde (21 Haziran), deklinasyon açısının değeri $23,45^\circ$ ve kış gündönümünde (22 Aralık) ise $-23,45^\circ$ değerine sahiptir.

Zenit, dünyaya gelen dikey hattır. θ_z , zenit açısı, güneşin doğrultusuyla dikey eksen arasındaki açı olarak tanımlanır. Deklinasyon açısı, güneş saatinde (öğle saat 12:00) zenit açısıyla ilişkilidir ve güneş öğle saatinde havada en yüksek noktada bulunur.

Güneş saati, herhangi bir zaman dilimi içinde L_1 boylamında öğle saat 12 'de oluşur. L_1 'in doğusundaki boylamlarda güneş saati 12 'den önce ve L_1 'in batısındaki boylamlarda güneş saati 12 'den sonra oluşur. Zenit açısı, $\theta_z = \phi - \delta$ olur. Burada; ϕ enlem açısı ya da ekvatorla oluşan açısal mesafe diye isimlendirilir. Deklinasyon açısı ve enlem açısı aynı olduğu zaman, zenit açısı sıfır derece olur. Bu açılar arasındaki değişim Şekil 2.2 'de görülmektedir [3].



Şekil 2.2 Kışın ve yazın öğle saatinde, θ_z , δ ve ϕ açısı arasındaki ilişki

c) Saat Açısı (ω)

Öğle saatine göre (12:00), bulunan zaman diliminin oluşturduğu açı miktarıdır. Her saat 15° 'ye karşılık gelir. Öğle öncesi negatif ve öğle sonrası pozitif olarak kabul edilir. Gün içerisindeki (24 saatlik zamanda) değişimi $-180^\circ \leq \omega \leq 180^\circ$ arasındadır.

2.2.2. Türetilen Güneş Açıları

a) Eğim Açısı (β)

Yatay ile verilen yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarımkürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir (eğer $\beta > 90^\circ$ ise, aşağı doğru eğimli olduğunu ifade eder).

b) Yüzey Azimut Açısı (γ)

Eğik bir yüzeyin normalinin yatayda oluşturmuş olduğu izdüşümüdür. Güney referans alınarak (sıfır), doğuya doğru negatif ve batıya doğru pozitif kabul edilir. Bu açı, $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir.

c) Geliş Açısı (θ)

Bir yüzeye direkt gelen ışıqla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder.

d) Zenit Açısı (θ_z)

Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı 0° 'dir.

e) Güneş Yükseklik Açısı (α_s)

Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90° 'ye tamamlar ($\theta_z + \alpha_s = 90^\circ$). Zenit açısıyla arasında trigonometrik ilişki vardır, örneğin $\cos \theta_z = \sin \alpha_s$ 'dir.

f) Güneş Azimut Açısı (γ_s)

Yatay düzlem üzerinde güneşin doğrultusunun güneye göre açısal izdüşümüdür. Güney referans alınarak (sıfır), doğuya doğru negatif ve batıya doğru pozitif kabul edilir. Bu açı, $-180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ$ arasında değişir.

2.2.3. Açılara İlişkin Hesaplamalar

a) Deklinasyon Açısının Hesabı

Deklinasyon açısı, Cooper [1,2] denkleminde şöyle hesaplanır:

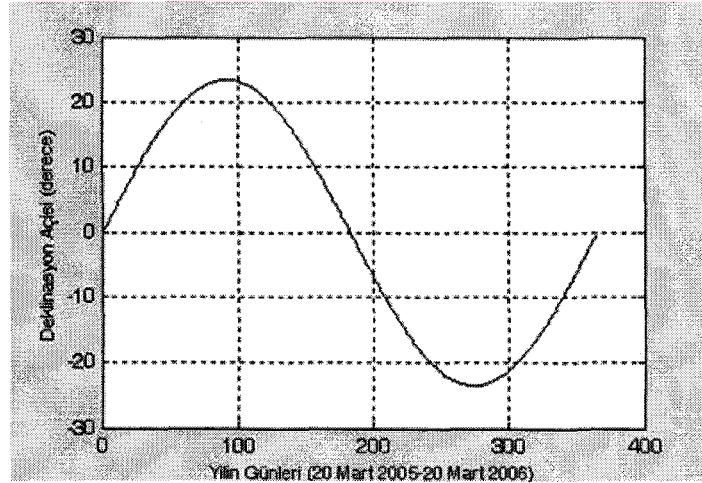
$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \text{ (derece)} \quad (2.4)$$

burada n, yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak $n = 1$ kabul edilir.

Yukarıdaki tabloda yılın farklı zamanlarındaki tarihlerde n sayısının hesabının değerleri görülmektedir. Tablo 2.1, Şubat ayının 28 çektiği kabul edilerek düzenlenmiş olup [2], artık yıllar için hesaplanırken, Mart ayından itibaren sonra gelen aylara yapılan hesaplamalarda 1 ilave edilmesi gerekmektedir (örneğin; mart ayı için 59+i değeri yerine 60+i değeri kullanılır). Deklinasyon açısının matlab programı yardımıyla yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.3 'deki gibi olur.

Tablo 2.1 Yılın farklı zaman dilimleri için deklinasyon açısındaki n değerleri ve sonuçları

Aylar	Ayın i.günü için n değeri	Tarih	Yılın günü, n	Deklinasyon değeri, δ
Ocak	i	17	17	-20,9
Şubat	31+i	16	47	-13,0
Mart	59+i	16	75	-2,4
Nisan	90+i	15	105	9,4
Mayıs	120+i	15	135	18,8
Haziran	151+i	11	162	23,1
Temmuz	181+i	17	198	21,2
Ağustos	212+i	16	228	13,5
Eylül	243+i	15	258	2,2
Ekim	273+i	15	288	-9,6
Kasım	304+i	14	318	-18,9
Aralık	334+i	10	344	-23,0



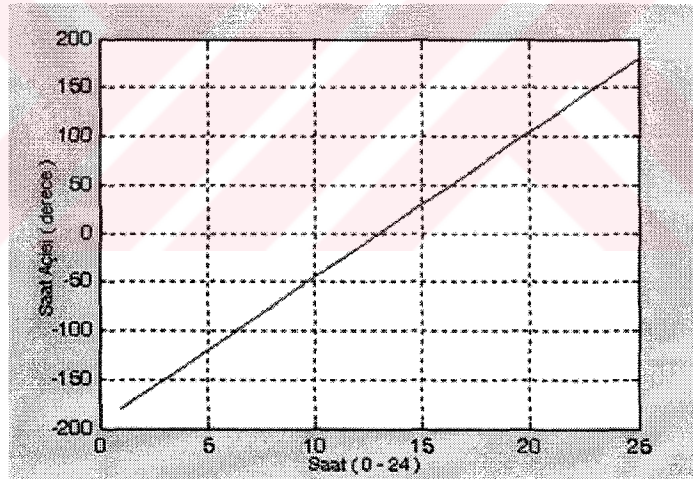
Şekil 2.3 Deklinasyon açısının yıllık değişimi

b) Saat Açısının Hesabı (ω)

Saat açısının hesabı için gerekli olan değerlerde, öğle saatine (12:00) göre öğle öncesi ve sonrası ayrı ayrı hesaplama yapılır. Saat açısı 24 saatlik bir zaman diliminde 360° 'ye karşılık gelecek şekilde 12 'den önce ve sonra olmak üzere ($\pm 180^\circ$) değişme gösterir. 1 saatlik değişim yaklaşık olarak 15° 'lik açıya karşılık gelmektedir. Gün içerisinde sadece tam saatlere göre hesap yapılmayacaktır. Arada verilecek olan dakikaları da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu yüzden yine önceden belirttiğimiz gibi öğle öncesi zaman dilimini negatif, öğle sonrası zaman dilimini pozitif kabul eden ve 24 saatlik zaman dilimi içinde verilen herhangi bir zamana (saat ve dakika olarak, örneğin 08:34, 10:56, 23:45..gibi) ait saat açısını kendi ürettiğimiz formül ile şöyle hesaplayabiliriz:

$$\omega = \frac{(saat.60 + dakika) - 720}{4} \text{ (derece)} \quad (2.5)$$

Saat açısının hesaplanması matlab programı yardımı ile yukarıdaki formülü kullanılarak hesaplanırsa buna ilişkin gün içerisindeki grafiksel değişim aşağıdaki gibi olur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Saat açısının gün içerisindeki değişimi ($-180^\circ \leq \omega \leq 180^\circ$)

c) Zenit Açısının Hesabı (θ_z)

Güneş açıları arasında bazı trigonometrik ilişkiler vardır. Bunlar eğimi sabit bir yüzeydeki güneş kollektörü üzerine gelen direkt güneş ışığının geliş açısı [2]:

$$\cos\theta = (\sin\delta.\sin\varnothing.\cos\beta - \sin\delta.\cos\varnothing.\sin\beta.\cos\gamma + \cos\delta.\cos\varnothing.\cos\beta.\cos\omega + \cos\delta.\sin\varnothing.\sin\beta.\cos\gamma.\cos\omega + \cos\delta.\sin\beta.\sin\gamma.\sin\omega) \quad (2.6)$$

$$\cos\theta = \cos\theta_z.\cos\beta + \sin\theta_z.\sin\beta.\cos(\gamma_s-\gamma)$$

Burada dikey yüzeyler için eğim (β) 90° olduğundan, ilk denklemde trigonometrik değeri ($\sin 90^\circ=1$) yazılarak yeniden düzenlenirse şöyle olur:

$$\cos\theta = (-\sin\delta.\cos\varnothing.\cos\gamma + \cos\delta.\sin\varnothing.\cos\gamma.\cos\omega + \cos\delta.\sin\gamma.\sin\omega)$$

Yine güneşin geliş açısı formülünü yatay yüzeyler için düşünecek olursak, yani $\beta=0^\circ$ olursa bu durumda güneş geliş açısı, güneşin zenit açısına eşit olur. Denklemde $\beta=0^\circ$ yerine trigonometrik değeri yazılıp düzenlenirse güneş zenit açısı şöyle hesaplanabilir:

$$\cos\theta_z = \cos\delta.\cos\varnothing.\cos\omega + \sin\delta.\sin\varnothing \quad (2.7)$$

Aynı zamanda zenit açısı, güneş yükseklik açısını 90° 'ye tamamladığı için $\theta_z + \alpha_s = 90^\circ$ 'dir. Bu ifade yardımıyla güneş yükseklik açısı da hesaplanabilir:

$$\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$$

Zenit açısı ve güneş yükseklik açısı arasındaki trigonometrik ilişki de gerektiği zaman kullanılabilir:

$$\cos\theta_z = \sin\alpha_s \text{ veya } \sin\theta_z = \cos\alpha_s$$

d) Güneş Azimut Açısının Hesabı (γ_s)

Güneş azimut açısı (γ_s), 180° ile -180° arasında bir değere sahiptir. $23,45^\circ$ ve $66,45^\circ$ arasındaki kuzey ve güney enlemleri (tropikal enlemler) için; γ_s değeri 12 saatten daha az uzunluğa sahip günler için $+90^\circ$ ile -90° arasında olacaktır, güneşin doğuşu ve batışı arasındaki 12 saatten daha fazla uzunluğa sahip günler için γ_s değeri 90° 'den daha büyük ve -90° 'den daha küçük olabilir. Bu durum kuzey yarımkürede doğu-batı doğrultusunun kuzeyinde veya güney yarımkürede ise doğu-batı doğrultusunun güneyinde olduğu zamanlarda günün erken ya da geç saatlerinde oluşabilir. Tropikal enlemler için, γ_s değeri ($\delta-\varnothing$) değerinin kuzey yarımkürede pozitif veya güney yarımkürede negatif olduğu zamanlarda herhangi bir değere sahip olabilir.

Bu açının hesabındaki, Braun ve Mitchell [2] tarafından belirlenen genel formül şudur:

$$\gamma_s = (C_1.C_2.\gamma_s') + C_3. ((1-(C_1.C_2)) / 2).180 \quad (2.8)$$

γ_s' sahte yüzey azimut açısını temsil etmekte ve şöyle hesaplanmaktadır:

$$\sin\gamma_s' = ((\sin\omega.\cos\delta)/\sin\theta_z) \text{ ve}$$

$$\cos \omega_{ew} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi}, \text{ } (\omega_{ew} \text{ değeri güneşin tam batıda } (\omega_w) \text{ ya da tam doğuda } (\omega_e) \text{ olduğu zamanki saat}$$

açısı, zenit açısının 90° olduğu durumlarda) hesaplanır ve daha sonra bunların yardımı ile aşağıdaki bilgiler doğrultusunda C_1, C_2 ve C_3 katsayıları hesaplanır:

C_1 için, eğer $|\omega| \leq \omega_{ew}$ ise $C_1 = 1$ ve eğer $|\omega| > \omega_{ew}$ ise $C_1 = -1$ olur.

C_2 için, eğer $(\theta - \delta) \geq 0$ ise $C_2 = 1$ ve eğer $(\theta - \delta) < 0$ ise $C_2 = -1$ olur.

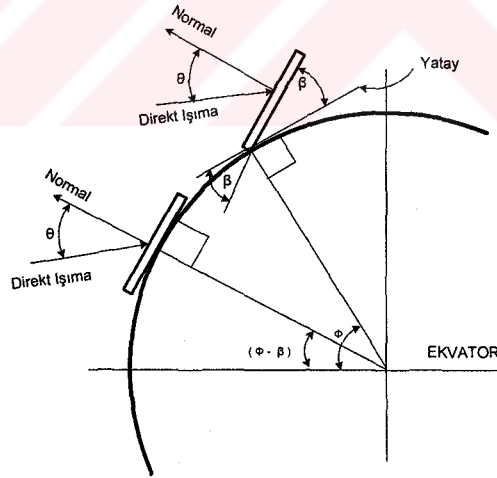
C_3 için, eğer $\omega \geq 0$ ise $C_3 = 1$ ve eğer $\omega < 0$ ise $C_3 = -1$ olur.

Bütün bu katsayıları ve değerleri güneş azimut açısı formülünde yerine yazarak hesaplamanın sonucu bulunabilir.

Kuzeye veya güneye doğru eğimli yüzeylerin geliş açısında kullanışlı ilişkiler mevcut olup, θ enleminde kuzey veya güneye β eğimine sahip yüzeylerin direkt ışıması, $(\theta - \beta)$ değerindeki bir yapay enlemindeki direkt ışımadaki ile aynı açısal ilişkilere sahiptir. İlişki, kuzey yarımküre için Şekil 2.5 'de gösterilir [2].

Zenit açısı denklemi düzenlenince ortaya şu denklem çıkar:

$$\cos \theta = \cos(\theta - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\theta - \beta) \cdot \sin \delta \quad (2.9.a)$$



Şekil 2.5 Güneye eğimli bir yüzey için θ, θ, β ve $(\theta - \beta)$ açılarının dünya yüzeyindeki görünüşü

Güney yarımküre için θ ve δ işaretleri uygun olarak, $(\theta - \beta)$ yerine $(\theta + \beta)$ ile yer değiştirilerek denklem düzenlenirse:

$$\cos\theta = \cos(\phi+\beta).\cos\delta.\cos\omega + \sin(\phi+\beta).\sin\delta \quad (2.9.b)$$

olur. Kuzey yarımkürede güneye eğimli yüzey için, güneş öğlesinin özel durumu şöyledir:

$$\theta_{\text{ögle}} = |\phi - \delta|$$

ve güney yarımküre için ise, $\theta_{\text{ögle}} = |-\phi + \delta|$ olur.

burada $\beta=0$ olduğu zaman, güneşin geliş açısı zenit açısı olur ve kuzey yarımküre için öğle saatindeki zenit açısı değeri: $\theta_{z,\text{ögle}} = |\phi - \delta|$

ve güney yarımküre için ise: $\theta_{z,\text{ögle}} = |-\phi + \delta|$ olur.

e) Güneşin Batış Saat Açısı ve Gün Uzunluğunun Hesabı

Güneşin batışı ya da doğuşu anında zenit açısı değeri 90° 'ye eşittir. Güneş geliş açısı denkleminde zenit açısının trigonometrik değeri yerine yazılırsa, güneş batış saat açısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\cos\omega_s = \left(- \frac{\sin\phi.\sin\delta}{\cos\phi.\cos\delta} \right) = (-\tan\phi.\tan\delta) \quad (2.10)$$

Gün uzunluğu ise buradan:

$$N = (2/15).\omega_s = (2/15).\cos^{-1}(-\tan\phi.\tan\delta) \quad (2.11)$$

olur.

2.3. Eğik Yüzeyler için Açılar

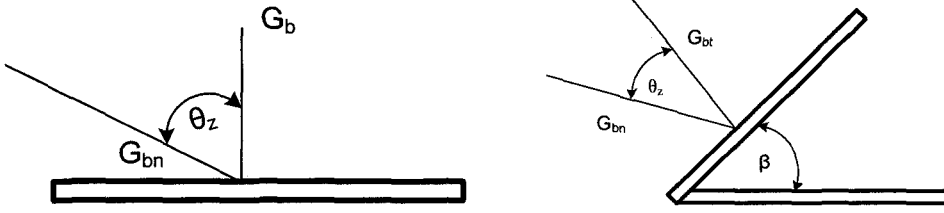
2.3.1. Eğimli Bir Yüzeydeki Direkt Işımanın Yatay Bir Yüzeydeki Direkt Işımaya Oranı

Güneşle ilgili işlem tasarım ve performans hesaplamalarının amaçları için, yatay bir yüzey üzerindeki güneş ışıması tahmin edilmesi veya ölçümlerden bir kollektörün eğimli yüzeyi üzerindeki saatlik ışımanın hesaplanması gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan uygun datalar yatay bir yüzey üzerindeki saatler veya günler için toplam ışımadır, oysa bunun için bir kollektörün düzlemi üzerindeki direkt ve yayılan ışıma gerekmektedir.

Herhangi bir zamandaki yatay yüzeydeki eğimli bir yüzey üzerindeki direkt ışımanın oranı, geometrik faktör R_b , güneşin geliş açısı $\cos\theta$ 'nin (denklem 2.6) uygun kullanılmasıyla

hesaplanabilir. Şekil 2.6, yatay ve eğimli bir yüzey üzerindeki direkt ışımanın geliş açısını gösterir.

Hem $\cos\theta$, hem de $\cos\theta_z$ her ikisi de denklem 2.6 'dan belirlenir. Burada, $R_b = (\cos\theta/\cos\theta_z)$



Şekil 2.6 Yatay ve eğimli yüzeylerdeki direkt ışıma

Düz levhali kollektörler için optimum azimut açısı kuzey yarımkürede genellikle 0° (güney yarımkürede 180°) 'dir. Bu durumda yüzey azimut açısı $\gamma = 0^\circ$ (ya da 180°) olur. Bu durumda, denklem 2.7 ve 2.9 'dan kuzey yarımküre, $\gamma = 0^\circ$ için, sırasıyla $\cos\theta_z$ ve $\cos\theta$ belirlenir. Buradan R_b değeri:

$$R_b = \left(\frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\phi \cdot \sin\delta} \right) \quad (2.12)$$

Güney yarımküre, $\gamma = 180^\circ$ için denklem,

$$R_b = \left(\frac{\cos(\phi + \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\phi + \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\phi \cdot \sin\delta} \right) \quad (2.13.a)$$

Güneş saatinde (öğle) güneye eğimli bir yüzey için R_b 'nin değeri ise:

$$R_{b,\text{öğle}} = \left(\frac{\cos|\phi - \delta - \beta|}{\cos|\phi - \delta|} \right) \quad (2.13.b)$$

Güney yarımküre için,

$$R_{b,\text{öğle}} = \left(\frac{\cos|-\phi + \delta - \beta|}{\cos|-\phi + \delta|} \right) \quad (2.13.c)$$

Hottel ve Woertz [1, 2] denklem 2.12 'nin R_b 'nin hesaplanmasında en yaygın durumlar için uygun metot olduğunu gösterir.

Denklem 2.14, sabit düz levhali kollektörlerden ziyade diğerlerine uygulanır. İzleyici yüzeyler için verilen denklemler, güneşi izlemek için hareket eden toplayıcı kollektörlerin tanımlı

olduğu hareketli yüzeyler için $\cos\theta$ formülünü verir. Eğer yatay bir yüzey üzerindeki direkt ışıma bilinir veya tahmin edilebilirse, bu denklemlerden uygun birisi (2.13), $\cos\theta$ için kullanılır. Örneğin; düzlem üzerindeki ışımayı maksimum etmek için yatayda doğu-batı ekseninde sürekli olarak dönen bir düzlem için, herhangi bir zamanda yatay yüzey üzerindeki düzlemdeki direkt ışımanın oranı, aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$R_b = \left(\frac{(1 - \cos^2 \delta \cdot \sin^2 \omega)^{1/2}}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} \right) \quad (2.14)$$

Güneş ışıma uygun datalarının bazıları, ışımanın peliometre tarafından ölçüldüğü normal yüzeyler üzerindeki direkt ışımadır.

2.3.2. İzleyici Yüzeyler İçin Açılar

Bazı güneş kolektörleri; kendi yüzeyleri üzerine gelen güneşin geliş açısını minimum etmek için hareket ettirilerek güneşi izlerler, böylece direkt gelen güneş ışığını maksimum (yüzeye 90° olarak) seviyede alırlar. Bu kolektörler için güneşin geliş ve yüzey azimut açıları gerekmektedir. Bu açılar arasındaki ilişki, hareketli yüzeylerin ışıma değerinin hesaplanmasında kullanılır. İzleyici yüzeyler onların hareketlerine göre sınıflandırılır. Dönme olayı tek eksen üzerinde veya çift eksen üzerinde (yatay olarak doğu-batı yönünde veya kuzey-güney yönünde ya da dikey olarak dünya eksenine paralel olarak) olabilir.

Tek bir günlük yatay olarak doğu-batı ekseninde dönen düzlem için direkt gelen güneş ışığı her öğle saatinde yüzeyin normali olması (90° olması) için güneş geliş açısının değeri aşağıdaki gibi olur.

$$\cos\theta = \sin^2\delta + \cos^2\delta \cdot \cos\omega \quad (2.15.a)$$

bu yüzeyin eğimi her gün için sabit olacak ve bu değer,

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (2.15.b)$$

olur. Bir gün için yüzey azimut açıları, enlem ve deklinasyon açısına bağlı olarak 0° veya 180° olacaktır. Bu durumda yüzey azimut açısı değeri:

$$\text{eğer } (\phi - \delta) > 0 \text{ ise } \gamma = 0^\circ, \quad (2.15.c)$$

eğer $(\phi - \delta) < 0$ ise $\gamma = 180^\circ$ olur.

Yatay olarak bulunan doğu-batı eksenli dönen bir düzlem için güneşin geliş açısını sürekli olarak minimum (ışırma maksimum) olmasını sağlamak için değeri:

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \cdot \sin^2\omega)^{1/2} \quad (2.16.a)$$

olmalı ve bu yüzey için eğim değeri ise,

$$\tan\beta = (\tan\theta_z \cdot |\cos\gamma_s|) \quad (2.16.b)$$

olması gerekir. Yönelmenin bu modu için yüzey azimut açısı değeri, eğer güneş azimut açısı değeri $\pm 90^\circ$ değışirse, 0° ve 180° arasında değışecektir. Her bir yarımküre için:

$$\text{Eğer } |\gamma_s| < 90 \text{ ise } \gamma = 0^\circ, \quad (2.16.c)$$

$$\text{Eğer } |\gamma_s| > 90 \text{ ise } \gamma = 180^\circ \text{ olur.}$$

Yatay olarak bulunan kuzey-güney eksenli dönen bir düzlem için güneşin geliş açısını sürekli olarak minimum (ışırma maksimum) olmasını sağlamak için güneş geliş açısının değeri:

$$\cos\theta = (\cos^2\theta_z + \cos^2\delta \cdot \sin^2\omega)^{1/2}, \quad (2.17.a)$$

ve bu yüzeyin eğimi ise:

$$\tan\beta = (\tan\theta_z \cdot |\cos(\gamma - \gamma_s)|) \text{ olması gerekir.} \quad (2.17.b)$$

Yüzey azimut açısı (γ), güneş azimut açısının işaretine bağılı olarak 90° veya -90° olacaktır:

$$\text{Eğer } \gamma_s > 0 \text{ ise } \gamma = 90^\circ, \quad (2.17.c)$$

$$\text{Eğer } \gamma_s < 0 \text{ ise } \gamma = -90^\circ \text{ olur.}$$

Dikey eksen etrafında sabit eğimle dönen bir düzlem için, yüzey azimut ve güneş azimut açıları eşit olduğı zaman geliş açısı minimize edilir. Bu açıların eşit olması durumunda güneşin geliş açısı yeniden düzenlenirse:

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cdot \cos\beta + \sin\theta_z \cdot \sin\beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \text{ (denkleminde eşit açılar yazılınca)}$$

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cdot \cos\beta + \sin\theta_z \cdot \sin\beta \quad (2.18.a)$$

olur. Eğim sabittir, buradan

$$\beta = \text{sabit} \quad (2.18.b)$$

ve yüzey azimut açısı ise

$$\gamma = \gamma_s \quad (2.18.c)$$

olur. Dünyanın eksenine paralel kuzey-güney eksenli dönen bir düzlem için sürekli olarak gelen güneş açısını minimize etmek için güneş geliş açısı değeri:

$$\cos\theta = \cos\delta \quad (2.19.a)$$

olmalı ve eğim sürekli olarak değişir, eğimin değeri:

$$\tan\beta = \frac{\tan\phi}{\cos\gamma} \quad (2.19.b)$$

olması gerekmektedir. Yüzey azimut açısı değeri ise:

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta_z \cdot \sin\gamma_s}{\cos\theta' \cdot \sin\phi}\right) + 180 \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (2.19.c)$$

burada,

$$\cos\theta' = \cos\theta_z \cdot \cos\phi + \sin\theta_z \cdot \sin\phi \quad (2.19.d)$$

C_1 ve C_2 katsayıları aşağıdaki bilgiler doğrultusunda hesaplanmaktadır. C_1 için :

$$\text{Eğer } \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta_z \cdot \sin\gamma_s}{\cos\theta' \cdot \sin\phi}\right) + \gamma_s = 0 \text{ ise } C_1 = 0, \quad (2.19.e)$$

Diğer durumlarda, $C_1 = 1$ olur. C_2 için :

$$\text{Eğer } \gamma_s \geq 0 \text{ ise } C_2 = 1, \text{ eğer } \gamma_s < 0 \text{ ise } C_2 = -1 \text{ olur.} \quad (2.19.f)$$

Eğer düzlem iki eksenli sürekli izleyici olarak geliş açısını minimize etmek istenirse:

$$\cos\theta = 1, \quad (2.20.a)$$

$$\beta = \alpha \quad (2.20.b)$$

$$\gamma = \gamma_s \quad (2.20.c)$$

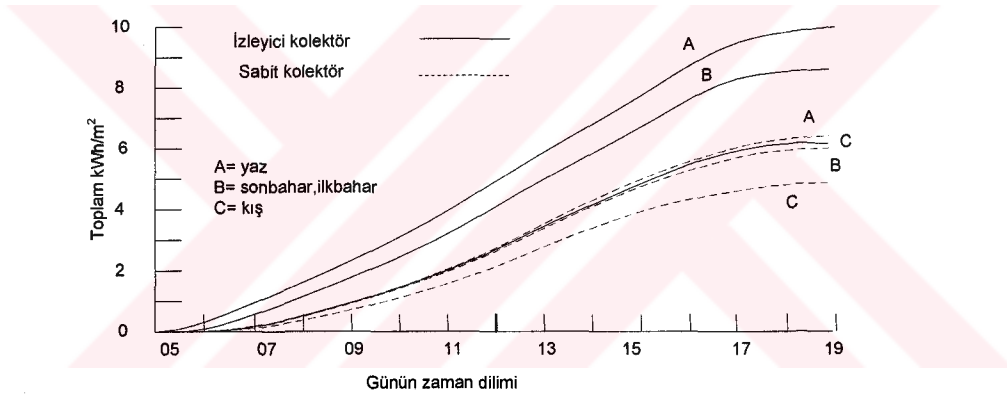
olması gerekir.

2.4. Kollektör Üstündeki Işıma Miktarının Maksimum Yapılması

Birçok sistemde ışığı maksimum yapmak için kullanılan en kolay yol onların yatay izleyici sistem üzerinde monte edilmesidir. Eğer bir kollektör güneşi izlemek için monte edilirse, o zaman

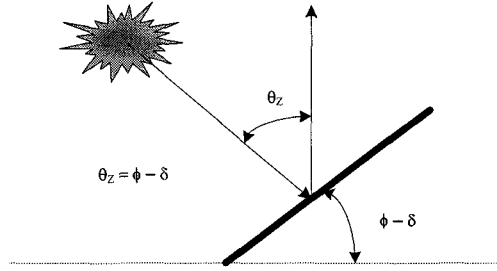
gelen ışıma, güneş yataya yaklaştığı zaman hava kütlesinin artmasıyla etkilenir. Öğle saatinde güneş, yataya göre gökyüzünde en yüksek konumda bulunur, bu da güneşin atmosfer içindeki minimum yoluna ve gün için en düşük hava kütlesine karşılık geldiği zamandır. Bu saatin dışındaki zamanlarda hava kütlesinin artmasından güneş ışığının yoğunluğu azalır ve gelen güneş ışığı ile kollektörün normali arasındaki açıyı artırır. Şekil 2.7, aynı zamanda bir izleyici kollektör tarafından alınan direkt ışıma şartları altındaki ilave toplam ışımayı da gösterir [3].

İzleyici kollektör kullanarak kuru bir iklimde yazın yaklaşık %50 daha fazla enerji toplanabilir. Kış ayları boyunca izleyici kullanarak yaklaşık %20 daha fazla enerji artışı olabilir. İzleyici sistem sabit sistemden daha pahalı olduğu için bir tasarımcı mühendis için tek ya da iki eksenli izleyici kollektör kullanıp kullanmayacağına karar vermesi ekonomik olarak önemli bir karardır. Eğer tek eksenli belli bir eğime sahip izleyici düşünülürse, yıl içerisinde bu eğim zamanla değiştirilir.



Şekil 2.7 Farklı sezonlarda sabit ve izleyici kollektörlerdeki toplam günlük ışıma miktarı

Kollektörün yönelmesi sezona göre değişir. Örneğin, yaz ayları boyunca kullanılan bir sistem ile ve kış aylarında kullanılan sistemin yönelmeleri farklı olur. Verilen herhangi bir gün üzerinde optimal performans için, sabit bir kollektör Şekil 2.8 'de gösterildiği gibi yatayla ($0-8^\circ$) açısı yapacak şekilde zemine monte edilmelidir [3]. Bu, güneş saatinde kollektör düzleminin güneşe dik olmasını sağlayacaktır. Burada, yaz performansı için en iyi ortalama eğim, kollektörün ($0-15^\circ$) 'de ve kış performansı için en iyi ortalama eğim kollektörün ($0+15^\circ$) 'de monte edilmesidir. İlkbahar, sonbahar veya optimum yıllık performansı için kollektör, yaklaşık olarak ($0,9,0^\circ$) 'deki eğimle monte edilmesi gerekir.



Şekil 2.8 Sabit bir kollektörün optimum montaj açısı

2.5. Gölgeleme

Gölgeleme olayının oluşumunda üç neden vardır. Birincisi, kollektörün ya da diğer alıcının yakınında bulunan ağaçlar, binalar veya diğer engellemeler tarafından gölgelenmesidir. Geometrilere düzensiz olabilir, alıcının gölgelenmesinin sistematik hesaplanması zor olabilir. Güneşten verilen noktaya doğru engel olduğu zaman, gölgeleme profilleri bilinerek, örneğin güneş yükseklik açısına karşılık güneş azimut açısının grafiksel değişimi yardımıyla, bulut içerisindeki güneşin pozisyon diyagramını çıkarılabilir. İkinci tip ise kollektörlerin birlikte bağlanıldığı çoklu sıralar halinde bulunduğu kollektörlerin ilk sıralarından ziyade diğerlerinin oluşturduğu gölgeleme çeşididir. Üçüncüsü, duvardaki kanat ve çıkıntılar tarafından pencerelerin gölgelenmesini içerir. Geometrilere düzenli olduğu yerlerde, gölgelenmenin hesaplanması kolay olabilir ve sonuçlar genel formda sunulmuştur.

Özel bir enlemde ve zaman içindeki herhangi bir noktada, ϕ , δ ve ω sabittir. Daha önceki denklemlerden, zenit açısı veya güneş yükseklik açısı ve güneş azimut açısı hesaplanabilir. Belirli bir enlem için, zenit açısı ve güneş yükseklik açısına karşılık güneş azimut açısının değişimi çizilirse güneşin pozisyon eğrisini oluşturur. Bu eğri üzerinde sabit deklinasyon çizgileri ve sabit saat açılarının olduğu kısım belirlenir.

Binaların, duvar kanatlarının, çıkıntıların ve diğer engellemelerin açısal pozisyonu aynı eğri üzerinde gösterilir. Örneğin, Mazria ve Anderson [2] tarafından gözlemlendiği gibi, eğer bina ya da boyutları ve yönelmenin bilindiği diğer engellemeler, ilgili noktadan (örneğin, alıcı, kollektör veya pencere) bilinen bir mesafeye yerleştirilirse, engelleme üzerindeki (nesne azimut açısı γ_o , nesne yükseklik açısı α_o) noktaların yükseklik ve azimut açlarına uygun açısal koordinatlar trigonometrik

bilgiler yardımıyla hesaplanabilir. Nesne yükseklik ve azimut açılarının ölçümleri önerilen alıcının bulunduğu yerde yapılabilir ve açılar güneş pozisyon eğrisi üzerinde gösterilir.

2.6. Yatay Bir Yüzeydeki Atmosfer Dışı Işıma

Normalleştirilmiş ışıma seviyeleri kullanılarak yaygın olarak kullanılan ışıma hesaplamasının birkaç çeşidi mevcuttur, eğer atmosfer dışında ise teorik olarak mümkün olan ışımanın ışıma seviyesi oranını bulunabilir. Bu hesaplamalar için, atmosfer dışındaki ışıma hesaplaması metotlarından birine ihtiyaç vardır.

