



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI: GÜNEŞ ENERJİSİ
VE GÜNEŞ PİLLERİ**

Mihail GROZDEV
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Prof.Dr. Ayten KUNTMAN

Mayıs, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 11/05/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik – Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı Elektrik – Elektronik Mühendisliğı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Danışman Adı (Danışman)
Prof. Dr. Ayten KUNTMAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Prof. Dr. Sıddık YARMAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri adı
Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Prof. Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri adı
Doc. Dr. Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ayten KUNTMAN' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi' ne teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2010

Mihail GROZDEV

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEŞİTLERİ.....	3
2.2. RÜZGAR ENERJİSİ.....	4
2.3. HİDROELEKTRİK ENERJİ.....	5
2.4. NÜKLEER ENERJİ.....	6
2.5. BİYOYAKIT.....	7
2.6. JEOTERMAL ENERJİ.....	8
2.7. OKYANUSTAN ENERJİ ÜRETİMİ.....	9
2.7.1 Dalga Enerjisi.....	10
2.7.2. Gelgit Enerjisi.....	11
2.7.3. Okyanus Isı Enerjisi.....	11
2.7.4. Metan Gazı.....	11
2.8. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	12
2.8.1. Güneş.....	12
2.8.2. Dünyanın Güneşten Etkilenmesi.....	13
2.8.3. Güneş Enerjisinden Yararlanma.....	13
2.9. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	15
2.9.1. N Jonksiyon.....	15
2.9.2. P Jonksiyon.....	15

2.9.3. P - N Jonksiyon.....	16
2.10. FOTOVOLTAİK HÜCRE ÜRETİMİ.....	18
2.10.1. Güneş Pili Yapısında Kullanılan Silisyum Tipleri.....	19
2.11. GÜNEŞ PİLİ HÜCRESİNİN DEVRE ŞEMALARI.....	21
2.12. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ.....	22
2.13. GÜNEŞ HÜCRENİN VE PANELİNİN I-V KARAKTERİSTİKLERİ....	24
2.14. PV SİSTEMLERDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	27
2.15. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİ UYGULAMALARI.....	31
2.15.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler.....	31
2.15.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler.....	32
2.16. GÜNEŞ PANELİNİN ÇALIŞMASINI ETKİLEYEN UNSURLAR.....	32
2.16.1. Gölgeleme.....	32
2.16.2. Güneş Açıları.....	33
2.16.3. Hava Kütleli (AM) ve Güneşlenme Süresi (PS) Açıklamaları.....	37
2.17. GÜNEŞ PANELİ ÜZERİNDEKİ İŞİMA MİKTARININ MAKSİMUM YAPILMASI.....	38
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	40
3.1. GÜÇ TALEBİ.....	40
3.2. GÜNEŞ PANELİ SEÇİMİ.....	40
3.3. ENERJİ SARFIYATININ HESABI.....	41
4. BULGULAR.....	48
4.1. HESAPLAMALAR.....	48
4.2. MONTAJ KURULUM ELEMANLARI VE PV SİSTEMİNİN MALİYETİ.....	51
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR.....	56
EKLER.....	58
EK - A: GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİ.....	58
EK - B: SİSTEM KABLOLANMASI ÖRNEĞİ.....	59
EK - C: ELEKTRİK BAĞLANTILARI.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Rüzgâr sisteminin temel elemanları.....	5
Şekil 2.2	: Hidro enerji santrali.....	6
Şekil 2.3	: Nükleer reaktörünün çalışma prensibi.....	7
Şekil 2.4	: Biyoyakıt tohum bitkileri.....	8
Şekil 2.5	: İdeal bir jeotermal sisteminin şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.6	: Entegre jeotermal değerlendirme.....	9
Şekil 2.7	: Dalga enerjisi jeneratörü.....	10
Şekil 2.8	: Güneş.....	12
Şekil 2.9	: Dünya yüzeyine düşen teorik yıllık ortalama güneş ışığı miktarı.....	13
Şekil 2.10	: Parabolik çanak kolektörler.....	14
Şekil 2.11	: Merkezi alıcı güneş termoelektrik santrali.....	14
Şekil 2.12	: Antimon ilave edilmiş N-tipi yarı-iletken.....	15
Şekil 2.13	: Bor ilave edilmiş P tipi yarıiletken.....	16
Şekil 2.14	: Silisyuma Bor ve Fosfor ilave edilmiş P-N tipi yarıiletken.....	16
Şekil 2.15	: Elektron-hol çift oluşması.....	18
Şekil 2.16	: Güneş pili hücresi (Solar Cells) yapısı.....	18
Şekil 2.17	: Bir güneş hücresi.....	19
Şekil 2.18	: Güneş ışığının hücre yüzeyine düşmediği an için eşdeğer devre şeması..	21
Şekil 2.19	: Güneş ışığının hücre yüzeyine düştüğü ana ait yedekleme devre şeması..	22
Şekil 2.20	: Birbirine seri olarak bağlı 3 adet güneş hücresinin şeması.....	23
Şekil 2.21	: Birbirine paralel olarak bağlı 3 adet güneş hücresinin şeması.....	23
Şekil 2.22	: Güneş panelleri ve tipleri.....	23
Şekil 2.23	: Solar Dizisi oluşturulması.....	24
Şekil 2.24	: Hücredeki/paneldeki açık, kısa devre ve yüklü bağlantı.....	25
Şekil 2.25	: PV hücrenin I-V karakteristiği.....	25
Şekil 2.26	: PV panelin I-V karakteristiği.....	26
Şekil 2.27	: PV hücrenin ve panelin üzerine düşen ışık enerjisine göre I-V karakteristiği.....	26
Şekil 2.28	: Sıcaklığın kristal silikon PV hücrenin ve panelinin IV eğrisine olan etkisi.....	27
Şekil 2.29	: Sabit ışınımında farklı sıcaklıklarda PV panelinin voltaj ve güç değişimi...	27
Şekil 2.30	: PV sisteminin temel elemanları.....	28
Şekil 2.31	: Akü grubu.....	28
Şekil 2.32	: Şarj kontrol cihazının bağlantı şekli.....	29
Şekil 2.33	: Sinüs dalgalı invertör.....	30
Şekil 2.34	: Şebeke bağlantılı sistemler.....	32
Şekil 2.35	: Belirli bir engele göre referans noktasının hesaplanması.....	33
Şekil 2.36	: Yılın farklı zamanlarındaki deklinasyonu ve Dünyanın yörüngesi.....	34
Şekil 2.37	: Yazın ve kışın öğle saatinde θ_z , δ ve \emptyset açısı arasındaki ilişki.....	35
Şekil 2.38	: Güneşle ilgili açılar.....	36
Şekil 2.39	: Hava kütlesi.....	37
Şekil 2.40	: Güneşlenme Süresi (PS) grafiği.....	38
Şekil 2.41	: Sabit bir güneş panelinin optimum montajı.....	38
Şekil 2.42	: Deklinasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi.....	39
Şekil 3.1	: Solera GP 150/12.....	41
Şekil 3.2	: PV sisteminin temel elemanlarının verimlilikleri.....	42

Şekil 4.1	: Güneş panellerin sehpa da yerleşimi.....	51
Şekil 4.2	: 8 panelli sehpa.....	52
Şekil 4.3	: Güneş paneli bağlantı aparatı – aç ı ayarı.....	52
Şekil 4.4	: Sehpaların arka arkaya yerleşimi.....	52
Şekil 4.5	: PV panellerinin çatıda yerleştirilmesi.....	53
Şekil 4.6	: Akü kutusu.....	53

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Farklı tipteki akülerin teknik bilgileri.....	28
Tablo 2.2	: Farklı tipteki çeviricilerin karşılaştırılması.....	31
Tablo 3.1	: Ev aletlerinin enerji tüketimi	40
Tablo 3.2	: PV panelinin özellikleri	41
Tablo 3.3	: Aylık güneşlenme süresi	45
Tablo 3.4	: Seçilmiş olan akü parametreleri.....	46
Tablo 4.1	: Kurulmuş PV sisteminin temel elemanlarının fiyatları.....	53

SEMBOL LİSTESİ

TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
PV	:Photo Voltaic – güneş pilleri
N	:N tipi yarıiletken
P	:P tipi yarıiletken
I_{p1}	:deliklerin oluşturduğu akım
I_{p2}	:azınlık deliklerin oluşturduğu akım
I_{n1}	:elektronların oluşturduğu akım
I_{n2}	:azınlık elektronların oluşturduğu akım
E_y	:yasak enerji
U_d	:diyotun oluşturduğu gerilim
I₀	:ışık olmadığı zaman diyotun sızma akımının yoğunluğu
q	:elektrik yükü (1.602x10 ⁻¹⁹ Coulomb)
n	:idealite faktörü
K	:Boltzman sabiti (1.380x10 ⁻²³ Joule/K)
T	:hava sıcaklığı (Kelvin)
I_{ph}	:fotoakım
U, V	:uygulanan gerilim
R_s	:seri direnç
R_p	:paralel direnç
I_{sc}	:kısa devre akımı
U_{oc}, V_{oc}	:açık devre gerilimi
P_{mpp}	:gücün maksimum noktası
I_{mpp}	:akımın maksimum noktası
U_{mpp}, V_{mpp}	:gerilimin maksimum noktası
W_p	:hücrenin veya panelin üretebileceği maksimum güç
AM	:Hava Kütlesi
DC	:doğru akım
AC	:alternatif akım
Ø	:enlem (latitude of the location)
δ	:Güneş deklinasyon eğim açısı (solar declination angle)
Θ_z	:Güneşin zenit açısı (solar zenith angle)
ω	:saat açısı
α_s	:güneş yükseklik açısı (solar altitude angle)
Θ	:güneş geliş açısı
γ	:yüzey PV azimut açısı (azimuth of PV generator)
γ_s	:güneşin azimut açısı (solar azimuth angle)
β	:Foto Voltaik kolektör eğim açısı (tilt/altitude angle of PV generator)
η_{pv}	:PV verimliliği
η_{bat}	:batarya verimliliği
η_{inv}	:invertör verimliliği
η_{AC}	:AC yükler için sistem verimi
η_{DC}	:DC yükler için sistem verimi
P_{AC}	:günlük AC gücü
P_{DC}	:günlük DC gücü
E_L	:PV sisteminin günlük enerji ihtiyacı
I_L	:PV sisteminin ortalama yük akımı

T_c	:PV sisteminin günlük çalışma saati
I_{PV}	:PV sisteminin yük akımı
N_P	:paralel bağlı panel sayısı
SF	:Sizing Factor
N_S	:seri bağlı panel sayısı
N	:toplam panel sayısı
W_{PV}	:toplam PV gücü
E_{BAT}	:batarya kapasitesi
CD	:kapalı günlerin sayısı (close days)
DOD	:bataryanın boşaltma derinliği (Depth of Discharge)
I_{bat}	:bataryanın amper-saat kapasitesi
$I_{akü}$:akünün amper-saat kapasitesi
$V_{akü}$:akünün gerilimi
$N_{pakü}$:paralel bağlı akü sayısı
$N_{sakü}$:seri bağlı akü sayısı
$N_{akü}$:toplam akü sayısı
$W_{akü}$:akü gücü
$W_{topakü}$:toplam akü gücü
W_{inv}	:invertör gücü
$I_{şarjregmaks}$:şarj regülatörünün maksimum akımı
$I_{sigpanreg}$:panel ile şarj regülatörün arasındaki sigorta değeri
I_{invsig}	:invertörün sigorta değeri

ÖZET

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI: GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ PİLLERİ

Alternatif enerji kaynaklarına olan talebin giderek artması, enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan güneş, rüzgar, biokütle gibi enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını ön plana çıkartmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının yaygın olduğu bölgelerde enerji üretimi üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde, güneşten elde edilen elektrik, büyük şehirlerin yanı sıra yeryüzünün en ücra bölgelerinde yaşayan insanlara hizmet etmektedir.

Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Genel olarak, bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında hem sahip olduğu mevcut potansiyel hem de üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yeri olan güneş kaynaklı üretim sistemleri ve bu sistemlerinin çevresel etkileri incelenmiş, muhtemel olumsuz etkilerin minimize edilmesi veya ortadan kaldırılmasına yönelik bazı değerlendirme ve önerilerde bulunulmuştur. Örnek olarak da bir güneş kaynaklı üretim sisteminin hesaplaması verilmiştir.

SUMMARY

ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES: SOLAR ENERGY AND SOLAR CELLS

Ever-growing increase in the demand for the alternative power resources has given rise to the issue of effective use of such power energy like sun, wind, biomass that are utilized to meet the demand to the electricity. The concerns on and search for the use of existing alternative power resources within potential areas are under progress.

Today, the electricity generated out of solar energy sun is made available to the disposal of those rural inhabitants, let alone potentials for the urban settlements.

This thesis is on the assessment of potential renewable power resources. In general, the study is conducted on the power generation systems from the solar power, together with its imminent environmental effects, as well as means to minimize or eliminate completely the undesirable influences upon implementation the power plant thereof and recommendations are provided, since solar power is among the prominent power resources in regard to its potentiality and practical improvement in the generation technologies achieved so far. The sample calculation on the power generation out of the sun power is also provided.

1. GİRİŞ

Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtların gerek çevreye verdikleri zararlar gerekse kaynaklarının sınırlı oluşu, ALTERNATİF enerji kaynakları arayışına sebep olmuştur. Çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, ulusal kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılarak ülkelerin enerji kaynakları arz güvenliğinin sağlanması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı' na göre, bu tip alternatif enerji, sürekli olarak tekrarlanan doğal süreçlerin ürünü olup yenilenebilir enerji adını almıştır [1]. Bu enerji kaynakları, çok farklı şekillerde doğrudan veya dolaylı, güneşten veya yer kabuğunun derinliklerinden bulunabilir. Çok eski çağlardan beri bu kaynaklardan, su pompalanmasında, tahılların öğütülmesinde, kurutmada, ısıtmada ve yelkenli gemilerde faydalanılmaktadır.

Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi, sonsuz ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır.

Enerji kaynağı olarak güneş, yerel yönetimler, yerleşme girişimlerine ve enerji bağımsızlığı çabalarına fırsatlar sunmaktadır. Bu fırsatlar sürdürülebilirlik, çevre koruma, enerjide arz güvenliği ve enerji bağımsızlığı gibi çok daha sağlam temeller üzerine oturmuştur.

Güneş enerji kaynağı elektrik elde edilmesinde en yaygın kullanılan teknoloji olan fotovoltaik teknolojisi, dünya ölçeğinde büyük bir hızla büyüyen bir pazar hacmine sahiptir. Fotovoltaik veya PV (photo voltaic) piller ışığı elektriğe dönüştürür. "Photo" sözcüğü Latince ışık anlamına gelen "phos" sözcüğünden türemektedir. "Volt" sözcüğü de elektrik araştırmalarının öncülerinden biri olan Alessandro Volta (1745-1827) adından alınmıştır. Dolayısıyla "Foto Voltaik", kelime anlamı ile "ışık - elektrik"

anlamına gelmektedir. Yaygın biçimde “solar hücreler” olarak bilinen PV sistemleri çoktan yaşamımızın önemli bir parçası olmuştur. En basit uygulama ile günlük olarak kullandığımız küçük hesap makineleri ile kol saatleri enerjilerini bu hücrelerle sağlarlar.

Farklı teknolojiler içeren fotovoltaikler, gün geçtikçe mühendisler tarafından geliştirilmektedir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEŞİTLERİ

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjilerdir. En genel olarak, yenilenebilir enerji kaynağı; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tanımlanır.

Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen ve konvansiyonel enerji kaynaklarından çevreye en az zarar veren kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her biri çeşitli uygulamalar için özel avantajlara sahiptir. Bu kaynakların hiçbiri işlemleri boyunca ne sıvı ne de gaz olarak kirlilik oluşturmazlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir diğer önemli yanı, yeni iş alanları yaratmasıdır.

Modern yenilenebilir enerji çeşitleri şunlardır:

- Rüzgâr
- Hidroelektrik
- Nükleer
- Biyoyakıt
- Jeotermal
- Okyanus kaynakları enerjisi.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında pasif (direkt, doğrudan) ve aktif (endirekt, dolaylı) olmak üzere iki sistemden yararlanılmaktadır. Direkt kullanım örnekleri, jeotermal ısıtma, su veya rüzgâr değirmenleridir. Bu örneklerde ısıtma ve soğutma maliyetleri önemli oranlarda azaltılarak enerji korunumu sağlanabilir. Endirekt (aktif) sistem ise güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik ve ısı enerjisi elde etmek amacıyla yapıya bütünleşmiş edilen mekanik donanımlarla sağlanmaktadır. Örnek olarak, elektrik üretiminde kullanılan rüzgâr türbinleri veya fotovoltaik piller verilebilir.

Yenilenebilir enerji, ücretsiz enerji olarak kategorize edilebilse de, çoğu yenilenebilir enerji kaynağına normalde ücretsiz enerji denemez. Mühendislikte, ücretsiz enerji ile

kastedilen direkt olarak doğadan elde edilebilen ve insanlar tarafından tüketilmesi mümkün olmayan enerjidir.

2.2. RÜZGAR ENERJİSİ

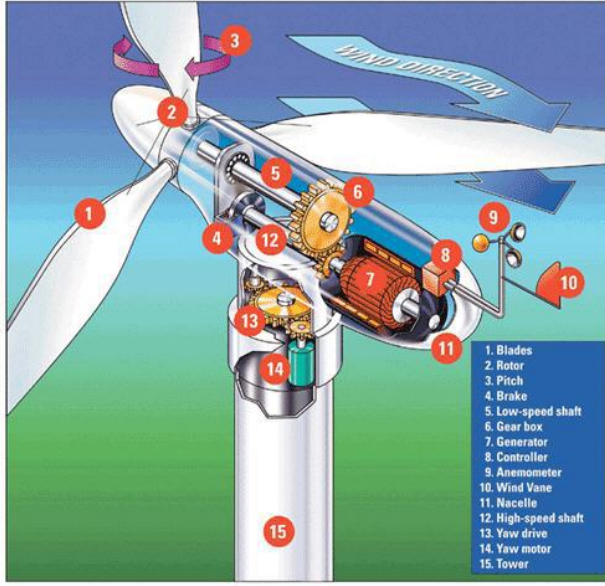
Rüzgâr enerjisi insanlığın ilk keşfettiği enerjilerden biridir [2]. Yüzyıllardan beri rüzgâr enerjisi gemilerde yelkenler vasıtasıyla itme kuvveti olarak kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi ise o kadar eski değildir, ama günümüzde enerji sektörünün en genç ve hızlı büyüyen enerji türüdür.

Rüzgâr enerjisi güvenilir, temiz ve her şeyden önce sonsuz bir kaynak olması sebebiyle, dünya ölçeğinde çok önemli ve güçlü bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinde üretim maliyetlerin son 15 yılda %50 düşmesi bugün bu enerjiyi üretmeyi cazip hale getirmiştir.

Bugün modern rüzgâr türbinlerinin kurulu güçleri, verimlilikleri ve güvenilirlikleri yeni teknolojiler sayesinde çok hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir. Dünyada rüzgâr enerjisi ile ilgili gelecek vaat eden beklentiler hâkimdir. Konvansiyonel senaryolara göre 2003 yılındaki 40 GW'lık rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2012 yılında 4 kat artarak 160 GW'a yükselmesi bekleniyor. Gelecek 10 yılda ise bütün dünyadaki ülkelerin rüzgâr enerjisine ve yenilenebilir alternatif enerjiler üzerine daha fazla yatırım yapması beklenmektedir.

