T.C.

BATMAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATMAN'DA 1 MW'LIK FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİNİN TASARLANMASI

Nilay PAKMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Haziran-2016
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nilay PAKMA tarafından hazırlanan "Batman'da 1 MW'lık Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarlanması" adlı tez çalışması 02/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Cem TOZLU	……..
Danışman Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ	……..
Üye Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Nilay PAKMA

Tarih: 02.06.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN'DA 1 MW'LIK FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİNİN TASARLANMASI

Nilay PAKMA

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ

2016, 49 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Cem TOZLU
Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ
Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL

Bu çalışmada Batman ilinde 1 MWp'lik fotovoltaik elektrik enerjisi santrali için ölçülmüş yıllık güneş ışınımı verileri ve paket yazılım yardımıyla ön tasarımı gerçekleştirilerek sistemden elde edilecek performans değerlerinin analizi yapılmıştır. Sistem performans değerlendirmesinde PVsyst paket yazılımı tercih edilmiştir. Güneş ışınım ölçümleri anlık olarak piranometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Sistemde öngörülen modül tercihi tekli kristal silisyum olmuştur. Güneş ışınım değerleri paket yazılıma entegre edilerek, sistem bileşenleri de seçilerek sistemden elde edilecek aylık performans değerleri karşılaştırılmıştır. Sistem analizleri aylara göre modül yerleşim düzeneği sabit eğimli ve değişken eğimli olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde aylara göre modül eğiminin optimisazyonunun sistem performansını arttırdığı analizlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Güneş Işınımı, PVsyst.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN OF 1 MW PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEM IN BATMAN

Nilay PAKMA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN PHYSICS

Advisor: Assoc.Prof.Dr.Ömer GÜLLÜ

2016, 49 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Cem TOZLU
Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ
Assist. Prof. Dr. İsmail ARSEL

In this study, prelimary desing was realized for 1 MWp photovoltaic power plant in Batman province with the help of measured sun radiation data and package software and analysis of the performance values obtained from the system was conducted. In system performance evaluation PVsyst package software was preferred. Sun radiation measurements were made instantly with the help of pyranometer. Module preference foreseen in the system was single crystal silicium. Sun radiation values were integrated into package software and system components were selected so as to compare the monthly performance values to be obtained from the system. System analyses were conducted on monthly basis in two stages (module placement setting with constant slope and with various slope). As a result of the analyses it was determined that module slope optimization on monthly basis increase the system performance.

Keywords: Photovoltaic, Solar Energy, Solar radiation, PVsyst.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde ve geliştirilmesinde desteğini esirgemeyen, bilgisinden yararlandığım bana yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Ömer GÜLLÜ ‘ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beraber olduğumuz yıllar boyunca bilgisinden ve tecrübelerinden faydalandığım, insani değerleri ile de örnek edindiğim, ayrıca bu tezin hazırlanması aşamasında da sonsuz desteğini gördüğüm sevgili eşim Doç. Dr. Osman PAKMA’ ya; ayrıca bana her zaman yaşam kaynağı olan sevgili kızlarım Müjde PAKMA ve Bengü Müge PAKMA’ ya teşekkür ederim.

Nilay PAKMA
BATMAN-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **xi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. TEORİK BİLGİLER **4**

2.1. Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları **4**
2.2. Güneş Enerjisi **4**
2.2.1. Güneş açıları **6**
2.2.2. Global ışınımın bileşenlerine ayrılması **8**
2.3. Fotovoltaik Sistem **9**
2.3.1. Fotovoltaik modül yapısı **10**
2.3.2. Fotovoltaik hücrenin karakteristik parametreleri **11**
2.3.3. Fotovoltaik hücre çeşitleri **13**
2.3.3.1. Kristal silisyum hücreler **14**
2.3.3.2. İnce film hücreler **16**
2.3.3.4. Nano dokulu hücreler **16**
2.3.4. Fotovoltaik sistem bileşenleri **16**
2.3.4.1. Fotovoltaik modül **18**
2.3.4.2. Evirici **19**
2.3.4.3. Güç dengeleyici **20**
2.3.4.4. Aküler **20**
2.3.5. Fotovoltaik sistemin verimini etkileyen faktörler **20**
2.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi Mevzuatı **21**
2.4.1. Fotovoltaik lisansız elektrik üretimi için başvuru öncesinde dikkat edilecek hususlar **22**
2.4.2. Fotovoltaik lisansız elektrik üretim için başvuru süreci **22**
2.5. Fotovoltaik Sistem Tasarımı Yazılımları **23**

3. YÖNTEM **24**

3.1. Batman İli İçin Işınım ve Sıcaklık Ölçüm Sistemi **24**
3.2. PVsyst Paket Programı **27**
3.2.1. Veritabanı **27**
3.2.2. Ön tasarım **28**
3.2.3. Proje tasarımı **33**
3.3. Sistem Tasarımında Seçilen Bileşen Özellikleri **35**
3.3.1. PV modüller **35**
3.3.2. Eviriciler **36**

4. SİSTEM TASARIM SONUÇLARI 38

4.1. Batman İli 1 MW'lık Fotovoltaik Sistem İçin Ön Tasarım Sonuçları **38**
4.2. Batman İli 1 MW'lık Fotovoltaik Sistem İçin Proje Tasarım Sonuçları **40**
4.2.1. Sabit eğim için sistemin performans değerlendirmesi **40**
4.2.2. Değişken eğim için sistemin performans değerlendirmesi **43**

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 46

KAYNAKLAR 48

ÖZGEÇMİŞ 49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Güneş ışınım spektrumu ……...…	5
Şekil 2.2.	Enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açısı (δ)……...	6
Şekil 2.3.	Zenit, güneş yükseklik ve azimut açıları (Ramsey ve ark., 2003)…..	7
Şekil 2.4.	Global ışınım bileşenleri ……...	9
Şekil 2.5.	Fotovoltaik güç sistemlerinin basitten karmaşığa doğru şekillenimi ..	10
Şekil 2.6.	Modül ara kesiti…….....	10
Şekil 2.7.	Fotovoltaik hücrenin basit eşdeğer devresi……...	11
Şekil 2.8.	İdeal bir güneş hücresinin aydınlık ve karanlık altındaki akım-gerilim karakteristiği……	13
Şekil 2.9.	Fotovoltaik güneş hücre türleri…….....	14
Şekil 2.10.	(a) Kare biçimli, (b) köşeleri yuvarlak kareli ve (c) yuvarlak tekli kristal yapılı hücreler…….	15
Şekil 2.11.	(a) Yansıma önleyici tabakası bulunmayan, (b) yansıma önleyici tabakalı ve (c) yansıma önleyici katmanlı, akım toplama hatlı çoklu kristal yapılı silisyum hücre dilimi yapısı……..…….....	15
Şekil 2.12.	Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem……..…….……....	17
Şekil 2.13.	Şebeke bağımlı fotovoltaik sistem…….	18
Şekil 2.14.	Fotovoltaik evirici ve sembolü…….	19
Şekil 2.15.	Fotovoltaik sistem için tasarlanmış akü grubu……..	20
Şekil 3.1.	Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Fen-Edebiyat Fakültesi çatısında kurulu meteoroloji ölçüm sistemi……..	24
Şekil 3.2.	Kipp&Zonen CMP11 piranometre yapısı……	25
Şekil 3.3.	Termo-çift…….	26
Şekil 3.4.	HMP60 Vaisala sıcaklık-nem sensörü ve sıcaklık kalkanı……..	26
Şekil 3.5.	PVsyst programının giriş ara yüzü……	27
Şekil 3.6.	PVsyst programında veritabanı ara yüzeyi……	28
Şekil 3.7.	PVsyst öntasarım ara yüzey görüntüsü……..	29

Şekil 3.8. PVsyst öntasarım şebeke bağlantılı sistem tasarımı için ara yüzey görüntüsü……... 29
Şekil 3.9. PVsyst programında yer seçimine olanak sağlayan ara yüzey……. 30
Şekil 3.10. PVsyst öntasarım sistem özelliklerinin yüklendiği ön ara yüzey ekranı……. 31
Şekil 3.11. PVsyst öntasarım sistem özelliklerinin yüklendiği diğer ara yüzey ekranı……. 32
Şekil 3.12. PVsyst öntasarım raporlama ara yüzey ekranları……. 32
Şekil 3.13. PVsyst proje tasarım ara yüzey görüntüsü…… 33
Şekil 3.14. PVsyst proje tasarım projelendirme ara yüzey görüntüsü……. 34
Şekil 3.15. PVsyst proje tasarım sistem bileşenleri seçimini sağlayan ara yüzey... 34
Şekil 3.16. Hanwha Solar HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal PV modülün ön yüzey görüntüsü ve oda sıcaklığında çeşitli ışınımlar altındaki I-V değişimi…… 35
Şekil 3.17. Sunny Central 100 LV……... 36
Şekil 4.1. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde 2015 yılına ait ölçülmüş güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılarak elde edilmiş aylara göre yatay düzleme ve 30^o eğimli yüzeye gelen toplam ışınım miktarı değerleri……... 39
Şekil 4.2. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık sistem için ön tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş sistemin üretebileceği aylık enerji değerleri……... 40
Şekil 4.3. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık sabit eğim açılı sistem için proje tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması……... 42
Şekil 4.4. Aylara göre sabit eğimli sistemde öngörülen performans oranları….. 43
Şekil 4.5. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık değişken eğim açılı sistem için proje tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması……... 44
Şekil 4.6. Aylara göre değişken eğimli sistemde öngörülen performans oranları. 45

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1.	Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli…..……..…	2
Çizelge 2.1.	Yenilenebilir enerji kaynakları……...……...	4
Çizelge 2.2.	Fotovoltaik sistem tasarımı için bazı paket yazılımlar……..	23
Çizelge 3.1.	Kipp&Zonen CMP11 Piranometresinin Teknik Özellikleri..…….....	26
Çizelge 3.2.	HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modüle ait teknik veriler…	36
Çizelge 3.3.	DC gerilim altında Sunny Central 100 LV eviriciye ait teknik veriler	37
Çizelge 3.4.	AC gerilim altında Sunny Central 100 LV eviriciye ait teknik veriler.	37
Çizelge 4.1.	Batman iline ait Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde 2015 yılına ait ölçülmüş güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerleri……...	38
Çizelge 4.2.	1 MW'lık sabit eğim açılı sistem için öngörülen kayıplar……	42
Çizelge 4.3.	Batman ili için (37.79 enlem; 41.06 boylam) hesaplanmış optimum eğim açıları……	44
Çizelge 4.4.	1 MW'lık değişken eğim açılı sistem için öngörülen kayıplar…….	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

EİE : Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı

EVA : Ethylene vinyl acetate

MPP : Maksimum güç noktası

PR : Performans oranı

PV : Fotovoltaik

STC : Standart test koşulları

UEA : Uluslararası Enerji Ajansı

WMO : Dünya Meteoroloji Teşkilatı

A : Diyot idealite faktörü

FF : Doluluk faktörü

G_{sc} : Güneş sabiti

G_{STC} : 1000 W/m^2

H_β : Eğimli yüzey üzerinde birim alana gelen ışınım enerjisi

I_0 : Ters doyum akımı

I_D : Diyottan geçen akım

I_L : Işığın oluşturduğu akım

I_m : Maksimum akım

I_{sc} : Kısa-devre akımı

k : Boltzmann sabiti

P_m : Maksimum güç

P_{rad} : Güneş hücresi üzerine düşen ışınım gücü

PR : Performans oranı

q : Elektron yükü

T : Sıcaklık

V : Gerilim

V_m : Maksimum gerilim

Y_F : Normalize edilmiş PV sistem enerji üretimi

Y_R : Normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi

Z : Rakım

V_{oc} : Açık-devre gerilimi

α : Akımın sıcaklık katsayısı

β : Gerilimin sıcaklık katsayısı

δ : Gücün sıcaklık katsayısı

η : Verimlilik

ρ : Albedo

ϕ : Enlem

ω : Saat açısı

δ : Güneş deklinasyon açısı

θ_z : Güneş zenit açısı

α : Güneş yükseklik açısı

ψ : Güneş azimut açısı

β : Eğim açısı

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve teknolojinin de hızla ilerlemesiyle enerji gereksinimi de buna paralel olarak artmıştır. Enerji gereksiniminin artmasıyla da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da giderek artış göstermiştir. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları temel kullanılması gereken kaynaklardan ziyade destekleyiciler şeklinde hala günümüzde nitelendirilmektedir. Güneş, rüzgâr, biokütle, dalga, hidrojen, hidroelektrik ve su enerjileri günümüzde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Yenilenebilir enerji kaynakları büyük potansiyele sahip olmasına rağmen, süreksizlikleri temel problemlerinden bir tanesidir. Yenilenebilir enerjilerde süreksizlik probleminin en büyük nedeni sınırlı depolama özelliğinden dolayıdır.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının bütün çeşitliliğine ve potansiyelleri bakımından yüksek değerlere sahip ender ülkelerden bir tanesidir. Özellikle coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından diğer birçok ülkeye göre şanslıdır. Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı (EİE), Güneş Enerjisi Şubesi tarafından yapılan çalışma ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğün'nin (DMİ) 1966-1982 yıllarında ölçmüş olduğu güneş ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi verilerine göre ülkemizin yıllık ortalama toplam güneş ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) ve güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) şeklindedir. Çizelge 1.1'de aylara göre ülkemizin sahip olduğu güneş enerji potansiyel değerleri verilmektedir.

Dünyada fotovoltaik sistemlerin gelişimi hızlı bir şekilde artmaktadır. 2050 yılı için Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) öngörülerine göre dünyada üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %11'i fotovoltaik sistemlerden elde edilecektir (IEA, 2010). Ülkemizde de güneş enerjisinden elektrik elde etmeye yönelik son yıllarda büyük gelişmeler olmuştur. Özellikle çıkarılan 4268 sayılı Elektrik Piyasası Kanununa göre Yenilenebilir Enerji kaynaklarından elde edilen kurulu güçlerde 1 MW'a kadar lisans alma şartı koşulmamıştır. Ülkemizin gelişen sanayisi ile birlikte elektrik ihtiyacı yıldan

yıla artmaktadır. 2023 yılı öngörülerinde ise elde edilecek elektriğin en az %30'nun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amaçlanmaktadır.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	Kcal/cm^2.ay	kWh/m^2.ay	saat/ay
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	**112,74**	**1311**	**2640**

Güneş enerjisinden doğrudan elde edilecek elektrik enerjisi fotovoltaik sistemler tarafından sağlanmaktadır. Fotovoltaik sistemler; yarıiletkenlerden elde edilen güneş hücrelerinden ve ek bileşenlerden meydana gelir. Fotovoltaik sistemlerin gelişimin engelleyen en büyük faktörlerden bir tanesi kurulum maliyetlerinin yüksekliğidir. Bu nedenle de kurulacak fotovoltaik sistemlerin yer tespiti öncesinde optimasyon çalışmaları yapılması zorunludur (Frakagi ve Markvart, 2008; Posadillo ve ark., 2008; Khatib, 2010). Özellikle kurulumu gerçekleştirilecek bölgede; öncesinde yapılacak eğim açısı optimisazyonu; kullanılacak modül ve evirici tipinin belirlenmesi, güneş ışınımına bağlı güç optimisazyonu gibi çalışmalar yararlı olacaktır. Bu tip yapılacak çalışmalarda yazılımlar vasıtasıyla benzeşim yolunu kullanmak uygundur. Bu tip

programlar genelde modül kodları vb. gibi fotovoltaik sistem bileşenlerine sahip kütüphanesi olan, detaylı hesaplama yapabilme kapasitesine sahip paket yazılımlardır (Benatiallah ve ark., 2007; Klise ve Stein, 2009; Uddin ve ark., 2012).

Bu çalışmada Batman ili Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü fotovoltaik kurulum bölgesi olarak seçilmiştir. 2015 yılında kampüs yerleşkesinde güneş ışınım ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler yardımıyla, PVSYST paket yazılımımdan yararlanarak 1 MW fotovoltaik güç sistemi benzeşim metoduyla detaylı analizler gerçekleştirilerek sistemin performansı hesaplanmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, gücünü güneş, rüzgâr ve su gibi kaynaklardan alan ve kendilerini tüketmeyecek olarak düşünülen enerji kaynaklarıdır. Ayrıca bu kaynaklardan elde edilen enerjiyle çevreye emisyon yaymadıkları için temiz enerji sınıfındadırlar. Geçmişten günümüze gelişen teknoloji ile birlikte fosile dayalı enerji kaynaklarının fiyatlarındaki artışlar, çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve bunlara paralel olarak zamanla tükenecek olması yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini günden güne arttırmaktadır. Çizelge 2.1'de yenilenebilir enerji kaynakları görülmektedir.