Zaman içindeki herhangi bir noktada, atmosfer dışından yatay bir düzlem üzerine gelen güneş ışıması normal güneş ışımasıdır ve denklemini aşağıdaki gibidir [2]:

$$G_o = G_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{360 \cdot n}{365})) \cdot \cos\theta_z \quad (2.21.a)$$

Burada, G_{sc} güneş sabitidir (1367 w/m^2) ve n ise yılın günüdür. Zenit açısının değeri yerine yazılırsa, güneşin doğuşu ve batışı arasındaki herhangi bir zamanda bir yatay yüzey için G_o değeri şöyle olur:

$$G_o = G_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{360 \cdot n}{365})) \cdot (\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi) \quad (2.21.b)$$

Yatay bir yüzey üzerindeki, H_o , toplam günlük atmosfer dışındaki ışımayı hesaplamak için günlük güneş ışıma hesaplamasının kullanılması gerekir. Bu, güneşin doğuşundan batışına kadar olan zaman dilimi üzerinden denklem 2.21.b değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Eğer G_{sc} 'nin birimi w/m^2 ise, H_o 'nin birimi j/m^2 olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

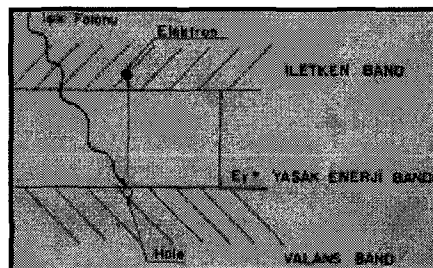
$$H_o = \left(\frac{24 \cdot G_{sc} \cdot 3600}{\pi} \right) \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{360 \cdot n}{365})) \cdot (\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\omega_s + \left(\frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \right) \cdot \sin\delta \cdot \sin\phi) \quad (2.21.c)$$

burada, ω_s güneşin batış saat açısıdır (derece olarak). $\overline{H_o}$, aylık ortalama miktarını temsil eden günlük atmosfer dışı ışımadır. $+60^\circ$ ile -60° arasındaki enlemler için, Tablo 2.1 'den ayın $\overline{H_o}$ 'a en yakın olan H_o değerine sahip ortalama gününü ifade eden n ve δ değerleri kullanılarak denklem 2.21.c 'den ışıma değerleri hesaplanabilir. Herhangi bir gün için H_o 'ın değerleri interpolasyon tarafından tahmin edilebilir.

3. GÜNEŞ PİLİ

3.1. Güneş Piliin Fiziksel Karakteristikleri

Güneş pili, pn jonksiyonunu içeren bir tasarımıdır. İyi bilinen diyot denklemi, gölgeli güneş pilinin çalışması ile tanımlanır. Atomlar, farklı enerji seviyelerine sahiptir. Elektronik ve güneş pili uygulamalarında, üst bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı, bir enerji aralığı ile ayrılmıştır. Yarıiletkenlerde, valans bandı tamamen dolu ve iletkenlik bandı tamamen boştur. Bu nedenle iletken halde bulunmazlar. Yarıiletkenlerde dıştaki elektronları atomlarından ayırmak için gereken enerji miktarı düşüktür. Bu da nispeten daha küçük enerji aralığı olması durumu ifade eder. Bu yüzden, elektronlar yüksek ısıya maruz kalarak veya bir fotonla uyarılarak valans bandından iletkenlik bandına geçiş için gerekli enerjiyi alabilirler (Şekil 3.1). Bu durumda iletkenlik bandındaki elektronlar ve valans bandındaki boşluklar yardımı ile iletkenlik oluşabilir. Yarıiletkendeki toplam akım, iletkenlik bandındaki elektron akımı ile valans bandındaki boşluk akımı toplamına eşittir. Valans bandındaki elektronlar kolayca uyarılarak, valans bandında boşluklar oluştururlar. Elektronun çok hızlı bir şekilde artması yarıiletkeni n tipi, boşlukların artması yarı iletkeni p tipi yapar. N tipi yarıiletkenlerde elektronlar çoğunluk taşıyıcıları, boşluklar azınlık taşıyıcıları ve p tipinde ise boşluklar çoğunluk taşıyıcıları, elektronlar azınlık taşıyıcıları olarak isimlendirilir [4]. Sıcaklık değiştiği zaman bazı elektronlar enerji seviyelerinde değişiklik gösterir. Fotonla etkileşme sonucunda n tipinden elektronlar p tipine doğru akar ve benzer şekilde p tipinden boşluklar n tipine doğru akar. Sonuçta n tipi pozitif yüklenirken, aynı zamanda p tipi negatif yüklenir ve arda bir potansiyel bölge oluştururlar. Bu sonucunda, serbest elektronların hareketinden dolayı bir elektrik akımı meydana gelir.



Şekil 3.1 Güneş pilinin yapısı

Pil tarafından üretilen akım üzerine düşen ışık miktarıyla doğru orantılıdır. Bununla birlikte, ışık yoğunluğu kadar pil alanının artması da oluşacak olan akım miktarının artmasını sağlar. Güneş pilleri kendi arasında kristalize güneş pilleri ve ince-film güneş pilleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar [25]. Kristalize güneş pilleri içinde en yaygın olarak kullanılan malzeme silikondur. Tek kristalize (mono kristalli) günümüzde yaklaşık verimleri yaklaşık %20 civarındadır. Laboratuvar ortamında bu silikon pillerin teorik olarak verimi yaklaşık %29 civarındadır. Çok kristalize silikon pillerin üretimi daha kolaydır ve daha ucuzdur. Bunların verimi tek kristalize güneş pillerinde biraz daha düşük olduğundan daha yaygın olarak kullanılırlar. Galyum arsenik (GaAs) yüksek verimli güneş pilleri için diğer bir tek kristalize malzemedir.

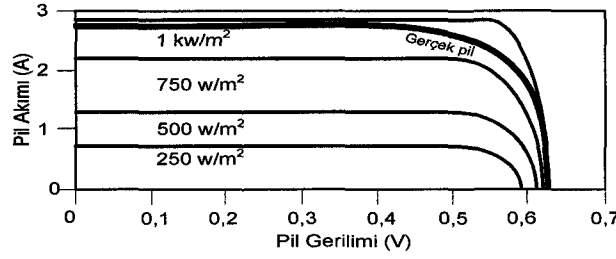
Güneş pili üretiminin fiyatlarını daha düşürmek için, daha az malzeme ve daha hızlı üretim işlemi anlamına gelen ince-film güneş pilleri geliştirilmiştir. İnce film teknolojisi son yıllardaki en büyük çalışma amorf silikon (Si) üzerine odaklanmıştır. Amorf malzemenin kristalize silikon pillerle karşılaştırıldığı zaman üretim enerjisi daha azdır. Bu pillerin dezavantajı verimi nispeten az düşüktür. Daha az veriminden dolayı aynı nominal güç için daha büyük modül alanı, bina uygulamalarında daha fazla uniform bir görünümle sonuçlanır ve bu yüzden avantajlı olur. Si güneş pilleri verimi %10 'nun üzerinde üretilmesine rağmen, Stabler-Wronski Etkisi diye isimlendirilen (ışık-üretim dengesizliği) kararsızlıktan dolayı başlangıç verim değeri yaklaşık olarak % 30 civarında azalır. Yeni araştırmalar bu etkiyi azaltmak ve verimi artırmak üzerine odaklanmıştır.

Güneş pillerinin yapımında; silisyum, germanyum, selen, galyum arsenik (GaAs), kadmiyum tellürid (CdTe) gibi yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Pil üstüne düşen ışık seviyesine bağımlı olarak elde edilen akım ve gerilimin miktarı değişir. Bu durumda, I-V karakteristik denklemi,

$$I = I_L - I_0(e^{qV/kT} - 1) \quad (3.1)$$

burada, I_L fotonlardan dolayı pil akımının içeriği, bu durumda elektriksel yük ($q=1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb), $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ j/K (Boltzman sabiti) ve T ise Kelvin olarak pil sıcaklığıdır. Gerçek güneş pillerinin I-V karakteristikleri bu ideal versiyondan az çok farklılık gösterirken, denklem (3.1) güneş pillerinin ideal performansının belirlenmesini sağlar.

Şekil 3.2, güneş pilinin hem gerilim sınırlamasına hem de akım sınırlamasına sahip olduğunu gösterir [3]. Bu, pilin açık devre ya da kısa devre şartları altında çalıştırılarak zarar görmeyeceğini gösterir. Güneş pilinin kısa devre akımını belirlemek için, basitçe üslü ifade de $V=0$ yazılarak bulunur. Buradan, $I_{sc} = I_L$ olur. Çok iyi bir yaklaşım yapmak için, pil akımının pilin ışımasıyla doğru orantılı olduğu görülür. Bu yüzden, eğer pil akımı standart test şartları altında; yani $G_0 = 1 \text{ kw/m}^2$ ve AM1.5 için bilinirse, o zaman herhangi diğer bir G ışımasındaki



Şekil 3.2 Farklı ışıma seviyeleri altındaki gerçek ve ideal güneş pillerinin I-V karakteristiği

pil akımı şöyle bulunur:

$$I_{l(G)} = (G / G_0) \cdot I_{l(G_0)} \quad (3.2)$$

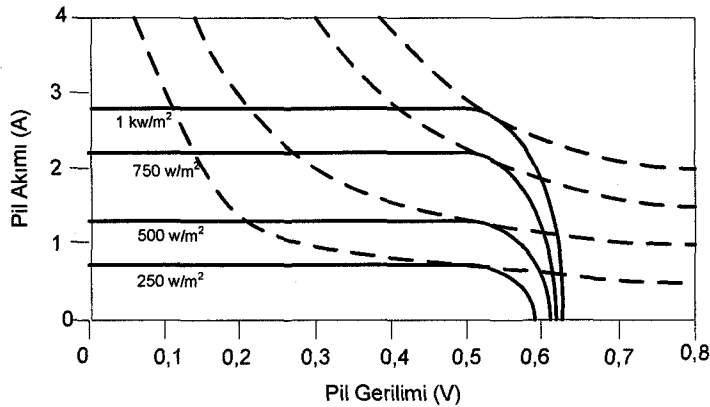
Pilin açık devre gerilimini belirlemek için pil akımı sıfıra ayarlanır ve 3.1 denklemi V_{oc} için çözülür ve çıkan sonuç:

$$V_{oc} = (k \cdot T / q) \cdot \ln((I_l + I_0) / I_0) \approx (k \cdot T / q) \cdot \ln(I_l / I_0) \quad (\text{çünkü } I_l \gg I_0) \quad (3.3)$$

Açık devre gerilimi pilin ışımasına sadece logaritmik olarak bağlıdır ve kısa devre akımı pilin ışımasıyla doğrudan orantılıdır.

Farklı ışıma değerleri için pilin gerilim ve akım değerleri de değişecektir. Herhangi bir andaki pil gerilimi ile o andaki pil akımı çarpılarak pil gücü belirlenir. Pilin ekonomisinden ziyade mümkün olduğunca daha fazla enerji elde etmesi ve pilin maksimum gücü üretecek şekilde çalışması istenir. Şekil 3.3, tipik bir güneş pilinin I-V karakteristiğini gösterir [3]. Şekilde pilin maksimum gücü ürettiği pil I-V karakteristiği üstünde bir nokta vardır. Maksimum gücün oluşturduğu gerilim aynı zamanda pil ışıma seviyesine bağlıdır.

Maksimum güç noktası, iki noktanın eğri üstünde kesişerek ve $I \cdot V = \text{sabit}$ olarak tanımlandığı hiperbollerin ayarlanıp çizilmesiyle elde edilir. Eğer maksimum güçteki pil akımı



Şekil 3.3 Bir güneş pili çalışma sıcaklığındaki maksimum güç noktasının tanımlanması

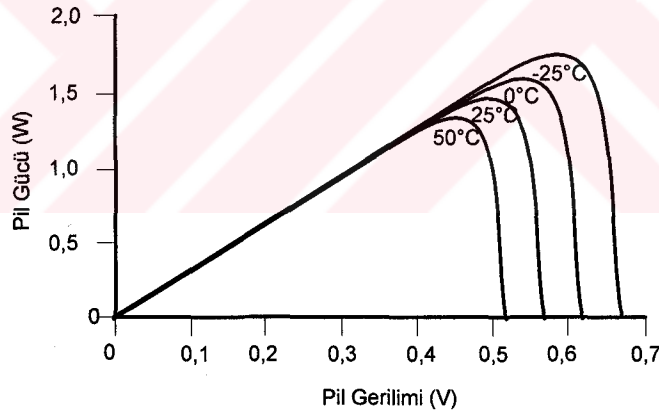
I_m ile gösterilirse ve maksimum güçteki pil gerilimi V_m ile gösterilirse pilin maksimum gücü şöyle hesaplanır:

$$P_{\max} = V_m \cdot I_m = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} \quad (3.4)$$

$V_{oc} = 0,596$ V ve $I_{sc} = 2,0$ A ile denklem 3.1 ile tanımlanan I-V karakteristiğine sahip olan bir pil için dolgu faktörü yaklaşık olarak 0,83 olacaktır. Gerçek güneş pilleri için tipik dolgu faktörü teknolojiye bağımlı olarak 0,5 ile 0,82 arasında değişir. Dolgu faktörünü maksimum yapmanın sırrı, pil içerisindeki şönt direnci maksimum ve seri direnç minimum edilirken foto elektrik akımın ters yön doyum akımına oranını maksimum etmektir.

Güneş pilinin I-V eğrisi aynı zamanda sıcaklığa duyarlıdır. Açık devre gerilimi pilin mutlak sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Bununla birlikte, ters yön doyum akımı yüksek derecede sıcaklığa bağımlıdır. Sıcaklıktaki her bir °C artma için silikon güneş pilin açık devre gerilimi 2,3 mV azalacaktır. Şekil 3.4, güneş pili gücüyle gerilim karakteristiğinin sıcaklıkla bağımlı olduğunu gösterir [3].

Bir güneş pili içindeki gelişen foto elektrik akım, pil üstüne gelen ışığın yoğunluğuna bağımlıdır. Foto akım aynı zamanda gelen ışığın dalga boyuna da yüksek derecede bağımlıdır. Bütün piller, pil yüzeyi üzerine gelen bütün güneş ışığının pil tarafından emilmesini sağlamak için yansıtıcı olmayan bir malzemeye kaplanırlar.



Şekil 3.4 Bir güneş pilinin güç ve gerilim eğrisinin sıcaklığa bağlı değişimi

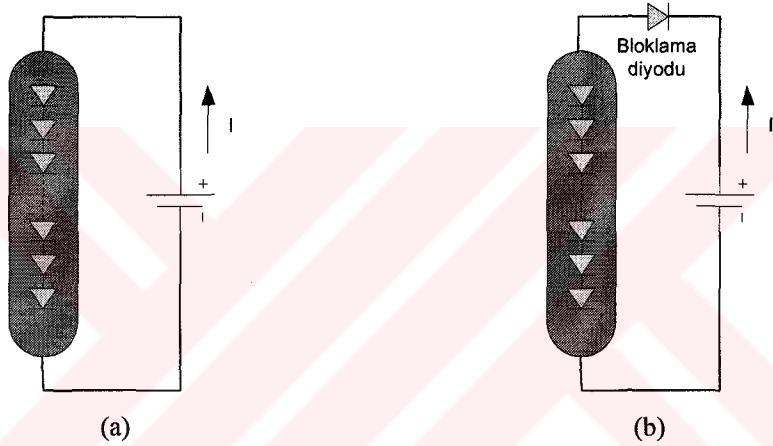
3.2. Güneş Pili Modülü

Yeterli bir çıkış gerilimi elde etmek için, güneş pilleri bir güneş modülü şeklinde seri olarak bağlanırlar. Güneş pili sistemleri genellikle 12 V 'un katları olacak optimal çalışma için tasarlanırlar. Bu tasarım amacı, ortalama ışıma şartları altında batarya/sistemin uygun kademesi içinde V_m 'yi sağlamak için kullanılan yol, seri şekilde yeterli sayıdaki pili bağlamaktır. Eğer bu durum yapılırsa, modülün güç çıkışı maksimuma yakın olur. Yani tam güneş ışıma şartları

altında V_m yaklaşık olarak 16-18 V arasında olmalıdırlar. V_m normal olarak V_{oc} 'nin %80 'i olduğu için tasarım, modülün yaklaşık olarak 20 V 'luk V_{oc} gerilimine sahip olduğunu gösterir.

Silikon tek bir pilin açık devre gerilimleri tipik olarak 0,5-0,6 V arasındadır, bu yüzden modül seri bağlı 33-36 pilden oluşur. Her bir pil yaklaşık olarak 1,5 watt ürettiği için modül yaklaşık 50 watt 'lık güce eşittir.

Gece şartları altında, pillerin hiçbirisi foto akımı üretmediği zaman, modülü Şekil 3.5 'de görüldüğü gibi sistemin aküsü tarafından ileri yönlü beslenen diyotların seri şeklindeki bağlantısı olarak düşünmek gerekir. Örneğin; modülün her birinin ters yön doyum akımı 10^{-10} A olan pillerden olmak üzere 33 pilden oluştuğu düşünelim. Aynı zamanda sistemin batarya gerilim 12,8 V olsun ve bu gerilim seri piller üstünde uniform olarak dağılır. Yani ileri yönlü beslenen her bir pil üstünde 0,388 V olacaktır. Denklem 3.3, bataryadan modüle akan akım miktarının 0,32 mA olacağını gösterir.



Şekil 3.5 Bloklama diyotlu ve diyotsuz güneş modülü üzerinden bataryanın deşarjı

a) Bloklama diyotsuz modül, b) Bloklama diyotlu modül

Eğer modül 28 pilden oluşursa, V_m gerilimi batarya gerilimine yakın, yaklaşık 14,6 V olacağı için, güneşin maksimum olduğu zaman boyunca bataryanın daha verimli şarjını sağlayacaktır. Bununla birlikte, güneşin olmadığı durumlarda ise her bir pil üstünde 0,457 V gerilim olacak ve 4,63 mA 'lık bir batarya deşarj akımı akacaktır. Zayıf güneş veya yüksek sıcaklıklar altında, modül çıkış gerilimi batarya geriliminden daha az olacaktır ve şarj olmayacaktır.

Eğer ters yönde akan akımı engellemek için modüle seri bağlı diğer bir diyot (bloklama diyotu) bağlanırsa, bu ileri yönlü bir gerilim düşmesine sebep olacaktır ve modülde foto akım oluştuğu zaman 1 watt 'tan daha fazla bir güç kaybı oluşacaktır. Modül eğer 50 watt sağlıyorsa, bu kayıp toplam modül çıkış gücünün % 2-3 ile gösterilir.

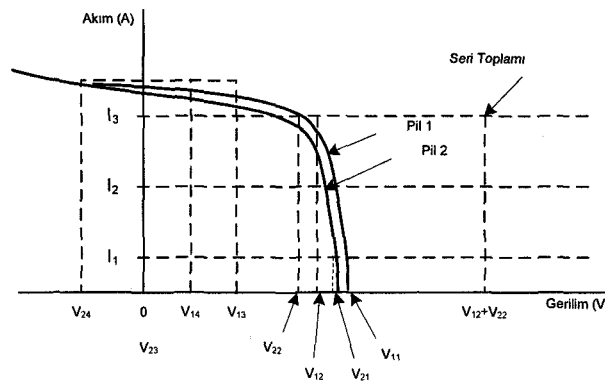
Güneş pillerinin seri bağlantısıyla ilgili önemli bir gözlem her bir pilin gölgelenmesiyle ilişkilidir. Modülün içindeki herhangi bir pil gölgelenirse, o pilin performansı azalacaktır. Piller seri bağlı olduğu için, eğer diğer gölgelenmeyen modüller paralel bağlanırsa, pilin ısınmasıyla sonuçlanan pil ileri yönde beslenir. Bu olay pilin erken bozulmasına sebep olur. Bu bozulmalara karşı sistemi korumak için, bloklama diyotu ilave etmekle birlikte, paneller genellikle by-pass diyotlarıyla korunur.

Güneş pilleri modüle monte edildiği zaman, Nominal Çalışma Pil Sıcaklığına (Nominal Operation Cell Temperature, NOCT) sahip olarak karakterize edilirler. NOCT, pillerin 1 m/sn 'den daha az rüzgar hızı, $G = 0,8 \text{ kw/m}^2$ ışıma şartları, AM1.5 olan şartları altında ve 20°C çevre sıcaklığında açık devrede çalıştığı zaman pillerin ulaşacakları sıcaklıktır. Çevre sıcaklığı ve ışımadaki değişimler için pil sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) olarak şudur;

$$T_c = T_a + ((\text{NOCT} - 20) / 0,8) \cdot G$$

Bir silikon pilin açık devre gerilimi sıcaklıkla $2,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ kadar azaldığı için, n sayıdaki pilden oluşan bir modülün açık devre gerilimi $(2,3 \cdot n) \text{ mV}/^\circ\text{C}$ kadar azalacaktır, burada n ; modüldeki seri bağlı olan pillerin sayısıdır. Örneğin, eğer 36 pilli bir modül $V_{oc} = 21 \text{ V}$, $G = 0,8 \text{ kw/m}^2$ ve NOCT 40°C değerine sahipse, çevre sıcaklığı 30°C arttığı ve $G = 1 \text{ kw/m}^2$ 'ye arttığı zaman, o zaman pil sıcaklığı 55°C 'ye artacaktır. Bu pil sıcaklığındaki 15°C 'lik artma, açık devre gerilimini % 6 azalmasına sebep olacak, yani $19,76 \text{ V}$ 'a düşürecektir. Üstelik aşırı sıcaklık erkenden pilin bozulmasına sebep olabilir.

Seri bağlantı içindeki iki pil için I-V eğrisini elde etmek için, Şekil 3.6 'da görüldüğü gibi [3], ihtiyaç duyulan akımı sağlayan uygun gerilim için pillerin gerilimi toplanır. Eğer bir pil diğer pilden daha fazla bir I_{sc} akımına sahipse, birleşim üstündeki gerilim sıfırken, her bir pilin gerilimi sıfır olmayacaktır. Şekil 3.6 'da, pil2, pil1 'den daha küçük I_{sc} değerine sahiptir ve böylece onun gerilimi, onun akımı pil1 'in akımına eşit olana kadar negatife gider. Yani pil1 güç üretiyor ve pil2 bu gücü harcıyor.



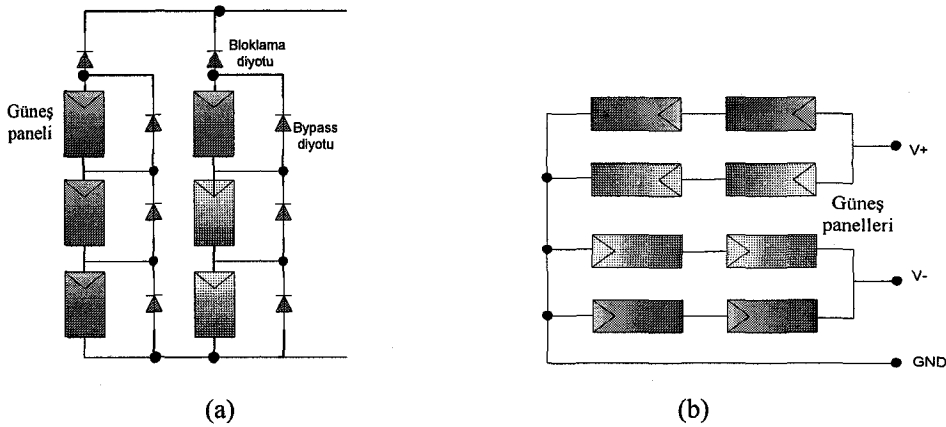
Şekil 3.6 Güneş modülü için birlikte çalışma karakteristiğinin tanımlanması

Yaklaşık olarak 30 tane pil seri bağlandığı zaman, eğer onlar tanımlı bir I-V eğrisine sahip değillerse, modül kısa devre olduğu zaman, pillerin bazıları güç üretiyor olacak ve diğerleri harcıyor olacaktır. Modül içindeki pillerin arasındaki uyumsuzluk ne kadar büyük olursa, zayıf piller içindeki harcanan gücün seviyesi o kadar büyük olacaktır. Eğer bütün piller mükemmel şekilde uyumlu ise, güç üretimi olmaz veya modül içinde harcanmaz.

3.3. Güneş Pili Paneli

Yüksek değerlerde gerilim ve akımlara ihtiyaç duyulursa, modüller birleştirilerek paneller oluşturulur. Seri bağlantılar daha yüksek gerilim, paralel bağlantılar ise daha yüksek akım sağlar. Modüller seri bağlandığı zaman, aynı akım değerinde her bir modülün maksimum güç üretimine sahip olması istenir. Modüller paralel bağlandığında ise, aynı gerilim değerinde her bir modülün maksimum güç üretiminin de aynı olması istenir.

Şekil 3.7, yaygın olan birkaç modül konfigürasyonunu gösterir [3]. Şekil 3.7 (a) 'da modüller seri ve paralel olarak birlikte bağlıdır. Modüllerin seri bağlantısı için, eğer dizi içindeki bir modül herhangi bir sebepten dolayı bozulursa, geriye kalan modüllerin çıkışını bozulan modülden elimine etmek için genellikle her bir modül uçlarına bypass diyotları kullanmak yaygın olan bir uygulamadır. Böylece bozulan modülün dizi içinde geriye kalanları etkilemesi engellenmiş olur. Şekil 3.7 (b) 'de modüller toprağa göre hem pozitif hem de negatif gerilim üretecek şekilde bağlıdır. İhtiyaç duyulursa modüllerin 3 tanesi bir şekilde birleştirilir ve birleştirilmiş çıkış 3 fazlı bir inverter sistemini besleyebilir.



Şekil 3.7 Güneş paneli bağlantı örnekleri

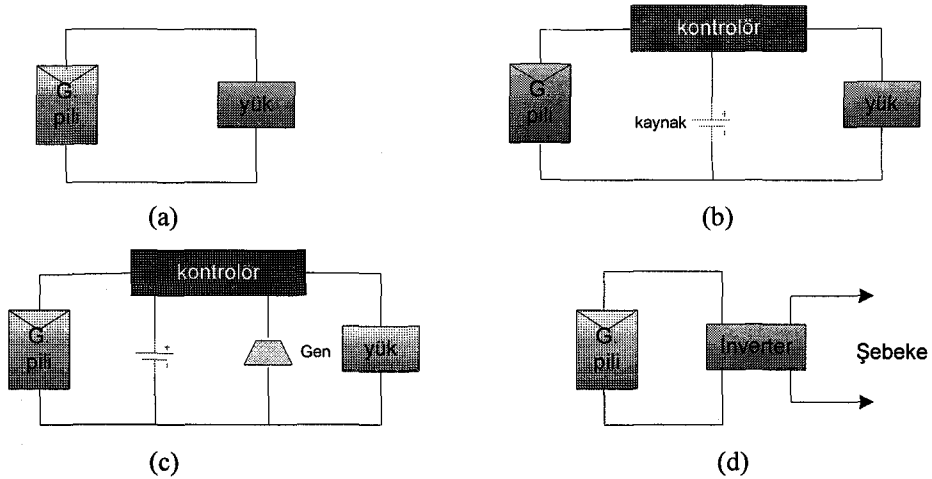
a) Bypass ve bloklama diyotlu seri-paralel bağ. b) Kaynak gerilimi ve topraklı seri-paralel bağ.

4. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ

4.1. Güneş Pili Sistemlerinin Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları

Tek bir güneş pilinden elde edilen gerilim ve akım miktarı düşüktür (0,5V-1,5W). Bu yüzden pillerin güçlerini artırmak için çok sayıda pil seri ve paralel bağlanarak birleştirilir. Güneş pillerinin birleşmesinden güneş modülleri, güneş modüllerinin birleşmesinden ise güneş panelleri meydana gelmektedir. Bir güneş modülü yaklaşık olarak 30-36 adet pilden oluşmakta ve çıkışında 15-17 V gerilim bulunmaktadır. Modüllerin gerilim değerleri 12-24 V ve güçleri 20-60 w arasında değişebilir. Modüllerin seri ve paralel bağlanması sonucunda güçleri daha yüksek olan güneş panelleri oluşmaktadır. Bir veya daha fazla sayıda güneş paneli tarafından üretilen enerjinin çeşitli yardımcı devreler ve elemanlar bağlanarak tüketiciye ulaşması istenir. Bunu oluşturan sisteme, Güneş Pili Sistemi denir.

Tipik panel güçleri birkaç 100 w 'dan kw ya da Mw panel güçlerine kadar artarlar. Elde edilen enerji ilave sistemlerle şarj edilerek daha sonra kullanılabilir. Bir akü sistemi çalıştığı zaman genellikle sistem bir şarj kontrolörüyle birlikte çalışır, böylece bataryaları aşırı şarj ya da deşarj durumu engellenir. Aküler, sistemde olan a.a. yüklerin tamamına ya da bir kısmına hizmet edebilirler. Eğer bu durumda ise, güneş pilinden elde edilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için bir inverttere ihtiyaç duyulacaktır. Eğer sistem, yedek bir sistemle birlikte çalışırsa ve güneş pili sistemi yeterli gücü üretmiyorsa, o zaman yedek sistemi çalıştırmak için sistem içerisinde bir kontrolöre ihtiyaç olur.



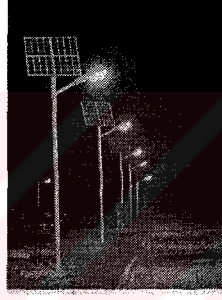
Şekil 4.1 Güneş pili sistemlerine ait bağlantı örnekleri.

- a) Güneş pili doğrudan yüke bağlı, b) Güneş pilinin kontrolör, akü ve yükle bağlantısı, c) Yedek generatör ve akülü sistem, d) Şebeke Bağlantılı Sistem

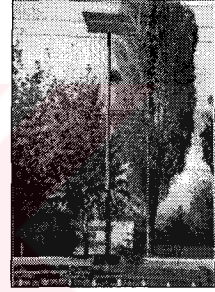
Güneş pili sistemi, gerektiği zaman şebekeyle birlikte bağlanabilir. Böylece, sistemler güneş pili üretiminin eksik olduğu durumda şebekeyi kullanabilir veya güneş pili tarafından üretilen fazla enerji şebekeye verilebilir. Şekil 4.1, güneş pili bağlantı sisteminin birkaç çeşidini göstermektedir [3]. Güneş pili sistemlerinin amacı, kurulu oldukları yerde ürettikleri enerji ile küçük bazı yüklerin enerji ihtiyacını karşılamaktır. Eğer fazla bir enerji üretimi olursa bu durumda şebekeye katkıda bulunurlar. Bu yüzden kendi arasında, Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Sistemler ve Şebeke Bağlantılı Sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır. Güneş pili sistemlerinin uygulama alanları Şekil 4.2 'de gösterilmiştir [26]. Bu uygulama alanları; bir evin beslenmesi (a), sokak ve çevre aydınlatması (b, c), yüzme havuzunun aydınlatılması (d), soğutma amaçlı (e), tarımsal sulama (f, g), trafik sinyalizasyonu (h, i), büyük binaların beslenmesi (j), güneş pili santrali (k), hibrid (güneş+rüzgar) sistem (l), meteorolojik amaçlı (m), uydu sistemleri (n), denizde (o) ve karada (p) telekomünikasyon sistemleri gibi.



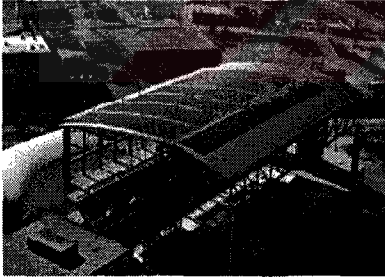
(a)



(b)



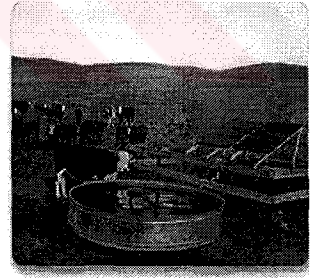
(c)



(d)



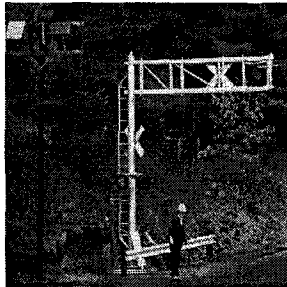
(e)



(f)



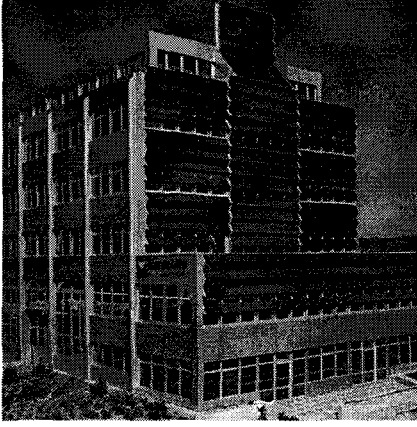
(g)



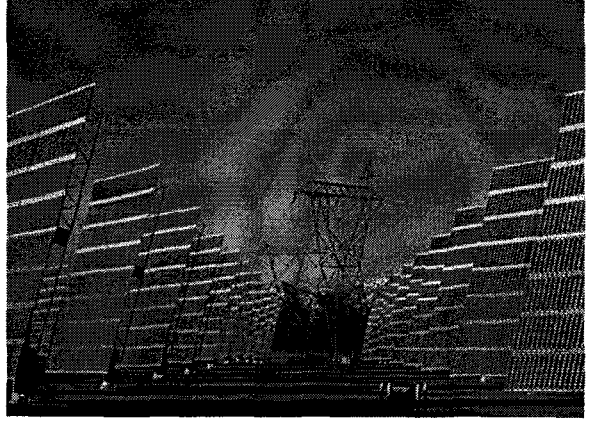
(h)



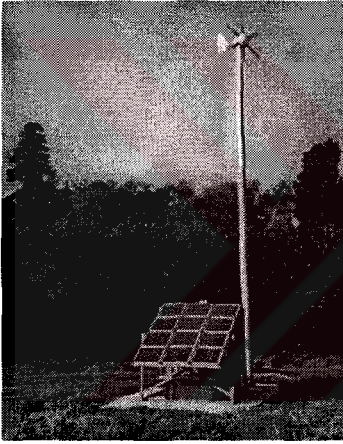
(i)



(j)



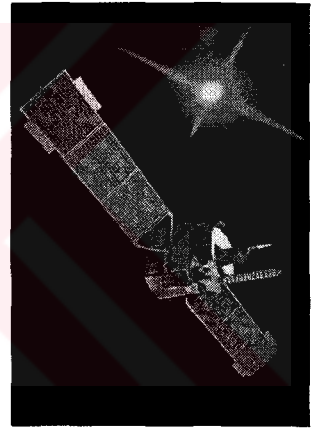
(k)



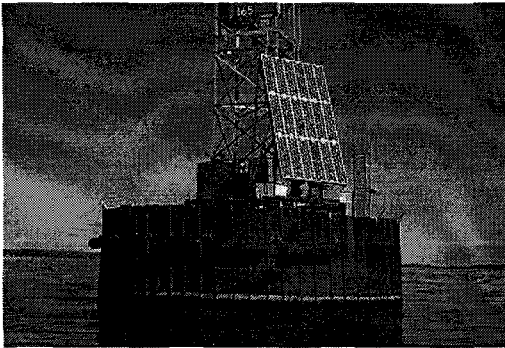
(l)



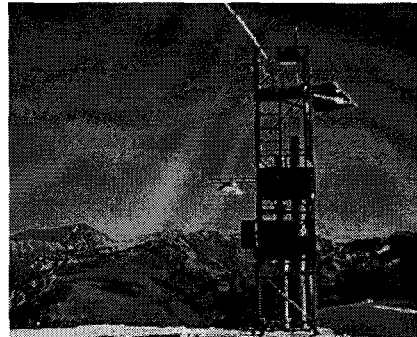
(m)



(n)



(o)



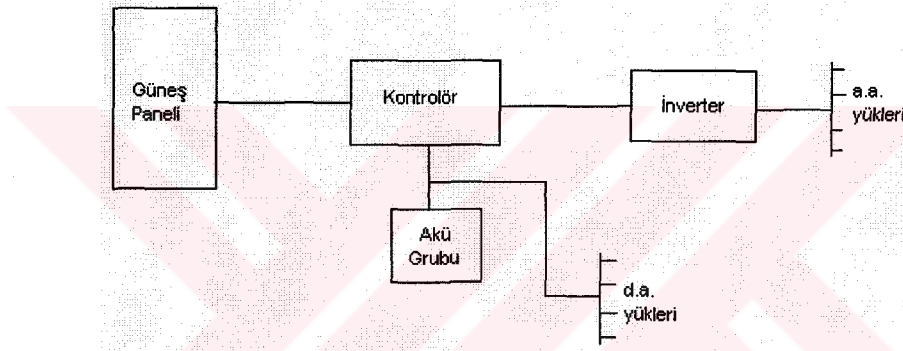
(p)

Şekil 4.2 Güneş pili sistemleri genel uygulama alanları

4.1.1. Şebekeden Bağımsız Güneş Pili Sistemleri

Şekil 4.3, şebekeden bağımsız bir güneş pili sisteminin blok şemasını göstermektedir. Bu tür güneş pili sistemleri çoğunlukla merkezden uzak olan yerleşim bölgeleri için enerji ihtiyacını karşılayan küçük boyutlu sistemlerdir. Yüksek güvenilirlik ve düşük bakım ihtiyaçları, bu uygulamalar için avantaj sağlar.