Dünyada rüzgârdan enerji üretiminin %36.3'ü Almanya'da gerçekleştirilmektedir. Almanya toplamda 14,612 MW güç üretmektedir ve Almanya'nın elektrik enerjisi ihtiyacının %5.6'sını karşılamaktadır. Rüzgâr gücünden en çok yararlanan diğer ülkeler sırasıyla İspanya, ABD, Danimarka, Hindistan, Hollanda, İtalya, Japonya, Birleşik Krallık ve Çin'dir. Diğer tüm ülkeler toplamda 3,756 MW'lık güç üretimi ile %9.3'lük paya sahiptirler.

Aşağıda Şekil 2.1'de rüzgar sisteminin temel elemanları gösterilmektedir [3].



1. Kanatlar
2. Rotor
3. Eğim
4. Fren Sistemi
5. Düşük Hız Saftı
6. Dişli Kutusu
7. Elektrik Jeneratörü
8. Kontrol Sistemi
9. Anemometre
10. Rüzgâr Yön Sensörü
11. Kapota
12. Yüksek Hız Saftı
13. Pivot Sürücü
14. Pivot Motoru
15. Kule

Şekil 2.1: Rüzgâr sisteminin temel elemanları

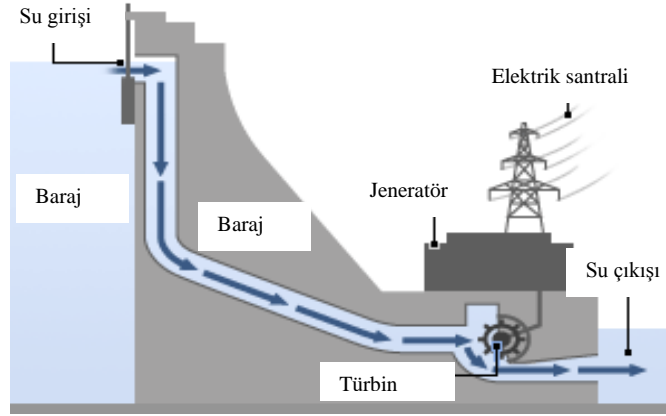
Dönen kanatlar arasından gelen hava akımının kinetik enerjisi rotor sayesinde jeneratörü döner harekete geçirir. Rotor üzerinde 2 - 3 kanat (genellikle 3 kanat) bulunur. Rotor kanatlarının yakaladığı rüzgârla döner ve jeneratör elektrik üretir. Kanatlar değişik boyutlarda olabilir. Bugün kullanılan en büyük kanat çapı 50 metredir. Jeneratör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Türbinden elde edilecek enerji miktarının en iyi göstergesi rotorun süpürdüğü alanı belirleyen rotor çapıdır.

2.3. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Hidro enerji, suyun düşüşünden yararlanılarak elde edilen elektrik gücüdür. Güç istasyonunun dağlık bölgelerde kurulması ve elektriğin uzak yerlere iletilmesi gerektiği durumlarda dahi yine de ucuza gelir, çünkü yakıt olarak kullanılan su bedavadır. Ayrıca işletme masrafları da düşüktür.

Su gücü bazen doğal şelaleden sağlanır. Ama çoğunlukla su gücü elde etmek için barajlar yapılır. Kurulan baraj ayrıca çevresine içme, kullanma ve sulama suyu sağlar. Yüksekten düşen su, bir türbini, bu da bir jeneratörü çalıştırır. Türbinleri ve jeneratörleri içeren hidroelektrik santrali ya barajın tabanında ya da belli uzaklıkta kurulur. Şekil 2.2 bir hidroelektrik enerji santrali şemasını göstermektedir. Su borular ya da tünellerle iletilir. Hareket eden su türbinlere çarpar ve türbin dairesel olarak odak noktası

ekseninde dönmeye başlar. Türbinlerdeki mekanik enerji alternatör (ya da çevirici) adı verilen araçlar yardımıyla alternatif akıma dönüştürülür.



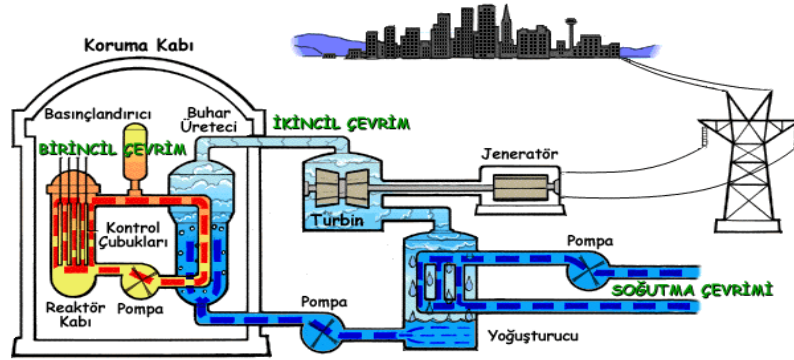
Şekil 2.2: Hidro enerji santrali

Alternatörlerin ürettiği akımın frekansı şehir şebekesine uygun 50 Hertz olarak ayarlanır. Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine yaklaşık %23 oranında katkıda bulunmaktadır [4]. Hidroelektrik santralleri ile enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında kullanılabilir hidroelektrik kapasitenin büyük bir bölümü hali hazırda kullanılmaktadır. Son zamanlarda gel - git hareketlerinden yararlanarak hidroelektrik elde etme girişimlerinde bulunmaktadır.

2.4. NÜKLEER ENERJİ

Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon - parçalanma) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon - birleşme) sonucu çok büyük bir miktarda enerji açığa çıkar [5]. Bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık filyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır (birkaç milyon derece santigrat). Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır. Bir nükleer santraldeki sistemler konvansiyonel güç santralleri ile aynı mantıkla çalışırlar. Isı enerjisinin üretildiği kısımda elde edilen buharın türbin - jeneratörü döndürerek elektrik üretmesi felsefesi, temel olarak nükleer santrallerde de aynıdır. Nükleer santraller ısı üretmek için nükleer reaksiyonu kullandıkları ve bunun sonucunda çevreye salınmaması gereken radyoaktif maddeler ürettikleri için, bazı ek

sistemler kullanılır. Örneğin, birçok nükleer santralde nükleer yakıtı barındıran yakıt tüpleri arasından ısınarak geçen su, doğrudan türbine gönderilmeyip, türbin için buhar üretilen ikinci bir çevrimi ısıtmak amacı ile kullanılır. Bununla ilgili sistemlere Birincil Soğutma Sistemi adı verilir (Şekil 2.3 bunu göstermektedir). İkincil sistem ise Birincil soğutma sistemindeki ısıyı alarak türbin - jeneratörü döndürmek üzere gerekli olan buharın üretilmesinde kullanılan sistemdir. Her iki sistem de kapalı birer döngü oluşturmuşlardır.



Şekil 2.3: Nükleer reaktörünün çalışma prensibi

Nükleer santraller, birincil sistemlerindeki farklılıklara göre değişik şekillerde adlandırılırlar. Dünyadaki 400' den fazla sayıda nükleer santralin yaklaşık olarak yarısı basınçlı su reaktörüdür. Basınçlı su reaktörlerinde, Birincil sistem yaklaşık 150 atmosferlik bir basınç altında tutularak, içinde bulunan suyun yüksek sıcaklıklara kaynamadan çıkarılması sağlanmıştır. Buna ek olarak "kaynar sulu", "basınçlı ağır sulu" reaktörler de en çok kullanılan nükleer santral tipleridir.

2.5. BİYOPYAKIT

Biyoyakıt ya da biyodizel, mısır, soya, kolza - kanola gibi (Şekil 2.4) yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür.

Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Genel olarak biyodizel standart dizel yakıtına alternatif veya ek olarak kullanılabilir, petrol yerine biyolojik içerikten yapılmış bir yakıttır. Biyodizel çeşitli kimyasal reaksiyonlardan geçirilmiş bitki yağlar veya hayvan yağlarından üretilir.



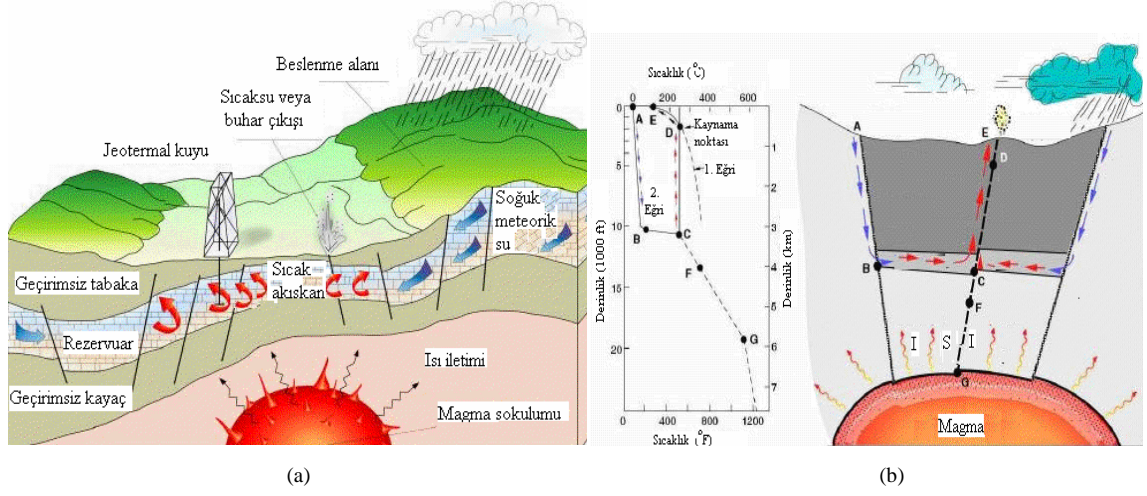
Şekil 2.4: Biyoyakıt tohum bitkileri

Bu iki kaynakta toksik değildir ve yenilenebilir. Biyodizel güvenlidir ve dizel motorlarda ya çok küçük bir değişikliğe ihtiyaç duyarak ya da hiçbir değişikliğe ihtiyaç duymadan kullanılabilir.

2.6. JEOTERMAL ENERJİ

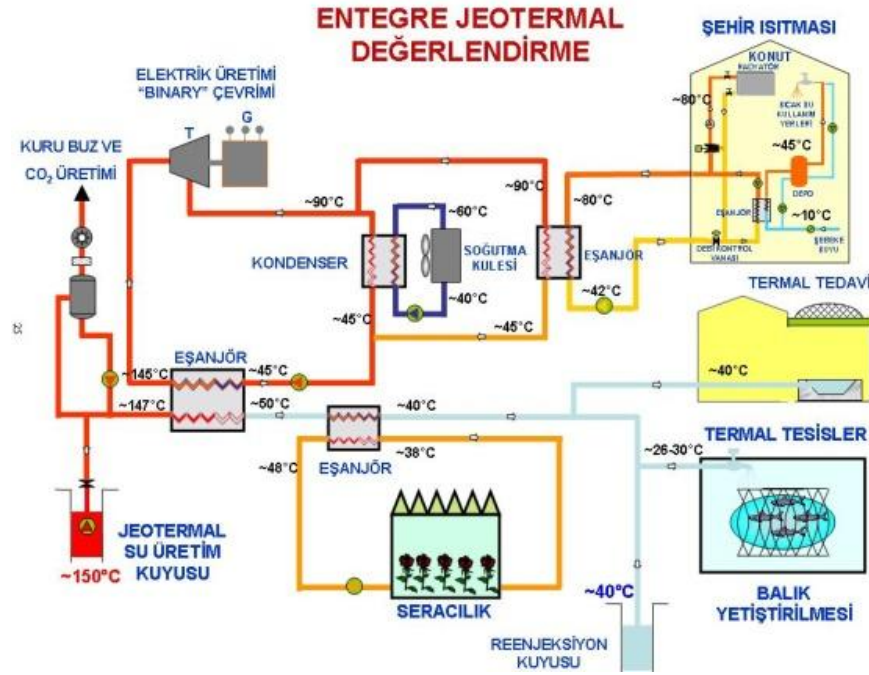
Jeotermal (jeo - yer, termal - ısı anlamına gelir) yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji de bu jeotermal kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan Uranyum (U238, U235), Toryum (Th232) ve Potasyum (K40) gibi radyoaktif maddelerin bozunması sonucu sürekli olarak ısı üretmesi prosesinin, jeotermal enerjinin kaynağıdır. Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Şekil 2.5.a' da orta sıcaklıklı jeotermal sistemdeki mekanizma basitçe gösterilmektedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişmesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konveksiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir. Jeotermal sistem modeli (Şekil 2.5.b) 1. eğri saf suyun kaynama noktasını, 2. eğri ise A noktasından beslenen, E noktasından boşalan suyun devir daim sıcaklık profilini göstermektedir [6]. Jeotermal kaynaklar ile elektrik enerjisi üretimi merkezi ısıtma, merkezi soğutma, sera ısıtması vb.

ısıtma/soğutma uygulamaları, süreç ısısı temini ve mineraller içeren içme suyu üretimi gibi uygulama ve değerlendirme alanlarında kullanımlar gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.5: İdeal bir jeotermal sisteminin şematik gösterimi: (a) mekanizması, (b) modeli

Bu tip uygulamalar ve değerlendirmeler Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Entegre jeotermal değerlendirme

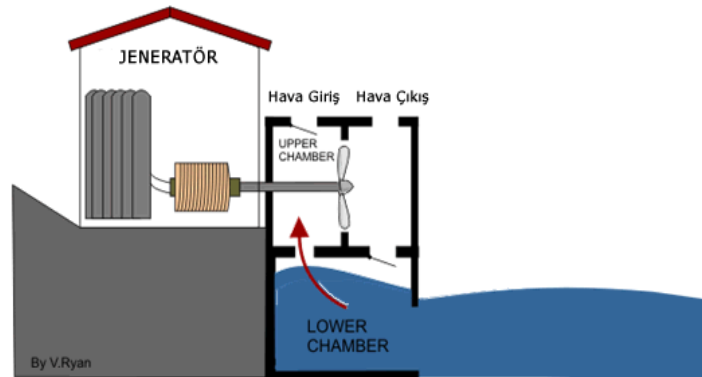
2.7. OKYANUSTAN ENERJİ ÜRETİMİ

Dünyaya bakılırsa, karadan çok suyla kaplı olduğu görülür. Rakamlarla ifade edilecek olursa dünyanın %70' i sularla kaplıdır. Okyanuslar çok büyük miktarda güneş enerjisi biriktirmektedir. Eğer bu enerjinin sadece binde biri elektriğe dönüştürülebilseydi,

Amerika' nın enerji ihtiyacının yirmi katı kadar elektrik elde edilebilirdi. Okyanus enerjisi aynı zamanda hiçbir çevre kirliliğine yol açmayan, tükenmeyecek bir kaynaktır. Okyanuslardan enerji elde etmenin çeşitli yolları vardır: gelgitler, okyanus ısı, dalgalar, akıntılar, tuzluluk oranı, metan gazıdır. Avrupa Birliği yetkililerinin hesaplamalarına göre, 2012' de okyanus enerji kaynaklarından 1 milyon evin enerji ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretilebilecektir.

2.7.1. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi aslında güneş enerjisinin bir başka formudur [7]. Dalgalar güneşin dünyayı ısıtmasıyla ortaya çıkan rüzgârlar tarafından başlatılır. Dünyanın geometrik yapısı nedeniyle Güneş dünyanın her noktasını aynı şekilde ısıtmaz. Bazı bölgeler ısıyı daha iyi bir açıyla alır ve diğer yerlerden fazla ısınır. Isındıkça yoğunluğu azalır, hafifler ve yukarı çıkar. Isınan havanın terk edip boşalttığı yere daha yoğun ve soğuk olan hava çöker. Bu hava dolaşımı rüzgârı oluşturur. Su yüzeyi boyunca hızla esen rüzgâr sürtünme nedeniyle küçük dalgalanmalara da neden olur. Bu küçük dalgacıklar devam eden rüzgâr boyunca çığ gibi büyüyerek daha büyük dalgaları oluştururlar. Yani temel olarak güneş enerjisini rüzgâra, rüzgârda dalgaya dönüşüyor. Böylece dalga enerjisi suyun muazzam kuvvetinden insanın faydalanabilmesini sağlar. Gerçekçi hesaplara göre şu anki teknoloji ile dalga enerjisinden dünyanın elektrik ihtiyacının %10' u karşılanabilir iken, teorik olarak okyanuslarda bulunan dalga enerjisinin sadece %20' si bile tüm dünyanın elektrik ihtiyacını karşılayabilir. Aşağıdaki şekil ile (Şekil 2.7) aynı mekanizmayı taşıyan gerçek bir dalga enerjisi jeneratörü görülmektedir.



Şekil 2.7: Dalga enerjisi jeneratörü

2.7.2. Gelgit Enerjisi

Okyanus seviyesinin günlük alçalıp yükselmesi anlamına gelen gelgitler, Güneş ve Ayın çekimiyle ortaya çıkmaktadır. Gelgit hareketlerinden elektrik üretmek için, alçalın ve yükselen gelgit arasındaki farkın en az beş metre olması gerekmektedir. Yeryüzünde bu büyüklükte gelgitlerin bulunduğu yaklaşık kırk bölge bulunmaktadır. Körfezler, gelgit enerjisi üretmek için en ideal bölgeleri teşkil etmektedir. Mühendisler gelgitlerden enerji elde etmek için bir halice veya körfeze boydan boya baraj veya barikat kurarak gelgitleri sıkıştırılmaktadır. Gelgit barajın diğer tarafında yeterli su seviye farkını ürettiğinde geçitler açılıyor, su türbinlere doğru akıyor ve türbinler elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik üretiyorlar.

2.7.3. Okyanus Isı Enerjisi

Okyanus ısısı enerji üretiminde, okyanusların güneşten topladığı ısıdaki enerji elektriğe dönüştürülmektedir. Bu yöntemle elektrik elde etmek için yüzeydeki su sıcaklığı ile derindeki su sıcaklığı arasındaki farkın 20 derece olduğu yerler kullanılmaktadır. Uzmanlar bu iş için en elverişli bölgelerin Avustralya, Endonezya, Güney Amerika ve Afrika kıyıları olduğunu söylemektedir. Okyanus ısısından enerji üretmek için kullanılması tasarlanan makinelerin yapımı oldukça pahalı olduğu için şimdilik bu konuda kayda değer bir uygulama bulunmamaktadır. Fakat araştırmacılar bu âletlerin ekonomik hale getirilmesiyle milyarlarca Watt elektrik sağlanabileceğini ifade etmektedir. Okyanus ısısı enerji üretim tesisleri kurulduğunda diğer canlılar için de faydalı etkileri olacaktır. Bu tesislerde derinlerdeki mineral bakımından zengin okyanus suyu kullanıldığı için, kıyıdaki bitkiler de bundan yararlanacak. Bunun yanı sıra, makineler vasıtasıyla deniz suyu tuzundan arındığı için sanayi ve tarımda kullanılabilecek bol miktarda su üretilecektir.