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

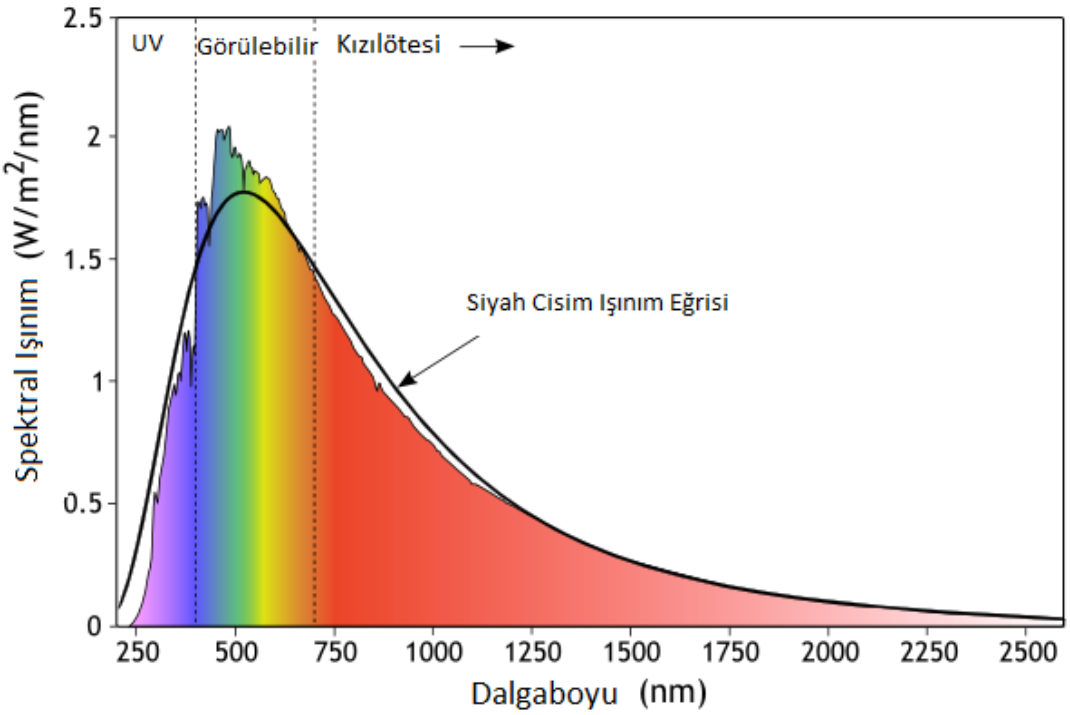
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Kaynak
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
Dalga Enerjisi	Okyanus veya denizler
Biyokütle Enerji	Biyolojik artıklar
Jeotermal Enerji	Yer altı suları
Hidrolik Enerji	Nehirler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Çizelge 2.1'de yer alan yenilenebilir enerji kaynaklarından bazılarının eldesi kolay iken bazılarının ki ise oldukça zordur. Güneş enerjisinin kaynağı güneş olduğu için diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla avantajlıdır. Güneş enerjisi, ucuz, güvenli ve çevre dostudur.

2.2. Güneş Enerjisi

Güneş dünyamızın yaklaşık 109 katı büyüklüğünde ve yoğunluğu ise ¼'ü kadardır. Güneş %90'ı hidrojen ve %10'u helyumdan oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi güneş, 5770 K sıcaklıktaki siyah cisim ışıması spektrumuna sahiptir (Foukal, 1990). Güneş tarafından yayılan ve dünyamıza ulaşan

enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığı çıkan ışınım enerjisi olup tükenmez bir enerji kaynağıdır. Güneşin merkezinde saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Bu aradaki 4 milyon ton fark ise güneşin ısı ve ışınım olarak yaydığı tahmin edilmektedir. Yayılan bu enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar halinde dünyamıza ulaşır. Dünyamız güneşten gelen enerjinin ancak milyarda birini alır ve güneşin saniyede üretmiş olduğu enerji miktarı, dünyamızda şu ana kadar tüketilen toplam enerji miktarından fazladır.

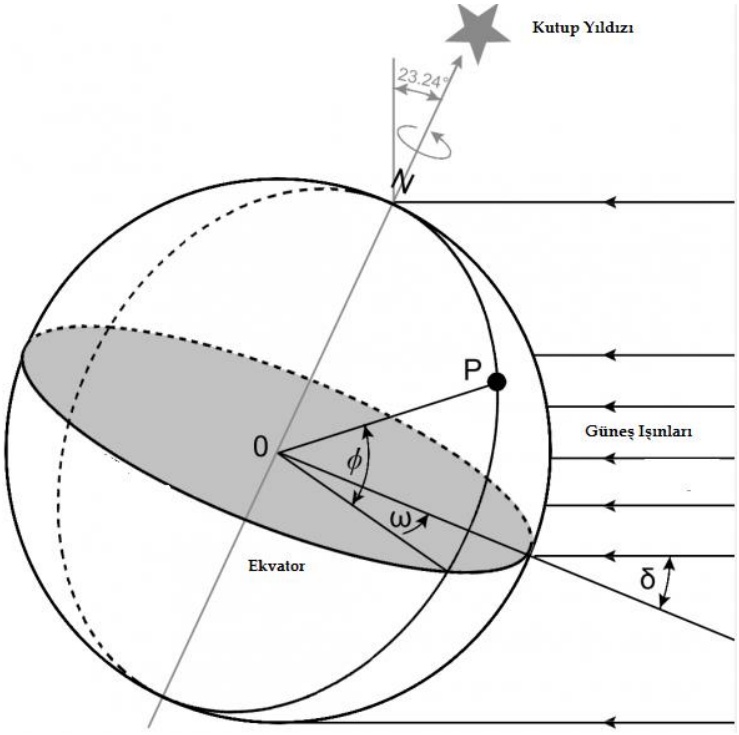


Şekil 2.1. Güneş ışınım spektrumu

Güneş ile dünyamız arasındaki mesafe ortalama 1.495×10^{11} m'dir ve bu mesafe mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bu değişimden dolayı atmosfer dışına gelen güneş ışınım şiddeti de değişim gösterir. Atmosfer dışında birim alana dik olarak gelen güneş ışınlarının tüm dalga boylarını içeren birim zamandaki toplam güneş ışınım enerjisi şiddetine güneş sabiti denir ve G_{sc} ile gösterilir ve bu değerin kullanılması güneş enerjisi hesaplamalarında kolaylık sağlar. Astronomik birimde, güneş sabiti değeri %1 hata ile 1367 W/m^2 olarak kabul edilmektedir ve ışınım hesaplamalarında bu değer kullanılmaktadır (Iqbal, 1983).

2.2.1. Güneş açıları

Herhangi bir anda dünya yüzeyine gelen güneş ışınım açılarının bilinmesinde fayda vardır. Dünya hem güneş çevresinde hem de kendi ekseninde hareket eder. Güneş ışınlarının belirlenmesinde temel güneş açıları olan enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açılarının (δ) bilinmesi zorunludur. Şekil 2.2.'de dünya yüzeyinde yer alan temel açılar görülmektedir.



Şekil 2.2. Enlem (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açısı (δ)

Enlem Açısı (latitude) ϕ; P noktasının ekvatordan olan açısal uzaklığıdır. Bu terim 0P doğrusu ile 0P doğrusunun ekvator düzlemindeki izdüşümü arasındaki açıdır. Kuzey yön pozitif olmak üzere -90^o ile 90^o arasında değişir ($-90^o \leq \phi \leq 90^o$).

Saat açısı (hour angle) ω; Saat açısı saat 12'de 0^o olur. Burada bir saat 15^o boylama eşit olmaktadır. Burada saat açısı öğleden önceki ve sonraki durumuna bağlı olarak eksi ve artı değer alır.

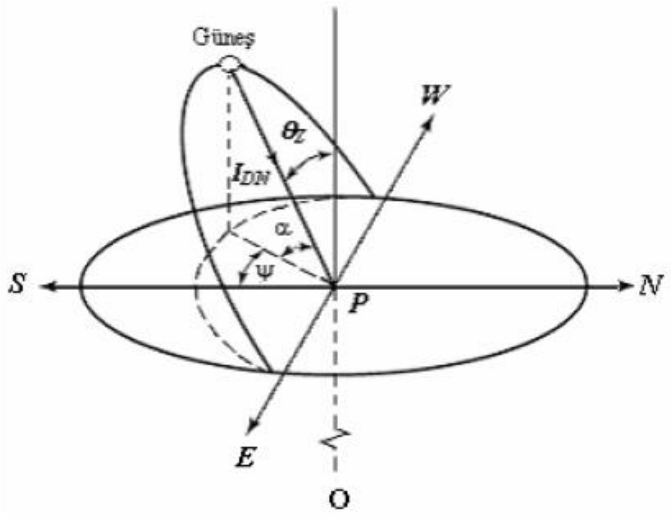
Deklinasyon açısı (declination) δ; Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı; dünya merkezine güneş merkezinden çizilen lineer bir doğru ve bu lineer doğrunun ekvator düzlemi üstündeki iz düşümü arasındaki açı ile bulunur. Deklinasyon açısı bir yıl boyunca $-23{,}5^o$ ile $23{,}5^o$ arasında değerler almaktadır (Ramsey ve ark.,

2003). Deklinasyon açısındaki değişme miktarı gün boyunca 0,5^o den daha küçüktür. Bundan dolayı gün boyunca deklinasyon açısı sabit olarak ele alınır (Uyarel ve ark., 1987). Deklinasyon açısını doğru şekilde bulmak için

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(284+n)\right] \tag{2.1}$$

denkleminden yararlanılır. Burada *n*; Ocak başından itibaren sene boyunca geçen gün sayısını verir (Iqbal, 1983).

Güneş ışınımı hesaplamalarında kolaylık sağlamak amacıyla temel güneş açılarının yanında türetilmiş güneş açı bağıntıları tanımlanmıştır. Bunlar; güneş zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α) ve güneş azimut açısıdır (ψ). Ayrıca güneş ışınımını daha verimli kullanılması için güneş ışınlarının geliş açısı ve yüzey azimut açısı ayrı bir şekilde ifade edilir. Dünya üstündeki bir gözlemci için güneş gökyüzünde doğudan batıya doğru dairesel bir yol tarar. Şekil 2.3.'te güneşin hareketi ve güneşe bağlı türetilmiş açılar görülmektedir.



Şekil 2.3. Zenit, güneş yükseklik ve azimut açıları (Ramsey ve ark., 2003)

P noktasında bulunan gözlemciye göre dünyanın merkezi O noktası ve I_{DN} güneş ışınlarının yönünü belirleyen doğrudur. Buna göre;

Zenit açısı θ_z, P noktasına doğrudan gelen güneş ışınlarının P noktasındaki yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır.

Güneş Yükseklik açısı α, güneş ışınları ve güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açıdır ($\theta_z+\alpha=90^o$).

Azimut açısı ψ, yatay düzlemde tam güney doğrultusu ile güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasında ölçülen açıdır.

Zenit açısı;

$$\cos\theta_Z = \sin\delta\cdot\sin\phi + \cos\delta\cdot\cos\phi\cdot\cos\omega \qquad (2.2)$$

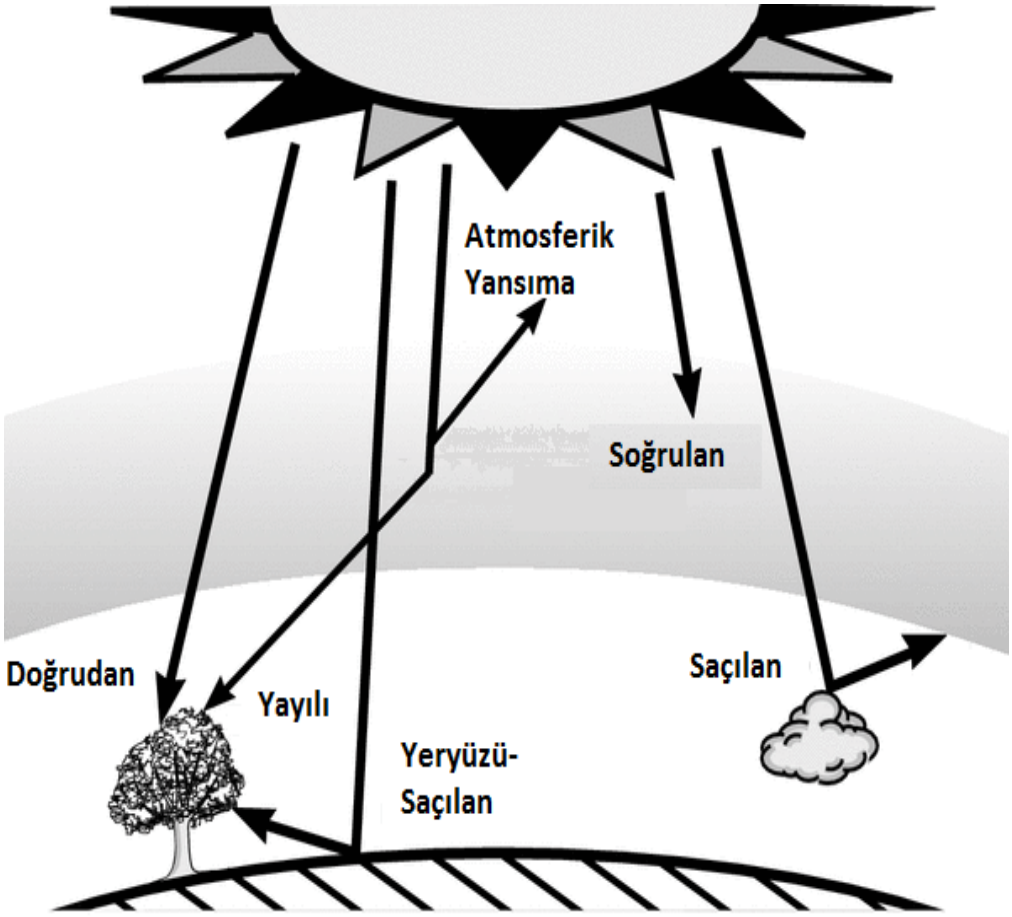
$\theta_z+\alpha=90^o$ olduğundan güneş yükseklik açısının sinüsü zenit açısının kosinüsüne eşittir ($cos\theta_z=sin\alpha$). Güneş yükseklik açısı ise,

$$\cos\theta = \sin\delta\cdot\sin(\phi-\beta) + \cos\delta\cdot\cos(\phi-\beta)\cdot\cos\omega \qquad (2.3)$$

ile hesaplanır. Burada β eğim açısıdır.