Sistem içerisinde elde edilen fazla enerji, ihtiyaç duyulacak zamanlarda kullanılmak üzere depolanır. Depolama işlemi için akülerden yararlanır. Gündüz güneş ışığının etkisiyle hem yük beslenir ve hem de üretilen enerjinin bir kısmı aküleri şarj eder. Akü bataryası geceleri ve güneş ışığının az olduğu zaman dilimlerinde, depoladığı enerji ile yükü beslemeye devam eder. Bu durum, yerleşim bölgelerinden uzakta olan ve enerji ulaştırmanın pahalı olduğu yerlerde büyük bir öneme sahiptir.



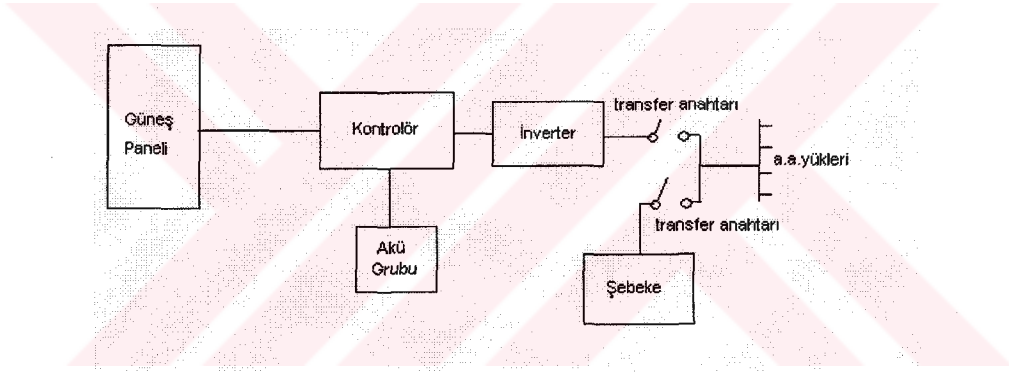
Şekil 4.3 Şebekeden bağımsız güneş pili sisteminin blok şeması

Bataryanın şarj ve deşarjı, bir şarj kontrolörü (regülatörü) aracılığı ile kontrol edilir. Kontrolörler, akü bataryasının şarj ve deşarj miktarının belirli sınırlar içinde kalmasını sağlar. Böylece aküler aşırı şarj ve deşarja karşı korundukları için daha güvenli ve uzun süreli kullanılmış olur.

Sistem içerisinde güç talebinin artması, sistemde kullanılmakta olan elemanların yani sistem boyutunun artmasına sebep olacaktır. Bu da sistemin fiyatının yükselmesini sağlar. Eğer sistem içerisinde sürekli enerji talebinin olması istenirse, güneş pili sistemi diğer enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılabilir. Örneğin; bir yedek dizel generatör sistemiyle birlikte kullanılması gibi. Birden fazla enerji kaynağının birlikte bulunduğu sistemler, hibrid sistemler olarak isimlendirilir. Herhangi bir nedenle güneş pili sistemi enerji talebini karşılayamazsa, bu durumda yedek sistem otomatik olarak devreye girerek ihtiyacı karşılamak için yardımcı olur. Yardımcı sisteminin olması güneş pili sisteminin güvenilirliğini artırır. Örneğin, güneş pili sistemi ile birlikte coğrafi konumun şartlarına göre bir rüzgar enerji sistemi iyi bir hibrid sistem oluşturabilir [17].

4.1.2. Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri

Güneş pili sistemi ile şebeke enerji sisteminin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Güneş pili tarafından üretilen elektrik enerjisi yük üzerinde harcanır. Bu sistemlerde, beslenen yük haricindeki geriye kalan fazla enerji şebekeye verilmektedir. Güneş pili tarafından üretilen enerji d.a olduğu için inverter yardımıyla şebeke geriliminin genlik ve frekans değerine uygun olacak şekilde a.a 'a dönüştürülür. Şebekeye verilen enerji, şebeke üzerinden ihtiyaç duyulan tüketiciye verilir. Bu yüzden güneş pili tarafından üretilip ve şebekeyi besleyen enerji fiyatının şebeke tarafından tüketiciye satılacak olan fiyattan daha düşük olması istenir. Güneş pillerinden üretilen enerji fiyatı ve şebeke tarafından tüketiciye satılan enerji fiyatının değişim oranının sabit olması istenir. Şekil 4.4, şebeke bağlantılı güneş pili sisteminin blok şemasını göstermektedir. Uygulamalarda güneş pili sistemleri şebekeye enerji sağlamak için kullanılan konvansiyonel enerji kaynaklarının fiyatlarına karşı bir rekabet içerisindedir. Eğer yük profilleri ile güneşlenme arasında uyum olduğu zaman sistem fiyatları özellikle uygun olurlar.



Şekil 4.4 Şebeke bağlantılı güneş pili sisteminin blok şeması

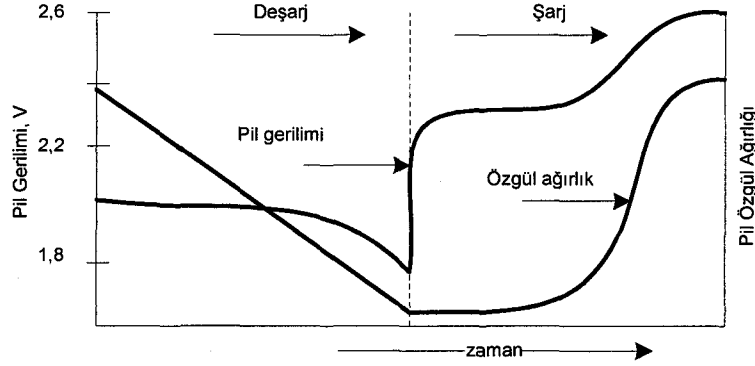
Güneş pili sistemlerinde kullanılan elektronik devre elemanları aşağıdaki gibidir. Bunlar sistem içerisinde elde edilen enerjinin yüke ya da tüketici grubuna aktarılmasını sağlar. Bu elemanlarda hem Bağımsız hem de Şebeke Bağlantılı sistem içerisinde büyük bir öneme sahiptir.

4.1.3. Güneş Pili Sistemlerinin Elemanları

4.1.3.1. Şarj Kontrolörü (Regülatörü)

Bataryalı bütün sistemlerde bir şarj kontrolörü temel elemandır. Şarj kontrolörü, yük ve panel arasındaki çalışma sırasında bataryanın çalışmasını kontrol eder. Şarj kontrolörü, batarya

deşarj durumu belli bir duruma ulaştığı zaman yükü ve batarya tamamen şarj olduğu zaman ise güneş panelini devreden ayırır. Kontrolör, değişik şarj,deşarj ve sıcaklık şartları altında optimal batarya-sistem performansı sağlamayı ayarlar.

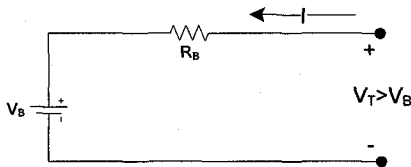


Şekil 4.5 Sabit bir oranda şarj vedeşarj boyunca pil elektrolitinin özgül ağırlığı ve pil sıcaklığının değişimi

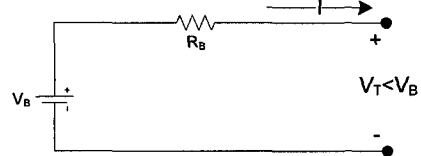
Değişik şarj,deşarj ve sıcaklık şartları altında, batarya uç gerilimi Şekil 4.5 ve Tablo 4.1’de sunulmuştur [3]. Bu sonuçlar Şekil 4.6 ’de gösterildiği gibi batarya sistemi için bir Thevenin eşdeğer devresi belirlemek için kullanılır [3].

Tablo 4.1 Kurşun asitli batarya pil özelliklerinin şarj durumuyla değişimi

Şarj durumu,%	Özgöl ağırlık	Pil gerilimi, V	12 V bataryanın gerilimi	Donma noktası, °C
100	1,265	2,12	12,70	-57,22
75	1,225	2,10	12,60	-37,22
50	1,190	2,08	12,45	-23,33
25	1,155	2,03	12,20	-16,11
0	1,120	1,95	11,70	-8,33



(a)



(b)

Şekil 4.6 Şarj vedeşarj şartları altındaki bir batarya için Thevenin eşdeğer devresi

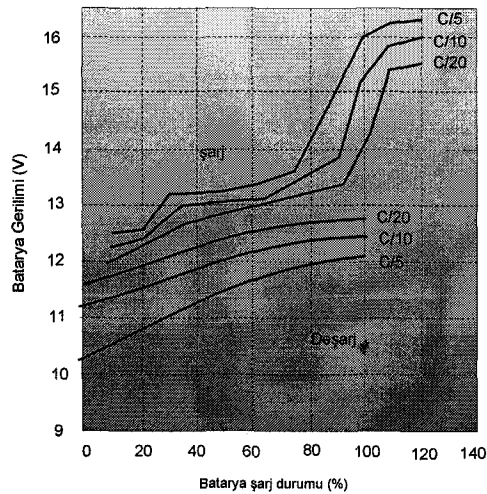
(a) Şarj durumu, (b) Deşarj durumu

Şarj boyunca, uç gerilimi, pil gerilim ve iç batarya direnci üstündeki gerilim düşümünün toplamı olduğu için, batarya uç gerilimi batarya pil gerilimini aşacaktır. Deşarj boyunca, yani deşarj şartları altında batarya uç gerilimi, pil gerilimden iç batarya direncindeki gerilim düşümü çıkarılacağından, batarya uç gerilimi pil geriliminden daha az olacaktır. Batarya pil gerilimi basitçe ifade edilirse batarya açık devre gerilimi demektir.

Batarya sistemi için Thevenin eşdeğer devresi, hem açık devre gerilimi hem de dirence bağımlı olan sıcaklıkla ilişkilidir. Sıcaklık azaldığı zaman, açık devre gerilimi azalır ve direnç değeri artar. Eski bir batarya için Thevenin eşdeğer devresi ile aynı tip yeni bir bataryanın eşdeğer devresi farklıdır.

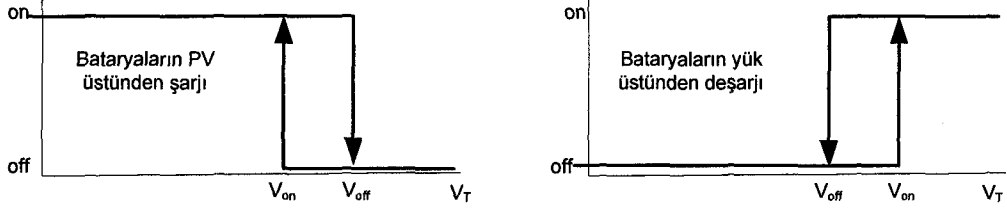
a) Şarj Durumu

İşlem sırasındaki şarj durumunu düşünülürse: terminal (uç) gerilimi özel bir şarj akımıyla 15 V 'a ulaştığı zaman bataryanın tamamen şarj olduğunu kabul edilir. Uç gerilimi 15 V 'a ulaştığı zaman, panelin bataryadan ayrıldığı ve uç gerilimi 15 V 'un altına düştüğü zaman panelin yeniden bağlanacağını kabul edilir. Panel uçlardan ayrıldığı zaman, uç gerilimi 15 V 'un altına düşecektir, çünkü batarya iç direnci uçlarında daha fazla gerilim düşümü olmayacaktır. Kontrolör bataryanın henüz şarj olmadığını kabul eder ve batarya tekrar güneş paneline bağlanır. Bu tekrarlama işlemi batarya aşırı şarj olana kadar ya da kontrolör içindeki ilave devre, tekrarlama algılayana kadar devam eder ve şarj akımı azalır. Şekil 4.7, tipik bir batarya için şarj durumunu ve batarya uç geriliminin şarj ve deşarj oranına nasıl bağlı olduğunu gösterir [27]. Örneğin, eğer batarya C/5 de şarj olursa, 16 V uç geriliminde tam şarja ulaşacak, halbuki eğer batarya C/20 de şarj olsaydı, o zaman batarya uç geriliminin 14,1 V değerinde tam şarja ulaşır. Eğer şarj akımı sıfıra doğru azalır o zaman uç gerilimi 13 V un aşağısına düşecektir.



Şekil 4.7 Şarj veya deşarj oranının fonksiyonu olarak uç gerilimi ve şarj durumu

Osilatör işleminden sonuçlanan aşırı şarjı yok etmek için bir yöntem, kontrolör kapama noktasının azaltılmasıdır. Bununla birlikte, bu işlem bataryanın yetersiz şarj olmasıyla sonuçlanabilir. Diğer bir metot ise Şekil 4.8 'de görüldüğü gibi devreye histerisiz eğrisini sunmaktır [3]. Böylece panel, bataryalar bir dereceye kadardeşarj olana kadar bataryalara yeniden bağlanmayacaktır.



Şekil 4.8 Gerilim algılayıcısı için düzeltici karşılaştırmalı şarj kontrolöründeki değişim

Şekil 4.7 dikkatle incelenirse, şarj oranı yüksek olanın başlangıçtaki şarja göre daha iyi olacağını (örneğin C/5) önerir. Tam şarjın yaklaşık olarak %85 'ni işaret ettiği, uç gerilimi 15 V civarına yaklaştığı zaman, bataryanın çok düşük şarj oranında ve uygun daha düşük gerilimde %100 şarja ulaşana kadar sıcaklıkla hesaba katılarak şarj oranı azalır.

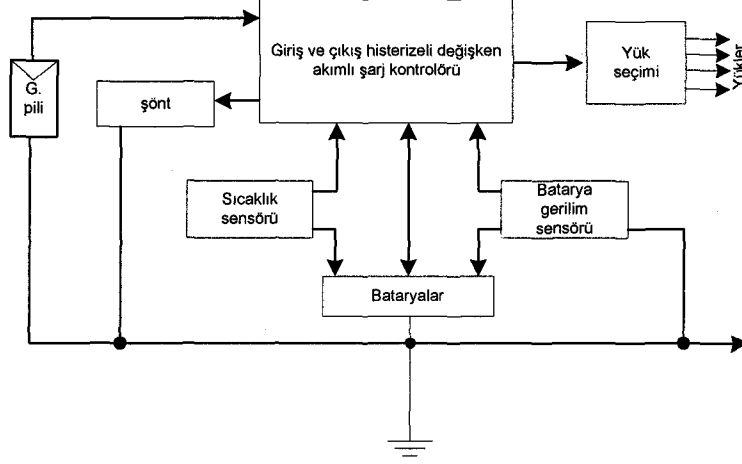
Bataryanın ayrılması, panel içerisinde kısa devre veya açık devre ile sonuçlanabilir. Eğer panel bataryalardan ayrılma işlemi sırasında panel kısa devre oluyorsa, kontrolör, şönt kontrolör diye isimlendirilir. Eğer açık devre işlemi oluyorsa, seri kontrolör diye isimlendirilir. Şönt kontrolörün bir avantajı bu sonucu başarmaya yetecek kadar şarj akımını bypass ederek uygun bir seviyede sabit batarya uç gerilimini sağlamasıdır. Dezavantajı ise, şönt cihazdaki ısı kaybından dolayı güç kaybı oluşmasıdır ve bunu yok etmek için soğutucu gerekir.

b) Deşarj Durumu

Bir periyotlukdeşarj durumu için batarya uç geriliminin önceden belirlenen minimum seviyenin altına düştüğü kabul edilsin. Eğer kontrolör yükten ayrılırsa, batarya uç gerilimi minimum seviyenin üstüne artacak ve yüke tekrar enerji verilecektir. Böylece, Histerizis için bir uygulama tanımlanır ve diğer kuvvetlendirici bir karşılaştırmalı devreye kontrolörün çıkışı doğrulanır. Eğer kontrolör kapatılmadan önce bataryaları tamamen tam şarja getirmek için şarj akımını azaltmak için tasarlanırsa ve eğer kontrolör bataryanın optimaldeşarjını sağlamak için yükleri ayırırsa, o zaman sistemin baştan sona verimi histerizisle kontrol edilen sistemin üstünde olacaktır.

Şekil 4.9, şönt-lineer ayırma işlemini çalıştırarak sonuç şarj akımı azaltan ve yük ayırma işlemini seçici, şarj vedeşarj üstündeki histerizis ve sıcaklığı algılayan bir kontrolörün blok diyagramını gösterir [3]. Şarj kontrolörü, bataryaları tamamen şarj edecek ve herhangi bir güç

kullanmaksızın önceden tanımlı olan noktada deşarjı kesecek yani güneş panelinin çıkış gücünün tam kullanımını sağlayacaktır.



Şekil 4.9 Bir şarj kontrolörün blok diyagramı

4.1.3.2. Akü

Batarya veya akü, elektrik ihtiyacının depolandığı, güneş panelinin elektrik üretmediği bulutlu, yağışlı ve havanın kapalı olduğu zamanlarda veya geceleri elektrik ihtiyacını karşılayan aygıtlardır. Yaygın olarak kullanılan bataryalar, kurşun-asitli batarya çeşididir. Çünkü bu tip bataryalar defalarca dolup boşalırken kapasitelerinin %80 'nini korurlar. Güneş pili sistemlerindeki bataryaların fiyatı, tipine, kapasitesine, kullanılacağı iklim şartlarına ve kullanılan kimyasal malzeme çeşidine göre değişirler.

Bataryalar şarj sırasında artık hidrojen ve oksijen gazı çıkardıkları için havalandırması iyi olan ve elektrikten izole edilmiş olan iyi bir ortamda tutulması önerilir. Bu gazların çıkması ile elektrolit içindeki aktif maddeler azalır ve elektrolitin direnci artar. Ayrıca açığa çıkan gaz miktarı artarsa yanma veya patlamalara sebep olabilir. Akülerin en büyük dezavantajları ağırlıkları olmaktadır. Akü ömrü yapabileceği tam devir adedi ile sınırlıdır. Tamamen dolu bir akü tamamen boşaltılıp arkasından tekrar tamamen doldurulduğunda, akü tam devir yapmış olur. Aynı şekilde tamamen dolu bir akü kısmen boşaldıktan sonra tekrar doldurulduğunda ise, akü bir kısmi devir yapmış olur. Akünün devir mukavemeti elektrolitin sulandırılması ile yükseltilebilir. Ancak bu durumda akünün iç direnci yükseleceğinden bu defa da akünün kendi kendine boşalması hızlanır.

Bataryalar aşırı şarj ve deşarjdan korunmalıdır, ayrıca uzun süreli düşük şarj seviyesinde tutulmaması gerekir. Akülerin seri bağlanarak gerilimleri, paralel bağlanarak akım kapasiteleri artırılır. Bataryaların verimi ortalama %70-80 civarındadır. Ortam sıcaklığı da

batarya verimini etkiler. Ortam sıcaklığındaki her 10 °C artış bataryanın kullanım süresini yarı yarıya azaltır. Kurşun-asitli bataryanın 20 °C sıcaklıktaki kullanım süresi 5-10 yıl arasında değişmektedir.

4.1.3.3. İnverter

İnverter, girişine uygulanan d.a. gerilimi, belirli bir frekans ve genliğe sahip a.a. gerilime dönüştüren elektronik devrelerdir. Yükün ihtiyaçlarına bağımlı olarak çeşitli inverterler mevcuttur. Özel uygulamalar için uygun inverterin seçimi, inverterin verimine ve yükün ihtiyaç duyduğu dalga şekline bağımlıdır. İnverter seçimi aynı zamanda inverterin şebeke bağlantılı bir sistemin parçası ya da bağımsız (stand-alone) sistemin bir parçası olup olmadığına bağımlıdır.

Tablo 4.2 İnverterlerin performans parametreleri

Parametre	Kare dalga	Düzeltilmiş sinüs dalga	PWM	Tam sin dalga
Çıkış gücü oranı (watt)	1000000	300-2500	20000	2000
Dalgalanma kapasitesi (çıkış gücünün çarpanı)	20 katından fazla	4 katından fazla	2,5 katından fazla	4 katından fazla
Çıkış gücündeki verim	% 70-98	% 70-85	>% 90	% 80 den fazla
Harmonik bozulma	% 40 'dan fazla	≈ % 5	<% 5	<% 1

Tablo 4.2, mevcut inverterler arasında bir karşılaştırma yapar [3]. İnverter performansı, güç çıkış oranı, büyük dalgalanma kapasitesi, verim ve harmonik bozulma oranlarıyla tanımlıdır. Maksimum verim çıkışa yakın oranlarda başarılabilirdi için, inverter seçildiği zaman verimle çıkış gücü arasındaki grafiğin ilişkisini düşünmek önemlidir. Belirli yükler yeterli seviyede başlangıç akımlarına sahiptir, çünkü yükteki büyük dalgalanmalara karşı inverterin yeterli seviyedeki akımı sağlaması önemli bir durumdur. Güç kaynağının harmonik bozulması özel bir seviyenin altında değilse diğer yükler ya aşırı ısınabilir ya da istenmeyen gürültüye maruz kalırlar.

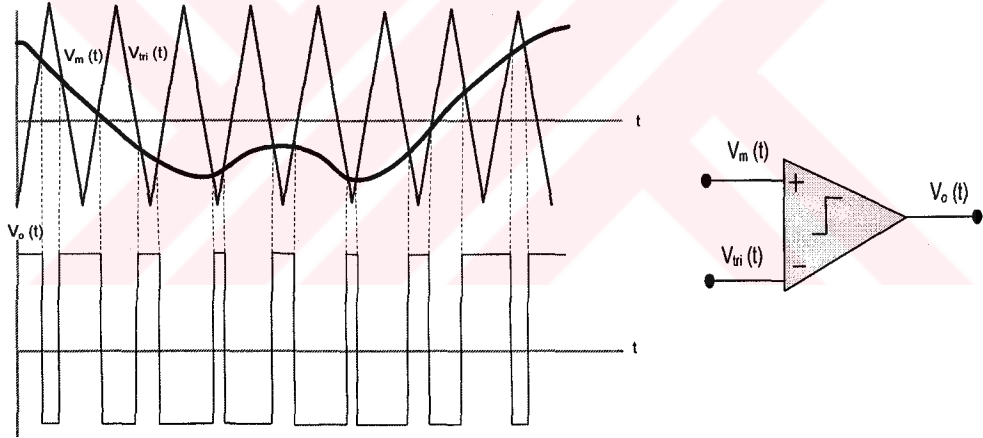
Genelde, kare dalga inverteri en ucuz olanıdır fakat uygulama alanı sınırlıdır. Büyük dalgalanma kapasitesine sahiptir fakat harmonik bozulması da en yüksek olanıdır. Düzeltilmiş sinüs inverteri daha fazla karışıktır ve verimi biraz daha düşüktür. PWM (Pulse Wave Modulation, Darbe Genlik Modülasyonlu) inverter daha yüksek fiyata sahiptir fakat daha

yüksek verime ve min bozulmaya sahiptir. Tam sinüs inverter en az bozulmaya sahiptir fakat aynı zamanda en düşük verime sahiptir. İnverterler kendi arasında aşağıdaki gruplara ayrılırlar ve en fazla tercih edileni PWM inverter çeşididir.

- Kare Dalga İnverterler,
- Düzeltilmiş Sinüs Dalga İnverterler,
- PWM inverterler,
- Tam Sinüs Dalga İnverterler,

PWM İnverter

Bu inverter, bir sinüs dalgasının seviyesine eşdeğer herhangi bir zamandaki ortalamaya sahip olan bir dalga şekli üretir. PWM inverterler, inverter ailesi içerisinde çok yönlü olanlardan birisidir. Maksimum güç izleyiciler (Maximum Power Tracker, MPT) PWM sinyali doğrultulmuş d.a. çıkışını üretmek için sabit bir ortalama değere sahip olacak şekilde tasarlanır. PWM inverteri herhangi bir genlikte, herhangi frekansta ve herhangi bir dalga şekline sahip ortalama değerde zamana bağımlı olarak tasarlanır. Güneş pili uygulamalarına ait kullanım için, tahmin edilebilir genlik ve frekanslı bir sinüs dalga şekline sahip olması istenir.



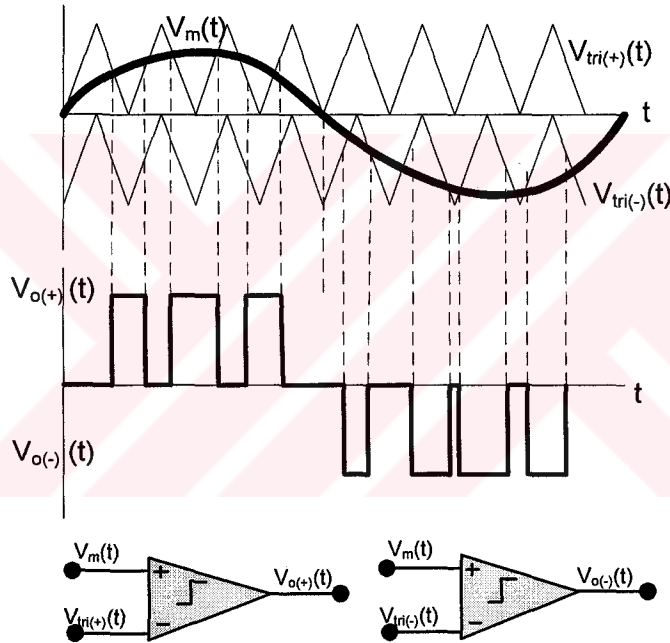
Şekil 4.10 Bir PWM dalga şeklinin üretilmesi

Bir PWM dalga, bir darbe dalga şeklinin on ve off zamanını kontrol ederek farklı genlik ve frekanslar için dalga şekilleri üretir. Dalga şekli, aralıksız devam eden darbelerin bağıntılı çalışma periyodu ile kontrol edilir. Genlik, baştan sona çalışma periyot ile kontrol edilir ve frekans darbe dizisinin tekrarlama zamanı kontrol edilerek belirlenir.

PWM inverterler, a.a. motor kontrolörleri olarak kullanıldığı zaman, a.a. motorun hızı motorun uygulama frekansı ayarlanarak kontrol edildiği için özellikle faydalı olurlar. Motor içerisinde gelişen akı, uygulama frekansı ile ters orantılıdır ve her motor akı miktarı artmadan yeterli akımı çeken bir doyum akısına sahiptir. Buradan, bir motorun uygulama frekansı azaldığı

zaman, uygulanan gerilimin tepe değeri de motoru doyumun dışında tutmak için orantılı olarak azalır. MPT yetenekli bir PWM kontrolör, bir güneş pili pompa sisteminin verimini maksimum yapma işleminde yeterli olabilir.

Şekil 4.10, bir PWM dalga şeklinin nasıl üretildiğini gösterir [3]. İşlem, gerilim karşılaştırıcısının bir girişine uygulanan darbe dalga şeklinin frekansında bir üçgen dalga uygulamayla başlar. Sonra, karşılaştırıcısının diğer girişine de bir modülasyon dalga şekli olarak istenilen dalga şekli uygulanır. Modülasyon sinyali üçgen dalga şeklini aşarsa, karşılaştırıcı çıkışı yüksek değere sahip olur ve modülasyon sinyali üçgen dalga şeklinden daha az olursa, karşılaştırıcı çıkışı düşük değere sahip olur. Karşılaştırıcı çıkışı, çıkış darbesinin on ve off zamanını anahtarlamak için kullanılır. Sonuç, modülasyon sinyal ile orantılı devam eden ortalama değere sahip bir çıkış PWM dalga şeklidir.



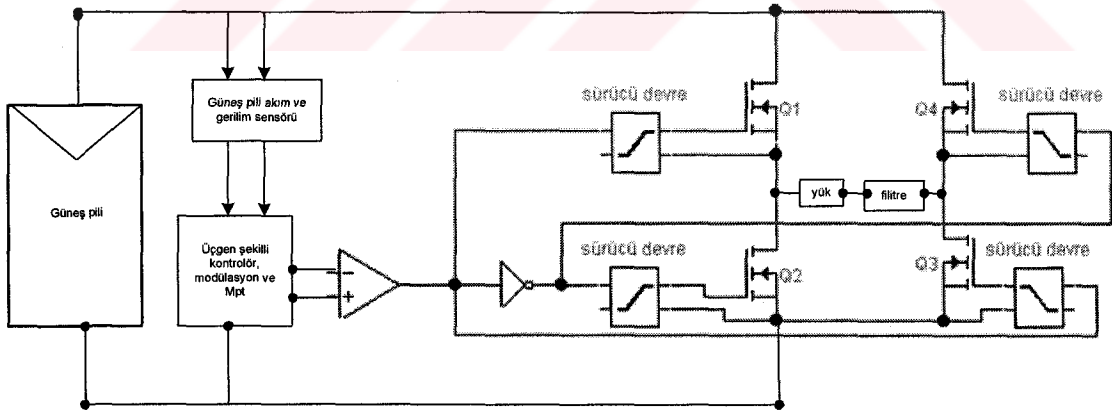
Şekil 4.11 Üç seviyeli PWM inverter konfigürasyonu ve çıkış sinyali

2 seviyeli PWM dalga şeklinin harmonik bileşeni, 3 seviyeli PWM dalga şekli kullanılmasıyla belirgin bir şekilde azaltılabilir. 3 seviyeli PWM dalga şekli, devreye ikinci bir karşılaştırıcı yerleştirilerek üretilebilir. Bunun sonucunda karşılaştırıcısının biri, modülasyon sinyali pozitif gittiği zaman, pozitif giden darbeyi kontrol edecek ve modülasyon sinyali negatife gittiği zaman diğer karşılaştırıcı negatife giden darbeyi kontrol edecektir. Eğer inverter doğrudan panelden güç alıyorsa, panelin devresinden asla ayrılmayacaktır. Eğer bir akü sistemi panel akımı için kullanılırsa, panel akü sistemine sürekli olarak d.a. güç sağlayacaktır. O zaman

akü sistemi, panelden akan gücü kesmeksizin yük ihtiyacını karşılayacak şekilde enerjilenecek veya enerjisi kesilecektir. Şekil 4.11, akü sisteminde d.a. girişten istenilen 3 seviyeli PWM inverterin çıkış sinyalinin gösterir [3].

Şekil 4.12, MPT içeren d.a. kaynak için bir tam dalga köprü tipi anahtarlama şebekesini kullanan bir PWM inverter devresini gösterir [3]. Bu bir kare dalganın üretimi için gösterilen köprü tipinin bir uyumudur. İnverter, modülasyon sinyalinin kaynağına bağımlı olarak değişken frekanslı, hatla eş zamanlı (senkronizeli) veya sabit frekanslı olabilir. Kontrolör, MPT ile algılanarak güneş paneli çıkış gerilimi ve akımı tarafından belirlenen V_m 'nin frekansında ya da V_m genlikli bir modülasyon sinyali ve üçgen dalga şekli üretir. Köprünün Q_1 ve Q_3 anahtarları pozitif darbe boyunca enerjili, Q_2 ve Q_4 negatif darbe boyunca enerjili olurlar. Bu, maksimum güç izleyiciye imkan sunan güneş paneli üstünden sürekli olarak güç çekilmesini sağlar.

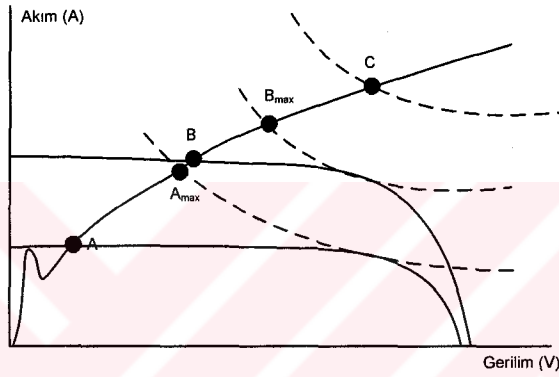
Anahtarlama elemanlarını mümkün olduğunca ideale yakın tutularak ve filitre elemanları içindeki minimum kayıpları koruyarak bu üniteler için baştan sona çok yüksek verim sağlanabilir. Bir anahtarlama elemanı ya sıfır gerilime ya da sıfır akıma sahipse, o güç harcamaz. Anahtarlama elemanı çalışması boyunca, eleman hem gerilim hem de akıma sahip olacağından güç harcar. Bir PWM inverterin değişmesi durumunda yeniden üretilen yeterli dalga şeklini verecek şekilde mümkün olduğunca yüksek bir frekansa sahip olması fakat istenmeyen seviyedeki artan kayıpların yüksek olmaması istenir. Birçok üretici, inverter çıkış gücünün %90 'nın üstünde verime sahip olduğu PWM inverterleri tavsiye ederler.



Şekil 4.12 Kontrolör ve güneş paneli bağlantısını gösteren tam dalga köprü PWM dönüştürücü

4.2. Maksimum Güç İzleyiciler

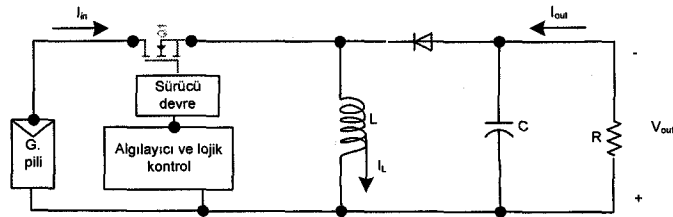
Maksimum güç izleyici sistem gün içerisinde güneşin hareketini takip edip güneş ışığından en yüksek oranda faydalanmak istenen sistemlerdir. MPT 'ler günün saatleri içinde çalıştırılırken amaç tasarlanan d.a. motorların güneş paneliyle karakteristik uyumunun sağlanmasıdır, örneğin pompa uygulamaları gibi. Özellikle, yüksek başlangıç momentine sahip bir pompa motorunda nispeten başarılı olur. Panel karakteristiği ve pompa karakteristiği arasında iyi bir uyum sağlanmazsa, pompanın çalışması kısa devreyle sonuçlanır ve pompanın ömrünün kısılmasına sebep olur. Şekil 4.13, farklı ışıma seviyeleri için güneş paneli I-V eğrilerine sahip tipik bir pompanın I-V karakteristiğini gösterir [3].