2.7.4. Metan Gazı

Son yıllarda okyanuslardaki metan gazı kaynağı incelenmektedir. Metan, elektrik üretiminde ve ısı elde etmek için kullanılan doğal gazın temel bileşenidir. Uzmanlar, Methanococcus Jannaschi adlı mikrobu kullanarak denizden metan üretmenin yollarını araştırmaktadır. Bu tek hücreli canlı dünyanın en eski yaşayanlarından biri ve tamamen güneş ışığından yoksun yerlerde metan üretebilir. Araştırmacılar bu tek hücreli organizmanın yapısını daha iyi anlayarak yeterli miktarda metan üretmesini

sağlayabilmeyi planlamakta. Bu planları gerçekleştğinde, metan yeni bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmakta olacaktır.

2.8. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.8.1. Güneş

Güneş dünyaya en yakın ve Güneş Sistemi' nin merkezinde yer alan yıldızdır (Şekil 2.8). Çekim kuvveti dünya yer çekiminin 28 katı, çapı dünyanın çapının 109 katı (1.5 milyon km), hacmi 1.3 milyon katı ve ağırlığı 333,000 katı yoğunluğu ise $\frac{1}{4}$ ' ü kadardır. Orta büyüklükte olan Güneş tek başına Güneş Sistemi' nin kütlelerinin %99.8' ini oluşturur. Geri kalan kütle Güneşin çevresinde dönen gezegenler, asteroidler, göktaşları, kuyruklu yıldızlar ve kozmik tozdan oluşmaktadır.



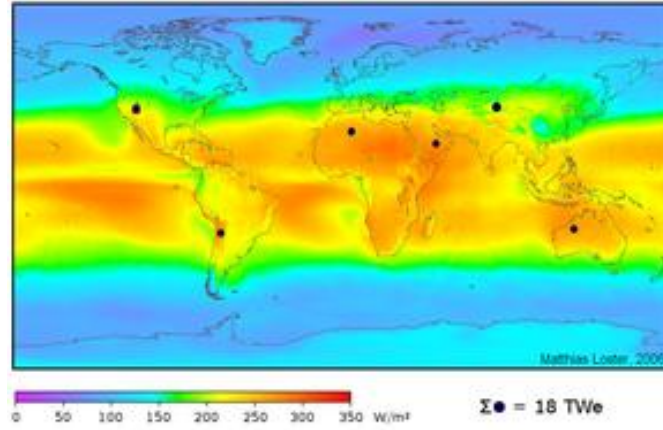
Şekil 2.8: Güneş

Samanyolu gökadasında bilinen 200 milyar yıldızdan birisi olan Güneş, kütleli sıcak gazlardan oluşan ve çevresine ısı ve ışık yayan bir yıldızdır. Güneş kendi ekseninde saatte 70,000 km hızla döner. Bir turunu ise 25 günde tamamlar. Güneş çekirdeği merkezden 0.2 güneş yarıçapına kadar uzanır. Yoğunluğu $150,000 \text{ kg/m}^3$ (yeryüzünde suyun yoğunluğunun 150 katı) civarında, sıcaklığı da $13,600,000 \text{ K}$ kadardır (yüzey sıcaklığı yaklaşık $5,800 \text{ K}$). Güneşte serbest olarak bulunan toplam $\sim 8.9 \times 10^{56}$ proton (hidrojen çekirdeği) nükleer füzyon tepkimeleri sonucunda her saniye 3.4×10^{38} kadarı helyum çekirdeğine dönüşür. Saniyede 4,26 milyon ton madde - enerji dönüşüm oranıyla 383 Yotta Watt ($3.83 \times 10^{26} \text{ W}$) ya da 9.15×10^{10} megaton TEP (Ton Eşdeğer Petrol) enerji açığa çıkar. Bu da her geçen saniye aynı miktarda Güneşin hafifleşmesine yol açar. Açığa çıkan yüksek enerjili fotonlar (kozmetik, gama ve X

ışınlar) fotosentez yoluyla dünya üstündeki hayatın tamamının var olmasını sağlar ve dünyanın iklimiyle hava durumunun üzerinde önemli etkilerde bulunur.

2.8.2. Dünyanın Güneşten Etkilenmesi

Güneşten çıkan enerjinin 2 milyonda 8.44 dakikada yeryüzüne %1' i ulaşır [8]. Güneşin 3 günde yaymış olduğu enerji, dünyadaki tüm petrol, ağaç, doğalgaz vb. yakıtı eşdeğerdir. Dünyanın yörüngesi üzerinde, uzayda, birim alana ulaşan güneş ışınları, güneşe dik bir yüzey üzerinde ölçüldükleri zaman 1370 W/m^2 ' dir. Bu değer güneş enerjisi sabiti olarak da anılır. Atmosfer bu enerjinin %6' sını yansıtır, %16' sını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde, güneşli bir günde güneş ışınımının şiddeti 1020 W/m^2 civarındadır. Ancak yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bölgeye bağlı olarak 1m^2 ' ye düşen enerji miktarı yılda 800 - 2600 KWsa arasındadır. Şekil 2.9 uydu verilerine dayanarak, elde edilebilen ortalama güneş enerjisinin W/m^2 cinsinden gösterimidir. Örneğin, Kuzey Amerika' ya ulaşan güneş enerjisi 125 ile 375 W/m^2 arasında değişirken, günlük elde edilebilen enerji miktarı, 3 ile 9 KWsa/m^2 arasında değişmektedir.



Şekil 2.9: Dünya yüzeyine düşen teorik yıllık ortalama güneş ışığı miktarı

2.8.3. Güneş Enerjisinden Yararlanma

Güneş enerjisinden hem ısı ve hem de elektriksel olarak yararlanılır. Güneş enerjisi ile elektrik elde edilmesi için termoelektrik dönüşüm ve fotoelektrik dönüşüm adlı iki farklı yöntem kullanılır. Termoelektrik dönüşümde güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen kızgın buhardan, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimidir. Termoelektrik sistemde parabolik aynalar veya çanak

kolektörler (Şekil 2.10), çanak sistemlerden güneş enerjisini yutacak olan alıcılar kullanılır.



Şekil 2.10: Parabolik çanak kolektörler

Akışkanın güneş radyasyonu ile ısıtılarak buharlaştırılması sağlanır, daha sonra buhar türbinlerinin döndürdüğü jeneratörler ile kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Şekil 2.11 Merkezi alıcılı güneş (ısı) termoelektrik santrali göstermektedir.



Şekil 2.11 Merkezi alıcılı güneş termoelektrik santrali

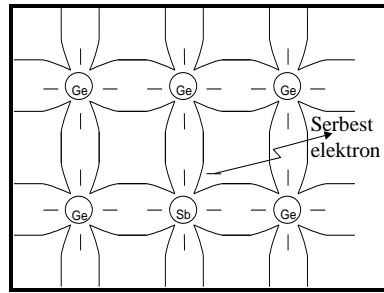
Bu sistemlerin ulaşılması güç bölgelerde ve köylerde elektrik enerjisi olarak kullanımını sağlamak ve enterkonnekte (bağlı) sisteme uygulamak için çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemlerden en büyüğü, Kaliforniya' da 354 MW' lık gücü üreten bir tesis olup 1 milyon metrekareden fazla güneş toplayıcısından ibarettir. Son 15 yıl içerisinde 2 KW ile 50 KW arasında büyüklüğe sahip, 8 farklı çanak alıcı ABD, Almanya, Japonya ve Rusya' daki şirketler tarafından imal edilmiştir. Üretici firmalar, bu sistemleri, su pompalaması ve uzak bölgelerde enerji temini için ihraç etmektedirler. Gelecek yıllarda bu sistemlerle köy elektrifikasyonu gerçekleştirilecek ve mevcut enerji dağıtım şebekesine enerji sağlanacaktır. İkincisinde ise; güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik ya da güneş pili sistemlerdir.

2.9. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bazı maddelerin elektriksel özellikleri ışığa bağlı olarak değişmekte ve güneş pillerinde elektrik üretimini bu özellikler oluşturmaktadır. Birbirine benzemeyen herhangi iki malzemenin eklemi ile fotovoltaik etki oluşturabilmektedir. Fakat güneş pillerinde iletken metallere ile yalıtkan malzemeler arasındaki değerlerde olan yarıiletken malzemeler kullanılır. PV piller güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken kristallerdir. Yarıiletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için N ya da P tipi katkıları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarıiletkenin N, P ya da PN tipi olması katkı maddesine bağlıdır.

2.9.1. N Jonksiyon

En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan Silisyum ya da Germanyum' dan N tipi yarıiletken elde etmek için Silisyum/Germanyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin Fosfor ya da Antimon eklenir. Silisyum/Germanyum' un dış yörüngesinde 4, Fosfor/Antimon' un dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, Fosfor' un/Antimon' un, fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine “verici” ya da “N tipi” katkı maddesi denir [9] (Şekil 2.12).

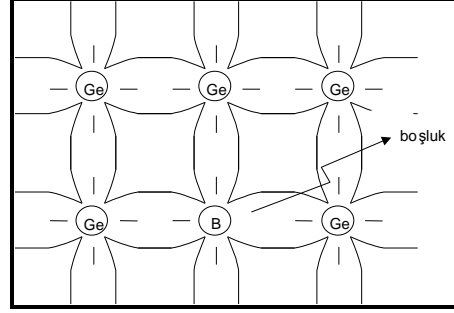


Şekil 2.12: Antimon ilave edilmiş N-tipi yarı-iletken

2.9.2. P Jonksiyon

P tipi yarıiletken elde etmek için ise, Silisyum/Germanyum eriyiğe 3. gruptan bir element (Alüminyum, İndiyum, Bor gibi) eklenir. Katkı yapılan atomların son yörüngesine üç adet elektron olduğundan, yabancı atomun girdiği yerde bir elektron eksikliği meydana gelecektir. Buna “boşluk” veya “delik” adı verilir (Şekil 2.13). Sıcaklık veya uyarılma gibi nedenlerle bu boşluklar serbest elektronlar ile doldurulur.

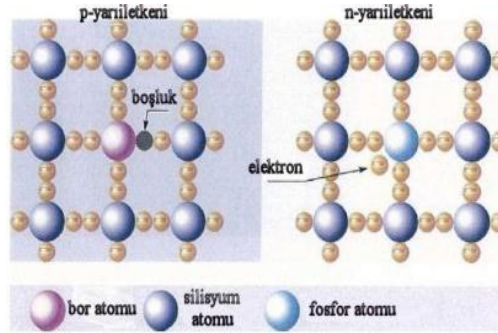
Böylece, yapı içerisinde bir tür boşluk hareketi, başka bir ifade ile pozitif yük hareketi oluşacaktır. Boşluk hareketi bir tür pozitif yük hareketi olduğundan, bu tip yapıya “pozitif tip (P - tipi) yarıiletken” adı verilir [9] . P - tipi yarıiletkenin elde edilmesinde kullanılan üç değerlik elektronlu atoma “alıcı (acceptor) iyon” adı verilir.



Şekil 2.13: Bor ilave edilmiş P tipi yarıiletken

2.9.3. P - N Jonksiyonu

PV çalışması P - N jonksiyonlu yarıiletkenin çalışma prensibine dayanır. P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler Silisyum içerisinde bir araya getirildiğinde yarıiletken eklemler oluşturulur. Fosforla katkılandırma (N - katkı) yapıldığında, kristal kafes yapı içindeki her bir fosfor atomu için bir adet fazlalık elektron bulunur (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Silisyuma Bor ve Fosfor ilave edilmiş P-N tipi yarıiletken

Bu elektron kristal içinde serbest olarak hareket eder. Borla katkılandırma (P- katkı) ise, kafes içindeki her bir bor atomu için bir adet boşluk (bağda eksik elektron) bulunur. Komşu silisyum atomlarındaki elektronlar bu boşlukları doldurabilir, bu da başka bir yerde bir boşluğun oluşması anlamına gelir. Her ikisi de P ve N tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, elektriksel bakımdan nötrdür. Yani P tipinde negatif enerji seviyeleri ile delik sayıları eşit, N tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. P - N eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Doğal olarak bu akış sırasında, N' den P' ye fazlalık

elektronlar akarken, tersine P' den de N' ye fazlalık delikler (boşluklar) akacaktır. I_{p1} , çoğunluktaki deliklerin meydana getirdiği akım, I_{p2} ise N tarafındaki azınlık taşıyıcıların P' ye geçişleri sırasında oluşturdukları akım olsun. Aynı durum elektronlar için de söz konusu olacaktır. I_{n1} , çoğunluktaki elektronların oluşturdukları akımı, I_{n2} ise P' deki azınlık elektronların oluşturduğu akımı ifade etsin [9].

Delikler için:

$$I_{p1} = I_{p2} \quad (2.1)$$

Elektronlar için:

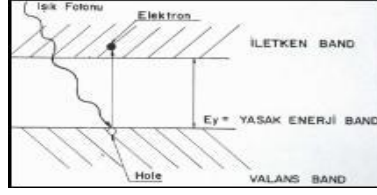
$$I_{n1} = I_{n2} \quad (2.2)$$

Toplam halde ise,

$$I_{p1} + I_{n1} = I_{p2} + I_{n2} \quad (2.3)$$

olacaktır. Denge halinde bu akımlar aynı olacaktır. Eğer böyle olmasaydı, bir tarafta delikler toplanmış olurdu.

PN tipi yarıiletkenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine “geçiş bölgesi” ya da “yükten arındırılmış bölge” denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan “yasak enerji bandı (Ey)” olarak adlandırılır. Yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandına valans bandı ve iletkenlik bandı denilir. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-delik çifti oluşur. Şekil 2.15 elektron – delik çifti oluşmasını göstermektedir. Bu olay, P - N eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron - delik çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, delikleri de P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-delik çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar.

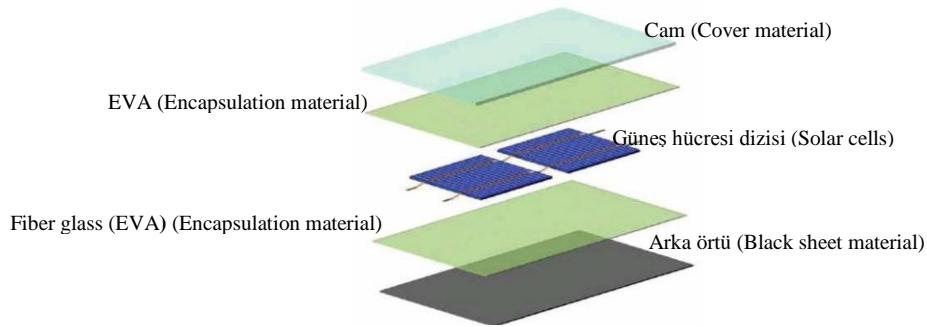


Şekil 2.15: Elektron-delik çifti oluşması

Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-delik çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

2.10. FOTOVOLTAİK HÜCRE ÜRETİMİ

Oksijen zincirine çeşitli grupların eklenmesiyle elde edilen ve güneş pili sisteminin temel elemanı olan Silisyum güneş pili hücrelerinin yapısında kullanılmaktadır. Üreticiler aynı zamanda Solar Cells adlandırılan güneş hücreleri şekillendirmek; taşıma ve kullanım açısından kolaylaştırmak amacıyla laminasyon teknolojisini kullanıp hücrelerin önyüzüne optik geçirgenliği anti reflektif (yansıtıcı) cam ile (cover material); her iki tarafında arka ve üst katmanlara yapışmasını sağlayan şeffaf bir malzeme (encapsulation material) olan EVA ile (ethylene vinyl acetate - etilen vinil asetat) kaplayarak bütünün bir metal çerçeveye alınmasıyla oluşturulurlar. PV hücrenin arka katmanı (black - sheet material) olarak TEDLAR adı verilen malzemeler kullanılmaktadır. TEDLAR, montajı tamamlanmış hücrenin alt kısmını oluşturur ve DC elektrik akımı için gerekli bağlantılar, bu katmanın arkasında yerleştirilen kablo kutusu içerisinden alınır. Şekil 2.16' da güneş pili hücresi yapısı verilmektedir [10].



Şekil 2.16: Güneş pili hücresi (Solar Cells) yapısı

Çok dayanıklı bir hale gelmiş olan güneş hücreleri 20 yılın üzerinde kullanım sürelerine ulaşırlar.

Dilim formunda, yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen (Şekil 2.17), 100x100, 125x125 veya 156x156 mm' lik kalınlığı $2,5 \times 10^{-4}$ m boyutlarda olan Monokristal yapıdaki standart hücrenin gücü 0,5 V geriliminde 1 W' tır.



Şekil 2.17: Bir güneş hücresi

2.10.1. Güneş Pili Yapısında Kullanılan Silisyum Tipleri

Günümüzde en çok kullanılan silisyum tipleri şunlardır:

a) Tek Kristal Silisyum: En yaygın güneş pili hücresidir. Yüksek aralıkta bir silisyumdur; çapı 15 cm' e ulaşan, onlarca kilogramlık külçeler, 'Czochralski çekmesi' (silisyumun tek kristal ya da blok halinde multikristal olarak üretilme yöntemi) ve 'yüzer bölge' yöntemi denen, iki kristal oluşum yöntemiyle elde edilir. Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15' in üzerinde verim elde edilmektedir.

b) Yarıkristal Silisyum: Bu tip piller, sıvı Silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş Silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.

c) Çok Kristalli Silisyum: Silisyumlu güneş pillerinin üretimindeki enerji ve maliyet tutarını azaltmak için tek kristalli silisyumdan daha düşük kalitede (dolayısıyla düşük aralıkta) bir malzeme üretmeye ve kullanmaya yönelik teknikler geliştirmektedir. Böylece külçe ve biçme işlemi ortadan kaldırılıp doğrudan levha biçiminde (şerit halinde kristalleştirilmeye dayanan yeni yöntemler) "çok kristalli" silisyum elde

edilebilmiştir. Verim daha düşük olmasına rağmen (%8 - %10 arası) çok kristalli Silisyumdan yapılan güneş pilleri ekonomik önem kazanmaktadır.

d) Ribbon Silisyum: Bu piller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Temel bileşenlerin yanında, hücrelerin seri bağlanmasında ve modülün çerçeve içerisine alınmasında kullanılan Ribbon olarak adlandırılan ve hücreler arasında elektriksel bağlantıyı sağlayan şeritler kullanılmaktadır. Ribbonlar hücre üzerine, Flux adlı verilen sıvı yapıştırıcılara lehimlenir. Çeşitli yöntemlerle (Efg, Dendritik ağ) elde edilen bu piller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13 - %14 arasındadır.

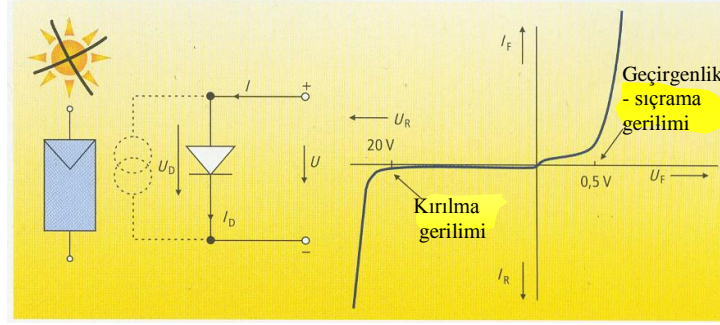
e) Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Silisyum pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

f) Diğer yüksek verimli piller: En iyi verim sunan yarıiletkenler “III-V” olarak bilinen malzemelerdir. Bunlar periyodik tabloda üçüncü ve beşinci grupta bulunan Kadmiyum (Cd), Galyum (Ga), İndiyum (In), Arsenik (As). Çok kristalli Silisym yapısında bir malzeme olan CdTe (Kadmiyum Tellürid) ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir. Bakır İndiyum Diselenid ($CuInSe_2$): kristal pilde laboratuvar şartlarında %17.7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan ilk örnek bir modülde ise %10.2 verim elde edilmiştir. Bunlardan en önemlisi olan Galyum Arsenür kullanan güneş pillerinin verimi laboratuvarında %25’ i geçebilir. Radyasyon zararına karşı çok dirençli olduklarından uzay çalışmalarında sıklıkla tercih edilirler. Önemli bir üstünlükleri de verimlerinin sıcaklıktan fazla etkilenmemesidir.

g) Optik yoğunlaştırıcı hücreler: Gelen ışığı 10 - 500 kat oranlarında yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17’ nin, pil verimi ise %30’ un üzerine çıkartılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedan yapılmaktadır.