2.2.2. Global ışınımın bileşenlerine ayrılması

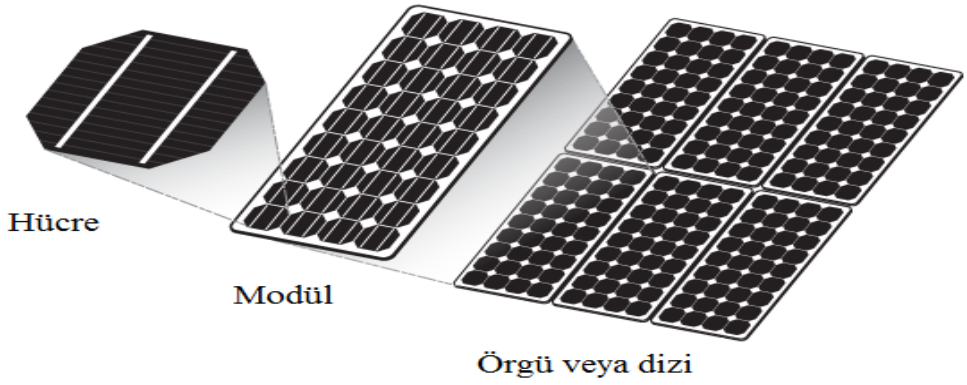
Güneş ışınımı atmosferi geçerken atmosferde bulunan moleküller nedeniyle ışınımının bir kısmı yutulur ve bu ışınımın yaklaşık %10 ile %80 arasındaki bir oranı yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne gelen güneş ışınımını "doğrudan güneş ışınımı (beam radiation-*B*)" ve "yayılı güneş ışınımı (diffuse radiation-*D*)" olarak ayırmak mümkündür. Doğrudan güneş ışınımı, atmosferde dağılmadan, güneşten çizilen bir doğru boyunca yön değiştirmeden yeryüzüne düşen güneş ışınımı olarak adlandırılır. Yayılı güneş ışınımı ise atmosferde dağılmak suretiyle yönünü değiştirerek atmosferden herhangi bir yüzeye düşen ışınımdır. Yeryüzüne düşen doğrudan ve yayılı ışınımının toplamına da toplam güneş ışınımı adı verilir. Genelde ışınım ölçümleri yatay düzleme düşen toplam ışınımdır ve bu ışınım global ışınım olarak adlandırılır. Bu ışınımların yanı sıra yeryüzündeki herhangi bir cismin yansıttığı ve yuttuğu uzun dalga boylu ışınım vardır ve yansıyan ışınım olarak adlandırılır. Gelen bu ışığın kaynağı güneş ise yeryüzünden yansıyan bu ışınlara Albedo adı verilir ve ρ ile gösterilir. ρ belirli bir yüzey üzerinden yansıyan ışınımın, yüzey üzerine düşen toplam ışınıma oranı olarak tanımlanır. Albedo değeri yüzeyin cinsine bağlı olarak 0,2 ile 0,8 arasında değerler almaktadır.



Şekil 2.4. Global ışınım bileşenleri

2.3. Fotovoltaik Sistem

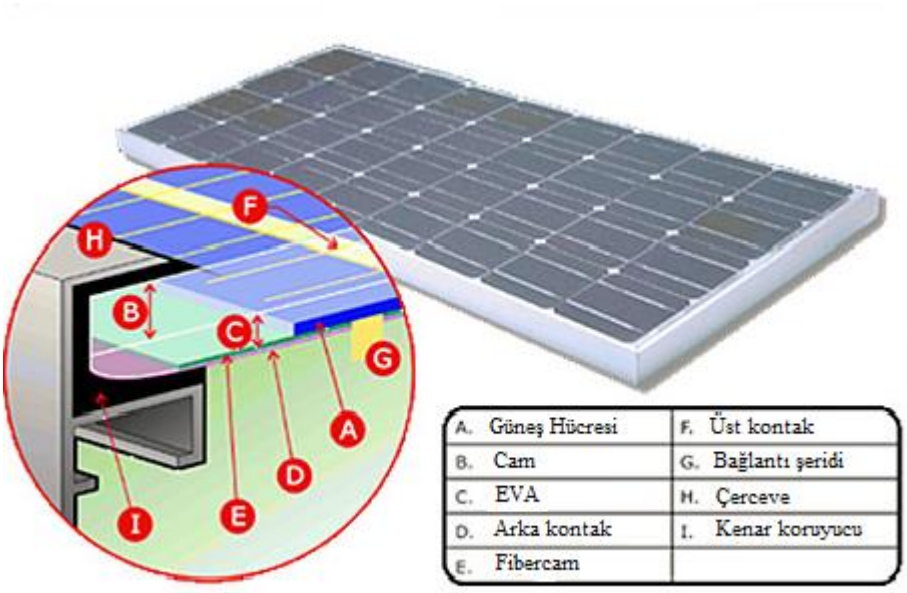
Fotovoltaik kelimesi; Latincede ışık anlamına gelen "photon" ve İtalyan Fizikçi Count Volta'ya (1745-1827) atfedilen elektriksel bir büyüklük olan gerilim birimi "volta" kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Fotovoltaik sistemlerde güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaik sistemin en temel bileşeni güneş hücreleridir. Bu hücreler birbiri ile seri veya paralel bağlandığında daha yüksek gerilim, akım veya güç seviyesi elde etmek mümkündür ve bu yapıya da modül adı verilir. Fotovoltaik modüller de birbiri ile seri veya paralel bağlanarak fotovoltaik örgü veya diziyi oluşturur. Şekil 2.5'te bu yapılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Fotovoltaik güç sistemlerinin basitten karmaşığa doğru şekillenimi

2.3.1. Fotovoltaik modül yapısı

Fotovoltaik modülün yapısı Şekil 2.6'da görüldüğü gibidir. Ön yüzeyde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip temperli cam, güneş hücrelerinin ön ve arka yüzeyine kaplanmış güneş ışınlarından etkilenmeyen EVA (ethylene vinyl acetate) ve altta da fiber cam, koruyucu tabakadan meydana gelir. Bu katmanların bir araya gelmesiyle vakum altında basınç ve ısı uygulanmasıyla laminasyonu gerçekleştirilir. Ayrıca modülü çevresel şartlardan korumak amacıyla alüminyum çerçeve kullanılır (Roberts S., 1991).



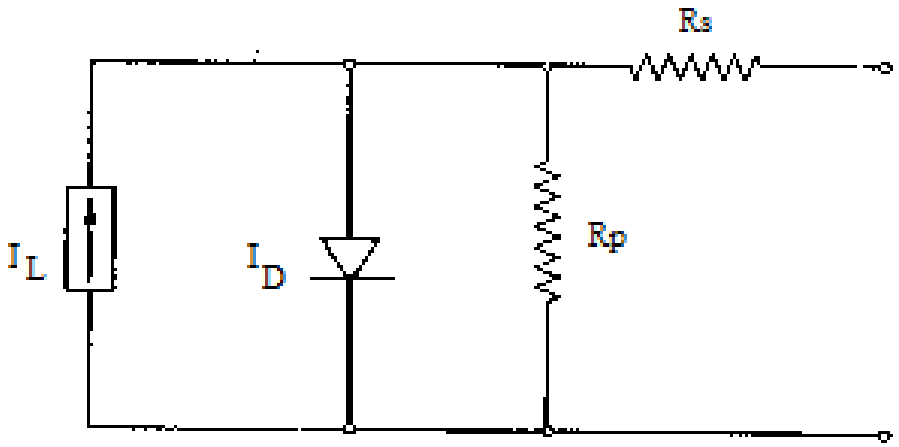
Şekil 2.6. Modül ara kesiti

2.3.2. Fotovoltaik hücrenin karakteristik parametreleri

Fotovoltaik uygulamalarında kullanılan parametreler Şekil 2.7'de görülen güneş hücresinin basit bir eşdeğer devre modeli üzerinden izah edilebilir. Uygulanan gerilim altında diyottan geçen ileri yöndeki akım I_D ve ışığın oluşturduğu akım I_L ile gösterilebilir. Burada R_s ve R_p aygıtın seri ve paralel direnç etkilerini belirtmektedir. Işık altında güneş hücresindenn geçen net akım;

$$I = I_D + I_L = I_0\left[\exp\left(qV / AkT\right) - 1\right] - I_L \qquad (2.5)$$

ile belirlenebilir. Burada I_0 aygıtın ters doyum akımını, k Boltzmann sabitini, T sıcaklığı, V uygulanan gerilimi ve A ise diyot idealite faktörünü belirtmektedir.



Şekil 2.7. Fotovoltaik hücrenin basit eşdeğer devresi

Şekil 2.8'de güneş hücresinin karanlık ve aydınlık altında akım-gerilim karakteristiği görülmektedir. Işık altındaki güneş hücresine hiçbir gerilim uygulanmadığında akım değeri;

$$I_{SC} = -I_L \qquad (2.6)$$

olup kısa-devre akımı adını alır. İdeal koşullarda bu değer, ışınımla yaratılan akım değerine eşittir. Işınım altında akımın sıfır olduğu noktadaki gerilim,

$$V_{oc} = (AkT/q)\ln[(I_L - I_0) + 1] \tag{2.7}$$

olup, açık-devre gerilimi adını alır. Açık-devre gerilimi diyot akımıyla birlikte, *A*'ya ve I_0'a bağımlıdır. Denklem (2.6) Denklem(2.7)'de yerine yazılırsa;

$$I = I_0[\exp(qV_{oc}/AkT) - 1] \tag{2.8}$$

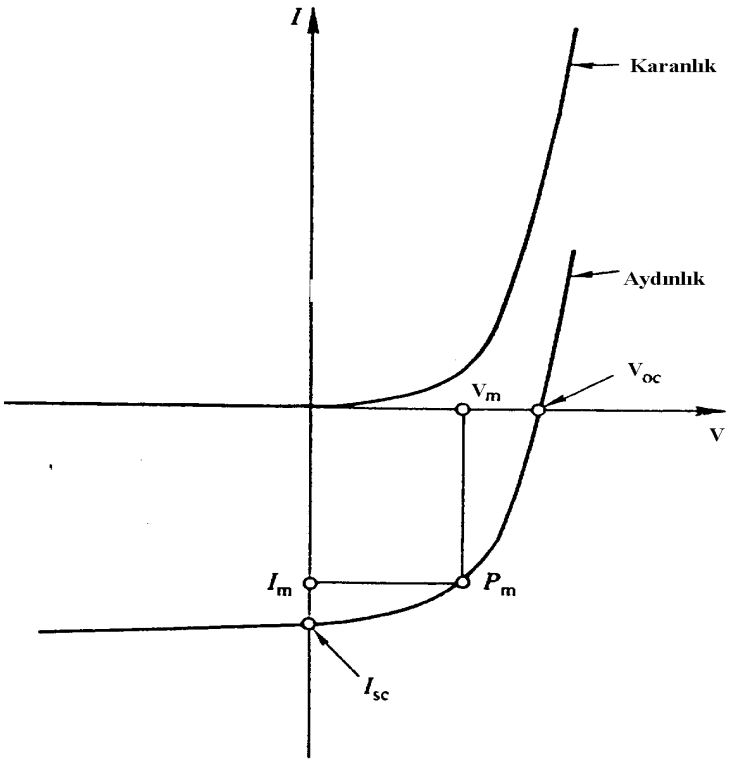
şeklini alır. Görüldüğü gibi karanlık altındaki diyotun akım denklemine benzemektedir.

Güneş hücresinin verimliliği, maksimum güç noktası göz önüne alınarak hesaplanır. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi maksimum gerilim (V_m) ve maksimum akımın (I_m) kaplamış olduğu alan maksimum gücü verir. Yani,

$$P_m = V_m I_m = I_{SC} V_{oc} FF \tag{2.9}$$

şeklindedir. Denklem (2.9)'daki *FF* ifadesi doluluk faktörü adını alıp, ışınım altındaki akım-gerilim eğrisinde, akımların eksi, gerilimlerin pozitif olduğu bölgede hesaplanan en büyük $V_{mp} \times I_{mp}$ değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ oranı olarak tanımlanır.

$$FF = I_{mp} V_{mp} / I_{Sc} V_{oc} \tag{2.10}$$



Şekil 2.8. İdeal bir güneş hücresinin aydınlık ve karanlık altındaki akım-gerilim karakteristiği

Güneş hücresinin verimliliği ise, güneş hücresi üzerine düşen güneş ışınım gücünün, güneş pilinden alınabilecek güce oranı olarak tanımlanır.

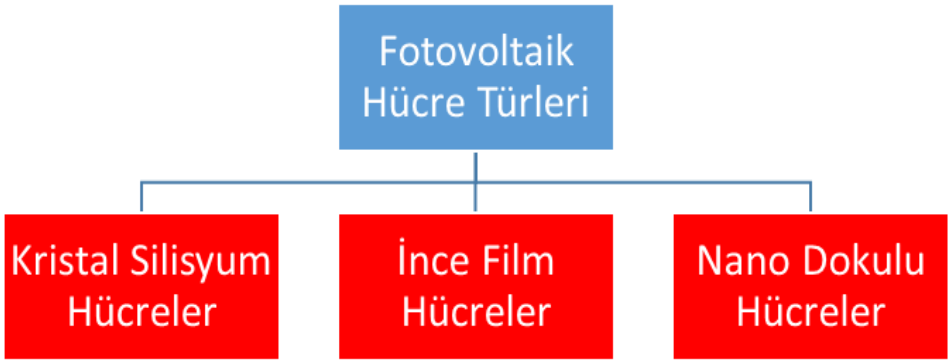
$$\eta = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_{rad}} \tag{2.11}$$

şeklinde yazılır.

2.3.3. Fotovoltaik hücre çeşitleri

Fotovoltaik hücre teknolojilerini teknolojilerine ve malzemelerine göre üç ayrı grupta toplayabiliriz. İlk grup yaklaşık 200-300 μm wafer adını verdiğimiz dilimler halinde üretilerek, bu dilimlerin birbiriyle seri veya paralel bağlanmasıyla modül halini

alan kristal silisyum hücrelerdir. İkinci grup, cam yüzeyine tatbik edilen birkaç µm kalınlığındaki malzemeden meydana gelen ince film teknolojisidir. Üçüncü grup ise henüz teknolojisi yeni olan nano dokulu hücrelerdir.



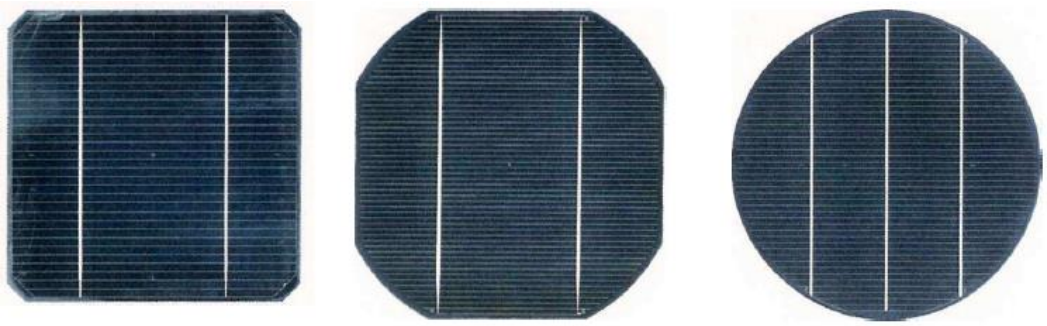
Şekil 2.9. Fotovoltaik güneş hücre türleri

2.3.3.1. Kristal silisyum hücreler

Fotovoltaik teknolojisinin neredeyse %90'ına tekabül eden en önemli malzemelerden bir tanesi silisyumdur. Silisyum, dünyada oksijenden sonra bulunan en yaygın ikinci elementtir ve sınırsız miktarda temin edilebilmektedir. Doğada saf halden ziyade oksijen ile bağlı olarak kuvars ya da kum halinde bulunur. Silisyum tabanlı güneş hücreleri;

- Tekli (Mono) Kristal Yapılı Silisyum Hücreler
- Çoklu (Poly) Kristal Yapılı Silisyum Hücreler

olmak üzere iki çeşittir.



(a) (b) (c)

Şekil 2.10. (a) Kare biçimli, (b) köşeleri yuvarlak kareli ve (c) yuvarlak tekli kristal yapılı hücreler



(a) (b) (c)

Şekil 2.11. (a) Yansıma önleyici tabakası bulunmayan, (b) yansıma önleyici tabakalı ve (c) yansıma önleyici katmanlı, akım toplama hatlı çoklu kristal yapılı silisyum hücre dilimi

Fotovoltaik teknolojisinde; kristal silisyum tabanlı hücre teknolojisinin elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve kararlı olmasından dolayı yaygın kullanılmasının nedenlerindendir. Kristal yapılı silisyum hücre teknolojilerinden saf tek kristal eldesi oldukça zor ve pahalıdır. Çoklu kristal eldesi maliyet yönünden biraz daha uygundur. Kristal yapılı silisyum hücrelerinde modül verimlilikleri % 15 ile % 18,8 arasında değişmektedir.

2.3.3.2. İnce film hücreler

Kristal silisyum malzeme üretim süreci oldukça pahalıdır. Bu nedenle güneş hücrelerinde maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan Ar&Ge çalışmaları, ince film teknolojisinin doğmasına sebep olmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalar güneş hücrelerinde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin daha düşük maliyetlerle cam gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film güneş hücreleri arasında en çok bilinenleri; amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum-diselenyum ($CuInSe_2$) bileşik yarı-iletkenleridir. İnce film güneş hücresi verimlilikleri modül düzeyinde %10 ile %15 arasında değişmektedir. En iyi verimliliğe bakır indiyum-diselenyum bileşik yarı-iletkenli güneş hücreleridir.

