

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

**GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN
SİSTEMLERDE ENERJİ ÜRETİMİ VE ÖRNEK
UYGULAMALARIN SİMÜLASYONLAR İLE
ANALİZİ**

Ali İLGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Ocak 2010

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

**GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN
SİSTEMLERDE ENERJİ ÜRETİMİ VE ÖRNEK
UYGULAMALARIN SİMÜLASYONLAR İLE
ANALİZİ**

Ali İLGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Ocak 2010

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Ali İLGÜN tarafından yapılan “Güneş Gözeleri İle Beslenen Sistemlerde Enerji Üretimi ve Örnek Uygulamalarının Simülasyonlar ile Analizi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı _____ İmza

Başkan: Doç.Dr.İbrahim KAYA.....

Üye : Yrd.Doç.Dr.Bilal GÜMÜŞ (Danışman).....

Üye : Yrd.Doç.Dr.Hasan BAYINDIR.....

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 04/02/2010

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2009

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

(MÜHÜR)

TEŐEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca her tŸrlŸ destek ve yardımlarını esirgemedен, bilgi ve birikimlerini benimle paylaőan danışman hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Bilal GŸMŸŐ'e teőekkŸr ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli dŸnem arkadaőım YurdagŸl BENTEŐEN YAKUT'a, manevi destekleri ile her zaman yanımda olan eőim Sibel'e, oğluma ve aileme teőekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Yöntemi	1
1.2 Tezin Yapısı	2
2 . GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ELDESİ VE GÜNEŞ GÖZELERİ.....	3
2.1. Güneş.....	5
2.2. Güneş Enerjisi Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi.....	5
2.3 Güneş Işınımı	7
2.4. Güneş Enerjisinin Spektral Analizi	8
2.5. Güneş Gözesi (Fotovoltaik)	9
2.5.1. Güneş Gözesi Yapımında Kullanılan Malzemeler	10
2.5.2. Katı Cisimler ve Fotovoltaik Dönüşüm	11
2.5.3. Güneş Gözelerinin Yapısı ve Çalışma Prensipleri	15
2.5.4. Güneş Gözesi Eşdeğer Devresi ve Güç.....	18
3. GÜNEŞ GÖZESİ SİSTEMLERİ VE BU SİSTEMLERİN	
SİMÜLASYONLAR İLE ANALİZİ	21
3.1. Güneş Gözesi Sistemleri	21
3.2. Güneş Gözesi Sistemlerini Oluşturan Birimler.....	23
3.2.1. Güneş Gözeleri	23
3.2.2. Şarj Denetim Birimleri	23

3.2.1.1.MPPT	24
3.2.3. Bataryalar	28
3.2.4. Eviriciler	29
3.3. Güneş Gözesi Sistemlerinde Kullanılabilecek Simülasyonlar	31
3.3.1. Homer Simülasyonu	31
3.3.2. Matlab Simülasyonu	34

4. GÜNEŞ GÖZESİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETME

UYGULAMALARI VE SİMÜLASYONLAR İLE ANALİZİ	38
4.1. Giriş	38
4.2. Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı Örneği	38
4.2.1. Diyarbakır Güneş Evi Güneş Gözesi Sisteminin Genel yapısı	38
4.2.2. Diyarbakır Güneş Evi'nin PV Sistem Detayları	39
4.2.3. Diyarbakır Güneş Evi Elektrik Enerjisi Tüketim Potansiyeli	41
4.2.4. Diyarbakır Güneş Evi'nin PV Sistem Kurulum Maliyeti	42
4.2.5. Diyarbakır Güneş Evi'nde Simülasyonlar Kullanılarak hesaplanan enerji üretim potansiyeli	43
4.2.6. Sistemin Maliyet Analizi	46
4.3. Radyo Baz İstasyonu Örneği	47
4.3.1. Radyo Baz İstasyonu Örneğinin PV Sistem Detayları	47
4.3.2. Radyo Baz İstasyonu Örneğinin Enerji Tüketim Potansiyeli	50
4.3.3. Radyo Baz İstasyonunda Kurulan Hibrit Üretim Sistemi ile ENH kurulum maliyetlerinin incelenmesi	51
4.3.4. Radyo Baz İstasyonunun Homer Simülasyonu ile Enerji Üretim Analizi ..	53
4.3.5. Sistemin Maliyet Analizi	59

5. GÜNEŞ GÖZELERİ İLE ENERJİ ÜRETİLEN SİSTEMLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ.....	59
5.1. Giriş	59
5.2. Enerji Verimliliğinin Önemi	62
5.3. Enerji Verimliliğini Arttırma Yöntemleri	63
5.3.1. Binalardaki Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği	64
5.3.2. Aydınlatma.....	65
5.3.3. Ev Otomasyon Sistemleri.....	69
6. SONUÇ	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı	8
Şekil 2.2. Güneş Işınımın Uzaya Geri Dönüşü	8
Şekil 2.3. Solar Spektrum	9
Şekil 2.4. Katılardaki enerji-bant diyagramı.....	13
Şekil 2.5. Maddelerin Enerji Aralığı ve Faydalanma Verim Eğrisi[6]	14
Şekil 2.6. Saf ve Katkılı Yarı İletken Bağ Yapıları.....	15
Şekil 2.7. Yarı İletken Enerji Bant Aralığı	15
Şekil 2.8. Tipik Bir Güneş Gözesi.....	16
Şekil 2.9. Eklemdeki Doğal Elektrik Alan (Ei)	18
Şekil 2.10. Güneş Gözesi Dönüşümü.....	18
Şekil 2.11. Güneş Gözesi Çalışma Modelleri	19
Şekil 3.1. Güneş Gözesi Sistemleri	22
Şekil 3.2. Tipik PV Hücrelerinin Akım Gerilim Karakteristiği.....	25
Şekil 3.3. Alçaltıcı Yükseltici çeviricili MPPT devresi	25
Şekil 3.4. Doluluk Oranı.....	26
Şekil 3.5. MPPT devresi Akış diyagramına bir örnek.	27
Şekil 3.6. Homer Proje Ekranı.....	32
Şekil 3.7. Sistemde Kullanılacak Elemanların Seçilmesi.	33
Şekil 3.8. Yük Tipi ve profili Giriş Ekranı.	33
Şekil 3.9. Lokasyon ve Işıma verileri Giriş Ekranı.	34
Şekil 3.10. Simülasyon Sonuçlarını Hesaplatma Ekranı.	35
Şekil 3.11. Matlab Simülink ile hazırlanmış Devre Modeli.	35
Şekil 3.12. Veri Giriş Ekranı.	36
Şekil 3.13. Azimut Açısı	37
Şekil 4.1. PV Sistemin Genel Yapısı.	39
Şekil 4.2. Güneş Gözelerinin Çatıya Monte Şekli.....	40
Şekil 4.3. Güneş Evinde kullanılan Bataryalar, İnverter ve Şarj Regülatörü.	41
Şekil 4.4. Güneş Evinde aylara göre günlük üretim verileri.....	43
Şekil 4.5. Güneş Evinde aylara göre dağıtılmış saatlik üretim verileri.	44
Şekil 4.6. Güneş Gözelerinin Montaj Şekli.	49
Şekil 4.7. Bataryalar ve Şarj Regülatörü.....	50
Şekil 4.8. Radyo Baz istasyonunda Aylara Göre Günlük Üretim Verileri.	54
Şekil 4.9. Radyo Baz istasyonunda Aylara Göre Dağıtılmış Saatlik Üretim Verileri.	55
Şekil 4.10. Radyo Baz istasyonunda kullanılan 3 kW'lık Rüzgar Tribünü ile üretilen Elektrik Enerjisi	55
Şekil 4.11. Radyo Baz istasyonunda Üretilen ve Harcanan Enerjinin Aylara Göre Grafiksel Gösterimi	58
Şekil 4.12. Radyo Baz istasyonunda kurulan Hibrit Sistem ve 1 km'lik ENH maliyeti ile Amortisman süresinin hesaplanması	58
Şekil 4.13. Radyo Baz istasyonunda kurulan Hibrit Sistem ve 1,5 km'lik ENH maliyeti ile Amortisman süresinin hesaplanması	60

Şekil 5.1. Güneş Evi için önerilen Zemin Kat Aydınlatma Projesi.....	67
Şekil 5.2. Güneş Evi için önerilen Asma Kat Aydınlatma Projesi	68
Şekil 5.3. Güneş Evi için önerilen Otomasyon Sisteminin Ladder Diyagramı ile Gösterimi	72

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bataryalar ve Özellikleri.....	29
Tablo 4.1. Güneş Evinde kullanılan güneş gözesi özellikleri.....	39
Tablo 4.2. Güneş Gözelerinde Elde edilen güç, gerilim ve akım değerleri.	40
Tablo 4.3. Güneş Evinde Kullanılan Eviricinin Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 4.4. 21 Haziran 2008 ile 24 Ağustos 2009 arası Güneş Evi Enerji Tüketim Değerleri.	42
Tablo 4.5. Güneş Evinde kullanılan cihazların günlük enerji tüketim değerleri.	42
Tablo 4.6. Güneş Evinde kurulan PV sistemin kurulum maliyeti.	42
Tablo 4.7. Homer simülasyonu ile Güneş Evindeki aylara göre toplam üretim fonksiyonları.....	44
Tablo 4.8. Matlab simülasyonu ile Güneş Evindeki aylara göre toplam üretim değerleri	45
Tablo 4.9. Güneş Evinde tüketilen ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.....	46
Tablo 4.10. Radyo Baz istasyonu için gerekli güneş gözesi sayısı hesabı.	48
Tablo 4.11. Radyo Baz istasyonunda kullanılan Güneş gözesi teknik özellikleri.	48
Tablo 4.12. Radyo Baz istasyonunda Maksimum panel gücü, çıkış gerilimi ve çıkış gücü	49
Tablo 4.13. Radyo Baz istasyonuna ait aylık enerji tüketim değerleri.	51
Tablo 4.14. Radyo Baz istasyonunda kurulan sistemin maliyeti.	52
Tablo 4.15. Radyo Baz istasyonuna ait 1km'lik ENH maliyeti.	53
Tablo 4.16. Radyo Baz istasyonunda PV'ler ile üretilen enerjinin aylara göre toplam değerleri.....	54
Tablo 4.17. Radyo Baz istasyonunda Rüzgar Tribünü ile üretilen enerjinin aylara göre toplam değerleri	56
Tablo 4.18. Radyo Baz istasyonunda Hibrit Sistem ile üretilen enerjinin aylara göre toplam değerleri	57
Tablo 4.19. ENH'lı sistemde harcanan enerji ile Hibrit sistemde üretilen enerji miktarının karşılanması.	58
Tablo 5.1. Ülkelere göre Enerji yoğunluğu dağılımı... ..	63
Tablo 5.2. Güneş Evi için önerilen aydınlatma projesinde zemin katta kullanılacak Armatür ve lamba adedi	68
Tablo 5.3. Güneş Evi için önerilen aydınlatma projesinde zemin katta kullanılacak Armatür ve lamba adedi	69

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN SİSTEMLERDE ENERJİ ÜRETİMİ VE ÖRNEK UYGULAMALARIN SİMULASYONLAR İLE ANALİZİ

Ali İLGÜN

Dicle Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2010, Sayfa: 78

Küresel iklim değişikliği, fosil yakıtların tükenme ve çevresel etki tehditleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun uygulamalarda kullanımı bu açıdan oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ve örnek uygulamalar incelenmiştir.

Çalışmada, öncelikle güneş enerjisi ve güneş gözesi sistemlerini oluşturan elemanlar incelenmiştir. Ardından bu sistemlerin kullanıldığı uygulama örnekleri ele alınmıştır. Evsel uygulamalara örnek olmak üzere Diyarbakır Güneş Evi, telekomünikasyon uygulamalarına örnek olarak da bir baz istasyonu incelenmiştir. Ele alınan uygulama örneklerinde öncelikle sistem detayları verilmiş ardından ölçülen değerler ile sistem sistemlerin enerji üretim kapasiteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Enerji üretim sistemleri için kullanılabilen Homer simülasyon programı ile ele alınan uygulama örneklerinin simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar ve eldeki veriler ışığında sistemlerin maliyet analizleri ortaya

konmuştur. Güneş gözeleri ile beslenen sistemlerde kurulum maliyetleri yüksek olduğundan enerjinin verimli kullanılması son derece önemlidir. Tezde ayrıca güneş gözelerinden beslenen sistemler için enerji verimliliğini artırma yöntemleri incelenmiş ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Gözesi, Fotovoltaik Sistem, Homer Simulasyonu, Matlab Simulasyonu, Enerji Verimliliği,

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ENERGY PRODUCTION OF SYSTEMS WHICH ARE FED BY SOLAR CELLS AND ANALYSIS OF APPLICATIONS WITH SIMULATIONS

Ali İLGÜN

Dicle University
Graduate School of Naturel and Applied Science
Department of Electrical and Electronics Engineering
2010, Page:78

The change of global climate, the risk of running out of fossil fuel and the impact on environment require the use of renewable energy resources. From this point of view, the use of renewable energy resources in required areas is important. In this project, applications of solar energy which is one of the most important renewable energy resource for Turkey and South East Region of Turkey, is investigated.

In this project, firstly components of solar cell systems and solar energy are examined. And then application models used with this system are explained. For house applications Diyarbakir Solar House and for telecommunication applications a radio base station are selected as models. Firstly system details are given and then measured values and energy production capacity are tried to find in these examined application system. Application model simulations are done by Homer Simulation programme which can be used for energy production systems. According to these simulations and data the cost price is revealed. Systems which are fed by solar cell set up cost price is so high that productive usage of energy is very important. Also in

this Project, some methods are examined increasing the productive usage of energy and some suggestions are presented.

Key words : Solar Energy, Solar cell, Fotovoltaic Systems, Homer Simulation, Matlab Simulation, Energy Productivity

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Yöntemi

Dünyada ve ülkemizde enerji temini güncel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojik gelişmelerle paralel olarak enerji tüketiminin artması mevcut fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalmasına, bu enerji kaynaklarının kullanımı ise çevre kirliliğine ve çevre dengelerinin bozulmasına neden olmaktadır.

Küresel iklim değişikliğinin ve çevresel kirliliğin kışkacında bulunan dünyamız, bugün, çevreyle uyumlu çözümlere acilen muhtaçtır. Bununla birlikte, dünyamızda bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlarının yaklaşık 40 yıl sonra tükeneceği ve çevresel etki tehditleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun uygulamalarda kullanımı bu açıdan oldukça önemlidir. Bütün bu gelişmelerin sonucu olarak yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir önem arz etmektedir[1].

Her ülke enerjisini değişik kaynaklar vasıtası ile üretir. Enerji kaynakları geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynakları diye sınıflandırılabilir. Geleneksel kaynaklar fosil yakıtlar (petrol, maden kömürü ve doğal gaz) ve nükleer enerji kaynaklarından oluşur. Yenilenebilir kaynaklar ise güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, gel git ve dalga enerjisi gibi kaynaklardan oluşur [2]. Geleneksel enerji kaynakları birçok çevresel problem doğurmaktadır. Bunların en ciddileri karbon emisyonlarını arttırmaları, duman, asit yağmurları, petrol kirliliği ve dünya çapında ısınmadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostudur[3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile bir yandan ihtiyaç duyulan enerjinin temini ve arzı sağlanırken diğer yandan temiz yöntemlerle enerji üretimi

yapılacağından küresel iklim değışikliğinin önlenmesi, en azından yavaşlatılması mümkün olacaktır [2].

Günümüz koşullarında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir zorunluluk haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etmekle beraber bu enerjinin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bunun içinde enerji tüketiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Gerek güneş, gerek rüzgâr ve gerekse bio-kütle konusunda ülkemizde yeni açılımların kazandırılması gerekmektedir. Çalışmalar göstermektedir ki yurdumuzun, ciddi bir güneş potansiyeli vardır. Özellikle, güney ve batı bölgelerinde sıcak su elde etmek için çok küçük bir kısmı kullanılan bu potansiyel, ne yazık ki yeterince değerlendirilmemektedir[1]. Bu çalışmada, Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisinin kullanımına örnek uygulamalar incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesinin ve bu enerjinin etkin bir şekilde kullanımının uygulama örnekleri ve simülasyonlar ile incelenmesidir.

1.2. Tezin Yapısı

Yapılan tez çalışması içinde, güneş enerjisi ve PV Sistem elemanlarına ilişkin açıklamalar yapılmış ve uygulama örnekleri incelenmiştir. Uygulama örneklerinden birincisi Diyarbakır'da inşa edilmiş Diyarbakır Güneş Evi, ikincisi ise Marmaris yakınlarında kurulmuş bir Radyo Baz İstasyonudur. Diyarbakır Güneş Evi'nde elektrik eldesi güneş gözelerinden, Radyo Baz İstasyonu sisteminde ise güneş gözeleri ve rüzgâr tribünlü sistemden hibrit çalıştırılarak elde edilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi A.A.'a çevrilerek cihazların beslemesinde kullanılmıştır.

Kurulan sistemlerde üretilen ve tüketilen enerji miktarları, somut veriler ve simülasyon modelleri ile incelenmiştir. Şebekeye uzak yerlerde incelenen PV ve hibrit enerji üretim sistemlerinin maliyet açısından da uygulanabilir olduğu görülmüştür. Çift sayaç uygulamasının yürürlüğe geçmesi ile üretilen enerjinin fazlası şebekeye verileceğinden ve sistem amortismanını kısıltacağından şebekeye yakın bölgelere de kurulması daha ekonomik olabilecektir.

Tezin ikinci bölümünde, güneş, güneş gözeleri ve güneş gözelerinin yapımında kullanılan malzemeler ve çalışma prensipleri incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, güneş gözesi sistemleri incelenmiştir. Güneş gözesi sistemlerinde sistemi oluşturan şarj denetim birimleri, bataryalar ve eviriciler ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. İncelenen uygulama örneklerinin birincisinde kullanılan PV sistem elemanlarına dair özellikler, ikincisinde ise PV ve rüzgâr enerjisi ile çalıştırılan sisteme ait özellikler incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca güneş gözesi sistemlerinden elde edilen enerjinin nasıl hesaplanabileceği simülasyon örnekleri incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, Homer ve Matlab Simulink ile uygulama örnekleri incelenerek enerji üretim verileri hesaplanmıştır. Diyarbakır Güneş Evi'ne ait üretilen elektrik enerjisi miktarı Homer ve Matlab Simülasyonları ile aylık ve yıllık olarak hesaplanmış, üretilen ve tüketilen değerler karşılaştırılmıştır. Radyo Baz İstasyonu uygulamasında ise Hibrit sistem modeli Homer simülasyonu ile incelenmiş sistem üretim değerleri ile bölgedeki başka bir Radyo Baz istasyonunun tüketim değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen 2 uygulama örneği için maliyet analizi çıkarılmış ve bu sistemlerin amortisman süreleri hesaplanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde, enerji verimliliği ve enerji verimliliğini artırma

yöntemleri incelenmiştir. Kendi enerjisini üreten Diyarbakır Güneş Evi için aydınlatma ve otomasyon projeleri önerilmiştir. Aydınlatma ve Otomasyon projeleri ile enerjiyi daha verimli kullanarak tasarruflu bir ev oluşturulması amaçlanmıştır.

Tezin altıncı bölümünde ise sonuçlar yer almıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ELDESİ VE GÜNEŞ GÖZELERİ

2.1. Güneş

Güneş, güneş sisteminin merkezinde yer alır ve elektromanyetik ışınlar yaparak enerji yayar. Güneş, çapı 1.39×10^9 m olan sıcak bir gaz küresidir ve dünyadan yaklaşık olarak $1,5 \times 10^{11}$ m uzaktadır. Güneşin kütlesi $2,0 \times 10^{30}$ kg'dır ve bu kütle dünyanın kütesinin yaklaşık 330,000 katıdır.

Güneş enerjisinin %90'ının, termonükleer füzyon sonucu güneşin merkez bölgesinde oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu merkezi bölgede açığa çıkan enerji yaklaşık olarak 3.83×10^{26} W'tır ve bu bölgedeki sıcaklık 15×10^6 K civarındadır. Güneş yüzeyindeki enerji miktarı 6.33×10^7 W / m² dir. Atmosferin dışında güneşten yaklaşık 5×10^{11} m uzaklıktaki 1 m² lik alana düşen enerji miktarı 367 W / m² dir. Bu sayıya solar sabit denir[3].

2.2. Güneş Enerjisi Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi

İnsanların güneş enerjisinden teknolojik olarak yararlanması, yani güneş enerjisini kendi geliştirdiği yollarla başka enerjilere dönüştürmesi, bir hayli eskilere dayanır. Bilinen ilk uygulamalardan biri, Arşimed'in Sirakuza'da güneş ışınlarını büyük aynalarla yoğunlaştırarak düşman gemilerine odaklaması ve onları yakması olarak bilinir[4].

17.yy'da, yine aynalarla güneş ışınlarının yoğunlaştırılarak odun yığınlarının yakılmasında kullanıldığı, 18.yy'da yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının kimyasal tepkimelerde ve güneş ocaklarında kullanıldığı görülür. 19.yy'da güneş enerjisi uygulamaları artmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile metal eritme, su dağıtma,

buhar üretme, güneşle çalışan buhar makinesi, baskı makinesi gibi yapılan çalışmalar, uygulama örnekleri olarak gösterilebilir[4].

20.yy'da insanların yaşamına giren petrol, güneş enerjisi kullanımıyla ilgili gelişmeleri bir ölçüde frenlemiştir. Bununla birlikte, 1974'deki yapay petrol bunalımı ve petrol fiyatlarının artması sonucu güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar, yeniden hız kazanmıştır. Özellikle evlerde sıcak su sağlanmasında güneş toplacıları kullanımı bu yüzyılda yaygınlaşmıştır. Yine, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanıldığı güneş santralleri bu yüzyılda yapılmaya başlanılmıştır.