2.11. GÜNEŞ PİLİ HÜCRESİNİN DEVRE ŞEMALARI

Bir solar hücrenin güneş almadığı anlara ait I-V davranışı bir diyotun tavrı ile açıklanabilir. Bu durumda direk diyotun doğrusal eğrisi, solar hücrenin eğrisi gibi algılanmalıdır. Mono kristalize bir solar hücrenin geçirgenlik-sıçrama gerilimi 0,5 Volt iken, kırılma gerilimi 12-50 Volt (solar hücrelerin kalitesine bağlı olarak) aralığında olabilir. Aşağıdaki resimde eşdeğer devre şeması ve tanınma eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.18: Güneş ışığının hücre yüzeyine düşmediği an için eşdeğer devre şeması

$$U = U_D \quad (2.4)$$

$$I = -I_D = -I_0 \times (e^{\frac{q \times U_D}{n \times K \times T}} - 1) \quad (2.5)$$

Burada:

I_D : diyotun akımı;

U_D : diyotun gerilimi;

I_0 : “Dark Saturation Current”, ışık olmadığı zaman diyotun sızma akım yoğunluğu (Amper);

q : elektrik yüklü (1.602×10^{-19} Coulomb);

n : idealitektör, akım düştükçe değeri 1’ den 2’ ye doğru artmaktadır;

K : Boltzman sabiti= 1.380×10^{-23} Joule/K;

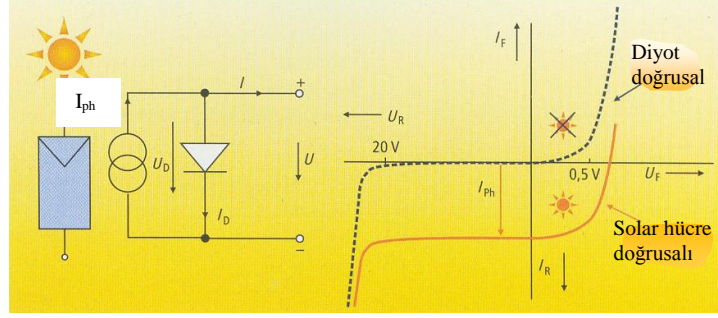
T : hava sıcaklığı (Kelvin)

U : uygulanan gerilim (V)

$T = 300$ K ve $n=1$ olduğunda $\frac{K \times T}{q} = 25.85$ mV- termal gerilim olmaktadır. Bu durumda

$$I = -I_D = -I_0 \times (e^{38,9 \times U} - 1) \quad (2.6)$$

Solar hücre üzerine güneş ışınlarının düşmesi durumunda, bilindiği gibi, hücre hemen elektrik üretimine başlar. Burada da güneş hücresinin göstermiş olduğu tavır, herhangi bir elektrik kaynağının paralel bağlandığı andaki davranışı ya da bir diyot davranış özellikleri ile aynıdır. Şekil 2.19 güneş ışığının hücre yüzeyine düştüğü ana ait eşdeğer devre şemasını göstermektedir.



Şekil 2.19: Güneş ışığının hücre yüzeyine düştüğü ana ait eşdeğer devre şeması

Bu durumda güneş hücresi güneş ışığının yoğunluğuna ve etkisine bağlı fotoakımı (I_{ph}) üretmeye başlar.

$$U = U_D \quad (2.7)$$

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_D \times \left(e^{\frac{q \times U_D}{k \times T}} - 1 \right) \quad (2.8)$$

300 K için

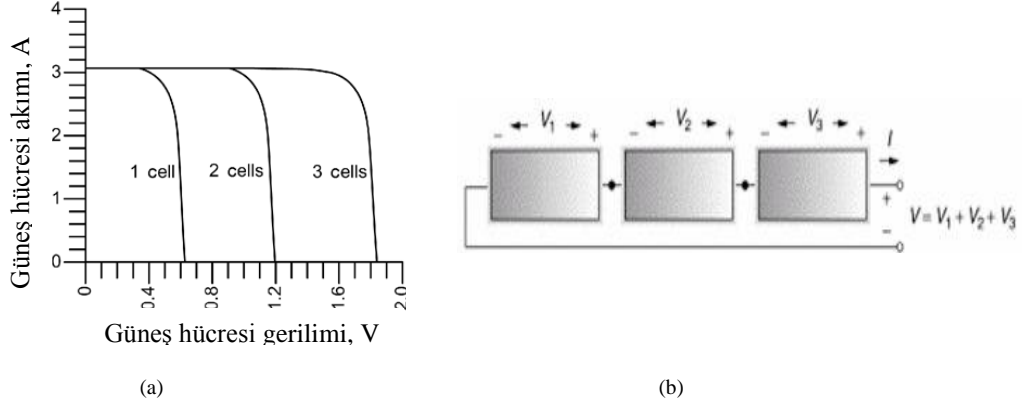
$$I = I_{ph} - I_D \times \left(e^{38,9 \times U} - 1 \right) \quad (2.9)$$

Üretilen elektrik miktarı da direkt olarak güneş hücresinin üzerine düşen ışığın miktarına bağlıdır. Bu durumda diyotun doğrusal kapatma devresindeki foton akımının büyüklüğüne doğru kayar.

2.12. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ

Bilindiği gibi, güneş hücresinin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Çıkış gücünü artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanır. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modülü adı verilir. Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artar, istenilen gerilim seviyesi elde edilir [11]. Denklem 2.10 ve Şekil 2.20' deki grafik bunu göstermektedir.

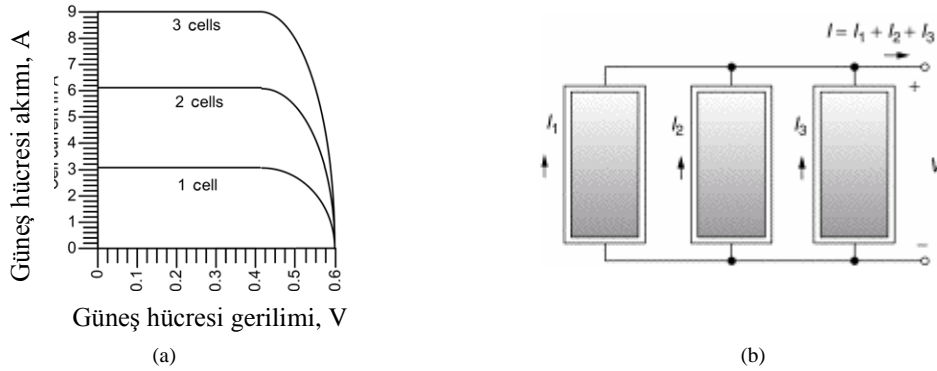
$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (2.10)$$



Şekil 2.20: Birbirine seri olarak bağlı 3 adet güneş hücresinin (a) IV grafiği, (b) şeması

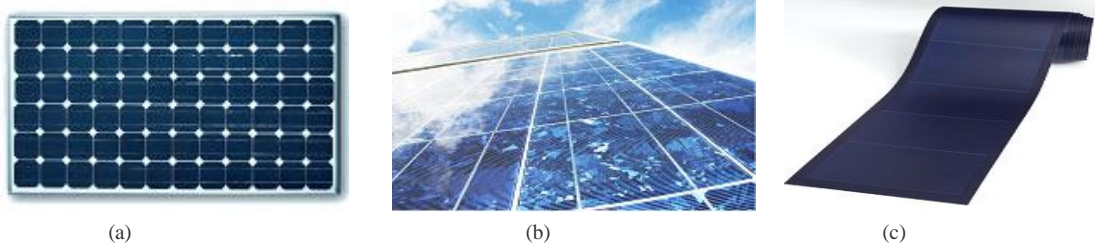
Hücrelerin paralel bağlanmasıyla modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır. Denklem 2.11 ve şekil 2.21 bunu göstermektedir [11].

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = I \times n \quad (2.11)$$



Şekil 2.21: Birbirine paralel olarak bağlı 3 adet güneş hücresinin (a) IV grafiği ve (b) şeması

Bir PV güneş modülü, ihtiyaç duyulan akım ve gerilimi üretecek şekilde hücrelerin seri-paralel kombinasyonlarını içerebilir. Modüllerin birbirine fiziksel ve elektriksel, seri ya da paralel olarak bir araya getirilip bir yüzey üzerine monte edilmesine güneş paneli denir. Şekil 2.22' de güneş panelleri ve tipleri gösterilmiştir.



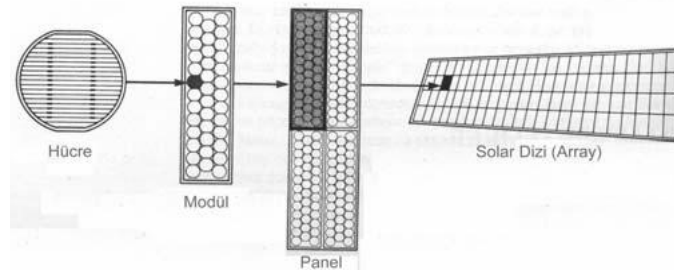
Şekil 2.22: Güneş panelleri ve tipleri : (a) Monokristal, (b) Polikristal, (c) Bükülen Amorphous

Modüllerden imal edilerek, güneş panelinin ürettiği voltaj ve güç değerine göre 36, 54, 60 veya 72 seri hücre içerir. Kristal yapıdaki güneş panellerinde sistem voltajı 12V ya da 24V DC sistemi besleyecek şekilde üretilirler. 12V sistemlerde voltaj 17V – 22V arasında değişir. 24V sistemlerde ise ortalama 33V - 44V arasında değişir. Güç talebine bağlı olarak modüller bir kaç W’ tan MW’ lara kadar sistem oluştururlar.

Bir güneş panelinin verim performansı hücre verimi ile panel camı verimi toplamına eşittir. Yani güneş panelinin sadece hücresinin veriminin çok iyi olması bir şey ifade etmez. Aynı zamanda en dış yüzeyde bulunan camında veriminin yüksek olması gerekir. Günümüzde üretilen ticari kullanımdaki güneş panelleri verimleri üretici firmaya göre %12 ile %20 arasında değişmektedir.

30, 60, 80, 90, 120, 160, 175 ve 200W’ lık standart güç modelleri en yaygın kullanılan modellerdir. 130, 140, 150, 185W değerleri gibi ara değerlerde de üretilmektedir.

Panellerin birleşmesine “Solar dizisi” ya da “Güneş paneli dizisi” adı verilir. Panellerin çok sayıda bağlanmasıyla daha büyük yüzeyli diziler elde edilebilmektedir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: Solar dizisi oluşturulması

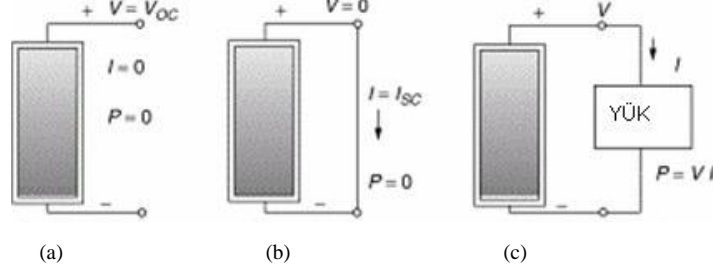
Dizi bir modülden oluşabileceği gibi 100,000 veya daha fazla modülden de oluşabilir.

2.13 GÜNEŞ HÜCRENİN VE PANELİNİN I -V KARAKTERİSTİKLERİ

Bir PV hücrenin dikkate alınması gereken en önemli özellikleri ürettiği akım (A) ve gerilim (V) değerleridir.

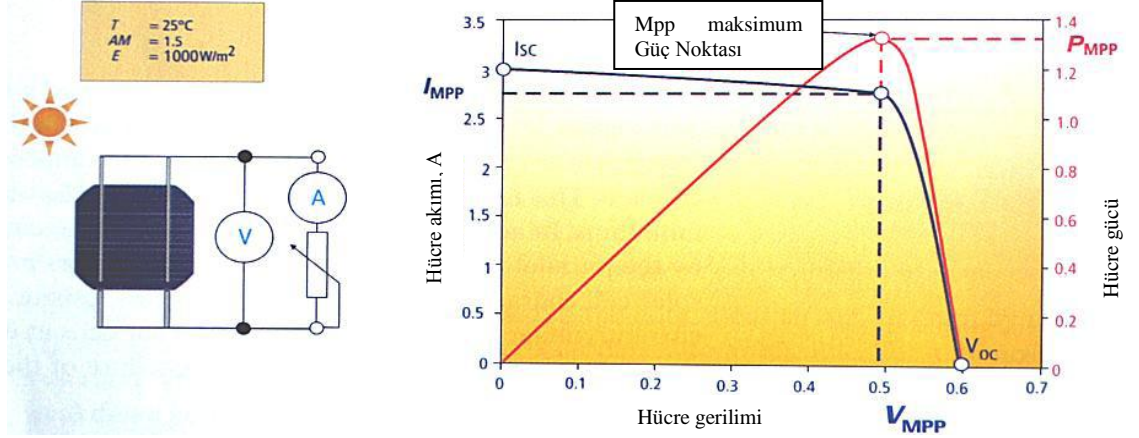
PV hücre ya da panel kısa devre (gerilim sıfır) edildiği zaman maksimum akımını üretir. Buna kısa devre akımı (I_{sc} – short circuit current) denir. PV hücre/paneli açık devre

bırakıldığında (akım sıfır) hücrenin uçlarında ölçülen gerilim değerine ise açık devre gerilimi (V_{oc} - open circuit voltage) denir. Şekil 2.24, PV hücredeki/paneldeki açık devre, kısa devre ve yüklü bağlantı şemaları göstermektedir.



Şekil 2.24. Hücredeki/paneldeki (a) açık devre, (b) kısa devre ve (c) yüklü bağlantı

Güneş ışınlarının sabit tutularak yapılan ölçümlerde elde edilen akımın değerinin çalışma gerilimi ile değiştiği gözlenir. Şekil 2.25’ de kristal bir güneş hücrenin P_{mpp} (maximum power point) noktası görülmektedir [12]. Bu nokta bir PV hücresinden maksimum gücün alındığı noktadır ve buradaki akım değeri I_{mpp} ve gerilim değeri ise V_{mpp} olarak adlandırılır.

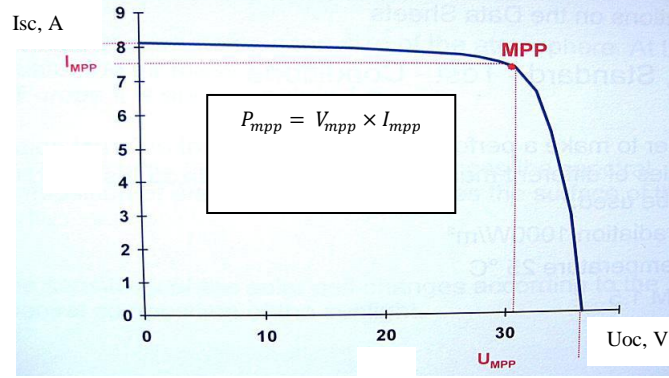


Şekil 2.25: PV hücrenin I-V karakteristiği

P_{mpp} noktasında V_{mpp} V_{oc} ’ nin %80’ ni kadardır. I_{mpp} I_{sc} ’ nin %95’ i kadardır. Şekil 2.25’ ten anlaşılacağı gibi çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır.

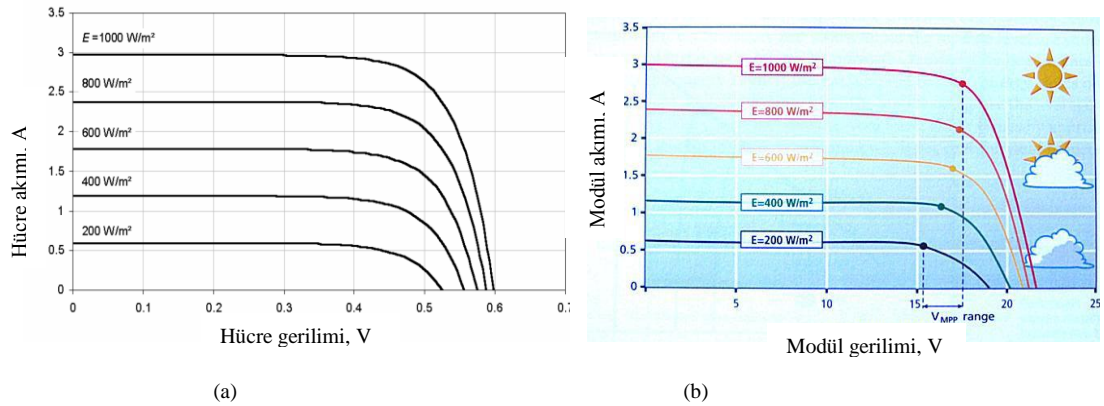
Aynı prensipler bir PV paneli için de geçerlidir. Kurulan ve işletilen bir PV panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerinde tutmak gerekir. Panelin P_{mpp} maksimum güç noktası oran 2.12, I-V grafiği Şekil 2.26 ile gösterilmektedir [12].

$$P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp} \quad (2.12)$$

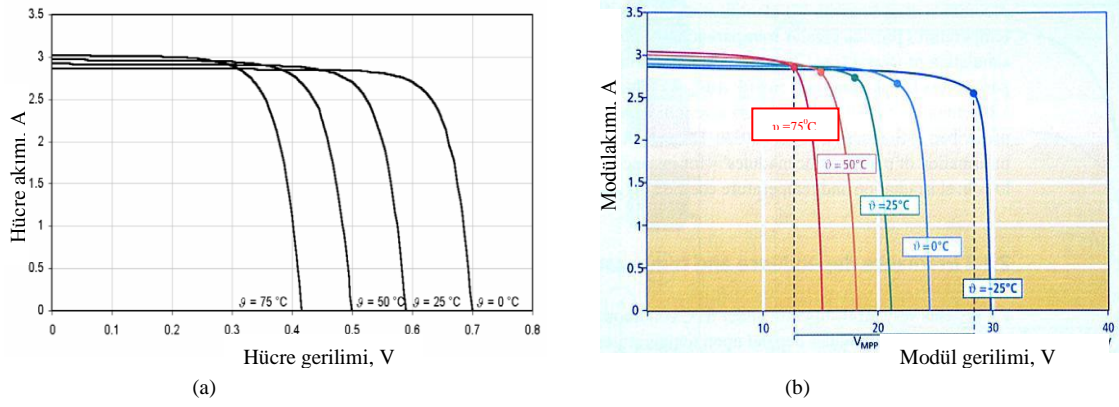


Şekil 2.26: PV panelinin I-V karakteristiği

Bir PV hücresinden alınacak güç üzerine düşen ışık enerjisi (solar radiation) ile doğru orantılıdır. Yani ışık şiddeti arttıkça güç (birimi Watt) de artar. Bir hücrenin veya panelin üretebileceği maksimum güç (tepe gücü -Peak Power) olarak anılır. Birimi W_p Watt-peak' tır. Şekil 2.27' de bir PV modülünün akım – gerilim (IV) eğrisi görülmektedir [12]. Elde edilen güç (W) ve akım (A) güneşten gelen ışık şiddeti (solar radiation) ve kapladığı alan ile artar. Ancak üretilen gerilim ışık şiddeti ile pek değişiklik göstermez.