2.3.3.3. Nano dokulu hücreler

Nanoteknolojik malzemelerin optiksel, elektriksel ve kimyasal özelliklerinin iyi olması nedeniyle güneş hücre verimini arttırılmasına olanak sağlamaktadır. Günümüz fotovoltaik pazarında hücre tasarımı için diğer hücrelerle rekabet edebilecek ve fotovoltaik uygulama alanında kullanılabilecek materyale bağlı olarak;

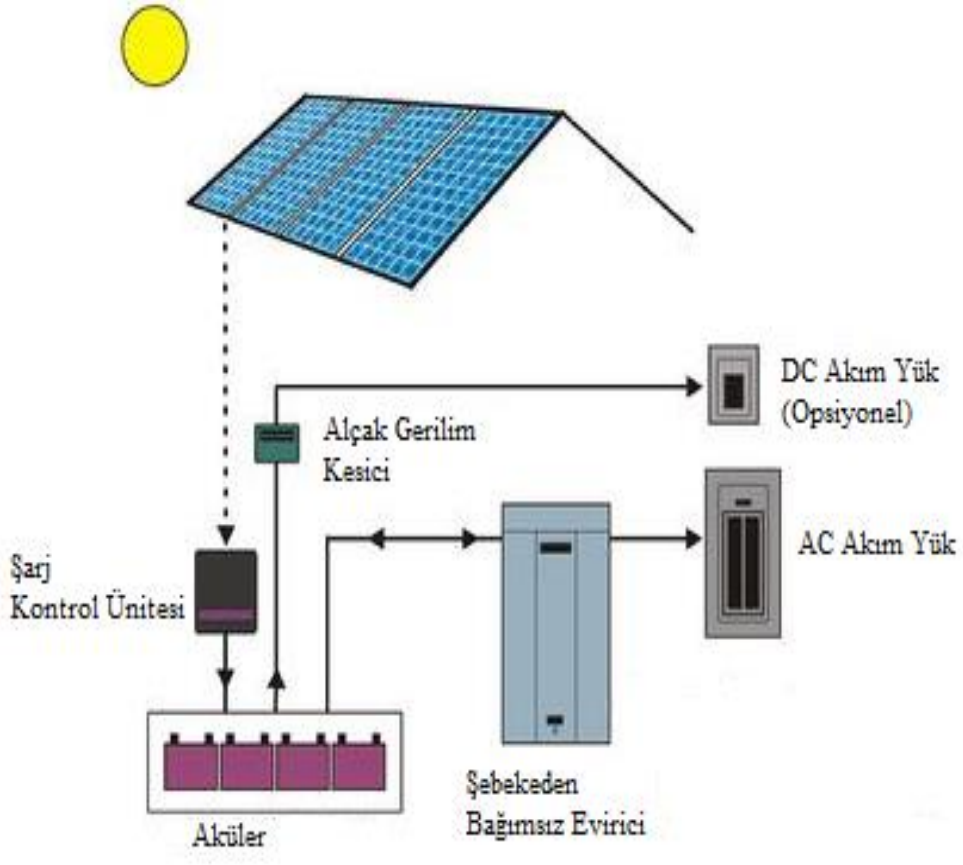
- Yarıiletken III-V grubu bileşikler
- Polimerik materyaller
- Karbon esaslı yapılar

olmak üzere 3 grupta toplayabiliriz.

2.3.4. Fotovoltaik sistem bileşenleri

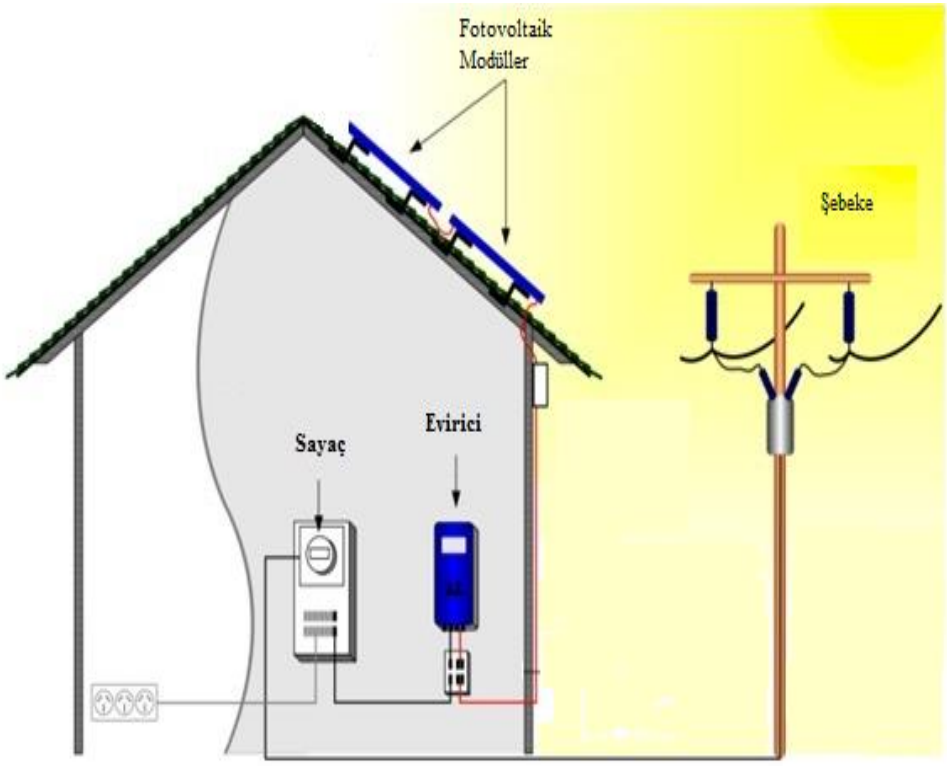
Fotovoltaik sistemler kullanım alanlarına bağlı olarak; şebekeden bağımsız (stand alone) ve şebekeye bağlı (grid connected) olmak üzere gruplandırılabilir. Şehir şebekesinden uzak ve yeterli ışınımı alan yerleşim alanlarında Şekil 2.12'de görüldüğü gibi şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemler temelde, fotovoltaik örgü, fotovoltaik örgüden gelen akım ve gerilim değerlerini düzenleyen şarj kontrol (regülasyon) sistemi, depolama birimi aküler ve şebekeden bağımsız-evirici kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 2.12. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem

Şebekeye bağlı sistemler ise şebeke ile paralel olarak çalışan sistemlerdir (Şekil 2.13). Şebekeye bağlı sistemlerde fotovoltaik modüller bina çatısı, penceresine veya dış cephesine monte edilir.



Şekil 2.13. Şebeke bağımlı fotovoltaik sistem

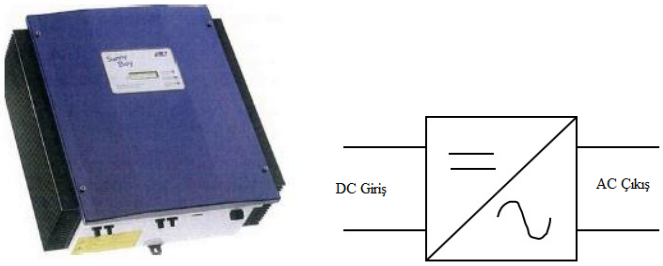
2.3.4.1. Fotovoltaik modül

Gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren hareketsiz düzeneklerdir. Bölüm 2.3.3'de anlatıldığı gibi silisyum kristalli güneş hücreleri, ince film güneş hücreleri ve nano dokulu güneş hücreleri olmak üzere üç grupta toplanabilir. Farklı teknolojilere sahip fotovoltaik modüller, dünya pazarında anma gücü, verimlilik ve diğer elektriksel parametrelere bağlı olarak sunulur. Değişik güneş hücrelerinin arasındaki karşılaştırmalar için standart test koşulları (STC- standart test condition) altında elektriksel parametreleri belirlenir. Bu koşullar TS EN 60904 veya IEC 60904 standartlarına göre:

1- Güneş hücresinin yüzeyine dik düşen güneş ışınım şiddeti 1000 W/m^2 olmalıdır.
2- Ölçüm anında ortam sıcaklığı 25℃±2℃ olmalıdır.
3- Güneş hücresi yüzeyine gelen ışınım AM1.5 (TS EN 60904-3/IEC 60904-3) güneş spektrumuna sahip olmak zorundadır.

2.3.4.2. Evirici

Fotovoltaik eviriciler, fotovoltaik hücrelerin ürettiği doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirirler. Evirici kullanım özelliği şebeke besleme gerilimi ve şebekenin frekansına göre belirlenir. Devre sembolü olarak da Şekil 2.14'de görüldüğü gibi verilir.



Şekil 2.14. Fotovoltaik evirici ve sembolü

Eviriciler:

1- Şebeke Eviricileri
2- Şebekeden Bağımsız Eviriciler

olmak üzere ikiye ayrılır. Şebeke bağlantılı PV sistemlerinde kullanılan şebeke eviricileri şebekeye doğrudan veya elektrik tesisatı üzerinden bağlanır. Genelde evirici kullanımında dikkat edilecek diğer bir hususta fotovoltaik sistemin gücüne ve tesisin durumuna uygun olarak tek fazlı veya üç fazlı (trifaz) kullanım şeklidir. Ayrıca kullanılacak evirici fotovoltaik şebekesinin ürettiği maksimum güç noktasında (MPP) çalışmak zorundadır. Fotovoltaik sistemde kullanılacak evirici şu kriterleri yerine getirmelidir:

1- PV sistem tarafından üretilen doğru akımı şebekeye uygun alternatif akıma dönüştürmelidir.
2- Anlık çalışma verilerini göstermeli veya aktarımını gerçekleştirmelidir.
3- Evirici PV sistemin anlık MPP noktasına kendini uyarlamalıdır.
4- Eviricide aşırı yük gibi durumlarda DC ve AC koruma devresi olmalıdır.
5- Evirici şebeke denetimini gerçekleştirmelidir.

2.3.4.3. Güç dengeleyeci

Fotovoltaik sistemlerin güvenliği için elektriksel dengeleyici ekipmana ihtiyaç vardır. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerde güç dengeleyecisi kullanılması zorunludur. Sistemin maksimum güç noktasındaki gerilim ve akım değerleri, gelen güneş ışınım şiddetine ve sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterir. Yaygın olarak kullanılan kontrol sistemi *Maksimum Güç Noktası İzleme (Maximum Power Point Tracker MPPT)* olarak bilinen elektriksel bir devredir. Şebekeye bağlı sistemlerde MPPT eviriciler içerisinde yer almaktadır (Pearsall ve Hill, 2001).

2.3.4.4. Aküler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde modüller tarafından üretilen enerjiyi depolama ihtiyacı vardır. Aküler elektrik enerjisini depolamak için kullanılır. Kullanım amacına göre farklı tiplerde aküler bulunur. Bunlar; Kuru (Flooded Lead Acid) , AGM (Absorbed Glass Mat Sealed Lead Acid) ve GEL (Gelled Electrolyte Sealed Lead Acid) tip akülerdir. Fotovoltaik sistemlerde genelde kuru aküler tercih edilir.



Şekil 2.15. Fotovoltaik sistem için tasarlanmış akü grubu

2.3.5. Fotovoltaik sistemin verimini etkileyen faktörler

Fotovoltaik kurulum sürecinden sonra, sistem performansını etkileyen faktörler mevcuttur. Bu faktörleri sırasıyla gölgelenme, kirlenme ve kar olarak sıralayabiliriz.

Fotovoltaik sistemin çalışma anında gölgelenmesi sistemden elde edilen enerjiyi önemli ölçüde etkilemektedir. Gölgelenmeden dolayı bazı fotovoltaik sistemlerde yıllık %5-%10 arasında kayıplar meydana gelebilmektedir. Gölgelenmeyi kalıcı ve geçici olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Kalıcı gölgelenmeler sistem önündeki ve çevresindeki bina, ağaç ve nesnelerden kaynaklanan gölgelenmelerdir. Bu nedenle sistem kurulum öncesi arazi yapısı iyi irdelenmelidir. Geçici gölgelenmeler ise kar, ağaç yaprakları, kuş pislikleri, toz ve diğer kirlenmeler olarak sıralayabiliriz.

2.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi Mevzuatı

Türkiye'de "Elektrik Piyasası Kanunu (6446)", "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (5346)" ve "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik" kapsamında fotovoltaik elektrik üretimi lisanslı üretim ve lisansız üretim olmak üzere ikiye ayrılır. Lisanslı üretim belli şartlar çevresinde gerçekleştirilen ve başvuru süreçleri uzun süre kapsayan üretim yöntemidir. 2 Ekim 2013 tarih 28783 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Elektrik Piyasası Lisansız Elektrik Üretimine Yönelik Yönetmelik" ve "Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ" kapsamında ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununa göre en fazla 1 MW kurulu gücündeki sistemlerden lisans istenmemektedir. Buna göre lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulan üretim tesisleri şunlardır:

- Toplam kurulu gücü 1 MW veya Bakanlar Kurulu kararı (Kanunun 14. Maddesi çerçevesinde) ile belirlenmiş kurulu güç üst sınırına kadar olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri,
- Sistem tarafından üretilen enerjinin tamamını iletim veya dağıtım sistemine vermeden kullanan, üretimi ve tüketimi aynı ölçüm noktasında olan, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri,
- İmdat grupları ve iletim veya dağıtım sistemiyle bağlantı tesis etmeyen üretim tesisleri,
- Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi bertarafında kullanılmak üzere kullanılan tesisler,
- Vs.

2.4.1. Fotovoltaik lisansız elektrik üretim için başvuru öncesinde dikkat edilecek hususlar

Fotovoltaik Lisansız Elektrik Üretimi için Proje süreci öncesinde şu hususlar dikkate alınmalıdır:

- Kurulacak sistemin arazi durumu araştırılmalıdır. Kurulacak arazi öncelikle tarımsal alanda olmamalıdır. Bunun haricinde DSİ sulama alanında, organize sanayi bölgesi içinde ve toplulaştırma kapsamında da olmamasına dikkate edilmelidir.
- Arazinin yerel koordinatları, eğimi ve türü de önem arz etmektedir. Özellikle arazinin UTM koordinatlı çapının belirlenmesi ve haritalanması gerekmektedir.
- Arazinin çevresel ve iklimsel koşulları sisteme uygun olmalıdır. Ayrıca şebeke bağlatışı analizide yapılmalıdır.
- Arazinin Tarım İl Müdürlüğünün saha gezisi ve raporu alınmalıdır. Bunun haricinde Çevresel Etki Değerlendirme raporu alınmalı ve raporun İl Çevre Müdürlüğüne sunulması gerekmektedir.
- Bu sayılan işlemler sağlandı ise arazinin satın alınması veya kiralanmasına geçilmelidir. Son olarak da proje süreci planlanmalıdır.

2.4.2. Fotovoltaik lisansız elektrik üretim için başvuru süreci

Fotovoltaik sistemin kurulumu için gerekli arazi işleminin belirlenme sürecinden sonra başvuru sürecine geçilmelidir. İlk olarak dağıtım şirketine başvuru yapılmalıdır. Bunun için TEDAŞ Genel Müdürlüğüne ilgili evraklarla başvuru yapılır. Eğer sistem 100 Kw'dan daha düşük güçte bir sistem ise TEDAŞ Bölge Koordinatörlüklerine başvuru yeterli olacaktır. Başvuru için talep edilen belgeler şunlardan ibarettir:

- Başvuru formu,
- Arazinin tapu belgesi, kira sözleşmesi veya yerin kamuya ait olması halinde ilgili kamu tarafından yerin talep edildiğinin ve bir başka kişiye tahsis edilmediğini gösterir yazı,
- Başvuru bedelinin ödendiğine ilişkin dekont veya makbuz,
- Sistemin tek hat şeması,
- Arazinin tarım vasfı olmadığına dair yazı,

- ÇED gerekli değildir yazısı,
- Kojenerasyon tesisleri için verimlilik değerini gösterir belge,
- Tüketim tesisi mevcut ise elektrik abonman numarası, yoksa inşaat ruhsatı.