1954 yılında Bell laboratuvarında güneş gözesinin geliştirilmesi ile, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar giderek yaygın kullanım alanları bulmuşlardır. Güneş gözesinin ilk büyük ölçekli uygulama alanı, uzay çalışmalarında olmuştur [1,4]. Uzay araçlarına enerji sağlamada bu gözeler en uygun araçlar olmuşlardır. Önceleri küçük ölçeklerde çeşitli yerlerde kullanılan güneş gözeleri giderek daha geniş kullanım alanlarına yayılmışlardır. Yaygın kullanımla birlikte bu gözelerin fiyatları da giderek düşmüştür. Bugün güneş gözeleri ile çalıştırılan güneş otomobilleri, güneş uçağı, elektrik şebekesine uzak yerlerdeki uygulamalar, güneş gözeleri ile çalışan elektrik santralleri bulunmaktadır [4].

Günlük güneş enerjisinin seyreltik ve kesikli olması, bu enerjinin daha etkin ve verimli kullanılmasında sorun olmaktadır. Oysa bugün dünyaya gelen güneş enerjisi, dünyada kullanılan tüm enerjinin 15-16 bin katı dolayındadır[4]. Bu durumda, dünya üzerinde bu enerjiyi olabildiğince verimli ve etkin kullanabilme yolu bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, en akıllıca yollardan biri de güneş enerjisini dünyanın dışında yakalayarak bunu bir şekilde elektrik enerjisine çevirerek dünyaya aktarmaktır. Uzayda, ya da bize en yakın gök cismi olan Ay'da bu işin

başarılabilceği düşünölmektedir[4]. Gerek uzayda gerekse Ay'da bulutluluk engeli ve gece gündüz sorunu yoktur. Ayrıca hava kürenin soğurucu etkileri de burada söz konusu olmamaktadır. Şimdilik düşünce ve kuram düzeyindeki çalışmaların, çok uzun olmayacak sürede gerçekleşmesi beklenmektedir.

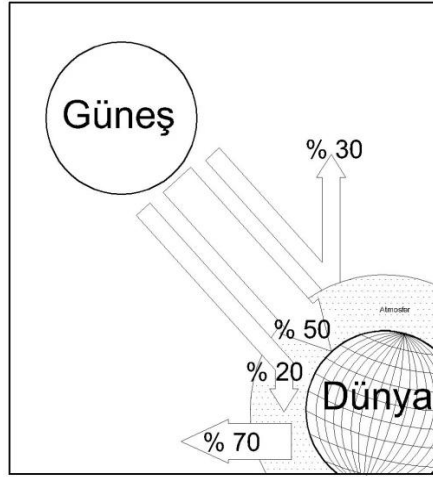
Ölkemizin de, güneş enerjisinden ve diğer tükenmez enerjilerden yararlanma konusundaki yarışta geri kalmaması gerekir. Çünkü ölkemiz üç kıtaya en yakın konumda bulunmakta, ayrıca güneş kuşağı denilen ve ekvatora göre kuzey ve güney 40 enlemlerini kapsayan bölgede bulunmaktadır. Ölkemizin bu iki özelliği, güneş enerjisinin teknolojik uygulamalarına bir vitrin durumuna gelmesinde büyük bir üstünlük sağlayabilir.

2.3. Güneş Işınımı

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [1].

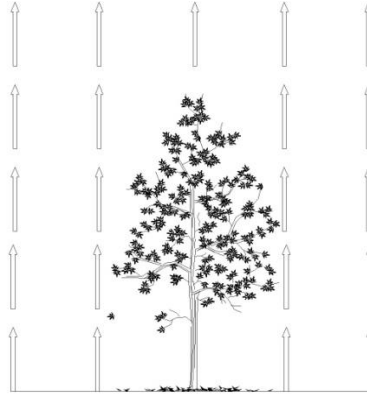
Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır (Bkz Şekil2.1) .

Bu enerji ile dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur.



Şekil 2.1. Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı

Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir (Bkz Şekil 2.2).

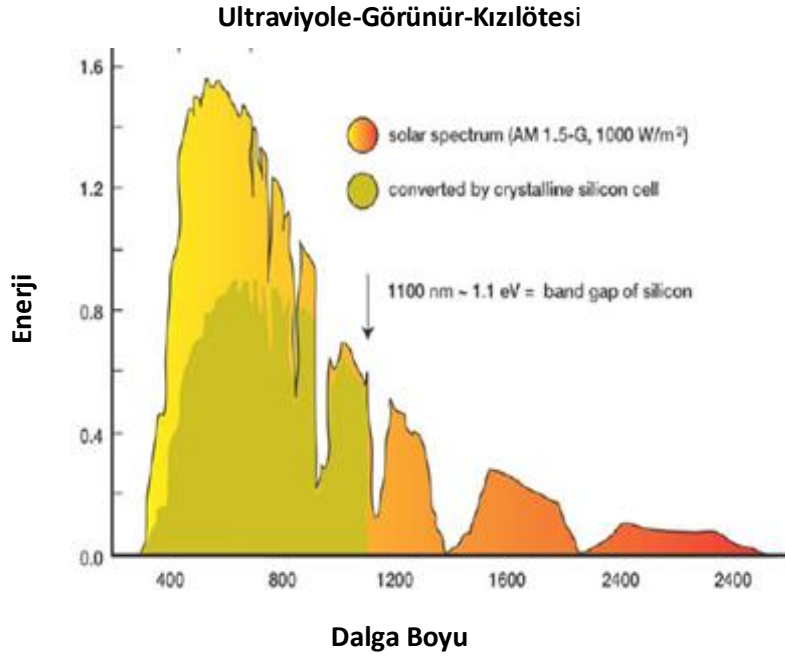


Şekil 2.2. Güneş Işınımının Uzaya Geri Dönüşü

2.4. Güneş Enerjisinin Spektral Analizi

Işık kaynakları çok farklı dalga boylarıyla ışık yaymaktadırlar. Güneş, ışığı geniş bir spektrum içinde elektromanyetik radyasyon şeklinde yayar. 400 nm'den küçük dalga boyları *morötesi* olarak bilinmektedir. 700 nm'den büyük dalga boyları ise *kızılötesi* olarak adlandırılır. Görülebilir dalga boyu aralığı ise morötesi ve kızılötesi arasında kalan bölgedir. Mor ötesi, kısa dalga görünmeyen enerji (Ultra

Viyole (UV)) toplam güneş ısısının %1'ini, orta dalga görünür enerji toplam güneş ısısının %53'ünü ve yakın kızılötesi uzun dalga görünmeyen enerji toplam güneş ısısının %46'sıdır. Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu Şekil 2.3' te gösterilmiştir [1].



Şekil 2.3. Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu

2.5. Güneş Gözesi (Fotovoltaik)

Güneş gözesi, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş gözesinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır[5].

Güneş gözeleri, üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Gözenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş gözesinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışı artırarak amacıyla çok sayıda güneş gözesi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş gözesi modülü adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan mega Watt'lara kadar sistemler oluşturulabilir.

2.5.1. Güneş Gözesi Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş gözeleri, pek çok farklı maddeden yararlanılarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler açıklanmıştır[6].

2.5.1.1. Kristal Silisyum

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

2.5.1.2. Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs gözelerde %30 verim elde edilmiştir[6]. GaAs güneş gözeleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

2.5.1.3. Amorf Silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si gözelerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük

elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş gözesinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara bütünleşmiş yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir.

2.5.1.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş gözesi maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

2.5.1.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Bu poli kristal gözede laboratuar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

2.5.1.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücresler

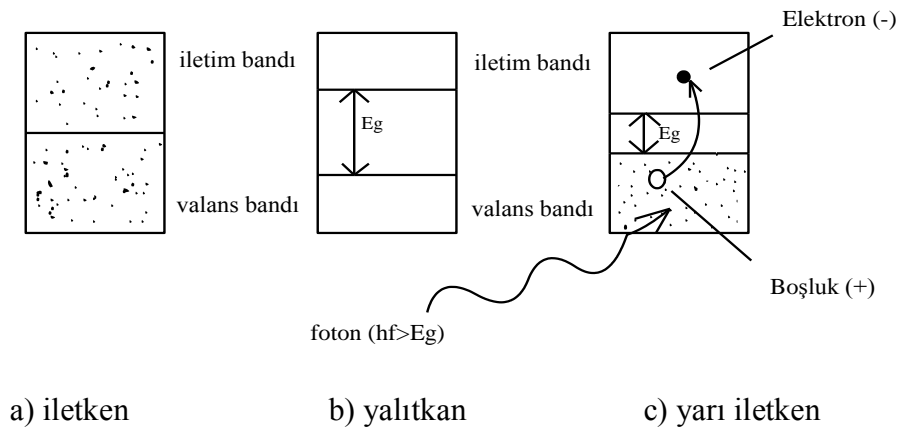
Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, göze verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır[6].

2.5.2. Katı Cisimler ve Fotovoltaik Dönüşüm

Işık fotonları malzemelerde elektronlarla çarpışarak enerjilerini elektronlara aktarır ve sonuçta elektronlar bağlarından koparak serbest hale geçer. Bu olaya soğrulma denir. Fotovoltaik olayda, fotonla uyarılan negatif (-) elektronlar gerilerinde pozitif (+) yüklü boşluklar bırakır. Üretilen bu ek yükler sistem içerisinde ayrı taraflara toplandığında bir potansiyel fark üretilebilmektedir. Bir fotovoltaik dönüşüm için bazı şartlar gereklidir. Bunlar:

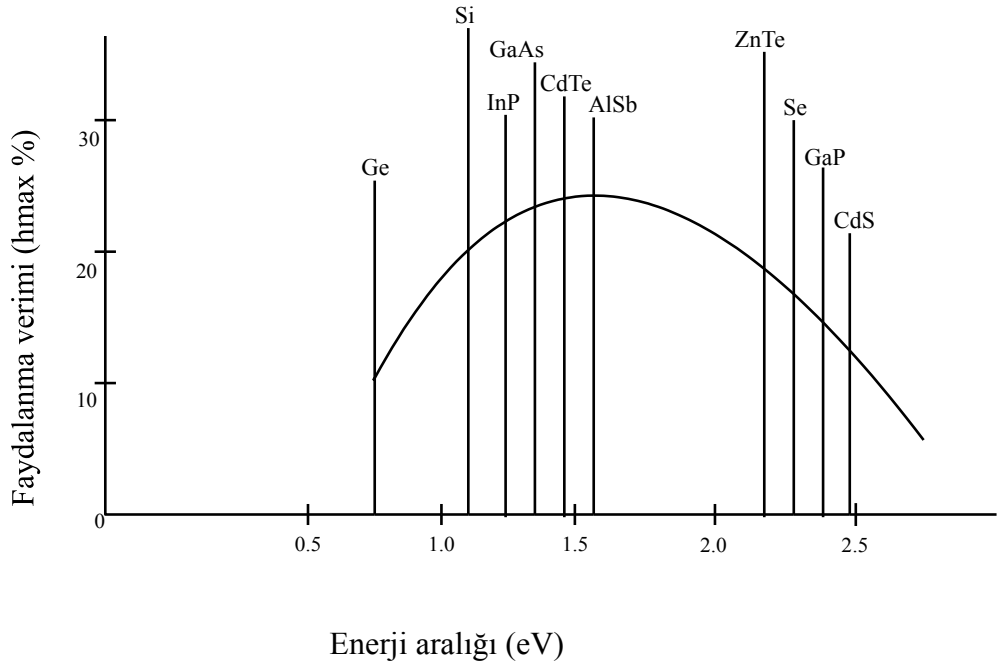
- Ek elektron- boşluk çiftleri üretmek için, yeterli enerjili foton uyarımı yapılmalıdır. Çünkü elektronları bağlarından koparabilecek şekilde bir dış etki gerekmektedir.
- Uygun malzemeler arasındaki eklemle üretilen yüklerin birbirinden ayrılması için potansiyel enerji bariyerleri kurulmalıdır.
- Soğurulan ve ayrılan yükler tekrar birleşip etkilerini kaybetmeden gözesinin kutuplarına yönlendirilmeli ve elektriksel yükü beslemek üzere toplatılmalıdır. (Şekil2.4)

Prensip olarak yukarıdaki şartları sağlayacak şekilde elektriksel özellikleri farklı herhangi iki malzeme arasında eklem kurularak fotovoltaik dönüşüm yapılabilir[6]. Bununla birlikte özellikle güneş ışınımının uyarma enerjisi olarak kullanıldığı düşünüldüğünde yapı malzemelerinin güneşten etkilenme durumu önemli bir konudur. Bu nedenle tatmin edici bir sonuç almak üzere, fotovoltaik pillerin p-n yarı iletken veya ince metal – yarı iletken eklemi olarak düzenlenmesi önerilmektedir[7].



Şekil 2.4. Katılardaki enerji-bant diyagramı

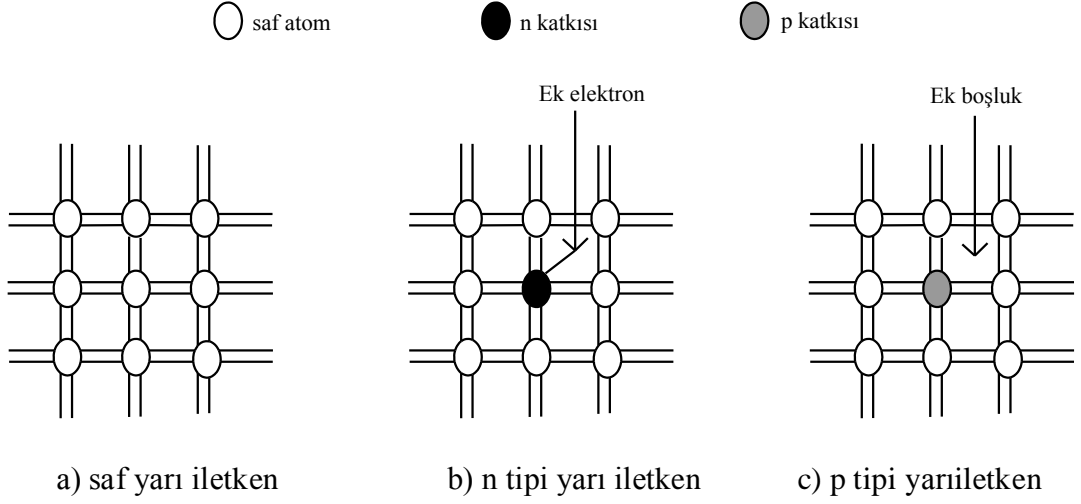
İletim bandındaki bir elektronun hareket serbestliği malzemenin elektriksel iletkenliğini etkiler. Metal gibi iletkenlerde elektronlar bağlarından neredeyse kopuktur. Metallerin enerji bant yapıları itibariyle elektronlar bir bütün olarak ilettime katkıda bulunur. Yalıtkan ve yarı iletkenlerde elektronların iletim bandına geçmelerini engelleyen E_g enerji aralığı bulunur. Serbest hale geçecek bir elektronun dışarıdan bu enerji aralığını (E_g) aşacak şekilde bir enerji alması gerekmektedir. Yalıtkanlarda enerji aralığı çok büyüktür (~ 10 eV). Bu nedenle elektronların ilettime geçmeleri çok zordur. Yarı iletkenler mutlak sıfır derecede yalıtkanlar gibi davranır. Fakat E_g enerji aralığı çok küçüktür (1-3 eV). Bu durum onların ısı, ışık, elektrik alan gibi dış etkilere cevap vermesini sağlar. Oda sıcaklığında bir yarı iletkende bir kaç elektron iletim bandında olabilmektedir. Diğer yandan yerdeki güneş spektral eğrisinin büyük güçlü fotonları görünür bölgede, yaklaşık 0.4-0.8 μm dalga boyu aralığındadır. Bu aralığına karşılık gelen tek foton enerjileri yaklaşık 1-3 eV değerlerindedir. Bu foton enerji aralığı ek yük çiftleri oluşturmak üzere yarı iletkenlerin enerji aralığına uygun gelmektedir (Şekil 2.5) [7].



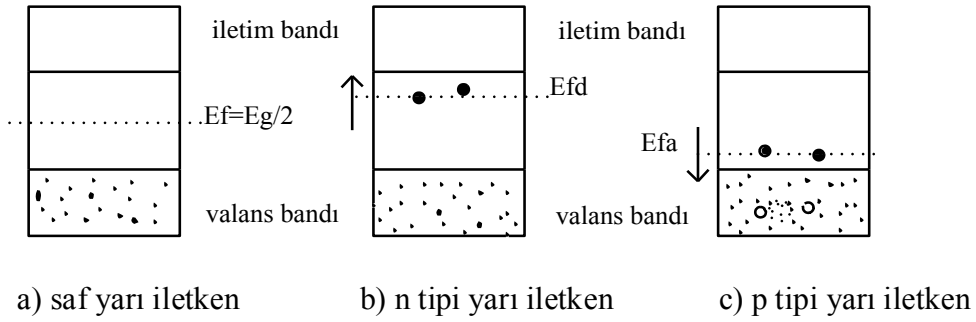
Şekil 2.5. Maddelerin Enerji Aralığı ve Faydalanma Verim Eğrisi[6]

Fotovoltaik yapılarında yaygın olarak kullanılan p-n eklemler katkılı yarı iletkenlerle kurulmaktadır. Yarı iletkenler katkılanarak iletkenlikleri artırılabilir. Silisyum (Si) gibi bir saf yarı iletken kristalinde atomlar 4'er valans elektronlarını ortaklaşa kullanılarak bağ kurarlar. Kristal yapıya fosfor (P) gibi 5 valans elektronlu atomlar çok az miktarda katıldığında sistemde katılardan kaynaklanan ek elektronlar oluşur. Bu elektronlar yalnızca kendi atom çekirdekleri etkisi altında olduğundan iletme daha kolay geçirilebilirler[7]. Yapılarında ek elektronlar bulunacak şekilde katkılanan yarı iletkenler n tipi yarı iletken adını alır. Bu işlemin tersi katkılama p tipi yarı iletkeni oluşturur. P tipinde, saf yapıya bor(B) gibi 3 valans elektronlu atomlar katılır. Katkı atomlarının bağ kurmak üzere elektronlara ihtiyacı vardır. Bu durum sistemde elektron boşlukları meydana getirir. Komşu atom elektronlarının bu boşlukları doldurulması bunları iletim bandına taşımaktan daha kolaydır. Bir boşluğu doldurmak üzere hareket eden her elektron gerisinde bir boşluk

bırakır. N tipi yarı iletkende iletim elektronlarla, p tipinde ise boşluklarla gerçekleşir (Bkz. Şekil 2.6. , Şekil 2.7.)[6].



Şekil 2.6. Saf ve Katkılı Yarı İletken Bağ Yapıları



Şekil 2.7. Yarı İletken Enerji Bant Aralığı

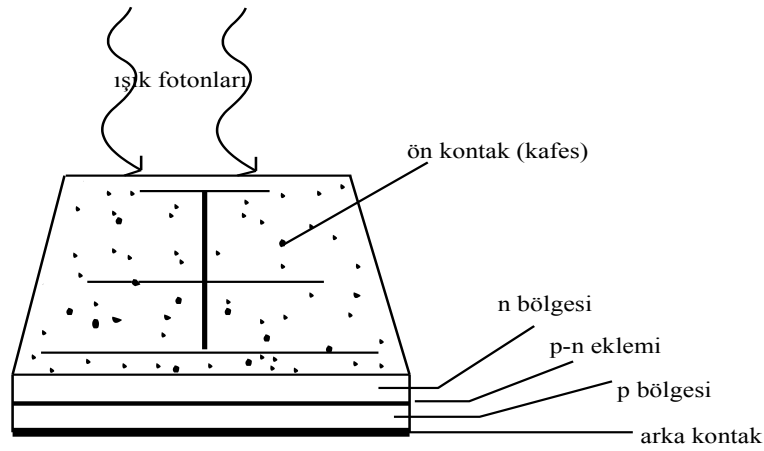
N tipi yarı iletkenlerdeki katkı atomlarına verici, p tipindekilere ise alıcı denilmektedir. Bir valans bandındaki elektronun ortalama enerjisi fermi enerjisi olarak adlandırılır[8]. Bir saf yarı iletkenin fermi seviyesi (E_f) enerji aralığının ortasında kabul edilir. Bu yarı iletken n tipinde katkılanırsa fermi E_{fd} seviyesi iletim bandının hemen altında olurken E_{fa} seviyesi valans bandının hemen üstündedir.

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında yaygın olması nedeni ile p-n eklemli tipik bir güneş gözesi yapısı ve çalışma sürecine değinilmektedir. Farklı yapılar için

benzeri bir çalışma süreci düşünülebilir. Güneş gözesindeki diğer önemli prensipler başlıklar halinde tanıtılmaktadır.

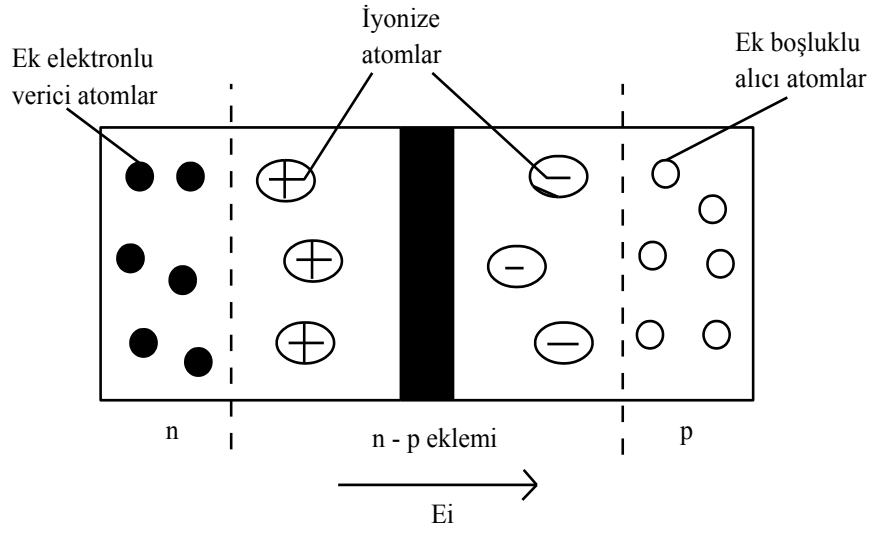
2.5.3. Güneş Gözelerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Uygulamalarda Şekil 2.8’de gösterildiği gibi doğal yapıları n ve p tipi yarı iletkenlik özelliği gösteren iki malzeme arasında da güneş gözesi kurulabilir. Bakır silisyum/Kadmiyum eklemi buna örnektir. Etkili bir güneş gözesi dönüşümü için ışık fotonlarının eklem bölgesine ulaşıp burada soğurulması istenir. Çünkü burada kurulan doğal elektriksel alan fotonla uyarılan yükleri birbirinden ayırarak çoğunlukta oldukları bölgelere olan hareketlerini hızlandırmaktadır[8,9]. Bu yüzden gözesinin ışığı gören yüzeyi ışığı geçiren ince bir tabaka halindedir. Yükleri toplamak ve dış elektriksel bağlantı için metal kontaklar iki kenarda yer alır. Ön kontaklar ışığın derinlere işlemlerini sağlayacak şekilde düzenlenmektedir. Bunun için kafes yapılı veya saydam metallere kullanılmaktadır. Gözenin arka yüzeyi tamamen metalik kontakla kaplanır. Dış etkilere karşı ön yüzey ışığı geçiren kalay oksit (SnO_2) gibi bir koruyucu tabaka halinde de düzenlenebilmektedir[7].(Bkz Şekil 2.8.)