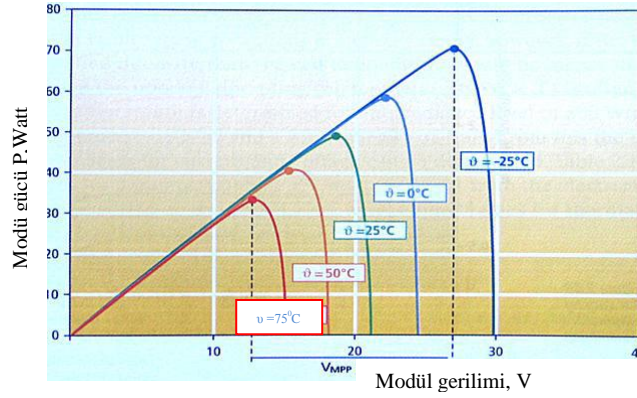


Şekil 2.27: PV hücrenin (a); PV panelin (b) üzerine düşen ışık enerjisine göre I-V karakteristiği. Açıklandığı gibi, hücre ya da panel tarafından üretilen akım ve güç yaklaşık olarak güneş ışığının yoğunluğu ile orantılıdır. Fakat çalışma sıcaklığının artması hücrenin ya da panelin, güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine, çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak sıcaklıktaki değişimin asıl etkisi pilin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. PV piller için soğuk ortamlar daha uygundur. Şekil 2.28' de sıcaklığın kristal Silikon PV hücrenin ve panelin IV eğrisine olan etkisi görülmektedir.



Şekil 2.28: Sıcaklığın kristal silikon (a) PV hücrenin; (b) PV panelinin IV eğrisine olan etkisi

Benzer etki (Şekil 2.29) PV panelinin çıkış gücünde de görülmektedir [12]. Gerilimdeki azalma doğrudan doğruya güce yansıdığından, çalışma sıcaklığındaki artış çıkış gücünü de olumsuz yönde etkiler.

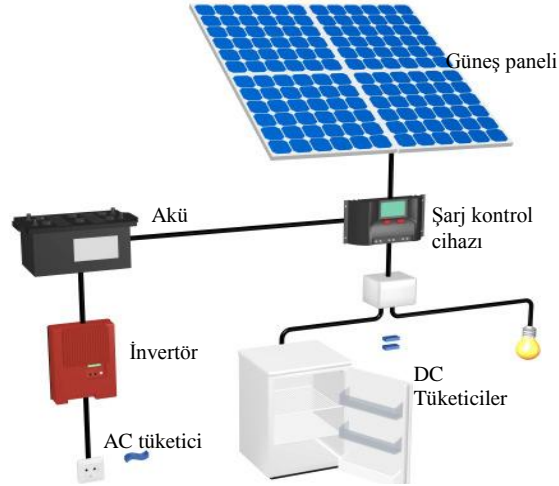


Şekil 2.29: Sabit ışınımında farklı sıcaklıklarda PV panelinin voltaj ve güç değişimi

Her 1°C sıcaklık artışı, elde edilen gücü %0.2 - %0.5 oranında azaltmaktadır. Bir PV modülün etiketinde veya teknik özellikler katalogunda bu değerler yazılmaktadır.

2.14. PV SİSTEMLERDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Güneş pili panelleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Şekil 2.30 basit bir güneş pili sisteminin temel elemanlarını göstermektedir [13].



Şekil 2.30: PV sisteminin temel elemanları

Güneş pili panelleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akümülatörler sisteme göre paralel ya da seri bağlanarak akü grubunu oluşturur (Şekil 2.31).



Şekil 2.31: Akü grubu

Gruptaki akülerin hepsinin aynı marka, aynı kapasiteli olması zorunludur. Aksi takdirde akülerin yük dağılımında dengesizlik olup kısa sürede akülerin bozulmasına neden olur. Farklı tipteki akülerin teknik bilgileri Tablo 2.1' de verilmiştir [11].

Tablo 2.1: Farklı tipteki akülerin teknik bilgileri

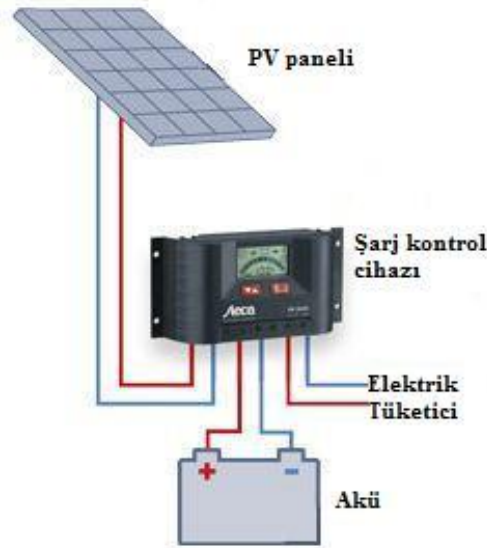
Özellikler	Kurşun-Asit	NiCd	NiMH	NaS
Pozitif Elektrot	PbO ₂	NOOH	NOOH	S
Negatif Elektrot	PbO	Cd	Metaller	Na
Elektroliz	H ₂ SO ₄ +H ₂ O	KOH+H ₂ O	KOH+H ₂ O	B-Al ₂ O ₃
Enerji Yoğunluğu (Wsa/litre)	10 - 100	80 - 140	100 - 160	150 - 160
Şarj/deşarj dönüşüm sayısı	500 - 1500	1500 - 3000	1000	1500
Çalışma sıcaklığı (°C)	0 - 55	-20 ile 55	-20 - +45	-20 - +90
Boşalma oranı (% aylık)	5 - 15	20-30	20 - 50	0
Wsa verimliliği	% 70 - %85	%60 - %70	%60 - %85	%80 - %95

PV sistemlerde en çok kurşun - asit ve NiCd tipindeki aküler kullanılmaktadır. 3-7 yıllık kullanım süresi olan aküler PV sistemlerde modüllerden sonra en yüksek maliyete sahip olan birimlerdir.

Son zamanlarda piyasaya yeni nesil bakımsız akü veya kuru akü olarak tanınan aküler gelmiştir. Likit bazda asit içerenler olduğu gibi, yeni nesil VRLA (Valve Regulated Lead Acid) veya SLA (Sealed Lead Acid)/AGM (Kurşun - Kalsiyum Gaz Rekombinasyonu) ve GEL teknolojisi akülerde asit sıvı bazda değildir.

Aküler sık bakım gerektirirler. Akülerin çalışması için ortam sıcaklığı kabul edilebilir sıcaklıklar arasında olmalıdır. $-10C^{\circ}$ den sonra her derece ısı düşüşünde kimyasal reaksiyon süresi ikiye katlanır. Aküler fonksiyonlarını en iyi $+10C^{\circ}$ ile $+30C^{\circ}$ arasında gösterir. Bu sebepten aküleri dışarıda bırakmamalı, mümkünse kapalı alanda ısıtıcılar ve vantilatörler ile saklanmalıdır.

Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan şarj kontrol cihazı (şarj denetleyici) ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı, ya da yükün çektiği akımı keser. Şekil 2.32 şarj kontrol cihazının bağlantı şeklini göstermektedir.



Şekil 2.32: Şarj kontrol cihazının bağlantı şekli

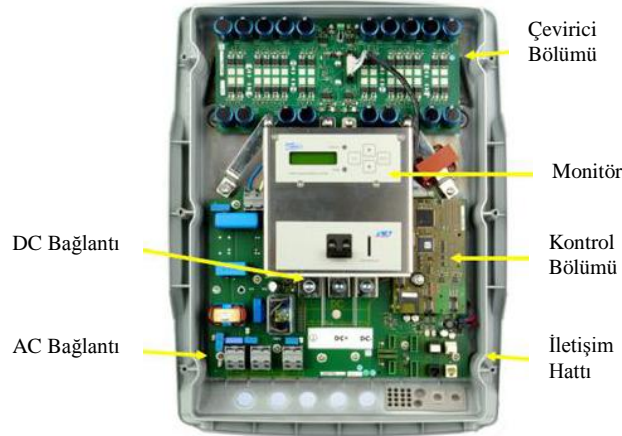
Şarj kontrol cihazı akülerin ömrünü uzatacak şekilde, sıcaklık algılayıcısı ile ortam sıcaklığını en uygun şarj akımını ayarlayabilmektedir. Şarj denetleyici yardımıyla

akülerin gerilimi, mevcut kapasite, anlık şarj akımı değerleri ölçülebilir, günlük - haftalık olarak amper saat değerleri de kayıt edilebilir.

Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki 12-24 DC gerilim, 220V, 50Hz' lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Yeni tip çeviricilerden %85 ile %95 arasında verim alınabilir. 3 tip çevirici vardır. Bunlar:

- Kare dalgalı çeviriciler;
- Sinüs dalgalı çeviriciler;
- Değiştirilmiş sinüs dalgalı çeviriciler;

Şekil 2.33 bir sinüs dalgalı invertörü göstermektedir.



Şekil 2.33: Sinüs dalgalı invertör (çevirici)

Çeviriciler sistemin pahalı parçalarından biri olmasının yanında, çeşitli güvenlik ekipmanlarına da ihtiyaç duyarlar [14]. Çevirici – akü kablosu üzerinden yüksek miktarda akım geçeceğinden, bu kablo kalınlığının 5 ile 10 cm arasında seçilmesi gereklidir. Tablo 2.2' de farklı tipteki çeviricilerin karşılaştırılması verilmektedir [11].

Sistemi dengeleyici diğer unsurlar; kablolar, bağlantı elemanları, devre anahtarları (şalterler), bağlantı kutuları, elektrik sigortaları ve diğer küçük parçalardan oluşmaktadır.

Tablo 2.2: Farklı tipteki çeviricilerin karşılaştırılması

Cihaz	Dortmuller DMI 150/35	Fronius Sunrise Micro	SMA Sunnyboy 2000	ACE 5001	Siemens Ss 4x300 KVA
DC dönüşüm gücü	100 W	820 W	1900 W	50 KW	1086 KW
AC dönüşüm gücü	90 VA	750 VA	1800 VA	50 KVA	1197 KVA
Maksimum PV güç	150 W	1100 W	2600 W	55 KW	1400 KW
Başlangıç gücü, W	2.5	9	7	50	700
Hazırda bekleme isteği, W	0	5	7	35	40
Gece kayıpları, W	0	0	0.1	0	30
DC MPP nokta gerilimi, V	28 - 50	120 - 300	125 - 500	300 - 420	460 - 730
Maksimum Bozulma	%3	%5	%4	%0.1	Filtre var
Maksimum Verim	%89	%92	%96	%97	%97

Bunlardan birçoğu açık alanda monte edilmektedir. Ve bu yüzden sert hava koşullarına maruz kalmaktadır. Eğer sistemin iyi çalışması isteniyorsa, bu elemanların mutlaka iyi kaliteli ve dikkatli bir şekilde yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Çürük veya hasarlı bağlantılar sisteme verilebilecek elektrik miktarını azaltır ve sistemin bütünüyle çalışmaz hale gelmesine neden olabilir. Şimşekli, yıldırımlı, fırtınaların yaygın olduğu yerlerde, sistemler için paratoner görevi gören iletkenlere gereksinim duyulabilir.

2.15 GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİ UYGULAMALARI

Güneş pili sistemi uygulamaları iki ana gruba ayrılabilir:

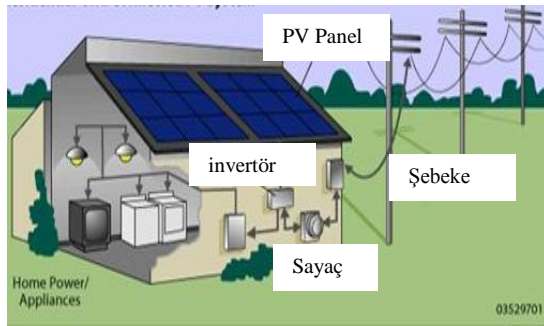
1. Şebeke bağlantılı sistemler
2. Şebekeden bağımsız sistemler

2.15.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler

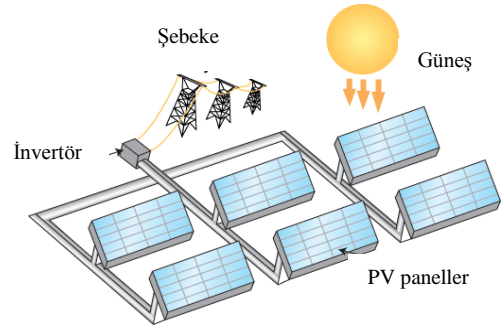
Şebeke bağlantılı sistemlerde, güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi, şebeke niteliklerine uygun çeviriciler ile elektriği şebekeye verir. Bu tip sistemler yüksek güçte, santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi, daha çok görülen uygulamalar ise binalarda küçük güçlü uygulamalar şeklindedir. Şebeke bağlantılı sistemler, iki ana gruba ayrılır.

a) İlk tür sistem, temelde bir yerleşim biriminin örneğin, bir konutun elektrik ihtiyacını karşılar (Şekil 2.34.a). Bu sistemlerde, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine iletilerek satılır. Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda şebekeden enerji satın alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

b) İkinci tür şebekeye bağlı güneş pili sistemleri kendi başına elektrik üreterek bunu şebekeye satan büyük güç üretim merkezleri şeklindedir. Bunların büyüklüğü 600-700 KW' tan MW' lara kadar değişir (Şekil 2.34.b). 1 MW gücünde bir güneş elektrik santrali kurmanın bedeli 4 milyon € civarında.



(a)



(b)

Şekil 2.34: Şebeke bağlantılı sistemler: (a) birinci tür, (b) ikinci tür

2.15.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler

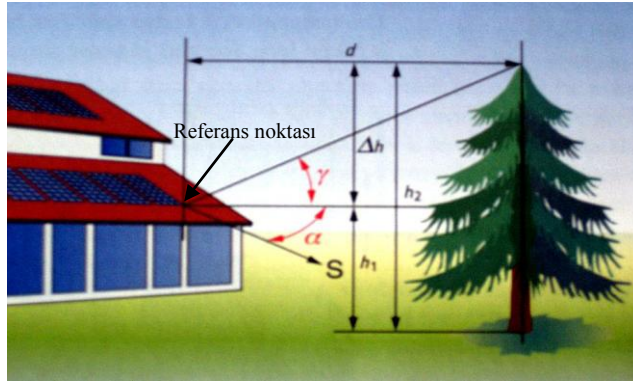
Şebekeden bağımsız güneş enerjili sistemlerde, güneş ışınımı vasıtasıyla oluşturduğu elektriği akümülatörlere depolayarak istenilen yük ihtiyacını karşılar. PV sistemlerinin en tipik ve en yaygın kullanım şekli, yerleşim yerlerinden uzak yörelerde enerji gereksinimini karşılayan bağımsız (stand alone) sistemlerdir. Bu sistemler birkaç W' tan birkaç yüz KW' lara kadar değişebilen güçlerde ve çok çeşitli türlerde yüklerin enerji talebini karşılayabilir.

2.16. GÜNEŞ PANELİNİN ÇALIŞMASINI ETKİLEYEN UNSURLAR

2.16.1. Gölgeleme

Güneş panelleri gölgelemeye karşı aşırı duyarlıdır. Termik güneş panellerinin aksine PV paneller yapraksız ağaçların dallarından bile aşırı verim düşmesine uğrar. Bu yüzden panellerin montajında gölgelememesine ayrı önem gösterilmelidir. Bilindiği gibi,

güneş pili hücreleri panelde seri ve/veya paralel olarak bağlanmaktadır. Bir hücrenin vereceği güç; güneş ışınımı yoğunluğunu azaltan nesne, baca, dağınık ve yayılmış olan ağaç dalları, kuş konması gibi gölgelenme nedenleri ile düşerse diğer hücreler onun düştüğü güne inmek zorunda kalır. Yani bir panelde bir hücrenin yarısının gölgelenmesi ile tüm panelin yarısının gölgelenmesi arasında bir fark yoktur. Öncelikli olarak sistemlerde dikkat edilecek nokta referans ekseninin belirlenmesidir. Referans noktasının bulunması için panelin kurulacağı çatı sistemine uzaklığı bilinen engele göre, referans noktasının yükseklik açısı hesaplanmaktadır. Şekil 2.35’ te referans noktasının hesaplanması için gölgelenme örneği verilmektedir. Seçilen bu noktaya göre bütün açılar (aşağıdaki bölümlerde verilecek olan açılar dahil) ayarlanmalıdır.



Şekil: 2.35: Belirli bir engele göre referans noktasının hesaplanması

Tasarım yapılırken, engel teşkil eden noktaların hesaba katılarak tasarım yapılması gerekmektedir [11]. Seçilecek referans noktasındaki yükseklik açısı 2.13’ deki eşitlik yardımıyla bulunmaktadır.

$$\gamma = \arctan\left(\frac{h_2-h_1}{d}\right) = \arctan\left(\frac{\Delta h}{d}\right) \quad (2.13)$$

Burada

d: kurulan panel ile engel arasındaki mesafe;

h₁: panelin bulunduğu yükseklik;

h₂: engelin yüksekliği;

γ: referans noktasının yükseklik açısı;

2.16.2. Güneş Açıları

Güneş paneli sistemi tasarımı ve kurulumu yapılırken kurulum yapılacak yerin dünyadaki konumu çok önemlidir. Sabit veya hareketli herhangi bir düzlemdeki panel

yüzeyine gelen güneş ışınlarının değeri, düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Açı, panellerin verimliliğini ve elde edilen maksimum seviyede kullanılmasını sağlamaktır. Bilinmesi gereken bazı güneş açıları şunlardır [15,16]:

a) Enlem (\emptyset : latitude of the location): Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilerek ekvator merkezine göre oluşan açı değeridir. Enlem açısı

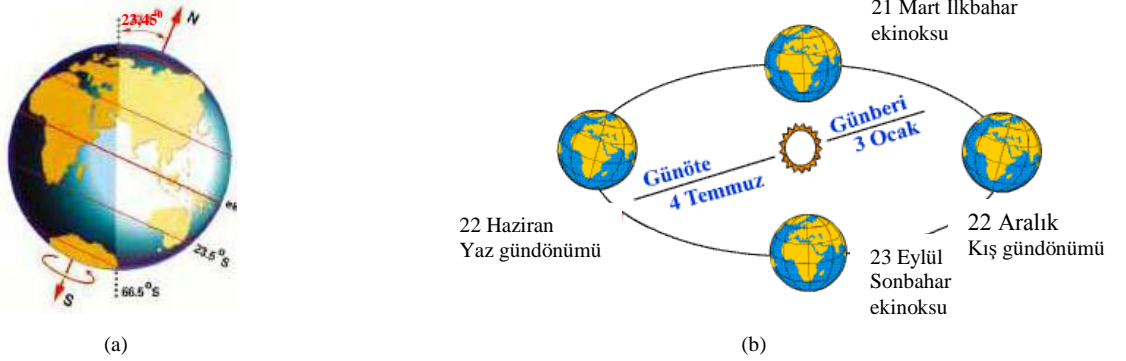
$$-90^{\circ} \leq \emptyset \leq 90^{\circ} \quad (2.14)$$

arasında değişir.

b) Deklinasyon açısı (δ -solar declination angle): Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açı miktarıdır. Kuzey pozitif olmak üzere, deklinasyon açısı,

$$-23.45^{\circ} \leq \delta \leq 23.45^{\circ} \quad (2.15)$$

arasında değişir. Deklinasyon açısının değişimi Şekil 2.36.a' da gösterilmiştir.