Teknik başvurunun olumlu sonuçlandırılması neticesinde bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu gönderilir. Projenin onaylanması neticesinde bağlantı anlaşması yapılır. Bu işlemlerden sonra sistem kurulumuna geçilir.

2.5. Fotovoltaik Sistem Tasarımı Yazılımları

PV sistem tasarımı konusunda piyasada ücretli ve ücretsiz çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de bazı paket yazılımlara yer verilmiştir. Her bir program kullanım ihtiyacına göre farklılık göstermektedir.

Çizelge 2.2. Fotovoltaik sistem tasarımı için bazı paket yazılımlar

Paket Program	**Üretici/Geliştiren Kurum**	**Maliyet**	**Web Adresi**
HOMER	NREL (ABD)	Standart: $1500-3000 (tam sürüm) Akademik: $750-1500 (tam sürüm) Öğrenci: $125-250 (yıllık)	http://www.homerenergy.com
INSEL	Doppelintegral GmbH (Almanya)	2023 € (Tam sürüm)	http://www.insel.eu/
PVsyst	University of Geneva (İsviçre)	Sınırsız tek makine için 1178 Euro	http://www.pvsyst.com/
PV*Sol Expert	Valentin Software Gmbh (Almanya)	Pv*Sol 2016 895 Euro	http://www.valentin-software.com/
RETScreen	Natural Resources (Kanada)	Ücretsiz	http://www.nrcan.gc.ca/energy
SAM	NREL (ABD)	Ücretsiz	https://sam.nrel.gov/
SOLARIUS PV	ACCA Software (İtalya)	Ücretsiz	http://www.accasoftware.com/

3. YÖNTEM

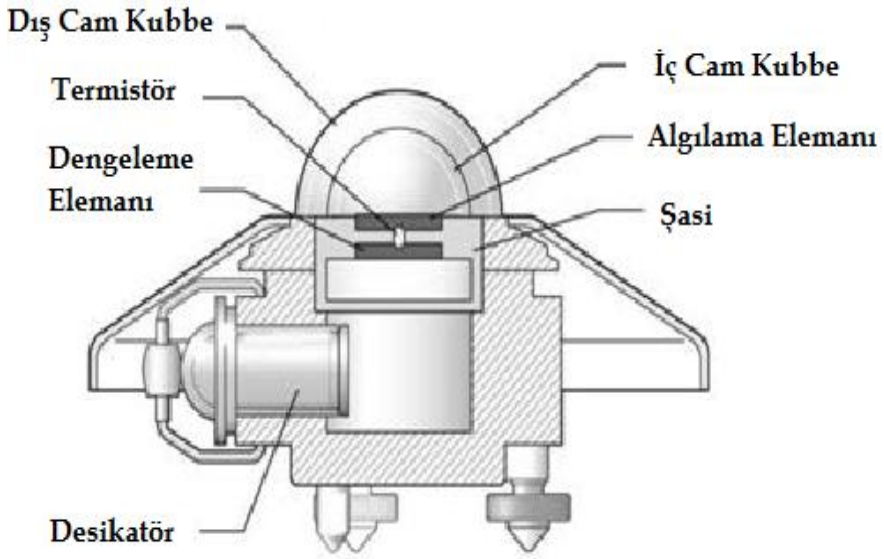
3.1. Batman İli İçin Işınım ve Sıcaklık Ölçüm Sistemi

Batman ilinde tasarımı gerçekleştirilecek sistemin koordinatları Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün yanındaki boş arazi (37.79 enlem; 41.06 boylam) olarak belirlenmiştir. Bu nedenle boş arazi yakınında kampüs alanı içinde 2015 yılı için gelen güneş ışınımı ve sıcaklık değeri anlık olarak ölçülmüştür. Şekil 3.1'de ölçüm sistemi görülmektedir.



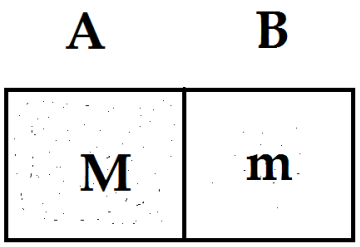
Şekil 3.1. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Fen-Edebiyat Fakültesi çatısında kurulu meteoroloji ölçüm sistemi

Gelen anlık güneş ışınımı şiddetini Dünya Meteoroloji Teşkilat (WMO) tarafından önerilen Kipp&Zonen firmasının üretmiş olduğu CMP11 piranometresinden faydalanılmıştır. Şekil 3.2'de Kipp&Zonen CMP11 piranometrenin yapısı görülmektedir. Piranometre, güneş hücresi destekli akü yardımıyla veri depolama aygıtı olan CR800 dataloggera bağlanmıştır. Belli günlerde dataloggerda kaydedilen veriler RS232 arayüzü ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çizelge 3.1'de de Kipp&Zonen CMP11 piranometresine ait teknik veriler verilmiştir.



Şekil 3.2. Kipp&Zonen CMP11 piranometre yapısı

Piranometre; çalışma prensibi termopile dayanan ve üzerindeki yarı küreye gelen doğrudan veya yayılı güneş ışınımını ölçen araçtır. Çalışma prensibi; termopilin piranometre yüzeyine düşen güneş ışınımıyla ısınmasıyla üretilen elektriksel potansiyel farkın ölçülmesine dayanır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi A ve B termo-elektrik çiftinin elektromotor kuvveti, A ve B metallerindeki elektron yoğunluğunun aynı olmamasından meydana gelir ve bu da sıcaklığa bağlıdır. Buna göre A ve B metallerinin cm^3 başına ihtiva ettikleri serbest elektron sayısı M ve m olsun. A ve B metallerinin teması halinde birbirinden elektron geçecektir. Şayet M, m'den büyük ise A'dan B'ye daha çok elektron geçecektir. Bu durumda B negatif yükleneceğinden ve B'deki negatif yük fazlalığından dolayı diğer tarafa geçmek isteyen elektronlara etki eden kuvvet, elektronların hızlarını gittikçe yavaşlatacaktır. Denge halinde ise A elektron kaybettiğinde pozitif ve B elektron kazandığında da negatif olacaktır. Bu şekilde A ve B metalleri arasında bir potansiyel fark oluşacaktır (Masalcı, 2000). Meydana gelen bu potansiyel fark aynı zamanda soğrulan güneş ışınım şiddetinin bir ölçüsüdür.



Şekil 3.3. Termo-çift

Çizelge 3.1. Kipp&Zonen CMP11 piranometresinin teknik özellikleri

Spektrum aralığı	305-2800 nm (50% nokta)
Duyarlılık	4-6 µV/W/m^2
Empedans	700-1500 Ω
Tepki zamanı (95%)	15 saniye
Yüzdesel sapma	< ± 0.6 % (< 1000 W/m^2)
Sıcaklığa duyarlılık	< ± 1 % (- 10 dan 40 °C)
Doğrudan hata	< ± 10 W/m^2 (1000 W/m^2 ışınımda)
Çalışma sıcaklığı	-40 °C den 80 °C
Ağırlık	850 gram
Kablo uzunluğu	10 m
Boyutlar	150.0 mm x 91.5 mm

Anlık sıcaklık değerleri HMP60 Vaisala INTERCAP sıcaklık ve nem sensörü yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.4). Sensörün sıcaklığı tam olarak doğru ölçebilmesi için sıcaklık kalkanı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. HMP60 Vaisala sıcaklık-nem sensörü ve sıcaklık kalkanı

3.2. PVsyst Paket Programı

PVsyst V6.39 paket programı PV sistemlerin kurulum öncesi tasarımlarını benzeşim yolu ile olanak sağlayan ücretli bir paket yazılımdır. Şekil 3.5'de PVsyst V6.39 paket programının giriş ara yüzü görülmektedir. Ekranda da görüldüğü gibi program, ön tasarım (preliminary design) ve proje tasarımı (poject design) olmak üzere iki aşamalı sistem tasarımı gerçekleştirme olanağı sunmaktadır. Diğer iki seçenekte de veritabanı (databases) ve araçlar (tools) işlevlerini sunmaktadır.

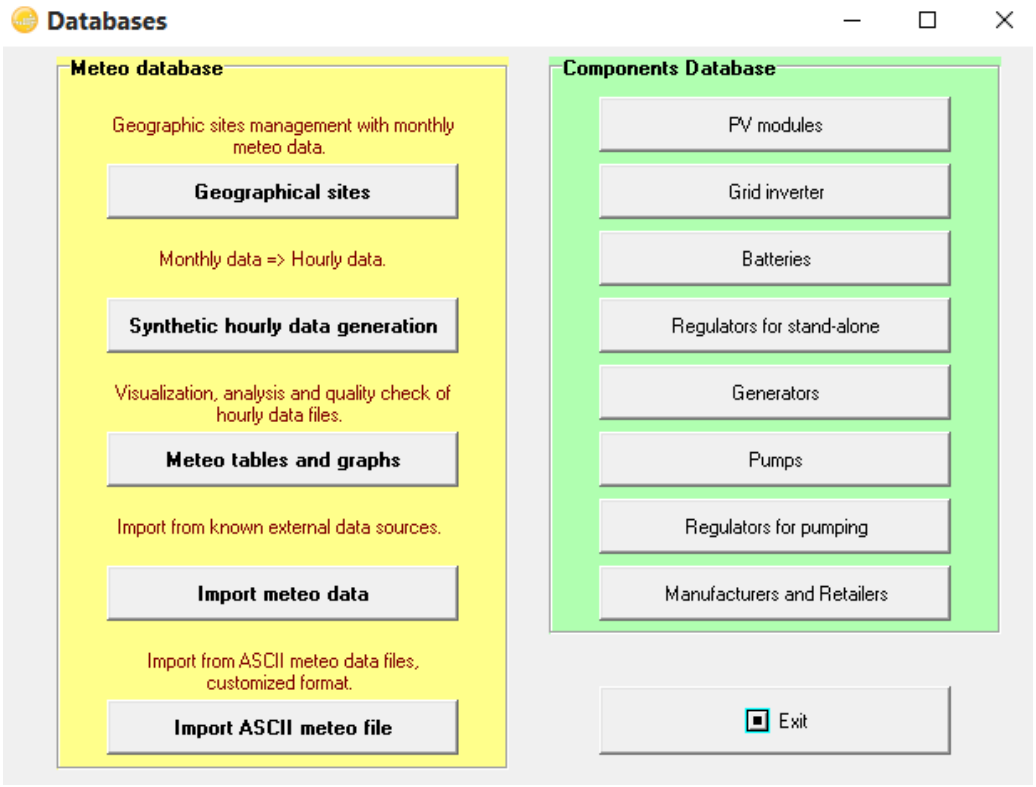


Şekil 3.5. PVsyst programının giriş ara yüzü

3.2.1. Veritabanı

Veritabanı butonuna bastığımızda karşımıza Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ara yüzey gelir. Sol tarafta tasarımını gerçekleştireceğimiz yer ile ilgili meteorolojik verilere ulaşmamıza olanak sağlar. Bu verileri çeşitli programlar vasıtasıyla (meteonorm vb.) ekleyebileceğimiz gibi ölçülmüş değerleri de el ile eklememize olanak sağlar. Sağ

tarafta ise tasarım bileşenlerinin veritabanı mevcuttur. Burada dünya üreticilerinin sağladığı PV modül çeşitlerine, eviricilere, akülere ve pompa markalarına ulaşabiliriz. Yine kullanacağımız sistem bileşeni ekranda görünmüyor ise program vasıtasıyla (photon vb.) veya el ile eklemimize olanak sağlar.



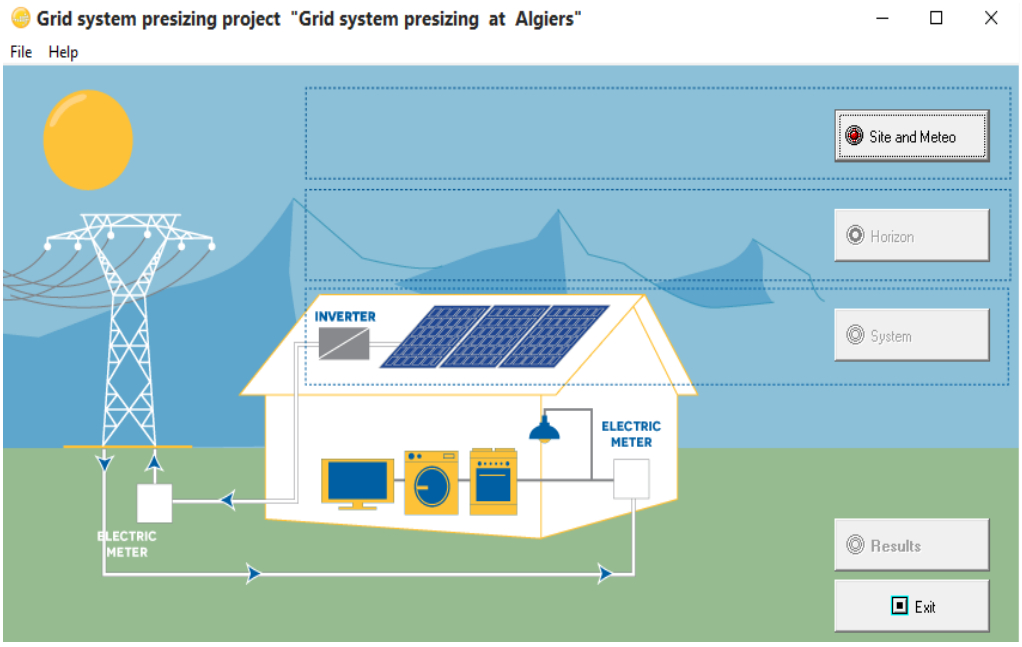
Şekil 3.6. PVsyst programında veritabanı ara yüzeyi

3.2.2. Ön tasarım

Bu bölümde gerçek bileşenler olmadan sistem ve ekipman boyutlandırması yapmamıza olanak sağlar. Aylık değerler kullanılarak sistemin performans değerlendirmesi yapılabilir. Program giriş ekranında ön tasarım butonu tıklandığında Şekil 3.7'de görüldüğü gibi ara yüzey önümüze gelir. Görüldüğü gibi ekranda ön tasarım bölümünde sistemi şebeke bağlantılı (grid-connected), şebeke bağlantısız (stand alone) ve pompala (pumping) sistemleri olarak tasarlamamıza olanak sağlar. Örneğin, şebeke bağlantılı butonu tıkladığımıza karşımıza Şekil 3.8'de görüldüğü gibi ara yüzey gelir.