Şekil 4.13 Pompa ve güneş paneline ait I-V karakteristiği

Maksimum güç izleyiciler, genellikle d.a./d.a. anahtarlama gerilim regülatörleri ile uyumludur. Maksimum güç transferi için ya daha yüksek gerilimde daha düşük bir akım ya da daha düşük gerilimde daha yüksek bir akım sağlama ihtiyacı duyarlar. Şekil 4.14, bir MPT 'de kullanılan buck-boost dönüştürücünün temel elemanlarını gösterir [3]. Bu sistemde, çıkış geriliminin polaritesinin giriş geriliminin polaritesine zıt yöndedir. Buck-boost dönüştürücünün çıkış gerilimi,

$$V_o = (D/(1-D)) V_{in} \quad (4.1)$$



Şekil 4.14 Bir buck-boost anahtarlama şeması kullanan maksimum güç izleyicisi

Burada D , mosfetin $0 < D < 1$ arasında ifade edilen çalışma periyotudur. Q mosfeti, enerjilendiği zaman boyunca indüktans enerjisi depolar. Q mosfetinin enerjisi kesilince, indüktans akımın akmasını sağlar ve R , C ve diyot üzerinden akım akmaya devam eder. C kondansatörü V_o değerine şarj olur ve kapasitör gerilimi çıkış gerilimine eşit olur. Q mosfeti tekrar ilettime girdiği zaman, diyot ters yönde beslenmiş olur ve kapasitör direnç üzerinden deşarj olurken, indüktans tekrar depolanır. Sonuçta, Q mosfetinin enerjisi kesilince periyot işlemleri tekrarlanır. L , C ve anahtarlama frekansının değerlerini çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı belirler. İdeal indüktans ve kapasitör de enerji kaybı olmadığı için ve Q mosfeti ve diyot ideal anahtar gibi çalıştığı için V_{in} 'deki bütün güç miktarı yüke transfer edilir. Gerçekte, bu elemanlar bazı kayıplara sahip olacak ve MPT 'nin verimi %100 'den daha az olacaktır. Bununla birlikte, iyi tasarlanmış bir MPT 'nin (baştan sona) bir uçtan bir uca verimi % 90 'dan daha fazla olacak ve % 95 'e yakın olduğu söylenir.

4.3. Güneş Pili Sistemlerinde Kayıplar

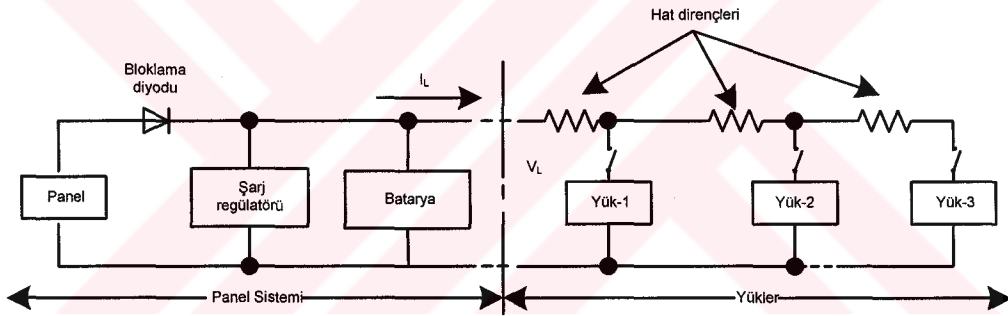
Güneş panelleri tarafından üretilen maksimum güç tamamen kullanılmaz, bir kısmı kaybolur. Enerji kaybına birçok sebep vardır. Yaz boyunca enerji kaybının ana sebebi, kış süresince sınırlı olan güneş enerjisinden yük için kaynak sağlayacak şekilde gerekli olan bir güneş panel boyutlarını içeren sistem tasarımıdır. Diğer sebepler ise; güneş paneli bağlantısının ayrılması sırasındaki kayıplar, bataryadaki kayıplar, panel-batarya ve yük arasındaki kayıplardan oluşmaktadır. Panel ayrılma kayıpları, akünün tamamen şarj olduğu yaz sezonu boyunca ortaya çıkar. Ayrılma kayıplarından sakınmak için, yeni bir Batarya Gerilim Regülatörü (Battery Voltage Regulator, BVR) kullanılır [28, 29]. Batarya tamamen şarj olduğu zaman kullanılan panelden doğrudan yüke kaynak sağlanmasına müsaade eder. Enerji kayıpları temel ve temel olmayan kayıplar diye iki kısma ayrılıp analiz edilmiştir. Uygun güneş pili sistemi, uygun batarya gerilim regülatörü kullanılarak tasarlanır. BVR 'nin temel amacı, bataryanın ömrünü uzatmak üzere, aşırı ve hızlı deşarjlara karşı bataryayı korumaktır. Bu tip regülatörler güneş pili sistemiyle çalışan haberleşme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılır. Pompalama sistemleri gibi doğrudan bağlı olan güneş pili sistemleri BVR kullanmazlar.

Panel eğim açısı, güneş paneli boyutunu verilen yük için minimum edecek şekilde seçilir. Sabit bir yük için, optimum panel eğim açısı kış için enlem açısından 15° fazlası civarındadır. Böyle bir eğim açısı kış boyunca panel eksenine alınan güneş enerjisini maksimum yapar ve yaz boyunca alınan güneş enerjisinin azalmasını sağlar. Tasarımın amacı güneş enerjisinin sezonsal değişiminin minimize etmektir.

5. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN TASARIMI

5.1. Yük Profiline Göre Tasarım

Güneş pili panel sistemleri elektriksel yüklerin büyük değişimleri dikkate alınarak tasarlanır. Yükler, nadiren dirençten oluşur. Sistem içindeki çalışmalarda farklı yüklerle karşılaşılabilir ve bu da gereken enerji ihtiyacını artırabilir. Çalışma sürecinde, %10 'luk bir ani akım talebi, pilin çıkış geriliminin geçici olarak düşmesine sebep olur. Bu yüzden geçici yük durumlarına cevap vermek üzere, aşırı panel boyutundan ziyade yeterli miktarda batarya kullanımı tercih edilir. Bir güneş pili panel sisteminden çalıştırılacak olan gerçek yüklerin düzenli bir şekilde sunulması o sistemin “Yük Profil” ’i olarak bilinir. Şekil 5.1, basit bir güneş pili güç sisteminin blok diyagramını göstermektedir [30]. Panel çıkışı bir bloklama diyodu üzerinden bataryayı besler. Diyot, güneşin olmadığı zamanlarda bataryadan panele akım akmasını engeller. Sisteme bağlı olan n tane bir birinden bağımsız yük olabilir.



Şekil 5.1 Basit güç sistemi

Örnek 5.1

Şekil 5.1 'de gösterilen güç sistemi için yük profilini belirleyiniz? Batarya gerilimi 25 V ve yükler aşağıdaki gibidir:

Yük1: Gündüz ve gece sürekli olarak 50 W çeken sabit bir güç,

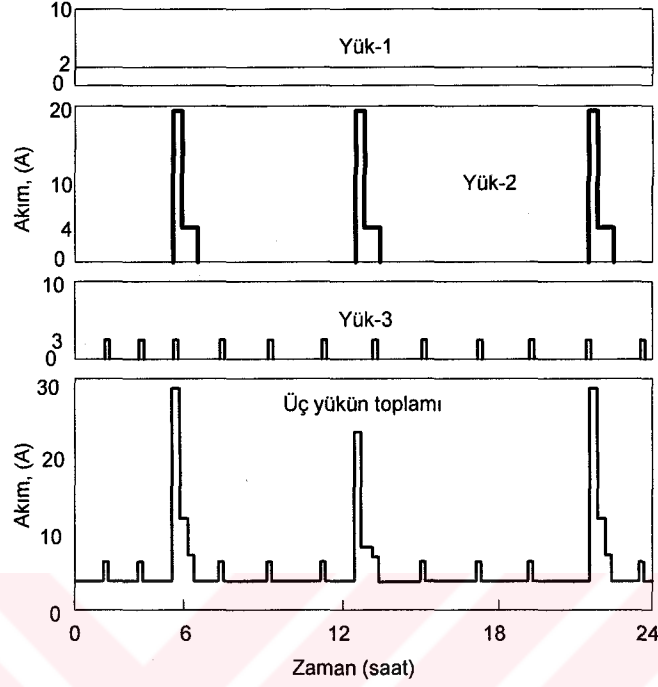
Yük2: Su pompalama için elektrik motoru fakat günde sabah, öğle ve güneş batmadan önce 1 saat çalışıyor ve başlangıçta ilk 5 sn 'de 20 A ve sonra normal çalışmada ise 4 A akım çekiyor,

Yük3: Gece ve gündüz, her iki saatte bir 6 dakika çalışan ve 3 A çeken bir deneysel bir düzenek.

Çözüm:

Yük1 den çekilen akım $50 \text{ W} / 25 \text{ V} = 2 \text{ A}$ 'dir. Bu akımın değişimi, Şekil 5.2 'de 24 saatlik zaman dilimine ait fonksiyonu görülür. Diğer yük akımları da benzer şekilde çizilir.

Toplam çekilen akım miktarı en yüksek (gece) $2+20+3=25$ A olur. Zaman içerisinde 3 tane yük için verilen akım grafikleri toplanınca Şekil 5.2 'de 3 yükün birleştirilmiş yük profili çıkar.



Şekil 5.2 Yükleme profili

Birleştirilmiş yüklerin eğrisi altında kalan (Ah, ampere-hours) alan tarafından tanımlanan ortalama akım aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Yük1: } 2\text{A} \cdot 24\text{h} = 48 \text{ Ah,}$$

$$\text{Yük2: } 3 \cdot 20\text{A} \cdot 5\text{sn} = 300 \text{ Asn,}$$

$$300\text{Asn} / 3600 = 0,08 \text{ Ah}$$

$$3 \cdot 1\text{h} \cdot 4\text{A} = 12 \text{ Ah,}$$

$$\text{Yük3: } 12 \cdot 0,1\text{h} \cdot 3\text{A} = 3,6 \text{ Ah,}$$

Birleştirilmiş yük profili buradan;

$$48 + 0,08 + 12 + 3,6 = 64 \text{ Ah (toplam günlük) olur.}$$

Ortalama birleştirilmiş yük akımı,

$$64 \text{ Ah} / 24\text{h} = 2,7 \text{ A ve buradan güç miktarı}$$

$$2,7\text{A} \cdot 25\text{V} = 67 \text{ W olur.}$$

Burada, yük1 en düşük akım miktarına sahip olmasına rağmen sürekli çalıştığı için en yüksek enerji miktarına (Ah) ihtiyaç duyar. Motorun yüksek başlangıç akımı ihmal edilebilir bir enerji tüketir fakat gerçekte batarya ya da ilgili kablo ve anahtarlama elemanlarının akım oranını belirler.

Panel boyutlandırma işlemleri farklı metotlarla yapılır [30]. Aşağıdaki alt başlıklarda, bunlara ilişkin hesaplamalar verilmektedir.

5.1.1. Alan Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırması

Karadaki ya da uzaydaki panelin güç çıkış kapasitesi, P_a denklemiyle şöyle hesaplanabilir:

$$P_a = S \cdot \cos \Gamma \cdot \eta \cdot F \cdot A \quad (5.1)$$

burada S karadaki ya da uzaydaki güneş yoğunluğudur (w/m^2 olarak), Γ (gamma) güneşin doğrultusu ve panelin normali arasındaki bileşim açısıdır, η güneş pili verimini, F bütün panel tasarımı ve küçültme faktörlerinin toplamını ve A ise panel alanını temsil eder. Yukarıdaki denklem yardımı ile panel alanı,

$$A = P_a / (S \cdot \cos \Gamma \cdot \eta \cdot F) \quad (5.2)$$

olur.

Örnek 5.2

Örnek 5.1 'deki panelin $\eta = 10\%$, $F = 0,5$ ve batarya şarj verimi 60% olan kurulum için gerekli panelin ve batarya boyutunun hesaplamasını yapınız. Sistem, yük için bulutlu günler (güneş ışığı olmadan) boyunca 7 gün desteklemeli ve 3 günde bir tekrar şarj edilmelidir.

Çözüm:

Gereken panel çıkışı, yük ve batarya şarj akımından hesaplanabilir. Örnekten ortalama yük 24 saat için 67 W ve 7 günden hesaplanırsa,

$$67 \cdot 24 \cdot 7 = 11,3 \text{ kwh}$$

enerjiye ihtiyaç vardır. Burada batarya şarj veriminden bu enerji miktarı,

$$11,3 / 0,6 = 18,8 \text{ kwh}$$

bulunur. 3 günde şarj etmek için, kış aylarında her gün 9,7 saat güneş ışığına ihtiyaç vardır,

$$18,8 / (9,7 \cdot 3) = 0,65 \text{ kw güç bataryanın yeniden şarjı için gereklidir. 9,7 saat için yük ortalama 67 W için, } (67 \cdot (24 - 9,7)) / (9,7 \cdot 0,6) \cong 165 \text{ W gece boyunca günlük bu kadar yük çekilecektir.}$$

Buradan panel çıkış kapasitesi,

$$P_a = 650 + 67 + 165 = 882 \text{ W} = 0,882 \text{ kw}$$

olur. Tablodan eğimli panel üzerindeki en düşük aylık güneşlenme miktarı 181 kwh/m^2 ya da günlük buradan ortalama olarak,

$$181 / (9,7.30) = 0,62 \text{ kw/m}^2$$

olur. Bu miktar, P_a ve A formülündeki $(S.\cos\Gamma)$ ile yer değiştirilir. Buradan ihtiyaç duyulan panel alanı,

$$A = 0,882 / (0,6.0,10.0,5) = 28,5 \text{ m}^2 \text{ bulunur.}$$

5.1.2. Pil Verimi Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırması

N_t , panel içindeki güneş pillerinin toplam sayısı olmak üzere, A pil alanı olmak üzere,

$$P_a = S.\cos\Gamma.\eta.F.N_t.A \quad (5.3)$$

$$N_t = P_a / (S.\cos\Gamma.\eta.F.A) \text{ olur.}$$

Örnek 5.3.

Örnek 5.2 'deki panel için güneş pili sayısını bulunuz. Her bir pilin çapını 2,25 inch kabul ediniz (1inch=2,54cm).

Çözüm:

$$\text{Pil alanı, } A = (d^2.\Pi) / 4 = ((2,25.2,54)^2 \Pi) / 4 = 25,6 \text{ cm}^2 = 25,6.10^{-4} \text{ m}^2$$

Buradan gerekli olan pil sayısı;

$$N_t = 0,882 / (0,62.0,1.0,5.25,6.10^{-4}) \cong 11113.$$

5.1.3. Pil Gücü Metodu ile Başlangıç Panel Boyutlandırması

Güneş pili güç çıkışı terimi P_c , panel gücü P_a ve S_o ise P_c pil güç çıkışı ile belirlenen referans yoğunluk olmak üzere,

$$P_a = (S.\cos\Gamma.F.N_t.P_c) / S_o \quad (5.4)$$

buradan gerekli olan pil sayısı,

$$N_t = P_a.S_o / (S.\cos\Gamma.F.P_c) \text{ olur.}$$

Örnek 5.4

Örnek 5.2 için gerekli olan pil sayısını bu metoda göre çözüntüz. Her bir pilin alanı $25,6 \text{ cm}^2$ ve bir güneş sabiti yoğunluğundaki ($1,0 \text{ kw/m}^2$) pilin güç çıkış yoğunluğu 10 mw/cm^2 'dir. Gereken güneş pili sayısını bulunuz.

Çözüm:

Pil çıkış gücü,

$$P_c = 10.25,6 = 256 \text{ mw} = 0,256.10^{-3} \text{ kw}$$

Gerekli olan pil sayısı ise,

$$N_t = 0,882 / (0,62.0,5.0,256.10^{-6}) \cong 11113 \text{ olur.}$$

5.2. Farklı Bir Tasarım Modeli

Burada güneş pili sisteminin tasarımı adımlar halinde yapılmaktadır. Bu adımlarda sistemin deney yapılacağı yerdeki güneşlenme verileri hesaplanır. Sistemin şebekeden bağımsız ya da şebeke bağlantılı olup olmadığına karar verilir. Ayrıca sistem içerisinde hibrid bir sistemin gerekip gerektirmediği de değerlendirilir. Sistem elemanlarının boyutlandırma hesapları da işleme katılmalıdır.

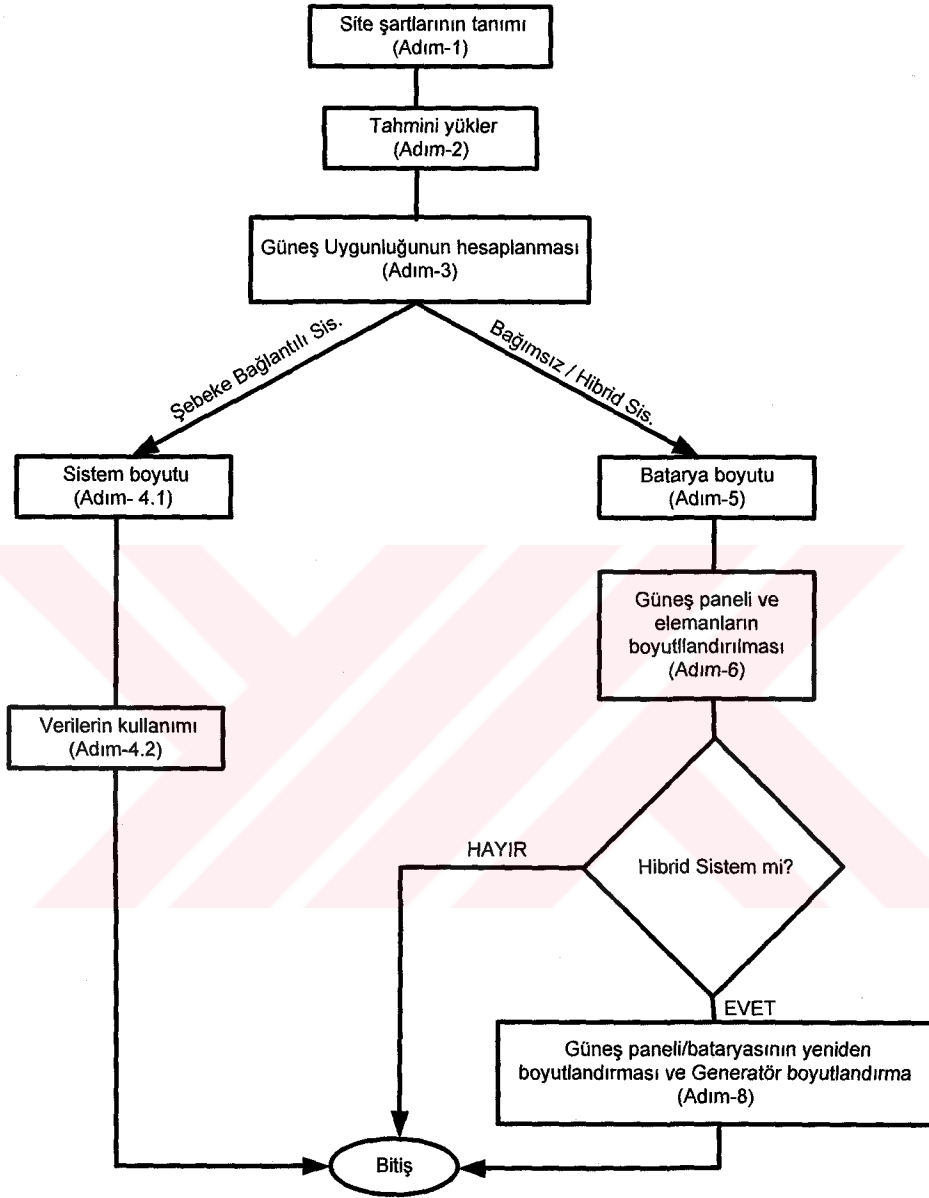
5.2.1. Sistem Boyutlandırma

Sistemin sonuç elemanlarını seçmeden önce yaklaşık eleman boyutlarına müsaade edecek olan sistemin tahmini tasarımı yapılır. Sonra elemanlar detaylı bir şekilde elektriksel ve mekaniksel bir tasarım tarafından tekrar boyutlandırılır.

Genelde binalardaki güneş pili sistemleri bina yüklerini ya tamamen ya da kısmen karşılayacak şekilde boyutlandırılır. Bağımsız ve hibrid sistemler içerisinde, bataryalar ve/veya yedek sistem (örneğin bir dizel generatör) bulutlu olan uzun günler boyunca elektriği sağlar.

Sistem boyutlandırmasını etkileyen ana faktörler, yük miktarı, çalışma zamanı (yılın herhangi bir dilimi veya tamamı) ve mümkün olan boyutlandırma güvenlik sınırıdır. Bunlardan başka, uygun çatı ya da binanın dış cephesi de güneş panel boyutunu sınırlandırabilir. Sonuçta, güneş pili sistem boyutlandırması için en önemli sınırlama uygun bütçedir. Çatı / bina cephe alanı, şebeke bağlantılı güneş pili sistemli bir evin tasarımı için tipik anahtar sınırlamalarıdır. Güneş pili bina sistemlerinin farklı tipleri için kabaca boyutlandırma sırasındaki adımları Şekil 5.3 'de sunulmuştur [25]. Yaklaşımda amaç, aylık ortalama data değerlerini kullanarak ve bütün

anahtar elemanların verimleri hakkındaki varsayımları yaparak gerekli olan eleman boyutunu tahmin etmektir. Prosedürü daha kolay yapmak için çalışma işlemleri adım adım (1 'den 7 'ye kadar) tamamlanmalıdır.



Şekil 5.3 Tahmini boyutlandırma sisteminin adımları

a) Site (yerleşim yerinin) Şartlarının Teknik Özelliği (Adım-1)

Minimum ve maksimum aylık ortalama çevre sıcaklıklarının yıllık ortalama değerleri, yatay yüzey üzerindeki (kwh/m^2) toplam ışımanın aylık ortalama değerleri, yerleşim yeriyle meteoroloji istasyonunun verilerinin (enlem, boylamı) tanımlanması gerekmektedir. Seçilen meteoroloji istasyonunun iklim şartları ile yerleşim yerinin iklim şartlarının mümkün olduğunca

yakın olduğu yerler seçilmesi tavsiye edilir. Bu, özellikle güneş pili sisteminin bulunduğu yer yüksek bir dağa veya yokuşa yakınsa çok önemlidir.

b) Güneş Işımasının Tahmini (Adım-1)

Güneş ışımasını etkileyen ana faktörler yönelme (eğim ve azimut açıları) ve çevrenin sebep olduğu gölgelemedir. Yatay güneşlenme değerleri aylık eğim ve azimut açısı faktörleriyle çarpılarak, modül yüzeyi üzerindeki aylık ışıma değerleri tahmin edilebilir. Zeminin yansıması, komşu binaların ve güneş paneli binalarının oluşturduğu gölgeler güneş yoğunluğunu etkileyebilir. Bununla birlikte, bu etkiler bu kaba boyutlandırma prosedürü düşünüldüğünde çok karmaşıktır. Sistemin çalışma zamanı boyunca uygun en yüksek ışıma (kwh/m^2) değerine sahip olan yüzey seçilir. Eğer o yüzey, yeteri kadar büyük değilse diğer yüzeyler düşünülebilir. Eğim ve yönelme açılarındaki uygun güneş ışıması güneş pili üretimini maksimum edecek şekilde seçilmelidir. Yıllık güneş pili çıkışı, azimut açısının yönelmesi (kuzey yarımkürede) güneyden $\pm 45^\circ$ ve eğim açısı da enlem açısı değerinden $\pm 15^\circ$ olduğu zaman maksimum olur. Daha büyük yönelmeler tavsiye edilmez. Pratikte, mimari ve teknik sebepler genellikle mümkün olan yönelmeyi sınırlar.

c) Elektrik Talebinin Tahmini (Adım-2)

Bulunan binalar için, eski elektrik faturaları bu işlemi tamamlamada yardımcı olabilir. Yeni yapılan bir bina için yük profilinin çıkarılması gerekmektedir.

5.2.2. Şebeke Bağlantılı Sistemin Boyutlandırılması (Adım-3)

Şebeke bağlantılı sistemin optimum boyutu aynı zamanda çok sayıda dış faktörlere de bağlıdır, örneğin sistemin yatırım fiyatı, uygun bütçe, hükümetin yatırımı, binalarda kullanılan güneş pili enerji miktarı gibi. Geri dönüşüm oranı güneş pili sistemin boyutlandırma işlemini etkileyen önemli bir faydalanma faktörüdür. Bu, şebekeden satın alınan elektriğin fiyatı ve güneş pili elektriği için ödenen fiyat arasındaki orandır. Tipik olarak bu oran, bina sahiplerinin şebekeye ödenen elektrik fiyatından daha ucuz güneş pili elektriğine ödenen fiyat olarak ifade edilen 1 'den daha az (0,5-1,0) olan bir değerdir. Bu nedenle, güneş pili sistemiyle üretilen elektriğin çoğunluğu doğrudan binalarda kullanılır. Bu kullanım, evin yük profili ile güneş pili üretiminin uyumuna bağlıdır.

Tek bir ev için şebeke bağlantılı sistemin tipik büyüklüğü 2-5 kw (yıllık elektrik tüketimi 4-5 Mwh) arasında değişir. Bu değer, optimum yönelme ve tasarım kabul edilerek yıllık olarak Kuzey Avrupa 'da 1,5-3,8 Mwh, Avrupa'nın merkezinde 1,6-4,0 Mwh ve Japonya 'da ise 2-5 Mwh tüketime karşılık gelir. Pratikte, güneş panelinin nominal boyutlandırması yük

boyutu ve bütçe temeli üzerine seçilmelidir. Gerekli olan güneş modül alanı A (m^2) aşağıdaki formül kullanılarak seçilen nominal güneş pili gücünden hesaplanabilir.

$$A = P/\eta$$

Burada, P (kw) STC altındaki güneş panelinin nominal gücü ve η STC 'de modülün verimidir. Sistemin yıllık enerji üretimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$E = \eta_{BOS} \cdot K \cdot P \cdot S \quad (5.5)$$

burada, S (kwh/m^2) güneş panelindeki yıllık güneş ışımasıdır, K ise modül sıcaklığı, toz, devre kayıpları gibi olayla hesaba katılan azaltma faktörü ($\approx 0,9$) ve η_{BOS} ise güneş pili modülünün verimine bakmaksızın sistem veriminin dengesidir. Şebeke bağlantılı sistemlerde, bu verim inverter ve kablo kayıplarına bağlıdır. Tipik olarak kablo kayıpları %10 ve inverter kayıpları %15 'dir. Böylece, η_{BOS} yaklaşık olarak %75 'dir. Yıllık ışıma değeri S , Adım-1 'den hesaplanır. Toplam güneş pili enerji üretimi, E belirlendiği zaman, E ve yük enerjisine oranı hesaplanabilir. İnverterin nominal gücü güneş pili nominal gücünden daha küçük olması gerekir. Optimum oran, iklime, inverter verimine ve inverter/güneş pili fiyatı oranına bağlıdır.

5.2.3. Bağımsız Güneş Pili-Batarya Sisteminin Boyutlandırılması (Adım-4-5-6)

Bağımsız güneş pili batarya sistemleri için boyutlandırma, şebeke bağlantılı sistemden daha doğru yapılmalıdır. Umulmadık uzun bulutlu günlerde batarya boyutunu karşılamak için güneş panelinin boyutlandırmasının iyi olması gerekir. Bu büyük boyutlandırma aynı zamanda ortalama batarya deşarj derinliğini (Depth of Discharge, DOD) azaltır ve böylece batarya ömrü uzar.

Adım-2 yardımıyla yük tahmini biçimlendirildikten sonra, gerekli olan bağımsız zaman dilimi belirlenir. Bağımsız zaman dilimi durumdan duruma değişir. Enlem, çalışma sezonu ve ihtiyaç duyulan güvenlik yüzdesine bağlıdır. Batarya kapasitesi aynı zamanda deşarj akımı ve sıcaklığa da bağlıdır. Adım-4 'deki bu faktör, akünün ihtiyaç duyulduğu aydaki ortalama akü sıcaklığı ve deşarj oranının bir fonksiyonu olarak verilebilir. Maksimum izin verilen DOD, batarya çeşidine ve yük profiline bağlıdır. Tipik kurşun-asitli bataryalar için bu katsayı 0,5-0,8 arasındadır.

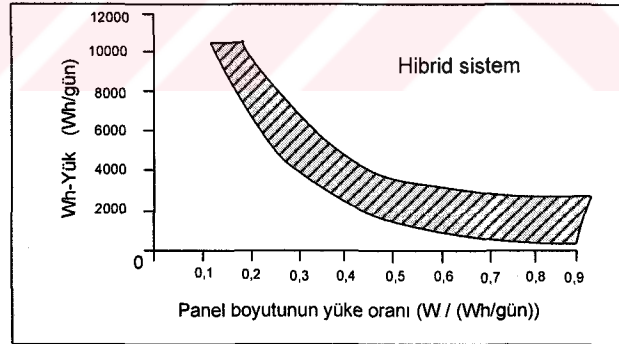
Bir sonraki adım, güneş paneli ve diğer sistem elemanlarını boyutlandırmaktır. Adım-5 yardımıyla yapılır. Güneş paneli boyutlandırmak için, panel üzerinde en düşük güneşlenme miktarının olduğu ay, tasarım ayı olarak kabul edilir (Adım-1 'den).

Tasarım ayının ortalama günlük yükü, ortalama güneşlenme miktarı ve sistem eleman verimleriyle bölünerek, gerekli olan güneş paneli boyutu (kw) belirlenir. Hesaba katılan

verimleri için kablo verimleri (% 90), şarj regülatör verimi (% 85) ve batarya verimidir (% 90). Tasarım panel akımı ve güç çalışma şartlarının boyutu o zaman tahmin edilir. Hesaplanan panel gücüne karşılık gelen güneş paneli alanı, şebeke bağlantılı durumdaki gibi tahmin edilir. Modül verimi modül çeşidine bağlıdır. Bu durumda sistem, güneş pili batarya sisteminin yükü karşılayıp karşılamayacağına ve yedek jeneratörün gerekip gerekmediğine karar vermelidir. Bu, panel/yük oranının hesaplandığı Adım-6 ile yapılır.

5.2.4. Bağımsız Bir Güneş Pili-Hibrid Sisteminin Boyutlandırılması (Adım-7)

Bir güneş pili-hibrid sistem için, güneş pili boyutlandırma prosedürü, güneş pili-batarya sisteminde kullanılan benzerdir fakat batarya-generatör çifti en düşük güneşlenmenin olduğu zaman boyunca ihtiyacı karşılayacak şekilde boyutlandırılması gerekir. Tasarımcı bir yedek jeneratörün gerekip gerekmediğine karar vermelidir. Genellikle, eğer uygun güneş ışıması içinde büyük sezonsal değişimler varsa ya da zaman dilimi içerisinde yük için bir kaynak ihtiyacı varsa yedek jeneratör sistemi gerekecektir. Şekil 5.4, bu amaçla ihtiyaç duyulan basit bir sistemin bir bölümünü gösterir. Şekle göre, yük büyük olduğu zaman bir hibrid sistem tercih edilir. Bu düşünce, fiyat açısından temeldir. Aynı zamanda, eğer bağımsız sistem için elde edilen güneş paneli boyutlandırması yükü karşılaştırıldığında büyükse, hibrid sistem çok daha ekonomik ve pratik olmaktadır.



Şekil 5.4 Bir hibrid sistem kullanıldığında panelin yük oranı ve yük boyutuna olan ilişkisi

5.2.5. Tasarım ve Benzetim Programları

Adım işlemlerinden başka, güneş pili sistemlerinin benzetimini yapmak ve tasarlamak için birkaç bilgisayar programı geliştirilmektedir. Bilgisayar tasarım yazılımı bir sistemin ve yükün kurulduğu bir yerde, sistemin optimum eleman boyutlanmasını belirlemek için çevresel şartlar hakkındaki verileri ve çalışma sayfalarındaki bilgileri kullanılır. Bu kullanılan bilgiler

genellikle aylık zaman dilimi üzerinden hesaplanır. Program sistemi ve onun elemanlarının boyutunu belirlemek özel bir sistem konfigürasyonu ve sabit kontrol algoritması kullanır. Çoğu tasarım yazılımı sistemin fiyatlarını da hesaplamaktadır.

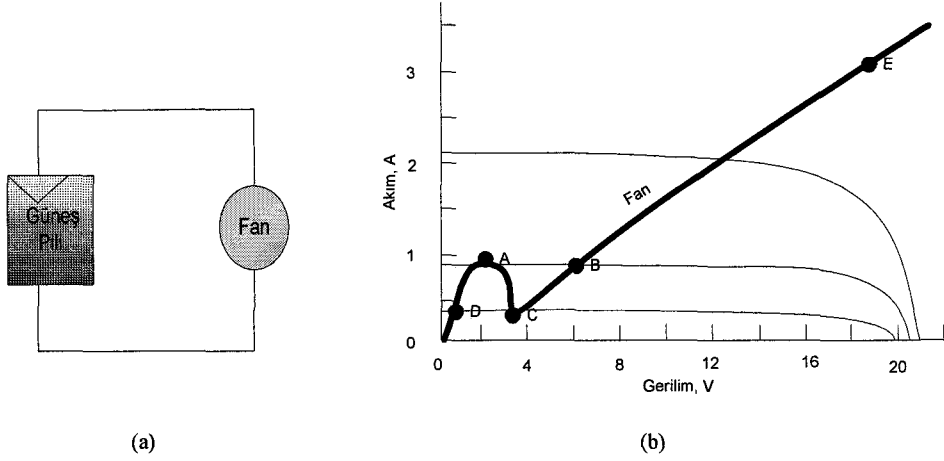
Bir bilgisayar benzetim programı, değişken çalışma şartları altındaki verilen bir sistemin performansını hesaplamak için kullanır. Bu çalışma şartları genellikle kısa devre çalışma zamanı adımları (genellikle saatler ya da günler) içerisinde verilir. Program, sabit bir zaman dilimi için sistemin gerçek çalışmasını simüle etmek için farklı sistem elemanlarının deneysel matematiksel modellerini kullanır. Giriş dataları ve kontrol algoritması değişince sistemin performansı iyileştirilebilir. Benzetim çalışma şartları altında en iyi performansı başarmak için herhangi bir elemanın boyutu ve özelliği değiştirilebilir. Benzetim programları farklı kontrol stratejilerinde çalıştırmak ve duyarlı analiz yapmak için araştırma amaçları için uygun olurken, tasarım sistemlerinde kullanılmaları zordur. Çünkü onlar, tasarımcının kolayca hazır bulamayacağı değişkenlere ihtiyaç duyarlar. Aynı zamanda, deneyimli bir tasarımcı ve program kullanıcıları sonuçları doğru bir şekilde yorumlama ihtiyacı duyarlar.

5.3. Örnek Tasarımlar

5.3.1. Güneş Enerjisi ile Çalışan Fan

Şekil 5.5, bir güneş pili modülüne bağlı olan bir fan motorunun çalışmasını anlatır. Şekil aynı zamanda fan ve modülün (I-V) performans karakteristiğini beraber gösterir [1-3]. Çalışması şöyledir; güneş ışığı miktarı arttığı zaman, fan da o kadar hızlı çalışır. Eğer tasarımcı değişen hava miktarıyla ilgilenmezse tasarım hemen hemen önemsiz olur. Sistemin çalışma noktası performans karakteristiklerinin kesişmesiyle belirlenir. Güneş ışığı arttığı zaman, güneş pili modülünün akım ve gerilimi artar ve fan daha fazla güç tüketir. Fanın daha fazla güç harcaması değişen hava miktarının artması anlamına gelir.