Şekil 2.36: Yılın farklı zamanlarındaki deklinasyonu (a) ve Dünya'nın yörüngesi (b)

Ekinoks tarihlerinde, yani gece ile gündüz zaman dilimi eşit olduğunda (Şekil 2.36.b) (21 Mart ilkbahar ekinoksu, 23 Eylül sonbahar ekinoksu) deklinasyon açısının değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır. Yaz gündönümünde (22 Haziran), deklinasyon açısının değeri 23.45° (Yengeç Dönencesi) ve kış gündönümünde (22 Aralık) ise -23.45° (Oğlak Dönencesi) değerine sahiptir.

Deklinasyon açısı (δ°) aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\delta^{\circ} = 23.45 \times \sin \left[\frac{360 \times (284 + n)}{365} \right] \quad (2.16)$$

burada n , yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak $n = 1$ kabul edilir. Yılın günleri veya her ayın ortalamasını veren günler olarak alınmıştır.

c) Zenit açısı (θ_z - solar zenith angle): Güneş' in doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90^0 ve öğle saatinde ise zenit açısı 0^0 ' dir. Güneş öğle saatinde havada en yüksek noktada bulunur.

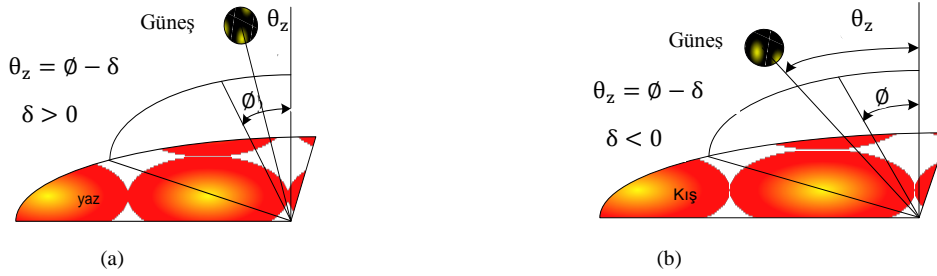
Zenit açısı denklem 2.17' den hesaplanır.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \omega + \sin \delta \times \sin \phi = \sin \alpha_s \quad (2.17)$$

Burada ω , saat açısı (solar hour angle) denklem 2.22 ile hesaplanır.

$$\omega = 15^0 \times \text{Hour} \quad (2.18)$$

Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişim Şekil 2.37' de görülmektedir.



Şekil 2.37: Yazın (a) ve kışın (b) öğle saatinde θ_z , δ ve ϕ açısı arasındaki ilişki

d) Güneş yükseklik açısı (α_s - solar altitude angle): Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90^0 ' ye tamamladığı için, buradan güneş yükseklik açısı

$$\alpha_s = 90^0 - \theta_z = 90^0 - (\phi - \delta) \quad (2.19)$$

olur.

Denklem 2.17' i kullanarak

$$\sin \alpha_s = \cos \theta_z = \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \omega + \sin \delta \times \sin \phi \quad (2.20)$$

elde edilir.

e) Eğim açısı (β : tilt angle of PV generator): Yatay ile verilen panel yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarımkürede güneşe eğimli düşünülür. Eğim açısı,

$$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ \quad (2.21)$$

arasında değişmektedir. Açının değeri denklem 2.22 ile hesaplanır [17].

$$\tan \beta = \tan \theta_z \times |\cos \gamma_s| \quad (2.22)$$

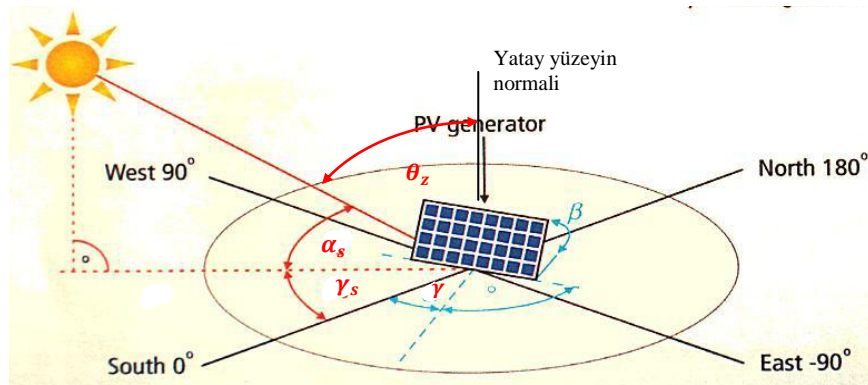
f) Güneş geliş açısı (θ): Bir yüzeye direkt gelen ışıkla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder. Bu açı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \times \cos \beta + \sin \theta_z \times \sin \beta \times \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (2.23)$$

$$\cos \theta = \sin \alpha_s \times \cos \beta + \cos \alpha_s \times \sin \beta \times \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (2.24)$$

$$\sin \gamma_s = \left(\frac{\cos \delta \times \sin \omega}{\cos \alpha_s} \right) \quad (2.25)$$

Burada γ , yüzeyin azimut açısıdır; γ_s güneşin azimut açısıdır (solar azimut angle). Şekil 2.38' de yukarıda açıklanan güneş açıları görülmektedir [12].



Şekil 2.38: Güneşle ilgili açılar

Burada:

θ_z : Zenit açısı (solar zenith angle);

γ_s : Güneşin Azimut açısı (Solar azimuth angle);

α_s : Güneş Yükseklik açısı (solar elevation from horizon);

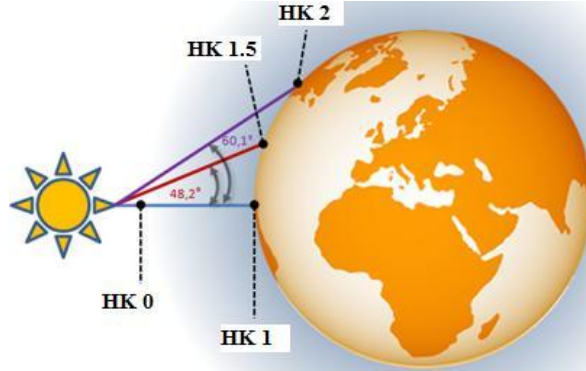
γ : Foto Voltaik kolektör Azimut açısı (azimuth of PV generator);

β : Foto Voltaik kolektör eğim açısı (tilt/altitude angle of PV generator).

Solar teknik hesaplamalarda, güney Azimut açıda 0^0 ile gösterilir. Diğer açılar ise, Doğu: -90^0 ; Kuzey: 180^0 ; Batı: 90^0 dir;

2.16.3. Hava Kütlesi (AM) ve Güneşlenme Süresi (PS) Açıklamaları

Solar teknik hesaplamalarda güneş ışınlarının atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşması ile ilgili Hava Kütlesi (AM -Air Mass) sabiti kullanılmaktadır. Güneşin yeryüzüne en dik bulunduğu açı, güneş ışınlarının yeryüzüne en çabuk ulaştığı açı olduğundan HK = 1 olarak belirlenmiştir. Güneşin yeryüzüne en düşük açıda bulunduğu konumda (güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmak için çok daha fazla yol almaları gerektiğinden) HK (AM) değeri de bu açıya bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.39 Hava kütlesinin değerlerini göstermektedir.



Şekil 2.39: Hava kütlesi

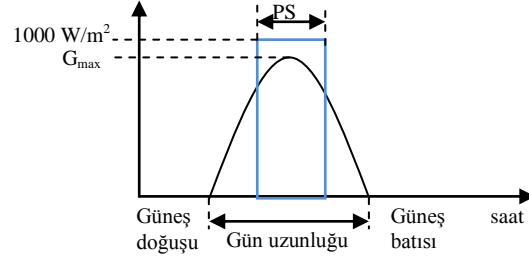
Örneğin, kuzey boyutundaki zenit açısında HK sabiti=1.5, ki bu şartlarda güneş ışınları, yeryüzüne ulaşmak için çok daha fazla zamana ihtiyaç duyacaktır. HK sabiti denklem 2.30' dan hesaplanır:

$$HK = \frac{1}{\sin \alpha_s} = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (2.26)$$

Görüldüğü gibi α_s ' in 90^0 olması durumunda HK değeri 1' dir.

Bir gün boyunca 25^0C sıcaklığında panel üzerine düşen 1 sun' lık ($1 \text{ sun} = 1000 \text{ W/m}^2$) ortalama (aylık ya da yıllık) güneşlenme süresine ise PS (Peak Saat) denilir.

Şekil 2.40 Güneşlenme Süresi grafiğini göstermektedir [18].

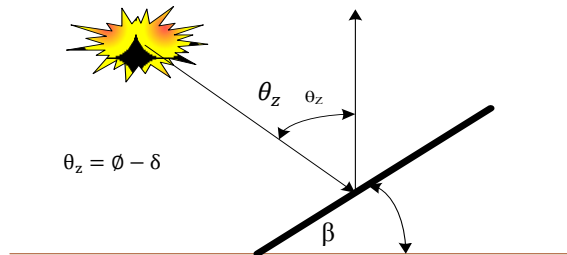


Şekil 2.40: Güneşlenme Süresi (PS) grafiği

PS' in hesaplanması açılarının hesaplanması kadar önemlidir. Güneşin ışıma sürecine, kurulacak olan yerin coğrafi konumuna bağlıdır. Aylara ve hava durumuna göre PS değeri değişir. Bu aylık ve/veya senelik değişimler internetten ya da diğer kitle iletişim araçlarından takip edilir.

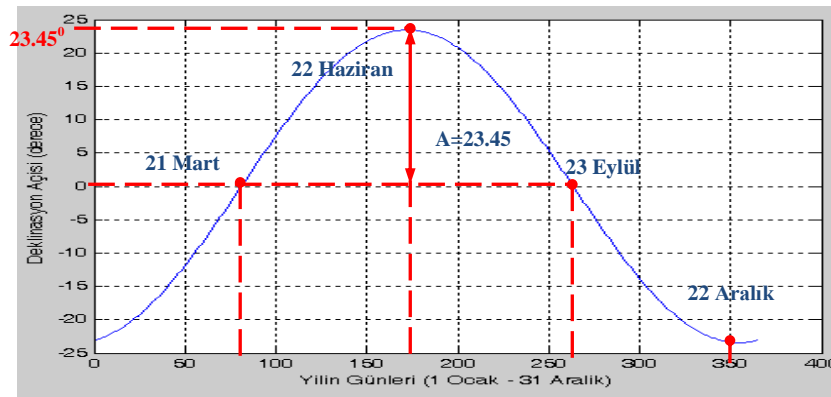
2.17. GÜNEŞ PANELİ ÜZERİNDEKİ IŞIMA MİKTARININ MAKSİMUM YAPILMASI

Herhangi bir sistem tasarımcısı, montaj yapılan sistemde güneş ışığını toplamayı amaçlar. Güneş doğudan batıya doğru gökyüzündeki konumuna göre takip edilebilirse daha fazla elektrik üretilebilir. Fakat ne yazık ki, güneşi takip eden sistemler hem maliyetlidir hem de elektriksel ya da mekanik arızalara çok daha yatkındır. Özellikle güneş panellerinin maliyetlerinin sürekli düştüğü hesaba katılırsa, bireysel uygulamalarda güneş takip sistemlerine yatırım yapmak çok makul görünmeyebilir. Çoğu sistemlerde en ucuz montaj şekli, sistemin yatay olarak monte edilmesidir. Sabit güneş paneli sisteminden maksimum çıkış elde etmek ve panelin maksimum güneşlenmeye maruz kalması için, güneş panelinin, yeterli çıkışı verecek şekilde düzlem ile zenit Q_z veya azimut açısına sahip β eğim açısında sabitlenmesi gerekir. Şekil 2.41' de sabit bir güneş panelinin optimum montajı gösterilmektedir.



Şekil 2.41: Sabit bir güneş panelinin optimum montajı

Güneş panelinin yatayla oluşturduğu eğim aynı zamanda mevsimlere göre değişmektedir. Örneğin; yaz aylarında kullanılan bir yazlıkta, optimum yaz ışığının toplanması için güneş panelinin seçilen eğim açısının β yılın diğer mevsim ve ayları için de optimum (uygun değer) olması gerekir. Farklı eğim açısıyla kurulan güneş panelinin çıkış performansı simülasyon yoluyla hesaplanmalı ve maksimum çıkış sağlayacak şekilde üzerinde çalışılmalıdır. Bölüm 2.16.2’ de açıklandığı gibi Kuzey yarımkürede yaz için, δ açısı; 21 Mart - 22 Haziran arasında 0° ’ den 23.45° ’ ye ve 22 Haziran - 23 Eylül arasında ise 23.45° ’ den 0° ’ ye değişir. Bu değişim (Şekil 2.42), bir doğrultucu devre çıkışındaki 23.45 genliğine sahip bir yarım sinüzoidal dalga şeklindedir.



Şekil 2.42: Deklinasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi

$$Orta\ değer = 2 \times A / \pi \quad (2.27)$$

Yarım dalga için $A=23.45$ genlik değerine göre, bu sinüzoidalın ortalama değeri denklem 2.27’ den hesaplanır. 21 Mart - 23 Eylül arasında deklinasyon açısının ortalama değeri 14.93° olur. Benzer şekilde, 23 Eylül - 21 Mart arasında da bu açı değeri -14.93° olur. Buradan, güneş paneli sisteminin eğim açısı, en iyi ortalama yaz performansı için $(\emptyset - 15)^\circ$ ve en iyi kış performansı için de $(\emptyset + 15)^\circ$ olmalıdır. Optimum ilkbahar veya sonbahar performans için, güneş panelinin yaklaşık olarak $(0.9 \times \emptyset)^\circ$ açısında monte edilmesi gerekmektedir [15].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GÜÇ TALEBİ

Bu çalışmada 4 kişilik aile ihtiyacı temel alınıp güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılmıştır. Evde kullanılan buzdolabı, çamaşır makinesi gibi ev aletlerinin katalog değerlerdeki ortalama enerji tüketimi Tablo 3.1’ de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Ev aletlerinin enerji tüketimi

Yük	Ortalama Güç (W)	Çalışma süresi (sa)	Adet	Enerji Tüketimi (Wsa)	
				Günlük	Haftalık
AC Yükler					
72 ekran televizyon	180	4/gün	1	720	5040
Bilgisayar	200	4/gün	1	800	5600
Müzik seti	90	2/gün	1	180	1260
Buzdolabı A sınıfı	300	6/gün	1	1800	12600
Çamaşır makinesi 5 kg	1200	2/hafta	1		2400
Bulaşık makinesi A sınıfı	1050	1/hafta	1		1050
Ütü	1800	0.5/hafta	1		900
Tost makinesi	450	2/hafta	1		900
Aydınlatma	100	3/gün	2	600	4200
Aydınlatma	50	3/gün	2	300	2100
Toplam AC				36050	
DC yükler					
Acil durum aydın 24 V	15	0.5/hafta	1		7.5
Toplam DC				7.5	

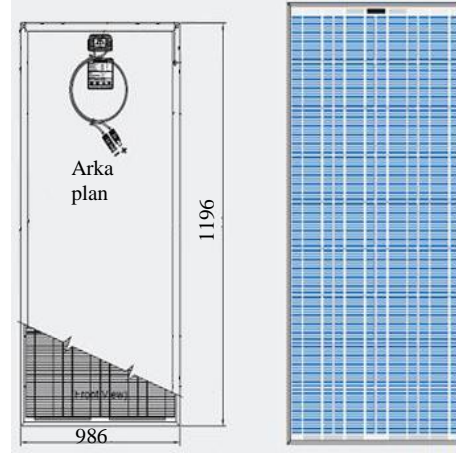
3.2. GÜNEŞ PANELİ SEÇİMİ

Standart Test Şartları’ na göre 1000 W/m^2 güneş ışığın değerlerinde, 25°C panel sıcaklığında ve 1,5 Hava Kütlesinin (Air Mass) ölçülen kataloğ verilerine dayanarak bir PV paneli seçilmiş ve bu PV panelinin özellikleri Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2: PV panelinin özellikleri
SOLERA GP-150\12

Fiziksel özellikleri		Elektriksel özellikleri	
Uzunluk	1196 mm	Maks. güç (P_{mpp})	150 W_p
Genişlik	986 mm	Maks. gerilim (V_{mpp})	17.5 V
Derinlik	35 mm	Maks. akım (I_{mpp})	8.58 A
Renk	Mavi	Kısa devre akımı (I_{sc})	9.10 A
Güneş gözeleri	Polycrystal 156x156	Açık devre gerilimi (V_{oc})	21.5 V
Hücre sayısı	72	Maks. sistem gerilimi	800 VDC
Net ağırlık	14.5 Kg	V_{oc} için sıcaklık katsayısı (T_{oc})	-0.096 $V/^{\circ}C$
Rüzgâr dayanımı	130 km/sa	I_{sc} için sıcaklık katsayısı (T_{sc})	0.0065 $A/^{\circ}C$
Önemli notlar		Çalışma sıcaklığı	-40 - + 90 $^{\circ}C$
Elektrik bağlantı kutusu, kablolar ve bağlantılar. Nominal güç toleransı $\pm 5\%$, 25 yıl ve 80% Normal Güç Garantisi (STC); Sertifikalar TÜV, IEC 61215;		Göze verimliliği	% 15
		Standart çıkış voltajı ($V_{çık}$)	12 VDC
		Yalıtım	≥ 50 M

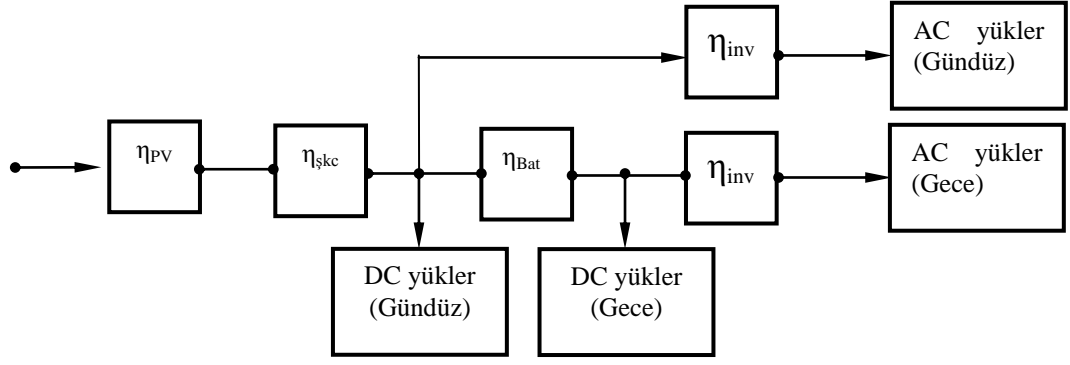
Şekil 3.1 ise panelin resmini göstermektedir.