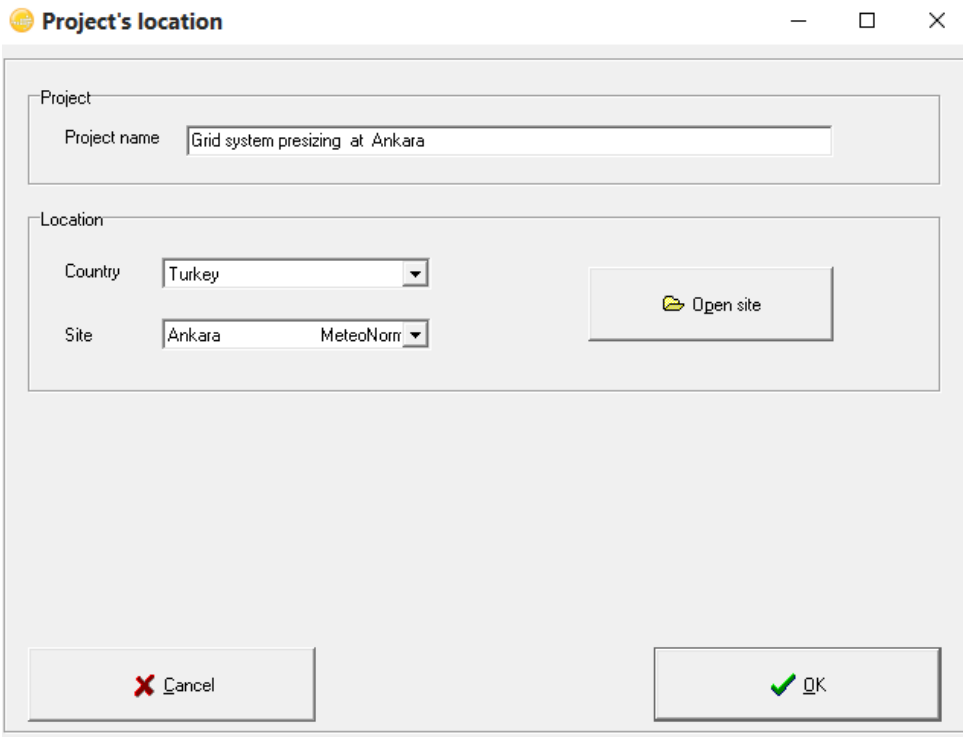


Şekil 3.7. PVsyst öntasarım ara yüzey görüntüsü



Şekil 3.8. PVsyst öntasarım şebeke bağlantılı sistem tasarımı için ara yüzey görüntüsü

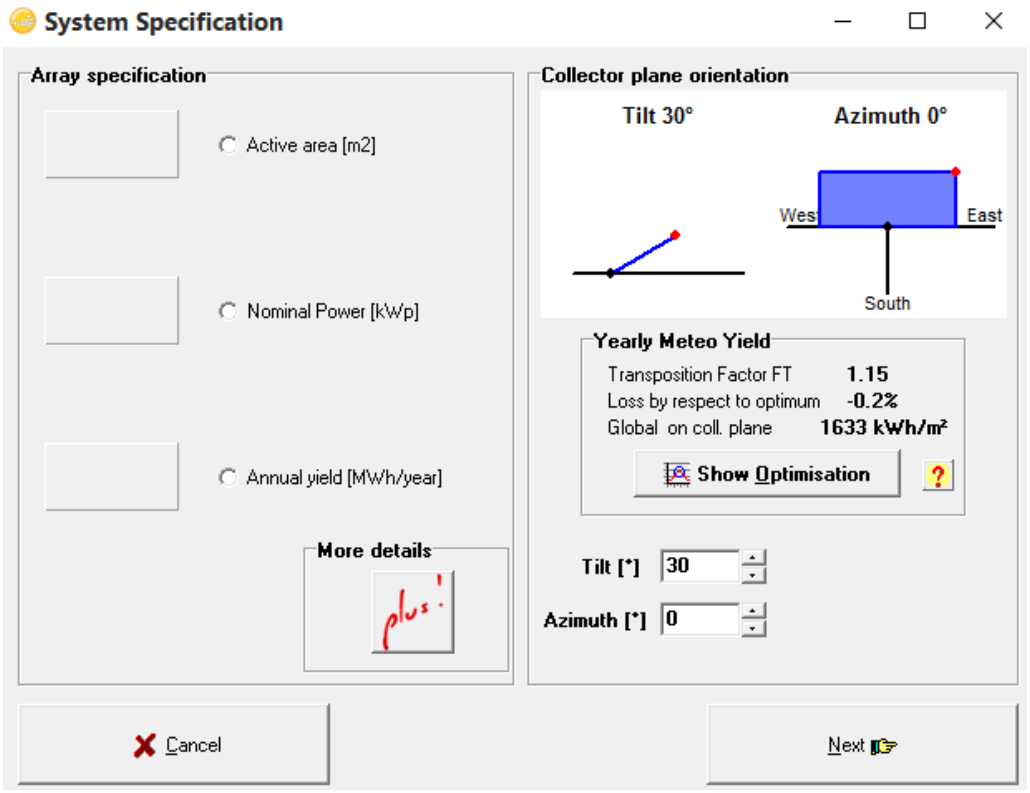
Buradan da site and meteo butonunu tıkladığımızda karşımıza Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yer seçimini yapmamıza olanak sağlayan ara yüzey gelir.



Şekil 3.9. PVsyst programında yer seçimine olanak sağlayan ara yüzey

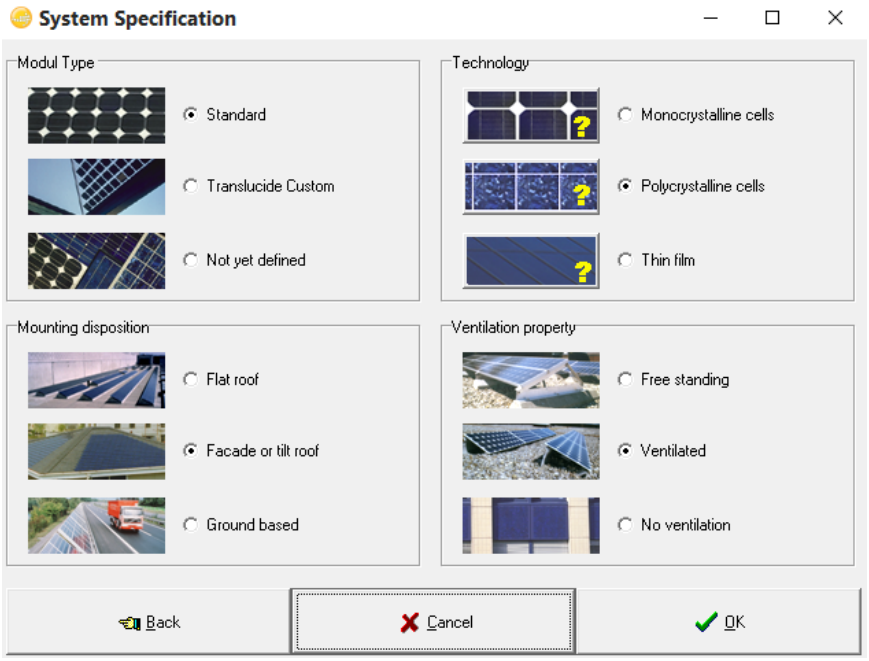
Bu bölümde tasarımını yapacağımız yer, programın veri tabanında var ise ekleriz. Şayet tasarımını yapacağımız yer, programın veri tabanında yok ise, bir sonraki başlıklarda anlatacağımız şekilde yer eklemeleri yapabiliriz. Yer seçimi yapıldıktan sonra bir önceki ekrana tekrar dönüş yapılır ve ekranda ufuk (horizon) ve sistem (system) butonları aktif hale gelir. Ufuk butonundan seçimini yaptığımız yerin uzak gölgelemeler için ufuk çizgilerini, azimut açısının güneş yüksekliğine bağlı değişimini görebiliriz. Sistem butonunu bastığımızda karşımıza Şekil 3.10'de görüldüğü gibi ara yüzey ekranı gelir. Bu bölümde tasarımını gerçekleştireceğimiz sistemin aktif bölge alanı (active area), anma gücü (nominal power) ve yıllık üretim (annual yield) gibi verileri girmemize olanak sağlar. Ekranın sağ tarafından ise tasarımını gerçekleştireceğimiz sistemdeki PV modüllerinin eğim açılarını girmemize olanak sağlar. Bu değeri seçimini

gerçekleştirdiğimiz yere uygun hesapladığımız bir değer girebileceğimiz gibi ekranda en uygun göster (show optimisation) seçeneğini basarak ta gerçekleştirebiliriz.

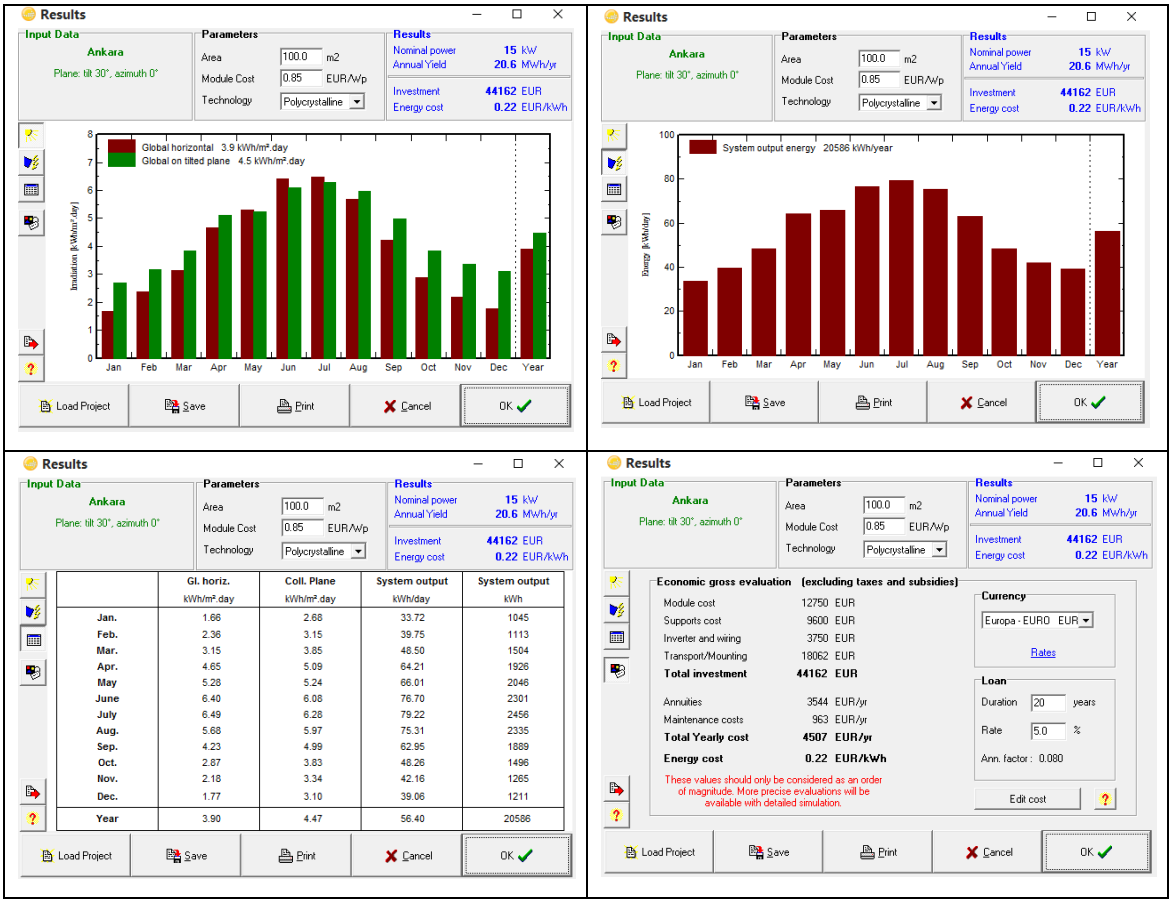


Şekil 3.10. PVsyst öntasarım sistem özelliklerinin yüklendiği ön ara yüzey ekranı

Bu bölümde ilgili veriler girildikten sonra karşımıza Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ekran gelir. Buradan sistem tasarımı için modül tipi, kullanılacak modül teknolojisi, montaj düzeni ve havalandırma özelliği gibi seçenekler karşımıza çıkar. Bu seçeneklerden sonra sonuçlar (results) butonu aktif hale gelir. Sonuçlar butonuna bastığımızda ekranda Şekil 3.12'de görüldüğü gibi raporlama ekranları gelir.



Şekil 3.11. PVsyst öntasarım sistem özelliklerinin yüklendiği diğer ara yüzey ekranı



Şekil 3.12. PVsyst öntasarım raporlama ara yüzey ekranları

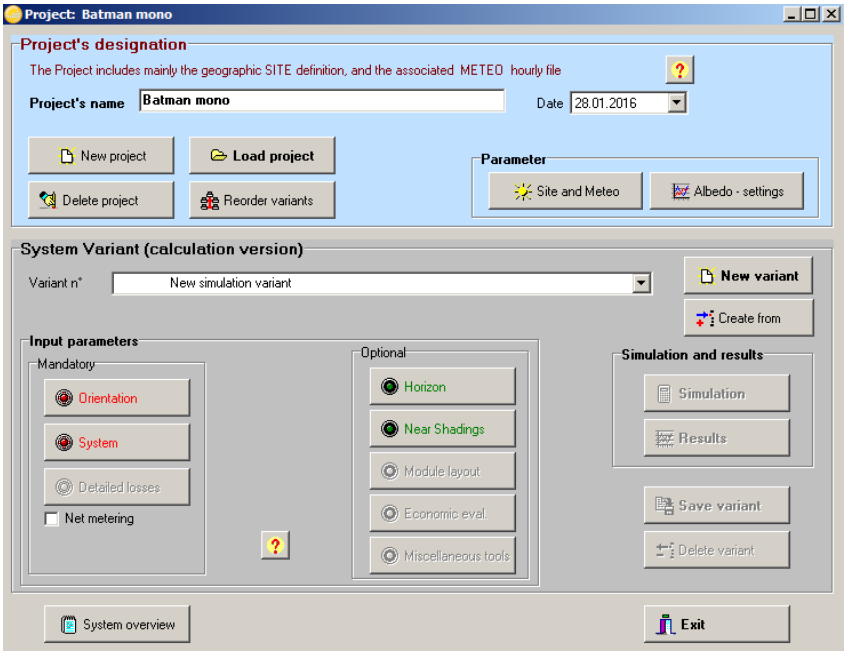
3.2.3. Proje tasarımı

Bu bölümde sistem için sistem ön tasarım bölümünden elde edilen veriler yardımıyla proje tasarımı gerçekleştirilir. Şekil 3.13'de görüldüğü gibi sistem için uygun bağlantı durumu seçilir.

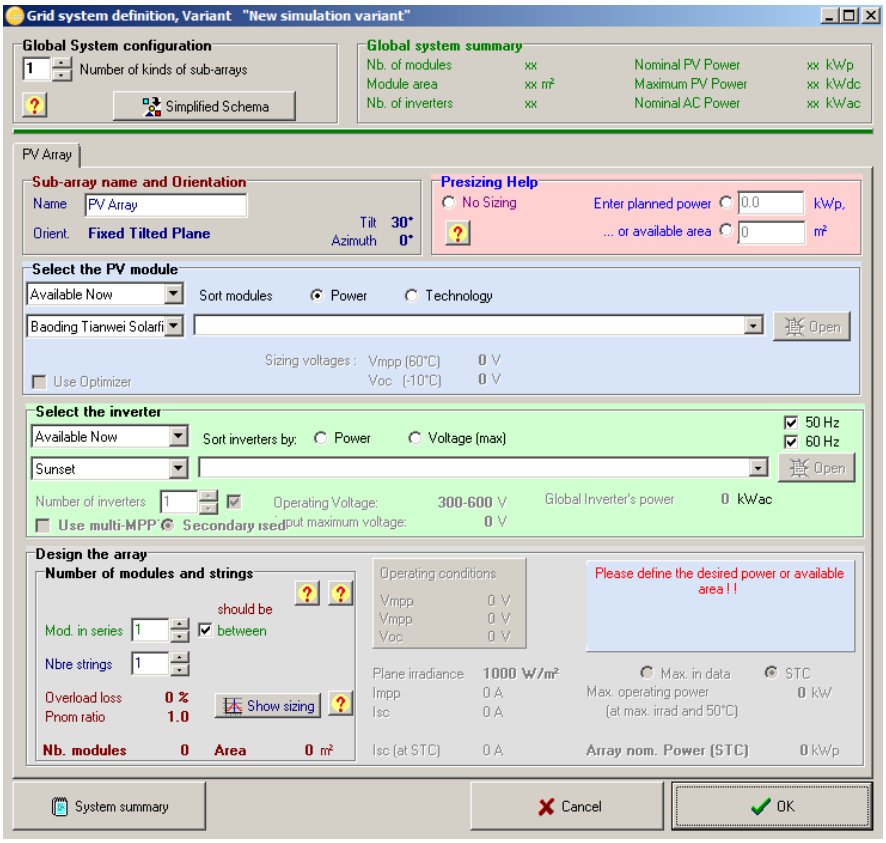


Şekil 3.13. PVsyst proje tasarım ara yüzey görüntüsü

Örneğin, şebeke bağlantılı butonu tıkladığımıza karşımıza Şekil 3.14'de görüldüğü gibi ara yüzey gelir. Bu kısımda proje ismi verildikten sonra tasarlanacak bölge için meteorolojik kısma geçilir. Seçim yapıldıktan sonra proje tasarımına geçilir. Orientation kısmından sistem için eğim açıları belirlenir. System ikonuna bastığımızda karşımıza Şekil 3.15'te görülen ara yüzey gelir. Bu kısımdan da sistemde kullanılacak çeşitli firmalara ait modül bileşenleri ve evirici seçimlerine olanak sağlar. Bu seçimlerden sonra seri veya paralel dizilimlerin ayarlamasını yapabiliriz. Bu seçimlerden sonra bir önceki ekranda simulation butonuna bastığımızda sistem ile ilgili analizler yapıldıktan sonra results ikonu aktif hale geçecektir. Results butonuna bastığımızda sistem için hesaplamalara ulaşabiliriz.