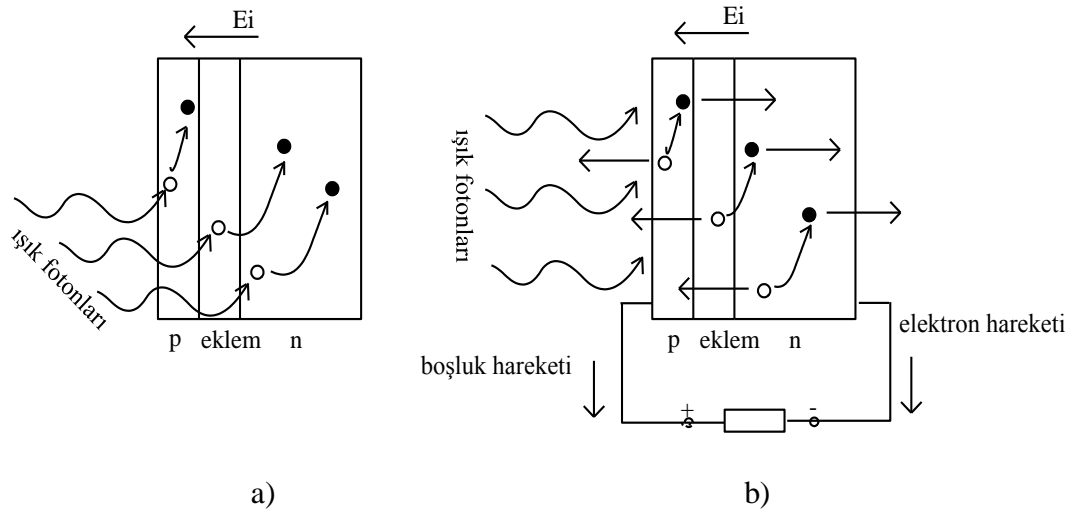


Şekil 2.8. Tipik Bir Güneş Gözesi

Eklem sistemine ışık uyarımı yapıldığında, yarı iletkenlerin enerji aralığından büyük enerjili fotonlar genelde valans elektronlarıyla çarpışarak onları iletim bandına taşır. Uyarılan her elektron gerisinde pozitif yüklü boşluklar bırakır. Böylece ön yüzeyden itibaren göze kalınlığı boyunca ışığın spektral durumu ve malzemelerin soğurma karakteristiklerinin belirlediği miktarlarda elektron - boşluk çiftleri üretilir. Üretilen ek yükler geliş güzel sistem içinde yayılır. Bunların bir süre sonra tekrar birleşip etkilerini kaybetmesi söz konusudur[10]. Ancak eklem bölgesinde veya hemen yakınında üretilen yük çiftleri buradaki doğal iç elektriksel alanla (E_i) hızla birbirinden ayrılır. Bu alanın etki yönü, akım katkısı oluşturmak üzere yükleri çoğunlukta oldukları bölgelere sürükleyecek şekildedir. Eklem dışında üretilip tekrar birleşmeden eklem ulaşan yükler de buradaki alan etkisiyle sürüklenme (drift) akımı oluşturmaktadır. Ayrıca uyarılma esnasında kutuplara yayılan yükler birleşme süresinden önce çoğunlukta oldukları bölgelerde ise akım katkısı gerçekleştirebilirler. Ancak yüzeydeki yük tuzakları, uzak olmaları nedeni ile iç elektrik alanla desteklenemeyen bu yüklerin hızı ve miktarını büyük oranda düşürmektedir. Sonuçta n bölgesi (-) yüklü elektronlarla, p bölgesi (+) yüklü boşluklarla desteklendiğinden göze uçlarında bir potansiyel (gerilim) oluşmaktadır. Göze uçlarına bir elektriksel yük bağlandığında toplanan elektron (-) ve boşluklar (+) yük üzerinden birleşmek üzere akarak bir akım geçişi meydana getirmektedir (Bkz Şekil 2.9.). Güneş gözelerinin elektriksel cevabı tipik bir diyot karakteristiğine benzemektedir. Eklem sisteminin n bölgesi dış kaynağın (-) kutbuna, p bölgesi (+) kutbuna bağlandığında sistem ileri yönde, bunun tersi olursa geri yönlü uyarımlıdır[11].



Şekil 2.9. Eklemdeki Doğal Elektrik Alan (E_i)



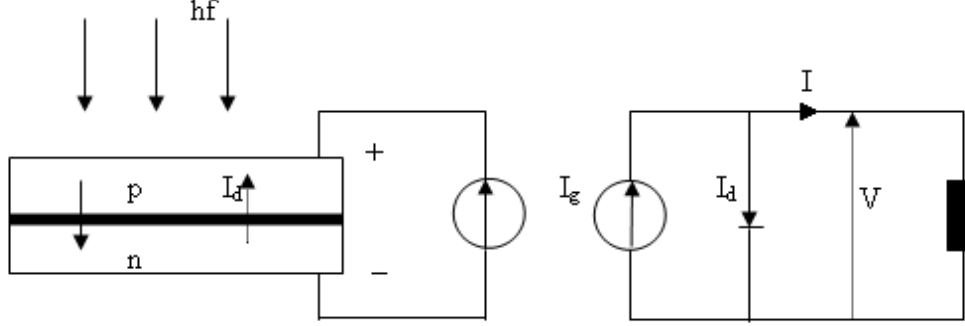
Şekil 2.10. Güneş Gözesi Dönüşümü

- a) Foton ile elektron – boşluk çiftleri üretimi
- b) Üretilen yüklerin (E_i) doğal alanla ayrılması

2.5.4. Güneş Gözesi Eşdeğer Devresi ve Güç

Işık uyarımı altında bir güneş gözesi kendi eklem sisteminden ışıyım şiddetine bağlı olarak daha büyük bir ters diyot akımı geçecek şekilde bir I_g akımı üretir. Üretilen böyle bir I_g akımı göze uçlarında bir potansiyel gerilime neden olur. Diğer yandan üretilen gerilim göze eklemine ileri yönde uyaracağından I_g akımına

ters bir I_d diyot akımı da oluşmaktadır. Bu durum şekil 2.11.'de prensip olarak görülmektedir.



a) I_g ve I_d akımlarının

b) ideal eşdeğer devre

Şekil 2.11. Güneş Gözesi Çalışma Modelleri

Şekil 2.11-b, gözenin ideal eşdeğer devresidir. Çalışma sürecine uygun olarak, ışınım şiddetine göre üretilen I_g akımını bir akım kaynağı ve bunu azaltan I_d akımının geçtiği eklem direnci ters diyot şeklinde gösterilmektedir. Dış bir yük için gözeden alınabilecek net akım (I), bu iki akımın farkı kadardır[8].

$$I = I_g - I_d = I_g - I_0 (e^{qV/kT} - 1) \quad (2,1)$$

Denklem 2.1. için;

I : Yük akımı (Amper: A)

I_g : Fotonla üretilen akım (A)

I_0 : Karanlık ters sızıntı akımı (A)

q : Elektron yükü ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C.)

V : Uç gerilimi (Volt)

k : Boltzmann sabiti ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K)

T : Mutlak sıcaklık (Kelvin: K)

ifade eder.

I_0 sızıntı akımı gözenin yapısal özellikleri ve sıcaklığa bağlıdır. Öyle ki bu akım $e^{-E_g/(kT)}$ ile orantılı olduğundan sıcaklık ile artış göstermektedir.

Güneş gözesi açık devrede en yüksek gerilimi (V_{oc}), kısa devrede ise en yüksek akımı (I_{sc}) vermektedir. Kısa devre şartları altında I_{sc} , eklem direncinden de akım geçmediği düşünüldüğünde I_g akımı olarak değerlendirilebilir ($I_g = I_{sc}$). Denklem 2.1 de $I = 0$ değerini sağlayan V terimi gözenin açık devre gerilimine (V_{oc}) eşittir. Böylece:

$$V_m = (kT/q) * \ln[(I_g/I_0) + 1] \quad (2.2)$$

$$I_m = I_g - I_0(e^{qV_m/kT} - 1) \quad (2.3)$$

Yukarıdaki bağıntılardan anlaşılacağı üzere en büyük güç noktasındaki akım ve gerilim değerlerinin doğrudan hesaplanması doğrusal olmayan eklem direnci nedeniyle oldukça zordur. Bununla birlikte gözesin iç dirençleri ihmal edilse bile eklem elektriksel karakteristiği gereği alınabilecek en büyük güç (P_m), $V_{oc} \cdot I_{sc}$ değerinden küçüktür. P_m terimini $V_{oc} \cdot I_{sc}$ ' ye yaklaştırmak için sert geçişli eklem ihtiyacı vardır. Bir gözenin I-V eğrisinin, güç alınma bölümündeki en yüksek faydalanma oranı, dolgu faktörü (FF) ile tanımlanmaktadır[13].

$$FF = V_m I_m / V_{oc} I_{sc} \quad (2.4)$$

Pil verimi (η) ise aşağıdaki denklemle tanımlanabilmektedir.

$$\eta = P_m / AP_g = V_m I_m / AP_g = FF V_{oc} I_{sc} / AP_g \quad (2.5)$$

Burada A gözenin yüzey alanı, P_g ise bu alana düşebilecek toplam ışınım şiddeti ($W/alan$) olarak tanımlı giriş gücüdür[9].

3. GÜNEŞ GÖZESİ SİSTEMLERİ VE BU SİSTEMLERİN SİMULASYONLAR İLE ANALİZİ

3.1. GÜNEŞ GÖZESİ SİSTEMLERİ

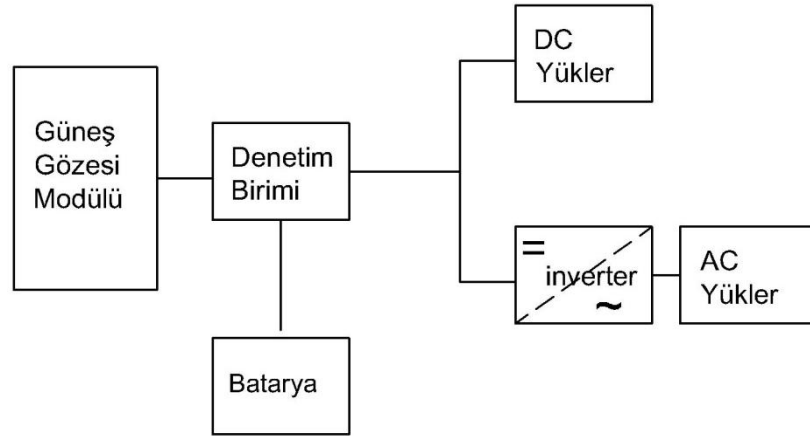
Güneş gözeleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş gözesi modülleri uygulamaya bağlı olarak, bataryalar, eviriciler, batarya şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş gözesi sistemini (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, ülkemizde özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bazı ülkelerde yapılan çift sayaç uygulaması ile yerleşim yerinin önemi olmadan ürettiği enerjinin bir kısmını kendi kullanıp, bir kısmını şebekeye satan güneş gözesi sistemleri de mevcuttur.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş gözesi modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde bataryalar bulundurulur. Güneş gözesi modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu bataryada depolar, yüke gerekli olan enerji bataryadan alınır. Bataryanın aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş gözelerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek bataryadaki DA gerilim, 220 V, 380 V veya farklı bir AA gerilim seviyesinde, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın

şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Şebeke bağlantılı ve Şebeke bağlantısız olmak üzere 2 tip Güneş Gözesi sistemi mevcuttur.

Şebeke bağlantılı güneş gözesi sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DA elektriğin, AA elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir[10].

Şebekeden Bağımsız sistemler ise üretilen enerjiyi yükler ile tüketirler. Üretilen enerjinin fazlası depolandıktan sonra sisteme verilmez boşa gider. Şekil 3.1’de şebekeden bağımsız bir güneş gözesi enerji sisteminin şeması verilmektedir.



Şekil 3.1. Güneş Gözesi Sistemleri

Güneş gözesi sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik korunması
- Metal yapıların (Köprüler, kuleler v.b.) korozyondan korunması

- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler
- Bina içi ya da dışı aydınlatma uygulamaları
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

3.2. Güneş Gözesi Sistemlerini Oluşturan Birimler

Güneş gözesi modülleri uygulamaya bağlı olarak, güneş gözeleri, bataryalar, eviriciler, batarya şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş gözesi sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar.

3.2.1. Güneş Gözeleri

Güneş gözeleri (PV hücreler) birbirlerine paralel ve/veya seri bağlanarak güneş panelleri elde edilir. Güneş gözesinin paralel bağlanması sonucu çıkış akımı, seri bağlanması sonucu çıkış gerilimi istenilen düzeye getirilebilir[14].

Güneş gözeleri bataryalar gibi belirli standartlara göre üretilmediğinden her markanın akım ve gerilim değerleri farklılık gösterebilir.

3.2.2. Şarj Denetim Birimleri

Pratik uygulamalarda kullanılan fotovoltaik sistemler, sistemde kullanılan bileşenlerin ve kontrol sisteminin konumuna bağlı olarak üç farklı kombinasyonda incelenir. Sistem yükünün hiçbir ara düzenleyicisi olmadan direkt PV panellere bağlandığı doğrudan bağlantılı kombinasyonlar, sistem yükü ile PV paneller arasında bataryaların yerleştirildiği bataryalı kombinasyonlar ve şarj kontrolörlü

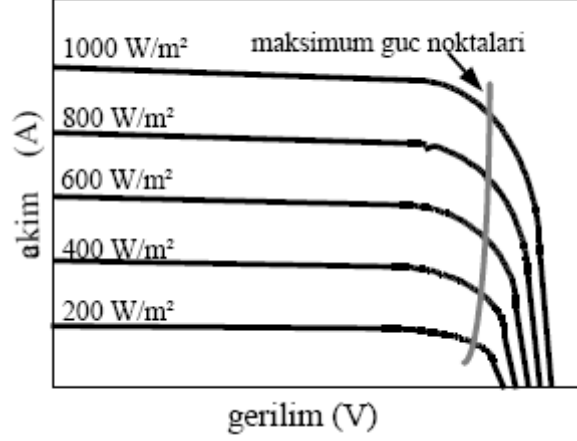
kombinasyonlar. Doğrudan bağlantılı PV sistemlerde, panellerden ışınım şiddetiyle değişen değerlerde çıkan gerilim ve akım, sisteme doğrudan verilir ve sistemin çalışması ancak sistem yükünün ihtiyaç duyduğu gücü sağlayan gerilim ve akım değerlerinin temini ile mümkün olur. Bataryalı sistemlerde, panel ile yük arasındaki batarya sistemi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır, ancak sisteme ulaştırılan gerilim ve akım değerleri maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinin altında seyreder. Şarj kontrolörlü uygulamalarda batarya şarj kontrolü üç ana yöntem ile yapılır[6,14]. Bunlar:

- On/Off (bang bang) tipi kontrol: Ayarlanan tepe batarya gerilimine ulaşıldığında PV, panel ile bataryayı ayırır; düşük batarya gerilimine ulaşıldığında ise PV paneli tekrar bataryaya bağlar.
- Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM): İstenen çıkış gerilim değerine ulaşmak için hızlı anahtarlama yapılır (100 Hz – 50 kHz). Böylelikle batarya gerilimi sabit tutulur ve tam dolu batarya elde edilir.
- Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT): Panelden alınabilecek tüm güçleri belirler ve maksimum gücü yakalar [20]. MPPT'ler de PWM kullanılır. Bu yöntem ile şarj akımı diğer yöntemlere göre %30 veya daha fazla oranda artırılabilir.

3.2.2.1. Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT)

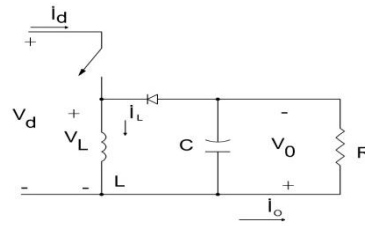
MPPT fotovolttaik panellerden alınabilecek en yüksek gücü belirlemek üzere elektronik kontrolöre yüklenen bir algoritmadır[21]. Bu algoritma bulunan güç noktalarından maksimumunu seçer ve bu noktadaki gerilimi DA-DA çevirici ile batarya gerilimine ayarlar. Bu sayede aynı çıkış gerilimi için diğer şarj yöntemlerine

göre daha yüksek çıkış akımı, dolayısıyla daha yüksek çıkış gücü elde edilir. En yüksek güç noktasının belirlenmesinde PV akım-gerilim karakteristiğinden faydalanır [15].



Şekil 3.2. Tipik PV hücrelerin akım-gerilim karakteristiği

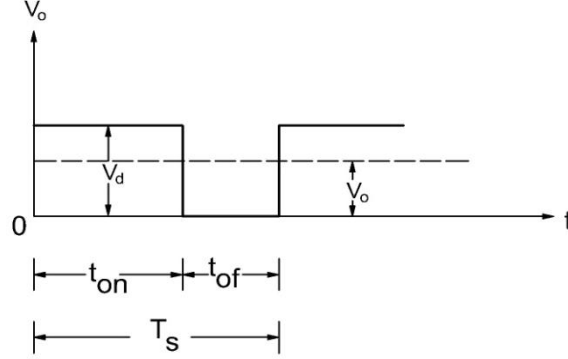
MPPT kontrolörler Buck (alçaltıcı) ve Boost (yükseltici), Buck Boost (alçaltıcı-Yükseltici) tipi olmak üzere çeviriciler ile kullanılırlar. Eğer PV çıkış gerilimi batarya geriliminden düşük ise Boost tipi, PV çıkış gerilimi batarya geriliminden yüksek ise Buck tipi çevirici kullanılır. Alçaltıcı- yükseltici çeviricilerin başlıca uygulaması, giriş uçlarına göre ters kutuplu çıkış gereken ve çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek ya da düşük olduğu ayarlı DA güç kaynaklarıdır.



Şekil 3.3. Alçaltıcı-yükseltici çeviricinin devresi

Bir alçaltıcı-yükseltici çevirici iki temel çeviricinin, alçaltıcı ve yükseltici çeviricinin ardı ardına bağlanmasıyla elde edilebilir: Sürekli durumda çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı olan gerilim çevirme oranı, ardı ardına bağlı iki

çeviricinin çevirme oranlarının çarpımıdır. Bir çeviricide doluluk oranı (D), anahtarın iletimde olduğu sürenin anahtarlama periyoduna oranı ile belirlenir. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Doluluk oranı

$$D = t_{on}/T_s \quad (3.1)$$

Burada;

D: Doluluk oranı

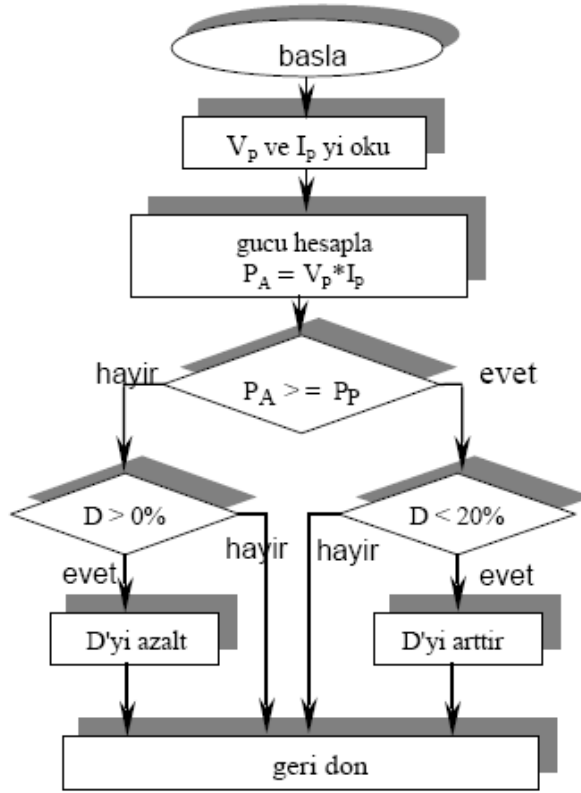
t_{on} : Anahtarın iletimde kalma süresi

T_s : Anahtarlama periyodu'nu ifade eder.

Çıkış gerilimi giriş geriliminden, çalışma oranı D'ye bağlı olarak düşük ya da yüksek olabilir. Alçaltıcı ve yükseltici çeviricilerin giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki şöyle ifade edilebilir:

$$V_o/V_d = D[1/(1-D)] \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte V_o çıkış gerilimini, V_d ise giriş gerilimini ifade eder. Genellikle başlangıçta çeviricinin doluluk oranı (D) 0,1 e ayarlanır. Eğer o anki panel gücü (P_a) önceki adımda hesaplanan panel çıkış gücüne (P_p) eşit veya daha yüksek ise, kontrol devresi çeviricinin doluluk oranını artırır, küçük olması durumunda ise doluluk oranını azaltır. Bu yöntemle MPPT, fotovoltaik panelin sürekli maksimum güç noktasını takip eden bir sistemde çalışmasını sağlar.



Şekil 3.5. MPPT algoritması akış diyagramına bir örnek

Bataryaları şarj etmenin yanı sıra bir şarj kontrol ünitesi bazı şartları da yerine getirmek zorundadır. Bu görevler aşağıdaki gibi sıralanabilir[6,11]:

Ters akımı engelleme: PV paneller bataryalara tek yönde akım pompalama şeklinde çalışırlar. Gece veya ortamda yeterli ışık bulunmaması durumunda panellerden, bataryaların küçük miktarda deşarjı sonucu ters yönde akım geçer. Panellerin güvenliği açısından bu akımların engellenmesi gerekir.

Aşırı şarjı önleme: Bataryalar tam şarj durumuna ulaştığında bir süre için gelen enerjiyi depolamaz. Eğer tam şarj durumunda bataryaya enerji gelmeye devam ederse batarya geriliminin yükselmesine neden olur. Bu yüksek gerilim sonucu bazı kimyasal tepkimeler oluşur ve batarya içerisinde hidrojen gazı birikmeye başlar. Eğer bu olay yeterince uzun sürerse bataryada küçük bir patlama meydana gelir.

Çalışma noktasının sıcaklığa karşı kontrol edilmesi: Bataryaların çalışma noktaları sıcaklığa göre değişir. Bataryaların yüksek verimle şarj edilebilmesi için şarj kontrol ünitesi, batarya sıcaklığı düştüğünde çalışma noktasını arttırmalı, batarya sıcaklığı yükseldiğinde çalışma noktasını düşürmelidir.

Aşırı yüklenme koruması: Bir devrenin güvenle taşıyabileceği akımdan daha yüksek miktarda akım çekilmesi durumu aşırı yüklenme olarak tanımlanır. Bu durumda aşırı ısınma sonucu yangın çıkabilir.

3.2.3. Bataryalar

Güneşten elde edilen elektrik enerjisi, gün ışığının olduğu saatlerde, doğrudan DA olarak veya eviriciler vasıtasıyla AC olarak kullanılabilirler. Gün ışığının olduğu saatlerde ihtiyaçtan fazla üretilen elektrik enerjisi, gün ışığının olmadığı saatlerde kullanılmak üzere bataryalar aracılığıyla depolanır.

Bataryaların yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun çevrim ömrüne sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir. Tablo 3.1.'de kullanılan ve gelişme altındaki bataryaların listesi verilmektedir. Azami enerji yoğunluğu; batarya ağırlığının her bir kilogramından, 3 saatlik deşarj döngüsü boyunca elde edilen enerji miktarını belirtmektedir. Bu gösterge batarya tamamen deşarj olmadan ne kadar kullanılabileceğini ifade etmektedir.

Azami güç yoğunluğu depolanan enerjinin bataryadan ne kadar hızla çekilebileceğini göstermektedir. Çalışma sıcaklığı da hangi bataryanın kullanılacağına karar verilmesi aşamasında çok önemli bir faktördür. Sodyum-sülfür,

sodyum nikel klorür, lityum–demir sülfür gibi daha yüksek sıcaklıklarda çalışan bataryalar için özel sistemlerin kurulmasına ihtiyaç duyulur.

Batarya ömrü de, bir diğer önemli faktördür. Bir batarya için hedef 1000 çevrim ömre sahip olmasıdır. Bu yaklaşık olarak 3-4 yıllık bir kullanım ömrüne karşılık gelmektedir. Birçok batarya çeşidinde derin deşarj çevrimi bataryanın hem enerji hem de güç yoğunluğunu bir miktar azaltmaktadır. Bu nedenle bataryanın ömrü azalmaya yakın performansı da önemli ölçüde azalmaktadır.

Tablo 3.1. Bataryalar ve özellikleri

Batarya Tipi	Azami Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Azami güç yoğunluğu (W/kg)	En Hızlı %80 tekrar şarj zamanı	Çalışma sıcaklığı	Çevrim sayısı (%80 deşarj durumu)	Maliyet \$/kWh
Kurşun-asit	35	150	Veri yok	Ortam	1000	60
Nikel-demir	50	100	Veri yok	Ortam	2000	150-200
Nikel-çinko	70	150	Veri yok	Ortam	300	150-20
Nikel-kadmiyum	50	200	15	Ortam	2000	300
Nikel-metal hidrür	70	200	35	Ortam	2000+	250
Sodyum-sülfür	110	150	Veri yok	350 °C	1000	150
Sodyum-nikel klorür	100	150	Veri yok	300 °C	700+	250
Lityum-demir sülfat	150	300	Veri yok	450 °C	1000	200
Lityum-katı polimer	200	350	Veri yok	80-120 °C	1000	150
Lityum-iyon	120-150	120-150	<60	Ortam	1000+	150
Alüminyum-hava	220	30	Veri yok	Ortam	Veri yok	Veri yok
Çinko-hava	200	80-140	Veri yok	Ortam	200	100

3.2.4. Eviriciler (İnverterler)

Eviriciler doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Harici eviriciler 12V veya 24V'luk bir akü bankasından aldıkları doğru akımı 220V alternatif akıma çevirmek üzere kullanılırlar. Senkronize çeviriciler ise

bir güneş gözesi veya rüzgâr türbini çıkısına bağlanarak şebekeye enerji aktarma özelliğine sahiptirler. Eviriciler çıkış gücüne, çıkış dalga özelliklerine ve yapı tasarımlarına göre gruplara ayrılırlar. Şu anda dünyada 100 Watt'tan 10 kW'a kadar farklı çıkış güçlerine sahip şebeke etkileşimli eviriciler mevcuttur.

Çıkış dalga özelliklerine göre eviriciler, kare dalga, düzeltilmiş sinüs dalga ve tam sinüs dalga olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kare dalga ve düzeltilmiş sinüs dalga eviriciler daha ekonomik olmalarına rağmen lazer yazıcı ve flüoresan lambalarda verim kaybına, müzik aletlerinde hışırtıya sebep olmaktadır. Buna karşılık tam sinüs eviriciler şebeke ile aynı kalitede hatta çoğu zaman daha yüksek kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli aletin çalışmasında sorun çıkarmamaktadır. Şebekeye enerji aktarabilmek için tam sinüs evirici kullanılması gerekmektedir. Birçok motorlu alet ilk çalışma anında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çektiği için kullanılan evirici kısa süreler için bu güçte çalışma özelliğine sahip olmalıdır.

Yenilenebilir enerji uygulamalarında iki farklı modda çalışan eviriciler kullanılabilir;

- Ada modu çalışan eviriciler
- Şebeke etkileşimli eviriciler

Ada modu çalışmada evirici yenilenebilir enerji kaynağının ürettiği DA elektrik Enerjisini AA'ya çevirir ve bununla sadece yükleri besler, şebekeye bağlantı söz konusu değildir. Bu çalışma modunda genellikle gerilim kontrollü eviriciler kullanılmaktadır. Enerjinin devamlılığı için genellikle bir akü grubu kullanılır [20].

Şebeke etkileşimli eviriciler şebeke ile paralel çalışmaktadırlar. Enerji kaynağının ürettiği enerjiyi şebekeye aktarabilirler. İhtiyaçtan fazla olan enerjinin şebekeye aktarılmasını imkân tanıdığından verimli bir çalışma sağlarlar. Şebeke etkileşimli evirici sadece DA gerilimi AA gerilime çevirmekle kalmaz aynı zamanda şebeke

geriliminin frekansı ve genliği ile senkronize olarak çalışır. Ayrıca birim güç faktörü için şebekeye enjekte ettiği akımın şebeke gerilimi ile aynı fazda olması ve akım dalga seklinin sinüs seklinde olması gerekmektedir. Bununla ilgili uluslararası standartlar yayınlanmıştır. şebekeye enjekte edilen akımın dalga şekli ve fazı önemli olduğundan genellikle akım kontrollü olarak tasarlanırlar[15].

3.3. Güneş Gözesi sistemlerinde Kullanılabilecek Simülasyonlar

Simülasyon, incelencek sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. PV sistemlerde kullanılan simülasyonların sistem kurulmadan önceki analiz aşamasında önemi büyüktür. Doğru simüle edilmiş bir PV sistem ile üretilen enerji miktarı hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda üretimi yeterli olacak PV sistem elemanları doğru seçilir ve en düşük maliyetler ile sistem kurulur. Bu bölümde Homer ve Matlab simlink ile yapılmış simülasyon modelleri incelenmiş ve nasıl uygulandığı anlatılmıştır.

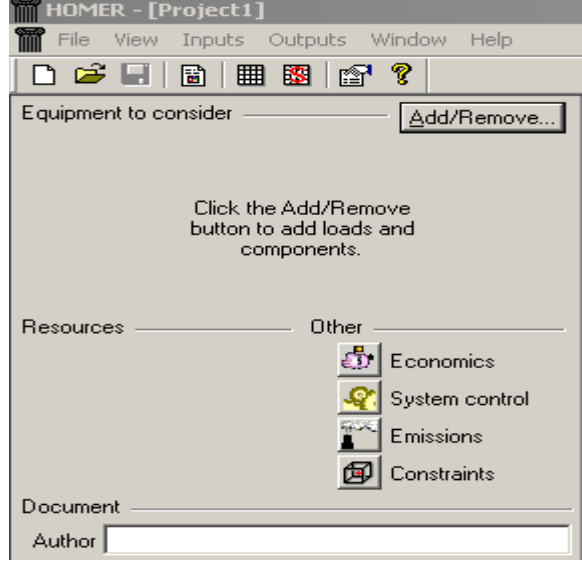
3.3.1. Homer Simülasyonu

Homer Simülasyonu bir mikro g optimizasyon modelidir. Bir g sistemi oluşturulurken hangi elemanların sisteme ne kadar etki edeceğine ve ne boyutta bileşenler kullanılacağına karar vermekte önemli rol oynar.

Homer bir yılda 8760 saatin enerji denge hesaplamasını yaparak sistem operasyonunu simüle eder. Herhangi bir saat içindeki termal ve elektrik gerekliliği ile o saat içinde sisteme sunulan enerjiyi karşılaştırır. Sistemdeki her bir bileşenin enerji akışını hesaplar.

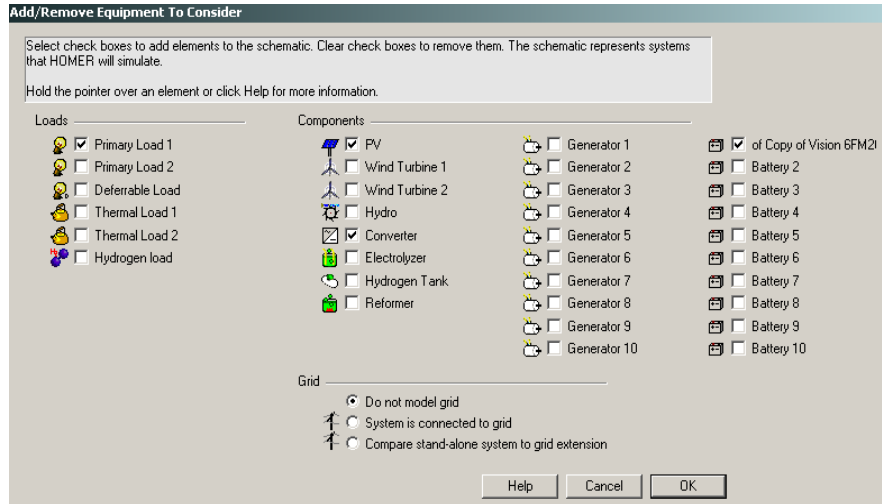
Homer Simülasyon modeli ile yalnız PV sistemler değil birçok uygulama ile enerji üretimi yapılabilir. Simülasyonda proje ekranı açılınca ilk olarak

ekrana Şekil 3.6.'da gösterilmiş pencere gelir. Bu pencere proje ekranının ana görüntüsüdür.



Şekil 3.6. Homer Proje Ekranı

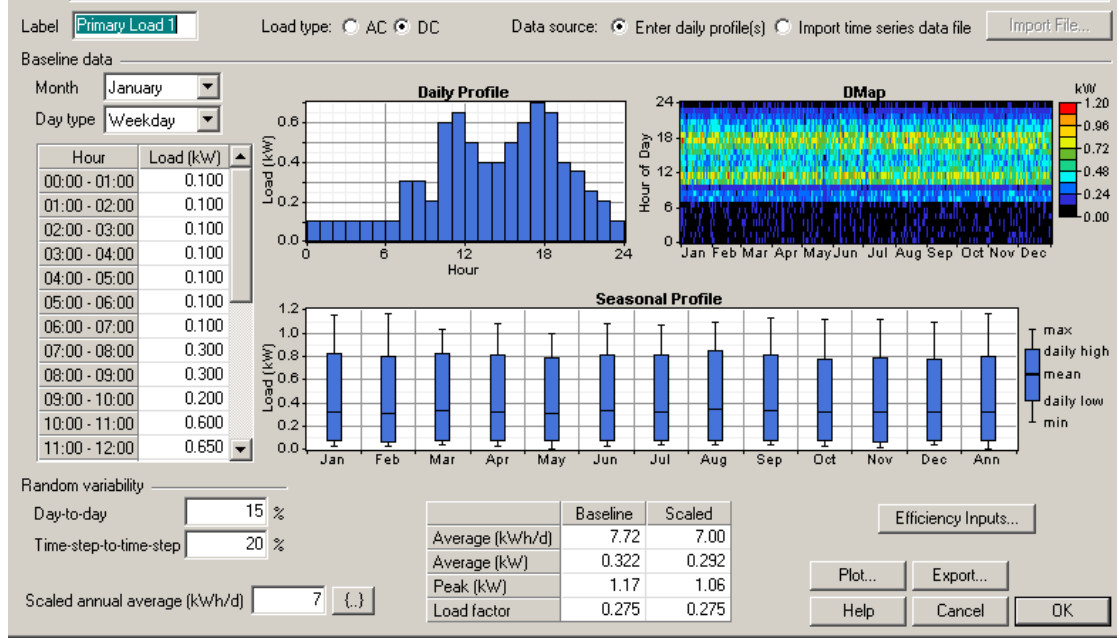
Uygulanması düşünülen herhangi bir enerji üretim sisteminde Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi uygun görülen elemanların simülasyona girişi yapılır.



Şekil 3.7. Sistemde kullanılacak elemanların seçilmesi

Sistemde kullanılan tüm elemanlar kullanılacağı özelliğe göre üzerindeki butonlar aracılığı ile özelleştirilebilir.

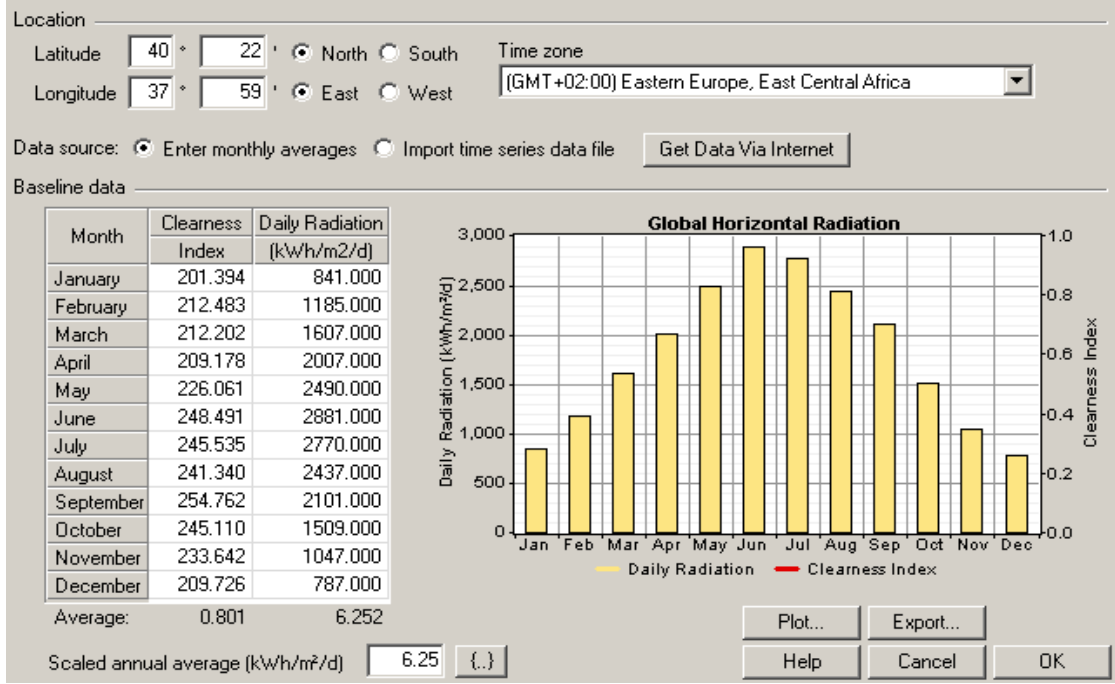
Sistemde kullanılacak yük miktarları saatlik ve aylık olarak Şekil 3.8.'de gösterilmiş pencereden simülasyona girilir. Homer simülasyonu günün her saatinde yük profilini bar şeklinde hesaplar.



Şekil 3.8. Yük tipi ve profili giriş ekranı

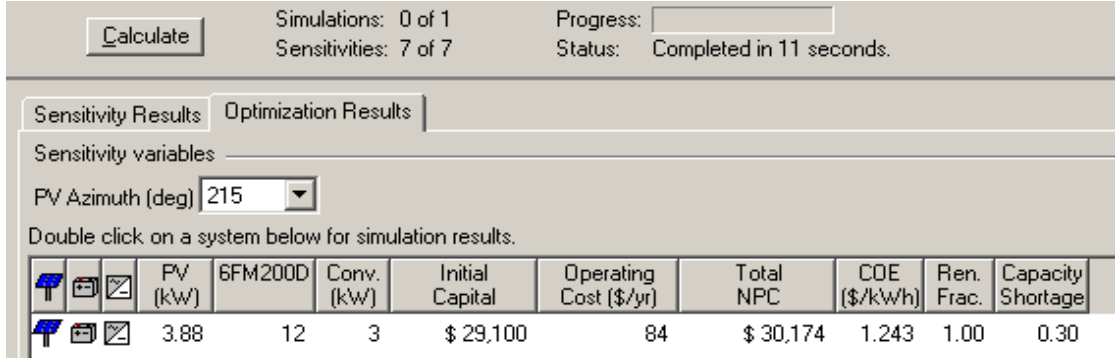
Aynı uygulama PV sistem elemanları için de yapılabilmektedir. Böylelikle PV sisteminde kullanılacak elemanlarda istenilen özellikler seçilmiş olur.

Bir sonraki adımda ise kurulacak enerji üretim sisteminin durumuna göre gerekli veri girişleri yapılmalıdır. Mesela kurulacak sistem eğer bir PV sistem ise, bölgenin enlem boylam bilgileri, aylara göre ortalama alınarak hesaplanmış açıklık indeksi ve günlük ışımaya miktarı simülasyona girilmelidir. Veya kurulacak sistem rüzgâr tribünlü bir sistem ise sistemin kurulacağı bölgedeki rüzgâr hızı simülasyona girilmelidir. Şekil 3.9.'da PV sistem için hazırlanmış giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 3.9. Lokasyon ve ışıma verileri giriş ekranı

Tüm veri girişleri ve sistemde kullanılacak elemanların seçiminden sonra sistemde üretilen enerji miktarı Şekil 3.10’da gösterildiği üzere hesaplatılabılır.

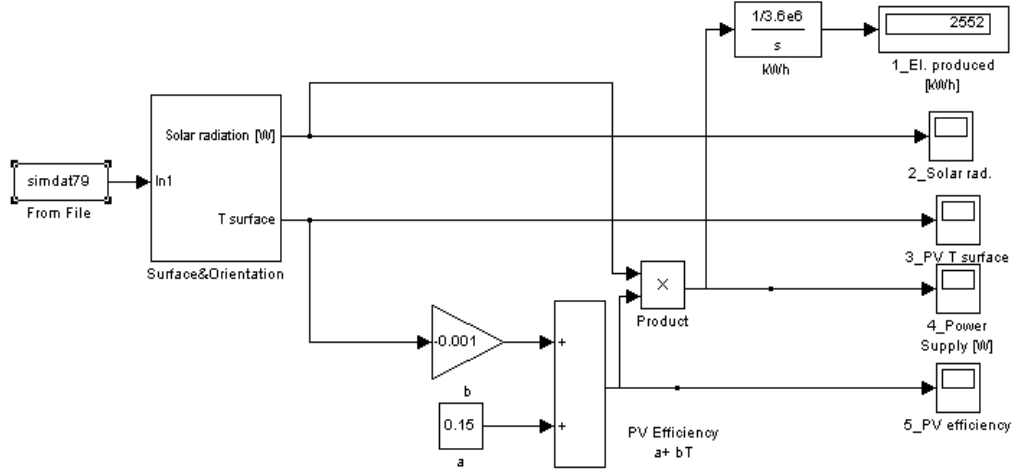


Şekil 3.10. Simülasyon sonuçlarını hesaplatma ekranı

3.3.2. Matlab Simulink ile Simülasyon

Matlab programı mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği matriks ve matematik tabanlı karmaşık bir programdır. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir.

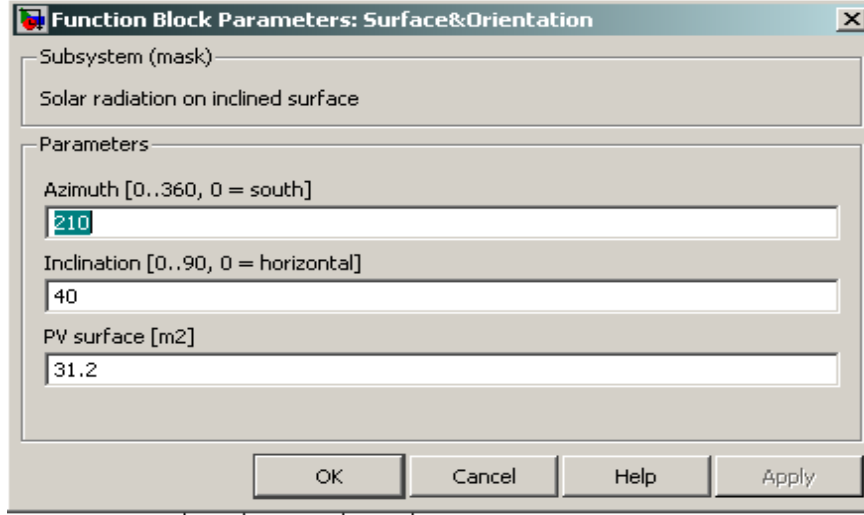
Matlab kullanılarak Simulink'te PV sistemlerde üretilecek enerji miktarını analiz etme amacı ile bir model yapılmıştır. Bu devre modeli ile PV sistemden elde edilen elektrik yıllık olarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.11'de Simulink'te hazırlanmış simülasyon gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Matlab Simülink ile hazırlanmış devre modeli

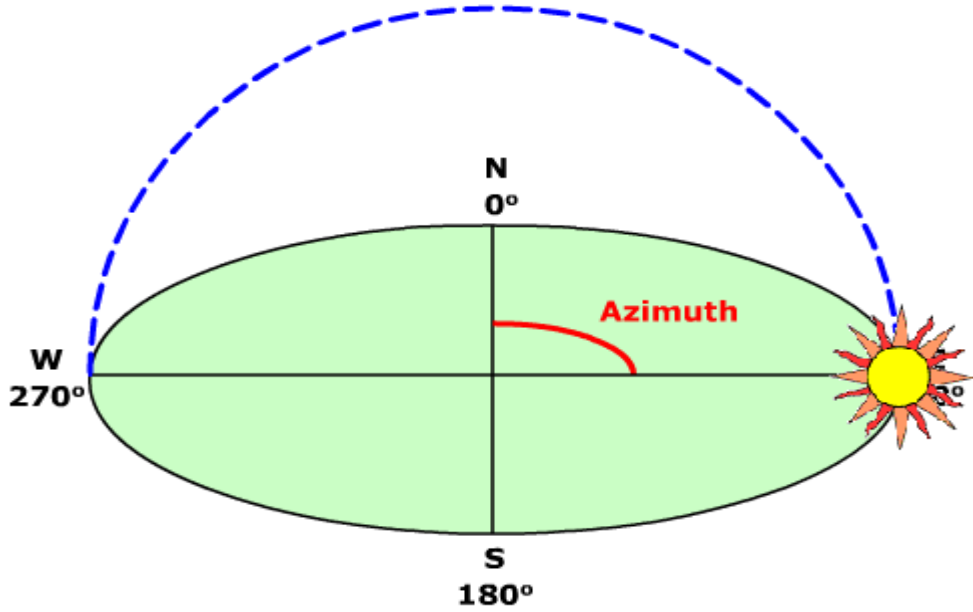
Bu model ile PV sistemde elde edilecek enerji saatlik veriler alınarak Simdat79 dosyası ile simülasyona iletilir. Bu dosyada 24 saat*360 günlük veriler bulunmakta olup, simülasyonda kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisi üretiminde önemli rol oynayan güneş gözelerinin azimut açısı, bölgenin enlemine eşit olarak verilen eğim açısı, güneş gözelerinin yüzey alanı simülasyona girilir. Bu işlem Simulink'te Surface & Orientation bloğuna çift tıklanarak yapılır. Açılan pencere ekranı Şekil 3.12'te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Veri giriş ekranı

Şekil 3.12’de gösterilen veri giriş ekranda görünen sisteme girilecek parametrelerden ilki Azimut açı değeridir. Azimut açı değeri güneşin yüzeye gelme açısı olarak tanımlanır. Azimut açısı Dünya ve Güneşin hareketiyle sürekli değişmektedir.



Şekil 3.13 Azimut açısı

Sisteme girilecek 2.parametre değeri ise Inclination (Eğim) aıdır. Bu aı ekvator ile uydu yörüngesi arasında kalan aıdır. PV kurulacak bölgenin Ekvatora göre konumunu belirler.

Sisteme girilecek 3.parametre değeri ise güneş gözelerinin toplam yüzey alanıdır. Bu alan değeri sayesinde toplam üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı hesaplanır.

Bu simülasyonun dezavantajı PV sistemde kullanılacak elemanların özelliklerinin sisteme girilememesidir. Bu nedenle çıkan sonuçlar özelleşmiş olmamakla beraber en alt değerlerde olmaktadır.

BÖLÜM 4. GÜNEŞ GÖZESİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETME UYGULAMALARI VE SİMÜLASYONLAR İLE ANALİZİ

4.1. Giriş

Güneş gözeleri sistemleri elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Daha açık ifade edecek olursak; Sokak aydınlatmalarında, sulama sistemlerinde, yat ve karavanlarda, şebekeye uzak telekom sistemlerinde ve konutlarda kullanılabilir. Bu bölümde örnek uygulamalardan olan Diyarbakır Güneş Evi ve Radyo Baz istasyonlarının PV sistemler sayesinde ürettiği enerji Homer ve Matlab simülasyonları kullanılarak analiz edilecektir.

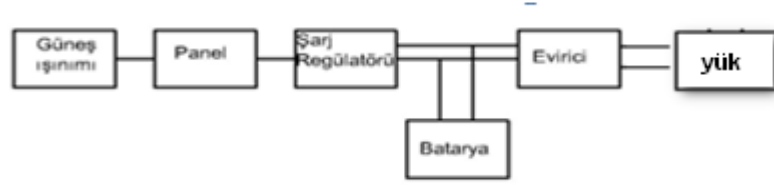
4.2. Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı Örneği

21 Haziran 2008 yılında Diyarbakır Sümerpark'ta inşası bitmiş tamamen kendi enerjisini kendi üreten ve ekolojik kurgular içinde yapılan Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı projesi bu çalışmada birinci örnek olarak alınmıştır. Diyarbakır Güneş Evi ihtiyacı olan tüm elektrik enerjisini PV sistem sayesinde üretebilmektedir. Bu bölümde alt başlıklar halinde Güneş Evi'nde uygulanan PV sistemin genel yapısı, kurulu gücü, enerji üretim ve tüketim potansiyelleri ve maliyet analizi incelenecektir.

4.2.1. Diyarbakır Güneş Evindeki Güneş Gözesi Sisteminin Genel Yapısı

Sistemin genel yapısı Şekil 4.1.'deki blok diyagramında verilmiştir Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı içerisinde bulunan sistemde, güneşten elde edilen güneş ışınımı, güneş gözeleri aracılığıyla doğru gerilime dönüştürülmektedir. Maksimum güç noktaları göz önünde bulundurularak elde edilen bu gerilim, bataryaların şarj edilmesinde kullanılır ve burada depo edilir. Evde gerekli enerji türü

AA'dır. Depo edilen enerji ise DA'dır. DA bir fazlı evirici aracılığıyla AA'ya çevrilir.



Şekil 4.1. PV Sistemin Genel Yapısı

4.2.2. Diyarbakır Güneş Evinin PV Sistem Detayları

Bu bölümde Güneş gözeleri ile enerji üretilen evde gözelerin nasıl monte edildiği ve sistemde kullanılan elemanlar ile ilgili bilgi verilecektir. Diyarbakır Güneş Evi'nin kurulduğu bölgenin enlemine eşit olarak 40 derece eğimli olan güney çatısında ve yine güneye bakan 17 derece eğimli mutfak çatısında; her biri 162 watt'lık, toplam 3.88 kw kurulu güce ulaşan, kendi içlerinde seri tümünde paralel olarak bağlanmış 24 adet PV güneş paneli yerleştirilmiştir. Bir adet 3000 W'lık DA-AA evirici, iki adet şarj regülatörü, 16 adet 12 V 100 Ah'lik batarya ile sistem oluşturulmuştur.

Güneş evi ve uygulama parkının çatısında kurulan sistemde her biri 162 W'lık panellerin kullanılması uygun görülmüştür. Bu ürünün teknik bilgileri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Güneş Evi'nde kullanılan güneş gözesinin özellikleri

Hücre tipi	Maksimum Güç	Maksimum Gerilim	Akım	Açık Devre Gerilimi	Kısa Devre Akımı	Uzunluğu	Boy	Derinlik	Ağırlık
Mono Kristal	162 W	22.8 V	7.11 A	28.4 V	7,92 A	1318 mm	994 mm	46 mm	16 kg

PV lerin kendi içlerinde seri tüm sistemde paralel bağlanması ile Tablo 4.2.'de gösterilen değerler elde edilir.

Tablo 4.2. Güneş Gözelerinden elde edilen güç, gerilim ve akım değerleri

	Panel Adedi	Birim Değer	Toplam
Maksimum Panel Gücü	24	162 W	3888 W
Maksimum Çıkış Gerilimi	4	24 V	96 V
Maksimum Çıkış Akımı	6	7,11 A	42,66 A



Şekil 4.2. Güneş gözelerinin çatıya monte şekli

Güneş gözeleri aracılığıyla elde edilen elektrik akımı doğru akımdır. Diyarbakır Güneş Evi'nde kurulan sistemde PV'ler aracılığıyla elde edilen doğru akımın evde kullanılabilmesi için Alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Elde edilen doğru akım 24 V'luk bir evirici aracılığı ile Alternatif akıma çevrilmektedir. Güneş Evi'nde kullanılan eviriciye ait teknik özellikler Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Güneş Evi'nde kullanılan Eviricinin teknik özellikleri

Giriş gerilimi	Giriş akımı	Çıkış gerilimi	Frekans	Çıkış gerilim şekli	Gücü	Verimi	Maksimum Giriş gerilimi	Çalışma Sıcaklık Aralığı	Ağırlığı
V	A	V	Hz		W	%	V	°C	kg
24	40	230 AA ± 5 AA	50/60 ± %1	Tam Sinuzoidal	2400	76	30	0--+40	36



Şekil 4.3. Güneş Evi'nde kullanılan bataryalar, inverter ve şarj regülatörü

4.2.3. Diyarbakır Güneş Evi Elektrik Enerjisi Tüketim Potansiyeli

20 Haziran 2008 den beri çalışmakta olan PV sistemin ne kadar enerji ürettiği simülasyonlar ile hesaplanacaktır. Evde kullanılan cihazların günlük kullanım saatlerine göre harcadıkları enerji miktarı Watt Cinsinden tablo 3.8.'de gösterilmiştir. Somut verilerden faydalanarak Güneş Evi'nin bu güne kadar harcadığı elektrik enerjisi miktarı evdeki sayaçtan okunmuş ve Tablo 4.4.'te gösterilmiştir. Yaklaşık 15

ayda evde 4897 kWh enerji kullanımı yapılmış ve başka bir enerji kaynağına başvurulmamıştır.

Tablo 4.4. 1 Haziran 2008 -24 Ağustos 2009 arası Güneş Evi Elektrik Enerjisi Tüketim değerleri

T1(05:00-17:00)	T2(17:00-22:00)	T3(22:00-05:00)	TOPLAM
2132 kWh	1216 kWh	1548 kWh	4897 kWh

Tablo 4.5. Güneş Evinde kullanılan Cihazların Günlük Enerji Tüketim Değerleri

Cihaz	Harcanan Enerji(Wh)
Bilgisayar	1200
LCD TV	1500
Video Kayıt Cihazı + Güv. Kameraları	1000
Aydınlatma	950
Hava Sirkulasyon Motoru	150
Toprak altı Klima Motoru	350
Buzdolabı	1000
Toplam	6150

4.2.4. Diyarbakır Güneş Evi PV Sistem Kurulum Maliyeti

Diyarbakır Güneş Evi sistemi her biri 162 W'lık, toplam 3.88 kW kurulu güce ulaşan 24 adet PV güneş gözesi, bir adet 3000 W'lık DA-AA evirici, iki adet MPPT, 16 adet 100 Ah'lik batarya ile oluşturulmuştur.

Tablo 4.6. Sistem Kurulum Maliyeti

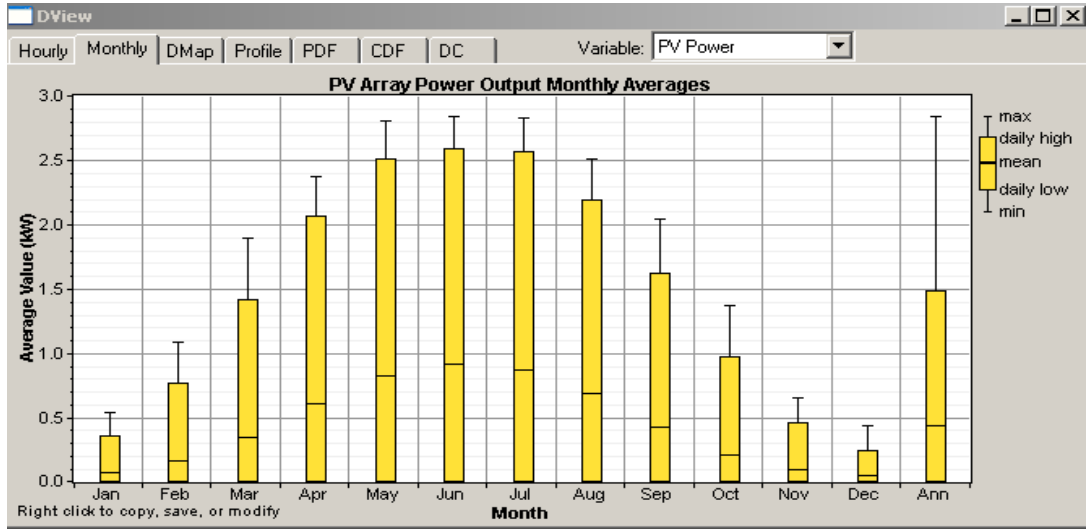
	Kapasite	Adet	Şatis Fiyatı (€)	Toplam Fiyat (€)
Solar Panel	162 W	24	550	13000
MPPT	12/24 VDC 60A	2	355	710
İnverter	3000W	1	640	640
Akü	12 V 100A	16	100	1600
Nakliye-İşçilik			1000	1000
Toplam				16950

4.2.5. Diyarbakır Güneş Evi'nde Simülasyonlar Kullanılarak Hesaplanan Enerji Üretim Potansiyeli

Diyarbakır Güneş Evi'nde kurulan PV Sistemin ürettiği enerji bu bölümde Homer ve Matlab Simülasyonları ile incelenmiştir.

4.2.5.1. Diyarbakır Güneş Evi'nin Homer Simülasyonu ile Enerji Analizi

Diyarbakır Güneş Evi'nde aylara göre üretilen elektrik enerjisi miktarı şekil 4.4.'te verilmiştir. Güneş gözlemlerinde maksimum 2,8 kW pik değerde üretim olmuştur.



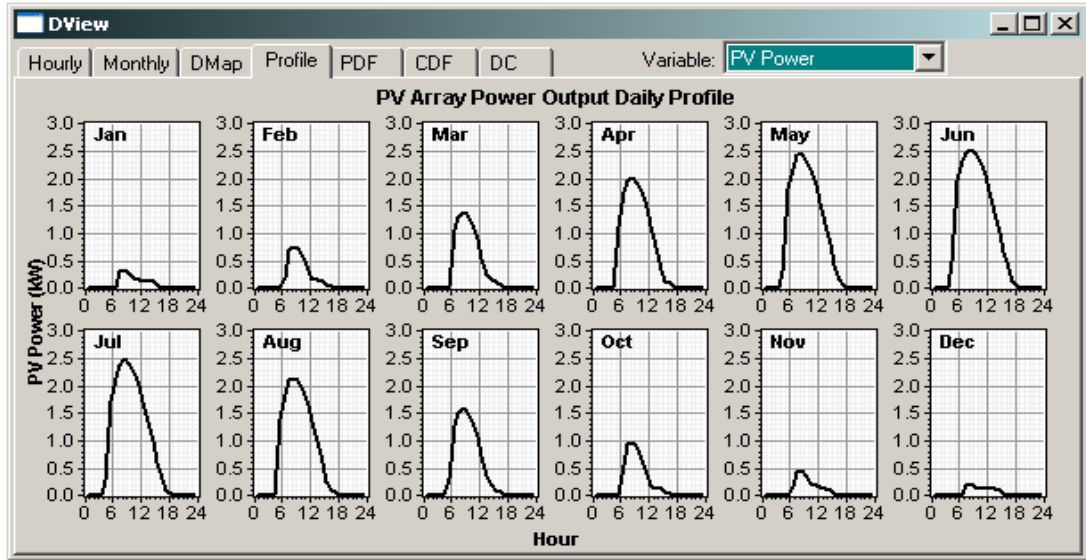
Şekil 4.4. Güneş Evi'nde Homer Simülasyonuna göre saatlik üretim verileri

Güneş gözlemlerinden aylık üretilen elektrik enerjisi üretimin en fazla olduğu Haziran ayında 648 kW, üretimin en düşük olduğu Aralık ayında ise 72 kW tır. Aylara göre toplam üretim değerleri Tablo 4,7'de görülmektedir.

Tablo 4.7. Güneş Evi'nde aylara göre toplam üretim değerleri

Ay	Aylara Göre Saatlik Ortalama Üretim(kW)	Günlük Toplam Üretim(kW)	Aylık Toplam Üretim(kW)
Ocak	0,1	2,4	72
Şubat	0,3	7,2	216
Mart	0,35	8,4	252
Nisan	0,6	14,4	432
Mayıs	0,8	19,2	576
Haziran	0,9	21,6	648
Temmuz	0,8	19,2	576
Ağustos	0,7	16,8	504
Eylül	0,4	9,6	288
Ekim	0,3	7,2	216
Kasım	0,15	3,6	108
Aralık	0,1	2,4	72
Toplam			3960

Aylara göre günün her saatinde güneş gözelerinde üretilen elektriğin gün içindeki dağılımına baktığımızda üretimin en çok olduğu saatlerin şekil 4.5.'e göre 10 ile 12 saatleri arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Aylara göre dağıtılmış saatlik üretim verileri

4.2.5.2. Diyarbakır Güneş Evi'nin Matlab Simülink Simülasyonu ile Enerji Analizi

Matlab Simülink Simülasyonunda hazırlanmış şekil 3.11.'de gösterilmiş devre modeli ile Diyarbakır Güneş Evi için enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre aylık toplam üretilen elektrik miktarları tablo 4.8.'de verilmiştir. Yıllık toplam üretilen enerji miktarı 2536 kWh'tir.

Tablo 4.8. Güneş Evinin Matlab Simülasyonu ile aylara göre elektrik üretimi

Ay	Azimut Açısı Değeri	Ay bazlı yıllık Üretim (kWh)	Aylık Üretim (kWh)
Ocak	194	2443	204
Şubat	192	2434	203
Mart	195	2448	204
Nisan	204	2504	209
Mayıs	214	2589	216
Haziran	224	2691	224
Temmuz	222	2670	223
Ağustos	213	2579	215
Eylül	208	2535	211
Ekim	205	2511	209
Kasım	202	2535	211
Aralık	198	2490	207
Toplam			2536

Diyarbakır Güneş Evi'nde kurulu sistemin sayaç değerleri kontrol edildiğinde 20 Haziran 2008 ile 24 Ağustos 2009 tarihleri arasında sistemin kullandığı enerji miktarının toplamda 4897 kWh olduğu görülmektedir.(Bkz Tablo 4.4.)

Matlab Simülinkte yıllık sayısal veriler girilerek koşturulan simülasyonun elde ettiğimiz veriler ile örtüşmediği görülmektedir. Bu durumun sebebi, simülasyonun yıllık sayısal veriler üzerinden çalışması, PV güç ve özelliklerinin detayları ile girilmemesinden kaynaklanmaktadır.

4.2.6. Maliyet Analizi

3,88 kW'lık kurulu güce ulaşan sistemimizin kurulum maliyeti Tablo 4.6.'dan görüleceği üzere yaklaşık 16950 € dur. Bu bedelin TL karşılığı ise yaklaşık 36000 TL dir. Yıllık üretilen toplam elektrik miktarı ise Tablo 4.7.'den görüleceği üzere 3960 kWh'dır.

Diyarbakır Güneş Evi'nde harcanan enerjinin 15 ayda 4897kWh olduğu, Homer Simülasyonuna göre 15 aylık değerler toplandığında ise üretilen enerjinin 5040kWh olduğu hesaplanmaktadır. Tablo 4.9.'da harcanan ve üretilen enerji miktarları görülmektedir.

Tablo 4.9. Güneş Evinde tüketilen ve üretilen elektrik enerjisi miktarı

20 Haziran 2008 ile 20 Ağustos 2009 Arasında Harcanan Enerji	20 Haziran 2008 ile 20 Ağustos 2009 arasında Üretilen Enerji	Fazladan Üretilen Enerji
4897 kWh	5040 kWh	143kWh

Ülkemizde elektrik enerjisinin kWh bedeli 25 kuruştur. Toplam üretilen enerji ile bu bedeli çarptığımızda yılda 1260 TL'lik bir fatura bedeli ödenmediğini görmekteyiz. Sistemin kurulum maliyeti ve üretilen enerji miktarının bedeli ile sistemin kendini amorti etme süresi hesaplanırsa;

$$\text{Amortisman süresi} = (\text{PV Kurulum Bedeli})/(\text{Toplam Üretilen Enerji Bedeli})$$

$$\text{Amortisman Süresi}=(36000)/(1260)$$

Amortisman Süresi= 28,5 yıl olarak hesaplanmaktadır.

PV sistemden en verimli aylarda üretilen enerjinin fazlası, ülkemizde şebeke bağlantılı sayaçlar henüz kullanılmadığından boşa gitmektedir. Şebeke bağlantılı sayaç uygulaması ile üretilen fazla enerjinin daha yüksek bedeller ile şebekeye

verildiği, teknoloji ilerledikçe PV sistem elemanlarının maliyet oranlarının düşeceği göz önüne alınırsa amortisman süresinin daha da kısılacacağı öngörülmektedir.