Şekil 3.1: Solera GP -150\12

3.3. ENERJİ SARFIYATININ HESABI

Tablo 3.1' e dayanarak gereken toplam enerji KWsa olarak hesaplanır. AC ve DC yüklerin verimleri farklı olduğundan bu yükler ayrı ayrı hesaba katılmalıdır. Fakat hesaplar başlamadan önce PV sistemini oluşturan temel elemanların enerji kayıpları ve verimliliklerinden söz edilmelidir. Bu nedenle Şekil 2.32 kullanılarak PV sisteminin tüm temel elemanlarının verimlilikleri hesaplanmalı. Şekil 2.32 aşağıdaki Şekil 3.2' ye dönüşür [18].



Şekil 3.2: PV sisteminin temel elemanlarının verimlilikleri

Burada:

η_{PV} : güneş pilinin verimliliği;

$\eta_{şkc}$: şarj kontrol cihazı verimliliği

η_{bat} : bataryanın verimliliği;

η_{inv} : invertörün verimliliği' dir;

Günümüzde şarj kontrol cihazı verimliliği yüksek olduğundan bu verimlilik göz yönüne alınmamıştır.

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi panelin (panellerin) verimi panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dış ortamda çevre sıcaklığı değiştikçe panel verimi de değişmektedir. Farklı çevre sıcaklıklarında panellerin çalışma sıcaklığı denklem 3.1' den hesaplanır [14]:

$$T_{pan} = T_{0\text{ çevre}} + 25^{\circ}C \quad (3.1)$$

Burada

$T_{0\text{ çevre}}$: çevre sıcaklığı;

T_{pan} : ortalama panel sıcaklığı' dır.

Panellerin üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri değişiklik göstermektedir: panel gerilimi sıcaklıkla düşerken, panel akımı artma gösterir. Güneş panellerin verimliliği hesaplaması yapılırken birim yüzeyinde üretmiş oldukları akım ve gerilim değerleri göz önüne alınmaktadır. Bu değerler de Standart Test Koşulları (güneş pili $25^{\circ}C$ de iken, AM 1.5 güneş spektrumuna sahip 1000 W/m^2 güneş ışınımı) altında elde edilmektedir.

Güneş pilinin çıkış gücü, bu değişkenler cinsinden Dolum Çarpanı (fill factor, FF) formül ile (3.2) hesaplanmaktadır [11, 20].

$$\eta'_{pv} = FF = \frac{V_{oc2} \times I_{sc2}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.2)$$

Burada

$$V_{oc2} = V_{oc} - 25 \times T_{oc} \quad (3.3)$$

$$I_{sc2} = I_{sc} - 25 \times T_{sc} \quad (3.4)$$

Paneller optimum açı ile monte edilmesine rağmen, gün içerisinde güneş ışığı panel üzerine farklı açılarla geleceğinden, sistem veriminde bir düşme olur. Panellerdeki açı değişimi 15^0 ' dir. Bu bölüm 2.17' de (Güneş paneli üzerindeki ışınım miktarının maksimum yapılması) anlatılmıştı. 15^0 fark için verim düşüşü %10 alınmaktadır. Tüm sistem verimi eşitlik (3.5) [18] ile ifade edilir

$$\eta_{pv} = \eta'_{pv} - 10\% \times \eta'_{pv} \quad (3.5)$$

Akünün verimliliği η_{bat} akünün dolmasına (η_{charge}) ve boşalmasına ($\eta_{discharge}$) etkisine bağlı olup genelde %80 civarındadır.

$$\eta_{bat} = \eta_{charge/discharge\ effect} = 0.8 \quad (3.6)$$

İnvertörün verimliliği ise bölüm 2.33' te (PV sistemlerde kullanılan ekipmanlar) açıklandığı gibi %95' tir.

$$\eta_{inv} = 0.95 \quad (3.7)$$

Şema 3.2' de görüldüğü gibi elektrik invertörden geçmeden direkt DC yüklerle bağlıdır. Bu durumda DC yüklerin verimliliği η_{DC} PV verimliliğiyle aynıdır:

$$\eta_{DC} = \eta_{PV} \quad (3.8)$$

AC yük için batarya ve invertör araya girdiğinden dolayı, bu AC yükün verimliliği de bu cihazlardan etkilenir. Denklem (3.9) AC yükün verimliliğini η_{AC} göstermektedir:

$$\eta_{AC} = \eta_{PV} \times \eta_{bat} \times \eta_{inv} \quad (3.9)$$

Sisteminin enerji sarfiyatının hesaplamasında DC ve AC verimlilikleri farklı olduğu için günlük DC ve AC güç talepleri farklı formüllerden bulunarak hesaba katılacaklardır. İlk önce günlük DC gücü denklem (3.10) ile hesaplanır.

$$P_{DC} = \frac{\text{Toplam DC}}{7} \quad (3.10)$$

Burada:

P_{DC} : ortalama günlük DC güç

Toplam DC : ortalama haftalık DC güç talebi (Tablo 3.1' den alınmış).

Aynı şekilde günlük AC güç talebi hesaplanır

$$P_{AC} = \frac{\text{Toplam AC}}{7} \quad (3.11)$$

Burada:

P_{AC} : ortalama günlük güç

Toplam AC : ortalama haftalık AC güç talebi (Tablo 3.1' den alınır).

DC ve AC verimliliklerini göz önüne alıp ve (3.10) ile (3.11) denklemlerini kullanarak denklem 3.12' ye birleştirerek PV sisteminin günlük güç talebi E_L elde edilir:

$$E_L = \frac{P_{DC}}{\eta_{DC}} + \frac{P_{AC}}{\eta_{AC}} \quad (3.12)$$

Bu talebi karşılayacak sistemi kurmak için panel ve akü sayısı, şarj kontrol cihazının ve invertörün özellikleri hesaplanmalıdır. Dolayısıyla kurulacak sistemin akımı ve gerilimi bilinmeli. Sistemin günlük ortalama yük akımı denklem (3.13) ile hesaplanır [17].

$$I_L = \frac{E_L}{T_{\text{ç}} \times V_{DC}} \quad (3.13)$$

Burada

$T_{\text{ç}}$: çalışma saati;

V_{DC} : kurulacak sistemin gerilimi.

PV sistemi en az yükün ihtiyacı kadar enerji üretmelidir. Yani PV panellerden üretilecek olan güç ile orantılıdır:

$$E_L(\text{Wh/gün}) = PS \times I_{PV} \times V_{DC} \quad (3.14)$$

Burada:

PS: Peak Saat;

I_{PV} : güneş pili sisteminin gerekli akımıdır.

Denklem (3.13) denklem (3.14) ile birlikte çözümlerse I_{PV} bulunur;

$$I_{PV} = \frac{T_c \times I_L}{PS} \quad (3.15)$$

Peak Saat kavramı bölüm 2.16.3'de açıklanmıştır. Bu çalışmada PS hesaplanması için Türkiye'nin Kocaeli ili örnek olarak alınmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.3 Kocaeli ilinin [11] ortalama aylık güneşlenme süresi verilmektedir. Bu tabloyu kullanarak ortalama aylık güneşlenme saati hesaplanır.

Tablo 3.3: Aylık güneşlenme süresi ($t_{1000\text{w/m}^2}$, saat)

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayis	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
3.746	4.4.	5.4	5.18	6.139	6.43	6.4	6.37	6.323	5.39	4.121	3.31

Paralel bağlı panel sayısı N_p denklem 3.16' dan hesaplanır

$$N_p = (SF) \times \frac{I_{PV}}{I_{SC}} \quad (3.16)$$

SF (Sizing Faktor) I_{PV} ile I_{SC} arasındaki ilişkiyi gösteren parametredir. Denklem 3.17' den hesaplanır. Bu değer büyüdükçe güvenlik de artar.

$$SF = \frac{N_p \times I_{SC}}{I_{PV}} \quad (3.17)$$

Seri bağlı panel sayısı N_s hesaplamasında PV sisteminin Tablo 3.2' deki standart çıkış gerilimi $V_{çık}$ değeri kullanılır. Bu nedenle 1 adet panel (72 adet) hücre için

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_{çık}} \quad (3.18)$$

Toplam panel sayısı N paralel N_p ve seri N_s panel sayısının çarpımı ile hesaplanır

$$N = N_p \times N_s \quad (3.19)$$

Toplam PV gücü W_{PV} denklem 3.20' ile hesaplanır.

$$W_{PV} = N \times P_{mpp} \quad (3.20)$$

Akü kapasitesi belirlenirken panelin çıkış gerilimine orantılı olan bir akü seçilmelidir (Tablo 3.4):

Tablo 3.4: Seçilmiş olan akü parametreleri

Model	Gerilim (V)	Kapasite (Asa)	Ebatlar (mm)			Ağırlık (kg)
			Boy	En	Yükseklik	
Sunlight	12	150	400	170	242	35

Sistemin batarya kapasitesi denklem 3.21' den bulunur.

$$E_{Bat} = \frac{E_L}{DOD} \times CD \quad (3.21)$$

Burada DOD (Depth of Discharge) boşaltma derinliği Tablo 2.1' e göre 0.8' dir. CD (close days), ya da otonomi süresi (ardı ardına kapalı geçen gün sayısı). Bu günlerde enerji bataryalardan sağlanır. Genelde 3-5 gün arasında kabul edilir. CD ne kadar büyük olursa sistem o kadar güvenilirdir.

Bataryaların amper - saat kapasitesi sistemin batarya kapasitesini ve sistemin çalışma gerilimi kullanarak denklem 3.22' den bulunur.

$$I_{Bat} = \frac{E_{Bat}}{V_{DC}} \quad (3.22)$$

Paralel bağlı akü sayısı $N_{pakü}$ bataryanın amper saat kapasitesinin akünün kapasitesine bölünerek bulunur. Burada $I_{akü}$ Tablo 3.4' den alınır.

$$N_{pakü} = \frac{I_{Bat}}{I_{akü}} \quad (3.23)$$

Seri akü sayısı $N_{sakü}$ sistemin ve akünün çalışma voltajlarına denklem 3.24 ile elde edilir [17].

$$N_{sakü} = \frac{V_{CD}}{V_{akü}} \quad (3.24)$$

Toplam akü sayısı $N_{akü}$ paralel $N_{pakü}$ ve seri $N_{sakü}$ akü sayılarının çarpılması ile bulunur

$$N_{akü} = N_{pakü} \times N_{sakü} \quad (3.25)$$

Akü kapasitesini bulmak için bir akü kapasitesini akü sayısı ile çarpmak gerekir. Bir akü kapasitesi denklem 3.26 akünün çalışma gerilimi ve akımı çarpılması ile bulunur.

$$W_{akü} = I_{akü} \times V_{akü} \quad (3.26)$$

Toplam akü kapasitesi ise denklem 3.27' den elde edilir.

$$W_{topakü} = N_{akü} \times W_{akü} \quad (3.27)$$

Tablo 3.1' i kullanarak ‘‘Ortalama güç’’ adlı sütundaki cihazların ortalama gücünü bir araya getirip invertörün özellikleri ayarlanır. Burada invertörün gücü denklem 3.28 ile hesaplanır.

$$W_{inv} = \sum \text{her cihazın ortalama gücü} \quad (3.28)$$

Şarj regülatörünün maksimum değeri denklem 3.29 ile bulunur.

$$I_{şarjregmaks} = I_{sc} \times N_p \quad (3.29)$$

Yukarıdaki hesaplara göre panel ile şarj regülatörünün arasındaki sigorta değeri

$$I_{sigpanreg} = I_{şarjregmaks} \quad (3.30)$$

olmalıdır. İntertör için sigorta değeri denklem 3.31' den bulunur

$$I_{invsig} = \frac{W_{inv}}{V_{DC}} \quad (3.31)$$

Bunların dışında

- Topraklama;
- Paratoner (yıldırıma karşı korumalar);
- İzolasyon;
- Batarya için havalandırılmalı bir oda;
- Elektriksel bağlantılar yapılmalıdır.

4. BULGULAR

4.1. HESAPLAMALAR

Bu bölümde bölüm 3' te bulunan tüm tabloları ve formülleri kullanarak 4 kişilik aile ihtiyacı temel alınıp güneş paneli sistemi tasarımı yapılmıştır.

Formül 3.2, 3.3 ve 3.4' yi kullanarak sisteminin Dolum Çarpanı (FF) hesaplanmıştır.

$$\eta'_{pv} = 0.902 \quad (4.1)$$

PV sisteminin verimliliği formül 3.5' i kullanarak

$$\eta_{pv} = 0.902 - 0.902 \times 10\% = 0.812 \quad (4.2)$$

olur.

Formül 3.8' e göre

$$\eta_{DC} = \eta_{PV} = 0.812 \quad (4.3)$$

AC yükler için verimlilik

$$\eta_{AC} = 0.81 \times 0.8 \times 0.95 = 0.616 \quad (4.4)$$

Günlük DC gücü

$$P_{DC} = \frac{7.5}{7} = 1.1 \text{ Wsa/gün} \quad (4.5)$$

olmaktadır.

Günlük AC gücü

$$P_{AC} = \frac{36050}{7} = 5150 \text{ Wsa/gün} \quad (4.6)$$

çıkar.

PV sisteminin günlük güç talebi formül 3.12 kullanılarak hesaplanır:

$$E_L = \frac{1.1}{0.812} + \frac{5150}{0.616} = 8361.36 \text{ Wsa/gün} \quad (4.7)$$

PV sistemi 24 saat çalışıyorsa bu sisteminin günlük ortalama yük akımı

$$I_L = \frac{8361.36}{24 \times 24} = 14.5 \text{ A} \quad (4.8)$$

olur.

Tabo 3.3' den ortalama PS değeri 5.3 saat çıkartılır. Formül 3.15' ten

$$I_{PV} = \frac{24 \times 14.5}{5.3} = 65.7 \text{ A} \quad (4.9)$$

hesaplanır.

Paralel bağlı panel sayısı formül 3.16' dan hesaplanır

$$N_P = \frac{65.7}{9.1} = 7.21 \approx 8 \quad (4.10)$$

Sizing Factor' ü

$$SF = \frac{8}{7.21} = 1.109 \quad (4.11)$$

olur.

Seri bağlı panel sayısı

$$N_S = \frac{24}{12} = 2 \quad (4.12)$$

Toplam panel sayısı N formül 3.19' dan hesaplanır

$$N = 8 \times 2 = 16 \quad (4.13)$$

Toplam PV gücü denklem 3.20' den hesaplanır.

$$W_{PV} = 16 \times 150 = 2400 \text{ W}_P \quad (4.14)$$

Bataryaların amper - saat kapasitesi

$$E_{Bat} = \frac{8361.36 \times 4}{0.8} = 41800 \text{ Wsa} \quad (4.15)$$

$$I_{Bat} = \frac{41800}{24} = 1742 \text{ Asa} \quad (4.16)$$

Paralel bağlı akü sayısı $N_{pakü}$

$$N_{pakü} = \frac{1742}{150} = 12 \quad (4.17)$$

tanedir.

Seri akü sayısı

$$N_{sakü} = \frac{24}{12} = 2 \quad (4.18)$$

tanedir.

Toplam akü sayısı

$$N_{akü} = 12 \times 2 = 24 \quad (4.19)$$

Bir akü kapasitesi

$$W_{akü} = 150 \times 12 = 1800 \text{ Wsa} = 1.8 \text{ KWsa} \quad (4.20)$$

Toplam akü kapasitesi

$$W_{topakü} = 24 \times 1.8 = 43.2 \text{ KWsa} \quad (4.21)$$

İnvertörün gücü formül 3.28' den hesaplanır

$$W_{inv} = 5.5 \text{ KW} \quad (4.22)$$

Tüm ev aletlerinin aynı anda çalışması halinde 5.5 KW' lık bir invertör gerekecek.

Formül 3.29 kullanıp şarj regülâtörün maksimum değeri

$$I_{şarjregmaks} = 9.1 \times 8 = 73 \text{ A} \quad (4.23)$$

olur.

Şarj regülatörü gerilimi $V_{\text{şarjreg}} = 24\text{V}$ olmak şartıyla 73A seçilmelidir. PV panelleri gruplara ayırıp daha düşük güçte şarj regülatör kullanmak mümkündür. Aynı zamanda panel ile şarj regülatörünün arasındaki sigorta değeri

$$I_{\text{sigpanreg}} = 73\text{A} \quad (4.24)$$

olmalıdır.

İnvertör için

$$I_{\text{invsig}} = \frac{5500}{24} = 230\text{A} \quad (4.25)$$

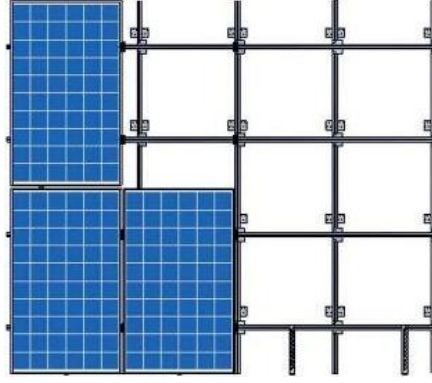
4.2. MONTAJ KURULUM ELEMANLARI VE PV SİSTEMİNİN MALİYETİ

Panel ölçülerine ve sayısına uygun olarak; aksak durumlarda her bir panele ulaşılabilmesi için, paneller sehpanın üzerinde yerleştirilmektedir. Şekil 4.1 bunu göstermektedir.



Şekil 4.1: Güneş panellerinin sehpa yerleşimi

Bu çalışmada 8 adet panel monte edilebilir yapıda olacaktır. Şekil 4.2' de 8 panelli (9.5 m²) sehpa gösterilmektedir. Bu çalışmada 16 panel için 2 sehpa (19 m²) gerekmektedir.



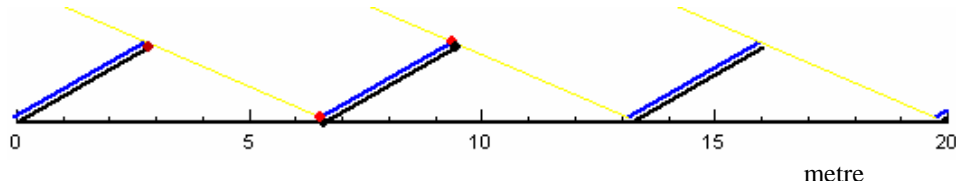
Şekil 4.2: 8 panelli sehpa

Panellerin farklı açılarla monte edilebilmesi için sehpanın eğimi ayarlanabilir ve alt ucu güvenlik nedeniyle yerden en az 1 metre yukarıda olacaktır. Bu nedenle aşağıdaki şekil 4.3' te gösterilen sabit bağlantılar gibi sistemler kurulur.