Şekil 3.14. PVsyst proje tasarım projelendirme ara yüzey görüntüsü

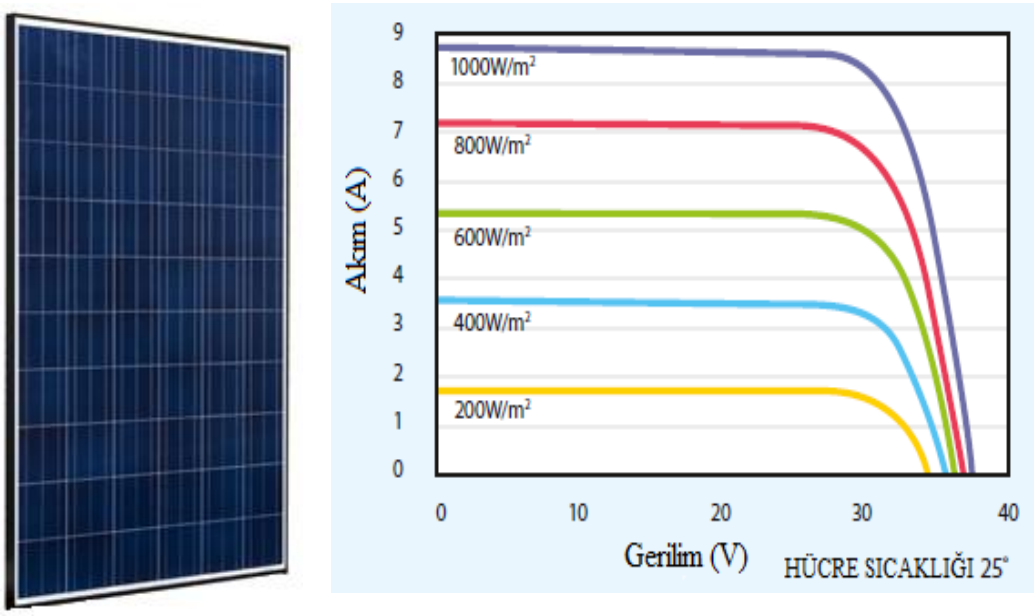


Şekil 3.15. PVsyst proje tasarım sistem bileşenleri seçimini sağlayan ara yüzey

3.3. Sistem Tasarımında Seçilen Bileşen Özellikleri

3.3.1. PV Modüller

Projelendirilecek sistem tasarımında kullanılması düşünülen fotovoltaik modül Hanwha Solar firmasına ait HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modülüdür. Projelendirilecek 1 MW lık sistemde her biri 250 W'lık maksimum güce sahip PV modüllerden toplam 4000 adet kullanılması düşünülmüştür. Her bir modülde toplam 60 adet hücre bulunmaktadır ve modülün ebatları 1636 mm × 988 mm × 40 mm şeklindedir. HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modüle ait teknik veriler Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Hanwha Solar HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal PV modülün ön yüzey görüntüsü ve oda sıcaklığında çeşitli ışınımlar altındaki I-V değişimi.

Çizelge 3.2. HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modüle ait teknik veriler

Maksimum Güç P_{max} (W)	250
Maksimum Güç Noktası Gerilimi V_{mpp} (V)	29,8
Maksimum Güç Noktası Akımı I_{mpp} (A)	8,39
Açık Devre Gerilimi V_{oc} (V)	37,7
Kısa Devre Akımı I_{sc} (A)	8,82
Verim (%)	15,5
β (%/°C)	-0,43
α (%/°C)	+0,04
γ (%/°C)	-0,31

3.3.2. Eviriciler

Projelendirilecek sistem tasarımında kullanılması düşünülen eviriciler SMA firmasına ait Sunny Central 100 LV eviricisidir.



Şekil 3.17. Sunny Central 100 LV

Çizelge 3.3. DC gerilim altında Sunny Central 100 LV eviriciye ait teknik veriler

Nominal Güç	110 kWp
Minimum Çalışma Gerilimi	450 V
Maximum Çalışma Gerilimi	820 V
Tahrip Sınırı	900 V
Maksimum Akım	235 A
Minimum önerilen kablo kesiti	4 mm

Çizelge 3.4. AC gerilim altında Sunny Central 100 LV eviriciye ait teknik veriler

Nominal Güç	100 kW
Çıkış Gerilimi	400 V
Şebeke Frekansı	50-60 Hz
Maksimum Şebeke Akımı	145 A
Nominal Performansta Klirr Faktörü	% 3
Maksimum Verimlilik	% 97,6
Euro Verimlilik	% 97,0

4. SİSTEM TASARIM SONUÇLARI

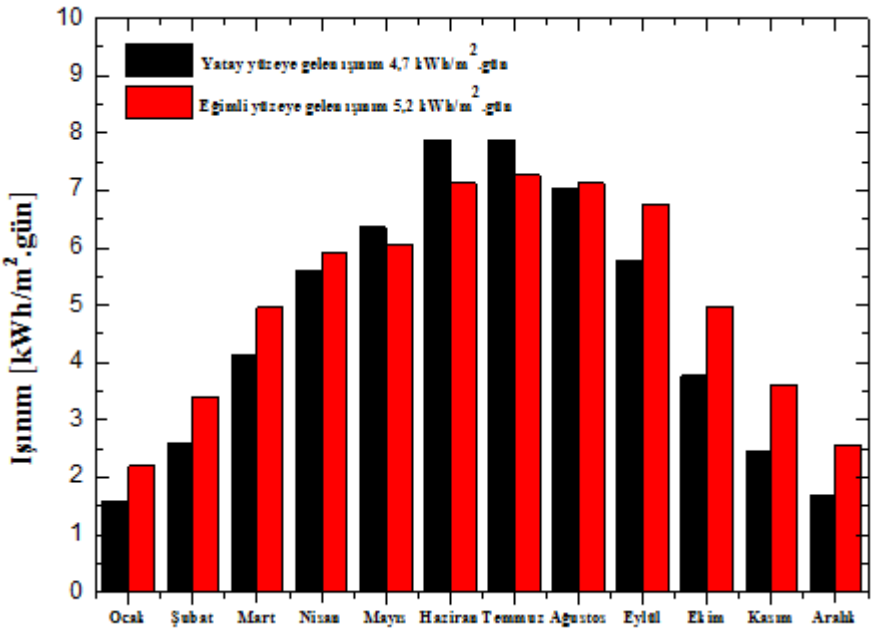
4.1. Batman İli 1 MW'lık Fotovoltaik Sistem İçin Ön Tasarım Sonuçları

Batman ilinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün yanındaki boş arazide (37.79 enlem; 41.06 boylam), 2015 yılında ölçülmüş güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılarak PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak sistemin ön tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1'de piranometre ve sıcaklık sensörü yardımıyla 2015 yılında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışınım şiddeti ve aylık ortalama günlük sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Batman iline ait Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde 2015 yılına ait ölçülmüş güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerleri

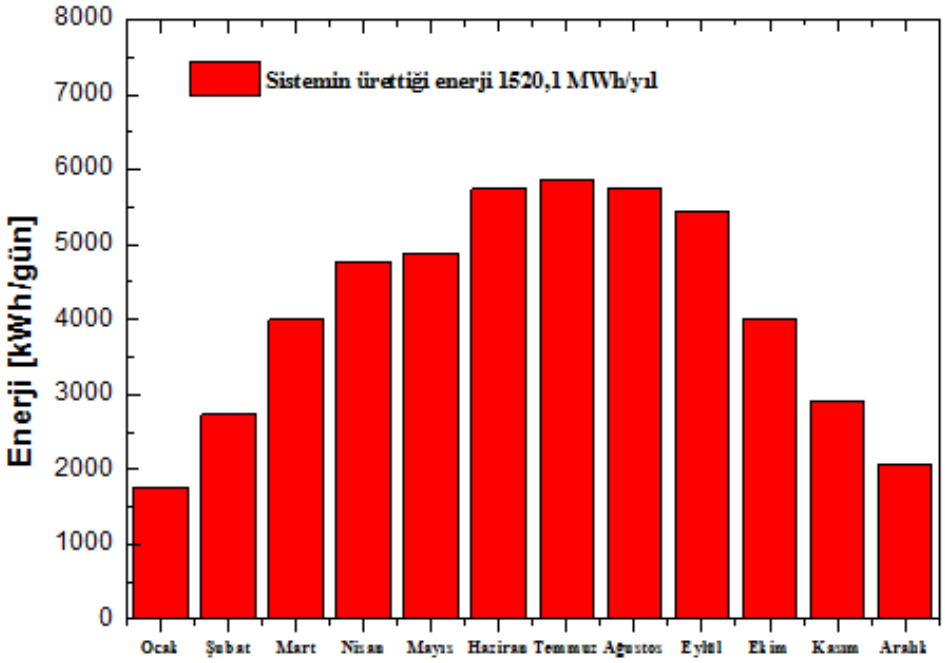
AYLAR	Yatay Yüzeye Gelen Aylık Ortalama Günlük Güneş Işınım Şiddeti (kWh/m^2 gün)	Aylık Ortalama Günlük Sıcaklık Değerleri (°C)
OCAK	49,07	3,2
ŞUBAT	72,76	5,1
MART	128,35	10,6
NİSAN	168,23	14,9
MAYIS	197,36	20,1
HAZİRAN	236,22	26,3
TEMMUZ	244,12	31,7
AĞUSTOS	218,45	31,3
EYLÜL	173,78	25,2
EKİM	116,98	18,9
KASIM	73,21	9,7
ARALIK	52,36	6,1

1 MW'lık sistem için güneş modülleri çoklu kristal silisyum ve her bir modülün eğimi 30^o seçilmiştir. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 37.79 enlem ve 41.06 boylam için 1 MW'lık sistem için ön tasarım benzeşimde 9524 m^2'lik alana gereksinim olduğu bulunmuştur. Şekil 4.1'de aylara göre yatay ve eğimli yüzeye gelen ışınım değerleri verilmiştir. Buna göre yılda yatay düzleme gelen toplam ışınım miktarı 4,7 kWh/m^2.gün ve 30^o eğimli yüzeye gelen toplam ışınım miktarı da 5,2 kWh/m^2.gün bulunmuştur.



Şekil 4.1. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde 2015 yılına ait ölçülmüş güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılarak elde edilmiş aylara göre yatay düzleme ve 30^o eğimli yüzeye gelen toplam ışınım miktarı değerleri

Bu verilerden yararlanarak 1 MW'lık fotovoltaik sistemin aylara göre üreteceği toplam enerji değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre sistem yılda toplam 1520,1 MWh/yıl enerji üretecektir. Aylara göre dağılıma bakacak olursak; sistemin üreteceği en yüksek enerji değeri 5,85 MWh/gün ile Temmuz ayı, sistemin üreteceği en düşük enerji değeri 1,77 MWh/gün ile Ocak ayı hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık sistem için ön tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş sistemin üretebileceği aylık enerji değerleri

4.2. Batman İli 1 MW'lık Fotovoltaik Sistem İçin Proje Tasarım Sonuçları

Batman ilinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün yanındaki boş arazide (37.79 enlem; 41.06 boylam), 2015 yılı ölçülmüş güneş ışınım şiddeti değerlerinden yararlanılarak PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak sistemin proje tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ön tasarım kısmından farklı olarak; sistemde gerçek modül ve evirici kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Proje tasarımında 1 MW'LIK sistem için fotovoltaik modül olarak Hanwha Solar firmasına ait HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modülden 4000 adet kullanılmıştır. Evirici ise 100 kW'lık SMA firmasına ait Sunny Central 100 LV modelinden 10 adet kullanılmıştır. Toplam modül alanı 6474 m^2 olarak hesaplanmıştır.

4.2.1. Sabit eğim için sistemin performans değerlendirmesi

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin performans değerlendirmeleri elde edilen verilerden yararlanarak sistemin ürettiği enerji ve kayıplar STC koşulları altındaki değerlere normalize edilir. Bu değerler; normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım

enerjisi (Y_R), normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi (Y_f) ve sistem performans oranı (PR) olarak sıralanmaktadır.

Y_R, normalize edilmiş örgü yüzeyinin birim alanına düşen ışınım miktarının STC koşulları altında tanımlı olan birim alandaki ışınım miktarına oranı ile belirlenir:

$$Y_R = \frac{H_\beta}{G_{STC}} \tag{4.1}$$

Buradaki H_β ifadesi eğimli yüzey üzerinde birim alana gelen ışınım enerjisini ve G_{STC} değeri ise 1000 W/m^2'i ifade eder.

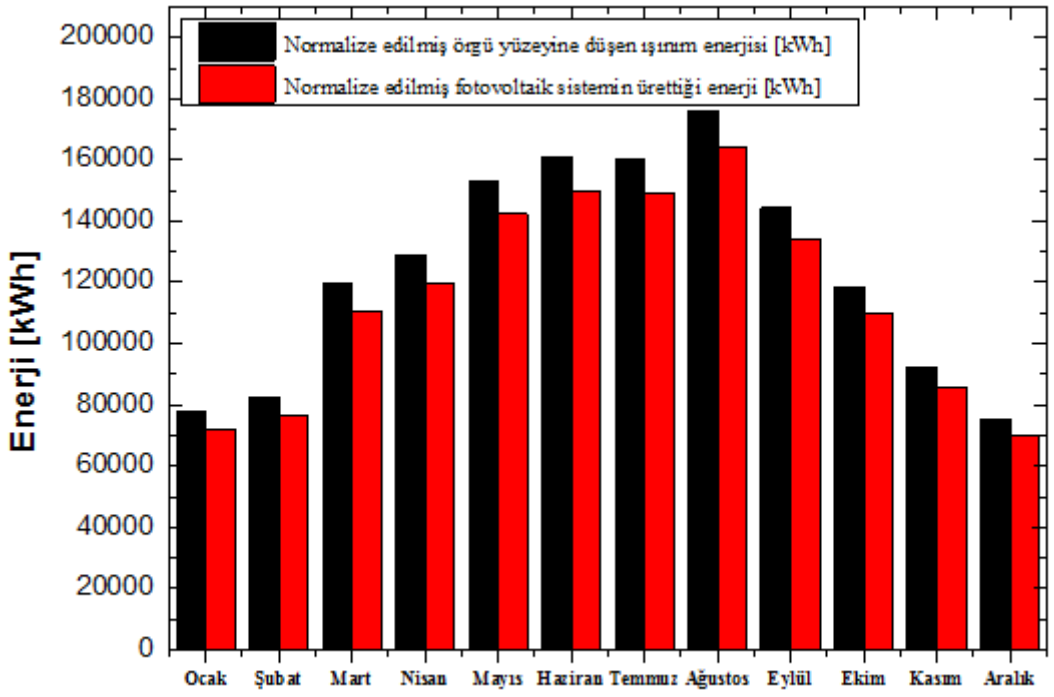
Y_f, fotovoltaik sistemden elde edilmiş enerjinin evirici tarafından AC enerjiye dönüştürülmesinden sonra ortaya çıkan enerji değerini, STC koşulları altında verilen PV örgülerin kurulu güç değerine oranı ile belirlenir:

$$Y_f = \frac{E_{şebeke}}{W_{p,e}} \tag{4.2}$$

PR ise; normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretiminin, normalize edilmiş fotovoltaik örgü yüzeyi üzerine düşen ışınım enerjisine oranı olarak tanımlanır:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \tag{4.3}$$

Sistemde yer alan her bir modülün 30^o eğim ile yerleştirildiği düşünülerek performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Buna göre ölçülmüş ışınım değerleri kullanılarak hesaplanmış normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması Şekil 4.3'de verilmiştir. Normalize edilmiş fotovoltaik sistemin üreteceği enerji miktarları kayıplar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Buna göre sistemin üreteceği en yüksek toplam enerji değeri 164,05 MWh ile Ağustos ayı, sistemin üreteceği en düşük toplam enerji değeri 69,64 MWh ile Aralık ayı hesaplanmıştır. Sistemin yıllık üretebileceği enerji miktarı da 1383,9 MWh olarak hesaplanmıştır.

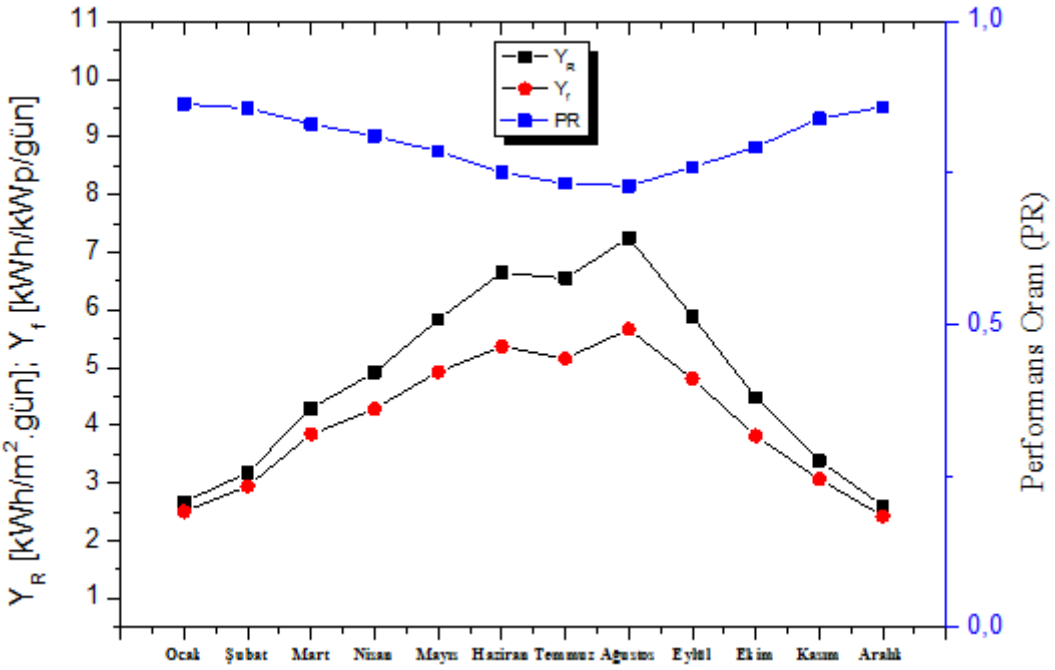


Şekil 4.3. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık sabit eğim açılı sistem için proje tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması

Sistemde oluşabilecek kayıplar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi en fazla kayıp MPP kaybı olup 1490,09 MWh değerindedir. Daha sonra 105,88 MWh ile evirici kaybı takip etmektedir. Toplamda 1642,88 MWh kayıp hesaplanmıştır. Şekil 4.4'de sistemde öngörülen performans oranı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. 1 MW'lık sabit eğim açılı sistem için öngörülen kayıplar

Kayıplar	**Kayıp Miktarı [kWh]**
Modül Teknik Kayıpları	770,32
Modül Işınım Kayıpları	30819
Kablolama Kayıpları	15310
MPP Kaybı	1490099
İnvertör Kayıpları	105888
Toplam Kayıp	**1642886,32**



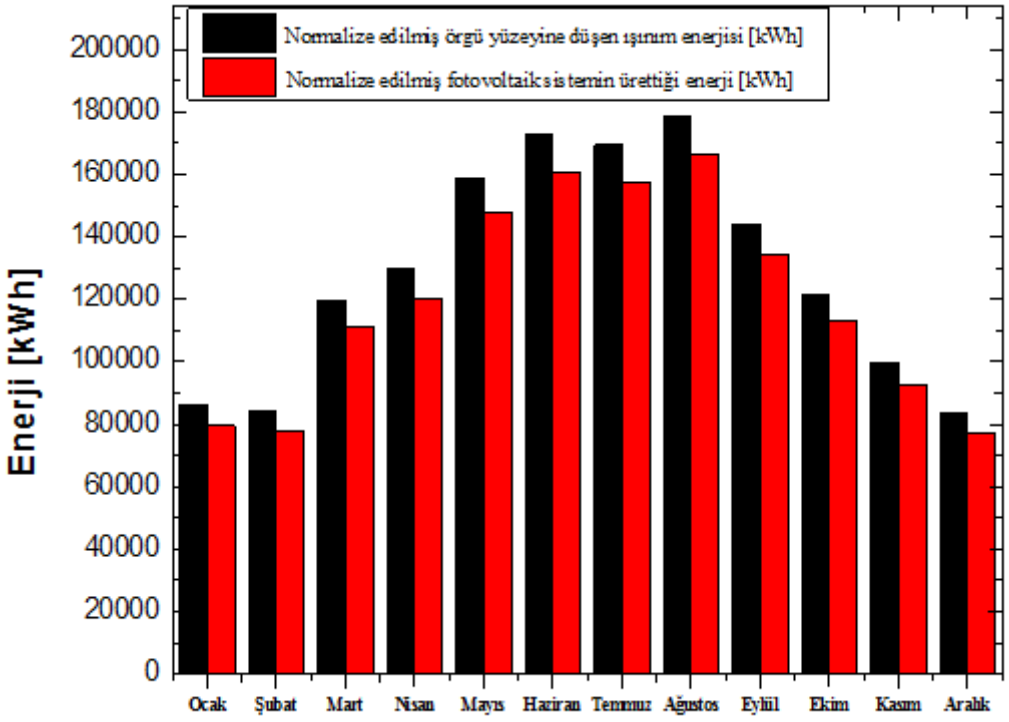
Şekil 4.4. Aylara göre sabit eğimli sistemde öngörülen performans oranları

4.2.2. Değişken eğim için sistemin performans değerlendirmesi

Batman ili için (37.79 enlem; 41.06 boylam) Eşitlik (2.1)'den yararlanarak her bir ay için optimum eğim açıları hesaplanmış olup Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge 4.3'de verilen eğim açıları her bir ay için kullanılarak aynı koşullar altında 1 MW'lık sistemin performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Buna göre ölçülmüş ışınım değerleri kullanılarak hesaplanmış normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması Şekil 4.6'da verilmiştir. Yine aynı şekilde normalize edilmiş fotovoltaik sistemin üreteceği enerji miktarları kayıplar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Buna göre sistemin üreteceği en yüksek toplam enerji değeri 166,5 MWh ile Ağustos ayı, sistemin üreteceği en düşük toplam enerji değeri 77,4 MWh ile Aralık ayı hesaplanmıştır. Sistemin yıllık üretebileceği enerji miktarı da 1438,9 MWh olarak hesaplanmıştır. Değişken eğimli sistemin üretmiş olacağı enerji, sabit eğimli sisteme göre yılda 55 MWh fazla enerji üreteceği hesaplanmıştır. Değişken eğimli sistem için sistemde oluşabilecek kayıplar Çizelge 4.3'de verilmiştir. En fazla kayıp MPP kaybı olup 1548,5 MWh değerindedir. Daha sonra 109,4 MWh ile evirici kaybı takip etmektedir. Toplamda 1707,3 MWh kayıp hesaplanmıştır. Şekil 4.6'da sistemde öngörülen performans oranı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Batman ili için (37.79 enlem; 41.06 boylam) hesaplanmış optimum eğim açıları

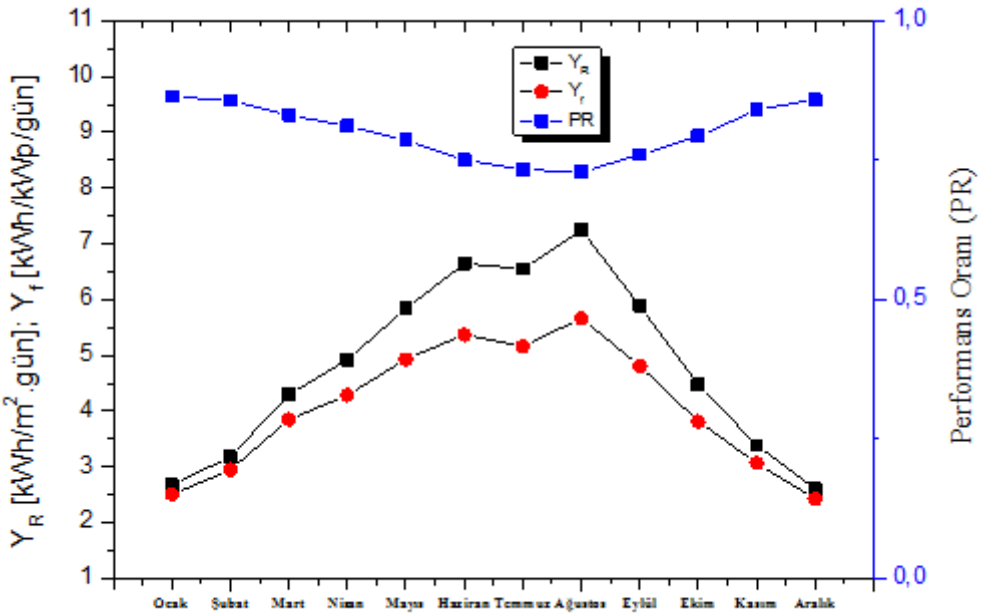
AYLAR	Optimum Eğim Açısı (^{o})
OCAK	58,44
ŞUBAT	50,81
MART	39,94
NİSAN	28,11
MAYIS	18,79
HAZİRAN	14,52
TEMMUZ	16,34
AĞUSTOS	24,07
EYLÜL	35,3
EKİM	47,12
KASIM	56,43
ARALIK	60,57



Şekil 4.5. PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak 1 MW'lık değişken eğim açılı sistem için proje tasarım benzeşim yolu ile elde edilmiş normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması

Çizelge 4.4. 1 MW'lık değişken eğim açılı sistem için öngörülen kayıplar

Kayıplar	**Kayıp Miktarı [kWh]**
Modül Teknik Kayıpları	798,67
Modül Işınım Kayıpları	31955
Kablolama Kayıpları	16594
MPP Kaybı	1548545
İnvertör Kayıpları	109439
Toplam Kayıp	**1707331,67**



Şekil 4.6. Aylara göre değişken eğimli sistemde öngörülen performans oranları

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Batman ilinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün yanındaki boş arazide (37.79 enlem; 41.06 boylam), 2015 yılı ölçülmüş güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerlerinden yararlanılarak PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak sistemin sırasıyla ön tasarımı ve proje tasarımı gerçekleştirilmiştir. PVsyst paket programıyla 1 MW'lık sistem için 30^o eğimli yüzeye çoklu kristal silisyum modülleri kullanılarak ön tasarımı yapılmıştır. 9524 m^2'lik alanda gerçekleştirilmiş tasarımda gelen güneş ışınımı değerleri alınarak sistemin yılda toplam 1520,1 MWh/yıl enerji üreteceği öngörülmüştür. Aylara göre ele alındığında Temmuz ayında en yüksek ve Ocak ayının da en düşük enerji değerine ulaşılabileceği hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında proje tasarımı iki kısımda incelenmiştir. İlk kısımda sabit 30^o eğimli yüzeye Hanwha Solar firmasına ait HSL60P6-PB-1-250 F kodlu çoklu kristal modülleri ve 100 kW'lık SMA firmasına ait Sunny Central 100 LV eviricileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Ölçülmüş ışınım değerleri kullanılarak hesaplanmış normalize edilmiş örgü yüzeyine düşen ışınım enerjisi ve normalize edilmiş fotovoltaik sistem enerji üretimi karşılaştırması yapılmıştır. Sistemin üreteceği en yüksek toplam enerji değeri 164,05 MWh ile Ağustos ayı, sistemin üreteceği en düşük toplam enerji değeri 69,64 MWh ile Aralık ayı hesaplanmıştır. Sistemin yıllık üretebileceği enerji miktarı da 1383,9 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin performans analizi de yapılmıştır. Buna göre ortamın sıcaklığı arttıkça sistemin performans oranına etki ettiği tespit edilmiştir.

Proje tasarımın ikinci kısmında ise aylara göre eğim açıları optimize edilmiştir. Proje tasarım kısmının ilk bölümündeki aynı veriler ele alınarak, optimize edilmiş eğim açılarına göre sistemin üreteceği en yüksek toplam enerji değeri 166,5 MWh ile Ağustos ayı, sistemin üreteceği en düşük toplam enerji değeri 77,4 MWh ile Aralık ayı hesaplanmıştır. Sistemin yıllık üretebileceği enerji miktarı da 1438,9 MWh olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde şu öneriler göz önüne alınabilir:

- Fotovoltaik enerji santrali kurulacak sistem öncesinde çeşitli paket programlar kullanarak ön tasarım gerçekleştirmek yatırımcıya önemli ölçüde bilgi verecektir.
- Fotovoltaik enerji santrali kurulacak sistem öncesinde konum belirlenmeli ve bu konumda yıllık sıcaklık ve güneş ışınım ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Yapılacak olan bu ölçümlerde UEA tarafından onaylanmış sıcaklık sensörü ve

piranometre ile gerçekleştirilmelidir. Bu şekilde daha doğru sonuçlar elde edilecektir.

- Batman'da kurulumu gerçekleştirilecek 1 MWp'lik fotovoltaik enerji sistemi için modül düzlemlerinin aylara göre optimize edilmesi sistem performansını arttıracaktır. Bu şekilde yapılacak bir çalışmayla yılda yaklaşık 55 MWh'lık artı performans sağlanabilir. Ayrıca yıllara göre baz alındığında sistem için harcanan giderleri daha kısa süre amorti edecektir.

KAYNAKLAR

Benatiallah A., Mostefaoui R., Boubekri M., Boubekri N., 2007 A Simulation, Model For Sizing PV Installation, *Desalination*, 209, 97-101.

Foukal P. V., 1990, Solar Astrophysics, *Wiley-Newyork*.

Fragaki A., Markvart T., 2008, Stand Alone PV system design: result using a new sizing approach, *Renewable Energy*, 33, 162-167.

Iftakhar Uddin T. M., Saad Md. A., Husnain-Al-Bustam, Mahbub Md. Z.,2012, Computional Modelling of a Grid Connected System Using PVSTS Software, *Islamic University of Technology*, May.

Iqbal M., 1983, An introduction to Solar Radiation, *Academic Press-Toronto*.

Khatib T., 2010, A review of design, installing and evuluating standalone photovoltaic power system, *Journal of Applied Sciende*, 10, 1212-1228.

Klise G. T., Stein J. S., 2009, Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems, *Sandia report*, 8258.

Masalcı Ö., 2000, Muğla ili güneş ışınım verileri ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Pearsall N. M., Hill R., 2001 , Photovoltaic Modules,Systems and Applications, Chapter 15, Northumbria Photovoltaic Applications centre University of Northumbria at Newcastle: 1-42.

Posadillo R., Lopez R., Luque A., 2008, Sizing method for stand alone PV installations with variable demand, *Renewable Energy*, 33, 1049.

Ramsey W. J., 2003, Thermal Environmental Engineering, Univeristy of Minnesota, ME 5103: 1-14.

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

Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy, 2010, *International Energy Agency*.

Uyarel Y., Öz E. S., 1987, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen yayınevi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nilay PAKMA
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Turgutlu 29.01.1978
e-mail : nilay@pakma.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Turgutlu Lisesi, Turgutlu, Manisa	1994
Üniversite	:	Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bl. Eskişehir	1999
Yüksek Lisans	:	Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik A.B.D. Batman	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1999-2013	Milli Eğitim Bakanlığı	Sınıf Öğretmeni
2014-	Milli Eğitim Bakanlığı	Fizik Öğretmeni

UZMANLIK ALANI Fizik

YABANCI DİLLER İngilizce

YAYINLAR

1- H. Öztürker, N. Pakma, M. S. Derse, O. Pakma, Ö. Güllü, "Performance Analysis of Different PV Modules Technologies For Batman (TURKEY)" 9th International Physics Conference of Physical Union, 523 pp., İstanbul, Eylül 2015 (Türkiye).
2- M. S. Derse, H. Öztürker, N. Pakma, O. Pakma, Ö. Güllü, İ. Arsel, "Statistical Analysis of Solar Radiation Models Onto İnclined Planes for Climatic Conditions of Batman (TURKEY)" 9th International Physics Conference of Physical Union, 523 pp., İstanbul, Eylül 2015 (Türkiye).