4.3. Radyo Baz İstasyonu Örneği

İssız ve erişilemez alanlar ile her tür iklimde, gece gündüz yararlanılabilen güneş ve rüzgâr enerjisi güvenirliliği, az bakım ihtiyacı ve kesintisiz enerji sağlayabilme kapasitesi ile her tür ve büyüklükteki telekomünikasyon sistemleri için vazgeçilmez enerji kaynağıdır.

Telekomünikasyon sistemleri günümüzde Güneş Enerjisi kaynaklarının en sık kullanıldığı sektör olmaya devam etmektedir. Bunun en önemli sebepleri bakımı az, modüler, ekonomik ve çabuk olmasıdır. Tüm bu koşulların bir araya gelmesi ile Marmaris bölgesi Serçe kıyılarında yapılmış Radyo Baz istasyonu ikinci uygulama örneği olarak incelenecektir.

4.3.1. Radyo Baz İstasyonunun PV Sistem Detayları

Radyo Baz istasyonunda kullanılan Alıcı-Verici kartları, Radyo Link, Klima ve diğer sistem elemanlarının güçleri hesap edilmiştir. Sistemin yaz aylarında ortalama toplam gücü 19200W ve kış aylarında ise 14400W olduğu görülmüştür. Sistemde kullanılacak PV sayısı ise gerekli güç, kayıplar ve kış şartları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Sisteme kışın problem olmaması amacı ile ek olarak rüzgâr tribünü eklenmiştir. Yazın günde 2 saat Kışın ise 3 saat çalışarak sisteme destek olması amaçlanmıştır. Tablo 4.10'da gerekli güç ve kayıp faktörleri hesaplanarak gerekli PV sayısı hesaplanmıştır.

Tablo 4.10. Radyo Baz istasyonu için güneş gözesi sayısı hesabı

Hesaplama	Yaz	Kış
A-Günlük İhtiyaç (W/gün)	19.200	14.400
B-Rüzgâr üretimi Yazın 2 saat kışın 3 saat çalışacak (3kW _{X2} (yaz) - 3kW _{X3} (kış))	6.000 W	9.000 W
C-Güneşten karşılanması gereken güç (A-B)	13.200 W	5.400 W
D-Güneşten karşılanması gereken Akım (C/24)	550 A	225 A
E-Kayıp faktörü (%20) (Dx1,2) (düzenleyici, kablo, akü pano vs kayıpları)	660 A	270 A
F-Güneşlenme saati (panellerin maksimum Verimde çalışacağı saat)	9 h	4 h
G-Saatlik gereken akım (A) (E/F)	73 A/h	67,5 A/h
H-1 panel grubundan alınabilen maksimum Akım (1 grup=2 panel)	7,39 A	7,39 A
I-Gerekli Panel Grubu sayısı (adet) (G/H)	10	9

Bir panel grubundan sağlanacak maksimum akım değeri 7,39 A dir. Sistemimiz için gerekli olan akım değeri ise 73 A olarak hesaplanmıştır. Değerler oranlandığında sistemimizde her biri 130 W'lık 20 adet panelin kullanılması uygun görülmüştür. Kullanılacak güneş gözelerine ait teknik özellikler Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

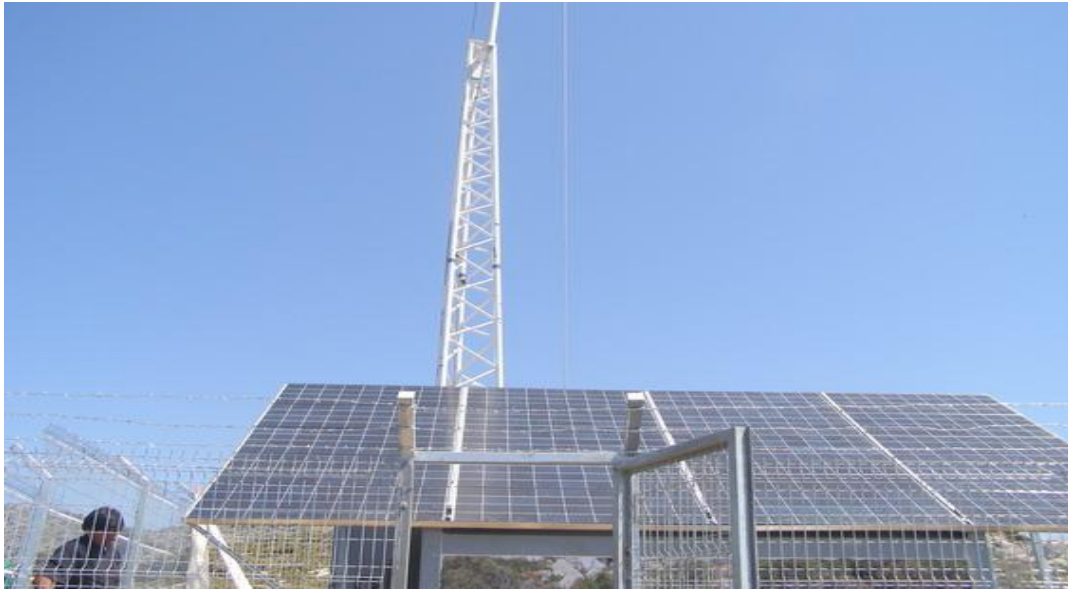
Tablo 4.11. Radyo Baz istasyonunda kullanılan güneş gözesinin teknik özellikleri

Hücre tipi	Maksimum Güç	Maksimum Gerilim	Akım	Açık Devre Gerilimi	Kısa Devre Akımı	Uzunluğu	Boy	Derinlik	Ağırlık
Poli Kristal	130 W	17.6 V	7.39 A	21.9 V	8.02 A	1425 mm	652 mm	36 mm	12.2 kg

Radyo Baz İstasyonu 2600 W panel gücüne sahiptir. Maksimum çıkış gerilimi 70,4 V olup maksimum çıkış akımı 29,6 A dir. PV lerin kendi içlerinde seri tüm sistemde paralel bağlanması ile Tablo 4.12’de gösterilen hesaplamalar elde edilmiştir.

Tablo 4.12. Radyo Baz istasyonunda Maksimum Panel Gücü, Çıkış Gerilimi ve Çıkış Akımı

	Panel Adedi	Birim Değer	Toplam
Maksimum Panel Gücü	20	130 W	2600 W
Maksimum Çıkış Gerilimi	4	17,6 A	70,4 V
Maksimum Çıkış Akımı	5	7,39 A	36,95 A



Şekil 4.6. Güneş Gözelerinin Montaj Şekli

Sistemde kullanılan şarj kontrol cihazı ile panellerden ışınım şiddetiyle değişen değerlerde çıkan gerilim ve akım, sisteme doğrudan verilmez ve sistemin çalışması için sistem yükünün ihtiyaç duyduğu gücü sağlayan gerilim ve akım değerlerinin temini ile mümkün olur. Bataryalı sistemlerde, panel ile yük arasındaki batarya sistemi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır.

Sistemde 12 adet 2 Volt 1000Ah lik jel akü kullanılmıştır. Jel aküler; Tam kapalı, bakım gerektirmeyen özel dizayn edilmiş akümülatörlerdir. Zor koşullar göz önünde bulundurularak, bu şartlarda üstün verim ve performans verecek şekilde üretilmişlerdir. Jel akülerin sulu akülerden teknik açıdan farkı yoktur ve çalışma şekli neredeyse eşittir. Jel akülerin özelliği kapalı ve bakımsız olmasıdır. Bunu elde etmek için elektrolit karışımı sülfürik asit ile silik asitten oluşmaktadır. Jel aküler neredeyse bakım gerektirmezler ve tamamen kapalıdır.



Şekil 4.7. Bataryalar ve Şarj Regülatörü

4.3.2. Radyo Baz İstasyonunun Enerji Tüketim Potansiyeli

Aynı iklim şartlarında güneşlenme süreleri eşit, aynı kapasite değerleri ve aynı sistem elemanları kullanılan başka bir Radyo Baz istasyonunun tüketim değerlerini somut veriler ile belirlemek adına elektrik sayaç verilerine ulaşılmıştır. Bu istasyona ait bir yıllık endeks verileri Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13 Radyo Baz İstasyonuna ait aylık enerji tüketim değerleri

Ay	İlk Endeks	Son Endeks	Aylık Harcanan Toplam Elektrik Miktarı (kWh)
Ocak	53568	53889,9	321,9
Şubat	53890	54359,8	469,8
Mart	54360	54855,9	495,9
Nisan	54856	55401,2	545,2
Mayıs	55401	56039	638
Haziran	56039	56740,8	701,8
Temmuz	56741	57379	638
Ağustos	57379	57990	611
Eylül	57990	58430,8	440,8
Ekim	58431	58883,4	452,4
Kasım	58883	59222,3	339,3
Aralık	59222	59564	342
Toplam			5596

Tablo 4.13 incelendiğinde; yıllık toplamda, incelenen Radyo Baz İstasyonunun enerji tüketim miktarının yaklaşık 5596 kWh olduğu görülmektedir.

4.3.3. Radyo Baz İstasyonunda Kurulan Hibrit Üretim Sistemi ile ENH Kurulum Maliyetlerinin İncelenmesi

Bu başlık altında, Radyo Baz istasyonunda enerji üretiminde kullanılan Hibrit sistem elemanlarının maliyeti ile enerji hattı çekilmesi durumunda oluşacak maliyetin karşılaştırılması yapılmıştır. Hibrit Sistem ve 1 km'lik ENH sisteminin yaklaşık maliyetleri Tablo 4.14. ve 4.15.'te gösterilmiştir.

Radyo Baz İstasyonu için incelenen Hibrit Sistemin yaklaşık maliyeti 96000 TL dir. Enerji hattına 1 km mesafede bulunan bir Radyo Baz İstasyonu için çekilmiş hat maliyeti ise yaklaşık 64000 TL dir. Bu mesafe 1,5 km ye ulaşıncaya enerji hattı maliyeti yaklaşık 85000 TL ye çıkmaktadır. 2 km ve üzerindeki enerji hattı

maliyetleri için Hibrit sistemler daha az maliyetli olmakla beraber üreteceği enerjinin tümü ise kar olarak sisteme geri dönecektir.

Tablo 4.14 Sistemin kurulum maliyeti

Açıklama	Miktar	Birim Fiyat(Euro)	Toplam Bedel(Euro)
Güneş Gözeleri	20	550	11000
Şarj Regülâtörü	1	1300	1300
Rüzgâr tribünü	1	3000	3000
Aküler	12	350	4200
Güneş Pili Sehpası	1	8000	8000
Bina ve Çit	1	3000	3000
Panolar ve Bağlantı Kutuları	1	400	400
Montaj Malzemeleri		3000	3000
Nakliye		1000	1000
İşçilik		3000	3000
Ulaşım-Yol-Konaklama		1500	1500
Proje Mühendislik Hizmetleri		1875	1875
Toplam			38275
KDV Tutarı			6889
Genel Toplam			48164

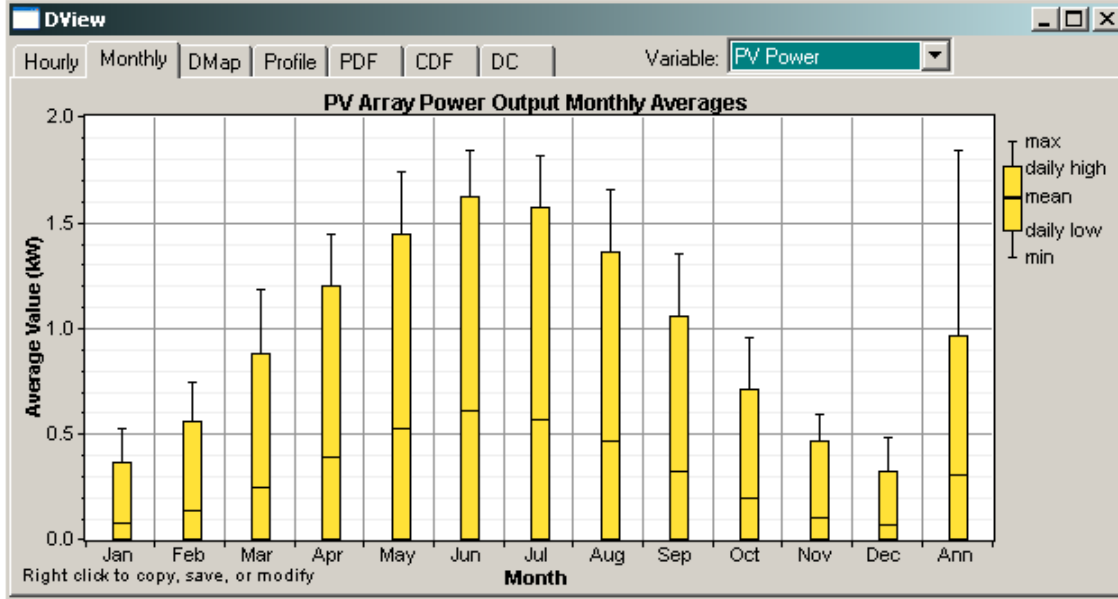
Tablo 4.15 Radyo Baz İstasyonuna ait 1 km’lik ENH maliyeti

İşin Tanımı	Birim	Miktar	Birim Fiyat	TUTAR (TL)
11 ile 20 direk arası saha ve rapor çalışması yapılması	Adet	1	4.543,00	4.543,00
25 KVA Transformatör ve direk	Adet	1	19.140,00	19.140,00
N-12 Demir Direk	Adet	1	3.080,73	3.080,73
T-12 Demir Direk	Adet	10	2.325,27	23.252,70
D-12 Demir Direk	Adet	1	2.836,14	2.836,14
TEDAŞ Geçici kabul Giderleri (saha başına)	Adet	1	814	814
Demir Direk ve Malzeme Nakli (saha başına)	Adet	1	1.210,00	1.210,00
Alüminyum iletken (1 adet)	mt	1.000,00	2,81	2.810,00
Güç bağlantısının 3 yada 3 ten fazla pole kapsadığı durumlarda, ilave bir "seksiyoner" gerekebilir.	Adet	1	924	924
Traktör veya insan gücü ile demir direk, beton ve malzeme nakli (direk başına)	Adet	13	90,75	1.179,75
Zemin kayalık ise (bölge onayı) 242 YTL/pole ilave edilecektir.	Adet	13	242	3.146,00
Orman arazisinde topografik proje çalışması	Saha	1	1.100,00	1.100,00
Toplam				64.036,32

4.3.4. Radyo Baz İstasyonunun Homer Simülasyonu ile Enerji Üretim Analizi

Radyo Baz istasyonu kurulacak bölgenin koordinat bilgileri, berraklık indeksi, yük bilgileri simülasyona girilmelidir.

2,6 kWp’lik bir sisteme ek olarak 3kW’lık bir rüzgar tribünü sisteme entegre edilmiştir. Rüzgâr tribünün PV Sistemine destek olması amaçlanmış ve yazın 2 saat, kışın 3 saat çalışması öngörülmüştür. Bölgede ki PV sistemin tek başına ürettiği elektrik enerjisi miktarı aylara göre günlük olarak Şekil 4.8.’de gösterilmiştir.



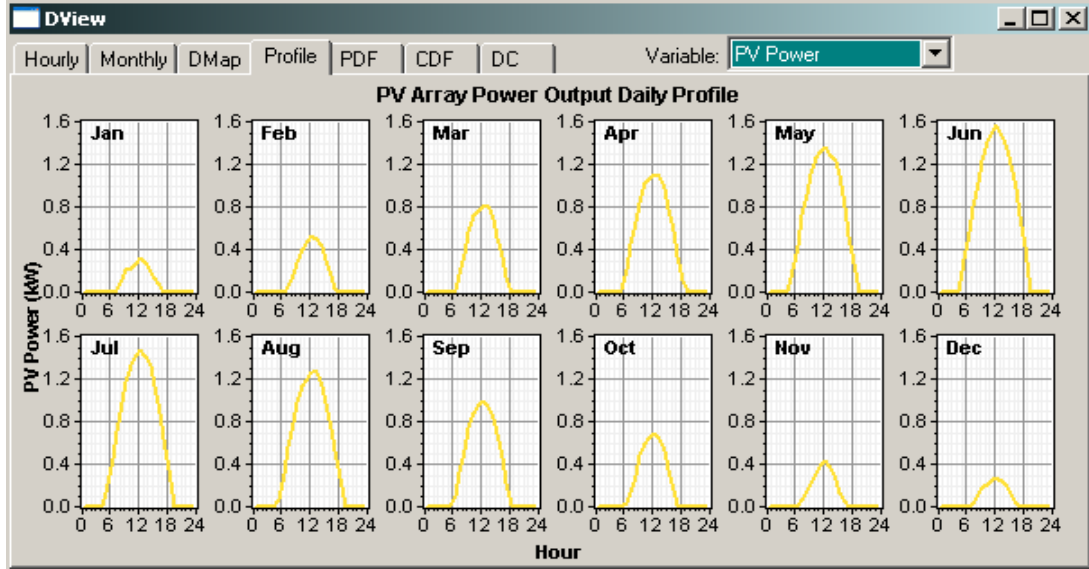
Şekil 4.8 Radyo Baz istasyonunda aylara göre saatlik üretim verileri

Üretilen elektrik enerjisinin saatlik, günlük ve aylık toplam değerleri kilowatt cinsinden hesaplanarak Tablo 4.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Radyo Baz istasyonunda PV ler ile üretilen enerjinin aylara göre toplam değerleri

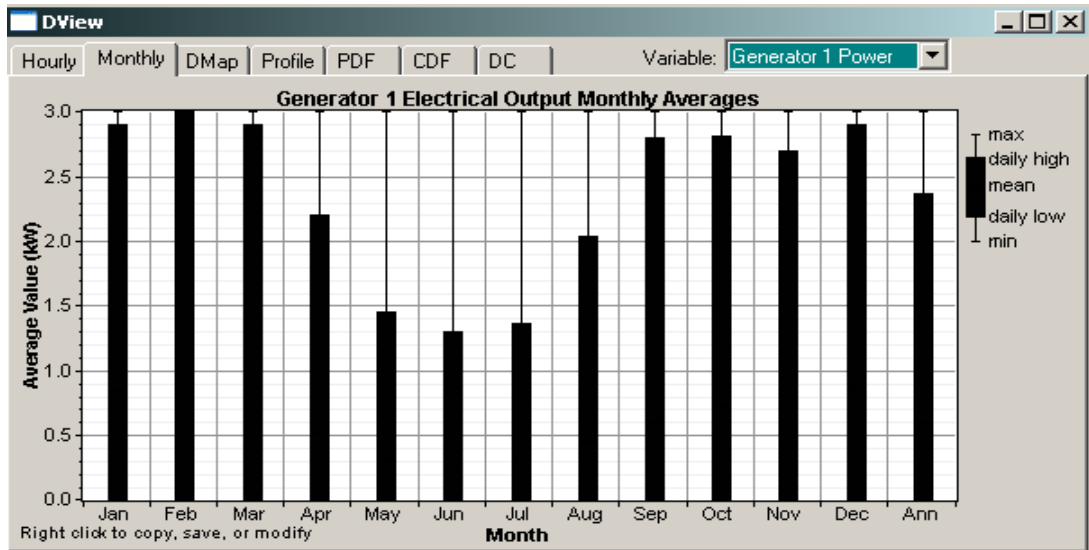
Ay	Aylara Göre Saatlik Ortalama Üretim(kW)	Günlük Toplam Üretim(kW)	Aylık Toplam Üretim(kW)
Ocak	0,08	1,92	57,6
Şubat	0,15	3,6	108
Mart	0,25	6	180
Nisan	0,4	9,6	288
Mayıs	0,6	14,4	432
Haziran	0,65	15,6	468
Temmuz	0,55	13,2	396
Ağustos	0,45	10,8	324
Eylül	0,3	7,2	216
Ekim	0,2	4,8	144
Kasım	0,1	2,4	72
Aralık	0,08	1,92	57,6
Toplam			2473,2

Aylara göre günün her saatinde güneş panellerinde üretilen elektriğin gün içindeki dağılımına baktığımızda üretimin en çok olduğu saatin 12 olduğu Şekil 4.9.'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Radyo Baz istasyonu sisteminde aylara göre saatlik üretim verileri

Radyo Baz İstasyonunun kurulduğu bölgede rüzgâr ortalama hızı 4,5 ile 5,5 m/s arasındadır. 3kW'lık rüzgâr tribünü ile elde edilecek enerji miktarı ise şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 3 kW'lık rüzgâr tribünü ile üretilen elektrik enerjisi

Rüzgâr ile üretilen enerjinin günlük ortalama değerlerinden faydalanılarak, yazın 2 saat, kışın ise 3 saat çalıştırılması sonucunda aylık üretilecek toplam elektrik miktarı kWh cinsinden hesaplanarak Tablo 4.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Rüzgâr enerjisi ile üretilen elektriğin aylara göre toplam değerleri

Ay	Günlük Ortalama Değer(kWh)	Yaz*2 saat Kış*3 saat	Aylık Toplam enerji (kWh)
Ocak	2,9	8,7	261
Şubat	3	9	270
Mart	2,9	8,7	261
Nisan	2,2	4,4	132
Mayıs	1,4	2,8	84
Haziran	1,3	2,6	78
Temmuz	1,4	2,8	84
Ağustos	2	4	120
Eylül	2,8	5,6	168
Ekim	2,8	8,4	252
Kasım	2,7	8,1	243
Aralık	2,9	8,7	261
Toplam			2214

Güneş gözelerinden ve rüzgâr tribününden üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı yıllık olarak Tablo 4,18.'de hesaplanmıştır.

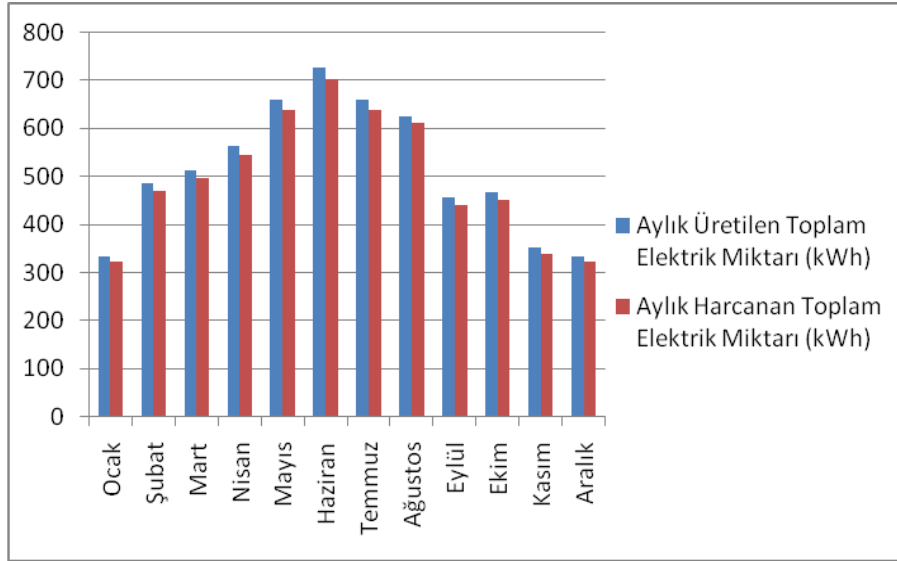
Tablo 4.18. Hibrit Sistem ile üretilen elektriğin aylık toplam değerleri

Ay	PV sistemin Günlük Toplam Üretimi (kWh)	Rüzgâr Tribününün Yazın 2 saat Kışın 3 saat çalışması ile elde edilen Günlük Toplam Üretim (kWh)	Toplam Günlük Üretilen Enerji (kWh)	Aylık Üretilen Toplam enerji (kWh)
Ocak	2,4	8,7	11,1	333
Şubat	7,2	9	16,2	486
Mart	8,4	8,7	17,1	513
Nisan	14,4	4,4	18,8	564
Mayıs	19,2	2,8	22	660
Haziran	21,6	2,6	24,2	726
Temmuz	19,2	2,8	22	660
Ağustos	16,8	4	20,8	624
Eylül	9,6	5,6	15,2	456
Ekim	7,2	8,4	15,6	468
Kasım	3,6	8,1	11,7	351
Aralık	2,4	8,7	11,1	333
Toplam				6174

Hibrit sistemin yıllık ürettiği toplam elektrik enerjisi miktarı 6174 kWh'dır. Tablo 4,18'deki değerler ile Marmaris bölgesinde bulunan Hibrit Sistemin kullanıldığı istasyona kuş uçuşu 2 km uzaklıkta bulunan ve aynı kapasite değerlerine sahip başka bir istasyonun enerji harcama değerleri incelenmişti(Bkz Tablo 4.13.). İnceleme sonuçları Tablo 4.19. ve Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.19 ENH'li sistemdeki harcanan enerji ile Hibrit sistemde üretilen enerji miktarının karşılaştırılması

Ay	Aylık harcanan toplam elektrik miktarı (kWh)	Hibrit Sistem ile Aylık üretilen toplam elektrik miktarı (kWh)
Ocak	321,9	333
Şubat	469,8	486
Mart	495,9	513
Nisan	545,2	564
Mayıs	638	660
Haziran	701,8	726
Temmuz	638	660
Ağustos	611	624
Eylül	440,8	456
Ekim	452,4	468
Kasım	339,3	351
Aralık	342	333
Toplam	5596	6174



Şekil 4.11. Üretilen ve harcanan enerjinin aylara göre grafiksel gösterimi

Şekil 4.11.'de görüldüğü üzere Radyo Baz İstasyonu için yapılmış Hibrit sistem, ENH çekilmiş sistemin elektrik harcama miktarından daha fazla üretim yaparak Radyo Baz İstasyonunu sorunsuz çalışmasını sağlamıştır.

4.3.5. Maliyet Analizi

Bu başlık altında, Radyo Baz İstasyonunun simulasyon sonuçlarına göre ürettiği enerji miktarı, yatırım maliyeti ve amortisman süresi incelenecektir.

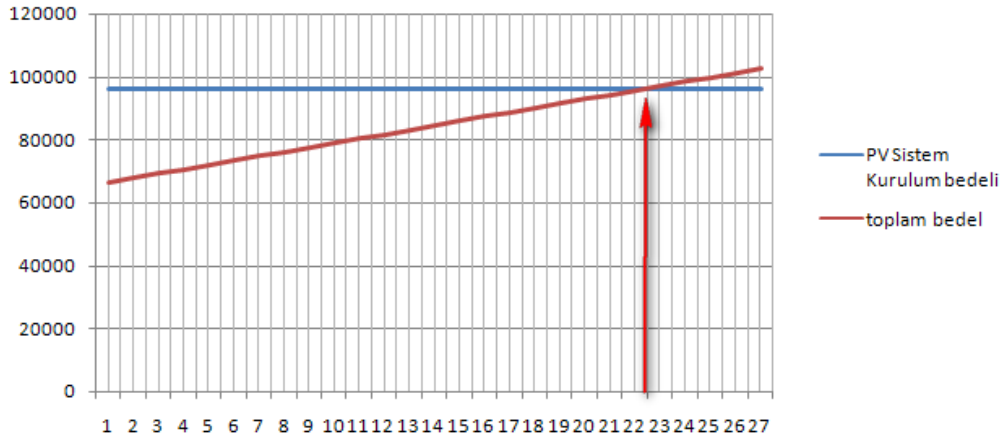
Aynı güç ihtiyacı bulunan bir Radyo Baz İstasyonunun harcadığı yıllık enerji miktarı Tablo 4.13'ten görüleceği üzere 5596 kWh dir. Bu istasyon için yıllık ödenen fatura bedeli ise 1400 TL dir.

Enerji Nakil hattına 1 km mesafede olan bir Radyo Baz İstasyonuna çekilecek enerji hattı maliyeti yaklaşık 64000 TL dir.(Bkz Tablo 3.11)

(PV sistemin Kurulum Maliyeti - 1 km enerji Nakil Hattı Maliyeti)

(Yıllık ödenen toplam elektrik faturası bedeli)

$(96000-64000)/1400= 22,8$ yıl olarak hesaplanmaktadır.



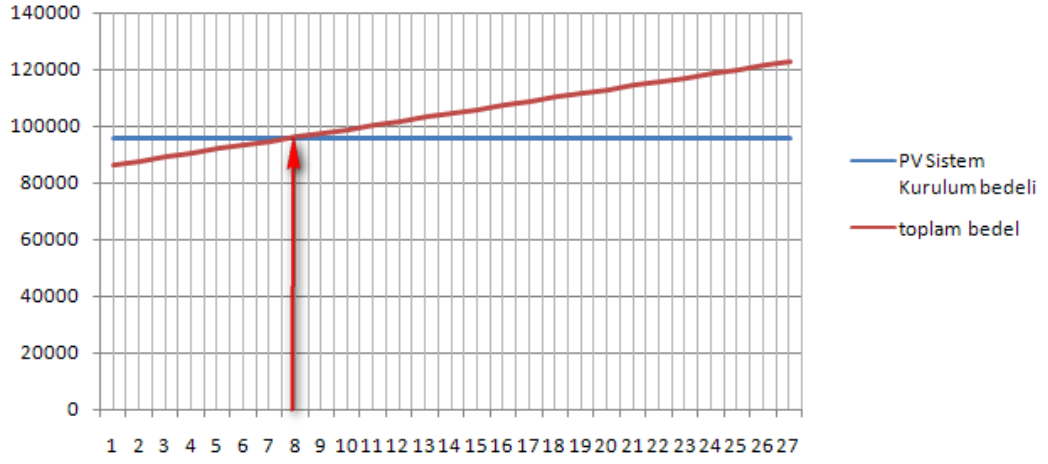
Şekil 4.12 Hibrit Sistem ile 1 km ENH maliyeti amortisman süresi

Enerji Nakil hattına 1,5 km mesafede olan bir Radyo Baz İstasyonuna çekilecek enerji hattı maliyeti yaklaşık 85000 TL dir.

(PV sistemin Kurulum Maliyeti - 1 km enerji Nakil Hattı Maliyeti)

(Yıllık ödenen toplam elektrik faturası bedeli)

$(96000 - 85000)/1400= 7,85$ yıl olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.13 Hibrit Sistem ile 1,5 km ENH maliyeti amortisman süresi

Radyo Baz istasyonu için kurulmuş Hibrit sistem ile ENH maliyetleri incelendiğinde, sistemin 1 km mesafelik bir ENH hattına göre amortisman süresinin 22.8 yıl 1,5 km mesafelik bir ENH hattına göre amortisman süresinin 7.8 yıl olduğu hesaplanmıştır. İncelenen hibrit sistemin özellikle 1 km den fazla ENH çekilecek bölgeler için kullanımının daha uygun olacağı ve çok kısa sürede kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. Özellikle sistemin, ENH çekiminin zor olduğu dağlık, deniz kenarı veya bir ada için uygulanabilir olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5. GÜNEŞ GÖZELERİ İLE ENERJİ ÜRETİLEN SİSTEMLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

5.1.Giriş

Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir. Daha geniş bir biçimde enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini azaltması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür.

Enerji verimliliğinde en önemli faktör enerji tasarrufudur. Doğrudan enerji tasarrufu yapmak için ev, araba ve diğer son teknolojileri kullanmak, alışkanlıkları ve günlük davranışları değiştirmek, enerjiyi daha verimli kullanacak biçimde yeni düzenlemeler yapmak gerekmektedir.

Enerjinin yoğun kullanıldığı konutlarda %20-30 dolayında enerji tasarruf potansiyeli olduğu bilinmektedir. Bu noktada yeni yapılacak konutlarda ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlandığı sıfır enerjili veya artı enerjili yapılar oldukça önemli hale gelmektedir. Bu yapılar ekolojik kurguları ile ihtiyaçları olan tüm enerjiyi kendileri üretebilmektedir. Bu tip yapılarda kullanılacak en önemli enerji kaynağı güneştir. Bu yapılara entegre edilen PV sistemler yardımıyla elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi mevsim şartlarına göre değişiklik gösterdiğinden bazı aylarda ancak ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu durum söz konusu olduğunda enerji tasarrufu bir kez daha ön plana çıkmaktadır.

Çünkü kullanılan enerjinin fazla olması demek kurulacak PV sistemin daha büyük ve daha maliyetli olması demektir.

Bu bölümde kendi enerjisini üreten yapılarda enerji verimliliğinin önemine, enerji tasarrufu ve verimliliği sağlayacak uygulamalara Diyarbakır Güneş Evi'nde yapılan uygulamalardan yola çıkılarak yer verilmiştir.

5.2. Enerji Verimliliğinin Önemi

Enerji kaynakları açısından kısıtlı kaynaklara sahip ve dışa bağımlı konumda olan ülkemizde, enerji ihtiyacının yeterli, güvenilir ve ekonomik olarak sağlanması temel hedeftir. Enerjinin verimli kullanımı bu hedefin gerçekleştirilmesinde kullanılacak en önemli araçlardan birisidir.

Enerjinin verimli kullanımının sağlanmasında en temel gösterge enerji yoğunluğunun düşürülmesidir. Ülkemizde kişi başına enerji tüketimi OECD ülkeleri ortalamasının yaklaşık 1/5 'i oranında, enerji yoğunluğu ise OECD ortalamasının iki katı kadardır. Bugüne kadar yürütülen çalışmalara rağmen enerji yoğunluğu, düşme eğilimine girmemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu 0.09-0.19 arasında iken, ülkemizde 0.38 olması ve azalma eğilimi göstermemesi bu konunun ciddi olarak ele alınması gereğini ortaya koymaktadır. Sadece bu rakam bile, Türkiye'nin enerji verimliliğinin artırılması konusunda yapılabilecek çok şey olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1. Ülkelere Göre Enerji Yoğunluğu Dağılımı

Ülke	GDP (milyar\$)	Tüketim(milyon TEP)	Enerji yoğunluğu	Kişi başına tüketim (TEP/nüfus)
Türkiye	190,3	72,5	0,38	1,06
Japonya	5 648	520,7	0,09	4,09
ABD	8977,9	2281,5	0,25	7,98
Yunanistan	144,8	28,7	0,20	2,62
OECD	27880,9	8970	0,19	4,68
Dünya	34399,8	10029	0,29	1,64

Ülkemizde ki enerji tasarruf potansiyeli incelendiğinde sadece %15’lik elektrik tasarruf potansiyeli geri kazanıldığında 6,5 milyar TL’lik doğal gazlı santral yatırımı önlenebilir ve yılda 3,0 milyar USD’lık doğal gaz ithal edilmeyebilir. Enerji tasarruf potansiyelin kullanılması ile aynı enerji ile daha fazla üretimin önü açılacak, enerji yatırım ihtiyaçları ve ithalat bağımlılığı azaltılacak, ayrıca temiz çevrenin korunmasına önemli katkılar sağlanacaktır.

5.3. Enerji Verimliliğini Arttırma Yöntemleri

Enerji verimliliği genel olarak birçok cihaz, donanım, bina ve enerji hizmeti için mümkün en az enerji tüketimi, verimli olmayan ürünlerin piyasadan çekilmesi amacı ile performans derecelendirmesi ve etiketleme, daha fazla enerji verimliliği sağlayan ürünler için finans mekanizmaları oluşturulması ve tüketicinin en verimli ürünler hakkında bilgilendirilmesi ile arttırılabilmektedir.

Konutlardaki enerji verimliliği ise yenilenebilir kaynaklardan sağlandığı sıfır enerjili veya artı enerjili yapılarda uygulanabilecek metod ve sistemler aracılığı ile sağlanır. Bu bölümde uygulanabilecek metod ve sistemler incelenmiştir.

5.3.1. Binalardaki Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği

Konutlarda ki enerji tüketiminin en büyük kısmı mekân ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Tipik bir evin toplam faturasının %45'i ısıtma-soğutma için ödenmektedir. Kendi enerjisini üreten evlerde enerji tasarrufu ve verimliliği sağlayan, alt başlıklar halinde açıklanan uygulamalar ile ısıtma ve soğutma sistemleri oluşturulur. Bu sistemler ile kullanılan enerji de tasarruf sağlanabilir.

5.3.1.1. Toprak Altı Enerjisi

Yer kabuğunun 2 metre altında sabitleşmeye başlayan Ekvatordan kutuplara kadar uzanan toprak katmanının ısıtı mevcuttur. Bu ısı 15 derece ortalamasının 5 derece altında veya üstünde seyir eder. Konut içine döşenen boru sistemi ile boru içinde dolaşan hava, suyun ısıtısından faydalanılarak yaz aylarında doğal bir serinlik yaratır.

5.3.1.2. Sera Etkisi ve Güneş Duvarları ile Isıtma

Güneş duvarı genelde konutların güney cephesine yerleştirilen konuta doğal ısıtma sağlama amacı ile kullanılan elemanlardır. Güneş duvarının camlarından geçen kısa dalga boylu ışın, yüzeyi büyütmek için profil verilmiş siyah saça çarptığında ısıya dönüşmekte ve dalga boyunu büyütmektedir. Dalga boyu fiziki olarak büyüdüğü için girdiği camdan tekrar geri çıkamayan ışın, “sera etkisi” dediğimiz iç ısınmayı yaratmaktadır.

Güneşin kışın hemen ısıttığı güney cephesine sera yapılabilir. Güneş duvarlarında bulunan iç mekâna açılan hava menfezleri vardır. Alttaki menfezden güneş duvarına giren serin hava, güneşin etkisi ile ısınmakta ve hafiflediği için yükselerek üstteki menfezden tekrar eve dönmekte ve iç mekânın süratle ısınmasını sağlamaktadır.

5.3.1.3. Venturi Bacası ve Rüzgâr Kepçesi

Esen rüzgâr ile, ağzı daraltılmış, huni benzeri bir düzeneden geçerken, tıpkı su hortumunun ağzı daraltıldığında olduğu gibi sürati artar. Bu esintinin, düşey yöndeki kanal ile iç mekâna temiz ve serin hava olarak girmesi sağlanır. İç mekân da ısınıp yükselen pis havanın ise, venturi bacası denilen, yine ağzı daraltılmış bir düzeneden, rüzgârın bu kez yatay geçiş yaparken yarattığı vakum aracılığı ile dışarı atılması sağlanmaktadır. Bu sistem ile de doğal havalandırma sağlanmaktadır.

5.3.1.4. İzolasyon

Faklı ortamlardaki ısı transferini engellemek amacı ile uygulanmaktadır.

5.3.2. Aydınlatma

Aydınlatmada enerji tasarrufu, aydınlatmanın kalitesini düşürmeden ve iyi bir aydınlatmanın şartları yerine getirilerek yapılmalıdır. İyi bir aydınlatma, daha verimli aydınlatma elemanları ile sağlanacağı için, aynı aydınlatma seviyesinin daha az enerji tüketimi ile sağlanması mümkündür. Verimli bir aydınlatma ile hem daha az elektrik enerjisi tüketimi olacak, hem de göz sağlığı korunacaktır. Aydınlatma, elektrik tüketiminde önemli bir yer tutmaktadır. Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kaynağı aydınlatma sistemleridir. Tüketilen elektrik enerjisinin endüstriyel işletmelerde %20 'si, mağazalarda %30'u, ofislerde ise

yaklaşık %40 'ı aydınlatma amaçlı harcanmaktadır. Bu rakamlar aydınlatma sistemlerinde ekonomik çözümlerin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Aydınlatmada; kaynakların ve verimli armatürlerin kullanılması ile önemli enerji tasarrufu sağlanabilir. Ancak, gerektiği yerde, gerektiği zaman, gerektiği kadar bir aydınlatma yapma yeteneğine sahip olmayan yani kontrol edilmeyen bir aydınlatma sistemi günümüz ekonomik ve teknolojik koşullarına uygun değildir [21]. Sadece aydınlatmada dikkat edilecek birkaç küçük ayrıntı sayesinde önemli oranlarda elektrik tasarrufu sağlanabilir. Örneğin, akkor Flamanlı 100 W 'lık normal bir lamba ile bir ailenin aylık tüketimi 100 kWh 'e ulaşırken, aynı ışık akısını veren kompakt flüoresan lamba kullanıldığında aylık tüketim 20 kWh 'a kadar düşebilmektedir. Türkiye 'de toplam elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık % 25 'inin aydınlatma amaçlı olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, bu küçük değişiklik Türkiye genelinde ayda 1.120 GWh 'lık bir tasarruf anlamına gelir [internet].

Bu tasarrufu ön plana çıkarıp göstermek amacıyla Diyarbakır Güneş Evi'nde uygulanması düşünülen aydınlatma projesi hazırlanmıştır. Bu proje ile, kendi enerjisini üreten Diyarbakır Güneş Evi'nin aydınlatma konforunu arttırmakla beraber enerjisini nasıl daha verimli kullanacağına ait bir örnekleme yapılmıştır.

5.3.2.1. Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı için Önerilen Aydınlatma Projesi

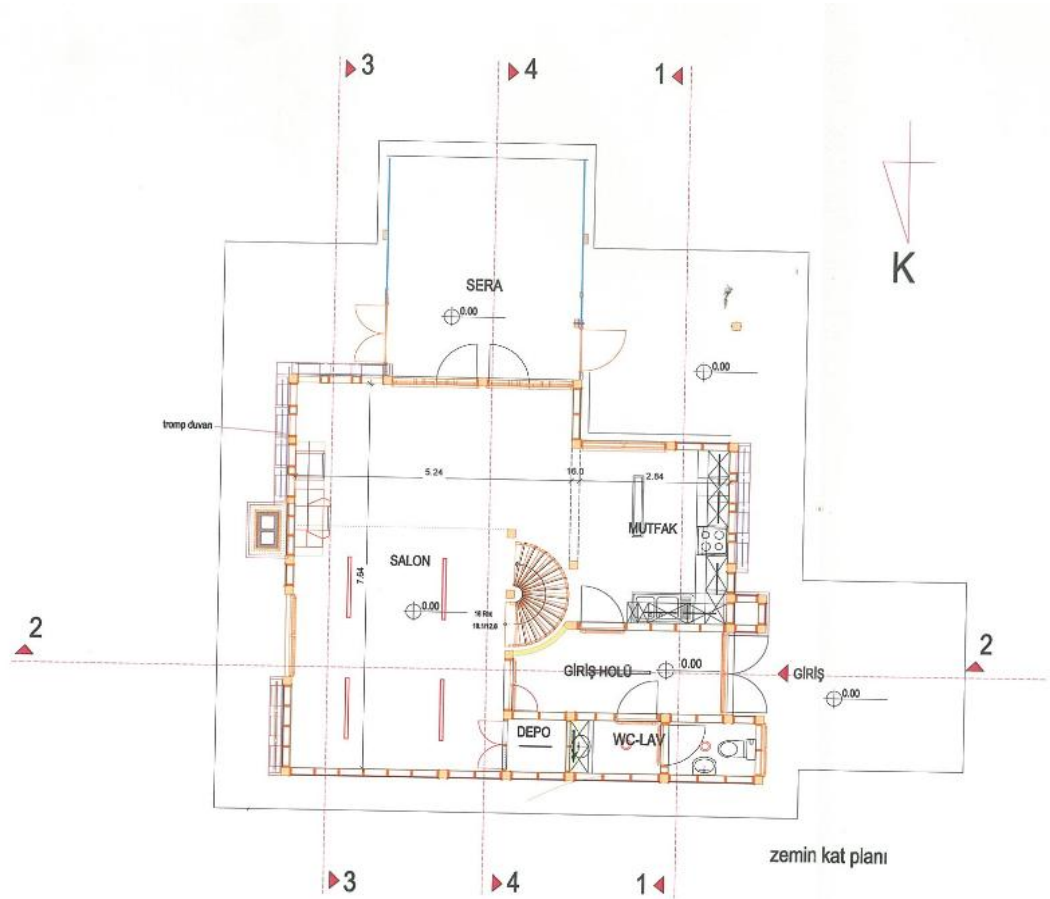
Kendi enerjisini üretecek olan Diyarbakır Güneş Evi'nin aydınlatma tasarımında, enerji tasarrufu sağlayan çözümlerin kullanılması esas alınmıştır.

Eğitim toplantıları ve ofis olarak kullanılan alandaki genel aydınlatma dekoratif armatürlerle sağlanmıştır. Belirtilen armatürde bir adet 28W gücünde, bilinen sistemlere göre %25 Enerji tasarrufu sağlayan TL'5 flüoresan lamba bulunmaktadır. Tavan yapısının eğimli olduğu ve yüksekliğin fazla olduğu kısımda ise aynı

armatürün 54W sarkıt tipi kullanılmıştır. Mutfaktaki genel aydınlatma için, nemli ortamlarda kullanımı uygun olan armatürler kullanılmıştır. Bu armatürde 28W gücünde TL'5 flüoresan lamba bulunmaktadır. Tezgah üzerindeki lokal aydınlatma için ise 14W gücünde TL'5 flüoresan lamba bulunan armatürler kullanılmıştır.

WC alanlarındaki genel aydınlatma için sıva üstü armatürler kullanılmıştır. Belirtilen armatürde 18W gücünde enerji tasarrufu sağlayan kompakt flüoresan lamba bulunmaktadır.

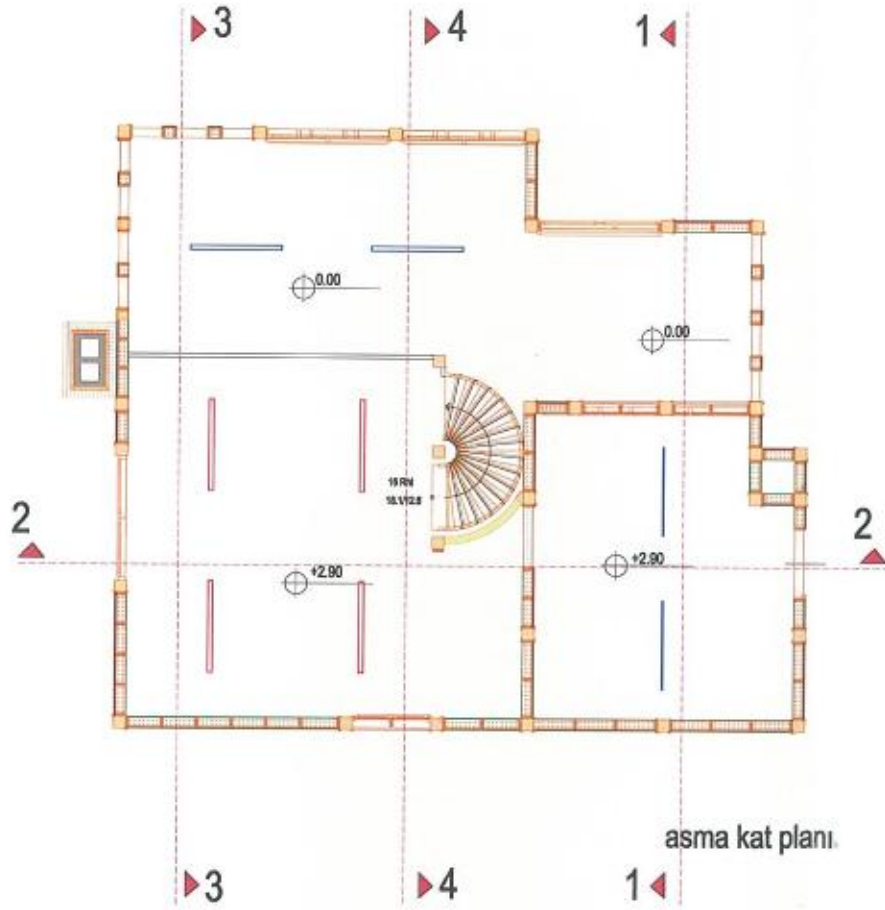
Şekil 5.1. ve 5.2.'de Diyarbakır Güneş Evi'nin Zemin ve Asma katlarına ait Aydınlatma projesi gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Güneş Evi için önerilen zemin kat aydınlatma projesi

Tablo 5.2. Güneş Evi için önerilen zemin kat Aydınlatma projesinde kullanılacak armatür ve lamba adedi

Kullanılan Alan	Lamba Tipi	Armatür Adedi	Lamba Adedi
Mutfak	TL'5 28W	1	1
Salon	TL'5 28W	4	4
WC	PL-C 18W	2	4
Eğitim Odası	TL'5 28W	1	2
Mutfak Tezgahı	TL'5 14W	1	1



Şekil 5.2. Güneş Evi için önerilen asma kat aydınlatma projesi

Tablo 5.3. Güneş Evi için önerilen asma kat Aydınlatma projesinde kullanılacak armatür ve lamba adedi

Kullanılan Alan	Lamba Tipi	Armatür Adedi	Lamba Adedi
Asma Kat	TL'5 28W	4	4
Asma Kat	TL'5 54W	2	2
Asma Kat	PL-C 28W	2	2

5.3.3. Ev Otomasyon Sistemleri

Ev teknolojileri endüstrinin birçok alanında kullanılan kontrol sistemlerinin gündelik hayata uyarlanması, ev otomasyonu da bu teknolojilerin kişiye özel ihtiyaç ve isteklere uygulanmasıdır. Bütün bu teknolojiler sayesinde ev sakinlerinin ihtiyaçlarına cevap verebilen, onların hayatlarını kolaylaştıran ve daha güvenli daha konforlu ve daha tasarruflu bir yaşam sunan evler için kullanılmaktadır.

Ev Otomasyonuna geçilmesinin en önemli nedeni verimliliği arttırmak ve enerji tasarrufu sağlamaktır. Normal bir ailenin enerji giderlerini arttıran ve gereksiz enerji tüketimine neden olan en büyük etkenler gereksiz yere açık bırakılan ışıklar, kısa süreler için hızlı ısıtma ve soğutma sağlamak için, yüksek seviyelerde çalıştırılan ısıtma ve soğutma sistemleri, evin kullanılmayan bölgelerinin ısıtılması, gün ışığından gerektiği kadar faydalanamama, açık bırakılan cihazlar ve benzeri durumlardır. Isıtma sistemlerinin otomasyonla denetimli bir evin ısı enerjisi tüketimini %10, gereksiz ışıkların söndürülmesi, yakılan ışıkların %90 parlaklıkta yakılması, cihazların ucuz tarife zamanlarına göre programlanması gibi yöntemler ise elektrik enerjisi tüketimini %30'a

varan oranda azaltabilir. Bu tasarrufların sağlanabilmesi amacıyla ev otomasyon sistemleri geliştirilmiştir.

5.3.3.1. Ev Otomasyon Sistemlerinde Aydınlatma

Aydınlatma otomasyonu yapılmış ev ışıklandırma sistemleri, konut içi atmosferini belirleyip ayarlayan ve yine ısıtma-soğutma sisteminde olduğu gibi merkezi olarak bir bilgisayar tarafından tüm gün içinde kontrol edilen sistemlerdir. Kullanılan elemanlar elektronik kumandalı özel cihazlardır. Örneğin; ray üzerinde hareketli spot lambalar, özel nesnelere izlemek veya ışık düzeyini ayarlamak için yer değiştiren sistemler olarak tasarlanmıştır. Daha karmaşık sistemler ise konutu bir tiyatro sahnesine benzeten, mekânlara ve mekân içerisindeki faaliyetlere göre farklı ışık efektlerini ayarlayan değişik armatürlerin kullanıldığı bir sistem olarak tasarlanmaktadır. Oluşturulacak efektlerin tamamlanabilmesi için hassas sensorların mekânın stratejik noktalarında bulunması, ışık düzeylerinin mekânın özel kısımlarında hassas olarak belirlenerek bilgisayarda değerlendirilmesi ve eşzamanlı olarak günün her dakikasında güncellenerek faaliyetlere göre restore edilmesi, bu sistemin en önemli özellikleridir.

5.3.3.2 Ev Otomasyon Sistemlerinde Isıtma-Soğutma

Isıtma soğutma sistemi için otomasyon yapılmış bir ev, yazları soğutma sistemi olarak, havalandırma sistemleri ile birlikte ışık gölge yapısını da kullanarak, konut içine giren güneş ışığının sera etkisini kontrol altında tutup ısıyı denetler. Pasif önlemler ve bilinçli malzeme seçimi sayesinde iklimlendirme sorunu konut içinde minimize edilmektedir. Isıtma sistemi için ise daha çok doğalgazlı sistemler kullanılırken, bunun yanı sıra “aktif solar

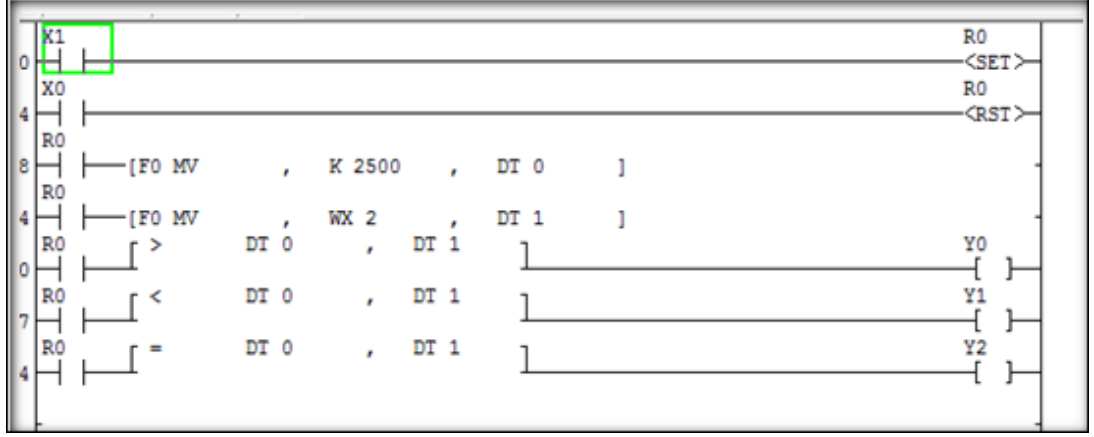
sistem” adı verilen, güneş ısısının su radyatörleri ile yapının belli bir kısmında depoladığı ısının yapı içerisine yansıtılması gibi sistemlerle ısıyı kontrol altına alma yoluna gidilir. Ayrıca “pasif solar sistem” denilen, güneş ışığının yapı içerisine girişini denetleyen mekanizmalarla ısının dengelenmeye çalışıldığı sistemler kullanılarak, hem konfor koşulları ayarlanır hem de enerji sarfiyatı minimize edilir. Örneğin; güneş ışığının mekâna etkisini mekânın ısısına göre ayarlayan akıllı pencereler kullanılmaktadır.

5.3.3.2.1 Diyarbakır Güneş Evinde Uygulanması Düşünülen Otomasyon Sistemi

Diyarbakır Güneş Evi’nde kullanılan tüm iklimlendirme elemanlarının merkezi koordinasyon ile çalışmalarını sağlamak üzere bir otomasyon sistemi kurulması düşünülmektedir. Bu sistemin amacı ısıtma ve soğutma sistemleri ile üretilen enerjiyi verimli kullanmak, konfor şartlarına uygun ortam koşullarını oluşturmak ve sistemden Güneş Evi’nin enerji verilerinin kontrol ve değerlerini görebilmektir.

Bu sistem; ölçüm, değerlendirme ve kontrol kumanda sistemlerinden oluşacaktır. Sistem, iç ve dış sıcaklıkları ölçen sensörlerden, venturi bacası ile güneş duvarları menfezlerini açma kapama ünitelerini kontrol eden motorlardan ve iklimlendirme sistemini kontrol eden elemanlardan oluşacaktır. Bu amaçla programlanabilir lojik kontrolör (PLC) kullanılacaktır. PLC’ ye gelen ölçüm değerleri, program tarafından değerlendirilecek ve ortamın konfor koşullarına ulaşabilmesi; mevcut menfez kanatlarının açma kapama oranlarını değiştirmek için monte edilen motorları kontrol etmek sureti ile sağlanacaktır.

Güneş Evi’nde kurulması düşünülen Otomasyon sisteminin Ladder diyagramına göre gösterimi Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Sistemin Ladder Diyagramı Gösterimi

X1:Başlat

R0:Dâhili bit

Y0:Isıtıcı

X0:Durdur

Y1:Fan

Y2:Damper Motoru

Sistem başlama butonuna basıldıktan sonra çalışmaya başlayacaktır. Algılayıcılar yardımı ile iç ve dış sıcaklıkları karşılaştıracak gerekli çıkışları verip sürekli geri beslemeli bir döngü içerisinde bulunacaktır. Algılayıcılardan gelen bilgiler ışığında PLC damper motoru çalıştıracak ve menfezlerin açılıp kapanması sağlanacaktır. Böylelikle ortam sıcaklığımızın istenen değerde olması sağlanacaktır.

Sürekli ölçülen iklimsel değerler ve bu değerlerle mantıksal bağ kuran program aracılığı ile sistemin çalışması, bilgisayar ortamına ve oradan internetteki web sayfasına aktarılacak ve dileyen herkes tarafından izlenebilecektir.

6. SONUÇ

Güneş ışığı dünyada bütün canlılar için çok gereklidir. Güneş, insanlar tarafından bilinen en büyük ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş gözeleri gürültüsüz, çevreyi kirletmeden, herhangi bir hareket eden mekanizmaya ihtiyaç duymadan güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir.

Bu çalışmada, güneş gözelerinin yapısından, çalışma prensiplerinden, uygulama örnekleri ile üretilen elektrik enerjisinin simülasyonlar ile analizinden bahsedilmiştir. Bunların yanı sıra enerji verimliliğinin artırılması konusunda yapılabilecek uygulamalar ve verimliliği arttırmada etkisi olacak aydınlatma ve otomasyon projeleri incelenmiştir.

Uygulama örneklerinden birincisi olan Diyarbakır Güneş Evi, 3880 W_p'lık PV sistemi ile 65 m²'lik bir evin çatısına kurulmuştur. İncelenen ikinci uygulama örneği ise bir Radyo Baz İstasyonudur. Bu istasyon güneş ve rüzgâr enerjisini birlikte kullanarak kendi enerjisini üretmektedir. Örneklerde üretilen ve tüketilen enerji miktarları somut verilerin yanında simülasyonlar ile incelenmiş ve maliyet analizi yapılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre sistemin verimlilikle çalışabildiği gözlenmiştir. Yurdumuzda güneş ışınımının fazla olduğu güney bölgelerinde, güneş ışınımının yoğunlaştığı yaz aylarında, sistemin amaca uygun bir biçimde olduğu söylenebilir. Çalışma sonuçları incelendiğinde Diyarbakır yöresinde, güneşten verimlilikle elektrik enerjisi elde edildiği görülmektedir.

Verilerin incelenmesinde, PV 'lerden elde edilen elektrik enerjisi ile gündüz saatlerinde bataryalara ihtiyaç duyulmadan sistemin çalışabildiği tespit edilmiştir.

Gece çalışan cihazlar için, uygulama sistemi bataryalar aracılığıyla çalışabilmekte ve bataryalar gündüzleri hızlı şarj edilebilmektedir.

Güneş enerjili elektrik üretim sistemleri ekonomik olarak günümüzde kullanılan diğer enerji kaynaklarına oranla maliyetli olmasına rağmen, şebekeye uzak yerlerde, enerji iletim hattı, trafo, gibi kurulum maliyetlerine azaltıcı yönde olumlu etkisi vardır. Aynı zamanda, istenen yerde ve güçte elektrik üretmesi, gürültüsüz çalışması, pek fazla bakım gerektirmeyen uzun ömürlü bir sistem olması bakımından tercih edilebilmektedir. Elektrik enerjisi olmayan, ulaştırılması zor ve kurulum maliyeti yüksek olan yerlerde böyle sistemlerin kullanılması çoğu zaman avantajlı olabilmektedir. Bunların dışında bazı Ülkelerde yürürlüğe girmiş çift sayaç uygulaması ile şebekeye üretilen enerjinin fazlasının satıldığı uygulamalarda PV sistemlerin kurulacağı yerin pek fazla bir önemi kalmamaktadır. Bu sistemler depolama ihtiyacını da ortadan kaldırmaktadır.

Güneş panellerinin henüz ülkemizde yaygın olmaması, Devletin PV sistemleri destekleyecek politikalarının olmaması ve üretilen fazladan enerjinin boşa gitmesi gibi nedenlerden dolayı sistem kendini enerji hattına yakın bölgelerde uzun sürede amorti etmektedir. Bu durumun ortadan kalkması devletin teşviki ile mümkündür. Almanya gibi güneşlenme süresi az bir ülkede bireysel tüketicilerin evlerinin çatılarına koydukları güneş gözeleri ile ürettikleri elektriğin üçte birini kendilerinin tükettikleri, geri kalanını ise şebekeye vererek ulusal elektrik enerjisi üretimine fayda sağladıkları saptanmıştır[23].

Almanya'da uygulanan bu sistemde üretilen elektriğin fazlası depolanmadan şebekeye verilmektedir.(Akü maliyeti ortadan kalkmaktadır) Almanya'da bireysel kullanıcılar elektriğin kWh bedeli için 0,22€ öderken, teşvik sisteminden dolayı PV

sistemde ürettikleri enerjiyi 0,54€ gibi ücretlerle devlete satabilirler. Devlet bu konuda 20 yıl alım garantisi vermektedir. Ayrıca bazı eyaletlerde Vergi indirimi söz konusudur. Bunun yanı sıra on yıl vadeli ve çok düşük faizli krediler vermektedirler. Bu şekilde sistem yaklaşık on yıl gibi bir süre içinde kendini amorti edecektir. Bankaların bu süreye uygun on yıl vadeli kredi vermesi ise vatandaşın cebinden hiç para çıkmadan bu sisteme sahip olmasını sağlayacak olup aynı zamanda ikinci on yıl kar bile ettirecektir. Bu nedenledir ki Almanya’da insanlar boş buldukları çatıları kiralayıp bu sistemleri kurmakta ve gelir elde etmektedirler[23].

Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımlarına ülke enerji politikalarında yer verilmesi, enerji dış alımlarını azaltabileceği gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasını da sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak ülkemiz için de yaşamsal önemi olan bir konudur. Coğrafi konumu bakımından dünyanın güneş kuşağı içerisinde yer alan ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yeterli düzeydedir.

Ülkemizdeki binalarda güneş enerjisinin aktif kullanılabilmesi için öncelikle bir enerji programı gerekmektedir. Devlet politikası olarak benimsenmesi gereken bu program, yapı sektöründe de enerjinin etkin kullanımına ilişkin araştırma, düzenleme ve uygulama programları geliştirilebilecek; böylece, Türkiye’nin geleceğe dönük enerji politikaları bilimsel bulgularla desteklenecek ve uygun teknolojilerin değerlendirilmesi sağlanacaktır.

Yapılan çalışma ile ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda daha sonra yapılacak çalışmalara teknik bilgi ve uygulama konusunda yol gösterici olması ve güneş enerjisinin kullanımının artması yönünde yardımcı olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. K kden, B., “PV temelli enerji sistemleri ve  lkemiz için bir güneş santrali modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, 2002, Kocaeli.
2. “V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bildiriler Kitabı”, Haziran 2009, Diyarbakır
3. İbrahim, D., “Güneş Enerjisi Uygulamaları” Eylül 2006, Bileşim Yayınevi
4. İnternet, http://www.forenerji.com/pdf/info_articles06.pdf
5. Berdirek, M., “Güneş Pili Sistemleri”, Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi , 2005
6. Atlam,  ., “Alternatif bir fotovoltaik panel (PV) modelinin santrifüj su pompa sistemlerine uygulanması ve performans gelişimine yönelik yaklaşımlar”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2004, Kocaeli.
7. Yıldız, M., “Fotovoltaik Pil ve modüllerin similasyonu ve performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2002, Sakarya.
8. Erdoğan, H., “Güneş Enerjisi ile alışan Arabanın Enerji Kaynak ve Depolama Sistemleri Tasarımı”, Lisans Tezi, Diyarbakır, 2007
9. Kuluk, F., “Güneş Enerjisi Sistemleri ve Sistem Verim Arttırma alışması”, Lisans Tezi, Sakarya, 2004
10. Fıratoğlu, Z.A., “Fotovoltaik destekli su pompası sistemlerinin analiz ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Harran  niversitesi, 2003, şanlıurfa.
11. Kayan, T., “Sulama amaçlı bir fotovoltaik sistemin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 1995, İzmir.

12. Mohan, N., Undeland T. M., Robbins, W. P., “Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım”1989
13. Eren, İ., “Fotovoltaik sistemle damla sulama sistemi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 1994, İzmir.
14. Aydın, Y., “Güneş Gözesi dizisinin maksimum gücünün bilgisayar kontrollü izlenmesi ve fotovoltaik pompa uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,1991, İstanbul.
15. Demirtaş, M.,” Güneş ve Rüzgar enerjisi kullanılarak şebeke ile çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması”,Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2008, Ankara.
16. Kayıklı, T., Balıkcı A.,”Elektrikli araçlarda kullanılan lityum polimer aküler için bir şarj cihazı tasarımı”, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü.
17. Gençoğlu, M., Özbay, E.,”Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri”,Fırat Üniversitesi, Elazığ.
18. Gonzalez-Longatt, F.,”Photovoltaic Module in Matlab”
19. Walker, G.,”Evaluating MPPT converter topologies using a Matlab PV model”University of Queensland, Australia.
20. Morita H., Shimizu T., Kimura G., Ohsawa H., Sano S., “The zero-voltage-switching converter connected with the battery and the solar cell as DC sources”, *Industrial Electronics Control and Instrumentation, IECON '94.*,
21. Çolak, N., Hareket Sensörleri İle Aydınlatmanın Kontrolü, 3e Electrotech Dergisi, Sayı 105, Şubat 2003
22. İnternet, <http://www.gunesevi.net>
23. İnternet, <http://www.solarenerji.com>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali İLGÜN

Doğum Yeri: Diyarbakır

Doğum Tarihi: 12/12/1982

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Diyarbakır Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi 2000

Lisans : Dicle Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 2006

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

2006-2007: Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı Projesi, Proje

Koordinatörü

2007-----: Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş Diyarbakır Bölge,

Radyo Şebeke Hücre Planlama Mühendisi