Şekil 4.3: Güneş paneli bağlantı aparatı - açı ayarı

Eğer sehpa yerde yerleştirilir ise; gölgelenme etkisini azaltmak için aradaki mesafe 6-6.5 metre olmalıdır. PV sehpaalarının arka arkaya yerleştirilmesi Şekil 4.4' te gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Sehpaaların arka arkaya yerleşimi

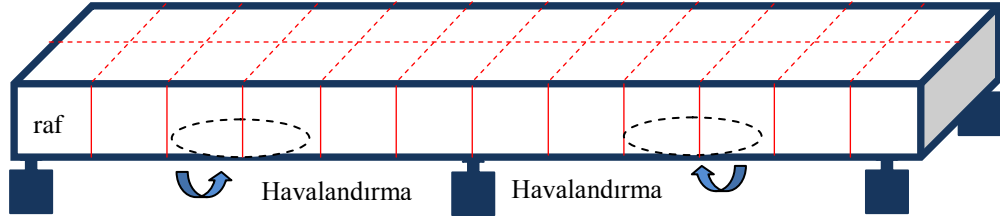
Çatıda ve binanın duvarında ise referans noktası hesaplandıktan sonra (bölüm 2.16.1) sehpaaların yan yana yerleşimi etmelidir. Sonuç olarak, panel dizileri, genelde sabit duran bir çerçeve ya da düzenek üzerine monte edilmektedir. Şekil 4.5 PV panellerinin çatıda yerleşmesini göstermektedir. Çatı üstünde, çatıya bütünleşmiş düz yüzey, cephe ve zeminlerde her ne şekilde olursa olsun, panellerin montajında estetik ve özel çözümler bulmak mümkündür.



Şekil 4.5: PV panellerinin çatıda yerleştirilmesi

Mimari gerekliliklere uygun ve göz zevkine hitap eden montaj yöntemleri uygulamak hiç de zordur değildir.

Akü gurubu kapalı bir kabin içerisinde çalışacağından akümülatörler yatay montaja uygun olacak ve raflara monte edilip kutulara yerleştirilecektir. Bir tane: 12x2 akü rafı gerekecek, her ikisinin de zemin kısmında gerekli ısı derecesini sabit tutmak için vantilatörler monte edilecek. Raflar ise akünün ebadından biraz daha fazla (410x180x260 mm, 0,0192 m³) olacaktır Şekil 4.6 12x2' li akü kutusunu göstermektedir. Böylece akülerim gerektiği alan (410x180x24) 1,78 m² olacaktır.



Şekil 4.6: Akü kutusu

Akü şarj cihazı ve invertör evin dış, iç duvarında, garajda özel kutulara saklanıp monte edilmektedir. Tablo 4.1' de PV sistemin temel elemanlarının ortalama fiyatları ve kurulan sisteminin sarfiyatı göstermektedir.

Tablo 4.1: Kurulmuş PV sisteminin temel elemanlarının fiyatları

Adı	Tip/Marka	Özellikleri	Birim fiyatı	adet	Toplam fiyat
PV panel	Solera	150W, 12V, 1196x986 mm	400 \$	16	6400\$
Akü	Sunlight	150 Asa, 12V	130 \$	24	3120\$
İnvertör	SunnyBoy	24V, 5.5 KW	4400\$	1	4400\$
Şarj regülatörü	Steca	24V, 100A	1580\$	1	1580\$
Diğer masraflar	Kablo, kutu		800\$		800\$
Toplam					16300\$

Ek EK - A' da tasarlanmış olan güneş paneli sisteminin şeması gösterilmektedir.

Ek EK - B' de Sistem kablolanması örneği gösterilmektedir.

Ek EK - C' de Elektrik Bağlantılar verilmiştir.

Yaz ve güz mevsimlerde, güneşin etkisi yüksek olduğu zamanlarda bölüm 2.15.1' de açıklandığı gibi güneş panellerinden üretilen artmış elektrik enerjisi şebekeye verilebilir. Sistem, gündüz üretim fazlasının şebekeye verilmesini, akşam paneller üretmediğinde elektriğin şebekeden alınmasını öngörmektedir. Bu sistemde aküye ihtiyaç olmamaktadır ve maliyet düşürülmektedir.

Evdeki tüketimin üretimden fazla olduğu anlarda ise şebekeden elektrik alımı yapılır. Alınan ve satılan elektriği kaydeden sayaçlar sayesinde alınan ve satılan elektrik hesaplanır. Avrupa' da en ucuz bir 125 Wp güneş panelinin maliyeti 2.4 €/Wsa evlerde üretilip şebekeye verilen güneş enerjisine KW saat başına 30 – 40 € cent civarı bedeller ödeniyor. Bu sayede panellere yapıldığı ilk yatırım bedeli karşılanıyor. Güneş enerjisinin en büyük avantajı da budur. İlk yatırım dışında, bakım giderleri çok büyük bütçeler gerektirmemektedir.

Hesaplanmış olan sisteminin karşısına Antalya örneği verilebilir. Antalya civarında 100 metrekarelik, günde 8 KWsa elektrik tüketen bir ev için 2 KWp gücünde bir şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem yeterlidir. Bu sistem için çatıda, yan cephe ya da bahçede 16 metrekarelik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir sistemle bir ev, yılda 2,920 KWsa elektrik üretebilmektedir. Bu da yıllık tüketim olan 2,920 KWsa (8x365) karşılamaktadır. Maliyeti 8,000 ile 11,000 € civarında. Önemli olan evin şebeke bağlantısının bulunmasıdır. Aksi halde aküye ihtiyaç duyulur ve maliyet artar.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

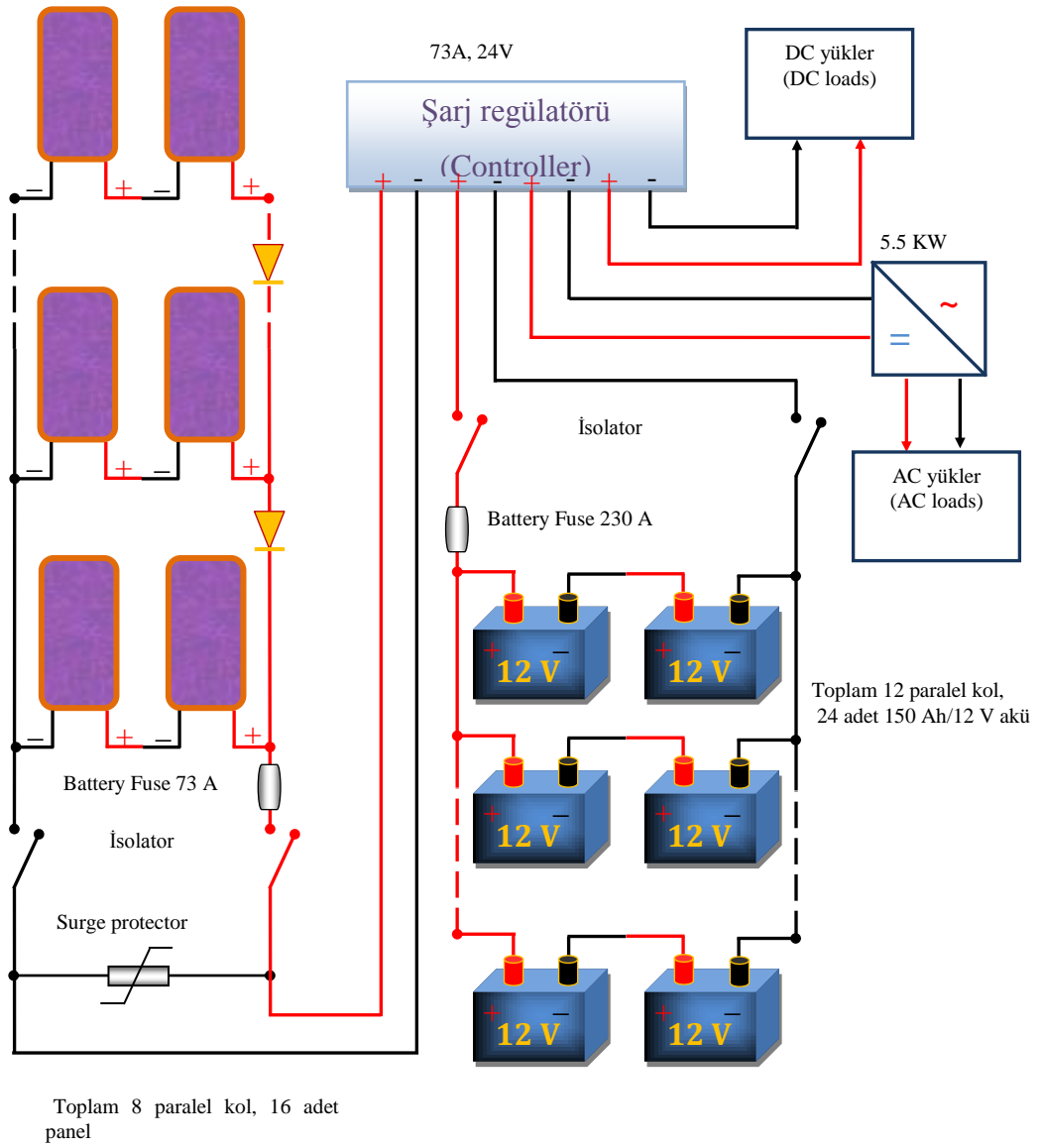
Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklar hakkında bilgiler verilmiştir. Şebeke bağlantılı ve Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin üzerinde çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda 4 kişilik evin maksimum elektrik talebini karşılamak için güneş pili sistemi tasarlanmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Hazırlanan çalışmada güneş panelleri ile ilgili olarak hesaplamaların, elektrik Őemaların sunulması ve sistem hakkında kayıpların bilgilendirilmesi sağlanmıştır.

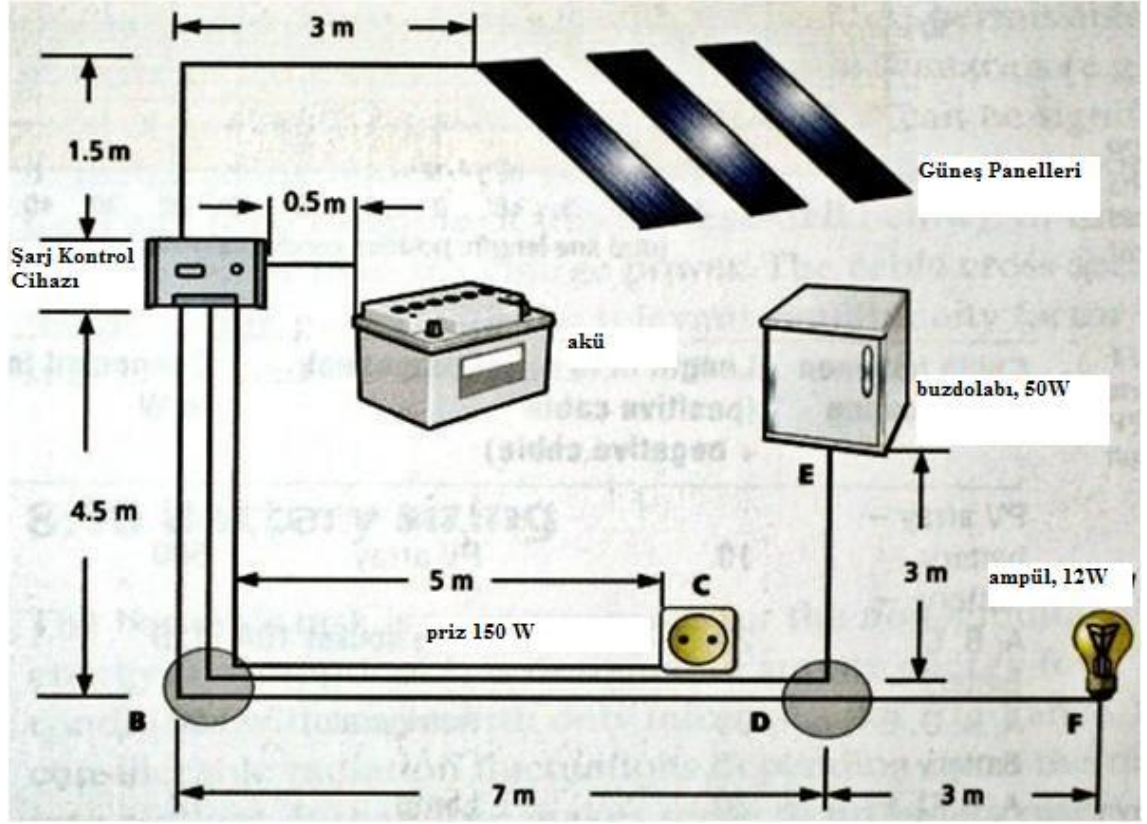
KAYNAKLAR

1. *Güneş Elektrik ve Türkiye* [online], Solar Bazaar, <http://www.solar-bazaar.com>, [Ziyaret Tarihi 12 Şubat 2010].
2. *Rüzgar Enerji Nedir?* [online],KSR Enerji, <http://www.ksrenergy.com> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2009].
3. GÜLBAHAR Levent, Şubat 2009, *Rüzgar Türbinleri*, Enerjinin Olduğu Her Yerde, Aneltech, 22-24.
4. *Hydroelectricity* [online], Ultra International, www.alternative_enerji_resources.net [Ziyaret Tarihi: 23 Kasım 2009].
5. *Nükleer Enerji* [online], Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org> [Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2009].
6. TOKA Bulent 2009, *Jeotermal Enerji*, Jeotermal Derneği, <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, [Ziyaret Tarihi: 04 Nisan 2009].
7. *Dalga Enerjisi* [online], Alternatürk, www.alternaturk.org [Ziyaret Tarihi: 26 Temmuz 2009].
8. *Güneş* [online],Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org/Gunes> [Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2009].
9. *Temel Elektronik*, 2005, İstanbul Kültür Üniversitesi, Yarıiletken Yapıları, 3 (1), 1-21
10. GÜLBAHAR Levent, Şubat 2009, Fotovoltaik Modülün Yapısı, Enerjinin Olduğu Her Yerde, Aneltech, 81-83.
11. KEÇEL Selçuk, Eylül 2007, *Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Gazi Üniversitesi, FBE.
12. POLATKAN Deniz Selkan, 2003, Yenilenebilir Güç Ve Enerji Kaynağı Güneş Ve Fotovoltaik – Güneş Elektrik Sistemleri, Fotoelektron, Aktif Ve Pasif Enerji kaynakları Bina Teknolojileri Yenilenebilir Enerji-Photovoltaic Sistemin Kurulumu, 39-40.
13. ÖZGÖÇMEN Ayşe, Mayıs 2007, *Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi, FBE, Elektrik Mühendisliği.
14. AKYOL Ş. Melih, KILIÇ Muhsin (Prof. Dr), 2003, *Konutların Elektrik Talebinin Güneş Pilleri ile Karşılanması Ve Ekonomik Yönden Jeneratörlerle Karşılanması*, 54-63.
15. ŞENPINAR Ahmet, 2006, *Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması*, Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Endüstriyel Elektronik Programı, Elazığ, 36-41.
16. ŞENPINAR Ahmet, 2006, *Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü*, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ.
17. BECKHAM William A., DUFFIE John A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons, INC, Canada, 888p.
18. BOZTEPE Mutlu, Eylül 2005, *PV Sistem Tasarımı*, Yeni Enerji Kaynakları, 46-48.
19. CHEREMISINOFF Paul N., DICKINSON William C., 1980, *Solar Energy Technology Handbook*, Part A Engineering Fundamentals, 270 Madison Avenue, New York, 865p.
20. BEKİROĞLU Batur, TUĞAL Vatan, 2008, *Güneş Pilleri Ve Özellikleri*, Marmara Üniversitesi, Eğitim Fakültesi.

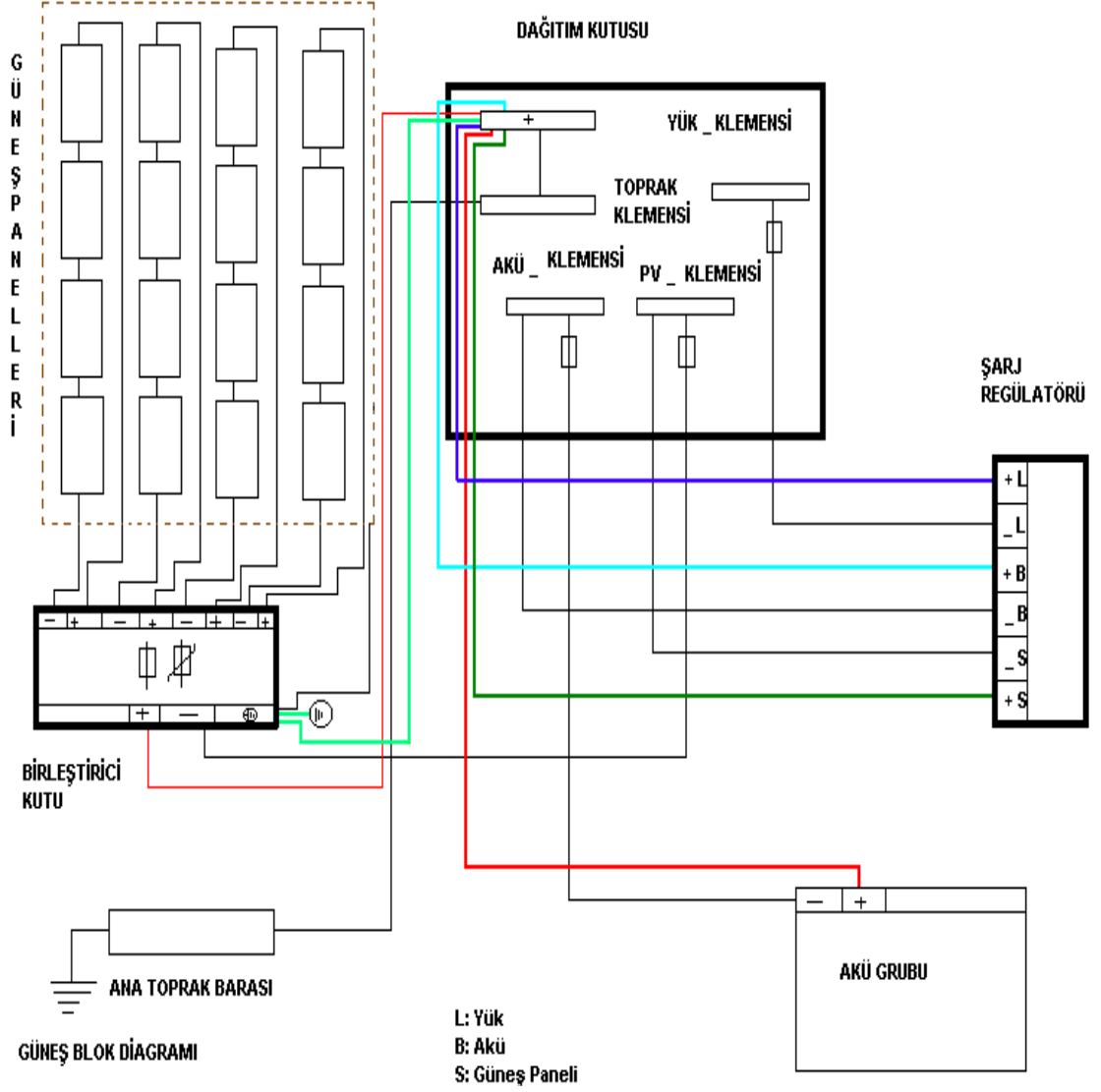
EKLER

EK-A: GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİ



EK –B: SİSTEM KABLOLANMASI ÖRNEĞİ

EK-C: ELEKTRİK BAĞLANTILARI



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı	MIHAİL GROZDEV
Uyruğu	Moldova
Doğum tarihi ve yeri	18.02.1979, Moldova, Vulkaneşti
Medeni hali	Bekar
e-mail	gromihail@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Eğitim birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Moldova Teknik Üniversitesi	2001
Lise	Vulkaneşti, Orta Okulu	1996

İŞ DENEĞİMİ

Yıl	Yer	Görev
2001 – 2006	Moldova, Kişinev Su İdaresi	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce