

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PVSYST PROGRAMI İLE MODELLENEN KONYA VE
VAN İLLERİNDE GES SANTRALLERİNİN ÜRETİM
VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Ayşegül ETCİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kocalmış Bilhan**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2022
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PVSYST PROGRAMI İLE MODELLENEN KONYA VE
VAN İLLERİNDE GES SANTRALLERİNİN ÜRETİM
VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Ayşegül ETCİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2022
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Araştırma s¼recinde bana yol g¼steren, her t¼rl¼ konuda yardımcı olan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kocalmış Bilhan 'a teőekk¼r ederim.

Tez çalışmam boyunca ve hayatımın her anında bana destek olan eşim Ahmet ETCİ ve ocuklarım Ömer Yakup, Ahmet Akif, Meryem Neva' ya, anneme, babama ve kardeşlerime teőekk¼r ederim.



PVSYST PROGRAMI İLE MODELLENEN KONYA VE VAN İLLERİNDE GES SANTRALLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşegül ETCİ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Enerji talebindeki fosil yakıtların kaynaklarının sınırlılığı ve hızlı artışı temiz ve güvenilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı artırmıştır. Alternatif enerji yöntemlerinden biri olan güneş ışımaya kullanan fotovoltaik (FV) sistemler gelecekteki küresel elektrik üretimini sağlamak için kullanılacaktır. Türkiye dünyadaki konumu sebebiyle güneş enerjisi açısından avantajlıdır. Potansiyel güneş haritası basitçe bile incelendiğinde birçok farklı bölgede güneş enerji santralının kurulabilmesi mümkündür. Bu tez çalışmasında, Pvsyst programını kullanarak Konya ve Van illerinde kurulacak olan güneş enerjisi üretim santrallerini modellenmesinin yanı sıra, sistemlerin üretim verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. İki farklı ilde modellenen güneş enerji santrallerinin sabit açılı ve çift eksen güneş takip sistemli olarak tasarlandığında üretimlerinin il bazında değişip değişmediği gözlemlenmiş ve üretim verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Van ilindeki sistemlerin Konya ilindeki sistemlere göre daha verimli olarak çalıştığı ve daha fazla elektrik üretimi yaptığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *PVsys, Güneş enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.*

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kocalmış Bilhan

Sayfa Adedi:104

COMPARISON OF PRODUCTION DATA OF GÜNEŞ POWER PLANTS MODELED BY THE PVSYST PROGRAM IN KONYA AND VAN PROVINCES

(M. Sc. Thesis)

Ayşegül ETCİ

NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

The limited reserve of fossil fuels and rapid increase in energy demand have increased the need for clean and reliable energy sources. Photovoltaic (PV) systems using solar radiation, one of the alternative energy methods, will be used to provide future global electricity generation. Turkey is advantageous in terms of solar energy due to its location in the World. When the potential solar map is examined, it is possible to establish solar plants in many different regions. In this thesis, besides modeling the solar power generation plants to be established in Konya and Van provinces using the PVsyst program, the production data of the systems will be compared. When the solar power plants modeled in two different cities are designed with fixed angle and dual axis solar tracking system, it is observed whether their production changes on a provincial basis and the production data are compared. According to the results obtained, it was concluded that the systems in Van operate more efficiently and produce more electricity than the systems in Konya.

Keywords: *Güneş energy, Renewable Energy Sources, PVsyst.*

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kocalmış Bilhan

Pages:104

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY SAYFASI.....	1
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolarIN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
BÖLÜM 1	xi
GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2. Literatür özeti.....	3
BÖLÜM 2	8
Yenilenebilir Güneş Enerjisi.....	8
2.1. Küresel Güneş Enerji Potansiyeli.....	8
2.2. Türkiyede Güneş Enerji Potansiyeli	9
2.3. Fotovoltaik (Pv) Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	10
2.3.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojilerinin Tarihsel Süreci.....	11
2.3.2. Fotovoltaik Teknolojide Yarı İletken Maddeler	13
2.3.3. N- Tipi Yarı İletken Maddeler	14
2.3.4. P- Tipi Yarı İletken Maddeler	14
2.3.5. Pn Eklemi	15
2.3.6. Güneş Hücresi	16
2.3.7. Güneş Hücresi Eş Değer Devresi.....	17
2.4. Fotovoltaik Hücre Tipleri.....	19
2.4.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Hücreleri	19
2.4.2. İnce Film (Thin Film) Güneş Hücreleri	20
2.4.3. Nano Dokulu Güneş Hücreleri.....	21
BÖLÜM 3	22
Fotovoltaik Sistem Bileşenleri	22
3.1. Eviriciler.....	23

3.2. Bağlantı Ekipmanları Ve DC-AC Kablolar	26
3.3. Pano.....	27
3.4. Taşıyıcı İskelet	28
3.5. Güneş Takip Sistemi	29
3.6. Transformatör ve Şebeke	30
BÖLÜM 4	31
Materyal ve Yöntem.....	31
4.1.PVsyst Programı	31
4.2. Açılı Çeşitleri	31
4.2.1.Zenit Açılısı.....	32
4.2.2.Azimet Açılısı	32
4.2.2.1. Güneş Azimet Açılısı (γ_s).....	32
4.2.2.2. Yüzey azimet açılısı	33
4.2.3.Yükseklik Açılısı.....	33
4.2.4.Geliş Açılısı.....	33
4.2.5. Eğim Açılısı.....	33
BÖLÜM 5	34
Sistem Tasarımı ve Hesapları.....	34
5.1. Fotovoltaik Panel Seçimi ve Standartlar	34
5.2. Eviriciler ve Standartları	35
5.3.Panel ve Evirici Uyumluluk Hesabı.....	37
5.4.Kablo Seçimi ve Koruma Hesabı.....	38
BÖLÜM 6	43
PVsyst Programı İle Sistem Modellemesi.....	43
6.1. Van Bardakçı- Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü İçin Sabit Açılı Sistem Modellemesi.....	43
6.2. Van Bardakçı - Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü İçin Çift Eksen Güneş Takipli Sistem Modellemesi	50
BÖLÜM 7	54
Sonuçlar ve Öneriler	54
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	89

TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 5.1. Panelin Teknik Özellikleri	34
Tablo 5.2. PVI-F Kablo Akım Taşıma Kapasitesi	39
Tablo 5.3. Kablo Döşeme Düzeltme Faktörleri	40
Tablo 5.4. Kablo Sıcaklık Düzeltme Faktörleri	41



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Güneş Işınlarnın Dünya Yüzeyine Geçiş Yüzdeleri	8
Şekil 2.2. GEPA Haritası	9
Şekil 2.3. Aylık Ortalama Global Işıma Dağılımı	10
Şekil 2.4. FV Panel Garanti Süreleri	11
Şekil 2.5. Atom Yapısı	13
Şekil 2.6. Maddelerin Enerji Band Diyagramı	13
Şekil 2.7. İletkenlik Enerji Band Diyagramı	15
Şekil 2.8. PN Eklem Oluşumu	15
Şekil 2.9. Güneş Hücresi.....	16
Şekil 2.10. FV Hücree Elektriksel Eş Değer Devresi	17
Şekil 2.11. Tek bir Hücrenin Panele Dönüşümü	18
Şekil 2.12. Mono Kristal ve Poli Kristal Güneş Hücree Görseli.....	20
Şekil 2.13. İnce Film Güneş Hücree Görseli	21
Şekil 3.1. Örnek Pano Tekhat Çizimi	28
Şekil 4.1. Zenit Açık Görseli	32
Şekil 4.2. Azimut Açık Görseli	33
Şekil 5.1. Evirici Kataloğu Teknik Bilgileri	36
Şekil 6.1. Sabit Açık Sistem Panel Dizi Görseli	44
Şekil 6.2. Sabit Açık Sistem Sehpa Yerleşim Görseli	44
Şekil 6.3. Van Bardakçı Sabit Açık Sistem Genel Sonuçlar Ve Bilanço.....	45
Şekil 6.4. Van Bardakçı Sabit Açık Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı.....	46
Şekil 6.5. Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Açık Sistem Genel Sonuçlar Ve Bilanço....	48
Şekil 6.6. Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Açık Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı.....	49
Şekil 6.7. Güneş Takip Sistem Sehpa Yerleşim Görseli	51
Şekil 6.8. Güneş Takip Sistem Dizi Yerleşim Görseli	51
Şekil 6.9. Van Bardakçı Güneş Takip Sistem Genel Sonuçlar Ve Bilanço.....	52
Şekil 6.10. Van Bardakçı Güneş Takip Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı.....	52
Şekil 6.11. Konya Selçuk Üniversitesi Güneş Takip Sistem Genel Sonuçlar Ve Bilanço.	53
Şekil 6.12. Konya Selçuk Üniversitesi Güneş Takip Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı.....	53
Şekil 7.1. Yıllık Üreriim Grafiği	55

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri Görseli	22
Resim 3.2. Evirici İç Yapı Görseli	23
Resim 3.3. 1200 W Gücünde Bir Mikro Evirici	24
Resim 3.4. Dizi Evirici	25
Resim 3.5. Merkezi Evirici	26
Resim 3.6. Modül Bağlantı Kutusu	27
Resim 6.1. Çift Eksenli Güneş Takip Sitemi	50



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

kVA	Kilovolt amper
kW	Kilovolt
kW _{ac}	AC kilowatt
kWh	Kilowatt saat
kWp	Kilowatt peak
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
V	Volt
W	Watt
W _p	Watt peak
o	Derece
DC	Direct Current (Doğru akım)
MPP	Maksimum Güç Noktası
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçi
PV/FV	Fotovoltaik
AC	Alternating Current (Alternatif akım)
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
GES	Güneş Enerji Santrali
V _n	PV Modül Nominal Gerilimi
V	Sıcaklıkla Değişen Modül Gerilimi
V _{oc}	PV Modül Açık Devre Gerilimi
N	Dizi Sayısı
T _{max}	Maksimum Sıcaklık
T _{min}	Minimum Sıcaklık
T _{stc}	PV Modül Standart Test Sıcaklığı
I _{sc}	Dizi Kısa Devre Akımı
I _n	Dizi Nominal Akımı

ΔT

β

I_{AC}

k_1

k_2

$I_{d\u00fczelt\u0131lm\u0131\u015f}$

Sıcaklık Farkı

Sıcaklık Katsayısı

İnvert\u00f6r \u00c7ıkı\u015f Akımı

D\u00f6\u015eme D\u00fczeltme Fakt\u00f6rleri

Sıcaklık D\u00fczeltme Fakt\u00f6rleri

Kablo D\u00fczeltmi\u015f Akım



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzdeki gelişmeler ve insan nüfusunun giderek enerji ihtiyacı büyük bir artış göstermektedir. Dünya ülkelerinde birey başına düşen milli gelirin o ülke zenginliği ile doğru orantılı olmasının yanı sıra birey başına tüketilen elektrik enerjisi de gelişmişliğin ve sosyal refahın önemini göstermektedir. Artan nüfus ve sosyal refahın yaygınlaşması sebebi ile insanların artan enerji tüketimi ve gereksinim duyulan enerjinin büyük bir bölümü tükenebilir enerji olan nükleer ve fosil yakıtlar olarak tanımlanan petrol, doğal gaz, kömürden elde edilmektedir. Nükleer ve fosil yakıtlar yenilenemediği gibi gelecekte tükeneceği öngörülmekte ve bunun yanı sıra çevreye verdiği indirgenemez zararlar olarak hava kirliliği ve küresel ısınma gözlemlenmektedir. Bu yakıtların dünya geleceğinde insan yaşamı ve dünya tabiat dengeleri üzerine oluşturabilecekleri riskli durumların önüne geçebilmek amacı ile alternatif enerji kaynaklarının bulunup günümüz ihtiyaçlarına göre geliştirilmesine yönelik çalışmalar önem arz etmeye başlamıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynakları olan su, jeotermal, güneş, rüzgâr, biokütle, dalga ve gelgit türü gibi enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunlar temiz, ucuz, bol ve çevre dostu olan kaynaklardır. Ülkemizde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Güneşin tercih edilme nedenleri sürekli ve kolay ulaşılabilir olması, ücretsiz ana kaynak olması ve çevreye verdiği zararların yok denecek kadar az olmasıdır. Ülkemizde ışınımın yüksek olması ile doğru orantılı olarak fotovoltaik sistemlerden verimli elektrik elde edebilen teknolojilerin yaygınlaşması, PV sistemlerin diğer bir tercih edilme sebebidir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Azalan fosil kaynakları ve çevreye verdiği zararlı etkilerinde dolayı temiz enerji kaynaklarına duyulan gereksinim günden güne artmaktadır. Günümüzde giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr, su, hidrojen, dalga, biokütle gibi doğada zaten var olan ve varlığını çok kısa döngüler içinde yenileyerek sürdürebilen, tükenmez olarak görülen kaynaklar kullanılmaya başlamıştır. Dönüşümleri sırasında herhangi bir zararlı salınım yapmamaları ve doğada tahribata

sebeplerinin olmaması sayesinde temiz ve çevre dostu kaynaklar olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına erişim potansiyeli yüksektir. Günümüzde temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi gelmektedir. Dünya üzerinde sahip olduğu coğrafi konum sayesinde güneşlenme süresi ve alanı çok iyi olan, Ülkemiz için alternatif enerji kaynağı olarak güneş enerjisi ilk sıradadır. Son on yılda yapılan araştırmalar, Türkiye'de metrekaresine başına yılda 1100 kWh'lık güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir [1]. Bu avantajlı durum açısından bakıldığında güneş enerjisinin önümüzdeki yıllar içinde ülkemize temiz enerji sağlaması yönünde önemli bir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir. Hava şartlarının anlık olarak bilinmemesi gibi sebeplerden dolayı enerji ihtiyacının tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması yönünde kuşku doğurmakta ve bu kaynaklar ile sağlanan enerjinin sürdürülebilir kesintisiz olması durumunu sorgulamaktadır. Bu sebepten ve depolama teknolojisinin yüksek maliyetli olmasından dolayı bu alanda yani güneş alanında yapılacak yatırımların detaylı ve olumlu olumsuz yönden planlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ülkemizde en yaygın alternatif enerji kaynağı olarak fotovoltaik sistemler ile enerji üretimi tercih edilmektedir. Kurulacak güneş enerjisi santralının yer ve bileşen seçimlerinin öncelikle benzetim ile programda yapılması son derece önemlidir. Böylelikle üretimin sanal olarak sonuçları öngörülebilecek ve yatırımın detayları planlanabilecektir. Doğru veriler ile gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilebilmesi açısından da kullanılan benzetim programının güncelliği, doğruluğu ve analiz parametreleri son derece önemlidir. PVsyst bu modelleme programlarından biridir.

Bu tez çalışmada amacımız, Ülkemizin yenilenebilir elektrik kaynak alanları projesi kapsamında pilot bölge olan Konya iline alternatif olabilecek daha verimli bir bölge tespit edebilmektir. GEPA haritasına baktığımızda alternatif lokasyon olarak ışıma ışımasını yüksek olan Van ili tercih edilmiştir. PVsyst programını kullanarak Konya ve Van illerinde kurulacak olan güneş enerjisi üretim santrallerini modellenmesinin yanı sıra, sistemlerin üretim verilerinin karşılaştırılması yapmaktır. İki farklı ilde modellenmesi düşünülen güneş enerji santrallerinin sabit açılı ve çift eksen güneş takip sistemli olarak tasarlandığında üretimlerinin il tabanlı değişip değişmediği gözlemlenerek ve üretim verileri karşılaştırılarak elde edilen sonuçlara göre gerçekte yenilenebilir enerji kaynak alanı projeleri kapsamında değerlendirilmeye alınabilecektir.

1.2. Literatür Özeti

Aksangör yaptığı çalışmada Ankara ili içinde bir üniversite kampüsüne ait belirlenen binaların elektrik ihtiyacının fotovoltaik bir sistemle karşılanması durumunda modellenen sistemin üretilebileceği enerji miktarını ve sistem performansını sanal program aracı ile ölçülmeyi amaçlamıştır. Çalışmasında değerlendirmeler yapmak üzere PVsyst V6.7.8 simülasyon programını kullanmıştır. Seçtiği üniversite kampüsü yerleşkenin coğrafi koordinatlarını PVsyst programında işaretlemiş ve bölgenin meteoroloji verilerini, simülasyon aracının sunduğu Meteonorm 7.2 veri tabanından yapay olarak üretirmiştir. 2160 adet 280 W gücünde güneş paneli ve 16 adet 32 kW AC gücünde evirici kullanmıştır. Sistemin kurulu gücünü 604,8 kWh olarak modellemiştir. Sistemin yıllık ürettiği enerji miktarını 729,67 MWh, şebekeye verdiği yıllık enerji miktarını da 712.3 MWh olarak ölçmüştür. Sistemin performans oranının %84,1 olarak hesaplamıştır. Çalışmasının yorumu olarak fotovoltaik sistemi tasarlarırken, coğrafi konuma, güneşlenme verilerine, kullanılacak panel ve evirici bileşenleri özelliklerine dikkat edilerek değerlendirilmesini belirtmiş ve geliştirilmiş simülasyon programları ile sistem modellemenin daha kolay olduğunu göstermiştir [2].

Haydaroğlu ve Gümüş yaptıkları çalışmada, Dicle Üniversitesi kampüsünde kurulmuş 250 kWp'lik GES'i, PVsyst V6.39 programı kullanarak modellemiş ve IEC 61724 standardında değinilen performans kıstaslarına uygun olarak performansını incelemişlerdir. Aralık 2015 ile Nisan 2016 zaman aralığında kurulu tesisin ve sanal tesisin üretim verilerini karşılaştırmışlardır [3].

Demiryürek çalışmasında, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemi PVsyst V6.67-TRİAL programı ile modelleyerek var olan tesisle verilerini karşılaştırmıştır. PVsyst V6.67-TRİAL programı ile yıllık ve aylık ışıma değeri, üretimi; PV sistem kayıplarını ve performans verilerine ulaşmıştır. Siirt Merkez İlçesine bağlı mevki olarak Bağtepede kurulan 200kWp'lik gücünde Lebit Enerji GES'in bilgileri, PVsyst V6.67-TRİAL programına yüklenmiş, simülasyon sonucu gerçek üretim bilgileri ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada değerler arasında % 0.56'lık bir fark olduğunu göstermiştir. Simülasyon programlarının yapılacak PV sistemler için yapılan fizibilite çalışmalarına gelecekte ciddi katkılar sunacağını göstermiştir [4].

Akcan, Kuncan ve Minaz 2020 yılında PVsyst simülasyonunu kullanarak yaptıkları araştırmada, hidroelektrik enerjiye alternatif olarak Batmandaki güneş enerjisinin elektrik üretimi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu kapsamda, Batman ilinde bir okulun çatısına kurulması planlanan santralin konumunu PVsyst programında işaretlemişler ve şehrin iklim verilerini, simülasyon programı ile Meteonorm 7.2 veri tabanından yapay ortamda ürettirmişlerdir. Sentetik olan meteoroloji verileri ile YEGM'den elde edilen veriler arasında çok büyük fark olmadığını görmüşlerdir. Hatta beklenenden fazla üretilen 35.31 MWh/yıl enerjiyi bölge şebekeye satılarak okul için ek gelir getirebileceğini görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada Fotovoltaik sistemin hidroelektrik enerjisine göre Batman için iyi bir seçenek olduğunu göstermişlerdir [5].

Öztürk ve Dursun yaptıkları çalışmada, sistem bileşenlerini, bileşenlerin seçimlerini ve hesaplarını içeren PV sistem analizi yapmışlardır. 2, 10 ve 20 kVA gücünde üç farklı sistemin şebekeye bağlı olma ve olmama durumlarını incelemişlerdir [6].

Ban Q, Shen H, Ai B, Liao X, Ji B yaptıkları değişik bir modellemede, çift eksenli ve üç adımlı güneş izleme sistemi geliştirmiş ve güneş açısına göre gün içerisinde bu üç konumu kullanarak sistemi çalıştırmışlardır. Elde edilen analizlere göre yapılan bu farklı sistemin sabit eksenli sisteme göre %72 daha yüksek verim alındığını belirtmişlerdir [7].

Nann S. yaptığı çalışmada, güneş takip sistemleri için 40° sabit açılı bir sistemden yola çıkarak maliyet ve ışınma verilerini kullanarak bir analiz yapmıştır. Ulaştığı değerlere göre, çift eksenli ve tek eksenli güneş takip sistemlerin üzerinde ışınma oranlarının sabit sisteme göre sırasıyla %38 ve %34 daha fazla olduğu değerlendirilmiştir. Buna ek olarak maliyet açısından takip sisteminin % 20 daha pahalı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bir diğer sonuç ise, iki eksenli takip sisteminin tek eksenli takip sistemine oldukça yakın değerler elde edilebildiği görülmüş, buna karşın bir eksenli sistemin maliyetinin iki eksenli sisteme göre 2 kat ucuz olduğunu belirtmiştir [8].

Altıntaş, Bingöl ve Öner tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, mikroişlemci denetimli çift eksenli bir güneş takip sistemi kurmuşlar ve sistemi test etmişlerdir. Algılayıcı olarak ışığa bağlı değişken direnç algılayıcı ve durdurucu olarak adım step

motorları kullanmışlardır. Güneş konumunun görüntülediği bilgisayar kullanmışlar ve mikroşlemci ile RS232 protokolünü kullanarak haberleşmişlerdir. Azimut 50° olarak belirlenmiştir. İki panel kullanarak yaptıkları çalışmada panellerden birini sabit diğerini hareketli olarak değerlendirmişlerdir. Panellerin sıcaklıklarının zamana göre değişimini küçük fark aralıklarıyla ölçümlemiş ve bilgi kümelerini oluşturmuşlardır. Fark aralıklarında dönüş açısını $5,2^{\circ}$ bandında tutmuşlardır. Sabit ve hareketli paneller arasında 9°C 'lik bir sıcaklık farkı gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda, sabit panel sisteminin hareketli güneş takip sistemine göre daha az ışıınım aldığını doğrulamışlardır [9].

Koyuncu ve Balasubramanian araştırmasında, mikrodenetleyici ile kontrol edilen iki eksenli güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Mikrodenetleyiciye bağlı iki sınır anahtarı kullanarak güneş panelinin batı ve doğu yönlerindeki en yüksek açılarını ve tanımlamış ve hareketi kısıtlı hale getirmişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen verilere göre panel ekseninin güneşin normalinde olduğu sürede en yüksek enerji üreteceğini iddia etmişlerdir [10].

Oral yaptığı çalışmada çift eksenli güneş takip sistemleri için iki tip yöntem; ekvatorial ya da kutupsal takip ile eğim ya da yükseklik takibi olarak belirtmiştir. Güneş takip sistemleri ile güneşten yansıyan ışımaunu en uygun şekilde alacak biçimde tutmaya çalışarak kazanılacak enerjiyi en yüksek hale getirmeyi hedeflemiştir. Sonuç olarak ise, dikliğin sağlamada yüksek çözünürlüğe gerek olmadığını, öyle ki dik açıdan en uygun 10° derece kaymada dahi üretim veriminin % 98.5'in üzerinde olduğunu deneyimlemiştir [11].

Aydın yaptığı çalışmada 45° derece sabit açıyla 70 W 'lık kuzey yönünde konumlandığı güneş panelinin değerleri ile güneş açısına göre yer takibi yapan ve yine 70 W 'lık panelin çıkış değerlerini bularak yüksek verim hesabı karşılaştırılması yapmıştır. Panele güneşe göre uygun açıyı sağlamak ve ilgili hesaplamalar ile kronolojik takip yapmayı başarmıştır. Hareketli sistem ile sabit sistemi karşılaştırmış analizini, 7, 12 ve 20 Mayıs 2016 tarihlerinde aldığı veriler ile yapmıştır. Belirtilen günlerde ve belli zamanlarda kazanılan verim sabit sistem için sırasıyla %19,7, %37,9 ve %21,9 iken aynı zaman diliminde hareketli sistemden elde edilen verim sırasıyla %26,45, %60,1 ve %54,9 olduğu

gözlemlenmiştir. Daha maliyetli olduğu belirtilen hareketli sistemin sabite göre ortalama %47 oranında daha verimli olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde hareketli sistemin daha verimli olduğu bu çalışmada bizlere gösterilmiştir [12].

Ghazi yaptığı çalışmada, Irak'ın Necef kentindeki çöl arazilerini sulamak için Matlab Simulink programını kullanarak güneş enerjili yeraltı suyu pompalama sistemi modellemiştir. 12500 m² arazi sulaması için 5.5 kW iki kuyu pompası ve 0.78 kW tank pompasının kullanımı durumunda pompalama hızını 83.4 m³/gün olarak hesaplamıştır. Program ile gereken panel adet ve gücünü hesaplamış, modelleme sonuçlarını yorumlamıştır. Sulama sistemini çalıştırmak için gereken enerji ihtiyacını modellenen bu sistem ile sulayabileceği gösterilmiş olup, kırsal alan sulamalarında verimli ve etkili bir çözüm olabileceği önermiştir [13].

Baş yaptığı çalışmada, Marmara adasına konumlandıracağı rüzgâr türbinleri ve Marmara Üniversitesi Göztepe yerleşkesine yerleştireceği güneş panelleri ile üniversitesinin elektrik ihtiyacını karşılayacak sistem modellemiş ve bunu HOMER programı ile simüle etmiştir. Sonuç olarak da gerekli sayıda rüzgâr türbini ve PV paneli kullanılırsa, yerleşkenin tüm elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacı karşılanabileceğini göstermiştir hatta fazla enerjiden de üniversiteye ek gelir getireceğini sunmuştur [14].

Kuzucu yaptığı çalışmada, Edirne ilinde tarımsal sulama için şebeke elektriği yerine alternatif fotovoltaik sistemler kullanılırsa, sistemin maliyetini ve geri ödeme sürelerini ele almıştır. Fotovoltaik sistem için gerekli olan toplam; güneş panellerinin gücü, inverter gücü, şarj regülatörü gücü, akü kapasitesi gücü ve elde edilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplamış ve araştırma da gerekli olan panel gücü 149.945,250 kW ve elde edilecek elektrik enerjisi 404.722.988,00 kWh olarak bulmuştur. Kurulacak sistemin ömrü 25 yıl olarak düşünüp sistemin kendini geri ödeme süresini de 7 yıl olarak kabul ettiğinde, devlet destek bedeli kullanılarak güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile tarımsal sulama yapmanın uygun olacağını belirtmiştir [15].

Kınalı yaptığı çalışmada, Konya ve Karaman illerinde Mevlana Kalkınma Ajansı tarafından desteklenen Güneş Enerjisi Üretim Tesislerinin gerçek tasarım modelleri ve

üretim verilerini PVSyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon programları ile değerlendirip hata yüzdelerini raporlamıştır. Ortalama %4 hata payı olduğunu ve programlardaki sonuçlar ile gerçekteki verilerin yakınlığı karşısında programların güvenilir olduğunu belirtmiştir [16].

Alıcı yaptığı çalışmada, Çukurova bölgesinde üç farklı sitemi örnek teşkil edecek şekilde 400 W'lık panelden oluşan sistemler kurmuştur. Sabit sistem, tek eksen güneş takip sistemi ve çift eksen güneş takip sistemini aynı ortam koşullarında çalıştırmış ve üretim verileri karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda güneş takip sisteminin önemi ve daha fazla elektrik üreteceğini vurgulamıştır [17].

Beyarslan yaptığı çalışmada, şebekeye bağlı bir köyde ekonomik bir çözümle elektrik maliyetini ve karbon ayak izini azaltmak için HOMER programını kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarında oluşan hibrit sistem modellemiştir. Köy için günlük güç ihtiyacı (talep), tepe yük, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı verileri toplamıştır. Daha sonra elektrik yükü ve fotovoltaik modüller (PV), rüzgar türbinleri, küçük hidroelektrik santrali, batarya veya elektrolizör, yakıt hücreleri ve hidrojen depolamanın herhangi bir kombinasyonundan oluşan en uygun bir mikro şebeke sistemlerinden oluşabileceğini değerlendirmiş ve ekonomik olması açısından depolama sistemini işleme katmamıştır. Bireysel ve çalışma ortamlarının kombinasyonları oluşturularak hem ekonomik hem de çevre dostu çözümler üretilebileceğinin göstermiştir [18].

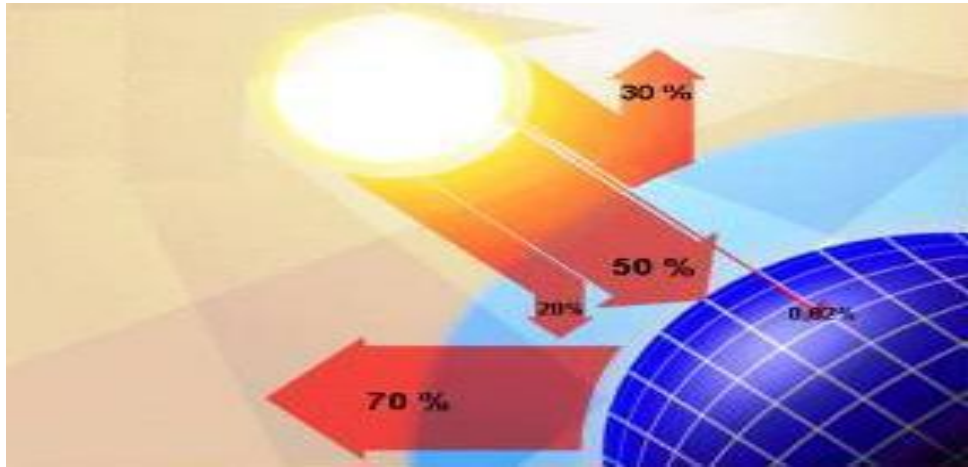
BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Küresel Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon tepkimesi sonucunda meydana çıkan ışıınım enerjisidir. Güneşteki gazın (hidrojen) helyuma dönüşmesi sırasında meydana gelir. Atmosferin dış kısmında güneş enerjisi şiddeti, yaklaşık 1370 W/m² değerindedir, atmosfer tabakalarından geçişte kayıplardan dolayı yeryüzüne 250 W/m² değeri düşmüş olarak ulaşır. Bu kaybın bizim için önemi yoktur zira geçebilen enerjinin küçük bir bölümü dahi tüketimimizden kat ve kat fazladır. Güneş enerjisinden faydalanabilme konusu ilk keşiften sonra 1970'lerden sonra ivme kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojileri geliştirilmiş ve maliyet olarak düşüşe geçmiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [19].

Güneş ile dünya atmosferi arasında 150 milyon km mesafe vardır. Dünya'ya gelen enerji tüketilen enerjisinin yaklaşık 20.000 katıdır. Güneş ışıınımı atmosfer katmanının sayesinde tamamı yer yüzeyine ulaşmadan, %30'u ile geri yansıtılır. Işıınımın %20'si atmosfer ve bulutlar tarafından tutulur [20]. Şekil 2.1'de Güneş ışıınlarının Dünya yüzeyine geçiş yüzdeleri gösterilmiştir.



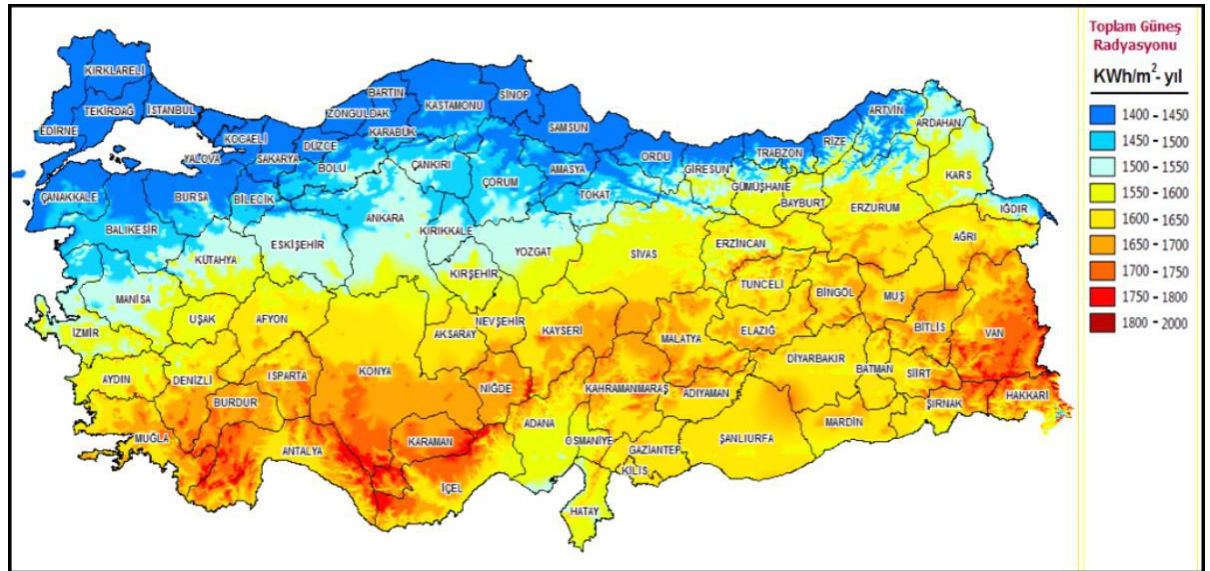
Şekil 2.1. Güneş Işıınlarının Dünya Yüzeyine Geçiş Yüzdeleri

Işınımının kalan yarısı atmosfer katmanını geçerek yeryüzüne ulaşır. Bu ulaşan enerji ile Dünya sıcaklık derecesi artar ve yeryüzünde canlıların yaşaması imkan sağlar. [20].

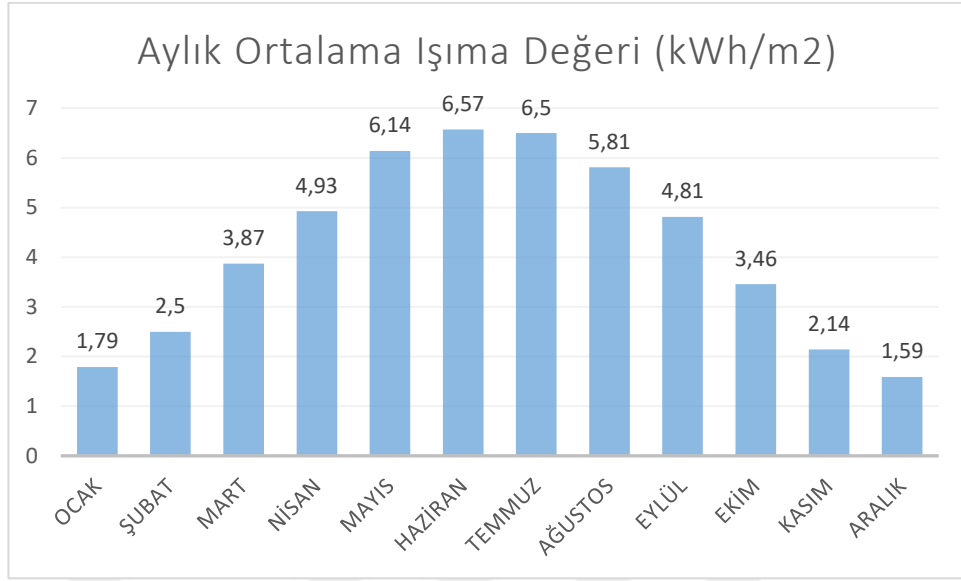
Güneş enerji sistemleri malzeme, yöntem ve teknolojik düzey açısından farklılık göstermek ile beraber ısı güneş ve PV güneş sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Isıl güneş sistemlerinde öncelikle güneş kaynağından ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirdiği gibi aynı zamanda da elektrik üretiminde de kullanılabilir. PV sistemlerde ise PV hücreler olarak adlandırılan yarı iletken olan malzemeler girdikleri kimyasal tepkimeler ile güneş ışığını direkt olarak elektriğe çevirirler [20].

2.2. Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye coğrafi olarak 26° ile 45° doğu boylamları ve 36° ile 42° kuzey enlemleri arasında olması sebebiyle, güneş kuşağı içindedir ve yüksek güneş enerji potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.2'de GEPA haritasında da genel potansiyel ve ortalama global ışınım verileri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere Türkiye'nin güneşlenme konusundaki potansiyeli oldukça yüksektir.



Şekil 2.2. GEPA Haritası [21]



Şekil 2.3. Aylık Ortalama Global Işıma Dağılımı [21]

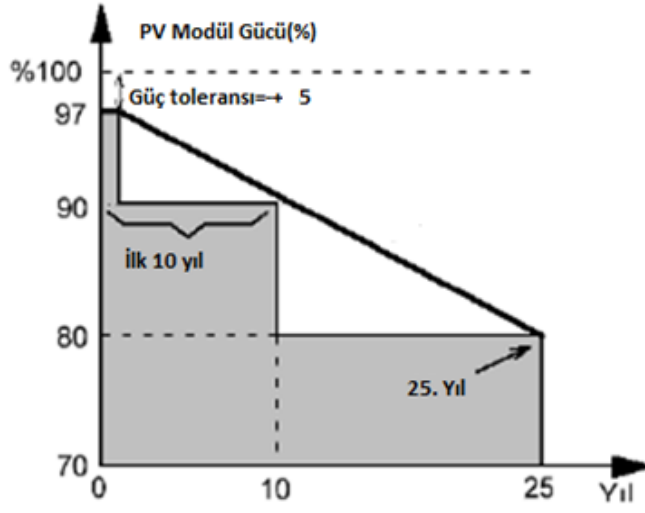
2.3. Fotovoltaik (PV) Güneş Enerjisi Teknolojileri

Fotovoltaik (PV) güneş teknolojileri, üzerine düşen güneş enerjisinin kullanılabilir enerjiye çeviren sistemlerdir. Bu sistemler panel, evirici DC-AC kablo, transformatör, koruma elemanları gibi daha da fazla bileşenin bir araya getirilip birleştirilmesi ile oluşturulur. Ana malzeme olan panel ile de güneş ışığını soğurup elektriğe çevirir. Ülkemizde çevreye bakarak bile fark edilecek kadar kullanımı yaygınlaşan FV teknolojileri güneş paneli, güneş hücresi, güneş ve FV panel gözeleri gibi çok çeşitli isimlerle adlandırılmaktadır.

Fotovoltaik panel yarı iletken malzemeden oluşan güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Hammadde olarak yarı iletkenliğini sağlayan silisyum elementi kullanılır. Fotovoltaik paneller yapısı ile değişkenlik gösterebilen % 5 ile % 30 arasında verimle çalışabilirler. Panelleri seri ya da paralel bağlayarak yüksek güçte sistemler oluşturulabilir.

Fotovoltaik sistemde ana malzeme panel olduğu için sistemin ömrünü kullanan panel ömrü belirlemektedir. Bu sebepten tercih edilen güneş paneli garanti belgesi önem kazanmakta ve sertifikalı güneş panelleri tercih edilmelidir. Çoğu üretici 25 yıl kadar % 80 verimle çalışacak panel gücünü garanti vermektedir. Şekil 2.3'de garanti süresi eğrisi

verilmiştir. Diğer taraftan FV panellerin güç toleransı ± 5 olarak belirtilmektedir. Örneğin 450W'lık bir panelin güç toleransı 5 ise gerçekteki gücü 445 W ile 455 W arasında olabilir. Bu vaziyet bir FV sistemde uyumsuzluktan kaynaklı kayıpları arttıran bir etkendir ve bu kayıpları azaltmak için toleransı düşük panellerin kullanılması uygun olacaktır [22].



Şekil 2.4. FV Panel Garanti Süreleri (16)

2.3.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojilerinin Tarihsel Süreci

Fotovoltaik teknoloji tarihsel olarak araştırıldığında 1839 yıllarında fotovoltaik etki prensibinin keşfi ile başladığını söyleyebiliriz. Bu prensibe göre ışığın panele vurup zayıf elektron bağlarını kopararak elektrik akımı meydana getirir. Fransız fizikçi A. Edmond Becquerel, iletken bir çözelti ortamında elektrotlar arasındaki gerilimin, ortamdaki ışığa bağlı olduğunu fark etmiştir.

1876 yılında G.W Adams ve R.E Day tarafından da selenyum kreistali gibi katı maddelerde benzer olayın gerçekleştiğini keşfetmişlerdir. Amerikalı mucit Charlets Fritts 1883 yılında ilk çalışan selenyum hücreyi bulmuştur. Elektrik dönüşüm verimliliğinin %1 olması ve yüksek maliyetinden dolayı olumlu sonuçlar alınamamıştır [23]. 1900 yılında Planck tarafından ışığın kuantum yapısı ileri sürülmüştür. 1905 yılında Albert Einstein, fotokimyanın temeli olan fotoelektrik olayını açıklamıştır. Buna göre ışık; ışık kuantumlarından oluşmaktadır. İzleyen yıllarda bakır oksit ve selenyuma dayalı foto

diyotların, ışık metre olarak fotoğrafçılıkta kullanımı yaygınlaşmıştır. 1930'lu yıllarda Alman bilim adamı Bruno Albert Lange çalışmalarını selenyum tabanlı fotovoltaiik hücreler üstüne yoğunlaşmıştır. Verimi %1 dolaylarında olan selenyum temelini esas olan fotovoltaiik hücreyi yeniden üretmiştir. Ancak maliyet ve verimin düşüklüğünden dolayı talep görmemiştir. Amerikalı bir Mühendis olan Russell Shoemaker Ohl 1939 yılında yarı iletkenlerdeki PN bağlantısını keşfetmiştir. Bell laboratuvarlarında diyot ve transistör tabanlı çalışmalarını sürdürürken 1946 yılında modern fotovoltaiik hücrenin patentini almıştır [24].

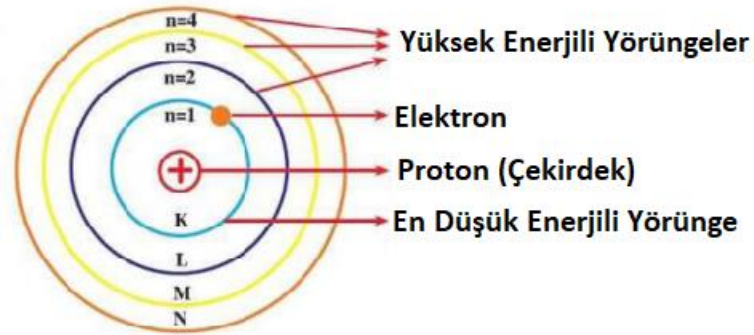
Gerçek anlamda güneş enerjisini elektriğe dönüştüren fotovoltaiik diyotlar 1954 yılında bulunmuştur. Calvin Souther Fuller, Darly Chapin, Geral Pearson tarafından silikon kristali üzerinde yapılmıştır. Hücre güneş enerjisini %6 verimle elektrik enerjisine enerjisi çevirmiştir. Bu hücre Bell laboratuvarında geliştirilip, tanıtılmıştır. Bu tarih fotovoltaiik enerji sistemlerinde bir milat olarak kabul edilmiştir [25].

1970'li yıllara kadar fotovoltaiik hücrelerin kullanılmasının ufak lokal uygulamalar dışında uzay teknolojisiyle sınırlı kaldığı söylenebilir. 1970 li yıllarda meydana gelen petrol krizi alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir. Fotovoltaiik temelli araştırma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Kristal temelli fotovoltaiik hücrelerin geliştirilmesi yönündeki çalışmaların yanında, yeni teknoloji hücre üretim çalışmaları da gelişmiştir. Bunun sonucunda 1976 yılında ince film(a-Si), 1980 yıllarda ise Kadmiyum Tellur gibi değişik materyallerde hücre üretimine başlanmıştır. 1980'li yılların sonunda hücre verimleri %19 seviyelerine ulaşmıştır. 1990'lı ve 2000'li yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde kayda değer verim artışları olmuştur. Günümüzde araştırmalarda kullanılan fotovoltaiik hücrelerin verimleri laboratuvar şartlarında kristal hücrelerde %28, ince film hücrelerde %21 seviyesine ulaşmıştır. Bu değerler mevcut piyasada kullanılan modüllerde daha düşüktür.

Teknoloji ve sanayideki gelişmeler, talep artışları ve ihtiyaçların gelişmesi ile birlikte fotovoltaiik sistem teknolojileri saat, hesap makineleri, sokak aydınlatmaları, çatı üzeri yerleşimleri ve açık alanlara yerleşimleri ile kurulan güneş enerji santralleri elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır [26].

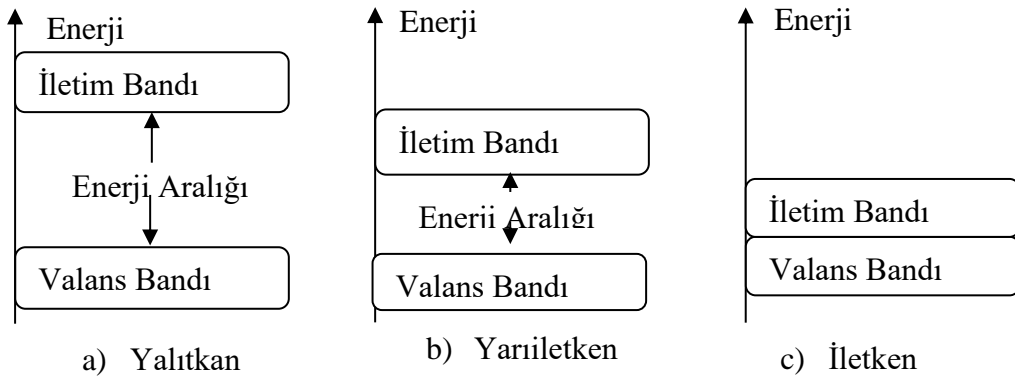
2.3.2. Fotovoltaik Teknolojide Yarı İletken Maddeler

Fotovoltaik hücre; üzerine güneş ışınımı düştüğünde doğrudan elektrik akımı üreten yarı iletken teknolojisine ile üretilen bir yapıdır. Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensipleri anlamak için yarı iletken maddelerin çalışma prensibini bilmek gerekir. Elektron hareketlerine göre maddeler üçe ayrılır. Bunlar elektrik akımına karşı gösterdikleri dirence göre iletken, yalıtkan ve yarı iletken olarak gruplandırılır.



Şekil 2.5. Atom Yapısı [27]

Atomlar, merkezlerinde varolan bir çekirdek ve çekirdeğin çevresindeki yörüngelerde dolaşan elektronlardan oluşmaktadır. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi elektronlar, bulunduğu yörüngenin yarıçapıyla doğru orantılı olarak kinetik ve potansiyel enerji sahibidirler. Bunun neticesinde en dış kabukta en yüksek enerjili elektronlar vardır valans elektronu da denir. Maddelerin iletkenliği valans grubundaki elektronlar ile belirlenmektedir. Son yörüngedeki elektron sayısı 4 adet olana yarı iletken, dörtten az olan maddelere iletken, fazla olanlara da yalıtkan denir. Şekil 2.6'da maddelerin enerji band diyagramlarına göre sınıflandırılması gösterilmektedir [27].



Şekil 2.6. Maddelerin Enerji Bandı Diyagramı [21]

Fotovoltaik hücre yapımında çoğunlukla hammadde olarak bir yarı iletken olan silisyum kullanılır. Mevcut her silisyum atomunun dört adet valans (değerlik) elektronu bulunur. Tüm atomlar gibi bu silisyum atomu da 4 adet değerlik elektronu ile bağ kurar ve kararlı hale gelir. Bu elektron bağı harici ısı ve ışık gibi faktörlerle bozulabilir. Bu dış etki neticesinde kopan elektron serbest hareket ederek kendinden iletim diye tanımlanan kristal yapıda boşluklar oluşturur. Saf silisyum elementini, dış katmanında bulunan elektron sayısı beş adet ya da üç adet elektron bulunduran atomlar ile katkılanır. Bu katkılama işlemi neticesinde kristal yapıda örgü bozulmaları meydana gelir ve N-tipi ve P-tipi yarı iletken maddeler oluşur [28].

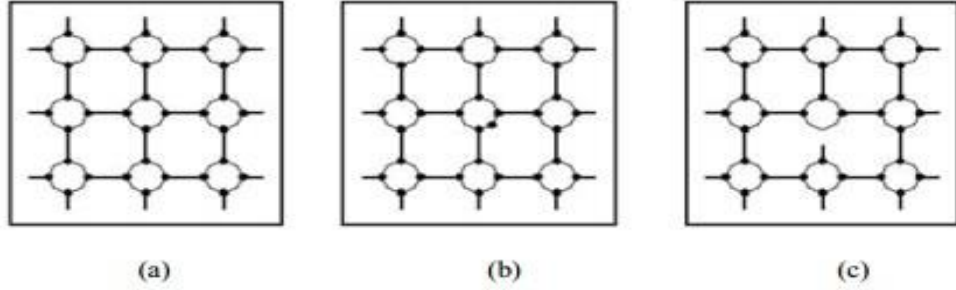
2.3.3. N- tipi Yarı İletken Maddeler

Saf haldeki yarı iletken elemente, son yörüngesinde 5 adet valans elektronu bulunan bir element katılırsa bu iki element bağ oluşturur. Katkı olarak kullanılan atom bileşiğin açıkta kalan beşinci elektronu serbest hale geçerek kural dışıca dolaşabilir. Katkılama işlemindeki serbest olarak gezen elektron miktarı, eklenen 5 valans elektronlu atom bileşenlerinin sayısı ile aynıdır. Katkılanan bileşim içinde serbest elektronlar ve hareket edemeyen pozitif yüklü iyonların haricinde, saf yarı iletken elementinden ısı işlemi ile uyarılma ile kopan elektronlar ile bunların kopması sonucu oluşan boşluklar da vardır. Netice olarak yapının içinde negatif yüklü elektron sayısı pozitif yüklü boşluktan fazla olacaktır. Bu yarı iletkenlere N-tipi yarı iletken denilmektedir [28].

2.3.4. P- Tipi Yarı İletken Maddeler

Saf haldeki yarı iletken elemente, son yörüngesinde 3 adet valans elektronu bulunan bir element katılırsa bu iki element bağ oluşturur. Katkı olarak kullanılan atom saf haldeki iletken elementten negatif yüklü elektronları kendisine çeker. Kalan boşluklar ve pozitif yükler yapı içinde serbestçe dolaşabilir. Katkılama işleminden sonra yapı içinde elektron-boşluk çifti ve pozitif iyonların sayısı daha fazla olduğu için ortaya çıkan yeni iletken P-tipi yarı iletken adını alır [28].

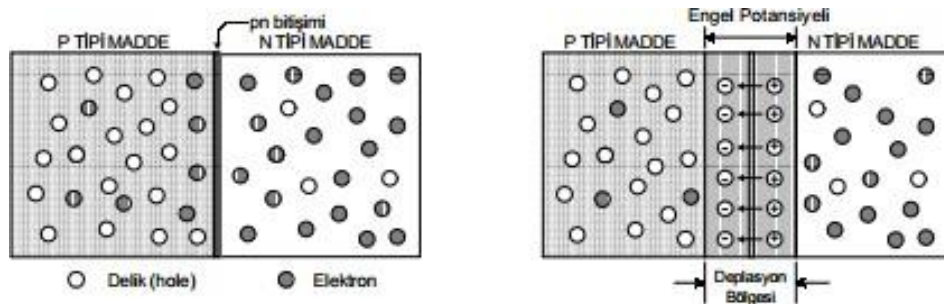
Şekil 2.7’de saf hali ile silisyum yarı iletkeni (a)’da, 5 valanslı fosfor elementi ile katkılanmış yapısı (b)’de ve 3 valanslı bor elementi ile katkılanmış yapı neticesi (c)’de gösterilmiştir [28].



Şekil 2.7. İletkenlik Enerji Band Diyagramı [22]

2.3.5. PN Eklemi

N tipi ve P tipi katkılama işlemlerine tutulmuş her madde ayrı ayrı incelendiğinde belirli bir yönde hareketlerinin olmadığı görülür. P-tipi ve N-tipi yarı iletkenler birlikte kullanılarak bir eklem oluşturulduğunda, P-tipi iletkeninde bulunan boşluklar N-tipi ucuna doğru aynı zamanda N-tipi iletkeninde bulunan elektronlar da P-tipi ucuna doğru yayılmaya başlar. Bu olaya difüzyon etki denir. Difüzyon etkisi ile serbest tanecikler harekete geçer. P-tipi ucunun N-tipi ucuna yakın kısmında eksi yük fazlalığı ve N-tipi ucunun P-tipi ucuna yakın olan kısmında ise artı yük fazlalığı olduğu gözlenir. Böylelikle elektron hareketinin tersi yönünde bir elektriksel alan meydana gelir. Elektrik alanda yükler dengelene kadar geçiş devam eder. Sonucunda oluşan bölgeye PN eklemi denir ve bu eklem diyot gibi davranır. Şekil 2.8’de PN ekleminin oluşumu gösterilmiştir [29].