Şekil 5.5 'deki performans karakteristiğiyle ilgili olan ikinci gözlemlene şudur; modül düşük ışık seviyesinde maksimum güce yakın herhangi bir yerde çalışmayacaktır. Eğer daha yüksek kısa devre akımına sahip olan bir modül kullanılırsa, fan ışık seviyesinin daha geniş bir kademesi üzerinde hemen hemen sabit bir hızda kalacaktır. Fakat yüksek ışık seviyelerinde maksimum güç yeteneğine yakın çalışacaktır. Burada, tasarımcı değişik ışık seviyelerinde ne kadar hava hareketinin olacağına karar vermeli ve uygun olan modülü seçmelidir.



Şekil 5.5 Fan ve güneş modülü için bağlantı ve performans karakteristikleri
(a) Fan ve güneş pili bağlantısı, (b) Fan ve güneş pilinin çalışma karakteristikleri

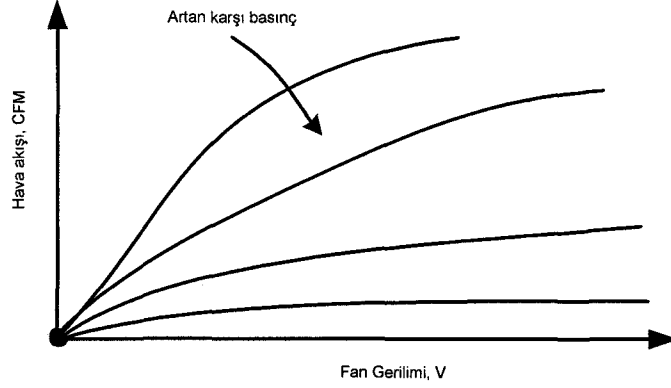
Şekil 5.5 (b), aynı zamanda fan başlangıç çalışmasındaki karşılaşılabilecek histerizis etkisini göstermektedir. Motorun çalışmadığı şartlar altında, fan motoru zıt emk üretmez ve böylece fan, gereken endüvi akımı başlangıç momentini sağlayana kadar akım çekmeyecektir. Eğri üstündeki A noktasındaki ışıma seviyesi bu akımı sağlamak için yeterlidir ve çalışma noktası daha sonra B noktasına geçer. Işıma seviyesi artmaya devam ettiği zaman, çalışma noktası E noktasına doğru hareket eder. Işıma seviyesi azaldığı zaman fan durduktan sonra, fan karakteristiği C noktasına düşer ve çalışma noktası D 'ye atlar ve karanlık olduğu zaman orijine doğru yaklaşır.

Tasarımcıya sorulacak diğer bir soru tasarım ihtiyaçlarını karşılamak için farklı fanın kullanılmasının daha iyi olup olmayacağıdır. Fan ya da modülün seçimine bakılmaksızın, ışıma seviyesinin üzerinde yeterli bir güç uyumsuzluğunun olduğu açıktır. Neyi seçerse seçsin, maksimum gücün fana aktarılmadığı, fan ya da güneş pili karakteristiğinin bazı kısımları olacaktır. Tüm ışıma seviyeleri için fan gücü optimize edilmek istenirse, tasarım içerisinde bir maksimum güç izleyicisine de ihtiyaç olacaktır.

MPT, özellikle Şekil 5.5 (b) 'nin başlangıç ve bitiş ışıma seviyeleri arasındaki ışımalarda faydalı olacaktır. Bu noktalar arasındaki ışıma seviyelerinde daha büyük hava akışı olacak ve daha düşük ışıma seviyelerinde fanın çalışmasını ya da durmasını sağlayacaktır. Diğer önemli bir sorun fanın düşük ışıma seviyelerinde çalışmaya başlayıp başlamamasıdır. Eğer fan motor akımı çekerse, fakat çalışmazsa motorun tasarımına bağlı olarak bu rotor durma şartlarında aşırı ısınmaya sebep olabilir.

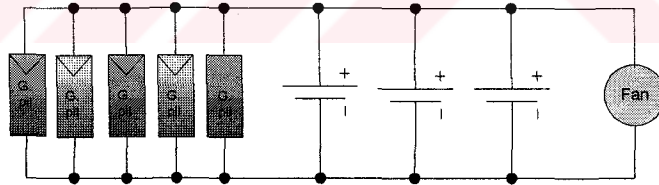
Fan ile değiştirilen hava miktarını belirlemek için, Şekil 5.6 'da görüldüğü gibi hava hacmiyle fan gerilim eğrisinin karşılıklı değişimini içeren performans karakteristiğinin bilinmesi gereklidir [3]. Bu şekil, fanın maruz kaldığı hava akışındaki dirence bağımlı olan eğri ailelerini göstermektedir. Fan içindeki enerji azalmaya ya da tükenmeye sahipse, hava akışı daha yüksek

bir dirence sahip olacak ve fan ile değişen havanın gerçek hacmi azalacaktır. Gerçekte, fan değişimi sırasında akış kaybın olduğu basınçta üretilmelidir. Birçok sistem içerisinde güç tüketimi, basınç değişkeniyle akış değişkeni çarpılarak elde edilir. Eğer akış miktarı istenilen çıkışta ise, o zaman basınç, akışı maksimum etmek için karşılık olarak azaltılmalıdır.



Şekil 5.6 Bir parametre olarak basınç-hava akışı ve fan motor geriliminin değişimi

Güneşin olmadığı zamanlarda fanın kullanılması istenen durumlar vardır. Bu yüzden daha sonra kullanılmak üzere enerjiyi depolamak gerekebilir. Şekil 5.7, sistem içerisinde aküleri içeren bir güneş pilli fan sistemini göstermektedir. Bu sistemde, bataryalarla modüllerin mümkün olduğunca fan ile uyum içerisinde olması gerekir. Bu işlem, fan tarafından kullanılacak enerji ile fanın çalışma saatleri belirlenerek yapılır. Seçim kademesi sınırsız olabilir.



Şekil 5.7 Bataryalı güneş pili ile çalışan fan

Fanın çalışmasının sürekli olduğu kabul edilirse, fan bataryadan çalışacağından fan geriliminin sabit kalacağı bir batarya gerilimi gereklidir. Bu durumda, sabit fan gerilimi sabit fan gücü tüketeceğinden, fanın günlük enerji tüketimini hesaplamak kolay olur. Örneğin; 12V 'luk nominal gerilimde 24 watt 'lık bir fan motorunun çalıştığını kabul edelim. Bu fan, gün içerisinde (24 saat.24 w) 576 wh elektrik enerjisi tüketecektir.

Bununla birlikte, batarya kapasitesi Ah (amper-saat) olarak ölçülecektir. Fan için Ah olarak bağlanacak yükü belirlemek için, enerji miktarı gerilim değerine bölünür. Bu durumda sonuç, 576 wh / 12 V= 48 Ah olur. Bu sonuç aynı zamanda, çalışma zamanı ile yük akımı

değeri çarpılarak da hesaplanır ya da yük akımı miktarı sabit değilse o zaman yük akımının çalışma zamanı üzerinden integrali alınması gerekir.

Batarya şarjı vedeşarjı ile kablolar %100 verimli olmadığı için gerekli olan Ah 'i buna göre düşünmek gerekir. Düzeltilmiş yük miktarı için gerekli Ah, bağlı olan yükün Ah miktarının batarya ve kablo verimine bölünmesiyle elde edilir. Şarj enerjisinin (batarya) verimi % 90 ve kablo kayıpları %2 yani verimi % 98 'dir. Böylece düzeltilmiş yük değeri sonuçta $(48 \text{ Ah}/0,9)/0,98 = 54,4 \text{ Ah}$ olur.

Daha sonra, fanın çalışma zamanı içerisindeki nasıl çalışacağını kritik olup olmayacağını belirlenmesi gerekir. Eğer fan çalışması kritikse, o zaman yeterli olan akü, karanlık ya da bulutlu günlerin periyotları boyunca fana yeterli gücü sağlaması gereklidir. Bu zaman dilimleri fanın kullanımının sezonsal olup olmadığına ve fanın bulunduğu yerin coğrafik konumuna da bağlıdır. Eğer akünün 3 gün çalışması yeterli olacaksa, o zaman toplam $3 \cdot 54,4 \text{ Ah} = 163 \text{ Ah}$ akü kapasitesi gerekecektir.

Bu noktada, kullanılan bataryanın çeşidi de önemlidir. Kurşun–antimuanlı akü sistemi seçilsin. Bu akü sistemi derindeşarja müsaade edeceği için, batarya(ya da bataryaların) tam şarjın %20 'nedeşarj için müsaade sağlar. Bu bataryanın kullanım için %80 'nin uygun olduğunu gösterir. Bu tasarım için gerekli olan kapasite $163/0,8 = 204 \text{ Ah}$ olur. Bu kapasite bir tane 204 Ah 'lik batarya ile elde edilebilir fakat genellikle bataryanın ağırlığı ve boyutunun büyümesinden dolayı değeri 12 V olan iki ya da üç tane daha küçük bataryaların paralel bağlantısından elde edilir. İki ya da üç tane daha küçük birimler genellikle daha pratik bir seçimdir.

Daha sonra ihtiyaç duyulan güneş pili gücünün belirlenmesi gereklidir. Bu, fanın çalışacağı aylar boyunca güneş ışığının en az miktarının uygun olduğundaki zamanlar belirlenerek yapılır. 4 saatlik tam güneş ışığının en kötü duruma uygun olduğunu kabul edelim. Bu, 4 saat için güneş ışığının maksimum yoğunlukta parladığını ifade etmez fakat günün saatleri içinde ortalama yoğunluğun 4 saatlik tepe yoğunluğuyla denk olduğu anlamındadır. Yani bu bazı günlerde 4 saatten daha fazlasının ve bazen de daha azının da uygun olacağı anlamındadır. Bu 4 saatlik periyot boyunca, güneş paneli bir günde fanın çalışması için gerekli olan tüm elektriği üretecektir. Eğer bir güneş paneli 12 V nominal çıkış gerilimiyle kullanılırsa o zaman bataryanın ihtiyacı olan Ah 'i üretmelidir. Bununla birlikte güneş pili modülü daima tam verimde çalışmaz. Örneğin, eğer panelde tozlanma ya da kirlenme durumunda batarya şarj vedeşarjı %100 verimle olmayacaktır. Bu yüzden, tasarlanan güneş pili sistem günde düzeltilmiş yük değeri için $54,4 \text{ Ah}$ üretmek yerine, $54,4 \text{ Ah}/0,9 = 60,4 \text{ Ah}$ üretecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu miktar güneş pili modül çıkışının % 90 'a müsaade eder.

Uygun olan güneşlenme miktarı 4 saat olduğu için güneş pili modül çıkışı $(60,4\text{Ah}/4\text{h})=15,1\text{A}$ olur. Sonuçta bu akımı sağlamak için 12 V 'da 3,02 A değerine sahip olan 5 tane modülün paralel bağlanması gerekir. Sistemin tasarımı küçük bazı şeylerin haricinde tamamlanmış sayılır. Birinci olarak, güneş 3 günden daha fazla süre için görünmeyebilir, bataryalar %20 seviyenin aşağısına deşarj olabilir. İkinci olarak, 4 saatlik güneşlenme miktarı yılın aylarına göre daha fazla olabilir ve bataryalar aşırı şarj olabilir. Batarya geriliminin daha yüksek olduğu zaman fan motoru daha hızlı döner ve daha fazla enerji tüketir. Tersine motor yavaş dönerse batarya gerilimi daha az olduğu zaman daha az enerji tüketir. Bu durumların her ikisi de bataryaların ömrünün kısalmasına sebep olur. Bunun için uygulamalara bağımlı olarak şarj kontrolörü gerekmektedir.

5.3.2. Güneş Enerjisi ile Bir Evin Beslenmesi

Güneş pilinin yaygın olan diğer uygulamalarından birisi de şebekeden uzakta bir yerleşim yerinde bulunan binaların elektrik enerji ihtiyacının sağlanmasıdır. Bu uygulamalar birkaç küçük elektriksel yükler içerir. Burada ev içerisinde; birkaç aydınlatma lambası, bir buzdolabı, bir tv, bir fan ve küçük bazı elektronik cihazlar olduğu düşünülür.

Tasarım adımlarını göstermek üzere, aşağıdaki bölümlerde yazlık bir evin elektrik enerjisi ihtiyacı dikkate alınmış ve kullanılacak güneş pili sistemi için gerekli hesaplamalar sırayla yapılmıştır [31].

a) Günlük Enerji İhtiyacı (E_T)

Küçük güneş pili sistemleri için elektrik tüketimi yaklaşık olarak wh civarındadır. Günlük tüketilen wh miktarını belirlemek için her bir yükün gücü ve gün içindeki kullanım süresi bilinmelidir. Evlerde kullanılan bazı cihazlara ilişkin güçler ve ortalama çalışma saatleri Tablo 5.1 'de gösterilmiştir [32]. Sonra gerekli olan enerji aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_T(\text{wh}) = \text{Güç (w)} \times \text{Zaman (gün içindeki kullanım süresi- saat-h)} \quad (5.6)$$

Tablo 5.1 'e göre, günlük ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarı 1500 wh 'tir. Yaklaşık saatlik tüketilen güç:

$$1500 \text{ wh}/24 \text{ h} = 62,5 \text{ w} \text{ olarak hesaplanır.}$$

b) Bir Modülün Günlük Enerji Üretim Miktarı (E_m)

Dünyadaki yerleşim yerlerine göre güneş ışığının geliş açısı değiştiğinden panellerden elde edilen güç miktarları da buna bağlı olarak değişir. Çünkü panel üzerine düşen ışık miktarıyla doğru orantılı olarak değişir. Gün içindeki güneşlenme süreleri de mevsime göre

farklıdır. Çoğu modüllerde standart test şartlarındaki çekeceği akım miktarı üzerinden hesaplama yapılmaktadır. 12 V 'luk bir pilin günlük wh olarak üreteceği elektrik miktarı şöyle hesaplanır:

$$E_m(\text{wh}) = \text{Modül Akımı (A)} \times \text{Güneşlenme Süresi (saat-h)} \times 12 \text{ (V)} \quad (5.7)$$

Tablo 5.1 Evlerde günlük kullanılan cihazlara ait güçler

Uygulama	Gücü (W)	Gün içindeki kullanım süresi (saat - h)	Gereken günlük güç miktarı (Wh / gün)
4 adet 20 W flouresan lamba	80	4	320
2 adet 15 W gece lambası	30	6	180
Soğutucu Fan	40	4	160
TV	80	4	320
Buzdolabı	100	5	500
Küçük elektronik cihaz	10	2	20
Toplam	-	-	1500

Örneğin bir modülün gerilimi 12 V, STC akımı 3,2 A olsun. Elazığ için Mayıs-Eylül (2005) aylarının güneşlenme süresinin ortalama değeri, meteorolojik verilere göre, 11,48 saat [32] olduğundan, bu modül tarafından bir günde üretililecek enerji miktarı şöyle bulunur:

$$E_m = 3,2\text{A} \cdot 11,48\text{h} \cdot 12\text{V} = 440,83 \text{ wh}$$

c) Sistem İçin Gerekli Olan Modül Sayısının (n_m) ve Akü Bataryasının Hesabı

Güneş pili sistemlerinin çoğunda gündüz depolanan enerji genellikle geceleri kullanılır. Tabi bu işlem sırasında bataryanın şarj/deşarj olayı devam etmektedir. Bataryanın şarj vedeşarj işlemleri sırasında üzerinde bazı kayıplar oluşmaktadır. Kullanılan bataryaya göre şarj verim oranı değişebilir. Verim, kurşun-asitli bataryalar için yaklaşık %80 ve nikel-kadmiyum bataryalar için %70 civarındadır. Sistemde kullanılması gereken modül sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$n_m = \text{Günlük Toplam Enerji (wh)} / \text{Batarya verimi (\%)} / \text{Bir modülün enerjisi (wh)} \quad (5.8)$$

Örneğin Tablo 5.1 'de değerleri verilen yük ve aynı modül için kurşun-asitli batarya kullanılırsa (şarj verimi %80) günlük toplam enerji (E_T) miktarı bataryanın şarj veriminden dolayı,

$$E_T = 1500 / 0,8 = 1875 \text{ wh}$$

Gerekli olan modül sayısı,

$$n_m = 1875 / 440,83 = 4,25$$

Bu sonuca göre gerekli olan minimum modül sayısı 5 olur. Yani, yüklerin beslenmesi için 5 tane 12 V ve 3,2 A 'lık modül paralel bağlanmalıdır. Gerekli olan batarya kapasitesi ise;

$$\text{Topl. kullanılabilir kapasite (E}_{\text{akü}}) = \text{Günlük topl. enerji (wh).Akü ihtiyacı olan süre(gün)} / 12\text{V} \quad (5.9)$$

Bu işlemlere, bataryanın deşarj derinliği oranı ile 12 V 'da ki Ah değeri de katılarak gerekli olan akü sayısı bulunur:

$$n_{\text{akü}} = \text{Toplam kullanılabilir kapasite} / \text{Maksimum Deşarj derinliği (\%)} / \text{Batarya Ah değeri(12V)} \quad (5.10)$$

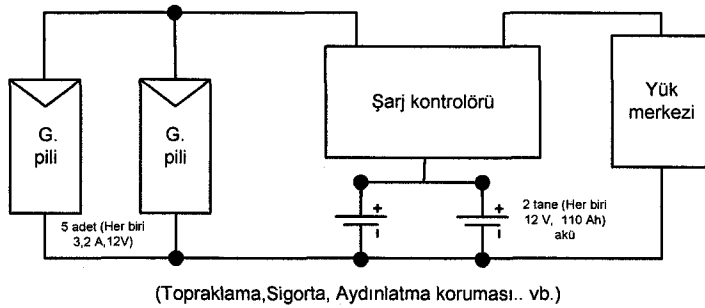
Günlük toplam 1500 wh enerji ihtiyacını karşılamak üzere; her biri 12 V, 110 Ah değerlerine sahip batarya için deşarj derinliği %60 'dır. Buna göre gereken minimum akü sayısı:

$$E_{\text{akü}} = 1500 \text{ (wh)} / 12 \text{ (V)} = 125 \text{ Ah}$$

$$n_{\text{akü}} = (125 / 0,6) / 110 = 1,89$$

buradan gerekli olan minimum akü sayısı 2 olur. Yani, 2 tane 12 V, 110 Ah 'lık aküden oluşan bir batarya gerekmektedir.

Bu hesaplamalar bir günlük enerji ihtiyacını karşılamak üzere yapılmıştır. Daha uygun tasarım için, hesaplamalarda aylık ortalama güneşlenme değerlerinin dikkate alınması gerekir. Panel güvenli olarak monte edilmeli, kablolar uygun seçilmeli, yeterli ayırıcı, sigortalar, anahtarlama, batarya koruması, aydınlatma koruması ve dağıtım sağlanmalıdır. Kablo boyutu yük akımlarına ve yüklerin kaynaktan olan mesafelerine bağlı olacaktır. Şekil 5.8, güneş pili sistemiyle beslenen evin blok diyagramını göstermektedir [3].



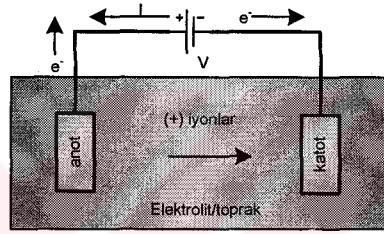
Şekil 5.8 Güneş paneli ile beslenen ev

5.3.3. Güneş Enerjisi İle Katodik Koruma

İki malzeme, uygun bir elektroliz içerisine daldırıldığı zaman malzemenin biri üzerinden iyonlar sökülerek diğerinin üzerine kaplaması sonucunda elektroliz kaplama olayı

oluşur. Bunun için, kaplanacak olan malzeme katod ve istenilen kaplama malzemesinin anot olduğu uçlar arasında gerilim uygulanır. Sonuçta, anot ucundan katoda doğru kaplama malzemesi transferi oluşur [3].

Bir metal toprağa gömüldüğü zaman, iki farklı metal arasındaki galvanic etkiden dolayı elektroliz kaplama olayı oluşur. Eğer metalin, çevresindekinden daha fazla bir potansiyelde olduğu kabul edilirse, örneğin anot olursa, o zaman metaldeki iyon kayıplarının sonucu olarak metal üzerinden ayrışma oluşacaktır. Bununla birlikte, metal bir sistemin katodu olarak bağlanırsa, o zaman elektronlar gerilim kaynağının negatif ucundan metale doğru akacaktır. Gerilim kaynağının pozitif ucu gömülü olan anot malzemesine bağlanır, böylece elektronlar anot malzemesinden gerilim kaynağının pozitif ucuna doğru akarlar. Anottaki malzemedeki elektronların sökülmesi pozitif iyonları oluşturur buradan elektrolite geçer ve katoda doğru akar. Şekil 5.9, bu işlemi göstermektedir.



Şekil 5.9 Bir elektrolit sistemi içindeki yük taşıyıcıları ve akımın akışının şematik diyagramı

Katodik koruma, anotların genellikle grafitten oluştuğu ve katotların genellikle çelikten oluştuğu ve anotların katotların yakınına gömüldüğü korumadır. Beton içindeki çeliğin katodik koruması binaların, köprülerin ve diğer önemli alt yapı tesislerinin ömrünü uzatmaktadır.

Katottan iyon kayıplarını engellemek için, farklı materyaller için farklı akım yoğunluklarına ihtiyaç vardır bu değerler genellikle $1 \text{ mA}/0,0929 \text{ m}^2$ 'den birkaç $\text{mA}/0,0929 \text{ m}^2$ 'ye kadar değişir. Katodu korumak için ihtiyaç duyulan toplam akım miktarı, gerekli akım yoğunluğu ile katodun yüzey alanının çarpılmasıyla belirlenir. Buradaki örnekte, akım yoğunluğu, direnç ve gerilimi belirlemek için metotlar, gerekli akü ve panel boyutu ile birlikte sunulmuştur.

5.3.3.1. Sistemin Tasarımı

Katodik koruma sisteminin tasarımında ilk adım, ihtiyaç duyulan sistem akımını belirlemektir. Korunacak sistem, kumlu toprak içindeki kaplamasız çelik bir tanktır. Tankın 100 ft^2 ($1 \text{ foot} = 1 \text{ ft} = 0,3047 \text{ m}$, $100 \text{ ft}^2 = 100.0,0929 \text{ m}^2$) 'lik bir yüzey alanına sahip olduğunu kabul

edelim. Korumasız çelik için bu çevrede kullanım için ihtiyaç akım yoğunluğu 1 mA/ft^2 olursa, ihtiyaç duyulan toplam akım miktarı 100 mA olacaktır. Eğer daha fazla akım üretilirse, katot aynı oranda korunmuş fakat anot daha yüksek oranda olacaktır.

İkinci adım ise bir anot seçmektir. Tipik bir anot maksimum 2 A akım taşıyacaktır, bu yüzden anotların seçimi akım tarafından etkilenmeyecektir. Anodu seçmede diğer bir durum ise anot ve katot arasındaki dirençtir. Bu direnç toprağın direncine ve anodun boyutuna bağlıdır. Üniform toprak öz direncindeki ($\rho=1000 \Omega\text{-cm}$), farklı çap ve uzunluktaki anotlar için toprakla oluşan dirençler Tablo 5.2 'de verilmiştir [3].

Farklı toprak öz dirençleri için oluşan direnç değerleri standart şartlarda dirençle doğru orantılıdır. Anodun toprakla oluşturduğu direnç, anot ve katot arasındaki direnç olarak kullanılır. Bu durumda, tablodan çapı 3-inch ve uzunluğu 5ft olan bir anot seçelim. Tablo 5.2, $1000 \Omega\text{-cm}$ deki böyle bir anot için toprakla oluşturulan direncin $4,3 \Omega$ olduğunu gösterir. Fakat kumlu toprağın direnci $25000 \Omega\text{-cm}$ ye daha yakındır bu yüzden tankın içinde olduğu yerleşim yerindeki veya anodun toprak direnci yaklaşık olarak o direncin 25 katıdır yani $25 \cdot 4,3 = 107,5 \Omega$ olur.

Tablo 5.2 Standart $1000 \Omega\text{-cm}$ toprağı içindeki toprakla anot direncinin değişimi

Anot çapı (inch)	Anot uzunluğu, ft (0,3048m)				
	4	5	6	7	8
3	5,0 Ω	4,3 Ω	3,7 Ω	3,3 Ω	3,0 Ω
4	4,7 Ω	4,0 Ω	3,5 Ω	3,1 Ω	2,8 Ω
6	4,1 Ω	3,5 Ω	3,1 Ω	2,8 Ω	2,5 Ω
8	3,7 Ω	3,2 Ω	2,9 Ω	2,6 Ω	2,3 Ω
10	3,5 Ω	3,0 Ω	2,7 Ω	2,4 Ω	2,2 Ω

İhtiyaç duyulan gerilim, akım ve direncin çarpılmasıyla elde edilir, buradan $0,1 \text{ A} \cdot 107,5 \Omega = 10,75 \text{ V}$ 'dur ve 12 V nominal bir modülle sağlanabilir ($V_{oc} \approx 20 \text{ V}$). Akımın günde 24 saat kullanıldığı ve 12 V bir aküye ihtiyaç duyulduğunu kabul edelim. Batarya şarj verim faktörü 0,9 ve kablo verim faktörü 0,98 kullanılarak, günlük düzeltilmiş sistem yükü miktarı, $((0,1 \text{ A} \cdot 24 \text{ h}) / 0,9) / 0,98 = 2,72 \text{ Ah}$ olur.

Daha sonraki adım ise güneş panelinin akım kademesiyle birlikte ihtiyaç duyulan batarya boyutunun belirlenmesidir. Akünün 5 günde bir derin deşarj (%80 oranla) olduğunu kabul edersek, gerekli batarya ihtiyacı;

$$((2,72 \text{ Ah} \cdot 5 \text{ gün}) / 0,8) = 17 \text{ Ah olur.}$$

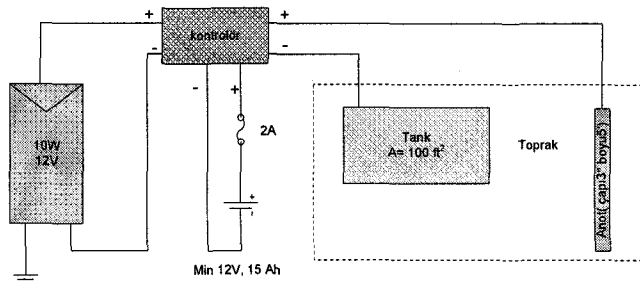
Eğer tankın yerleşim yeri için minimum günlük güneşlenme 4 saat ise, modülü % 90 verimle kabul edilirse, modül akımı $(2,72 \text{ Ah}) / (4 \text{ h}) / 0,9 = 0,76 \text{ A}$ bulunur.

Modül 12 V ve 10 watt 'lık olabilir ve batarya küçük bir batarya olabilir. Bununla birlikte, eğer maksimum güneş saati 4 'den belirgin bir şekilde fazla olursa, o zaman batarya aşırı şarj olabilir bu yüzden bir şarj kontrolörüne ihtiyaç duyulacaktır. Bir şarj kontrolörü kullanarak batarya boyutu büyütülebilir. Bununla birlikte, modülden günde 2 Ah/gün ya da fazla akım elde edilirse 30 günde batarya 30.2 Ah = 60 Ah depolayacaktır.

Paralel anot çözümü toprakla arasında daha düşük bir direnç oluşturur fakat 2 benzer anodun toprakla oluşturduğu direnç tek bir anodun oluşturduğu direncin yarısı değildir. Silindirik geometri, anotların ayrılmasına bağlı olarak iki anodun toprakla direncini değiştirerek lineer olmayan sisteme problem getirir. Tablo 5.3, birçok anot ayarlama faktörünü gösterir [3], bütün anotları benzer kabul edersek ve toprağın bileşim içinde üniform olduğu duruma karşılık gelir. Tablo 5.3 içindeki faktörler tek bir anotla toprak arasındaki direnç için çarpan katsayılarıdır. Örneğin, bir anotla toprak arasında 100 Ω dirence sahipse o zaman 15 ft 'lik uzaklıkta 3 anot için $100.0,418 = 41,8 \Omega$ olur. Bu, tek bir anodun ihtiyaç duyacağı gerilimin % 41,8 azaltacağını gösterir. Bu problemin çözümü, güneş pili çıkışı ya da toprak şartlarına bakmaksızın ihtiyaç duyulan akımı sağlayan bir elektronik sabit akım kaynağı devresinin bulunması gerekir. Bununla birlikte, ıslak toprak, kuru topraktan daha fazla akıma ihtiyaç duyar bu yüzden akım kaynağı toprak direncinin akımını karşılayacak kadar olmalıdır. Toprak direnci herhangi bir zamanda ölçülürse burada yerleştirilen sistem elemanlarının uygunluğu ve boyutu içinde kullanılabilir. Bu sistem performansındaki güvenin artmasını sağlar. Şekil 5.10, bu sistemi gösterir.

Tablo 5.3 Anot ayarlama çarpım faktörleri

Anotların sayısı	Anotların boyları, ft (1 ft = 0,3048m)				
	5	10	15	20	25
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,652	0,576	0,551	0,538	0,530
3	0,586	0,460	0,418	0,397	0,384
4	0,520	0,385	0,340	0,318	0,304
5	0,466	0,333	0,289	0,267	0,253
6	0,423	0,295	0,252	0,231	0,218
7	0,387	0,265	0,224	0,204	0,192
8	0,361	0,243	0,204	0,184	0,172
9	0,332	0,222	0,185	0,166	0,155
10	0,311	0,205	0,170	0,153	0,142



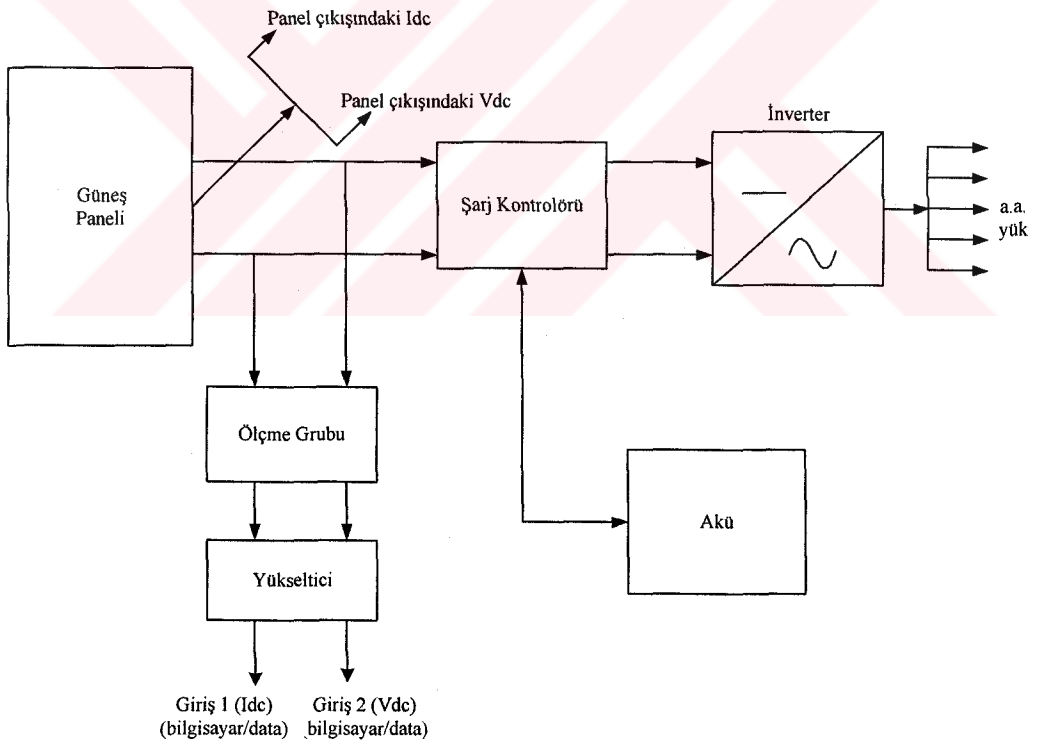
Şekil 5.10 Katodik koruma sistemi

6. UYGULAMA

6.1. Uygulama Sistemleri

6.1.1. Sabit Sistem

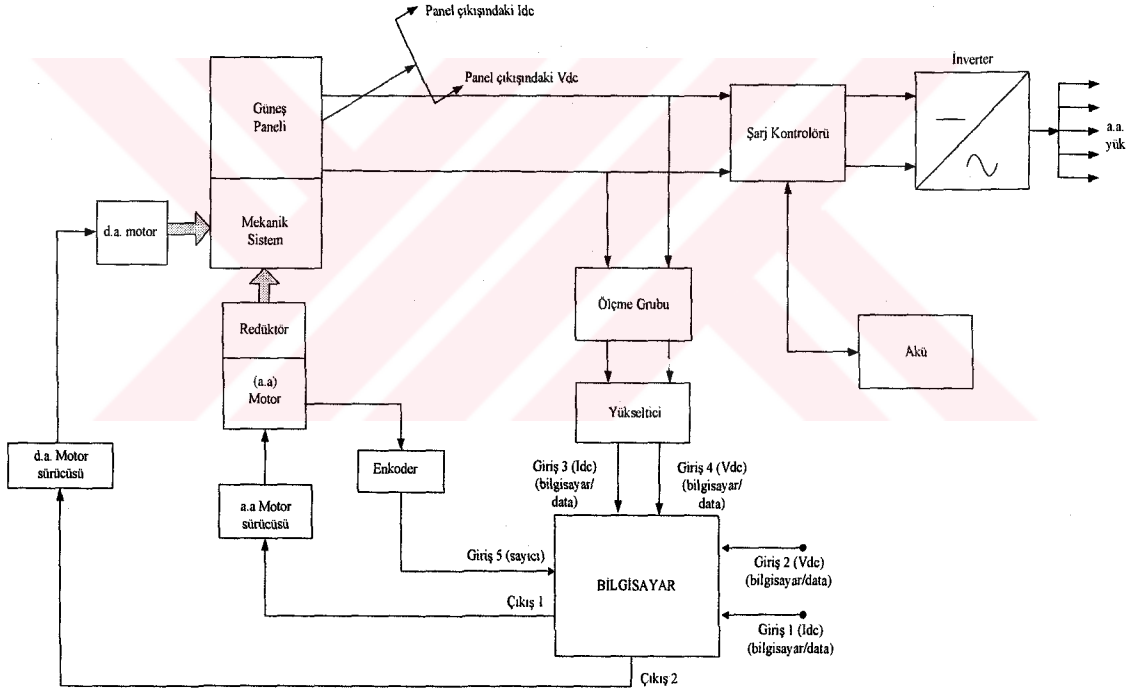
Bu çalışmada, biri sabit (Sistem 1), diğeri hareketli (Sistem 2) olan iki bağımsız güneş pili sistemi kurulacak ve bunların verimi karşılaştırılacaktır. Pratikte kullanılan sistemler, genellikle sabit panelli sistemler olup verimleri düşüktür. Birinci sistem Şekil 6.1 'de görülmektedir. Bu sistem güneş paneli, ölçme grubu, akü, inverter ve yükten oluşur. Güneş pili sabit olarak kullanılmaktadır. Sistemin elde edilen sayısal sonuçları bilgisayar ortamında saklanır. Güneş pili çıkışı d.a. 'dır. Sistemin mevcut enerjisinin artırılması için elde edilen gerilim bir şarj kontrolörü üzerinden aküde toplanır.



Şekil 6.1 Sabit sistem

6.1.2. Hareketli Sistem

Sistem 2; hareketli güneş panelinden oluşan sistemdir (Şekil 6.2). Güneş paneli, güneşin hareketini takip edecek şekilde motorlar tarafından kontrol edilir. Böylece güneş enerjisinden daha verimli faydalanılabilir. Panel, güneşi takip edecek şekilde hareket ettirilirse, panel üzerine gelen ışığın açısı dik olacak, panelden elde edilen gerilim ve akım miktarı da fazla olacaktır. Motorların kontrolü bir bilgisayar tarafından yapılacaktır. Bilgisayara, güneş pili sisteminin bulunduğu yerin konumunu belirleyen enlem, boylam, ilgili tarih ve zaman değerleri data olarak yüklenir. O bölgedeki güneşin matematiksel hareket hesaplamaları ve data değerleri yardımıyla hareketli sistem kontrol edilir. Panele bağlı olan motorlar da bilgisayardan aldığı data değerleriyle kontrol edilir ve güneşin hareketi kolayca izlenebilir.



Şekil 6.2 Hareketli Sistem

Hareketli sistem yardımıyla sabah güneşin doğuşundan itibaren akşama kadar o bölgedeki güneş ışığından maksimum olarak faydalanılmak istenilir. Dolayısıyla sistemin gün içerisinde, güneşin konumuna göre farklı açılarda ve farklı yönlerde bulunarak güneş ışığının panel sistemine dik olarak

gelmesi sağlanır. Farklı bölgelerdeki deneysel çalışma için bilgisayara o bölgenin data değerleri yüklenerek işlemler tekrarlanır. Eğer sistem boyutu büyütülürse, kullanılan elemanların ve motorların da gücünde artırılarak, daha büyük güçlü bir tüketici grubunun veya yükünün enerjisi güneşten sağlanabilir.

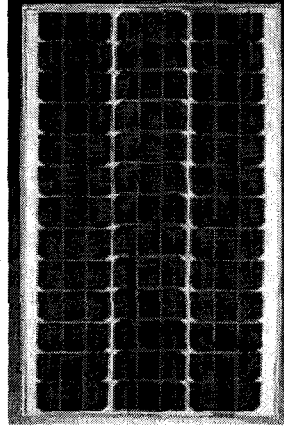
6.2. Sabit Sistemde Kullanılan Elemanlar

6.2.1. Güneş Paneli

Sistemde kullanılan güneş paneli, Uni-solar US-42 seri numaralı panel çeşididir. Bu güneş paneli yüksek performansı sağlamak için amorf silikon teknolojisiyle üretilmiş pil çeşididir. İnce film pil teknolojisi kullanılmıştır. Modüller sağlamdır. Kısmen gölgelendiği zaman daha fazla güç üretmeleri için her bir pil uçlarına bypass diyotları bağlanır. Bu panellerde cam kullanılmadığı zamanlarda hemen hemen kırılmaz bir yapıya sahiptirler. Kristalize pillere göre daha az güç kaybının olduğu yüksek sıcaklığa sahip iklimler için çok uygundurlar. Şekil 6.3 'de panelin resmi ve Tablo 6.1 'de özellikleri görülmektedir. Bu panel ait elektriksel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir [33]:

Tablo 6.1 Uni-solar US-42 Güneş Paneli (Standart Test Şartları, 1000 w/m², AM1.5, 25°C için)

Modeli	US-42
Max gücü (P_{max})	42 W
Max güçteki akımı (I)	2,54 A
Max güçteki gerilimi (V)	16,5 V
Kısa devre akımı (I_{sc})	3,17 A
Açık devre gerilimi (V_{oc})	23,8 V
Seri sigorta	6 A
Min bloklama diyodu	6 A



Şekil 6.3 US-42 Güneş Paneli

6.2.2. Ölçme Grubu

Sistemin çalışması sırasında güneş panelin elde edilen akım ve gerilimin bilgisayara aktarılması için akım ve gerilim transduserlerinden faydalanılır. Sistemin içerisindeki sabit ve hareketli panele ait olan yüksek akım ve gerilim bilgileri bu transduserler yardımıyla küçük değerlere dönüştürülerek bilgisayara aktarılır. Bu ölçme grubu içerisinde geçen bilgiler, kaydedilmek ve kullanılmak üzere PCI-1711 Data kartı (Data Acquisition Card, DAQ) yardımıyla bilgisayara aktarılır.

6.2.2.1. Akım ve Gerilim Transdüserleri

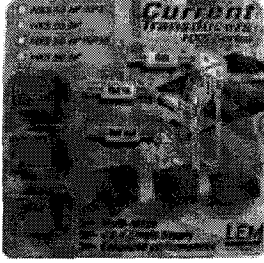
Gerilim transduseri olarak LV 25-P ve akım transduseri için LA 25-NP serisi LEM modüller kullanılmaktadır. Güneş panelinin akımı A seviyesinden mA seviyesine akım transduseri ile dönüştürülür ve bilgisayarın data kartına giriş bilgisi olarak verilmektedir. Benzer şekilde gerilim bilgisi de gerilim transduseriyle dönüştürülür ve bilgisayara aktarılır. Şekil 6.4 'de farklı birkaç transduser çeşidi görülmektedir [34]. Bilgisayara kaydedilen akım ve gerilim bilgileri matlab programı tarafından dönüştürme oranlarıyla gerçek değerlerine çevrilir. Bu elemanlara ilişkin elektriksel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Hall Etkili Kapalı Tip Akım Algılayıcı (Current Transducer, LA 25-NP)

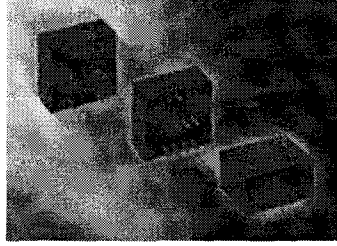
Nominal akımı : 25 A
Ölçüm aralığı : 0-36 A
Dönüştürme oranı : 1-2-3-4-5 /1000
Primer ve sekonder arasında izolasyon (2 kV rms /50Hz)

Hall Etkili Kapalı Tip Gerilim Algılayıcı (Voltage Transducer, LV 25-P)

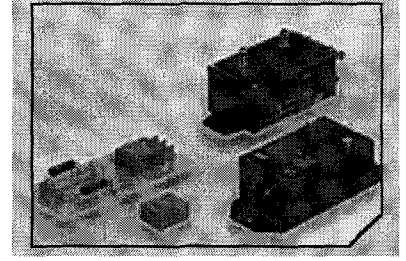
Kaynak Gerilimi:	± 15 V
Dönüştürme oranı:	2500:1000
Ölçüm aralığı :	10-600 V
Primer ve sekonder arasında izolasyon (2 kV rms/50Hz)	



(a)



(b)



(c)

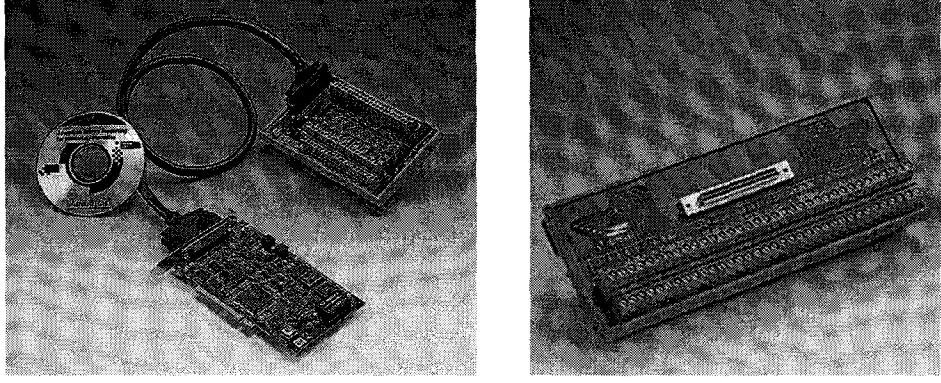
Şekil 6.4 Akım ve Gerilim Transdüserlerine ait şekiller

6.2.2.2. PCI-1711 Data Kartı (Data Acquisition Card, DAQ)

Güneş panelin elde edilen akım ve gerilim bilgilerinin bilgisayara aktarılması için bir data kartına ihtiyaç vardır. Bu kart yardımıyla elde edilen analog akım ve gerilim bilgileri bilgisayara kaydedilir ve daha sonra program içerisinde kullanılmak üzere hazır hale gelmektedir. Elde edilen veriler bir program içerisinde kullanılır ve yine data kartı yardımıyla iki motoru ayrı ayrı kontrol etmek üzere çıkışa aktarılır. Burada bilgisayarla arabirim olarak kullanılan data giriş/çıkış kartımız Advantech PCI-1711 modelidir (Şekil 6.5). Bu karta ilişkin özellikler şunlardır [35]:

Dijital I/O Kartı (Data Acquisition Card, PCI-1711)

-12-bit Analog giriş kanal sayısı:	16 tane
-12-bit Analog çıkış kanal sayısı:	2 tane
-Programlanabilir örnekleme oranı:	30 kHz üstü
-Dijital giriş kanal sayısı:	16 tane
-Dijital çıkış kanal sayısı:	16 tane
-Programlanabilir sayıcı/zamanlayıcı:	var
-A/D dönüşüm:	var
-D/A dönüşüm:	var



Şekil 6.5 PCI-1711 Data kartı ve bilgisayar ile arabirim olan Adam 3968 bağlantı bordu

6.2.3. Şarj Kontrolörü (Regülatörü)

Kontrolörün amacı panelden gelen gerilimin depolanırken akünün kullanım ömrünü uzatmaktır. Gündüz güneş ışığı yardımıyla elde edilen gerilim yük üzerinde kullanıldıktan sonra akü yardımıyla depolanarak daha sonra kullanılır. Akülerin kullanım ömrünü uzatmak için panelle akü arasında şarj kontrolörüne ihtiyaç duyulur. Kontrolör akünün şarj/deşarj olayını kontrol eder. Akünün şarjı belirli bir değerin üzerinde çıktığı zaman (14,5 V) veyadeşarj değeri belirli bir değerin altına düştüğü zaman (11,5 V) otomatik olarak akünün devreye girip çıkmasını sağlar. Tablo 6.2 'de kontrolöre ait özelliklerin açıklaması yapılmaktadır. Dolayısıyla akünün ömrü uzamış olur. Sistemde kullanılan şarj kontrolörü ASC 12/8-E modellenli kontrolördür (Şekil 6.6). Bu kontrolörün özellikleri aşağıdaki gibidir [36]:



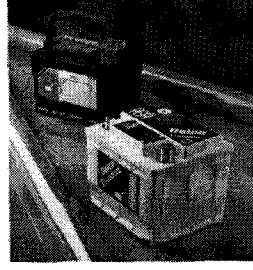
Şekil 6.6 ASC 12/8-E Şarj Kontrolörü

Tablo 6.2 ASC 12/8-E Şarj Kontrolörü

Parametreler	Birim	ASC 12/8-E
Sürekli yük akımı	Amper	10
60 saniye için max yük akımı	Amper	13
Kısa devre devamlı akımı	Amper	8
Kısa devre akımı (60 saniye)	Amper	10,5
Max. Panel giriş voltu	Volt	26
Min. Akü voltu	Volt	0
Akünün devre dışı kalacağı min Volt	Volt	8,5
Çektiği akım çalışmazken	Amper	0,010
Çektiği akım çalışırken	Amper	0,015
Şarjı kesme üst değeri	Volt	14,3 ⁺ 0,2
Şarjı açma alt değeri	Volt	13,5 ⁺ 0,3
Yükün devre dışı kalacağı min Volt	Volt	11,5
Yükün tekrar devreye gireceği Volt	Volt	13,0
Çalışma sıcaklık aralığı	° C	-40 +50

6.2.4. Akü

Güneşten elde edilen enerji havanın kapalı, bulutlu olduğu zamanlarda veya geceleri kullanılmak üzere aküler tarafından depolanır. Aküler yaygın olarak kendi arasında kurşun asit aküler ve kuru aküler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kuru tip aküler kullanım ömrü daha uzun olmasına rağmen, fiyat olarak kurşun asit akülere göre daha pahalıdır. Piyasada kurşun asit akü olarak adı geçen Delphi (Delco) marka akülerde kuru tip aküler gibi tam bakımsız, kapalı, ithal akülerdir. Hiçbir şekilde asit veya su gibi maddelerin ilave edilmesine gerek duymazlar. Kuru tip akülere göre tek dezavantajları kullanım ömrünün kısa olmasıdır (3-5yıl). “Delco freedom”, bakımsız akü olarak bilinmesinin sebebi, antimonuz plakalar sayesinde su ilavesine ihtiyaç yoktur. Freedom akülerinde kullanılan kurşun-kalsiyum teknolojisi, Delco (Delphi) tarafından geliştirilmiş ve akü kutusunun bir daha açılmamak üzere üretim sonuna kadar kapatılmasını sağlamıştır. Bu aküler 45° 'ye kadar eğik olarak kullanılabilir. Sistem içindeki akümüz, 12V, 105Ah, Delphi bakımsız akü çeşidi ve Şekil 6.7 'de görülmektedir [37].



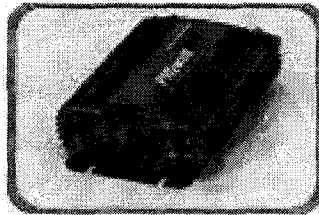
Şekil 6.7 12 V, 105 Ah, Delphi Akü

6.2.5. İnverter

İnverter, girişine uygulanan d.a. gerilimini a.a. gerilimine dönüştüren elektronik elemanlardır. Kullanılan sistem içerisinde hem d.a hem de a.a yükler bulunabilir. D.a. yükleri akülerden sonra doğrudan beslenebilir fakat a.a. yükleri için aküde depolanan d.a. gerilim uygun genlik ve frekans değerindeki a.a. gerilimine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bizim sistem içerisinde kullandığımız inverter Xantrex (12 V d.a./220 V a.a., 500W) marka inverterdir (Şekil 6.8). Bu inverterin karakteristik özellikleri şöyledir [38]:

Xantrex İnverter

-Daimi gücü:	400 W
-Çıkış gücü (30dk):	500 W
-Anlık güç çekişi:	1000 W
-Yüksüz akım miktarı:	0,25 A
-Dalga tipi:	düzeltilmiş sinüs
-Giriş gerilimi:	10-15 V d.a.
Çıkış gerilimi:	220 V a.a./+/-%10
-Yüksek gerilim alarmı:	15 V
-Kısa devre koruma:	var
-Aşırı yük koruma:	var



Şekil 6.8 Xantrex (12 V d.a. / 220 V a.a, 50hz) inverter

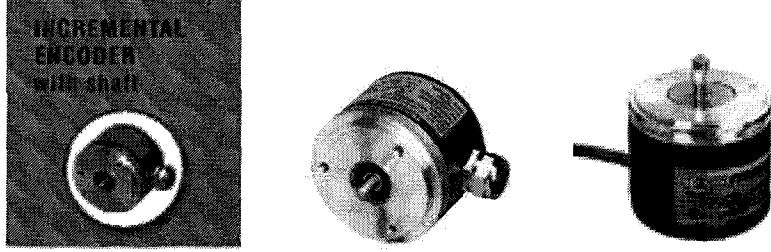
6.3. Hareketli Sistemdeki Elemanlar

Bu sistemde kullanılan güneş paneli, ölçme grubu elemanları, şarj kontrolörü, akü ve inverter sabit sistemde kullanılan malzemelerin aynısıdır. Sistemde benzer elemanlar bulunmaktadır. Bu sistemin hareketi üç boyutludur (iki eksenli, hem doğu-batı hem de kuzey-güney). Sistemin hareketi iki ayrı motor tarafından sağlanılmaktadır. Bu motorlardan birincisi, 3 fazlı a.a. motoru ve diğeri de d.a. motorudur. Bulunan yerin enlem ve boylam gibi data değerleri yardımıyla güneşin doğuşu ve batışı arasındaki güneşin hareketi izlenmek istenir. Bunun için mekanik bir sistemden faydalanılır. Bilgisayara o bölgeye ait olan data değerleri (tarih, zaman, enlem..vb) yüklenir ve gün içerisinde bu data değerleriyle zamana bağımlı olarak güneşin üç boyutlu hareketi izlenir. Bilgisayarın birinci ve ikinci çıkışı yardımıyla, yazılım tarafından işlenen data sonucuna göre doğu-batı eksenindeki hareket için üç fazlı asenkron motordan ve kuzey-güney hareketi için bir d.a. motordan faydalanılır. Dolayısıyla bilgisayar çıkışı ile eşzamanlı olarak iki farklı motor kontrol edilerek panelin üç boyutlu hareketi sağlanmış olur. Motorun hareket mantığı güneşin hareketinin eşit derecelerde takip edilmesine dayanmaktadır. Böylece gün içerisinde sürekli olarak güneşin izlenmesi ve güneş ışığının panele dik olarak gelmesi sağlanır. Sistemde, sabit sisteme göre ilave olarak kullanılan diğer elemanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

6.3.1. Artırımlı Kodlayıcı (Incremental Encoder)

Endüstride elektrik motorlarının konum kontrolünün çoğunda enkoderlardan faydalanılır. Motorun hareket miktarının ya da açısının belirlenmesi enkoderların görevidir. Enkoderdan alınan açı ya da mesafe bilgisi çoğu durumlarda diğer elektronik cihazlar tarafından kullanılır. Enkoder, seçilen modele göre çıkışında farklı sayıda pulse (kare dalga) üretmektedir. Yani 360°'lik tam bir tur sonunda 1000, 2400, 3600, 5000 pulse..vb sayıda pulse üreten farklı enkoderlar mevcuttur. Ayrıca enkoder çıkışında A, B, N çıkışları ve bu çıkışların değılleri $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{N}$ olmak üzere 6 çıkış mevcuttur (Thalheim 3600 modeli için). Çıkıştaki bu sinyallere göre, motorun konumu ya da açısı kontrol edilir. Bizim sistemdeki enkoder 3600 pulse 'liktir. Bunun anlamı şudur; motorumuz tam bir tur yaptığı zaman çıkışımızda 3600 pulse gerilim bilgisinin alınacağıdır. Yani bir derecelik dönme işlemi sonucunda enkoder çıkışında $3600/360=10$ pulse görülecektir. Motorun kaç derece dönmesi istenirse, "Derece.10 = Pulse sayısı" sayıcıdan okunduğu zaman motor o kadar dönmüş olur. Dolayısıyla biz herhangi bir zaman diliminde motorumuzu çalıştırıp durduktan sonra bir sayıcı yardımıyla enkoder

çıkışındaki darbelerimizi sayarak motorumuzun başlangıca göre ne kadar mesafe ya da kaç derece hareket ettiğini bulabiliriz. Sistemde bulunan encoder; Thalheim marka ve ITD21 B14 3600 T NI KR1 S 6 IP65 nolu modeldir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Thalheim marka Enkoder

Yukarıda yazılı seri numaraları encoder ın ait olduğu modeli, tasarım stilini, pulse sayısını, çıkış sinyallerini, çalışma sıcaklığını, mil çapını ve koruma sınıfını belirtmektedir [39]. Özellikleri;

Artırımlı kodlayıcı (Incremental Encoder, 5 V)

-Pulse count :	3600 pulse
-Pulse frequency :	max. 300 kHz
-Supply voltage :	5V veya 10-30V D.A.
-Output :	RS422 (TTL compatible)
-Speed :	max. 6000 min ⁻¹

6.3.2. Asenkron Motor Sürücüsü

Sistem içerisinde kullandığımız asenkron motor sürücümüz Siemens Micromaster 420 serisi sürücüdür. Sürücümüz, Üç fazlı asenkron motorların hız kontrolünde kullanılan frekans kontrollü inverterdir. Bu sürücü için tek fazlı giriş için, 120 w 'dan üç fazlı girişte 11 kw gücüne kadar değişik güçleri mevcut olan bir sürücü çeşididir. Bu inverterler mikroişlemci kontrollüdür ve IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) teknolojisini kullanır. Bu onların daha güvenli ve çok yönlü olmasına imkan sunar. Seçilebilir darbe frekansında, özel darbe-genişlik modülasyon methodu (PWM) ile motorun sessiz çalışmasını sağlar. Fabrika ayarlarıyla Micromaster420 inverter, basit motor kontrol uygulamaları için geniş çalışma alanı sağlar. Bu sürücü hem otomasyon sistemleri içinde hem de motorun yalnız kullanılmasına imkan sunmaktadır. Düşük güçlü motor çalışması için yüksek anahtarlama frekanslarına sahip, kolay kurulumu, basit kablo bağlantısı, PI kontrol döngü fonksiyonu,

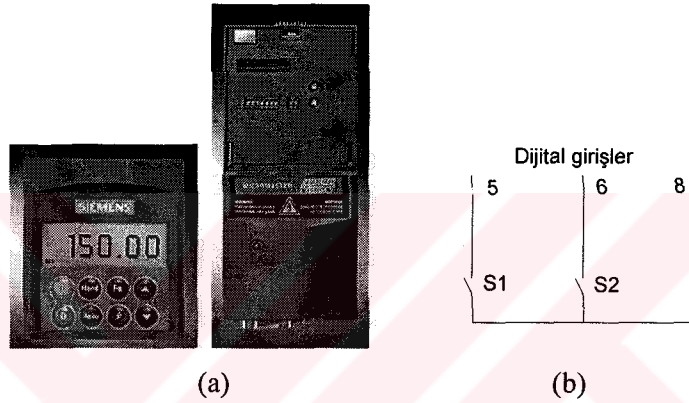
çok kademeli U/f karakteristiği, gelişmiş frenleme özelliği olan, aşırı ve düşük gerilime karşı koruması, aşırı sıcaklığa karşı koruması, topraklama hatasına karşı koruması, kısa devreye karşı koruması olan bir sürücü çeşididir. Şekil 6.10 'da invertere ait bazı resimler görülmektedir. Sistemdeki sürücümüzün güç, gerilim ve akım değerlerini ifade eden karakteristiği aşağıdaki gibidir [40]:

3 Fazlı Asenkron Motor Sürücü (Siemens Micromaster 420)

Giriş/Çıkış: 1 faz 230 V/ 3 faz 230 V

Güç: 0,37 kw

Çıkış Akımı: 2,3 A



Şekil 6.10 Siemens Micromaster420 sürücü parçaları ve anahtar kısmı

Sürücümüz üzerindeki S_1 ve S_2 anahtarları yardımıyla motorumuzun çalışması kontrol edilir. S_1 anahtarı motorun start/stop anahtarı ve S_2 anahtarı düz/ters yön anahtarıdır. İnverterin yazılım içeriğine göre motorun çalışması ya sürücü panelinden ya da manuel olarak anahtarlar yardımıyla değiştirilir. Sürücü menüsünde eğer manuel kısmı seçiliyse, herhangi zamanda S_1 anahtarı kapatıldığı zaman motor devreye girip çalışır. Durdurulmak istenildiği zaman aynı anahtar açılır. Motoru ters yöne çevirmek için, motor durgun haldeyken S_2 kapatılır ve çalışmayı başlatmak için tekrar S_1 anahtarı kapatılır. Bu durumda motor ilk durumdakinin tam tersi yönde dönmeye başlar. Durdurmak için önce S_1 açılır ve sonra S_2 açılarak motor eski konumuna getirilmiş olur.

6.3.3. Asenkron Motor

Sistemde kullanılan motorlardan birisi üç fazlı asenkron motordur. Bununla doğu-batı ekseninde güneş panelinin hareketi kontrol edilmek istenir. Motor bir sürücü tarafından değişik frekans

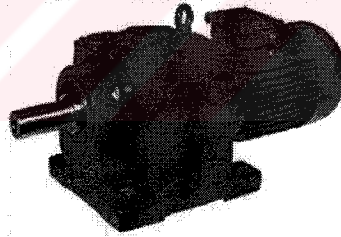
değerlerinde çalıştırılarak devir sayısı düşürülür. Sürücü yardımıyla motor 1hz 'e kadar düşük frekansta çalıştırılmaya imkan sunar. Böylece motorun dakikadaki devir sayısı düşer ve buna göre motorun çalışma süresi de sn boyutunda hesaplanarak motorun çok yavaş çalışması sağlanmış olur. Motora ilişkin gerilim, akım ve güç ifadeleri aşağıdaki gibidir:

3 Fazlı Asenkron Motor

Güç: 0,37 kW,
Gerilim: 220V / 380V - Δ / λ ,
Frekans: 50 Hz,
Devir: 900 d/d

6.3.4. Redüktör

Redüktör herhangi bir sistemde gücü koruyarak giriş ile çıkış arasındaki devir sayısını düşürmesini sağlayan mekanik düzenektir. Bunu farklı sayıdaki dişli sistemi yardımıyla yapar. Dişli oranlarına göre 1/100, 2/100, 5/100...gibi farklı oranları mevcuttur. Bizim kullandığımız redüktör M-serisi (Helical Monoblok) 1/100 oranına sahip bir modeldir (Şekil 6.11).

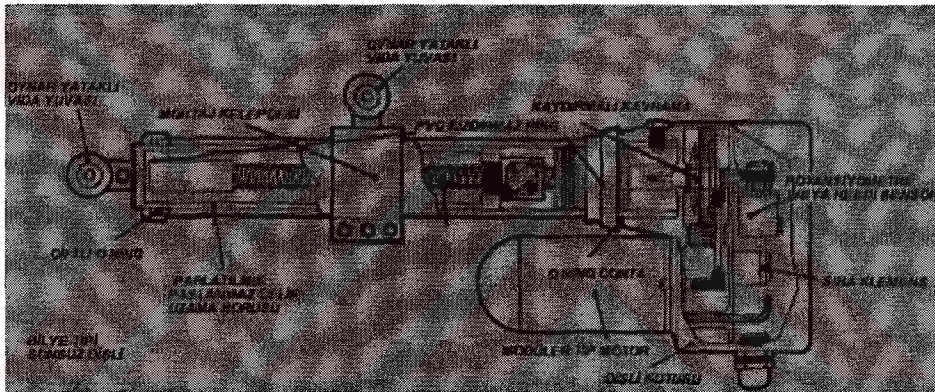


Şekil 6.11 Asenkron motor ve redüktörün birlikte görünüşü

M serisi Monoblok Redüktörler aynı gövde içerisinde aynı büyüklükte 4 ve 6 dişli bağlanarak daha yüksek çevrim oranı düşebilme dizayn sebebi ile daha yüksek momentlere ulaşılabilme, B5 motor bağlama özelliği, Elektro Magnetik Fren Bağlantısı, gelen eksenel ve radyal yüklere göre özel önlem alınmış yataklama, üstün kaliteli malzeme kullanımı, GG 20 hassa pik döküm gövde, CE standartlı elektrik motoru, kalitesi her birinin kontrol edilerek belgelenmiş (dişli, mil, gövde) parçalar, 60-62 Hrc sertleştirilmiş ve tamamının profilleri taşlanmış dişli grubu üstün nitelikli rulman kullanımı olan redüktör çeşididir [41].

6.3.5. Doğru Akım Motoru

Bu tip motorlar değişken yükler altında kolayca hız kontrolünün yapıldığı d.a. gerilimle çalışan motor çeşididir. D.a. motorlardaki duyarlı hız kontrolü üretimde daha hızlı kontrol sağlar ve çalışma kalitesinde artmaya sebep olur. En son elektronik teknoloji tarafından üretilen yeni elektronik devrelerle, motorlarda endüvi akımı değiştirilerek moment ve endüvi geriliminin değiştirilerek motor hızının ayarlanması mümkündür. Sistemde kullanılan motor, fırçalı sabit mıknatıslı d.a. motordur. Motorun girişindeki besleme gerilimleri değiştirildiği zaman motorun yönü değişir. Motorun beslemesi bir yönde devam ederken, mil uzar ve besleme gerilimi yön değiştirdiği zaman mil ters yönde hareket ederek kısalır. Bununla sistemdeki panelin kuzey-güney doğrultusundaki hareketi sağlanmış olur. Kullanılan motor ve iç yapısı Şekil 6.12 'deki gibidir. Sistemdeki motor Goldmaster marka (18") çanak anten motorudur [42].



(a)

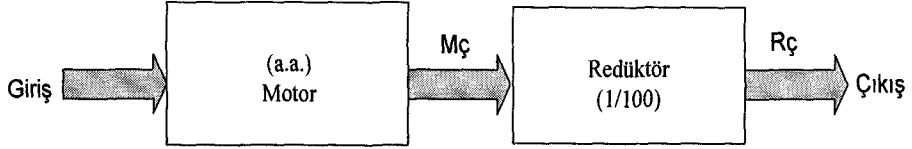


(b)

Şekil 6.12 Goldmaster Motorun (18") iç yapısı ve görünüşü

6.3.6. Asenkron Motorun Devir Sayısının Hesabı

Sistemde kullanılan asenkron motorumuz 3 fazlı, Sincap Kafesli, kutup sayısı $2p=6$ olan motordur. Motorun girişindeki a.a. motor sürücüsü tarafından frekans kontrolü yardımıyla motorun hızı kontrol edilir. Şekil 6.13 'de, asenkron motor ve çıkışındaki redüktör sistemi birlikte görülmektedir.



Şekil 6.13 Asenkron motor ve redüktörün birlikte görünüşü

Herhangi bir asenkron motorun çalıştığı senkron hız n_s , (d/d) ; (tek kutup sayısı ile) $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$ 'den bulunur. Burada n_s ile gösterilen kısım motorun çıkış kısmı olan M_ϕ (n_m) 'ye karşılık gelir.

Daha sonra bu motor çıkışı redüktör yardımıyla 1/100 oranında düşürülerek çıkışa R_ϕ (n_r) 'ye aktarılır. Örneğin, motorun şehir şebekesinde $f=50$ hz 'de çalışırken motorun çıkışını ve redüktörün çıkışını hesaplayalım:

$2p = 6$, $p = 3$ olur, $f = 50$ hz için motor çıkışı,

$$n_m = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ (d/d)}$$

bu durumda redüktör çıkışı,

$$n_r = 1000 / 100 = 10 \text{ (d/d)}$$

olur. Motorun dakikadaki devir sayısı frekansa bağlı olarak

$$n_m = \frac{60 \cdot f}{3} = 20 \cdot f \text{ (d/d)}$$

burada f , giriş frekansıdır (hz). Motorun eğer 1 sn 'deki devir sayısı hesaplanmak istenirse dakikadaki devir sayısını 60 'a bölerek, $n_m = \frac{f}{3}$ (d/sn) olur. Benzer şekilde redüktör çıkışında ise,

$$n_r = n_m / 100 = \frac{f}{300} \text{ (d/sn)}$$

görüldür. Farklı frekans değerleri için motor ve redüktör çıkışları Tablo 6.3 'de verildiği gibi olur:

Tablo 6.3 Farklı frekans değerleri için motor ve redüktör çıkış değerleri

Giriş Frekansı (hz)	Motor çıkışı (n_m) (d/d)	Motor çıkışı (n_m) (d/sn)	Redüktör çıkışı (n_r) (d/sn)
50	1000	16,6666	0,1666
40	800	13,3333	0,1333
30	600	10,0000	0,1000
20	400	6,6666	0,0666
10	200	3,3333	0,0333
5	100	1,6666	0,0166
3	60	1,0000	0,0100
1	20	0,3333	0,0033
0,5	10	0,1666	0,0016

Hareketli sistemdeki motorun çalışmasındaki 360° 'lik dönme işlemi için tam bir tur geçmesi gerekmektedir. Motor 3 hz 'de çalışırken 1 d/sn 'de dönecektir. Yani 1sn 'de, 3 hz 'de tam bir tur (360°) dönmeye karşılık gelmektedir. Redüktör çıkışında ise aynı frekans ve 1 sn 'lik çalışmada 0,01 tur dönecektir. Yani motorumuz eğer 100 sn çalışacak olursa redüktör çıkışında tam bir tura karşılık gelecektir. Redüktör çıkışında 360° 'lik dönmeyi 1 turda karşılıyorsa, 1° 'lik dönme sonucunda $1/360 = 0,00277$ tur yol alacaktır. Farklı derecelerden bazıları için redüktör çıkışında alınacak tur mesafesine ilişkin değerler aşağıdaki gibidir:

$$1^\circ = 0,00277 \text{ tur,}$$

$$5^\circ = 5.0,00277 = 0,01385 \text{ tur,}$$

$$9^\circ = 9.0,00277 = 0,02493 \text{ tur.}$$

Redüktör çıkışında 1 saniyede 0,01 tur (1/100) alınmaktadır. 1° 'lik dönmeyi bu şartlarda karşılamak için motorun, $0,00277/0,01=0,277$ sn çalışması gerekmektedir. Benzer şekilde motorun diğer derecelere karşılık gelen çalışma süreleri aşağıdaki gibidir:

$$1^\circ = 0,00277 \text{ tur için } = 0,277 \text{ sn,}$$

$$5^\circ = 0,01385 \text{ tur için } = 1,385 \text{ sn,}$$

$$9^\circ = 0,02493 \text{ tur için } = 2,493 \text{ sn,}$$

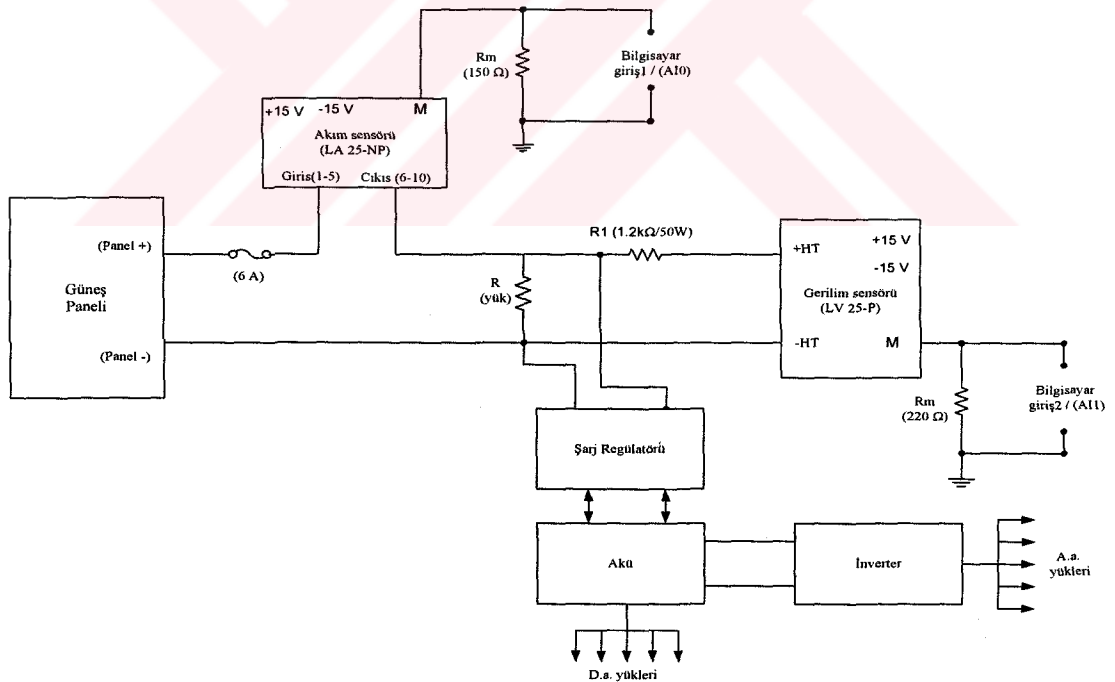
Asenkron motorun sabah 06:00 ile akşam 18:00 arasındaki değişimi saat 12:00 'a göre simetrik olmaktadır. Yani saat 11:00 'da ki güneşin geliş açısının değeri, saat 13:00 'da ki geliş açısıyla aynı değere sahiptir.

6.4. Deneysel Sonuçlar

6.4.1. Sabit Sistem Sonuçları

Güneş ışığından maksimum şekilde faydalanmak üzere deneyin yapıldığı güne ait olan hesaplamalar sonucunda o gün için gerekli olan sabit panelin eğimi belirlenir ve panel bu eğimde yerleştirilir. Böylece öğle saatinde günü birlik sabit bir eğimle güneş ışığının panel yüzeyine dik olarak gelmesi sağlanmış olur. Güneş paneli üzerine düşen güneş ışığına göre belirli bir akım ve gerilim oluşur. Gün içerisinde sabahtan akşama kadar bu değerler güneşin hareketinden dolayı farklı açılarda farklı değerlere sahip olur. Öğle saatinde bu değerler maksimum ışımaya maruz kaldığı için en yüksek değerde olacaktır.

Deneyde alınan gün içindeki veriler bazı elektronik devreler ve elemanlar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılır. Sonra sabit sistemin sonuçları matlab yazılım programı yardımıyla değerlendirilir ve ilgili grafiklerin çizimi yapılır. Sabit sistem için yapılan deneysel bağlantının blok şeması Şekil 6.14 'de verildiği gibidir.

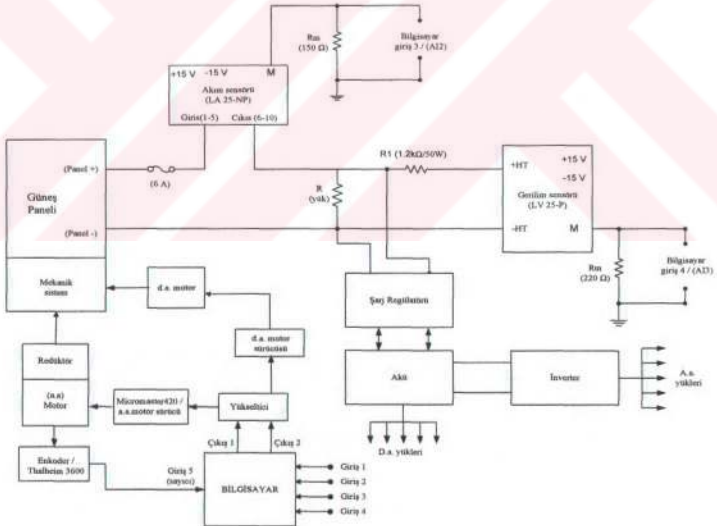


Şekil 6.14 Sabit sistem için deneysel bağlantı şeması



Şekil 6.15 Sabit Sistemin (2.Panel) Görünüşü

6.4.2. Hareketli Sistem Sonuçları



Şekil 6.16 Hareketli sistem için deneysel bağlantı şeması



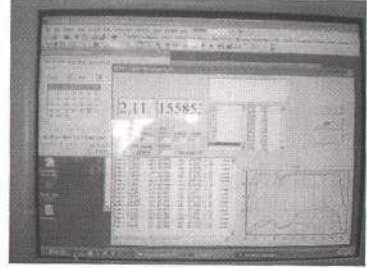
Sekil 6.17 Hareketli Sistem

Sekil 6.17 'de hareketli panelin deneysel bağlantı seması görülmektedir. Hareketli sistemin amacı gün içerisinde sabahdan akşama kadar güneşin hareketini bilgisayar kontrolü ile takip etmektir. Önce deneyin yapılacağı yere ilişkin enlem, boylam gibi coğrafik bilgiler ve deneyin yapılacağı tarih, gün ve zaman bilgileri bilgisayara kaydedilir. Bu bilgiler doğrultusunda matlab programı ile ilgili tarihe ait güneşin tüm açısal hesaplamaları yapılarak matematiksel modeli çıkarılır. Gün içerisinde hangi saatte güneşin nerede ve hangi açı değerlerine sahip olacağı belirlenir. Güneşin hareketine bağlı olarak, güneşin açıları ve ışık miktarı gün içerisinde sabahdan akşama kadar değişim gösterir. Eğer bu açıları uygun bir şekilde motorların kontrolünde kullanacak olursak güneşin hareketini gün içinde izlemiş oluruz.

Güneşin hareketi iki eksenli ve üç boyutlu olmaktadır. Yani güneş hem doğu-batı ekseninde hem de kuzey-güney ekseninde hareket etmektedir. Bu yüzden güneşin hareketini takip etmek için iki ayrı motor kullanılır. Bilgisayarda yazılan program (EK-1) yardımıyla elde edilen veriler doğrultusunda her iki motor sistemi kontrol edilmek istenir. Yazılım programının online çalışması sırasındaki ekran aşağıdaki gibidir:



(a)



(b)

Şekil 6.18 Bilgisayardaki yazılım programının çalışması durumundaki ekran modu
(a, b, gün içindeki farklı zaman dilimleri için)

Motorlardan birincisi üç fazlı asenkron motordur. Bu motor sistemin gün içerisindeki doğu-batı yönündeki hareketini takip etmek için kullanılır. Motorun güneş açıları yardımıyla, sabah güneşin doğuşu ve akşam güneşin batışı arasındaki güneş azimut açısının toplam değişimi, doğu-batı yönündeki hareketin miktarını derece olarak belirler. Bu toplam değişim açısı üzerinden panelin gün içerisinde hangi derece aralıkları ile güneşi takip edeceği belirlenir. Bu açı, motorun gün içerisindeki adım sayısını belirler. Her bir adım için gereken sayıcı değeri program yardımıyla hesaplanır. Motor çalışmaya başladıktan sonra, bu hareket doğrultusunda enkoderdan alınan pulse bilgisi, bilgisayarda bir sayıcı yardımıyla sayılarak hesaplanan değerle karşılaştırılır. Eğer sayıcı bilgisi istenilen bilgi değerine geldiyse motorun çalışması durdurulur. Asenkron motorun kontrolü kapalı çevrim kontrolüdür. İşlenen veriler, bilgisayar çıkışında bir yükseltici yardımıyla yükseltilerek asenkron motorun sürücü devresine uygulanır, böylece asenkron motorun hareketi bilgisayardaki veriler doğrultusunda tamamlanmış olur.

Motorlardan ikinci olanı ise motorun kuzey-güney hareketini sağlayan d.a. motordur. Yine bilgisayardaki açısal hesaplamalar yardımıyla gün içerisinde panelimiz farklı eğimlerde bulunması gerekmektedir. Güneşin hareketi sürekli olduğundan panelde gelen güneş ışığından maksimum olarak faydalanmak için farklı zamanlarda farklı eğimde bulunması gerekmektedir. Güneş ışığının panel üzerine tam dik olarak gelmesi için d.a. motoru ile panelin kuzey-güney hareketi kontrol edilir. Böylece güneşin hem doğu-batı ekseninde hem de kuzey-güney ekseninde hareketi iki ayrı sistem tarafından kontrol edilir. Bunun sonucunda motorun üç boyutlu hareketi tamamlanır ve gün içerisinde güneş ışığından verimli bir şekilde faydalanılır.

6.4.3. Deneylerde Elde Edilen Veriler

Deneyin yapıldığı günler boyunca elde edilen veriler bilgisayar ortamında kaydedilerek değerlendirilmeye hazır duruma getirildi. Deneyin yapıldığı tarihlerdeki iki günün karşılaştırılması için bugünlere ait olan güneşin açılal hesaplamaları matlab programı yardımıyla çıkarılmış olup sonuçları aşağıdaki gibidir. Daha sonra bugünlere ait bilgisayarda kaydedilen veriler, hem hareketli hem de sabit sistemin akımı, gerilimi ve güçleri hakkında bize bilgi vermektedir. Birinci gün, bulutsuz ve güneşli bir atmosfer ortamını temsil etmektedir. İkinci gün ise, öğleye kadar güneşli, öğle sonu bulutlu-güneşli olan bir atmosferi temsil eder. Her iki güne ilişkin farklı zamanlarda çekilen fotoğraflar yardımıyla güneşin durumu takip edilmiştir. Deneyin güneşli gününe ilişkin farklı zaman dilimlerinde güneşin açılal değerleri aşağıdaki gibidir. Çizilen grafikler için bu veriler (Tablo 6.4) üzerinden değerlendirilme yapılmıştır.

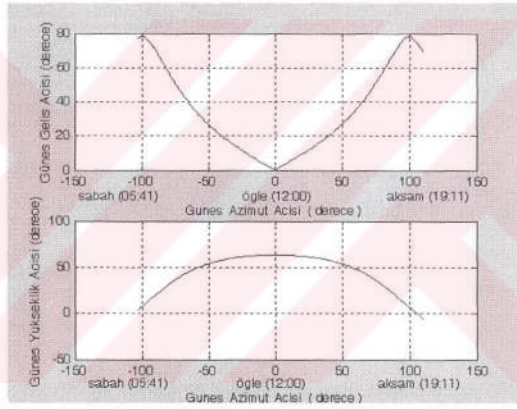
Tablo 6.4 Güneşli bir gün için Matlab programı yardımıyla 5 'er dakika aralıklarla hesaplanan güneşin açılal değerleri

Saat	dakika	$w(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\theta_s(^{\circ})$	$\alpha_s(^{\circ})$	$\gamma_s(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$
5.0000	41.0000	-94.7500	12.1017	86.1115	3.8885	-102.4013	77.0125	-72.4371
5.0000	46.0000	-93.5000	12.1017	85.1571	4.8429	-101.6356	77.4096	-67.2130
5.0000	51.0000	-92.2500	12.1017	84.2000	5.8000	-100.8721	77.6940	-61.6962
5.0000	56.0000	-91.0000	12.1017	83.2405	6.7595	-100.1104	77.8577	-55.9734
6.0000	1.0000	-89.7500	12.1017	82.2788	7.7212	-99.3501	77.8958	-50.1542
6.0000	6.0000	-88.5000	12.1017	81.3149	8.6851	-98.5908	77.8071	-44.3594
6.0000	11.0000	-87.2500	12.1017	80.3491	9.6509	-97.8321	77.5944	-38.7069
6.0000	16.0000	-86.0000	12.1017	79.3815	10.6185	-97.0735	77.2638	-33.2983
6.0000	21.0000	-84.7500	12.1017	78.4124	11.5876	-96.3146	76.8242	-28.2093
6.0000	26.0000	-83.5000	12.1017	77.4418	12.5582	-95.5549	76.2862	-23.4872
6.0000	31.0000	-82.2500	12.1017	76.4700	13.5300	-94.7941	75.6607	-19.1528
6.0000	36.0000	-81.0000	12.1017	75.4971	14.5029	-94.0316	74.9587	-15.2056
6.0000	41.0000	-79.7500	12.1017	74.5232	15.4768	-93.2670	74.1904	-11.6302
6.0000	46.0000	-78.5000	12.1017	73.5487	16.4513	-92.4998	73.3650	-8.4022
6.0000	51.0000	-77.2500	12.1017	72.5735	17.4265	-91.7295	72.4906	-5.4924
6.0000	56.0000	-76.0000	12.1017	71.5980	18.4020	-90.9557	71.5741	-2.8701
7.0000	1.0000	-74.7500	12.1017	70.6222	19.3778	-90.1778	70.6215	-0.5054
7.0000	6.0000	-73.5000	12.1017	69.6464	20.3536	-89.3952	69.6378	1.6297
7.0000	11.0000	-72.2500	12.1017	68.6708	21.3292	-88.6075	68.6275	3.5612
7.0000	16.0000	-71.0000	12.1017	67.6955	22.3045	-87.8141	67.5941	5.3120
7.0000	21.0000	-69.7500	12.1017	66.7207	23.2793	-87.0144	66.5406	6.9027
7.0000	26.0000	-68.5000	12.1017	65.7466	24.2534	-86.2077	65.4696	8.3514
7.0000	31.0000	-67.2500	12.1017	64.7734	25.2266	-85.3936	64.3834	9.6738
7.0000	36.0000	-66.0000	12.1017	63.8013	26.1987	-84.5712	63.2837	10.8840
7.0000	41.0000	-64.7500	12.1017	62.8306	27.1694	-83.7401	62.1723	11.9939
7.0000	46.0000	-63.5000	12.1017	61.8614	28.1386	-82.8994	61.0505	13.0143
7.0000	51.0000	-62.2500	12.1017	60.8940	29.1060	-82.0484	59.9193	13.9543
7.0000	56.0000	-61.0000	12.1017	59.9286	30.0714	-81.1864	58.7800	14.8221
8.0000	1.0000	-59.7500	12.1017	58.9655	31.0345	-80.3125	57.6332	15.6249

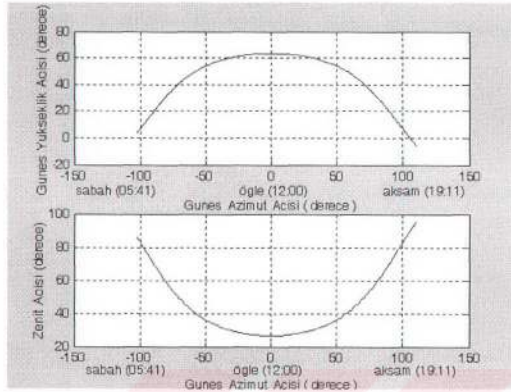
8.0000	6.0000	-58.5000	12.1017	58.0049	31.9951	-79.4261	56.4799	16.3688
8.0000	11.0000	-57.2500	12.1017	57.0471	32.9529	-78.5261	55.3206	17.0594
8.0000	16.0000	-56.0000	12.1017	56.0924	33.9076	-77.6117	54.1560	17.7016
8.0000	21.0000	-54.7500	12.1017	55.1410	34.8590	-76.6819	52.9865	18.2998
8.0000	26.0000	-53.5000	12.1017	54.1934	35.8066	-75.7358	51.8126	18.8576
8.0000	31.0000	-52.2500	12.1017	53.2497	36.7503	-74.7722	50.6347	19.3786
8.0000	36.0000	-51.0000	12.1017	52.3104	37.6896	-73.7902	49.4532	19.8658
8.0000	41.0000	-49.7500	12.1017	51.3758	38.6242	-72.7885	48.2684	20.3219
8.0000	46.0000	-48.5000	12.1017	50.4463	39.5537	-71.7659	47.0806	20.7494
8.0000	51.0000	-47.2500	12.1017	49.5223	40.4777	-70.7213	45.8899	21.1503
8.0000	56.0000	-46.0000	12.1017	48.6043	41.3957	-69.6532	44.6967	21.5267
9.0000	1.0000	-44.7500	12.1017	47.6926	42.3074	-68.5602	43.5012	21.8804
9.0000	6.0000	-43.5000	12.1017	46.7879	43.2121	-67.4410	42.3035	22.2130
9.0000	11.0000	-42.2500	12.1017	45.8905	44.1095	-66.2939	41.1038	22.5258
9.0000	16.0000	-41.0000	12.1017	45.0011	44.9989	-65.1174	39.9022	22.8202
9.0000	21.0000	-39.7500	12.1017	44.1202	45.8798	-63.9098	38.6990	23.0975
9.0000	26.0000	-38.5000	12.1017	43.2486	46.7514	-62.6693	37.4942	23.3586
9.0000	31.0000	-37.2500	12.1017	42.3867	47.6133	-61.3941	36.2879	23.6046
9.0000	36.0000	-36.0000	12.1017	41.5354	48.4646	-60.0824	35.0802	23.8363
9.0000	41.0000	-34.7500	12.1017	40.6954	49.3046	-58.7322	33.8713	24.0546
9.0000	46.0000	-33.5000	12.1017	39.8675	50.1325	-57.3415	32.6613	24.2603
9.0000	51.0000	-32.2500	12.1017	39.0526	50.9474	-55.9081	31.4501	24.4539
9.0000	56.0000	-31.0000	12.1017	38.2516	51.7484	-54.4300	30.2380	24.6362
10.0000	1.0000	-29.7500	12.1017	37.4655	52.5345	-52.9050	29.0249	24.8077
10.0000	6.0000	-28.5000	12.1017	36.6953	53.3047	-51.3309	27.8109	24.9690
10.0000	11.0000	-27.2500	12.1017	35.9421	54.0579	-49.7056	26.5961	25.1204
10.0000	16.0000	-26.0000	12.1017	35.2072	54.7928	-48.0269	25.3806	25.2626
10.0000	21.0000	-24.7500	12.1017	34.4916	55.5084	-46.2927	24.1644	25.3958
10.0000	26.0000	-23.5000	12.1017	33.7968	56.2032	-44.5011	22.9475	25.5204
10.0000	31.0000	-22.2500	12.1017	33.1241	56.8759	-42.6501	21.7300	25.6369
10.0000	36.0000	-21.0000	12.1017	32.4750	57.5250	-40.7382	20.5120	25.7454
10.0000	41.0000	-19.7500	12.1017	31.8510	58.1490	-38.7639	19.2935	25.8463
10.0000	46.0000	-18.5000	12.1017	31.2536	58.7464	-36.7260	18.0745	25.9399
10.0000	51.0000	-17.2500	12.1017	30.6845	59.3155	-34.6239	16.8551	26.0263
10.0000	56.0000	-16.0000	12.1017	30.1453	59.8547	-32.4571	15.6352	26.1059
11.0000	1.0000	-14.7500	12.1017	29.6377	60.3623	-30.2259	14.4150	26.1787
11.0000	6.0000	-13.5000	12.1017	29.1634	60.8366	-27.9312	13.1945	26.2450
11.0000	11.0000	-12.2500	12.1017	28.7241	61.2759	-25.5743	11.9737	26.3050
11.0000	16.0000	-11.0000	12.1017	28.3215	61.6785	-23.1574	10.7526	26.3587
11.0000	21.0000	-9.7500	12.1017	27.9572	62.0428	-20.6834	9.5313	26.4063
11.0000	26.0000	-8.5000	12.1017	27.6327	62.3673	-18.1562	8.3098	26.4480
11.0000	31.0000	-7.2500	12.1017	27.3495	62.6505	-15.5803	7.0880	26.4837
11.0000	36.0000	-6.0000	12.1017	27.1089	62.8911	-12.9612	5.8662	26.5137
11.0000	41.0000	-4.7500	12.1017	26.9121	63.0879	-10.3049	4.6442	26.5379
11.0000	46.0000	-3.5000	12.1017	26.7601	63.2399	-7.6183	3.4221	26.5564
11.0000	51.0000	-2.2500	12.1017	26.6536	63.3464	-4.9089	2.2000	26.5693
11.0000	56.0000	-1.0000	12.1017	26.5932	63.4068	-2.1846	0.9778	26.5765
12.0000	1.0000	0.2500	12.1017	26.5793	63.4207	0.5463	0.2444	26.5782
12.0000	6.0000	1.5000	12.1017	26.6118	63.3882	3.2756	1.4667	26.5743
12.0000	11.0000	2.7500	12.1017	26.6907	63.3093	5.9949	2.6888	26.5648
12.0000	16.0000	4.0000	12.1017	26.8155	63.1845	8.6961	3.9110	26.5497
12.0000	21.0000	5.2500	12.1017	26.9855	63.0145	11.3714	5.1330	26.5289
12.0000	26.0000	6.5000	12.1017	27.1999	62.8001	14.0137	6.3549	26.5024
12.0000	31.0000	7.7500	12.1017	27.4577	62.5423	16.6162	7.5768	26.4701
12.0000	36.0000	9.0000	12.1017	27.7576	62.2424	19.1732	8.7984	26.4320
12.0000	41.0000	10.2500	12.1017	28.0982	61.9018	21.6796	10.0198	26.3880
12.0000	46.0000	11.5000	12.1017	28.4780	61.5220	24.1311	11.2411	26.3379
12.0000	51.0000	12.7500	12.1017	28.8955	61.1045	26.5244	12.4620	26.2817
12.0000	56.0000	14.0000	12.1017	29.3490	60.6510	28.8566	13.6828	26.2193
13.0000	1.0000	15.2500	12.1017	29.8369	60.1631	31.1261	14.9031	26.1504

13.0000	6.0000	16.5000	12.1017	30.3573	59.6427	33.3316	16.1232	26.0749
13.0000	11.0000	17.5000	12.1017	30.9087	59.0913	35.4725	17.3429	25.9926
13.0000	16.0000	19.0000	12.1017	31.4893	58.5107	37.5488	18.5621	25.9033
13.0000	21.0000	20.2500	12.1017	32.0975	57.9025	39.5612	19.7810	25.8069
13.0000	26.0000	21.5000	12.1017	32.7318	57.2682	41.5104	20.9993	25.7029
13.0000	31.0000	22.7500	12.1017	33.3905	56.6095	43.3977	22.2171	25.5913
13.0000	36.0000	24.0000	12.1017	34.0722	55.9278	45.2247	23.4343	25.4716
13.0000	41.0000	25.2500	12.1017	34.7754	55.2246	46.9931	24.6510	25.3435
13.0000	46.0000	26.5000	12.1017	35.4989	54.5011	48.7049	25.8669	25.2068
13.0000	51.0000	27.7500	12.1017	36.2413	53.7587	50.3620	27.0821	25.0610
13.0000	56.0000	29.0000	12.1017	37.0014	52.9986	51.9665	28.2966	24.9057
14.0000	1.0000	30.2500	12.1017	37.7781	52.2219	53.5207	29.5102	24.7404
14.0000	6.0000	31.5000	12.1017	38.5703	51.4297	55.0267	30.7229	24.5646
14.0000	11.0000	32.7500	12.1017	39.3770	50.6230	56.4867	31.9347	24.3778
14.0000	16.0000	34.0000	12.1017	40.1972	49.8028	57.9028	33.1454	24.1795
14.0000	21.0000	35.2500	12.1017	41.0300	48.9700	59.2771	34.3550	23.9688
14.0000	26.0000	36.5000	12.1017	41.8746	48.1254	60.6116	35.5634	23.7453
14.0000	31.0000	37.7500	12.1017	42.7302	47.2698	61.9085	36.7706	23.5079
14.0000	36.0000	39.0000	12.1017	43.5961	46.4039	63.1695	37.9763	23.2560
14.0000	41.0000	40.2500	12.1017	44.4715	45.5285	64.3966	39.1805	22.9886
14.0000	46.0000	41.5000	12.1017	45.3559	44.6441	65.5916	40.3831	22.7046
14.0000	51.0000	42.7500	12.1017	46.2485	43.7515	66.7562	41.5839	22.4029
14.0000	56.0000	44.0000	12.1017	47.1489	42.8511	67.8919	42.7828	22.0824
15.0000	1.0000	45.2500	12.1017	48.0565	41.9435	69.0005	43.9797	21.7416
15.0000	6.0000	46.5000	12.1017	48.9707	41.0293	70.0833	45.1743	21.3790
15.0000	11.0000	47.7500	12.1017	49.8912	40.1088	71.1419	46.3665	20.9930
15.0000	16.0000	49.0000	12.1017	50.8175	39.1825	72.1775	47.5560	20.5817
15.0000	21.0000	50.2500	12.1017	51.7490	38.2510	73.1916	48.7427	20.1431
15.0000	26.0000	51.5000	12.1017	52.6856	37.3144	74.1853	49.9262	19.6748
15.0000	31.0000	52.7500	12.1017	53.6267	36.3733	75.1598	51.1063	19.1745
15.0000	36.0000	54.0000	12.1017	54.5720	35.4280	76.1162	52.2827	18.6391
15.0000	41.0000	55.2500	12.1017	55.5212	34.4788	77.0557	53.4548	18.0655
15.0000	46.0000	56.5000	12.1017	56.4739	33.5261	77.9792	54.6224	17.4503
15.0000	51.0000	57.7500	12.1017	57.4299	32.5701	78.8878	55.7850	16.7892
15.0000	56.0000	59.0000	12.1017	58.3888	31.6112	79.7822	56.9420	16.0779
16.0000	1.0000	60.2500	12.1017	59.3505	30.6495	80.6635	58.0928	15.3112
16.0000	6.0000	61.5000	12.1017	60.3145	29.6855	81.5325	59.2367	14.4832
16.0000	11.0000	62.7500	12.1017	61.2807	28.7193	82.3901	60.3728	13.5874
16.0000	16.0000	64.0000	12.1017	62.2489	27.7511	83.2368	61.5004	12.6163
16.0000	21.0000	65.2500	12.1017	63.2187	26.7813	84.0737	62.6182	11.5613
16.0000	26.0000	66.5000	12.1017	64.1900	25.8100	84.9012	63.7251	10.4126
16.0000	31.0000	67.7500	12.1017	65.1625	24.8375	85.7202	64.8196	9.1591
16.0000	36.0000	69.0000	12.1017	66.1361	23.8639	86.5313	65.8999	7.7879
16.0000	41.0000	70.2500	12.1017	67.1105	22.8895	87.3351	66.9642	6.2844
16.0000	46.0000	71.5000	12.1017	68.0855	21.9145	88.1322	68.0100	4.6320
16.0000	51.0000	72.7500	12.1017	69.0610	20.9390	88.9233	69.0346	2.8115
16.0000	56.0000	74.0000	12.1017	70.0368	19.9632	89.7088	70.0347	0.8015
17.0000	1.0000	75.2500	12.1017	71.0126	18.9874	90.4895	71.0065	-1.4222
17.0000	6.0000	76.5000	12.1017	71.9883	18.0117	91.2657	71.9453	-3.8864
17.0000	11.0000	77.7500	12.1017	72.9636	17.0364	92.0381	72.8458	-6.6201
17.0000	16.0000	79.0000	12.1017	73.9386	16.0614	92.8070	73.7015	-9.6535
17.0000	21.0000	80.2500	12.1017	74.9129	15.0871	93.5731	74.5051	-13.0172
17.0000	26.0000	81.5000	12.1017	75.8863	14.1137	94.3368	75.2480	-16.7387
17.0000	31.0000	82.7500	12.1017	76.8588	13.1412	95.0986	75.9207	-20.8397
17.0000	36.0000	84.0000	12.1017	77.8302	12.1698	95.8589	76.5125	-25.3302
17.0000	41.0000	85.2500	12.1017	78.8002	11.1998	96.6182	77.0125	-30.2029
17.0000	46.0000	86.5000	12.1017	79.7688	10.2312	97.3769	77.4096	-35.4270
17.0000	51.0000	87.7500	12.1017	80.7356	9.2644	98.1356	77.6940	-40.9438
17.0000	56.0000	89.0000	12.1017	81.7007	8.2993	98.8945	77.8577	-46.6666
18.0000	1.0000	90.2500	12.1017	82.6637	7.3363	99.6541	77.8958	-52.4858

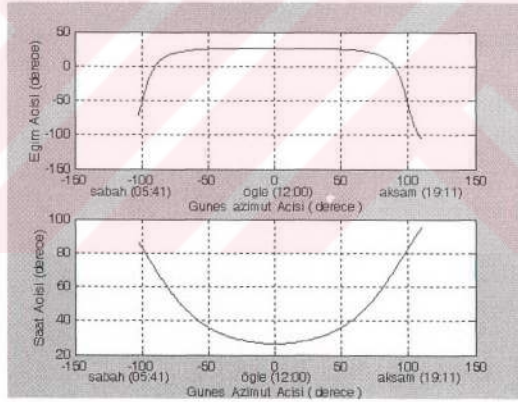
18.0000	6.0000	91.5000	12.1017	83.6246	6.3754	100.4149	77.8071	-58.2806
18.0000	11.0000	92.7500	12.1017	84.5831	5.4169	101.1772	77.5944	-63.9331
18.0000	16.0000	94.0000	12.1017	85.5391	4.4609	101.9416	77.2638	-69.3417
18.0000	21.0000	95.2500	12.1017	86.4925	3.5075	102.7083	76.8242	-74.4307
18.0000	26.0000	96.5000	12.1017	87.4429	2.5571	103.4778	76.2862	-79.1528
18.0000	31.0000	97.7500	12.1017	88.3903	1.6097	104.2506	75.6607	-83.4872
18.0000	36.0000	99.0000	12.1017	89.3344	0.6656	105.0269	74.9587	-87.4344
18.0000	41.0000	100.2500	12.1017	90.2751	-0.2751	105.8072	74.1904	-91.0098
18.0000	46.0000	101.5000	12.1017	91.2122	-1.2122	106.5920	73.3650	-94.2378
18.0000	51.0000	102.7500	12.1017	92.1454	-2.1454	107.3816	72.4906	-97.1476
18.0000	56.0000	104.0000	12.1017	93.0746	-3.0746	108.1764	71.5741	-99.7699
19.0000	1.0000	105.2500	12.1017	93.9996	-3.9996	108.9768	70.6215	-102.1346
19.0000	6.0000	106.5000	12.1017	94.9201	-4.9201	109.7833	69.6378	-104.2697
19.0000	11.0000	107.7500	12.1017	95.8359	-5.8359	110.5963	68.6275	-106.2012



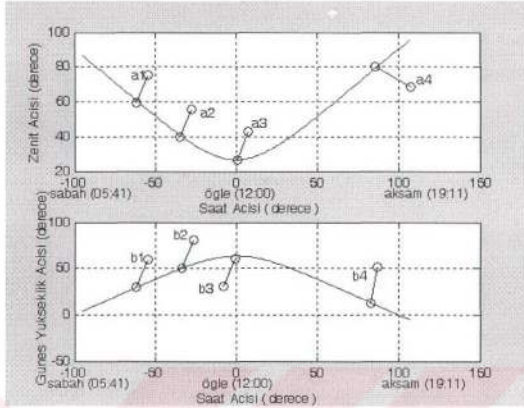
Şekil 6.19 Güneş Azimut açısı ile güneşin geliş açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün)



Şekil 6.20 Güneş Azimut açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün)

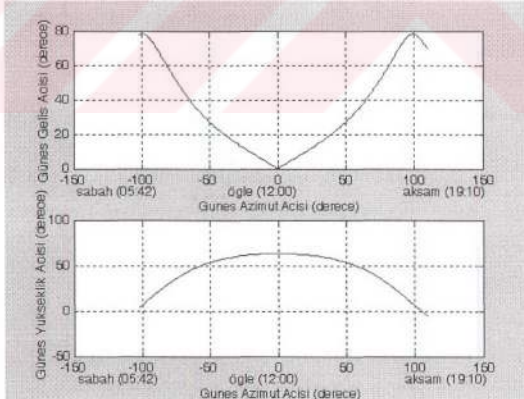


Şekil 6.21 Güneş Azimut açısı ile saat açısı ve eğim açısının değişimi (1.gün)

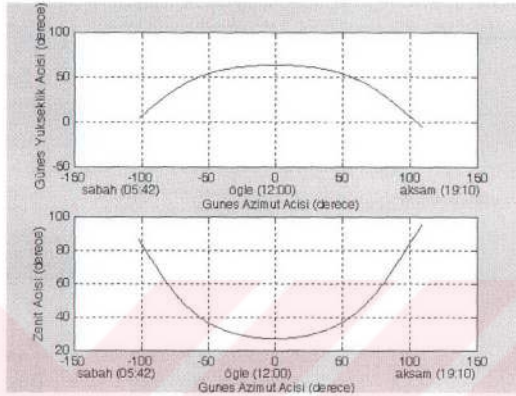


Şekil 6.22 Saat açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (1.gün)

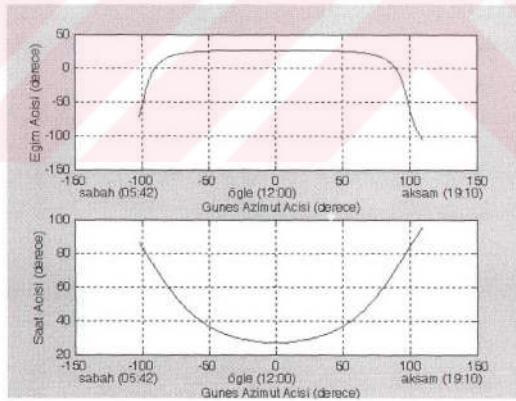
Elde edilen grafikler sonucunda, Şekil 6.22 'de görüldüğü üzere 1.gün için zenit açısı ve güneş yükseklik açısı ile güneş azimut açısının değişimi incelendiğinde; a_1+b_1 ($60^\circ+30^\circ$), a_2+b_2 ($40^\circ+50^\circ$), a_3+b_3 ($30^\circ+60^\circ$) ve a_4+b_4 ($80^\circ+10^\circ$) değerlerinin birbirlerini 90° 'ye tamamladıkları görülmektedir. Yine benzer ifadelerde 2.gün için Şekil 6.26 'de görülmektedir.