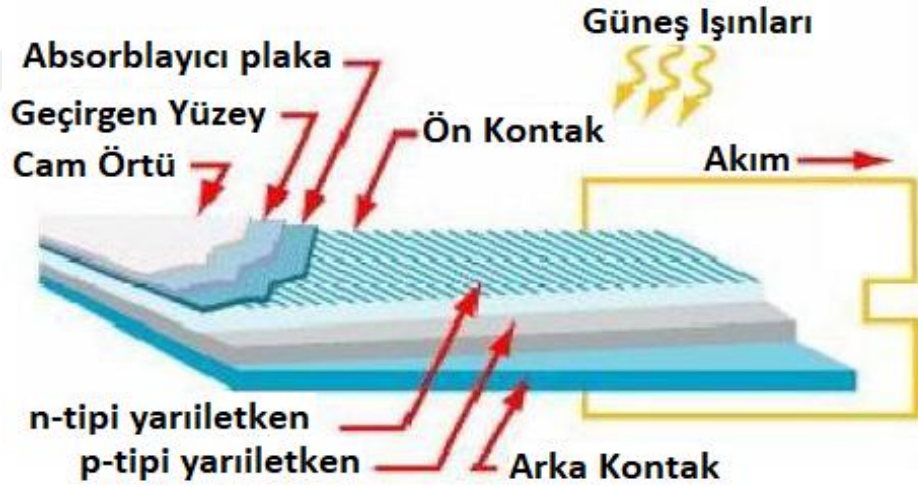


Şekil 2.8. PN eklemi oluşumu [29]

2.3.6. Güneş Hücresi

Fotovoltaik (PV) kelimesinin kökenine bakıldığında ışık anlamına gelen “photo” ve gerilim ya da elektrik üreten anlamına gelen “voltaic” sözcüklerinin birleşiminden oluştuğu görülür. Kelime anlamı olarak ışıktan elektrik üretimi anlamına gelen PV, yarı iletken malzemeler olan PV piller ile güneşten gelen ışınının direkt olarak elektriğe dönüştürülmesine dayanmaktadır.

Güneş hücreleri PV sistemin en temel birimidir ve güneş ışınlarından elektrik üretir. Güneş hücresi olarak bir adet fotovoltaik hücreden oluşabileceği gibi, birden fazla sayıda fotovoltaik hücrelerin seri veya paralel olarak birbirine bağlanması ile de oluşabilir. PV hücrenin yapısı yarıiletken malzemeler kullanılarak p-n ekleminden oluşan ışığa karşı duyarlı bir diyot olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle; PV hücre, ışıktan elektrik üreten bir diyottur [30].



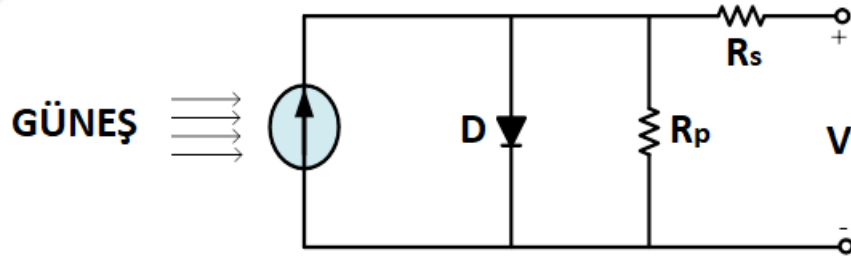
Şekil 2.9. Güneş Hücresi [30].

Bir PN yarı iletkeninden oluşan fotovoltaik hücreye ışık etki ederse, ışıkta bulunan fotonlar elektronlar tarafından soğurulması ile elektronların bağları kırılmış olur. Bu elektronlar N bölgesine elektrik alanı yardımı ile çekilmiş olur. Meydana gelen delikler P bölgesine doğru ters yönde gider. Bu oluşum fotovoltaik olarak isimlendirilir. Elektrik iletkenlerine kadar yayılan bu yüklü parçacıklar fotovoltaik hücrede potansiyel bir güç oluşturur. Oluşan bu gerilim depolanamaz ve ışık ortadan kalktığı takdirde oluşmaz.

Fotovoltaik hücreler iletkenler yardımıyla başka devrelere bağlanarak kapalı bir devreyle yük oluşturulur. Böylelikle fotovoltaik hücrede oluşan gerilim elektrik akımına dönüştürülür [31].

2.3.7. Güneş Hücre Eş Değer Devresi

Güneş hücrelerinin elektriksel özelliklerini ve davranışlarını matematiksel açıdan değerlendirebilmek için, hücrenin elektriksel eş değer devresi kullanılır. Şekil 2.10' da fotovoltaik bir hücreye ait tek diyotlu elektriksel eş değer devresi verilmiştir. Bu devre şemasında görüleceği üzere I_{ph} foton enerjisinden elde edilen akımı, I_d diyot akımını, I_{sh} sızıntı olarak adlandırılan akımı, R_{sh} paralel bağlanan direnci, R_s seri bağlı direnci, ışınım değeri 1000 W/m^2 , T sıcaklık değeri, I_0 diyotun sızıntı akım son olarak V de ise PV hücredeki gerilimi ifade etmektedir. I_{ph} akımı hücre üzerine düşen ışınımına bağlı olarak ters orantılıdır. I_d akımı ters doyma akımına ve gerilime bağlı olarak değişebilir. I_{sh} ise PN eklemının birleşme yüzeyindeki gerilimine bağlantılıdır.



Şekil 2.10. Fotovoltaik Bir Hücreye Ait Elektriksel Eş Değer Devre Şeması [32].

Şekil 2.10 ile gösterilen devre şemasında akım miktarını hesaplamak için Kirchhoff'un akımlar kanunu uygulanır ve akım değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır [32].

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{Denklem 2.1})$$

$$I_{ph} = \frac{G}{G_n} [I_{phn} + \alpha(T - T_n)] \quad (\text{Denklem 2.2})$$

$$I_d = I_0 \cdot \left[e^{\left(\frac{q(V + IR_s)}{NKT} \right)} \right] \quad (\text{Denklem 2.3})$$

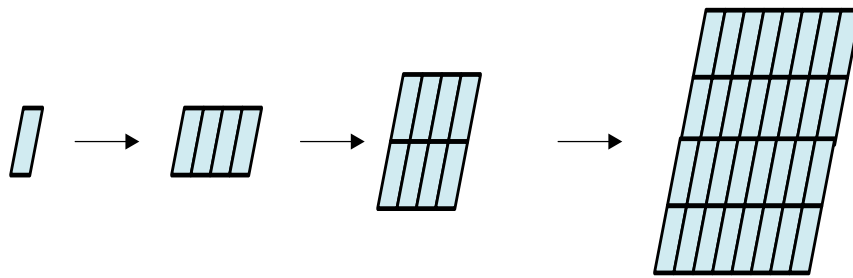
$$I_{sh} = \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (\text{Denklem 2.4})$$

Denklem 2.2, 2.3 ve 2.4'ü kullanarak Denklem 2.1'de yerine koyarsak neticesinde fotovoltaik hücrenin akım gerilim (I-V) grafiğini elde edebiliriz. Bu yerleşim aşağıda Denklem 2.5 ve 2.6 ile ifade edilebilir.

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[e^{\left(\frac{q(V+IR_s)}{NKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (\text{Denklem 2.5})$$

$$V = \frac{NKT}{q} \left[\frac{I_{ph}+I_d-I}{I} \right] - R_s I \quad (\text{Denklem 2.6})$$

K; boltzman sabitini ($K=1,38.10^{-23}$ j/K), N; diyot ideallik faktörünü ($N=1,2$), q; bir elektron yükünü ($q=1,6.10^{-19}$) ifade etmektedir ve değerleri sabittir. Bir fotovoltaik hücre 0,5 V ile 0,7 V gibi çok küçük bir gerilim oluşturur. Bu sebeple günümüzde kullanılan paneller için hedeflenen gerilim değerini elde ederken hücreleri 60'lı,72'li veya 144'lü seri bağlayarak fotovoltaik panel üretilir [33]. Bu durum aşağıdaki şekil ile gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Tek Bir Hücrenin Panele Dönüşümü [33].

2.4. Fotovaltaik Hücre Tipleri

Hücre tipleri kristal yapılı silisyum hücreler, İnce film hücreler ve nano dokulu PV hücreler olmak üzere üç gruba ayrılır. Birinci grup kristal yapılı silisyum hücreler de tekli kristal ve çoklu kristaller olmak üzere ikiye ayrılır.

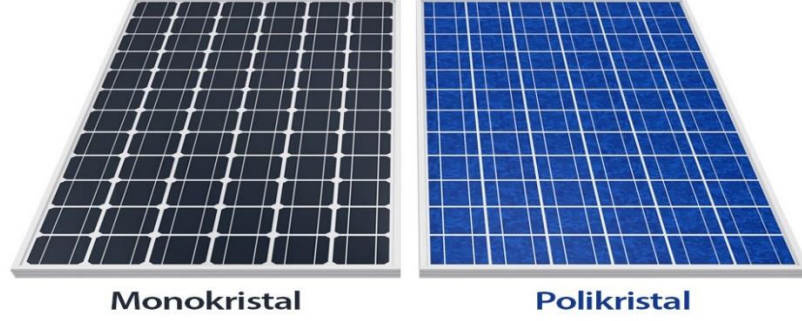
2.4.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Hücreleri

Kristal yapılı silisyum hücrelerin en önemli yarı iletken elementi silisyumdur. Oksijen elementinden sonra doğada en çok silisyum elementi bulunur. Güneş hücrelerinin yapısında kullanılan silisyum doğadan alınır ve saflaştırılarak kullanılır. Doğadan alınan silisyum dioksit bileşiği yüksek sıcaklıkta ısıtılarak işlem uygulanarak bileşenlerine ayrılır. Silisyumun saflaştırılma işlemi uygulanmasının sebebi; atomunun yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin uzun süre, 20-30 yıl kadar, değişmemesidir ve bu sebeple güneş hücresi üretiminde en yaygın kullanılan elementtir. Kristal yapılı silisyum güneş hücreleri; mono-kristal ve polikristal pil olmak üzere ikiye ayrılır [34].

Mono-kristal silisyum piller, en maliyetli ve en eski yöntemle üretilmiş güneş hücresi tekniğidir. 1971 yılında Czochralski doğadaki silisyum dioksit bileşiğini yüksek sıcaklıkta eritmiştir. Bu eriyiğin içine küçük bir taş batırarak yavaş yavaş yukarı çekmiştir. Bu işlem neticesinde uzun tek kristalli silindir elde etmiştir. Bu silindir yapıdan farklı kalınlıkta kesitler alarak P tipi ve N tipi iletken malzeme elde etmiştir. Bu yöntemle 'Czochralski Metodu' denilmiştir. P-tipi ve N-tipi yarı iletken malzemeler bir araya getirilerek özel yapıştırıcılar kullanılarak birbirlerinden ayrılmayacak şekilde tutturulur. Bu yapıya yansıma önleyici cam tabaka eklenerek güneş hücresi oluşturulur. Günümüzde verimliliği %15-%18 arasında değişiklik gösteren en verimli yapıya sahiptir ve silisyum hücrelerin rengi koyu mavi-siyah aralığında bir renktir [35].

Poli kristal silisyum hücreleri saflaştırma işlemine maruz kalmadığından dolayı homojen yapıya sahip değildir. Bundan dolayı verimliliği mono-kristal güneş hücrelerine göre daha azdır. Hücre oluşturma işlemindeki basitlikten ötürü fiyatı mono-kristal güneş hücrelerine göre daha düşüktür. Poli-kristal güneş hücrelerinde yansıma önleyici cam

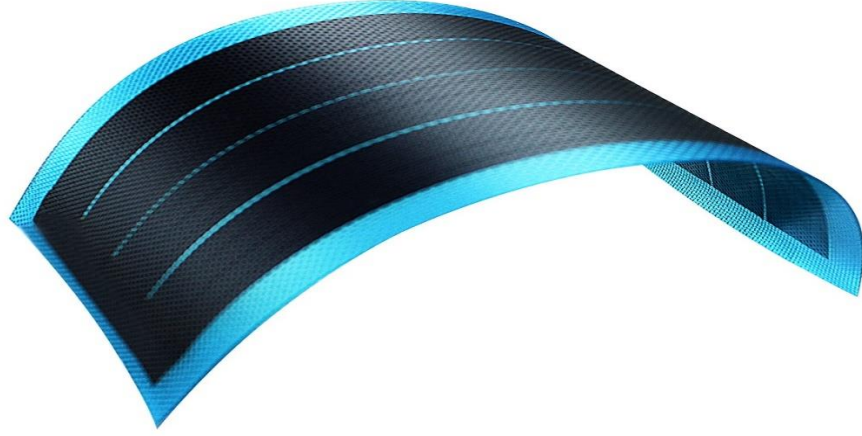
varsa mavi cam yoksa gümüş renkte görünmektedir [36]. Şekil 2.12’de mono kristal ve poli kristal silisyum güneş hücresi gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Mono Kristal Ve Poli Kristal Silisyum Güneş Hücresi Görseli

2.4.2.İnce Film (Thin Film) Güneş Hücresi

İnce film güneş hücreleri ilk olarak 1976-1980 yıllarında amorf-silisyum, kadmiyum tellür gibi farklı materyaller kullanılarak üretilmiştir. Bu hücre teknolojisinde yarı iletkenler ve kontaklar taşıyıcı olarak en sık kullanılan cam malzemeye katotlu buhar-magnetron püskürtmesi veya kimyasal buharlar yöntemi ile ince bir şekilde uygulanır. İnce film hücrelerin üretim aşamalarında daha az enerji ve malzeme harcandığı için tasarımları uygun fiyatlıdır. Fakat üretiminde kullanılan donanım maliyeti yüksektir. Şekilleri belli standartlarda olmayıp ince yapıya sahiptirler ve esnek olabilirler. Mono ya da poli kristal yapıli silisyum hücrelere oranla ışınları soğurma oranları yüksek olsa da çıkış akımları düşüktür. Verim açısından kıyaslama yapıldığında ise verimleri %8-%14 arasında olup, düşüktür. Şekil 2.13’ de ince film güneş hücresi gösterilmektedir [37].



Şekil 2.13. İnce Film Güneş Hücresi Görseli

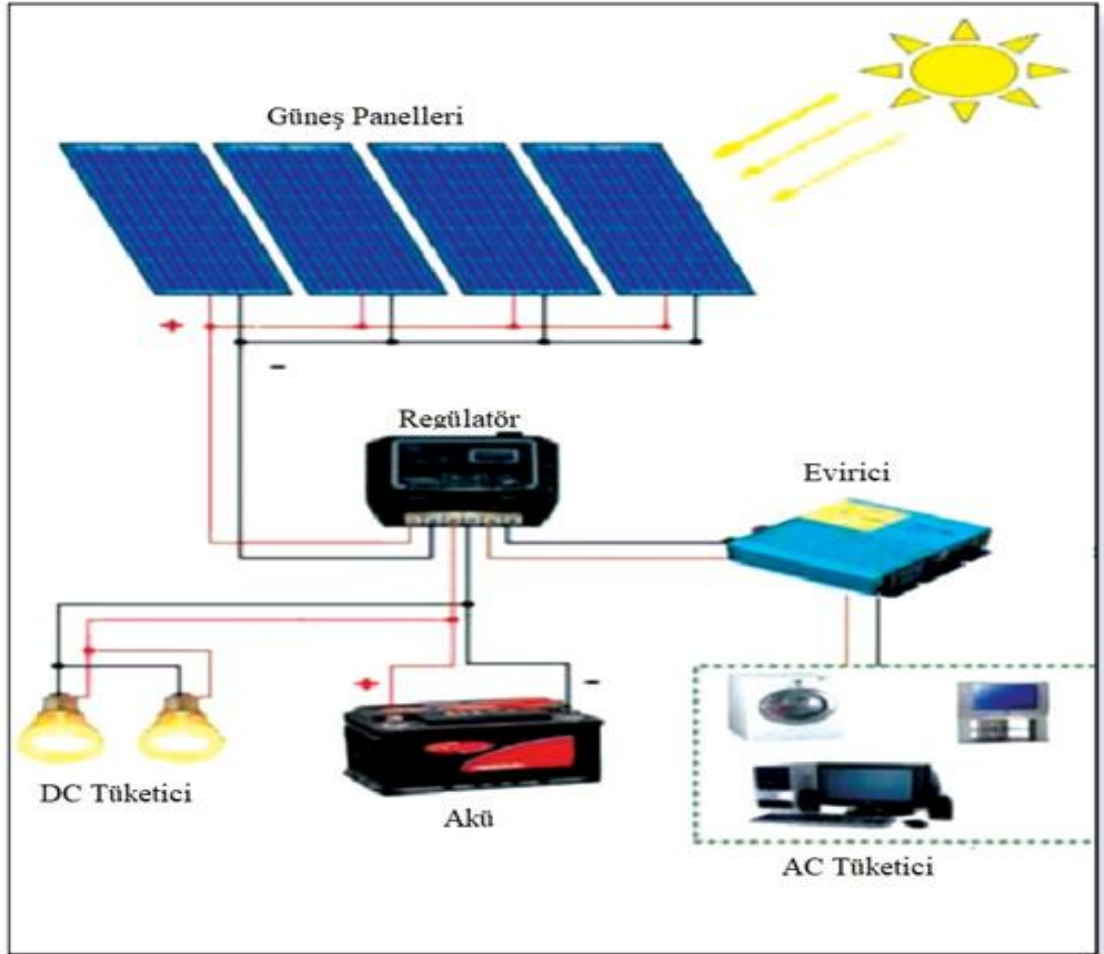
2.4.3. Nano Dokulu Güneş Hücreleri

Fotovoltaik hücre teknolojisinin en son gelmiş olduğu aşamadır. Araştırma ve geliştirme aşamasında olup, günlük ve ticari kullanımları yoktur. Organik ve inorganik materyallerin ayrı ayrı veya birlikte kullanılmasını mümkün kılacak teknolojiler üstünde çalışılmaktadır. Bu teknoloji günümüzde 3 temel üzerinde ilerlemektedir. Nano Dokulu CIS Hücreler, Organik FV Hücreler ve Plastik Güneş Enerjisi Hücreleri [38].

BÖLÜM 3

FOTOVOLTAİK SİSTEM BİLEŞENLERİ

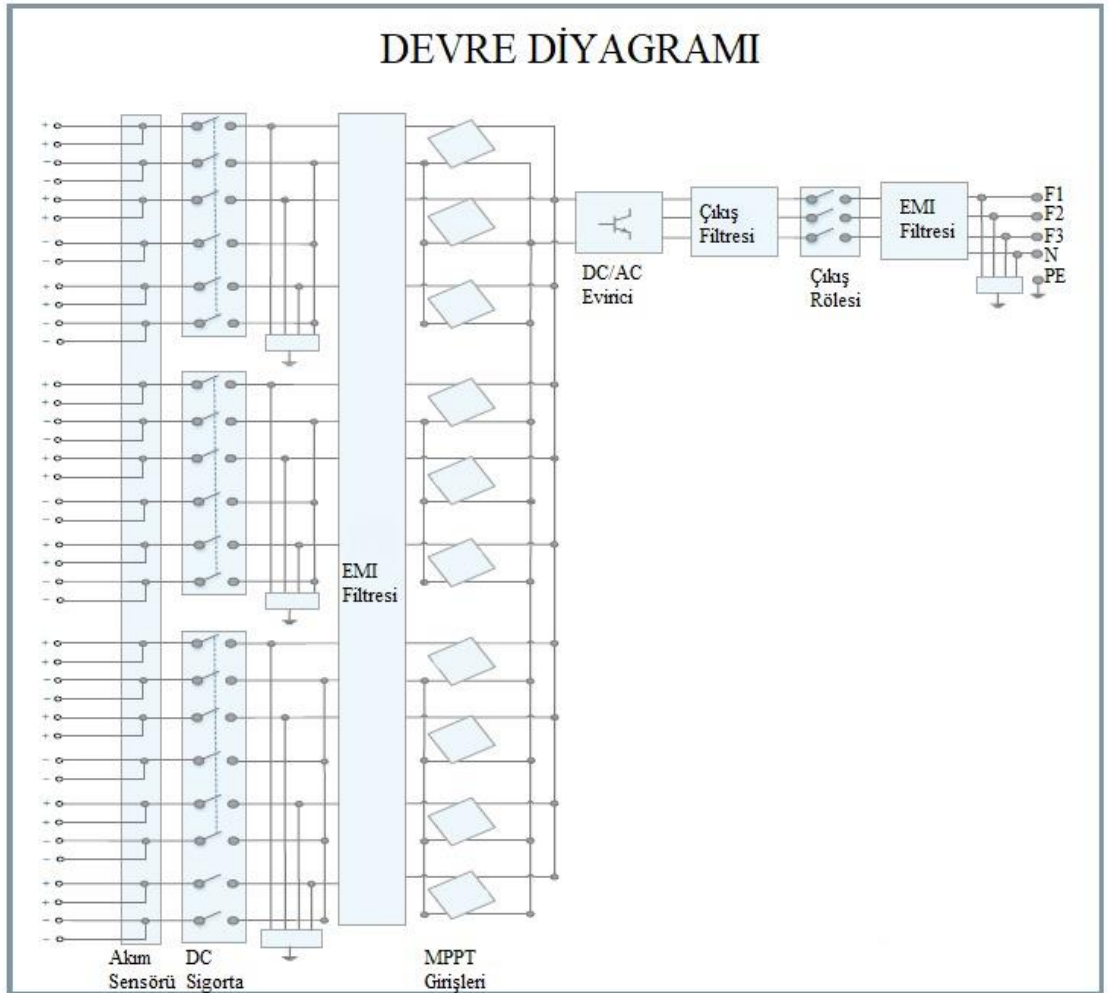
Fotovoltaik sistemler ihtiyaca göre düşünülüp birçok farklı bileşenlerden oluşabilir. Şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olarak tasarlanabilir. Çatı tipi ya da arazi tipi olarak da kurulum yapılabilir. Arazi kurulumlarında sabit veya hareketli sistem olarak tasarlanabilir. Bu sistemler fotovoltaik panellerden, taşıyıcı konstrüksiyondan, DC kablolardan, eviricilerden, AC kablolardan, pano, sigorta ve transformatörlardan gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Panelleri daha önceki konuda incelediğimiz için tekrar bahsetmeyeceğiz. Resim 3.1 de fotovoltaik sistem bileşenleri görseli verilmiştir.



Resim 3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri Görseli

3.1. Eviriciler

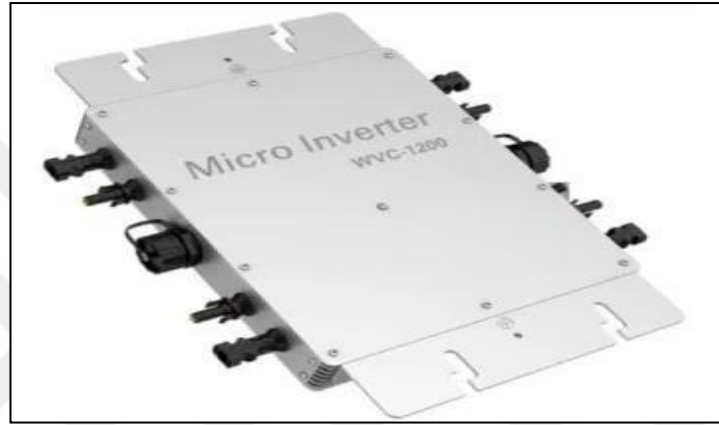
Eviricilerin diğer bir adı da invertördür. Evirici güneş panelleri çıkışında üretilen doğru akımı, alternatif akıma çeviren elemandır. Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan en önemli bileşenlerden biridir. Evirici genel olarak içindeki yazılımla maksimum güç ayarı yapar. Bunun yanı sıra üretim verileri evirici sayesinde biriktirilir ve bu veriler uzaktan bağlantı ile takip edilebilir. Hem AC hem de DC taraf için aşırı akım koruması ve aşırı gerilim koruması yapar ve fotovoltaik dizilerde oluşacak hatalara karşı koruyucu özellikleri vardır. Resim 3.2’de eviriciye ait içyapı görseli verilmiştir.



Resim 3.2. Evirici İçyapı Görseli

Eviriciler kullanım alanına göre 3 tiptedir. Bunlar mikro, dizi ve merkezi olarak gruplandırılır.

Mikro eviriciler; panel bazlı veya 2 panelde bir bağlantı yapılarak üretilen DC akımı AC akıma çeviren küçük güçteki eviricilerdir. Güçleri 200W-1500 W arasında değişmektedir. Sadece evirici özelliği olanları yanında maksimum güç takibi yapma imkânı sunan optimizier özelliğini de bulunduran modelleri de vardır. Bu evirici tipi DC kablolamadan tasarruf sağlar. Kurulu gücü düşük sistemlerde kullanılmaya daha müsait ekipmanlardır. Kullanımı pek yaygın değildir [39]. Bir örneği Resim 3.3'te görülebilir.



Resim 3.3. 1200W gücünde bir mikro evirici [39].

Dizi eviriciler; bir fotovoltaik sistemde birden fazla panel birbirlerine seri bağlanır. Birbirine bağlanan bu seri paneller paralel gruplar halinde evirici firmasının tasarımına göre direkt DC kablolar vasıtasıyla veya öncesinde bulunan DC toplama kutularıyla eviriciye bağlanarak DC gerilim AC gerilime dönüştürülür. Tasarımda kullanılacak maksimum panel sayısı ve tasarım şekli her üretici firma tarafından teknik veriler dokümanlarında bulunur. Dizi eviriciler genellikle küçük-orta güçlerdeki fotovoltaik sistemlerde tercih edilmektedir. Şu an yaygın kullanılmakta olan dizi eviriciler 1-185 kW güç çıkışına sahiptirler. Genellikle 1-6 kW çıkış gücüne kadar olanlar tek fazlı (220-250V) olarak, 6 kW üstü olanlar ise 3 faz çıkışlı (380-400V) olarak üretilmektedir [40]. Resim 3.4'te dizi evirici görülebilmektedir.