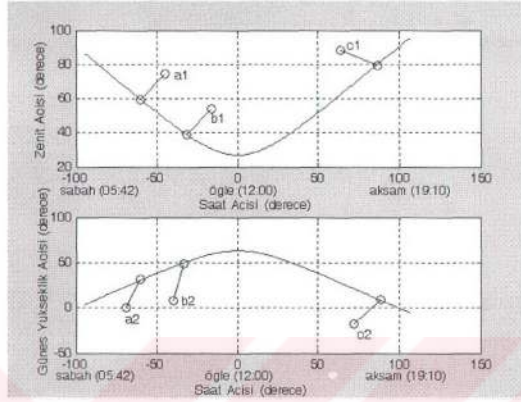
Şekil 6.23 Güneş Azimut açısı ile güneşin geliş açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün)



Şekil 6.24 Güneş Azimut açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün)



Şekil 6.25 Güneş Azimut açısı ile saat açısı ve eğim açısının değişimi (2.gün)



Şekil 6.26 Saat açısı ile zenit açısı ve güneş yükseklik açısının değişimi (2.gün)



Sekil 6.27 Saat 09:00. Her iki panel sisteminin doğrudan görünüşü



Sekil 6.28 Saat 09:00. Her iki panel sisteminin güneveden görünüşü



Sekil 6.29 Saat 12:10. Her iki panel sisteminin doğudan g r n s 



Sekil 6.30 Saat 12:10. Her iki panel sisteminin g nevden g r n s 



Sekil 6.31 Saat 18:30, Güneşin batışı esnasında her iki panel sisteminin doğudan görünüşü

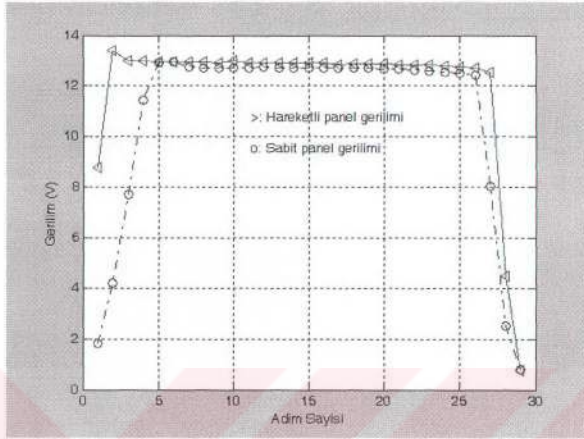


Sekil 6.32 Saat 18:30, Güneşin batışı esnasında her iki panel sisteminin güneyden görünüşü

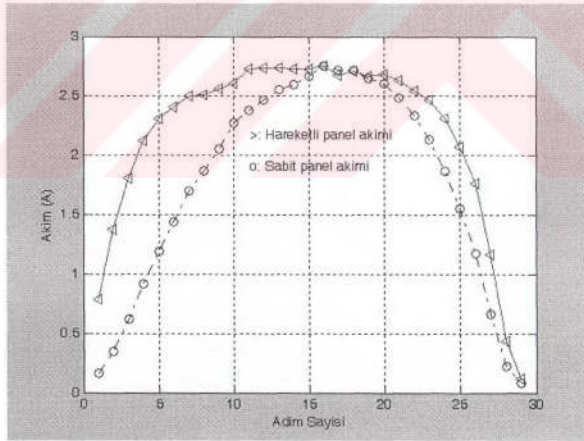
Yukarıda Şekil 6.19 'dan Şekil 6.26 'ya kadar olan grafikler ilgili günün matlab programı ile ortaya çıkan güneşin matematiksel modellenmesindeki açılarının değişimidir. Aynı tarihlerde hareketli ve sabit panelden elde edilen verilerin değişimi, bilgisayardan kaydedilen değerler (güneşli bir gün için) Tablo 6.5 'de ki gibidir. Burada I_1 ve U_1 hareketli panelin akım ve gerilim değerleri, I_2 ve U_2 sabit panelin akım ve gerilim değerleridir. P_1 hareketli panelin gücünü ve P_2 ise sabit panelin gücünü temsil etmektedir.

Tablo 6.5. Güneşli bir gün için bilgisayara kaydedilen veriler tarafından elde edilen hareketli panele ve sabit panele ilişkin akım, gerilim ve güç değerleri ile her bir adım sayısının zamanı

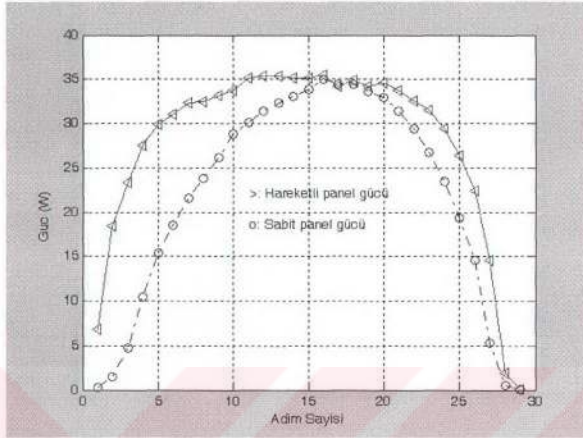
Adım	Saat	dakika	I_1	U_1	I_2	U_2	P_1	P_2
1	7.0000	16.0000	0.7826	8.7871	0.1584	1.8179	6.8770	0.2879
2	7.0000	46.0000	1.3753	13.4057	0.3431	4.1960	18.4369	1.4397
3	8.0000	14.0000	1.8008	12.9812	0.6202	7.7197	23.3766	4.7882
4	8.0000	40.0000	2.1199	12.9812	0.9172	11.4426	27.5192	10.4949
5	9.0000	5.0000	2.3023	12.9683	1.1877	12.9213	29.8569	15.3468
6	9.0000	28.0000	2.4011	12.9554	1.4319	12.9527	31.1070	18.5463
7	9.0000	50.0000	2.4923	12.9554	1.6958	12.7375	32.2882	21.6002
8	10.0000	10.0000	2.5074	12.9426	1.8673	12.7251	32.4528	23.7622
9	10.0000	29.0000	2.5606	12.9297	2.0521	12.7126	33.1083	26.0876
10	10.0000	48.0000	2.5986	12.9940	2.2633	12.7251	33.7667	28.8001
11	11.0000	6.0000	2.7202	12.9297	2.3688	12.7126	35.1714	30.1140
12	11.0000	23.0000	2.7354	12.9297	2.4612	12.7500	35.3679	31.3803
13	11.0000	40.0000	2.7354	12.9168	2.5470	12.7126	35.3327	32.3789
14	11.0000	57.0000	2.7202	12.9168	2.5932	12.7251	35.1364	32.9983
15	12.0000	14.0000	2.7278	12.9040	2.6592	12.7126	35.1995	33.8049
16	12.0000	31.0000	2.7506	12.9040	2.7515	12.7251	35.4936	35.0135
17	12.0000	48.0000	2.6670	12.8397	2.7119	12.7126	34.2435	34.4759
18	13.0000	6.0000	2.7050	12.8911	2.7119	12.7002	34.8705	34.4422
19	13.0000	24.0000	2.6594	12.8782	2.6460	12.7002	34.2486	33.6042
20	13.0000	43.0000	2.6822	12.8654	2.5998	12.6753	34.5077	32.9528
21	14.0000	3.0000	2.6290	12.8397	2.4810	12.6504	33.7557	31.3856
22	14.0000	24.0000	2.5378	12.8268	2.3292	12.6255	32.5524	29.4077
23	14.0000	47.0000	2.4619	12.8139	2.1247	12.6006	31.5461	26.7723
24	15.0000	11.0000	2.3023	12.7753	1.8673	12.5508	29.4126	23.4367
25	15.0000	37.0000	2.0667	12.7496	1.5440	12.5010	26.3502	19.3018
26	16.0000	5.0000	1.7628	12.6981	1.1679	12.4263	22.3844	14.5128
27	16.0000	35.0000	1.1625	12.5566	0.6598	8.0310	14.5976	5.2992
28	17.0000	6.0000	0.4331	4.4900	0.2243	2.5027	1.9446	0.5615
29	17.0000	30.0000	0.1216	0.7591	0.0858	0.7844	0.0923	0.0673



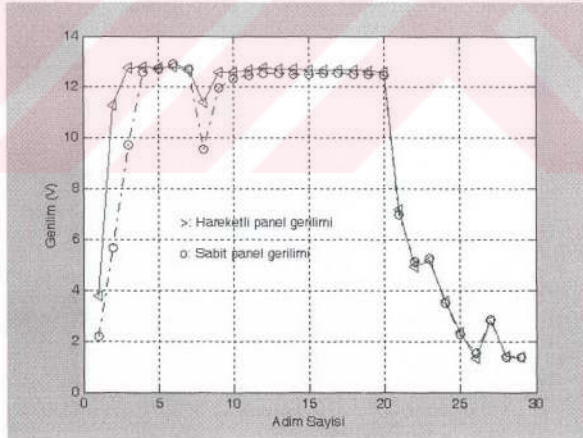
Şekil 6.33 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin gerilim değerleri (güneşli bir gün)



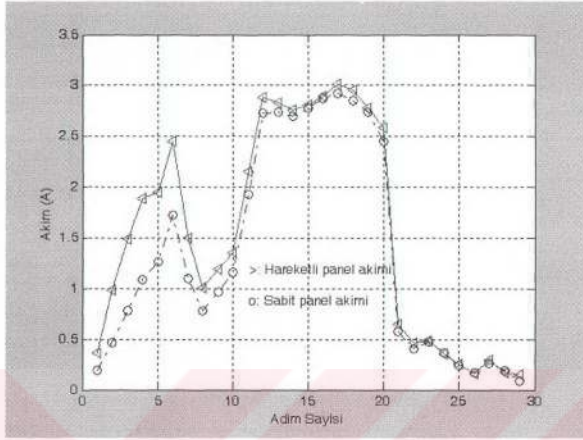
Şekil 6.34 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin akım değerleri (güneşli bir gün)



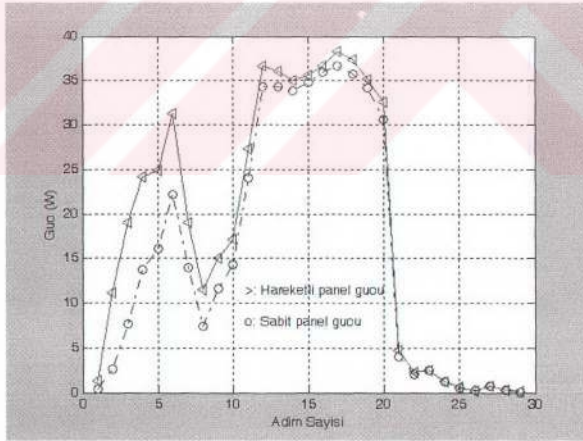
Şekil 6.35 Hareketli (1. Panel) ve Sabit (2. Panel) panelin güçleri (güneşli bir gün)



Şekil 6.36 Hareketli (1. Panel) ve Sabit (2. Panel) panelin gerilim değerleri (bulutlu/güneşli gün)



Şekil 6.37 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin akım değerleri (bulutlu/güneşli gün)



Şekil 6.38 Hareketli (1.Panel) ve Sabit (2.Panel) panelin güçleri (bulutlu/güneşli gün)



Sekil 6.39 Saat 15:30, Hava bulutlu ve bulutlu-günesli olduğu durum

SONUÇ

Çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etkileri bulunan kömür, su, petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları artan nüfus artışı ile birlikte belirli bir süre sonunda tükenecektir. Bu yüzden araştırmacılar, yenilenebilir / alternatif enerji kaynakları üzerine yönelmiştir. Güneş enerjisi bunlardan en önemlisidir. Güneş enerjisinin sürekliliği, bağımsız oluşu, bakım masrafı olmaması, çevreye olumsuz etkisi olmaması ve teknolojik gelişmelere açık olması nedeniyle önemi artmaktadır. Güneşten ısı ve elektriksel olarak faydalanılır. Elektriksel olarak faydalanmak için güneş pilleri kullanılır. Güneş pilleri, üzerine düşen güneş ışığı sonucunda çıkışında d.a. elektrik enerjisi üreten elemanlardır. Güneş ışığının etkisi, deneyin yapıldığı yerin coğrafik şartlarına göre (enlem, boylam) ve mevsimlere göre değişmektedir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafik konumundan dolayı (26-45° Doğu meridyeni, 36-42° Kuzey enlemi) ılıman kuşak üzerinde bulunmaktadır. Güneş enerjisi açısından ülkemiz büyük bir potansiyele sahiptir. Doğu Anadolu Bölgesinin güneşlenme oranı, diğer bölgelere göre oldukça iyidir. Bu enerjiden yeteri kadar faydalanılırsa, mevcut konvansiyel enerji kaynakları daha geç tükenecek ve ekonomik olarak katkı sağlanacaktır.

Bu çalışmada, Elazığ ilinde özdeş iki panelden oluşan, hareketli ve sabit iki güneş pili sistemi kurulmuş; bunların elektriksel verileri ayrı ayrı bilgisayara kaydedilerek, hazırlanan bir yazılım programı tarafından değerlendirilmiştir. Sabit panel, açı hesaplamaları yapılarak uygun sabit bir eğimde yerleştirilmiştir. Hareketli panelde gün içerisinde sabahdan akşama kadar güneşin hareketini takip edecek şekilde bilgisayar yardımıyla kontrol edilmiştir. Hareketli panel güneşi takip edince güneş ışığından maksimum olarak faydalanılmış olur. Gün içerisinde her iki panelden elde edilen veriler bilgisayara eş zamanlı olarak kaydedildikten sonra, bu verilere göre panellerin akım, gerilim ve güç değişimleri grafik olarak çizilmiştir.

Tablo 6.5 ve Şekil 6.33 'den; her iki panelin gün içerisindeki gerilim değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sabahın ilk saatlerinde ve akşamın geç saatlerinde bu değerler arasındaki fark çok az (0,1-0,2 V) olup, diğer zamanlarda hemen hemen birbirine eşittir.

Tablo 6.5 ve Şekil 6.34 incelenmesinden; sabah saatlerinde (07:30-10:30) ve öğleden sonraki 13:30-17:30 saatlerinde, hareketli olan panelin akım değerleri sabit olan panelin akım değerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu fark sabahın ilk saatlerinde %100-150 'den başlayarak öğle saatlerine doğru %1-2 'e kadar düşmektedir. Panel akımları yaklaşık olarak saat 11:00 ile saat 13:00 arasında birbirine çok yakındır. Benzer durum, saat 13:30-17:30 arasında yaklaşık olarak %1-2 'den başlayıp adım adım %60 'ye doğru artmaktadır. Yani sabahın ilk saatlerinde bu değişim oranı bira daha fazla almasına rağmen öğle sonundan akşama kadar olan zamandaki değişimler yaklaşık olarak benzerdir. Eğer bunun ortalaması alınırsa, deneyin yapıldığı

gün içinde yaklaşık olarak %13,25 kadar hareketli panelin (akım değişiminden) sabit panele göre avantajlı olduğu ortaya çıkar. Bu verim deneyin yapıldığı tarihe ve mevsime göre değişebilir. Bu verilerden, hareketli panelin sabit panele oranla yaklaşık olarak %13,25 kadar daha fazla güç ürettiği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 6.36, Şekil 6.37 ve Şekil 6.38 'da bulutlu bir gün için çizilen grafiksel değişimlere göre; her iki panelin gerilim, akım ve güç değerlerinde yaklaşık 8.adım ve 20.adımdan sonra (öğle sonrası daha fazla), bulutlanmaya bağlı olarak düşüş olmuştur. Bulutların etkisi sonucunda panel akımı çok azalmış ve dolayısıyla panel gücü de düşmüştür.

Bu sonuçlardan, hareketli panelin elektrik enerjisi üretimi bakımından sabit panele göre daha üstün olduğu açıkça görülmektedir. Kurulan hareketli panel sisteminin orijinallliği ise; sistemin coğrafik konum değerlerine bağlı olarak güneşin hareketini izlemesidir. Yani sistemin dünyanın herhangi bir yerinde kurulması halinde, güneşi izlemesi için o bölgeye ait enlem ve boylam değerleri ve ilgili tarih ve zaman bilgilerinin sisteme yüklenmesi yeterlidir. Çünkü hareketli sistemin çalışma prensibi, güneşle ilgili matematiksel denklemlere ve açısal hesaplamalara dayanmaktadır. Böylece gün içerisinde hareketli sistem, havanın bulutlu olmasından etkilenmeden o zamana ilişkin güneşin bulunması gereken konumu hesaplamakta ve istenilen konumda durmaktadır. Havadaki bulutun veya çevresel şartların olumsuzluklarından (rüzgar, fırtına, yağış, toz, kirlenme..vb) etkilenmeden, bulunması gereken konumunu koruyacaktır.

Sistemde asenkron motorun kullanılmasının sebebi, büyük güçlü sistemlerde çok sayıda panelin hareketi için ihtiyaç duyulacak gücü sağlamaya yöneliktir.

KAYNAKLAR

1. Cheremisinoff Paul N., Dickinson William C., 1980, Solar Energy Technology Handbook, Part A Engineering Fundamentals, 270 Madison Avenue, New York, 865p.
2. Beckman William A., Duffie John A., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC, Canada, 888p.
3. Messenger Roger, Ventre Jerry, 2000, Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press LLC, Florida, 385p.
4. Karataş, F., 1999, Çatıya Monte Güneş Pilleri İle Ulusal Enerjiye Katkı Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s.
5. Chambouleyron, L., 1996, Photovoltaics in the developing world, Elsevier, Energy, Vol.24, No.5, p385-394.
6. Green, J.M., Wilson, M., Cawod, W., 2001, Maphephe the rural electrification (photovoltaic) programme: the constraints on the adoption of solar home systems, Development Southern Africa, Vol:18, No.1, p19-30.
7. Kuwano, Y., 1998, Progress of photovoltaic system for houses and building in Japan, Elsevier, Renewable Energy, Vol:15, p535-540.
8. Oparaku, O.U., 2002, Assesment of the cost-effectiveness of photovoltaic system for telecommunications in Nigeria, Taylor and Francis, Int.J. of Solar Energy, Vol:22, p123-129.
9. Mathew, Xavier, 2004, Solar cells and solar energy materials: Cancun 2003, Elsevier, Solar energy materials and solar cells, No.82, p1-2.
10. Green, M.A., 2000, Photovoltaics: technology overview, Elsevier, Energy Policy, No.28, p989-998.
11. Samimi, J., Soleimani, E.A., Zabihi, M.S., 1997, Optimal sizing of photovoltaic systems in varied climates, Elsevier, Solar Energy, Vol:60, No:2, p97-107.
12. Eke, R., Kara, O., Ulgen, K., 2003, Optimization of a wind/pv hybrid system for solar energy institute in İzmir, Turkey, IEEEES-1 Proceeding of the First International Exergy, Energy and Environment Symposium, İzmir, Turkey, p441-445.
13. Engin, M., 2003, Sizing photovoltaic-wind hybrid energy system, IEEEES-1 Proceeding of the First International Exergy, Energy and Environment Symposium, İzmir, Turkey, p451-455.
14. Stamenic, L., Smiley, E., Karim, K., 2004, Low light conditions modelling for building integrated photovoltaic (BIPV) systems, Elsevier, Solar Energy, Vol.77, p37-45.
15. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K., 2002, Neural network-based feedforward maximum power point tracking control for IDB converter-supplied pv system, Taylor and Francis, Int.J. of Solar Energy, Vol:89, No:5, p403-420.

16. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K., Voltage-Based Maximum Power Point Tracking Control of PV System, 2002, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Vol. 38, No. 1, p262-269.
17. Kuo, Y.-C., Liang, T.-J., Chen, J.-F., 2001, Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.48, No.3.
18. Hadi, H., Tokuda, S., Rahardjo, S., 2002, Evaluation of performance photovoltaic system with maximum power point (MPP), Solar Energy Materials&Solar Cells, Elsevier Science B.V., solmat:2670, p1-6.
19. Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N.C., 2001, Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No. 1, p46-54.
20. Helwa, N.H., Bahgat, A.B.G., El Shaffee, A.M.R., El Shenawy, E.T., 2000, Maximum collectable solar energy by different solar tracking systems, Taylor and Francis, Energy Sources, No.22, p23-34.
21. Shimizu, T., Hirakata, M., Kamezawa, T., Watanabe, H., Generation Control Circuit for Photovoltaic Modules, 2001, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No.3, p293-300.
22. Ross, J.N., Markvart, T., He, W., 2000, Modelling battery charge regulation for a stand-alone photovoltaic system, UK.
23. Anis, W.R., El-Samahy, E.M., 1995, Microprocessor based load voltage regulator for photovoltaic systems, Egypt.
24. Metwally, H.M.B., Anis, W.R., 1995, Performance analysis of PV pumping systems using switched reluctance motor drivers, Egypt.
25. EC Contractors' Meeting, 1982, Photovoltaic Power Generation: Proceedings of the EC Contractors Meeting held in Brussels, Belgium, 215p.
26. www.eie.gov.tr
27. Maintenance and Operation of Stand-Alone Photovoltaic Systems, 1991, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
28. Anis, W., Nour, A.S., 1995, Energy Losses in Photovoltaic Systems, Energy Convers. Mgmt Vol. 36, No.11, p1107-1113.
29. Mishra, P.R., Joshi, J.C., 1996, Reliability Estimation for components of photovoltaic systems, Elsevier, Energy Convers.Mgmt., Vol.37, No.9, p1371-1382.
30. Rauschenbach, H.S., 1980, Solar cell array design handbook: the principles and technology of photovoltaic energy conversion, Van Nostrand Reinhold Co., New York, p117-132.

31. Roberts Simon, 1991, Solar Electricity: a practical guide to designing and installing small photovoltaic systems, Cliffs, N.J.: Prentice Hall, Englewood, 401p.
32. Cebeci, M., Şenpınar, A., 2005, Güneş Pilleri Yardımıyla Elektrik Üretimi ve Elazığ İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli, Fırat Üniversitesi I.Doğu Anadolu Sempozyumu, 23-25 Mayıs, Elazığ, s202-209.
33. <http://store.solar-electric.com/us-42.html>
34. <http://www.lem.com>
35. www.advantech.com
36. www.orjinsolar.com
37. http://www.acdc.com.tr/fr_Akuler.htm
38. www.xantrex.com
39. www.kcco.co.kr/thalheim.htm
40. www.siemens.com
41. <http://www.yr.com.tr/frame.html>
42. <http://www.femsan.com/ingabout.htm>

ÖZGEÇMİŞ

1973 Ağın-Elazığ doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ 'da tamamladım. 1990-1994 yılları arasında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. Mezun olduktan hemen sonra 1994-1997 yılları arasında Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında, "Güç Merkezi İzolatörlerinde Yüzey Kaçak Akımları için Bir Görüntü ve Uyarı Cihazının Tasarımı" isimli Yüksek Lisans Tezimi tamamladım. 1995 yılında F.Ü. Teknik Bilimler M.Y.O. 'da öğretim görevlisi olarak atandım. 1999 yılında yine Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde Doktora çalışmasına başladım. Halen aynı bölümde öğretim görevlisi olarak çalışmaya devam etmekteyim.

```

//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "driver.h"
#include "math.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include "File1.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
const MaxEntries = 255;
long DeviceHandle;
static PT_MAIConfig ptMAIConfig;
DEVLIST DeviceList[MaxEntries + 1];
DEVLIST SubDeviceList[MaxEntries + 1];
DEVFEATURES DevFeatures;
PT_DeviceGetFeatures ptDevGetFeatures;
PT_AIConfig ptAIConfig;
PT_AIVoltageIn ptAIVoltageIn;
PT_AIGetConfig ptAIGetConfig;
DEVCONFIG_AI Devconfig_AI;
//PT_MAIConfig ptMAIConfig;
PT_MAIVoltageIn ptMAIVoltageIn;
FLOAT fVoltageArray[64];
USHORT usGainCode[64];
USHORT usGainIdx[64];
USHORT usStartChan, usChanNum;
int gnNumOfSubdevices;
int AICtrMode;
long ErrCde;
char szErrMsg[80];
bool bRun;
#define MAX_DEVICES 100
static PT_AOVoltageOut ptAOVoltageOut[2];
static PT_DeviceGetFeatures ptDevFeatures;
USHORT gwDevice = 0, gwSubDevice = 0;
SHORT gnNumOfDevices;
char szBuffer[40];
static LONG DriverHandle = (LONG)NULL;
FLOAT fVoltage[2];
DEVFEATURES lpDevFeatures;
PT_CounterEventStart ptCounterEventStart;
PT_CounterEventRead ptCounterEventRead;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
//-----

```

```

void __fastcall TForm1::cmdExitClick(TObject *Sender)
{
    Application->Terminate();
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    cmdExit->Enabled=true;
    Button1->Enabled=false;
    Button2->Enabled=true;
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)
{
    Button2->Enabled=false;
    int tempNum,i=0,il=0;
    Single voltage[4];
    USHORT overflow;
    ULONG count=0,tilk=0;
    IstDeviceClick(Sender);
    Button1->Tag=0;
    cmdExit->Enabled=false;
    Button1->Enabled=true;
    bRun=true;
    long int say=0;
    int j,bas,bad,bis,bid,n,baz,biz,as,ab,puls,sabah=1,aksam=0,dere=4,ornek=5,ss1,ddl;
    float
    f=38.68,a[1500],ss[1500],d[1500],dd[1500],w[1500],b[1500],c[1500],m[1500],s[1500],t[1500],
    c1[1500],c2[1500],
    c3[1500],k[1500],N[1500],dizi[11]={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
    float m2=0,m1=0,cikis0,t1off,fark,jj=0;
    time_t t1,t2;
    bas=StrToInt(Edit1->Text);
    bad=StrToInt(Edit2->Text);
    bis=StrToInt(Edit3->Text);
    bid=StrToInt(Edit4->Text);
    n=StrToInt(Edit7->Text);
    ListBox1->Clear();
    ListBox2->Clear();
    txtVoltRead->Clear();
    txtCountRead->Clear();
    Label8->Caption="";
    dizi[6]=n;
    m1=hesapla(12.0,00.0,n,&dizi[0]);dizi[9]=dizi[1];dizi[10]=m1;
    for(;;){
        say++;
        if(sabah==1){
            for(int df=0;df<6;df++) dizi[df]=0;
            sabah=0; ab=0; say=0; tilk=count;
            RichEdit1->Clear();
            for(int itr=0;itr<4;itr++) Chart1->Series[itr]->Clear();
            Chart1->UndoZoom();
        }
    }
}

```

```

        ListBox4->Clear();
        ListBox1->Clear();
        ListBox2->Clear();
        txtVoltRead->Clear();
        txtCountRead->Clear();

        fVoltage[0] = 0.0;
        if (gnNumOfSubdevices == 0)
            ErrCde = DRV_DeviceOpen(DeviceList[gwDevice].dwDeviceNum, (LONG far
            *)&DeviceHandle);
        else
            ErrCde = DRV_DeviceOpen(SubDeviceList[gwSubDevice].dwDeviceNum, (LONG far
            *)&DeviceHandle);
        if (ErrCde != SUCCESS)
        {
            strcpy(szErrMsg, "Device open error !");
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Device Open", MB_OK);
            return;
        }
        fVoltage[0] = 0.0;
        ptAOVoltageOut[0].chan = 0;
        ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
        fVoltage[1] = 2.5;
        ptAOVoltageOut[1].chan = 1;
        ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
        ////////////////////////////////////// */
        ptCounterEventStart.counter = 0;
        ptCounterEventStart.GateMode = 0; // "No gating";
        ErrCde = DRV_CounterEventStart(DeviceHandle, &ptCounterEventStart);
        if (ErrCde != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde, szErrMsg);
            Application->MessageBox(szErrMsg, "Error!!", MB_OK);
            return;
        }
        ptCounterEventRead.counter = ptCounterEventStart.counter;
        ptCounterEventRead.overflow = &overflow;
        ptCounterEventRead.count = &count;
        ////////////////////////////////////// */
        baz=bas*60+bad;
        biz=bis*60+bid;
        j=0;
        for (i=bas; i<=biz; i=i+1){
            ss[j]=floor(i/60);
            dd[j]=i-ss[j]*60;
            a[j]=1.0*deklinasyon(n);
            w[j]=zam(ss,dd);
            b[j]=zenit(a,f,w);
            c[j]=90.0-b;
            d[j]=dogus(a,f);
            c1[j]=say1(w,d);
            c2[j]=say2(f,a);
            c3[j]=say3(w);
        }
    }
}

```

```

        k[j]=sazimut(w,a,b);
        m[j]=gunesazimut(c1,c2,k,c3);
        s[j]=gelisaci(a,w);
        t[j]=1.0*egim(b,m);
        N[j]=gunuzunluk(a,f);

j=j+1;
}
t1=time(NULL);
area=localtime(&t1);
if (say%1000==0) RichEdit1->Lines->Add("SAAT : " +FloatToStrF(ss1,ffFixed,2,0)+ " : "+
FloatToStrF(dd1,ffFixed,2,0)+" : "+ FloatToStrF(area->tm_sec,ffFixed,2,0));
puls=absd(m[0])+absd(m[j-1]);
puls=puls*10.0;
dere=StrToInt(Edit5->Text);
ornek=StrToInt(Edit6->Text);
as=puls/(dere);
Label8->Caption="=> Adim Sayısı = "+IntToStr(as);
puls=(puls)/as;
}
if (Button1->Tag==1) break;
Application->ProcessMessages();
t1=time(NULL);
area=localtime(&t1);
ss1=area->tm_hour;
dd1=area->tm_min;
m1=hesapla(ss1,dd1,n,&dizi[0]); dizi[10]=m1;
dizi[0]=dizi[1]; dizi[3]=dizi[2];
if (ss1>=bas && dd1>=bad && ss1<=bis && dd1!=bid){
aksam=1;
if (ab<as)
for(i=0;i<as;i++){
ab=as+1;
dd5:
ErrCde = DRV_CounterEventRead(DeviceHandle, &ptCounterEventRead);
if (ErrCde != 0)
{
DRV_GetErrorMessage(ErrCde, szErrMsg);
Application->MessageBox(szErrMsg, "Error!!!", MB_OK);
return;
}
txtCountRead->Text = IntToStr(count/2);
tilk=count;
fVoltage[0] =0.0;
ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
fVoltage[1] =2.5;
ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
"+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
(LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
{
DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
}

```

```

}
if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
    (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
}
RichEdit1->Lines->Add("Fark = "+FloatToStrF(fark,ffFixed,8,4)+"      m1=
"+FloatToStrF(m1,ffFixed,8,4)+
"      m2=  "+FloatToStrF(m2,ffFixed,8,4)+"      i = "+IntToStr(i)+"      count = "+
"+FloatToStr(count/2)+
"      İLERİ (1) / GERİ (0) ==> "+FloatToStrF(dizi[4],ffFixed,8,4));
if (Button3->Tag==1){
    ornek=StrToInt(Edit6->Text)+1;
    Button3->Tag=0;
}
bekle(ornek);
t1=time(NULL);
area=localtime(&t1);
    if (Button1->Tag==1) break;
if (i%1 == 0) Application->ProcessMessages();
m2=hesapla(ss1,dd1,n,&dizi[0]);
fark=(m2)-(m1);
if (absd(fark)<=dere) goto dd5;
dizi[10]=m1;
m1=m2;
dizi[3]=dizi[2];
il=0;
RichEdit1->Lines->Add(FloatToStrF(ss1,ffFixed,2,0)+" : "+ FloatToStrF(dd1,ffFixed,2,0)+" :
"+ FloatToStrF(area->tm_sec,ffFixed,2,0));
for (;){
    il++;
if (Button1->Tag==1) break;
if (il%1 == 0) Application->ProcessMessages();
ErrCde = DRV_CounterEventRead(DeviceHandle, &ptCounterEventRead);
if (ErrCde != 0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde, szErrMsg);
    Application->MessageBox(szErrMsg, "Error!!", MB_OK);
    return;
}
txtCountRead->Text = IntToStr(count/2);
RichEdit1->Lines->Add("count = "+FloatToStr(count/2)+"      plus =
"+FloatToStr(puls)+ "      il = "+IntToStr(il));
if (absd((count)-tilk)<= 2*puls)
{
    fVoltage[0]=5.0;
    ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
    if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
}

```

```

    }
    fVoltage[1] = 2.5;
    ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
    if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
}

ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
"+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
}
else
{
    ErrCde = DRV_CounterEventRead(DeviceHandle, &ptCounterEventRead);
    if (ErrCde != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, szErrMsg);
        Application->MessageBox(szErrMsg, "Error!!", MB_OK);
        return;
    }
    txtCountRead->Text = IntToStr(count/2);
    fVoltage[0] = 0.0; // voltage;
    ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
    if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
    DC_motor(&dizi[0]);
    if (dizi[4] == 1)
    {
        fVoltage[1] = 5.0;
        ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
"+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
    fVoltage[1] = 2.5;
    bekle(dizi[5]*.588);
    ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
    if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
}

```

```

    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
    if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DriverHandle,
        (LPT_MAIVoltageIn)&ptMAIVoltageIn)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
        return;
    }
    for (int itr=0; itr<4; itr++){
        txtVoltRead->Text = FloatToStrF(fVoltageArray[itr], fFixed, 5, 2);
        ListBox1->Items->Add(FloatToStrF(fVoltageArray[itr], fFixed, 5, 2));
        Chart1->Series[itr]->Add(fVoltageArray[itr]);
    }
}
else
{
    fVoltage[1] = 0.0;
    ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
    if (ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
    fVoltage[1] = 2.5;
    ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
    if (ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
    if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DriverHandle,
        (LPT_MAIVoltageIn)&ptMAIVoltageIn)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
        return;
    }
    for (int itr=0; itr<4; itr++){
        txtVoltRead->Text = FloatToStrF(fVoltageArray[itr], fFixed, 5, 2);
        ListBox1->Items->Add(FloatToStrF(fVoltageArray[itr], fFixed, 5, 2));
        Chart1->Series[itr]->Add(fVoltageArray[itr]);
    }
}
break;

```

```

}
}
dizi[0]=dizi[1];
tilk=count;
}
}
else
{
    bas=StrToInt(Edit1->Text);
    bad=StrToInt(Edit2->Text);
    bis=StrToInt(Edit3->Text);
    bid=StrToInt(Edit4->Text);
    n=StrToInt(Edit7->Text);
    sabah=1;
    if (aksam==1){
        aksam=0;
    }
    int pul1,say;
    float gec,m0,m11;
    time_t t1;
    struct tm *area;
    for (int df=0;df<6;df++) dizi[df]=0;
    t1=time(NULL);
    area=localtime(&t1);
    gec=((24-area->tm_hour)+bas)*3600+((60-bid)+bad)*60+area->tm_sec;
    m0=hesapla(bas,bad,n,&dizi[0]);
    m11=hesapla(area->tm_hour,area->tm_min,n,&dizi[0]);
    pul1=360-(absd(m0)+absd(m11));
    ListBox4->Items->Add("Akşam oldu " +IntToStr(pul1)+" " +FloatToStr(pul1));
    pul1=(pul1*1000.0*24);
    ListBox4->Items->Add("Akşam oldu " +IntToStr(pul1)+" " +FloatToStr(pul1));
    FILE *f;
    f=fopen("c:\\veri2.dat","wb");
    for (int itr1=0;itr1<=Chart1->Series[0]->LastValueIndex;itr1++){
        for (int itr=0;itr<4;itr++){
            fprintf(f,"%f\t",Chart1->Series[itr]->YValue[itr1]);
        }
        fprintf(f,"\r\n");
    }
    fclose(f);

    say=count;
    for (;;) {
        Application->ProcessMessages();
        ErrCde = DRV_CounterEventRead(DeviceHandle, &ptCounterEventRead);
        if (ErrCde != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde, szErrMsg);
            Application->MessageBox(szErrMsg, "Error!!", MB_OK);
            return;
        }
        txtCountRead->Text = IntToStr(count/2);
        if (absd(count-say)<2.0*pul1) {
            fVoltage[0] =5.0;// voltage;
            ptAOVVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
        }
    }
}

```

```

        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }

    if (absd(count-say)>=2*pul1) {
        ListBox4->Items->Add("puls = " + IntToStr(pul1*2)+" => " + "count="
            "+FloatToStr(absd(count-say)));
        fVoltage[0] =0.0;// voltage;
        ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }
    DC_motor(&dizi[0]);
    if (dizi[4]==1)
    {
        fVoltage[1] =5.0;
        ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
        "+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
        ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
        "+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
    }
    else
    {
        fVoltage[1] =0.0;
        ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
        ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], ffFixed, 5, 2)+"
            "+FloatToStrF(fVoltage[1], ffFixed, 5, 2));
        if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
            (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
        }
    }
}

```

```

    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+"
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
    ptAOVoltageOut[1].OutputValue = fVoltage[1];
    if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
        (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[1])) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
    }
    ListBox2->Items->Add(FloatToStrF(fVoltage[0], fFixed, 5, 2)+"
"+FloatToStrF(fVoltage[1], fFixed, 5, 2));
}
break;
}
}
fVoltage[0] = 0.0;
ptAOVoltageOut[0].OutputValue = fVoltage[0];
if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle,
    (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut[0])) != 0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
    Application->MessageBox((LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message AO", MB_OK);
}
}

```