Resim 3.4. Dizi Evirici [40].

Merkezi eviriciler; dizi eviricilerden farklı olarak daha büyük güçteki uygulamalarda kullanılır. Merkezi evirici teknolojisi diğer evirici teknolojilerinden farklı bir tasarıma sahiptir. Bu eviricilerde paneller direkt eviriciye bağlanmaz. Dizi eviricilerden daha fazla panel gruplarının giriş yapılarak tek merkezden kontrol edilir. Evirici öncesi güneş paneller aynı zamanda DC korumasında olduğu bağlantı kutularında toplanarak birleştirilir. Merkezi eviricilerin alçak gerilim taraflarının voltaj değerleri normal dağıtım transformatörlerinde kullanılan 400V değerinden farklıdır. Evirici çıkışından sonra bu çıkış değerine uygun üretilmiş transformatörlere bağlantısı yapılarak şebekeye bağlantısı yapılır. Bu eviriciler transformatörlü veya transformatörüz olarak üretilmektedirler. Büyük güçlerde olduklarından genelde beton köşk veya konteyner benzeri özel üretilmiş yapılar içerisinde bulunurlar. 200kW'dan başlayıp 5 MW seviyesine kadar çıkış veren modelleri üretilmektedir.

Büyük güçteki santrallerde kullanıma uygun olan merkezi eviriciler aynı güce sahip dizi evirici kullanımına kıyaslandığında daha düşük yatırım maliyeti gerektirir. Aynı zamanda çok sayıda dizi eviricinin kullanılması daha fazla arıza kaynağı olabilir. Dizi eviricilerin genelde tamir yerine değiştirilme yoluna gidilmesi bakım ve yedek parça maliyetlerini arttırmaktadır. Öte yandan merkez eviricilerde herhangi bir arıza durumunda müdahale edilmesi ve tekrar devreye alınana kadar geçen sürede üretim kayıplarının çok fazla olması büyük bir dezavantaj olmaktadır. Merkezi eviricilerde arıza kaynaklı üretim kayıplarının minimuma indirilmesi ve işletme, bakım kolaylığı için modüler yapıdaki tasarımlar yaygınlaşmıştır. Örneğin 330 kW gücündeki merkezi bir evirici 55 kW gücündeki 6 modülün birleşiminden meydana gelir.

Bu sayede bir bileşen arızasında maksimum 55 kW kayıp olmakta, diğer bileşenler etkilenmemektedir. Üretim kaybı minimuma inerek, işletmede avantaj sağlar. Merkezi eviriciler dünyada ve ülkemizde büyük güçteki arazi tipi santrallerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Merkezi ve modüler merkezi evirici örnekleri Resim 3.5'te görülebilir [41].



Resim 3.5. Merkezi Eviriciler [41].

3.2. Bağlantı Ekipmanları ve DC-AC kablolar

Güneş panelleri çerçevenin arkasına montaj edilen pozitif ve negatif çıkışlı iki adet kablolu soket ile üretilir. Paneller arkalarında bulunan pozitif ve negatif dc kablolar ile birbirlerine seri veya paralel bağlanarak dizeleri oluşturur. Dizelerin birleşiminden kalan biri pozitif diğeri negatif uç DC kablolarla eviriciye taşınır. Bu DC kabloları korumak için evirici içinde DC sigortalar mevcuttur. Fotovoltaik tesislerde kullanılan soketler aynı markada, tipte ve TSE EN 50521(VDE 126-3) standartlarının gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Modül bağlantısı kutusu Resim 3.6'da görülebilmektedir.

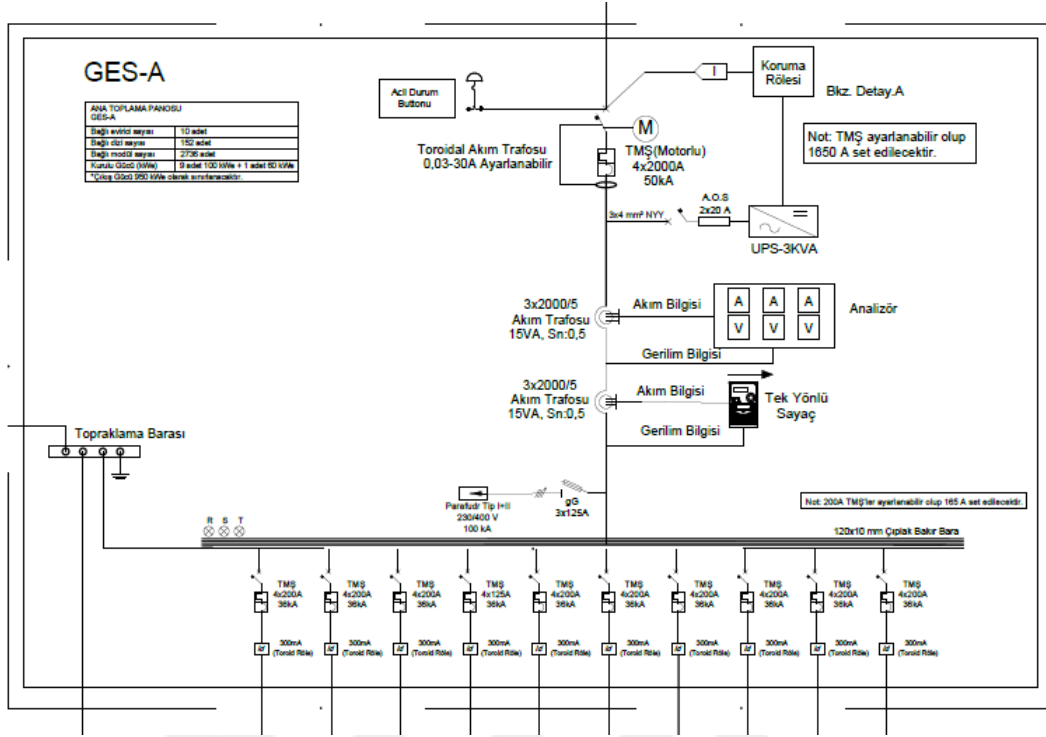


Resim 3.6. Modül bağlantı kutusu.

Güneş panellerinin oluşturduğu dizelerin sonundaki kablolar DC akımın eviriciye kadar taşınmasını sağlar. DC kablolar yüksek sıcaklık, değişen hava şartları, zorlu mekanik koşullar, UV ışınları, yağmur, rüzgâr, kar gibi hava şartlarına dayanıklı olarak üretilirler. 2017 yılında yürürlüğe giren IEC 62930 standartlarına uygun olarak üretilirler. Eviricilere taşınan DC akım bu noktadan sonra AC akıma dönüştürülür. Evirici çıkışındaki AC akımı panoya kadar taşımak içinde AC kablolar kullanılır. AC akım sistemin gerilimine göre alçak gerilim veya yüksek gerilim olarak devam eder kablo tipi buna göre değişkenlik gösterebilir. Kablo için TS HD 60364 (IEC 60364) standartları kullanılır [42].

3.3. Pano

Eviricilerden çıkan AC kablolar içinde bara ve koruma ekipmanlarının bulunduğu toplama panosunda birleştirilir. Şekil 3.1’de örnek bir panonun tekhat çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek Bir Panonun Tekhat Çizimi

Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi AC kablolar aşağıdan toplanarak koruma elemanlarıyla baraya bağlanmıştır. Pano her proje için özel olarak dizayn edilir. İhtiyaca göre ekipmanlar eklenir [43].

3.4. Taşıyıcı İskelet

Taşıyıcı iskelet sistemi bir diğer ismiyle konstrüksiyonlar, fotovoltaik sistemlerinin belkemiğidir. Tahmini 25-30 yıl üretim yapabilecek bir güneş enerji santralini, sıradışı durumlar haricinde üzerinde taşıyacak bu sistemler, bu teknolojinin uzun ömürlü bir şekilde varlığını sürdürebilmesi için kurulum yapılacak bölgenin çevresel ve iklim koşullarına dayanıklı olacak hesaplanmalı ve imal edilmelidir. Taşıyıcı sistemler, sistemin türüne göre çatıda ya da arazi üzerinde olabilir. Bu iki durum farklı değerlendirmelere tabiidir. Çatıda olan taşıyıcı sistemler, çatının konumuna ve ne durumda olduğuna göre seçilir. Kurulacak sistem, içinde bulunan koşullara göre yıllar boyunca pek çok kez sert rüzgârlara, doluya ya da ısı dalgalarına maruz kalabilir. Bu anlamda gözetilmesi gereken en önemli kıstaslar; kaliteli, belli standartlara ve koşullar doğrultusunda yapılan statik ve dinamik yüklere bağlı hesaplara dayalı malzeme, iyi bir zemin etüdü ve sağlam temelli bir montajdır.

Konstrüksiyonda doğru bir zemin tercihi için jeo-teknik çalışmalar kritik önemdedir. Bu çerçevede eğik-yatay çekme ve baskı testleri, toprak profilleri oluşturma, kimyasal analizler mutlaka yapılmalıdır. Çakma çelik konstrüksiyonlar beton kaidelere kıyasla çok daha ekonomiktir. Ancak bu noktada nasıl bir kazı ve doldurma yapıldığına göre değişen bir maliyet söz konusudur. Taşıyıcı sistem esneklik ve güçlü rüzgârlara karşı sağlam bir direnç sağlamalıdır.

Çatıya monte edilecek taşıyıcı sistemler, çatı tiplerine, güneş paneli türlerine, montaj yapılan alanın büyüklüğüne ve yine içinde bulunulan iklim şartlarına göre tasarlanmaktadır. Bu sistemler çatılara yani altında yaşam barındıran yapılara yapıldığından çatının yük kapasitesi, rüzgâr dayanım kapasitesi ve çatının yapısal etütleri maksimum derece güvenliği sağlayacak yönde değerlendirilir [44].

3.5. Güneş Takip Sistemi

Güneş enerji sistemlerinde maksimum verime güneş ışınlarının panel yüzeyine dik geldiği zaman ulaşılır. Bu sebeple güneş ışınlarını panel yüzeyine olabildiğince dik gelecek şekilde pozisyon almasına yardımcı taşıyıcı sistemler tasarlanmıştır. Bu sistemlere güneş takip sistemi veya güneş takip sistemi denilmektedir. Güneş takip sistemi sayesinde güneş enerjisinden gün boyu en verimli şekilde faydalanılmaktadır. Takip sistemleri hareket yönlerine göre sınıflandırılırlar. Tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki çeşit takip sistemi bulunmaktadır.

Tek eksenli sistemler, güneş panellerinin doğu-batı ekseninde hareketini sağlayarak en verimli şekilde üretim yapmayı sağlar.

Tek eksenli takip sistemlerin avantajları:

- Uzun bir kullanım ömrüne sahiptirler.
- Basit bir mekanizmaya sahip oldukları için sabit sisteme göre daha ekonomiktirler.
- Sabitlenmiş sistemlere kıyasla %30'un üzerinde verimlilik sağlarlar.
- Güneşi doğudan batıya takip ederek gün boyu olabildiğince tutarlı bir güç çıkışı sağlarlar.
- Sabitlenmiş sistemlere kıyasla %25-%35 daha fazla elektrik üretimi sağlanmasına destek olurlar.

Tek eksenli takip sistemlerinin dezavantajları:

- Çift eksenli takip sistemlerine kıyasla, güneşli günlerde üretilen elektrik daha azdır.
- Teknolojik gelişimi sınırlıdır.
- Çift eksenli sistemler hem doğu-batı hem kuzey-güney yönlü hareket ederler ve sistem için en hassas, doğru uyum sağlarlar. Bu sistemler güneşten gelen enerjiyi daha yüksek oranda yakalayabilmekte ve bu doğrultuda %40 oranında daha fazla üretim sağlamaktadır.

Çift eksenli takip sistemlerinin avantajları:

- Güneşi çift eksenle daha etkin takip eder ve tutarlı bir güç çıkışı sağlarlar.
- Şebekeye kısıtlı bir güçle bağlantının söz konusu olması durumunda bu sistemler daha arzu edilen seviyede bir üretim sağlarlar.
- Santral verimliliğini düşürebilen zemin durumu, kuzeye doğru eğim gibi problemler konusunda uygun çözüm sunar.

Çift eksenli takip sistemlerinin dezavantajları:

- Teknik anlamda daha karmaşık yapıda sistemlerdir, dolayısıyla olabilecek arızaları gidermek daha uzun zaman alabilmektedir.
- Tek eksenli sistemlere kıyasla ömürleri daha kısadır.
- Bulutlu ve kapalı havalarda daha düşük performansa sahiptirler [45].

3.6. Transformatör ve Şebeke

Transformatör, elektrik akımı transferinde işleme verimli yapılabilmesi ve güç kaybı oranını en aza indirmek için gerilim yükseltici ya da düşürücü olarak kullanılan araçlardır. Transformatör güneş enerji sistemlerinde panellerden üretilen DC akımın eviricide AC akıma dönüşmesinden sonra panoda toplanan akımı alır ve gerilimin yükseltilip akımın düşürülmesiyle şebekeye uyumlu hale getirme işini yapar. Elektrik iletim şebekesi üretilen elektriği tüketicilere iletmek için kurulmuş bileşik bir ağıdır. Üretim yapan santrallerden enerji talep eden tüketicilere doğru enerjiyi aktaran nakil hatları ve kullanıcılara ulaşımını sağlayan karmaşık dağıtım hatlarından oluşur.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Konya ve Van ilinde iki farklı sistem PVsyst yazılım programından faydalanarak modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı farklı konumlardaki farklı tasarlanan sistemlerin analizlerini karşılaştırarak en uygun sistemin hangi noktaya kurulacağını tespit edilebilmesidir.

4.1. PVsyst Programı

PVsyst programı, C programlama dili kullanılarak geliştirilmiş, mühendis ve araştırmacılar tarafından PV sistemlerin analizi için sıklıkla tercih edilen bir simülasyon programıdır. Programı geliştiren İsviçre’ de bulunan Cenevre Üniversitesidir. Simülasyonlarda birçok detayı işleyerek gerçekçi bir analiz imkânı sunar. Meteorolojik veriler, güneş ışınım değerleri, hava olaylarına bağlı kirlilik faktörleri, yansımaya ve gölgelenme unsurları, panellerin ve eviricilerin özellikleri, panellerin yönleri ve açıları gibi detayları değerlendirerek simüle eder. Bu programı benzer olanları ile kıyaslarsak, daha çok detaylı hesaplamalara ve birçok farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağladığı görülür. Şebekeye bağlı ya da bağımsız fotovoltaik sistemleri tasarlayabilir. Panel, evirici ve meteorolojik bilgileri birleştirerek kullanacak veri tabanına sahiptir. Maliyet analizi yapabilir [5].

4.2. Açı Çeşitleri

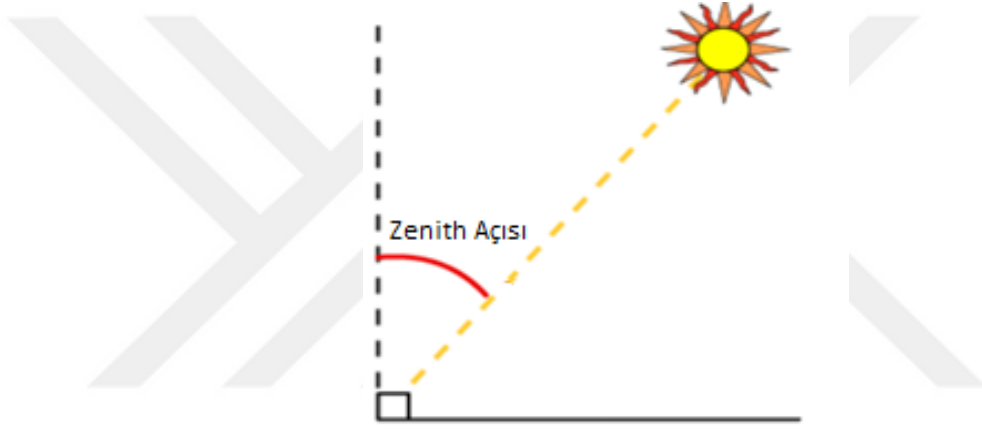
Güneş ışınlarının dünya yüzeyine geliş açıları farklı açılarla tanımlanarak geliş ile dünya üzerindeki yerlere geliş arasında belli açılar mevcuttur. Bu açılar hakkında bilgi edinilip dikkate alınarak güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir. Fotovoltaik sistem tasarımlarında bu veriler önemli bir yer tutmaktadır. Gerek tasarımda gerekse PVsyst programında kullanılan güneş geometrisi ile ilgili temel kavramlar ele alınacaktır.

Güneşten gelen ışınlar dünya üzerindeki yüzeyler ile belirli açılar oluşturur. Bu açılardan etkin bir biçimde yararlanabilmek için güneş açılarının bilinmesi gereklidir. Fotovoltaik sistem tasarımlarında verimliliği artırmak temel amaçtır. Verimliliği artırmanın yolu da

güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmaktır. Güneş enerjisinden yararlanmak için güneş ışınlarını geliş açısını bilmek ve sistemi ona göre tasarlamak gerekir. Fotovoltaik sistemlerde bu açılar önemli rol oynar. Açıları dört grupta inceleyebiliriz.

4.2.1.Zenit Açısı

Güneş ışınımının yatay düzlemin dikeyi ile yaptığı açığa zenit açısı olarak tanımlanır. “ ψ - P_{si} ” simgesi ile gösterilir. Güneşin doğuşu ve güneşin batışı konumunda açı değeri 90° iken, güneş ışınlarının dik geldiği konumda zenit 0° dir. Şekil 4.1’de zenit açısı görseli verilmiştir [40].



Şekil 4.1. Zenit açısı görseli

4.2.2.Azimet Açısı

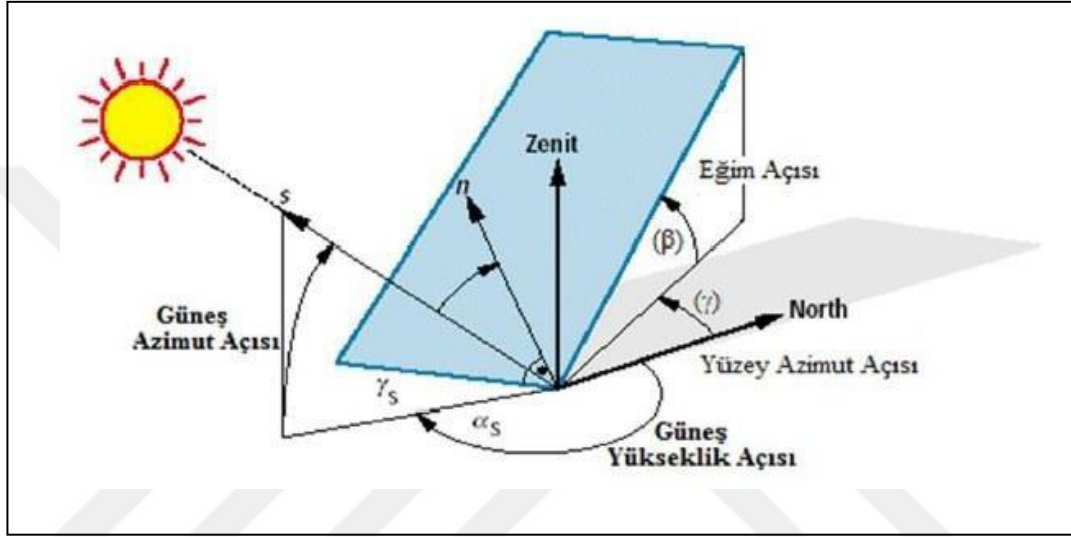
Azimet Arapça kökenli bir kelime olmakla birlikte “yön” anlamına gelmektedir. Güneşin, güney referansından olan açısal uzaklığının bir ölçüsü olan azimet açısı, güney konumunda 0° , batı konumunda ise 90° ’ye tekabül eder. Azimet açısı iki gruba ayrılır.

4.2.2.1. Güneş Azimet Açısı (γ_s)

Güneş azimet açısı, güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Yani güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. Örnek verecek olursak saat 12:00’da bu açı 180° dir. “ γ_s ” simgesi ile gösterilir.

4.2.2.2. Yüzey Azimut Açısı

Yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. Bu dikeyin yerel boylama göre sapmasını gösteren açıdır. Güneyde sıfır olur. Batıya yönelen yüzeyde eksi, doğuya yönelen yüzeyde artı değerlerini almış olur. Aşağıdaki şekilde güneş azimut ve yüzey azimut açıları gösterilmektedir [40].



Şekil 4.2. Azimut açı görselleri

4.2.3. Yükseklik Açısı

Güneş yükseklik açısı; güneş ışınlarının yatay yüzey ile arasındaki kalan açıdır. Güneş yükseklik açısı olan zenith açısını 90° ye tamamlar. “ α ” simgesi ile gösterilir

4.2.4. Geliş Açısı

Yüzeyin diki ile gelen direkt ışının arasında kalan açıdır. “ θ ” simgesi ile gösterilir.

4.2.5. Eğim Açısı

Güneş panellerini taşıyan konstrüksiyonun yatay düzlemle yani zeminle yaptığı açıdır. “ β ” simgesi ile gösterilir.

BÖLÜM 5

SİSTEM TASARIMI VE HESAPLARI

Kurulması planlanan 103,68 kWp/100 kWe gücündeki güneş enerji sistemleri Konya Selçuk Üniversitesi ve Van Bardakçı mevkiinde bulunan arazilerde bulunmaktadır. Modelleme de 540 W'lık paneller ve 100 kW'lık evirici kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem olarak sabit ve çift eksenli güneş takip sistemi olarak iki farklı modelleme yapılmıştır.

5.1. Fotovoltaik Panel Seçimi Ve Standartlar

Sistemde tepe gücü 540 Wp olan monokrsital hücre yapısına sahip toplam 192 adet panel kullanılmıştır. Kullanılan fotovoltaik panelin teknik özellikleri aşağıda tablo olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Panelin teknik özellikleri

Panel Gücü	P	540 Wp
Açık Devre Gerilimi	V_{oc}	49,5 V
Kısa Devre A	I_{sc}	13,81 A
Nominal Gerilim	V_n	41,55 V
Nominal Akım	I_n	13 A
Gerilim için Sıcaklık Katsayısı	-	% -0,35 /C
Güç için Sıcaklık Katsayısı	-	% -0,27 /C
Akım için Sıcaklık Katsayısı	-	% +0,05 /C

Lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında lisanssız üretim yapacak olan üretim santrallerinde kullanılan paneller belirtilen standartlara uymak zorundadır bu sebeple sistemde kullandığımız paneller IEC 61730-61215 sertifika belgelerine ve CE sertifikasına sahiptir.

- IEC 61730 –Modüllerin güvenlik yeterliliği için olan standarttır.
- IEC 61215- Kristal yapılı modüllerde tasarım yeterliliğini ve tip onayını gösteren standarttır.

5.2. Eviriciler ve Standartları

Eviriciler çalışırken önemli kriterleri yerine getirmek durumundadır. Bu kriterleri; cihazın elektromanyetik uyumluluğunun olması, şebekeye tam sinüs şeklinde alternatif akım göndermesi ve bu akımın harmonikler bakımından yönetmeliklerde belirtilen belli sınırlar içerisinde olması olarak sayabiliriz. Çalışırken şebekedeki frekans ve gerilim değerlerine göre kendi evirici frekans ve gerilim değerlerini ayarlaması gerekir. Eviricilerin en önemli emniyet kriteri adalanma özelliğidir. Şebekede enerji kesilmesi durumunda evirici kendini kapatır ve elektrik çarpma riskini ortadan kaldırır. Modellediğimiz sistemde Huawei marka 100 kW'lık evirici tercih edilmiştir. Eviricilerin sahip olması gereken uluslararası standartlar aşağıdaki gibidir. Sistemde seçtiğimiz eviricide aşağıda belirtilen standartlardan sertifika almış bir üründür.

- IEC 62109-1-IEC 62109-2: Bu standart eviricilerin güvenlik gereksinimlerini karşılaması ile ilgilidir.
- IEC 61000-6-1- IEC 61000-6-2- IEC 61000-6-3- IEC 61000-6-4: Eviricilerin elektromanyetik uyumluluk ilgili standartlardır.
- IEC 61000-3-2: Faz akımı 16 A'den küçük olan cihazlar için bağlantı kurallarını harmonik standartlarını kapsar.
- IEC 61000-3-12: Faz akımı 16 A'den büyük cihazlar için bağlantı kurallarını harmonik standartlarını kapsar.
- IEC 61727: Şebekeye AG seviyesinden bağlı cihazlar için şebekeye bağlantı gereksinimlerini karşılamasını kapsar.
- EN 50438(EN 50549-2019): AG seviyesinden bağlı cihazların şebekeyle paralel çalışma için kuralları içerir.

Sistemde kullandığımız eviricinin katalog bilgileri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

SUN2000-100KTL-M1
Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	98.8% @480 V; 98.6% @380 V/400 V
European Efficiency	98.6% @480 V; 98.4% @380 V/400 V
Input	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	26 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	570 V @380 V; 600 V @400 V; 720 V @480 V
Number of Inputs	20
Number of MPP Trackers	10
Output	
Rated AC Active Power	100,000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)
Max. AC Apparent Power	110,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	110,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 230 V, default 3W + N + PE; 380 V / 400 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V
Max. Output Current	168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Yes
RS485	Yes
MBUS	Yes (Isolation transformer required)
General	
Dimensions (W x H x D)	1,035 x 700 x 365mm (40.7 x 27.6x 14.4 inch)
Weight (with mounting plate)	90 kg (187.4 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Staubli MC4
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

Preliminary Version

SOLAR.HUAWEI.COM

Şekil 5.1. Evirici kataloğu/Teknik bilgileri

5.3.Panel ve Evirici Uyumluluk Hesabı

Fotovoltaik sistemlerde iki ana malzeme vardır biri panel diğeri de eviricidir. Bu iki ürünün sertifikaları kontrol edildikten sonra birbiri ile uyumlu çalışması kontrol edilir ve panel evirici uyumluluk hesabı yapılır. Öncelikli olarak sistemimizde eviricinin her bir girişine en az ve en çok kaç adet paneli seri olarak bağlayacağımız hesaplanmıştır. Dizinin maksimum panel sayısı hesabında panel kataloğundan panel açık devre gerilimi 49,5 V ve sıcaklık katsayısı -0,35 ‘%/°C’ olarak kullanılmakta olup, aşağıda verilen denklem 5.1 ve denklem 5.2’deki formüllerle hesaplanmıştır.

$$V_{(Tmin)} = (1 - (\Delta T \times \beta \div 100)) \times V_{oc} \quad (\text{Denklem 5.1})$$

$$= (1 - ([-10 - 25] \times -0,35 \div 100)) \times 49,5 = 55,56 \text{ V}$$

$$N_{mak} = V_{evirici mak} \div V_{(Tmin)} = 1100 \div 55,56 = 19,8 \text{ Adet} \quad (\text{Denklem 5.2})$$

Dizinin minimum panel sayısı hesabında panel kataloğundan nominal gerilimi 41,55 V ve sıcaklık katsayısı -0,35 ‘%/°C’ olarak kullanılmakta olup, aşağıda verilen 5.3 ve 5.4’deki formüllerle hesaplanmıştır.

$$V_{(Tmax)} = (1 + (\Delta T \times \beta \div 100)) \times V_n \quad (\text{Denklem 5.3})$$

$$= (1 + ([70 - 25] \times -0,35 \div 100)) \times 41,55 = 35 \text{ V}$$

$$N_{min} = V_{evirici min} \div V_{(Tmak)} = 200 \div 35 = 5,71 \text{ Adet} \quad (\text{Denklem 5.4})$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistem 16 panelli diziler şeklinde tasarlanmıştır.

16 panelli dizilerin aşağıda panel-evirici uyum hesabı eklenmiştir.

$$\text{Maksimum Dizi Gerilimi} = N \times V_{oc} \times (1 + (\Delta T \times \beta \div 100)) \quad (\text{Denklem 5.5})$$

$$= 16 \times 49,5 \times (1 + ([-10 - 25] \times -0,35 \div 100)) = 889,02 \text{ V} < 1100 \text{ V Uygundur.}$$

$$\text{Minumum Dizi Gerilimi} = N \times V_{OC} \times (1 + (\Delta T \times \beta \div 100)) \quad (\text{Denklem 5.6})$$

$$= 16 \times 49,5 \times (1 + ([70 - 25] \times -0,35 \div 100)) = 653 \text{ V} > 200 \text{ V}$$

$$\text{Maksimum MPPT Gerilimi} = N \times V_{mpp} \times (1 + (\Delta T \times \beta \div 100)) \quad (\text{Denklem 5.7})$$

$$= 16 \times 41,55 \times (1 + ([-10 - 25] \times -0,35 \div 100)) = 746,23 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$\text{Minumum MPPT Gerilimi} = N \times V_{mpp} \times (1 + (\Delta T \times \beta \div 100)) \quad (\text{Denklem 5.8})$$

$$= 16 \times 41,55 \times (1 + ([70 - 25] \times -0,35 \div 100)) = 560 \text{ V} > 200 \text{ V}$$

$$\text{MPPT Nominal Akım Kontrolü} = 2 \times I_{mmp} = 2 \times 13 = 26 \leq 26 \text{ A} \quad (\text{Denklem 5.9})$$

$$\text{Kısa Devre Akım Kontrolü} = 2 \times I_{sc} = 2 \times 13,81 = 27,62 \leq 40 \text{ A} \quad (\text{Denklem 5.10})$$

$$\% \text{Yüklenme Oranı} = W_{DC} \div W_{AC} = 103,63 \div 100 = 1,03 \quad (\text{Denklem 5.11})$$

5.4.Kablo Seçimi Ve Koruma Hesabı

Fotovoltaik panellerin bağlantı kutuları 4mm² kablo ile üretilir. İki panel bu kablolar ile + ve – uçları birbirine bağlanarak diziler oluşturulur. Bu dizilerin en sonunda kalan uçlara hangi kesitte kablo bağlayacağımızı proje kapsamında hesaplanmıştır. Sistemde 6 mm²'lik PV1-F özelliğinde güneş kablo tercih edilmiştir. Bu kullanılacak DC kablolar akım taşıma hesapları göz önüne alınarak seçilmiştir.

$$I_{düzeltilmiş} = I_{kablo} \times k_1 \times k_2 \quad (\text{Denklem 5.12})$$

$$I_{düzeltilmiş} = 70 \times 0,87 \times 0,38 = 23,14 \text{ A}$$

23,14 A \geq 13,81 A olduğundan kablo uygundur.

Tablo 5.2’de belirtilen tek damarlı DC kablo ürünü katalog bilgileri yönünde proje kapsamında kullanacak olduğumuz 6 mm² güneş kablo için akım kapasitesi 70 A’dır.

Tablo 5.2. PV1-F kablo akım taşıma kapasiteleri

	Kablo Kesiti mm ²	Max. Dış Çapı mm	Taşıma Kapasitesi A	Direnç Değeri Ω /Km	Anma Gerilimi Vdc	Çalışma Sıcaklığı $^{\circ}$ C
PV1-F	1.5	4.8	30	13.7	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	2.5	5.1	41	8.21	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	4	5.6	55	5.09	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	6	6.1	70	3.39	1000	-40 ...+90$^{\circ}$C
PV1-F	10	7.2	98	1.95	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	16	9	132	1.24	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	25	10.7	176	0.795	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	35	11.8	218	0.565	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	50	13.3	276	0.393	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	70	15.2	347	0.277	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	95	17	416	0.21	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C
PV1-F	120	18.7	488	0.164	1000	-40 ...+90 $^{\circ}$ C

Tablo 5.3’de belirtilen tek damarlı kablolarda düzeltme faktörü hesaba katıldığında kablo tavaasında yakın şekilde fazla sayıda kablonun yan yana taşınma durumu için kullanılacak olan düzeltme faktörü 0,38 seçilmiştir. (Kablo sayısı 20)

Tablo 5.3. Kablo döşeme düzeltme faktörleri

Kablo Yerleşim	1	2	3	4	5
ve Düzenlemesi	Havada, bir yüzey üzerinde gömülü olarak demetlenmiş veya çevresi sarılmış	Tek katlı olarak duvar veya yere döşenmiş	Tek katlı olarak ahşap tavan altına döşenmiş	Tek katlı olarak duvar veya yere döşenmiş	Tek katlı olarak ahşap tavan altına döşenmiş
	1	1	0,95	1	1
	2	0,85	0,91	0,88	0,87
	3	0,79	0,72	0,82	0,82
	4	0,75	0,68	0,77	0,8
	5	0,73	0,66	0,75	0,8
	6	0,72	0,64	0,73	0,79
	7	0,72	0,63	0,73	0,79
	8	0,71	0,62	0,72	0,79
	9	0,7	0,61	0,72	0,78
	12	-	-	-	0,78
	16	-	-	-	-
	20	0,38	-	-	-
	Döşeme Şekli A dan F ye	Döşeme Şekli C		Döşeme Şekli E ve F	

(IEC 60364-5-52, Tablo A.52-17)

Tablo 5.4’de belirtilen sıcaklık şartları ile etkilenme faktörü, 40 °C ortam sıcaklığı için 0,87 seçilmiştir.

Tablo 5.4. Kablo sıcaklık düzeltme faktörleri

Ortam Sıcaklığı	İzolasyon Tipi		
		PVC	XLPE ve EPR
10	°C	1,22	1,15
15	°C	1,17	1,12
20	°C	1,12	1,08
25	°C	1,06	1,04
30	°C	1	1
35	°C	0,94	0,96
40	°C	0,87	0,91
45	°C	0,79	0,87
50	°C	0,71	0,82
55	°C	0,61	0,76
60	°C	0,5	0,71
65	°C	-	0,65
70	°C	-	0,58
75	°C	-	0,5
80	°C	-	0,41
85	°C	-	-
90	°C	-	-
95	°C	-	-

(IEC 60364-5-52, Tablo A.52-14)

Sistemimizde 1 adet 100 kW evirici kullanılmıştır. Evirici çıkış gerilimi 400 V olacak şekilde hesaplarda kullanılmıştır. Aşağıda evirici çıkış akımı ve kullanılacak AC kablunun kesit hesabı yapılacaktır.

Evirici çıkışında geçen akım;

$$I_{AC} = 10000 \div (\sqrt{3} \times 400) = 144 \text{ A} \text{ Olarak hesaplanmıştır.} \quad (\text{Denklem 5.13})$$

Sistemde 4x120 NA2XH mm² lik AC kablo kullanılmıştır. Bu kablonun akım taşıma hesabı aşağıda yapılmıştır. Kablonun ham akım kapasitesi kablo üreticisinden alınmıştır ve 239 A'dir. Kablo uygun düzeltme faktörleri katsayısı uygulandığında

$$I_{\text{düzeltilmiş}} = I_{\text{kablo}} \times k_1 \times k_2$$

$$I_{\text{düzeltilmiş}} = 239 \times 0,94 \times 0,75 = 168,5 \text{ A} > 144 \text{ A} \text{ Seçilen kablo uygundur.}$$



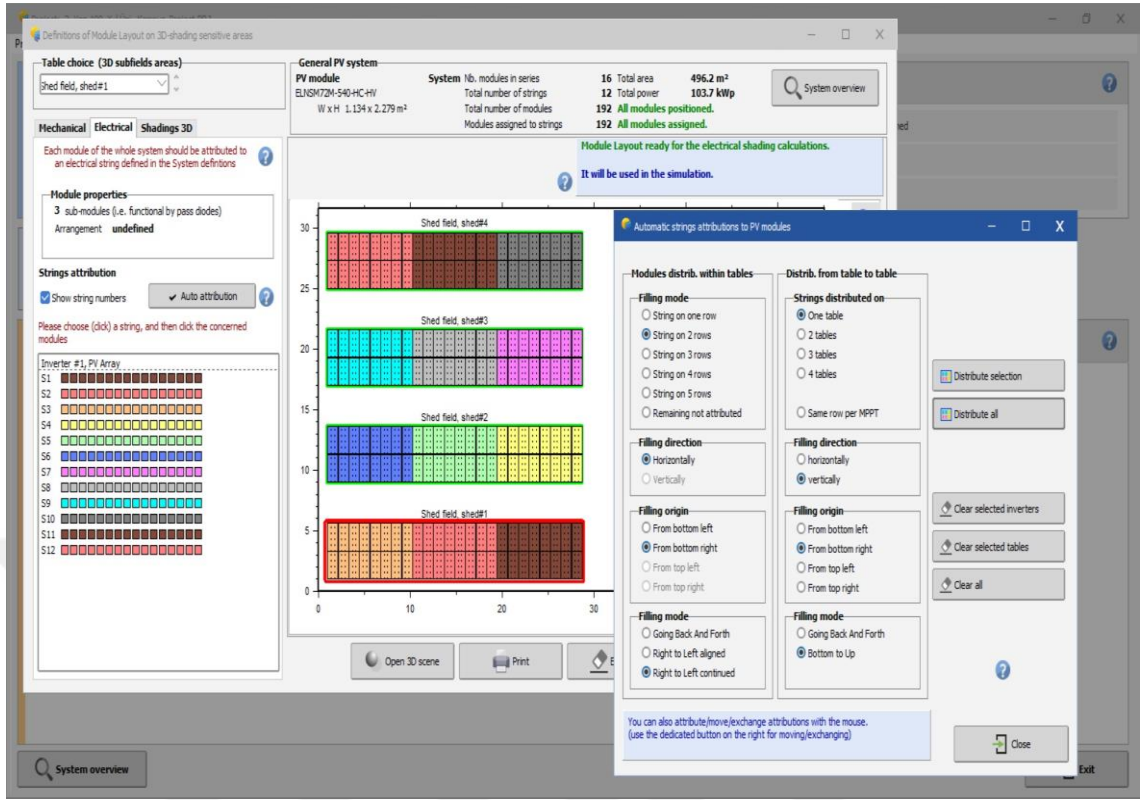
BÖLÜM 6

PVSYST PROGRAMI İLE SİSTEM MODELLEMESİ

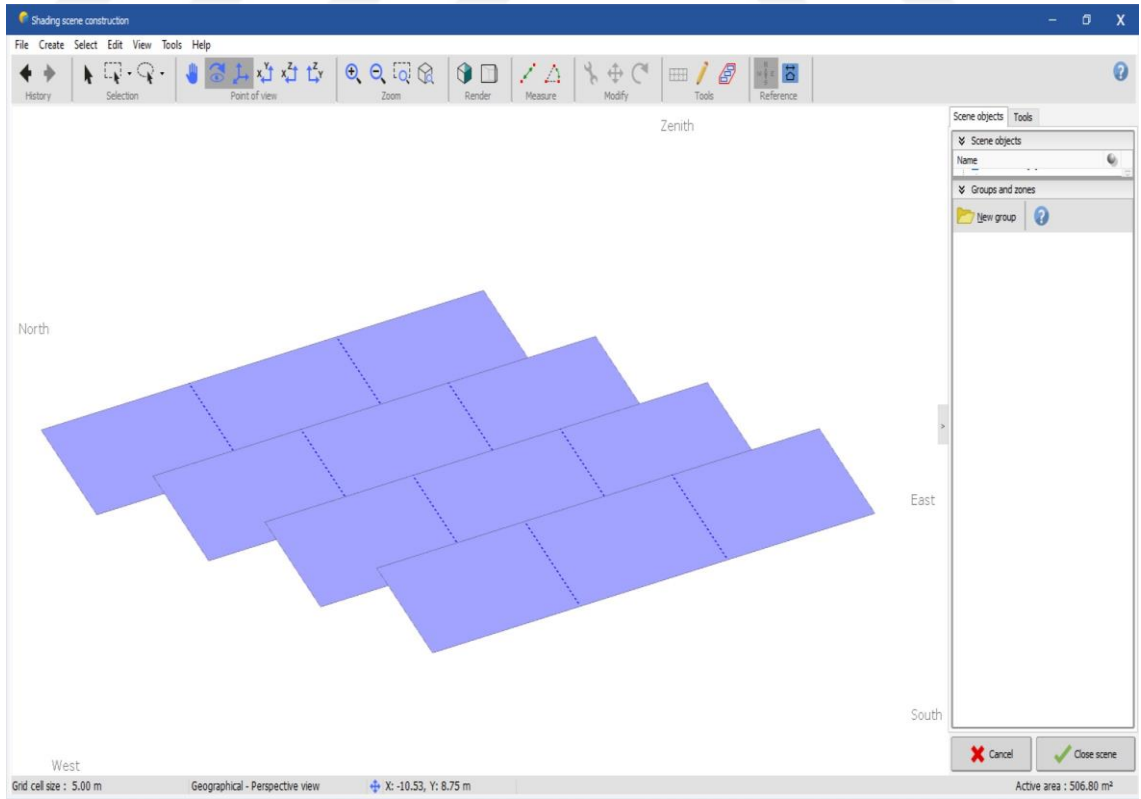
Bu tez çalışmamızda PVsyst programı ile 4 farklı sistem modellemesi yapılmıştır. Van Bardakçı mevki ve Konya Selçuk Üniversitesi kampüsüne kurulacak şekilde koordinatlar kullanılmıştır. İki bölgede de 540 W gücünde 192 adet panel ve 100 kW gücünde 1 adet eviriciden oluşan sabit açılı ve çift eksen güneş takipli sistem modellemesi yapılmıştır. Paneller arasında 6 mm²'lik DC güneş kablo, evirici çıkışında ise 120 mm²'lik AC kablo kullanılmıştır. Buradaki amacımız üretim verilerini karşılaştırmak olduğu için modellenen tesislerin koşulları ve kullanılan ürünler nitelik ve nicelik olarak aynı seçilmiştir.

6.1. Van Bardakçı- Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü İçin Sabit Açılı Sistem Modellemesi

PVsyst programında öncelikli olarak koordinatlarımız girilmiştir. Simülasyonda sanal olarak Meteonorm 7.3 den sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Sabit açılı sistemde panellerin yerleşim açısı değişmeyeceği için üretimin en fazla olduğu açıyı bulmak çok önemlidir. Modellememizde açıyı PVsyst programında optimizasyon işlemi yaptığımızda 21° olarak hesaplanmıştır. Panel ve evirici bilgileri girilmiş olup dizi ve seriler oluşturulmuştur. Sistemde olabilecek kayıplar düşünülerek verileri sisteme işlenmiştir. Taşıyıcı sisteme paneller ikili dikey olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir sehpa üç seri olacak şekilde saha yerleşimi yapılmıştır. Sehpalar arası mesafe gölgelenmeyi engelleyecek şekilde sekiz metre olarak seçilmiştir. Similasyon görüntüsü Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Sabit Açılı Sistem Panel, Dizi Görseli



Şekil 6.2. Sahip Açılı Sistem Sehpa Yerleşim Görseli

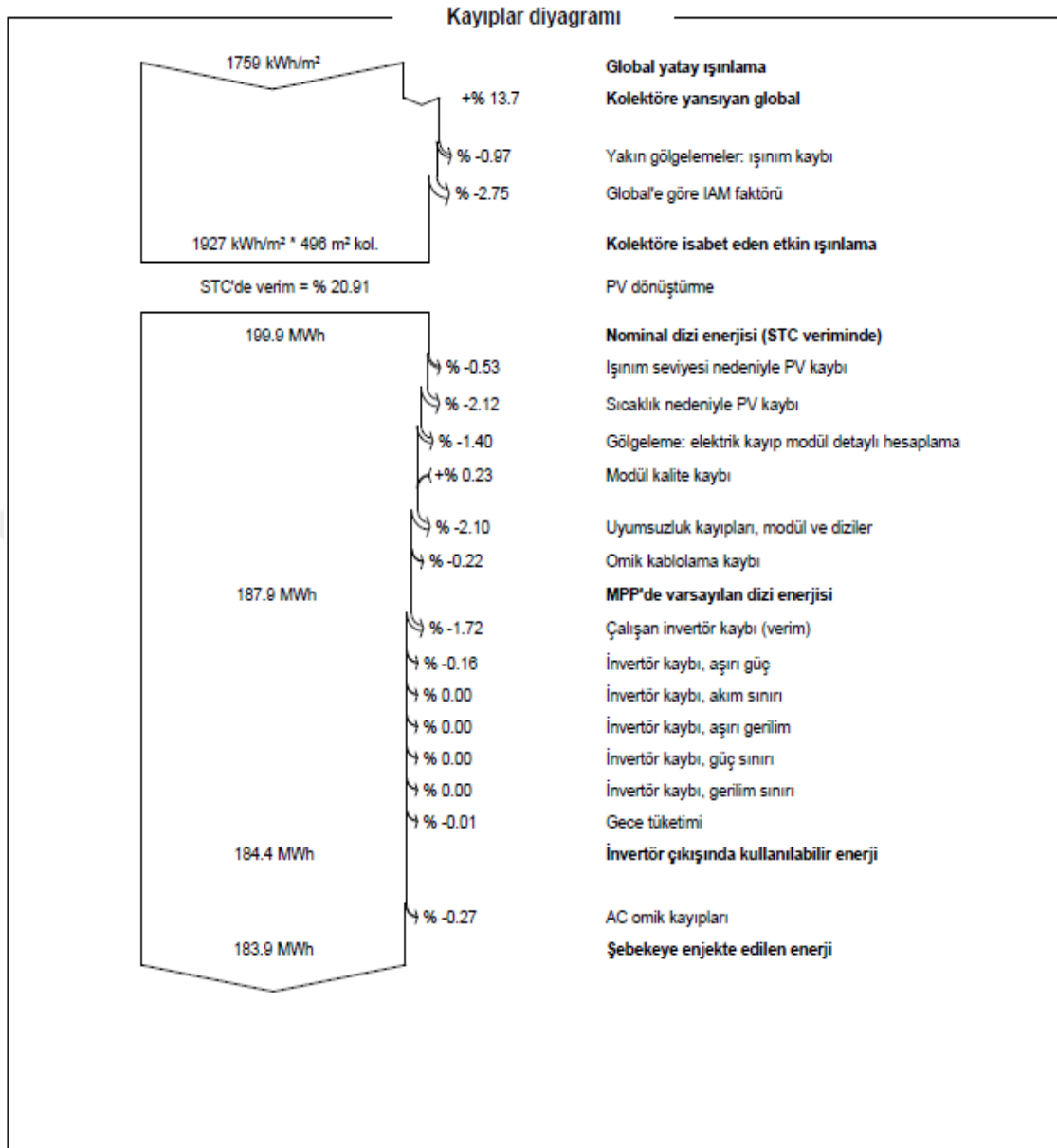
PVsyst programı ile üretim simülasyonu çalıştırıldığında kurulması planlanan sistemin Van Bardakçı Mevkiinde yılda yaklaşık 183,9 MWh enerji üretebileceği ve sistemin %88,62 performansla çalışacağı öngörülürken Konya Selçuk Üniversitesinde yılda yaklaşık 181,1 MWh enerji üretebileceği ve %88,33 performansla çalışacağı öngörülmüştür. Detaylı üretim analiz raporu EK-1 ve EK-2’de sunulmuştur.

Van Bardakçı sabit açılı sistem performans analizi aşağıda detaylı olarak yapılmıştır. Sistemin tasarım detayları ve gerekli bilgiler PVsyst programına işlendikten sonra program çalıştırdığımızda sistemden elde edeceğimiz yıllık üretimin 183,9 MWh olacağı öngörülmüştür. Aşağıdaki Şekil 6.3’te sistemin bir yıllık üretim, ışımaya değerleri, sıcaklık ve şebekeye verilen enerji değerleri gösterilmiştir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	76.3	27.20	-3.13	113.7	108.3	10.52	10.32	0.875
Şubat	95.7	33.34	-1.57	127.8	123.2	12.63	12.38	0.935
Mart	135.5	49.30	3.30	160.0	154.4	15.61	15.30	0.922
Nisan	165.0	66.54	8.20	177.1	170.6	16.98	16.64	0.907
Mayıs	203.8	67.19	13.22	205.7	198.8	19.48	19.08	0.895
Haziran	220.9	60.02	18.06	213.8	206.3	19.86	19.45	0.878
Temmuz	222.0	71.60	22.00	219.5	211.5	20.21	19.80	0.870
Ağustos	208.1	58.57	22.18	219.8	212.5	20.20	19.79	0.868
Eylül	168.4	45.48	17.41	196.6	190.1	18.38	18.01	0.884
Ekim	119.3	40.93	12.01	154.9	149.5	14.74	14.46	0.900
Kasım	79.4	29.89	4.75	113.1	108.1	10.46	10.26	0.875
Aralık	65.2	23.63	-0.65	99.3	93.9	8.54	8.37	0.813
Yıl	1759.5	573.69	9.71	2001.2	1927.2	187.61	183.87	0.886

Şekil 6.3. Van Bardakçı Sabit Açılı Sistem Genel Sonuçlar ve Bilanço

Sistemin üretim esnasında hangi etmenlere maruz kaldığını, bu etmenlerin sisteme ne kadar etki ettiğini programdaki kayıp diyagramlarından görmek mümkündür. Şimdi sistemin yıllık diyagramları, bu diyagramdaki verileri, sisteme etki eden faktörlerle birlikte açıklanarak analiz edilecektir. Aşağıdaki Şekil 6.4’te mevcut sistemin yılsonunda detaylı kayıpları görülebilir.



Şekil 6.4. Van Bardakçı Sabit Açılı Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı

Global Yatay Işınlanma (Kolektöre Yansıyan Global) [kWh/m²]: Simülasyon programında günümüze kadar ölçülüp kaydedilmiş meteorolojik veriler ışığında belirlenen değerdir. Mevcut santralin bulunduğu bölgede bu değer 1759 kWh/m² olarak simülasyon raporunda yer almaktadır.

Yakın Gölgelemeler Işınım Kaybı: Sistemde güneşin açısına göre oluşabilecek gölgelemelerden kaynaklı ışınım kayıplarını göstermektedir. Raporda bu değer %0,97'dir.

Global'e göre IAM Faktörü: Panel üzerine düşen ışınımın tamamı hücreler tarafından kullanılamaz. Gelen ışınımın büyük bir miktarı panel içerisinde absorbe edilirken, bir kısmı da yansımaya uğrar. Bu faktör küresel ışınım üzerinden panel montaj açısına göre yansıyan, kırılımdan dolayı kaynaklanan kayıpları gösterir.

Kolektöre İsalet Eden Etkin Işınlanma [kWh/m^2]: Panelin montaj açısına göre elde edilecek kazancı veya kayıpları ifade eder. Uygun bir açıyla yerleştirilen panellerde bu değer üst seviyelere çıkarken, eğimin az olması ya da panelleri yönlerinin değişmesine bağlı olarak bu azabilir hatta negatif bir değer bile olabilir.

Gölgelenme: Sistemde güneşin açısına göre oluşabilecek gölgelenmeden kaynaklı ışınım kayıplarını göstermektedir. Raporda bu değer %1.40'dır.

Panel Kirlenme Faktörü: Santralin yerine, çevre faktörlerine göre değişiklik gösterebilecek bir kayıptır. Toz, kar, yaprak vb. panellerde oluşan kirlilik nedeniyle ile panellerin yıl içerisinde enerji üretim kaybını yüzdesel olarak gösterir. Genel olarak PVsyst programında bu değer %3 olarak sabit alınır.

Modül Verim Kaybı: Bir fotovoltaik modülün çıkış gücünde zamanla azalma meydana gelebilir veya modüldeki tek bir hücrenin arızalanması sebebiyle gücünde azalma olabilir. Bu da verimde azalmaya sebep olacaktır. Panel üreticileri tarafından teknik dökümanlarda belirtilir. Bu değer %0,23'dür.

Işınımına Bağlı FV Kayıplar: PV paneller üzerine gelen düşük ışınım sebebi ile oluşan kayıpları göstermektedir.

Sıcaklığa Bağlı FV Kayıplar: PV modüllerin ürettiği gerilim, sıcaklık ile ters orantılıdır. Yani aynı ışınım altındaki, farklı sıcaklıkta bulunan PV panellerden oluşan dizilerde soğuk ortamda bulunan paneller daha fazla gerilim üretir. Her eviricinin çalışmaya başlama gerilimi farklıdır. Bundan dolayı da sistemin sabah devreye girme zamanı farklılık göstermektedir. Bu değer nedeniyle oluşan zaman farklılıklarından meydana gelen elektrik üretim kaybını yüzde olarak göstermektedir.

Eskime Kaybı: PV modüllerde ışınım sebebi ile oluşacak eskime kaybı oranını göstermektedir. Genel olarak PVsyst programında bu değer %2 olarak sabit alınır.

Kablo Kaybı: Sistemde kullanılan kabloları ait kayıpları göstermektedir. Bu değeri kabloların kesitlerine, kullanılan iletken türüne ve metrajlara göre değişebilir.

Evirici İşletme Kayıpları: Her cihazda olduğu gibi eviricilerinde bünyesinde kayıplar nedeniyle belli bir verimliliği vardır. Bu kayıplar eviricinin verimliliğine göre kaybolan elektrik enerjisini oranını belirtir. Mevcut sistemde bu kayıp %1,88 olarak görülmektedir. Şebekeye Enjekte Edilen Enerji: Bütün kayıplardan sonra şebekeye verilecek elektrik enerjisini göstermektedir. Bu kayıp %0,27'dir.

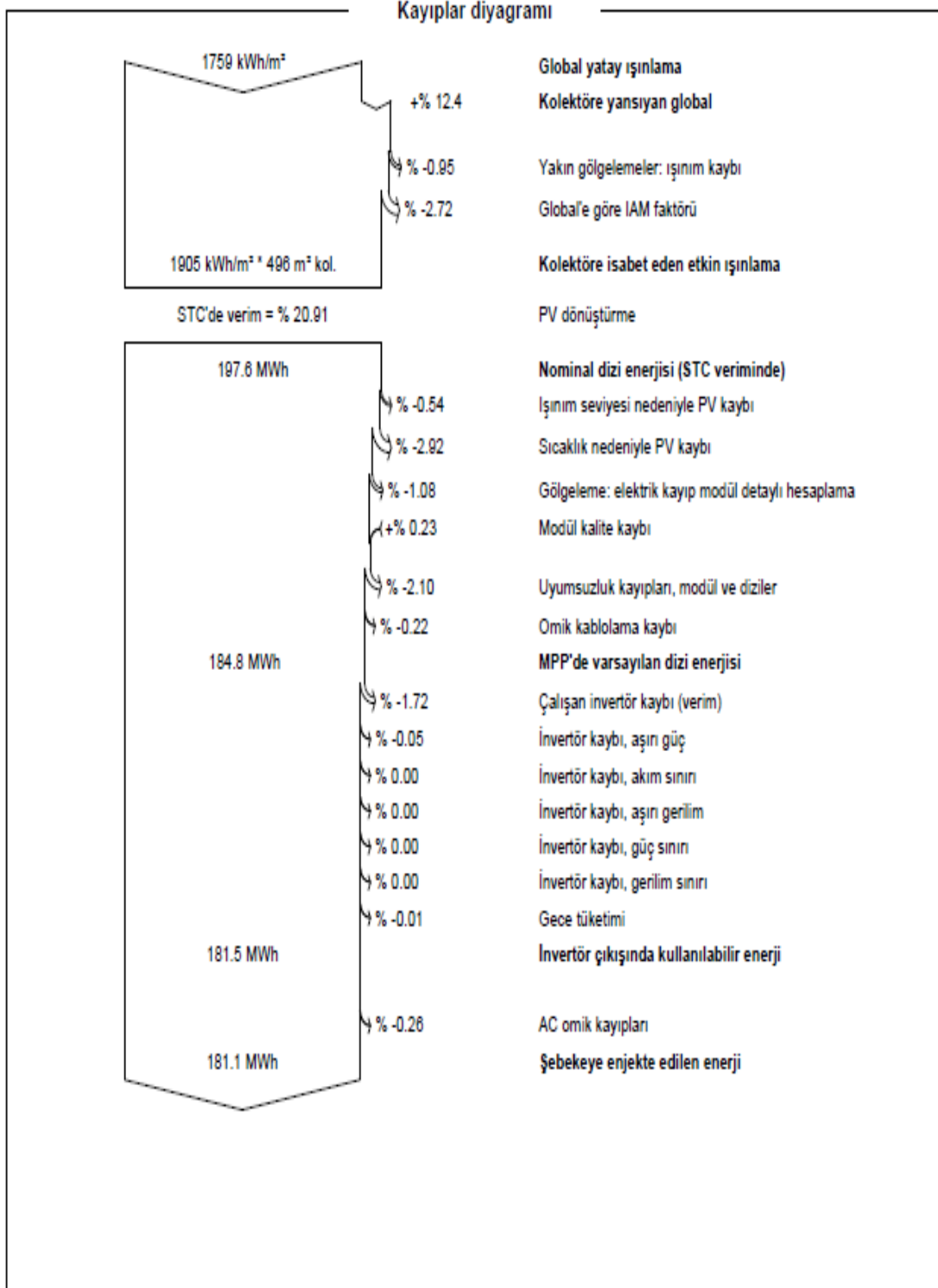
Simülasyon programına fotovoltaik tesisin yılsonunda üretim değeri 183,9 MWh olarak tespit edilmiştir. Sistem performansı oranı, ilgili simülasyon programında %88,62 olarak hesaplanmıştır.

Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü sabit açılı sistem performans analizi aşağıda detaylı olarak yapılmıştır. Konya ilindeki sistemin program simülasyonuna göre yıllık şebekeye verdiği enerji 181,1 MWh olarak elde edilmiştir diğer detaylı veriler de aşağıda Şekil 6.5'te verilmiştir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.1	27.54	-0.77	96.4	92.0	9.00	8.82	0.882
Şubat	82.9	37.40	0.61	107.2	103.0	10.52	10.33	0.929
Mart	133.4	56.67	6.50	157.0	151.6	15.29	14.99	0.921
Nisan	164.7	67.13	10.62	178.1	171.7	17.07	16.74	0.907
Mayıs	202.6	66.83	15.84	203.5	196.3	19.07	18.69	0.886
Haziran	219.6	64.39	20.81	213.1	205.7	19.64	19.24	0.871
Temmuz	235.8	60.67	24.76	231.4	223.6	21.10	20.66	0.861
Ağustos	213.5	58.41	24.49	225.0	217.7	20.61	20.18	0.865
Eylül	171.4	45.59	18.65	198.9	192.5	18.50	18.13	0.879
Ekim	121.1	44.19	13.35	153.9	148.6	14.62	14.35	0.899
Kasım	82.8	28.03	6.23	117.5	112.6	10.90	10.69	0.878
Aralık	64.7	28.87	1.00	95.0	89.9	8.40	8.24	0.837
Yıl	1759.4	585.71	11.91	1977.0	1905.0	184.73	181.06	0.883

Şekil 6.5. Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Açılı Sistem Genel Sonuçlar ve Bilanço

Konya ilindeki sistemin program simülasyonuna göre yıllık kayıp diyagramı Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Açılı Sistem Yıllık Kayıp Diyagramı

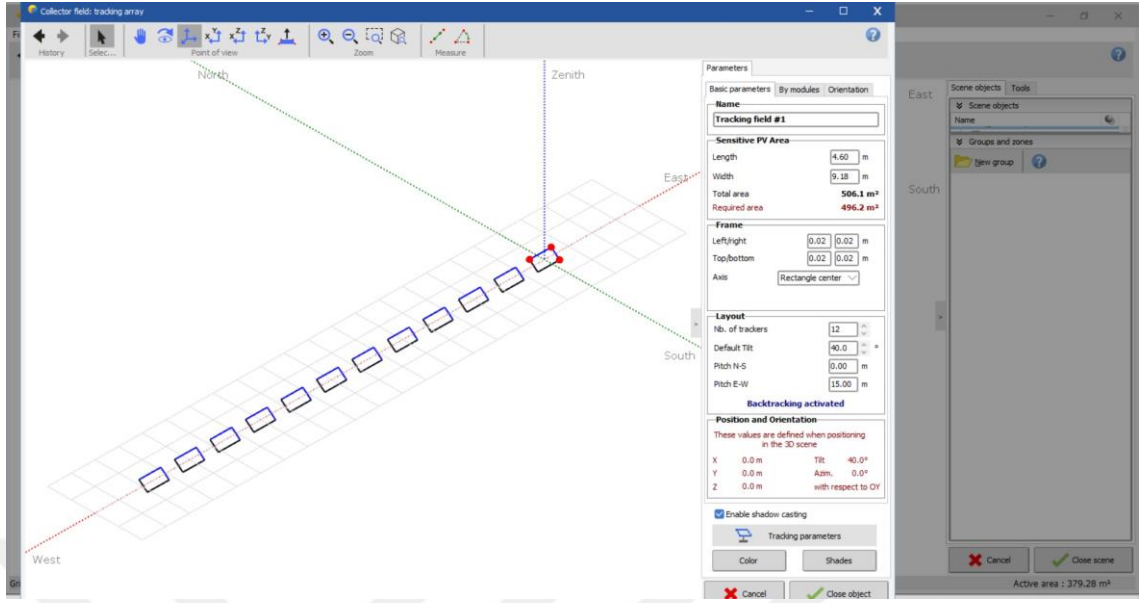
6.2. Van Bardakçı- Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü İçin Çift Eksen Güneş Takipli Sistem Modellemesi

Çift eksen Güneş takipli sistemleri güneşin gökyüzündeki konumunu takip ederek çalışır. Güneş bu takibi azimut ve zenit ekseninde belirlenen iki açı değeri arasında yapar. Resim 6.1.'de çift eksenli güneş takip sistemine ait örnek verilmiştir.

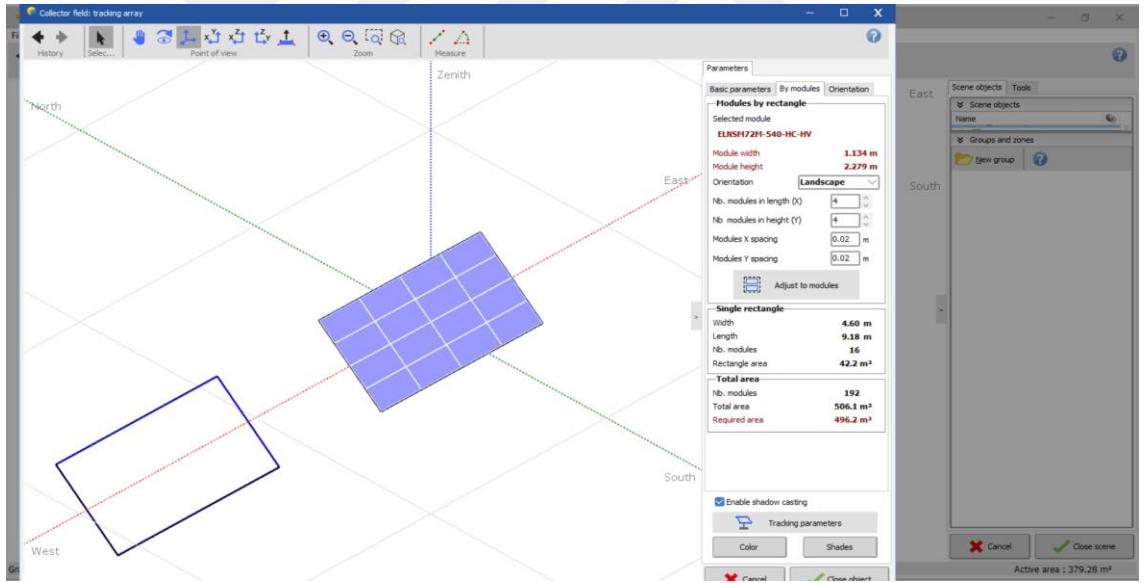


Resim 6.1. Çift eksenli güneş takip sistemi

Güneş takip sisteminin azimuth açısı -120 ile $+120$ derece arasında, zenith açısı ise -80 ile $+80$ derece arasında olacak şekilde PVsyst programına veri girişi yapılmıştır. Her bir dizi bir sehpa da yer alacak şekilde tasarlanmış olup toplam 12 adet güneş takip sistemi kullanılmıştır. Gölgelemeyi engellemek adına güneş takip sistemler arası mesafe 15 metre olarak belirlenmiştir. Simülasyon görüntüsü Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Güneş Takip Sistemi Sehpa Yerleşim Görseli

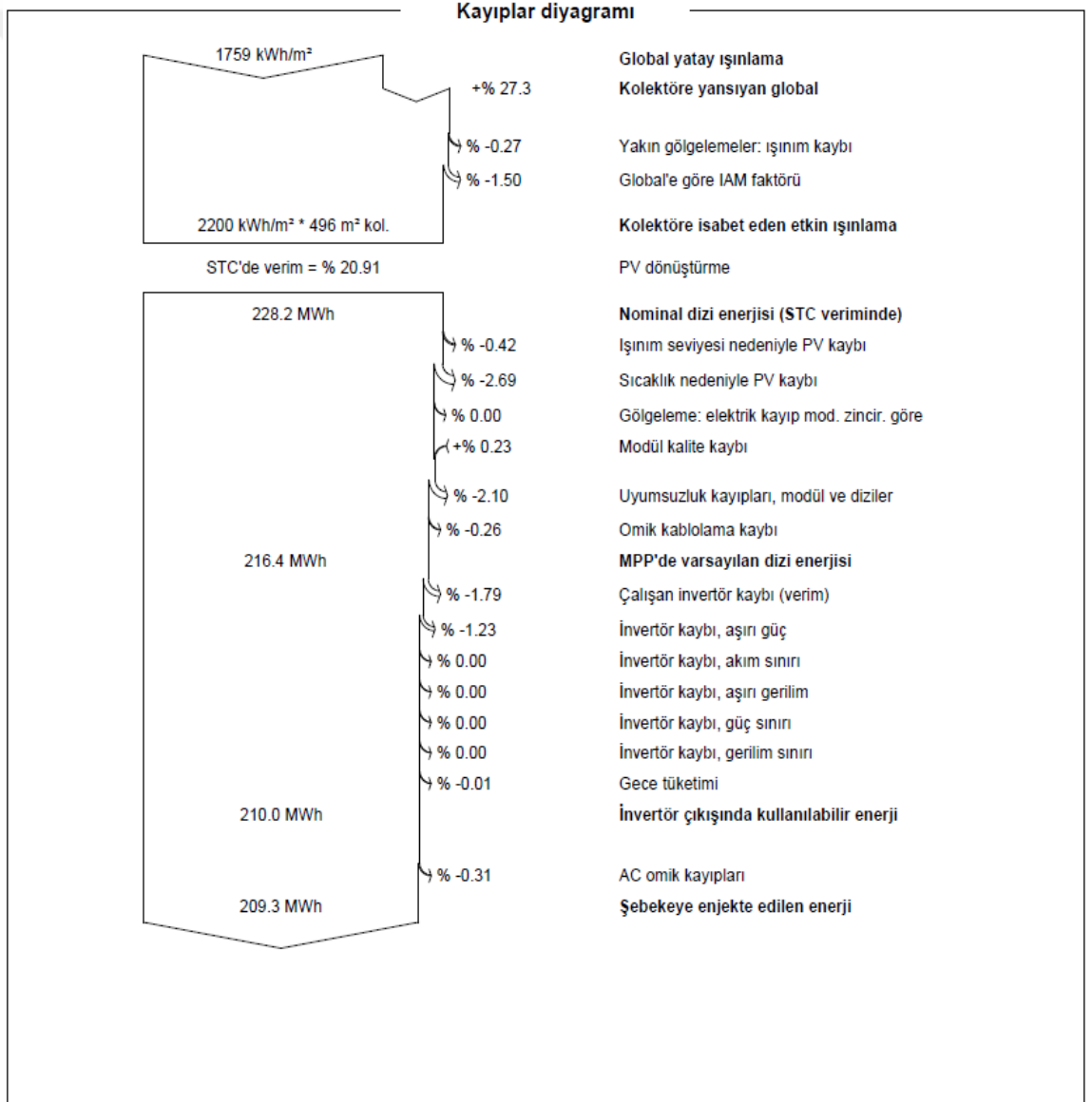


Şekil 6.8. Güneş Takip Sistemi Dizi Yerleşim Görseli

PVsyst programı ile üretim simülasyonu çalıştırıldığında kurulması planlanan sistemin Van Bardakçı Mevkiinde yılda yaklaşık 209,3 MWh enerji üretebileceği, sistemin %90,13 performansla çalışacağı ve sisteme ait kayıp diyagramı aşağıdaki Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	76.3	27.20	-3.13	168.4	167.1	16.98	16.61	0.951
Şubat	95.7	33.34	-1.57	171.8	170.0	17.16	16.79	0.942
Mart	135.5	49.30	3.30	186.3	182.9	17.84	17.47	0.904
Nisan	165.0	66.54	8.20	178.4	174.4	17.08	16.73	0.904
Mayıs	203.8	67.19	13.22	191.9	187.2	18.17	17.79	0.894
Haziran	220.9	60.02	18.06	190.6	185.5	17.71	17.34	0.877
Temmuz	222.0	71.60	22.00	199.2	194.0	18.41	18.02	0.873
Ağustos	208.1	58.57	22.18	215.4	210.7	19.79	19.37	0.867
Eylül	168.4	45.48	17.41	223.5	219.2	20.74	20.30	0.876
Ekim	119.3	40.93	12.01	203.3	200.9	19.53	19.12	0.907
Kasım	79.4	29.89	4.75	162.5	161.0	15.86	15.52	0.921
Aralık	65.2	23.63	-0.65	148.3	147.2	14.56	14.23	0.926
Yıl	1759.5	573.69	9.71	2239.6	2200.0	213.83	209.29	0.901

Şekil 6.9. Van Bardakçı Güneş Takip Sistemi Genel Sonuçlar ve Bilanço

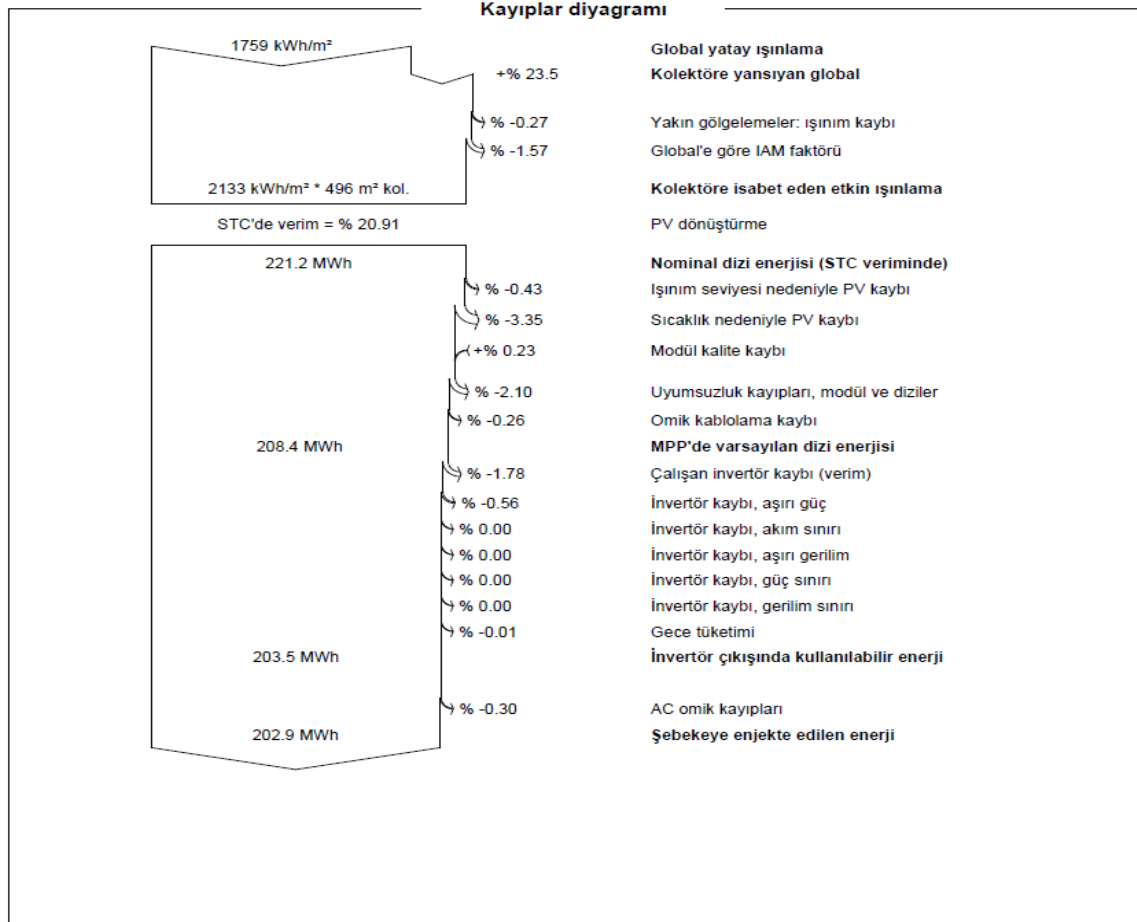


Şekil 6.10. Van Bardakçı Güneş Takip Sistemi Yıllık Kayıp Diyagramı

Konya Selçuk Üniversitesinde ise yılda yaklaşık 202,9 MWh enerji üretebileceği, sistemin %90,08 performansla çalışacağı ve sistem kayıp diyagramı aşağıdaki Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir. Detaylı üretim analiz raporu EK-3 ve EK-4’de sunulmuştur.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.1	27.54	-0.77	137.3	136.1	13.76	13.46	0.946
Şubat	82.9	37.40	0.61	139.7	137.8	13.97	13.68	0.945
Mart	133.4	56.67	6.50	182.1	178.9	17.68	17.32	0.917
Nisan	164.7	67.13	10.62	180.8	176.7	17.44	17.09	0.912
Mayıs	202.6	66.83	15.84	188.3	183.6	17.70	17.33	0.888
Haziran	219.6	64.39	20.81	190.7	185.7	17.60	17.23	0.872
Temmuz	235.8	60.67	24.76	208.4	203.0	19.03	18.61	0.861
Ağustos	213.5	58.41	24.49	219.1	214.3	20.14	19.70	0.867
Eylül	171.4	45.59	18.65	224.6	220.4	20.75	20.31	0.872
Ekim	121.1	44.19	13.35	196.4	193.8	18.83	18.44	0.905
Kasım	82.8	28.03	6.23	168.0	166.6	16.50	16.15	0.927
Aralık	64.7	28.87	1.00	137.1	135.9	13.85	13.56	0.954
Yıl	1759.4	585.71	11.91	2172.4	2132.6	207.24	202.88	0.901

Şekil 6.11. Konya Selçuk Üniversitesi Güneş Takip Sistemi Genel Sonuçlar ve Bilanço



Şekil 6.12. Konya Selçuk Üniversitesi Güneş Takip Sistemi Yıllık Kayıp Diyagramı

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, PVsyst programını kullanarak Konya ve Van illerinde kurulacak olan güneş enerjisi üretim santrallerini modellenmesinin yanı sıra, sistemlerin üretim verilerinin karşılaştırılması yapıldı. İki farklı ilde modellenmesi yapılan güneş enerji santrallerinin sabit açılı ve çift eksen güneş takip sistemli olarak tasarlandığında üretimlerinin il bazında değişip değişmediği gözlemlenerek ve üretim verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre farklı illerde farklı sistem kullanarak daha verimli elektrik üreten sistem modellenmesi belirlenmiştir. Sonuçlara göre Van İlinin, Ülkemizin yenilenebilir elektrik kaynak alanları projesi kapsamında pilot bölge olan Konya iline alternatif olarak tercih edilebileceği gösterilmiştir.

PVsyst programı ile Konya ve Van ilindeki seçilen koordinatlarda aynı özelliklere sahip tesis simülasyonu yapılmıştır. Modellenen tesisler için kullanılacak ürünler ve özellikleri program veri tabanından seçilmiştir. Program modellenen tesisler için meteorolojik verileri sentetik olarak üretmiş ve bu veriler kullanılarak üretim yaptırılmıştır. Aynı zamanda program tesislere ait sistem özetini, sistem kayıplarını, ay bazında bilanço ve genel sonuçları ve üretim sonuçlarını raporlamaktadır.

Şebeke bağlantılı 100 kW fotovoltaik bir sistem için farklı bölgeler seçilmiş ve farklı versiyonlar oluşturularak modellemeler yapılmıştır. Bu modellemeler kullanılarak PVsyst programında enerji üretimleri simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda yıllık üretim değerleri ve performansları karşılaştırılmıştır.

Her dört tesis içinde 192 adet 540 W'lık panel, 1 adet 100 kW'lık evirici ve 6 mm²'lik DC kablo, 120 mm²'lik AC kablo kullanılmış olup, bölge seçimlerinde sadece konum, toplam güneş ışımaya ve rakım farklılığı bulunmaktadır.

Yapılan simülasyonlar sonucunda sabit açılı sistemde Van Bardakçı mevkiinde yılda yaklaşık üretebileceği enerji miktarı 183,9 MWh'dır ve sistemin performansı %89,62'dir.

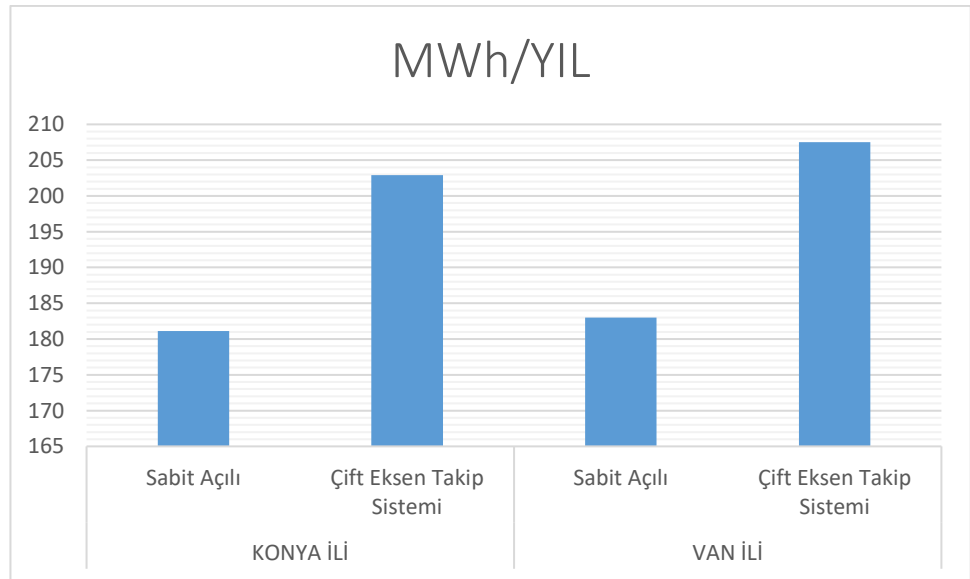
Güneş takipli sistemde ise, yılda yaklaşık üretebileceği enerji miktarı 209,3 MWh'dır ve sistemin performansı %90,13'tür.

Yapılan diğer simülasyonlar sonucunda sabit açılı sistemde Konya Selçuk Üniversitesi yılda yaklaşık üretebileceği enerji miktarı 181,1 MWh'dır ve sistemin performansı %88,33 dür. Güneş takipli sistemde ise, Konya Selçuk Yıl Üniversitesi yılda yaklaşık üretebileceği enerji miktarı 202,9 MWh'dır ve sistemin performansı %90,08'dir.

Van Bardakçı mevkiinde sabit açılı sistem ve güneş takipli sistem simülasyonu sonucunda hareketli sistemin %12,13 oranında daha fazla üretim yapacağı görülmüştür. Konya Selçuk üniversitesinde ise hareketli sistemin sabit açılı sisteme göre %10,74 oranında artışla üretim yapacağı görülmüştür.

Sabit açılı sistemlerde ise Konya Selçuk Üniversitesindeki sisteme göre Van Bardakçı mevkiindeki sistemin %1,5 daha fazla üretim yapacağı sonucuna varılmıştır.

Güneş takipli sistemlerde ise Konya Selçuk Üniversitesindeki sisteme göre Van Bardakçı mevkiindeki sistemin %3 daha fazla üretim yapacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 7.1. Yıllık Üretim Grafiği

Programda Konya ve Van ilinde seçtiğimiz konumların güneş ışıma değerleri 1759,2 kWh/m² olduğu görülmektedir. Aynı ışıma değerlerine sahip olan iki bölgemiz için PVsyst programından elde ettiğimiz veriler ışığında Konya İlinin yıllık sıcaklık ve rakım farkının sistem üretimine etkisi gözlemlenmiştir. Konya İlinin yıllık ortalama sıcaklığı 11,91° iken Van ilinde 9,71° olduğu görülmektedir. Güneş panellerinin üretimi ortam sıcaklığı ile ters orantılıdır. Van ilinde ortam sıcaklığı ortalama 2,21° daha düşük olduğundan paneller daha verimli çalışarak daha fazla üretim yapmıştır. Konya ilinin rakımı 1156 m iken Van ilinin rakımı 1692 m olarak sistemimizde kaydedilmiştir. Burada da rakımla orantılı olarak sıcaklığın düşmesi panel verimini artırmıştır. Sonuç olarak Van Bardakçı mevkiinde kurulacak sistem Konya Selçuk Mevkiine göre daha fazla elektrik üretimi yaptığı simülasyon verileri ile elde edilmiştir. Verilerin sonucuna bakılırsa yenilenebilir enerji kaynak alanları projesi kapsamında Konya ilinden sonra Van ilinin de de yüksek potansiyele sahip olduğu görülmüş olup bu proje kapsamında değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Ekolojist İnternet Sitesi “Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı ve Potansiyel Değerleri ” <http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-kullanimi-potansiyel-degeri/>.
2. Aksangör N. N., “Ankara Şartlarında Bir PV Sistemin PVsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2019.
3. Haydaroğlu C. ve Gümüş B., “Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500, Diyarbakır, 2016.
4. Demiryürek H. K., “200kwp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralının PVsyst İle Tasarımı Ve Üretim Değerleri İle Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2018.
5. Akcan E., Kuncan M., Minaz M. R., “2018 PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı PV Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu”, Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makale, *Avrupa Araştırma ve Bilim Dergisi*, Sayı 18, 248-261, 2020.
6. Öztürk A. Ve Dursun M., “2, 10 ve 20 KVA’lık PV sistem tasarımı” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*,16-18, Elazığ, 2011.
7. Ai B, Shen H, Ban Q, Ji B, Liao X., “Calculation of the hourly and daily radiation incident on three step tracking planes”, *Energy Conversion and Management*, 44:1999–2011, 2003.
8. Nann S., “Potential for tracking PV systems and V-troughs in moderate climates”, *Güneş Energy*, 45(6):385–93, 1998
9. Bingol O, Altıntaş A, Öner Y. “Microcontroller based güneş-tracking system and its implementation”. *Journal of Engineering Sciences*, 12(2):243–8, 2006.
10. Koyuncu B, Balasubramanian K. “A microprocessor controlled automatic güneş takip sistemi”. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 37(4):913–7, 1991.
11. Oral G., “İki Eksenli Güneş İzleme Panelinin Kontrolü”, *İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
12. Aydın M., “İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı Ve Prototipinin Üretimi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2016.

13. Ghazi A.J., “Irak çöl bölgesinde bulunan bir çiftlik için güneş enerjisi ile beslenen yeraltı suyu sulama sisteminin tasarımı ve değerlendirilmesi” *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, 2021.
14. Baş U., “Bir kampüsün toplam enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli depolama sisteminin rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilmesinin tasarım ve simülasyonu” *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
15. Kuzucu U., “Edirne ilinde tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı” *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 2021.
16. Kınalı M.Y., “Güneş enerjisi simülasyon programlarının gerçek verilerle doğruluk analizi” *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
17. Alıcı H., “Çukurova bölgesi için yeni güneş takip sistemi tasarımı ve uygulaması” *Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 2021.
18. Beyarslan S., “Yenilenebilir enerji kaynakları ile mikro şebeke tasarımı ve optimum çözümünün HOMER ile ” *İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 2021.
19. Uzunok S., “PV Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi” *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, 2007.
20. Ahsan, S., Javed, K., Rana, A. S., and Zeeshan, M., “Design and cost analysis of 1 kW photovoltaic system based on actual performance in Indian scenario”, *Perspectives in Science*, (8), 642-644, 2016.
21. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator>
22. Boztepe, M., “Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler”, *Emo İzmir Şubesi Dergisi*, 24(1), 28-29, İzmir, 2017.
23. İnternet: Uyar, Fatih. Güneş Panelleri Teknolojisinin Tarihçesi. www.enerjibes.com.

24. Çolak, Ş.Ç., “Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 14-37,2010.
25. Güçlüer, D., “Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların cbs – çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 5, 2010.
26. Çelebi, G., “Bina düşey kabuğunda PV panellerin kullanım ilkeleri” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33, 2002.
27. İnternet: Mustafa Numanoğlu “İletken, Yalıtkan ve Yarı İletken Maddeler” <https://acikders.ankara.edu.tr>.
28. Girgin, M.H., “Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5MW’lık güneş enerji santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 21-32, 2011.
29. Kaplan, H.K., “ZnS/Si Heteroeklem Diyotların Yapısal, Elektriksel Ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bursa, 2017
30. Murat Çataklı “PV Sistemler” kitabı, 5. Baskı
31. ORT, M.İ.. “PV Sistemlerde Güneşi Takip Eden Sistem Tasarımı Ve Mppt Kontrolü İle Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2016.
32. Kırıcıoğlu, O., Yıldız, A.B., “Fotovoltaik panelin tek diyotlu eşdeğer devresine ait büyük sinyal analizi” *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, s. 15-18, Kocaeli, 2015.
33. Kocalmis Bilhan, A., Caliskan, A., Unal, S. “Simulation of a photovoltaic panels by using Matlab/Simulink”, *2016 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 8(2), 2016.
34. Erkul, A., “Monokristal, Polikristal ve AmorfSilisyum Güneş Panelleri Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2010.
35. Abdelkader, M. R., Al-Salaymeh A., AlHamamre, Z. And Sharaf F. “A Comparative Analysis Of The Performance Of Monocrystallineand Multiocrystalline PV Cells In Semi

Arid Climate Conditions: The Case Of Jordan”, *Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering, Volume 4 Number 5*, s. 543-552, 2010.

36. Taşçıoğlu, A.. “ Monokristal Ve Polikristal Güneş Panellerinin Bursa Koşullarındaki Güç Performansı Üzerine Bir Araştırma ”, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2015.

37. Ghazali, A., Rahman, A. M., “The Performance Of Three Different Güneş Panels For Güneş Electricity Applying Güneş Tracking Device Under The Malaysian Climate Condition”, *Energy And Environment Research, Volume 2 Number 1*, s. 235-243, 2012.

38. Tanrıver, M.F.. “Plazmonik Nanoparçacıkların Güneş Hücrelerinin Verimine Etkileri ”, *Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2021.

39. Boyar, A. “Güneş Panelleri için Mikro Evirici Tasarımı ve Analizi ”, *Nevşehir Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2018.

40. Korkmaz, M. “Fotovoltaik Bir Sistemin Farklı Açılı Ve Oryantasyonda Karşılaştırmalı Enerji Üretim Simülasyonu Ve Analizi”, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2019.

41. Sağlam, E.. “Fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları Ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simulasyon Sonuçları İle Karşılaştırılması” *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2018.

42. Öncin, F.. “Çatı Tipi Güneş Enerji Santralleri Ve Dağıtım Tesislerine Bağlantı Kriterleri”, *Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2018.

43. Akar, A.. “Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu Ve Performansının Analizi” *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Yüksek Lisans Tezi*, 2016.

44. Taktak, İlı, 6 Eylül, *Geomatik Dergisi*, 3(1), s.1-21,2018.

45. Mehmet Demirtaş “Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Makale, *Politeknik Dergisi*, 2006

EKLER

EK-1



Sürüm 7.1.5

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Van Bardakçı

Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

Dizi, tek sıra

Sistem gücü : 104 kWp

Van Bardakçı - Turkey

| Ayşegül ETCİ

EK-1 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC0, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

Proje özeti

Coğrafi konum Van Bardakçı Turkey	Konum Enlem Boylam Rakım Saat dilimi	38.58 °N 43.28 °E 1692 m UTC+3	Proje ayarları Albedo	0.20
Hava durumu verileri Van Bardakçı Meteonorm 7.3 (1985-2000), Sat=100% - Synthetic				

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem Kolektör düzleminin yönlendirmesi Sabit düzlem Eğim/Azimuth	21 / 0 °	Dizi, tek sıra Yakın gölgelemeler Detaylı elektrik hesaplama düzenlemeye göre	Kullanıcı ihtiyaçları Sınırsız yükleme (şebeke)
Sistem bilgisi PV alanı Modül sayısı Toplam nom. güç	192 birim 104 kWp	Invertör Öge sayısı Toplam nom. güç Şebeke güç sınırı Şebeke sınırı Pnom oranı	1 Birim 100 kWac 100 kWac 1.037

Sonuçların özeti

Öretilen enerji	183.9 MWh/yıl	Öretilebilir	1773 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	88.62 %
-----------------	---------------	--------------	------------------	----------------	---------

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Yakın gölgelemelerin tanımlanması - Izo gölgeleme diyagramı	5
Genel sonuçlar	6
Kayıplar diyagramı	7
Özel grafikler	8



PVsyst V7.1.5

VC0, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

AC kablolama kaybı

Inv. çıkışından enjeksiyon noktasına Invertör gerilimi Kayıp oranı Invertör: SUN2000-100KTL-M1-400Vac Kablo kesiti (1 Inv.) Kablo uzunluğu	400 Vac trif 0.4 STC'de% Alü 1 x 3 x 120 mm ² 25 m
--	--

EK-1(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VCO, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı

Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem		Dizi, tek sıra		Kullanılan modeller	
Kolektör düzleminin yönlendirmesi		Dizi ayarları		Transpozisyon Perez	
Yönlendirme		Dizi sayısı	4 birim	Diffüz Perez, Meteorom	
Sabit düzlem		Dizi alan, basit		Circumsolar	ayrı
Eğim/Azmut	21 / 0 °	Boyutlar			
		Dizi aralığı	8.00 m		
		Kolektör eni	4.60 m		
		Arazd kullanım oranı (GCR)	57.5 %		
		Etkisiz üst şart	0.02 m		
		Etkisiz alt şart	0.02 m		
		Gölgeleme açısı sınırı			
		Profil açısı sınırı	24.2 °		
Ufuk		Yakın gölgelemeler		Kullanıcı ihtiyaçları	
Ufuk tanımlanmadı		Detaylı elektrik hesaplama		Sınırsız yükleme (şebeke)	
		düzenlemeye göre			
Şebeke gücü kısıtlaması					
Aktif güç	100 kWac				
Nom. güç oranı	1.037				

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		İnvertör	
Öretici	Elin (verified by SolPEG)	Öretici	Huawei Technologies
Model	ELNSM72M-540-HC-HV	Model	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)	
birim gücü	540 Wp	birim gücü	100 kWac
PV modül sayısı	192 birim	İnvertör sayısı	1 Birim
Nominal (STC)	104 kWp	Toplam güç	100 kWac
Modül	12 Zinor x 16 Serf	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (↔30°C)	110 kWac
Pmpp	96.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	1.04
U mpp	608 V		
I mpp	158 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	104 kWp	Toplam güç	100 kWac
Toplam	192 modül	İnvertör sayısı	1 Birim
Modül yüzeyi	496 m²	Nom. güç oranı	1.04
Hücre yüzeyi	456 m²		

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü		DC kablolama kaybı		Modül kalite kaybı	
Işınımaya göre modül sıcaklığı		Global alan direnci		Kayıp oranı	
Uc (sabit)	29.0 W/m²K	Kayıp oranı	13 mΩ		-0.2 %
Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K/m/s		0.3 STC'de%		
Modül uyumsuzluk kaybı		Dizi uyumsuzluk kaybı		IAM kayıp faktörü	
Kayıp oranı	2.0 MPP'de%	Kayıp oranı	0.1 %	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos(i - 1))	
				bo param.	0.05

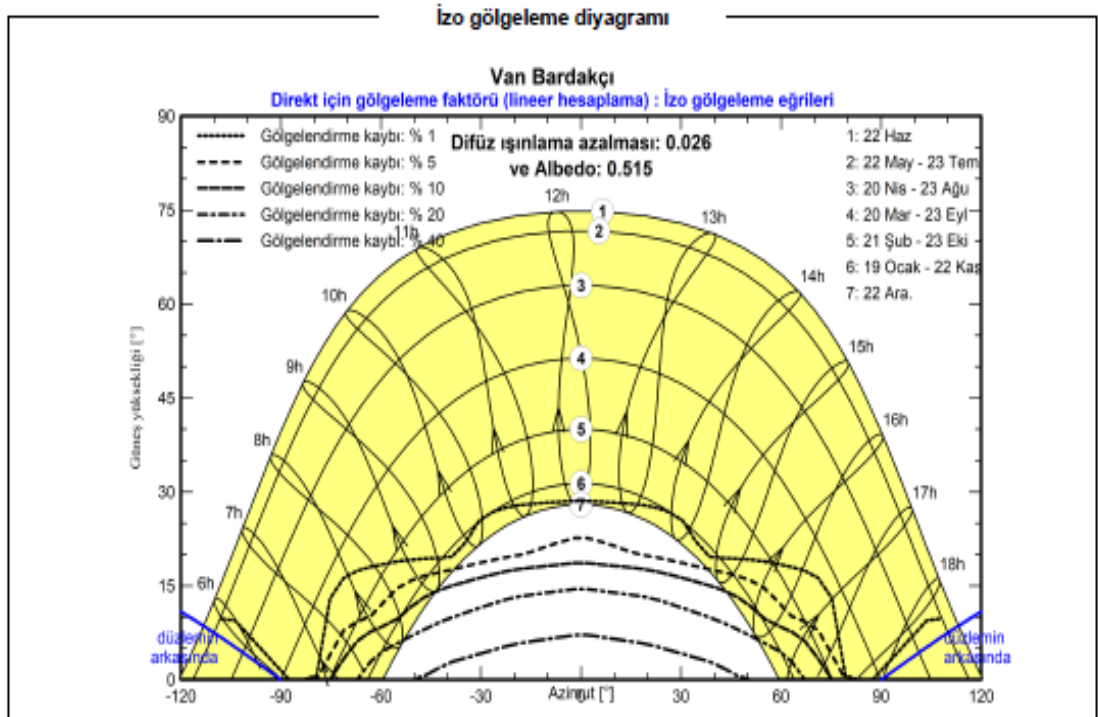
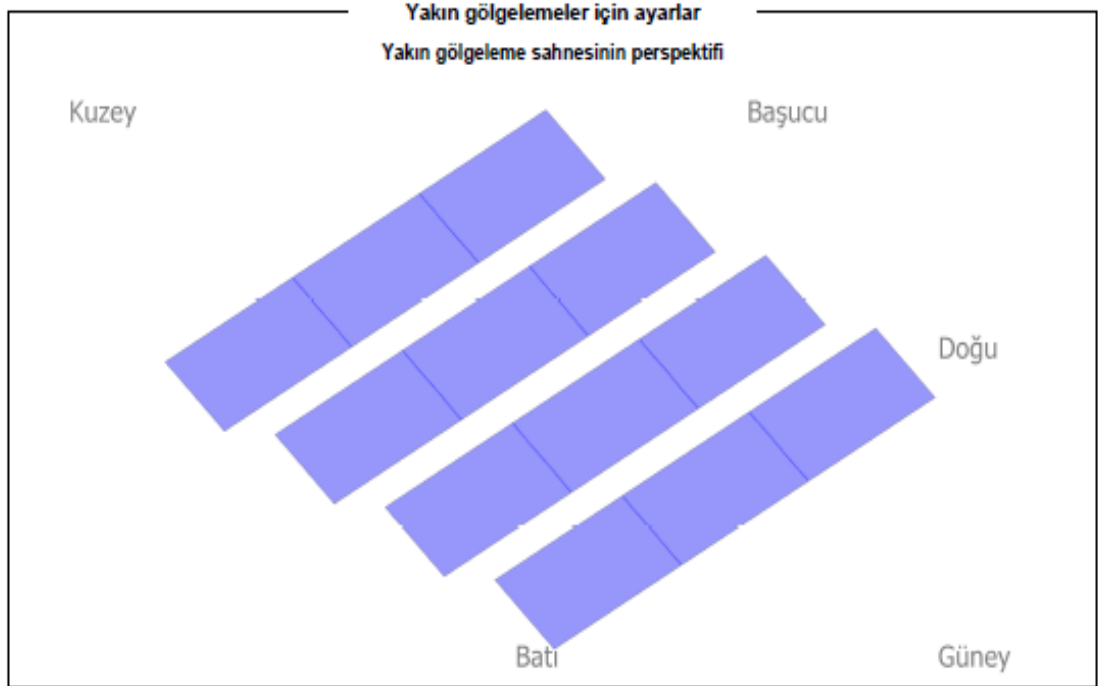
EK-1 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VCO, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı
Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM





PVsyst V7.1.5

VC0, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı

Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji]

183.9 MWh/yıl

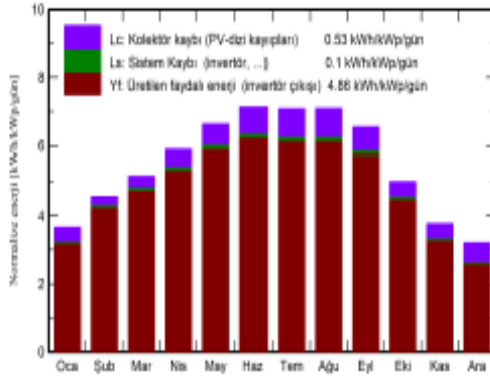
Üretilebilir

1773 kWh/kWp/yıl

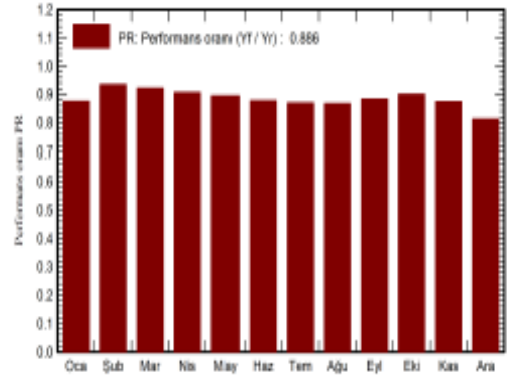
Performans oranı PR

88.62 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	76.3	27.20	-3.13	113.7	108.3	10.52	10.32	0.875
Şubat	95.7	33.34	-1.57	127.8	123.2	12.63	12.38	0.935
Mart	135.5	49.30	3.30	160.0	154.4	15.61	15.30	0.922
Nisan	165.0	66.54	8.20	177.1	170.6	16.98	16.64	0.907
Mayıs	203.8	67.19	13.22	205.7	198.8	19.48	19.08	0.895
Haziran	220.9	60.02	18.06	213.8	206.3	19.86	19.45	0.878
Temmuz	222.0	71.60	22.00	219.5	211.5	20.21	19.80	0.870
Ağustos	208.1	58.57	22.18	219.8	212.5	20.20	19.79	0.868
Eylül	168.4	45.48	17.41	196.6	190.1	18.38	18.01	0.884
Ekim	119.3	40.93	12.01	154.9	149.5	14.74	14.46	0.900
Kasım	79.4	29.89	4.75	113.1	108.1	10.46	10.26	0.875
Aralık	65.2	23.63	-0.65	99.3	93.9	8.54	8.37	0.813
Yıl	1759.5	573.69	9.71	2001.2	1927.2	187.61	183.87	0.886

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı



PVsyst V7.1.5

VCO, Simülasyon tarihi:

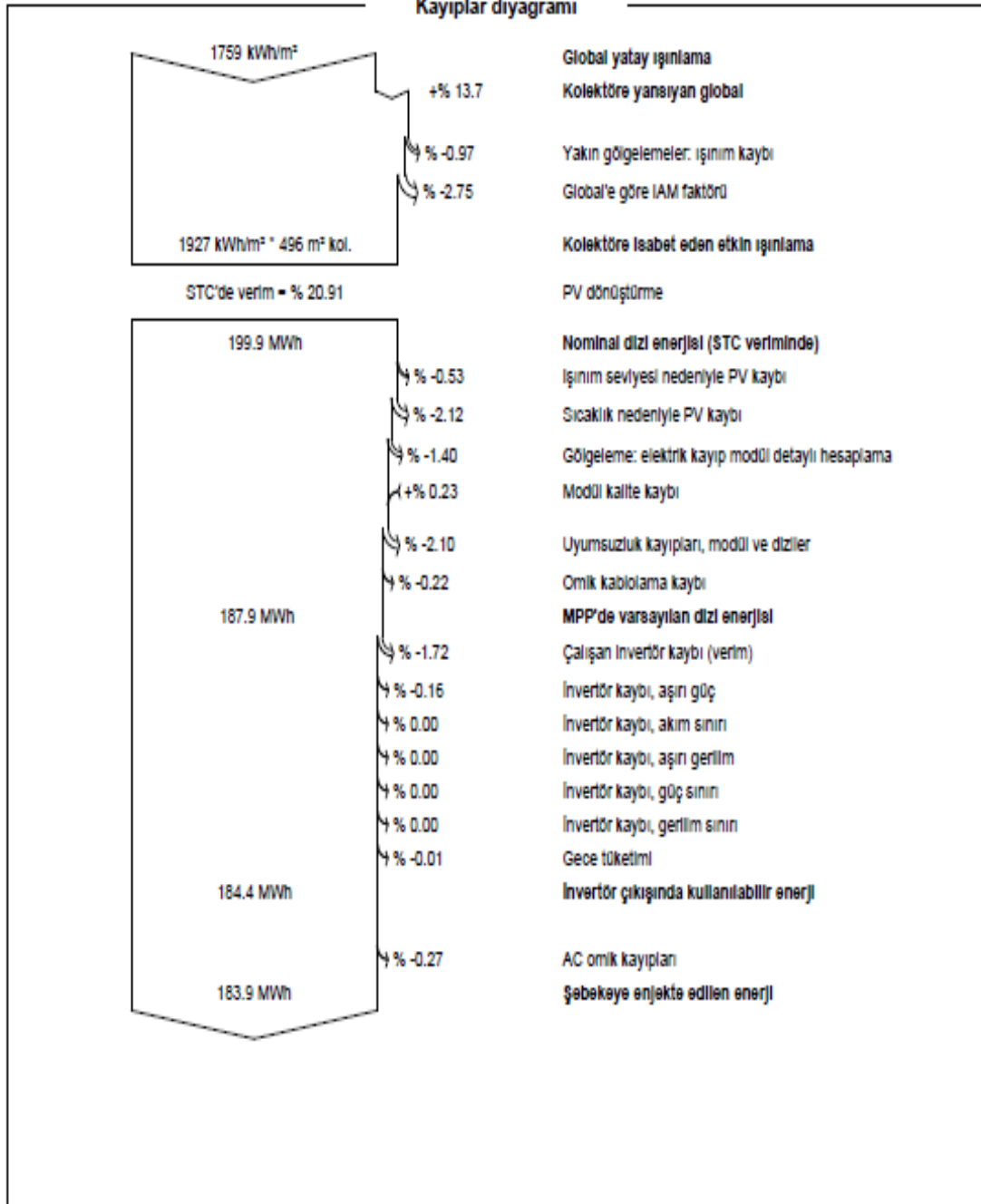
18/07/22 21:03

v7.1.5 ile

Proje: Van Bardağı

Varyant: VAN Bardağı SABİT SİSTEM

Kayıplar diyagramı



EK-1 (Devamı)



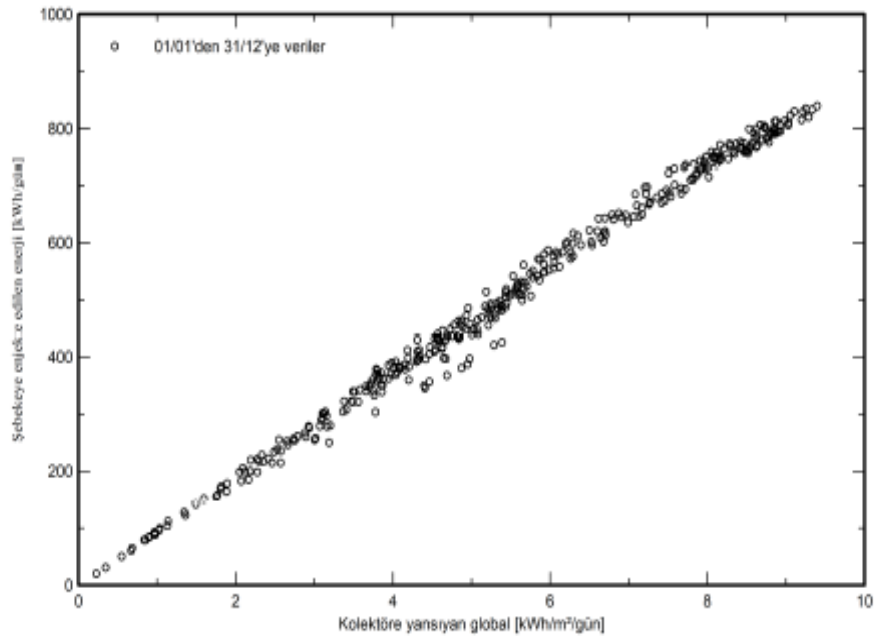
PVsyst V7.1.5

VCO, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:03
v7.1.5 ile

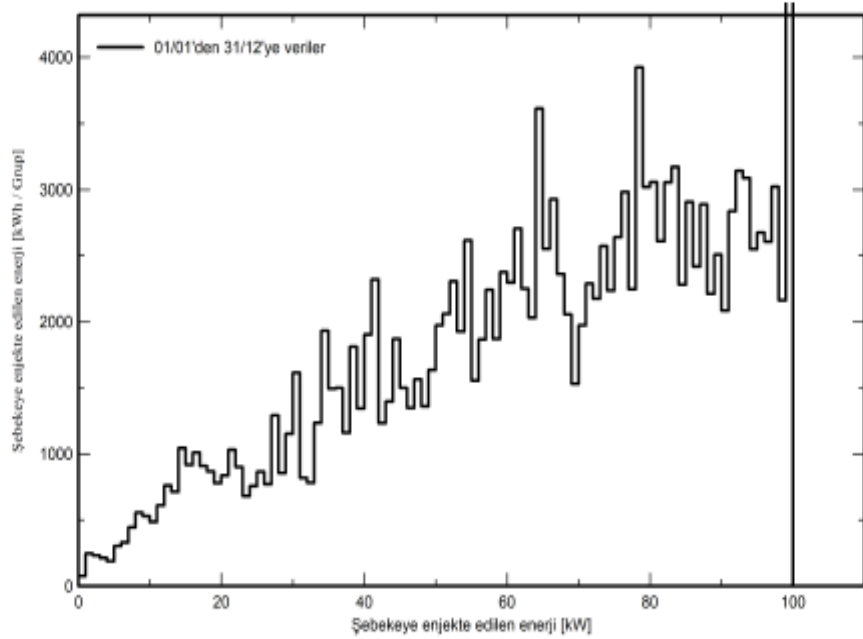
Proje: Van Bardakçı
Varyant: VAN Bardakçı SABİT SİSTEM

Özel grafikler

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



EK-2



Sürüm 7.1.5

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit

Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

Dizi, tek sıra

Sistem gücü : 104 kWp

1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü - Turkey

| Ayşegül ETCİ

EK-2 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

Proje özeti

Coğrafi konum 1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü Turkey	Konum Enlem 38.03 °N Boylam 32.50 °E Rakım 1156 m Saat dilimi UTC+3	Proje ayarları Albedo 0.20
Hava durumu verileri 1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü Meteonorm 7.3 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic		

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem Kolektör düzleminin yönlendirmesi Sabit düzlem Eğim/Azım 21 / 0 °	Dizi, tek sıra Yakın gölgemeler Detaylı elektrik hesaplama düzenlemeye göre	Kullanıcı ihtiyaçları Sınırsız yükleme (şebeke)
Sistem bilgisi PV alanı Modül sayısı 192 birim Toplam nom. güç 104 kWp	Invertör Öğe sayısı 1 Birim Toplam nom. güç 100 kWac Şebeke güç sınırı 100 kWac Şebeke sınır Pnom oranı 1.037	

Sonuçların özeti

Üretilen enerji 181.1 MWh/yl	Üretililebilir 1746 kWh/kWp/yl	Perf. oranı PR 88.33 %
------------------------------	--------------------------------	------------------------

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Yakın gölgemelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	5
Genel sonuçlar	6
Kayıplar diyagramı	7
Özel grafikler	8



PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

AC kablolama kaybı

İnv. çıkışından enjeksiyon noktasına Invertör gerilimi 400 Vac tri Kayıp oranı 0.4 STC'de% Invertör: SUN2000-100KTL-M1-400Vac Kablo kesiti (1 İnv.) Alü 1 x 3 x 120 mm ² Kablo uzunluğu 25 m

EK-2 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem		Dizi, tek sıra		Kullanılan modeller	
Kolektör düzleminin yönlendirmesi		Dizi ayarları		Transpozisyon Perez	
Yönlendirme		Dizi sayısı	4 birim	Difüz	Perez, Meteorom
Sabit düzlem		Dizi alan, basit		Circumsolar	ayn
Eğim/Azimut	21 / 0 °	Boyutlar			
		Dizi aralığı	8.00 m		
		Kolektör eni	4.60 m		
		Arazi kullanım oranı (GCR)	57.5 %		
		Etkisiz üst şerit	0.02 m		
		Etkisiz alt şerit	0.02 m		
		Gölgeleme açısı sınırı			
		Profil açısı sınırı	24.2 °		
Ufuk		Yakın gölgelemeler		Kullanıcı ihtiyaçları	
Ufuk tanımlanmadı		Detaylı elektrik hesaplama		Sınırsız yükleme (şebeke)	
		düzenlemeye göre			
Şebeke gücü kısıtlaması					
Aktif güç	100 kWac				
Nom. güç oranı	1.037				

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		İnvertör	
Üretici	Elin (verified by SolPEG)	Üretici	Huawei Technologies
Model	ELNSM72M-540-HC-HV	Model	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)	
birim gücü	540 Wp	birim gücü	100 kWac
PV modül sayısı	192 birim	İnvertör sayısı	1 Birim
Nominal (STC)	104 kWp	Toplam güç	100 kWac
Modül	12 Zincir x 16 Seri	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (=>30°C)	110 kWac
Pmpp	96.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	1.04
U mpp	608 V		
I mpp	158 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	104 kWp	Toplam güç	100 kWac
Toplam	192 modül	İnvertör sayısı	1 Birim
Modül yüzeyi	496 m ²	Nom. güç oranı	1.04
Hücre yüzeyi	456 m ²		

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü		DC kablolama kaybı		Modül kalite kaybı	
İşinima göre modül sıcaklığı		Global alan direnci	13 mΩ	Kayıp oranı	-0.2 %
Uc (sabit)	29.0 W/m ² K	Kayıp oranı	0.3 STC'de%		
Uv (rüzgar)	0.0 W/m ² K/m/s				
Modül uyumsuzluk kaybı		Dizi uyumsuzluk kaybı		IAM kayıp faktörü	
Kayıp oranı	2.0 MPP'de%	Kayıp oranı	0.1 %	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi - 1)	
				bo param.	0.05

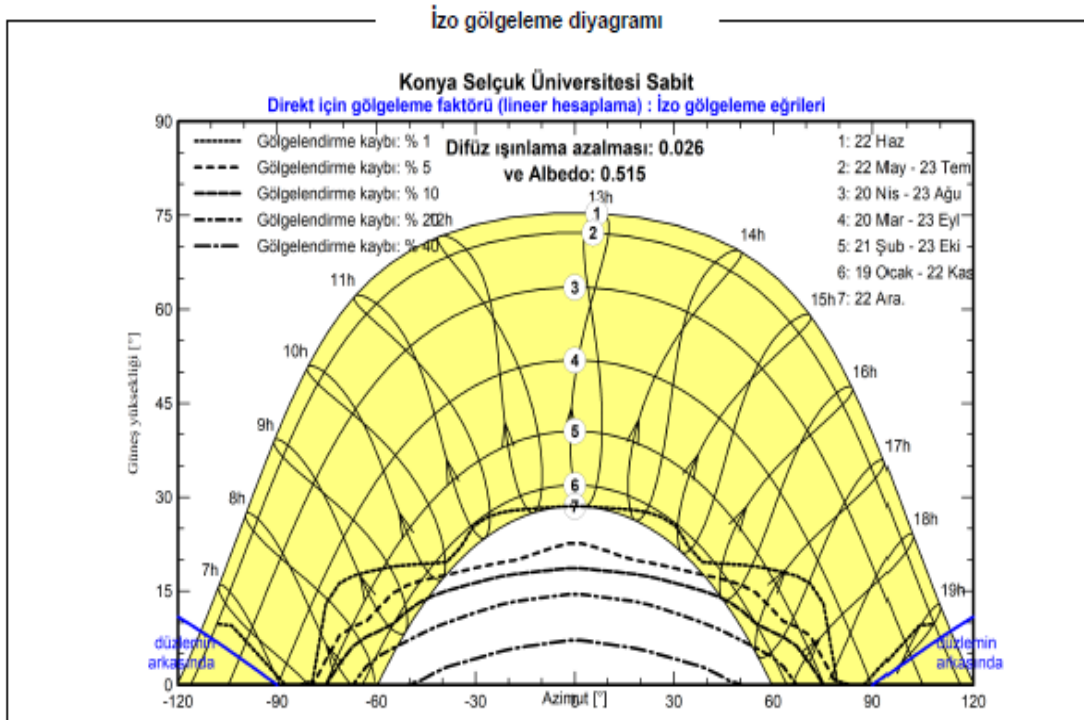
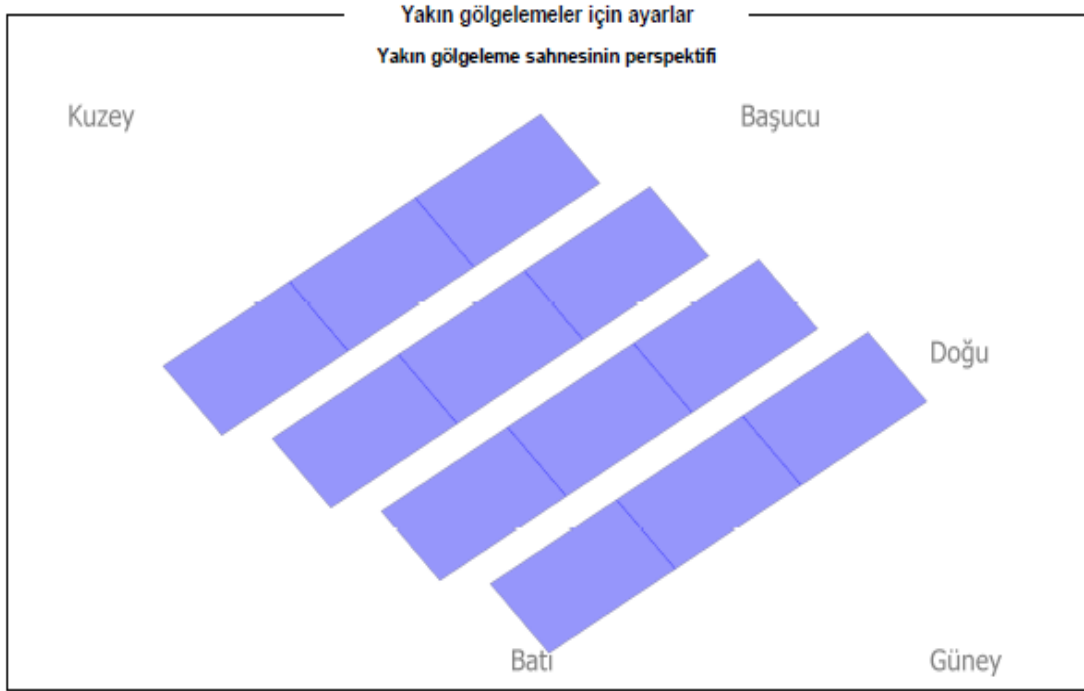
EK-2 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM





PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji

181.1 MWh/yıl

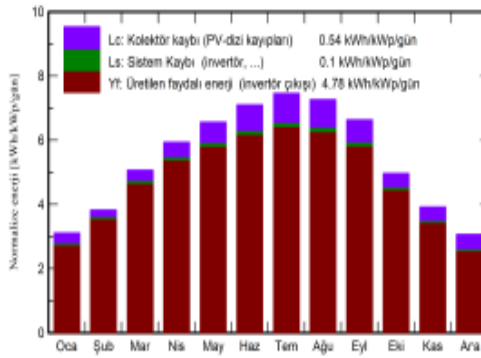
Üretilebilir

1746 kWh/kWp/yıl

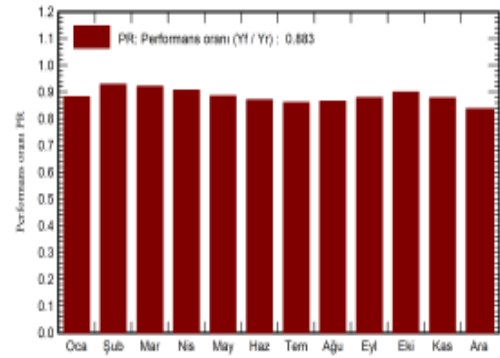
Performans oranı PR

88.33 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.1	27.54	-0.77	96.4	92.0	9.00	8.82	0.882
Şubat	82.9	37.40	0.81	107.2	103.0	10.52	10.33	0.929
Mart	133.4	56.67	6.50	157.0	151.6	15.29	14.99	0.921
Nisan	164.7	67.13	10.62	178.1	171.7	17.07	16.74	0.907
Mayıs	202.6	66.83	15.84	203.5	196.3	19.07	18.69	0.886
Haziran	219.6	64.39	20.81	213.1	205.7	19.64	19.24	0.871
Temmuz	235.8	60.67	24.76	231.4	223.6	21.10	20.66	0.861
Ağustos	213.5	58.41	24.49	225.0	217.7	20.61	20.18	0.865
Eylül	171.4	45.59	18.65	198.9	192.5	18.50	18.13	0.879
Ekim	121.1	44.19	13.35	153.9	148.6	14.62	14.35	0.899
Kasım	82.8	28.03	6.23	117.5	112.6	10.90	10.69	0.878
Aralık	64.7	28.87	1.00	95.0	89.9	8.40	8.24	0.837
Yıl	1759.4	585.71	11.91	1977.0	1905.0	184.73	181.06	0.883

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

EK-2 (Devamı)

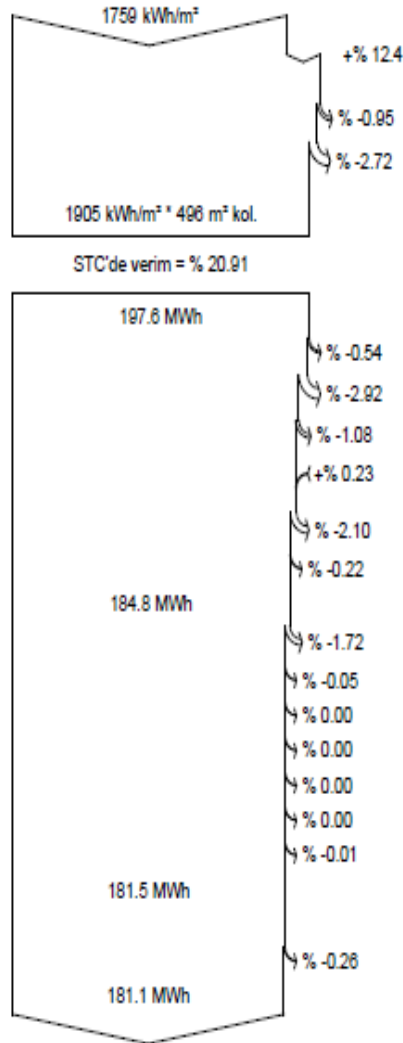


PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama
Kolektöre yansıyan global
Yakın gölgemeler: ışınım kaybı
Global'e göre IAM faktörü
Kolektöre isabet eden etkin ışınlama
PV dönüştürme
Nominal dizi enerjisi (STC veriminde)
Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı
Sıcaklık nedeniyle PV kaybı
Gölgeleme: elektrik kayıp modül detaylı hesaplama
Modül kalite kaybı
Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler
Omik kablolama kaybı
MPP'de varsayılan dizi enerjisi
Çalışan invertör kaybı (verim)
Invertör kaybı, aşırı güç
Invertör kaybı, akım sınırı
Invertör kaybı, aşırı gerilim
Invertör kaybı, güç sınırı
Invertör kaybı, gerilim sınırı
Gece tüketimi
Invertör çıkışında kullanılabilir enerji
AC omik kayıpları
Şebekeye enjekte edilen enerji

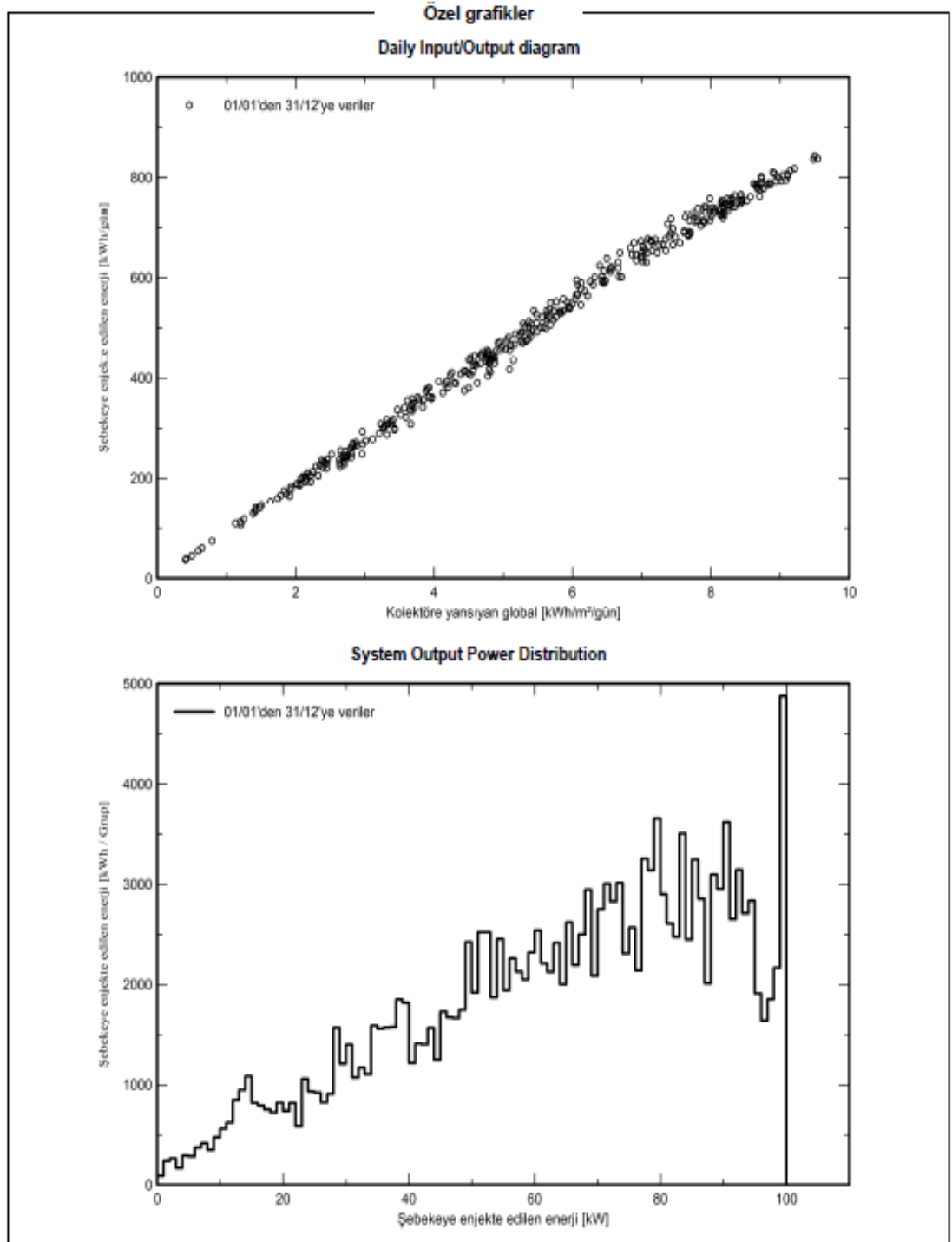
EK-2 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC1, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:19
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Sabit
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi SABİT SİSTEM





PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Van Bardakçı Tracker

Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Backtracking'li tek sıra takipçi

Sistem gücü : 104 kWp

Van Bardakçı - Turkey

EK-3(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:08
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Proje özeti

Coğrafi konum Van Bardakçı Turkey	Konum Enlem Boylam Rakım Saat dilimi	38.58 °N 43.26 °E 1692 m UTC+3	Proje ayarları Albedo	0.20
Hava durumu verileri Van Bardakçı Meteonorm 7.3 (1985-2000), Sat=100% - Synthetic				

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem Kolektör düzleminin yönlendirmesi Çift eksenli takipçi düzlemi	Backtracking'li tek sıra takipçi Yakın gölgelemeler Modül zincirlerine göre Elektrik etki	100 %	Kullanıcı ihtiyaçları Sınırsız yükleme (şebeke)
Sistem bilgisi PV alanı Modül sayısı Toplam nom. güç	192 birim 104 kWp	Invertör Öge sayısı Toplam nom. güç Şebeke güç sınırı Şebeke sınır Pnom oranı	1 Birim 100 kWac 100 kWac 1.037

Sonuçların özeti

Üretilen enerji	209.3 MWh/yıl	Üretilebilir	2019 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	90.13 %
-----------------	---------------	--------------	------------------	----------------	---------

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Yakın gölgelemelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	5
Genel sonuçlar	6
Kayıplar diyagramı	7
Özel grafikler	8



PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:08
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

AC kablolama kaybı

Inv. çıkışından enjeksiyon noktasına Invertör gerilimi Kayıp oranı Invertör: SUN2000-100KTL-M1-400Vac Kablo kesiti (1 Inv.) Kablo uzunluğu	400 Vac trif 0.4 STC'de% Al0 1 x 3 x 120 mm ² 25 m
--	--

EK-3(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:08
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem	Backtracking'li tek sıra takipçi	
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Backtracking stratejisi	Kullanılan modeller
Yönlendirme	Takipçi sayısı	Transpozisyon
Çift eksenli takipçi düzlemi	12 birim	Perez
	Dizi alan, basit	Diffüz
		Perez, Meteorom
	Boyutlar	Circumsolar
	Takipçi aralığı	ayrı
	Kolektör eni	
	Arazi kullanım oranı (GCR)	
	Etkisiz sol şerit	
	Etkisiz sağ şerit	
	Tilt min / max	
	0.0 / 80.0 °	
	Azimuth min / max	
	-/+ 120.0 °	
Ufuk	Yakın gölgelemeler	Kullanıcı ihtiyaçları
Ufuk tanımlanmadı	Modül zincirlerine göre	Sınırsız yükleme (şebeke)
	Elektrik etki	
	100 %	
Şebeke gücü kısıtlaması		
Aktif güç		
100 kWac		
Nom. güç oranı		
1.037		

Kolektör alanının özellikleri

PV modül	İnvertör
Üretici	Üretici
Eln (verified by SolPEG)	Huawei Technologies
Model	Model
ELNSM72M-540-HC-HV	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)	(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)
birim gücü	birim gücü
540 Wp	100 kWac
PV modül sayısı	İnvertör sayısı
192 birim	1 Birim
Nominal (STC)	Toplam güç
104 kWp	100 kWac
Modül	Çalışma gerilimi
12 Zinç x 16 Seri	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)	Maks güç (→30°C)
Pmpp	110 kWac
96.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)
U mpp	1.04
608 V	
I mpp	
158 A	
Total PV gücü	İnvertör toplam gücü
Nominal (STC)	Toplam güç
104 kWp	100 kWac
Toplam	İnvertör sayısı
192 modül	1 Birim
Modül yüzeyi	Nom. güç oranı
496 m²	1.04
Hücre yüzeyi	
456 m²	

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı
Işınımına göre modül sıcaklığı	Global alan direnci	Kayıp oranı
Uc (sabit)	13 mΩ	-0.2 %
29.0 W/m²K	Kayıp oranı	
Uv (rüzgar)	0.3 STC'de%	
0.0 W/m²K/m/s		
Modül uyumsuzluk kaybı	Dizi uyumsuzluk kaybı	IAM kayıp faktörü
Kayıp oranı	Kayıp oranı	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos(-1))
2.0 MPP'de%	0.1 %	bo param.
		0.05

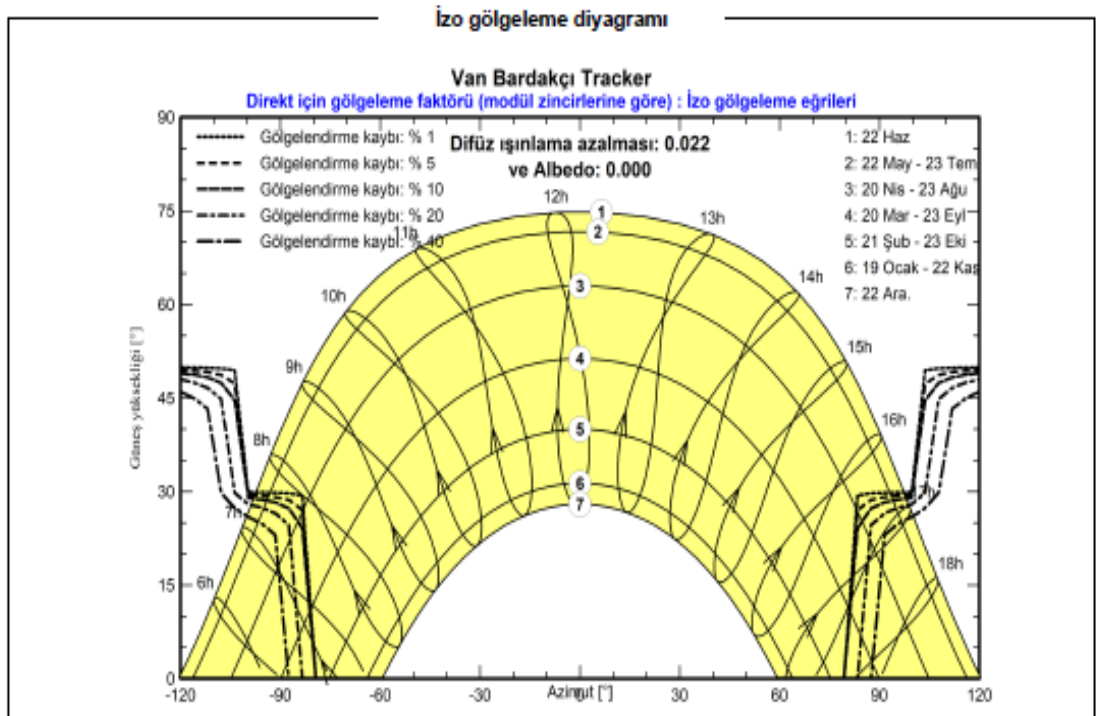
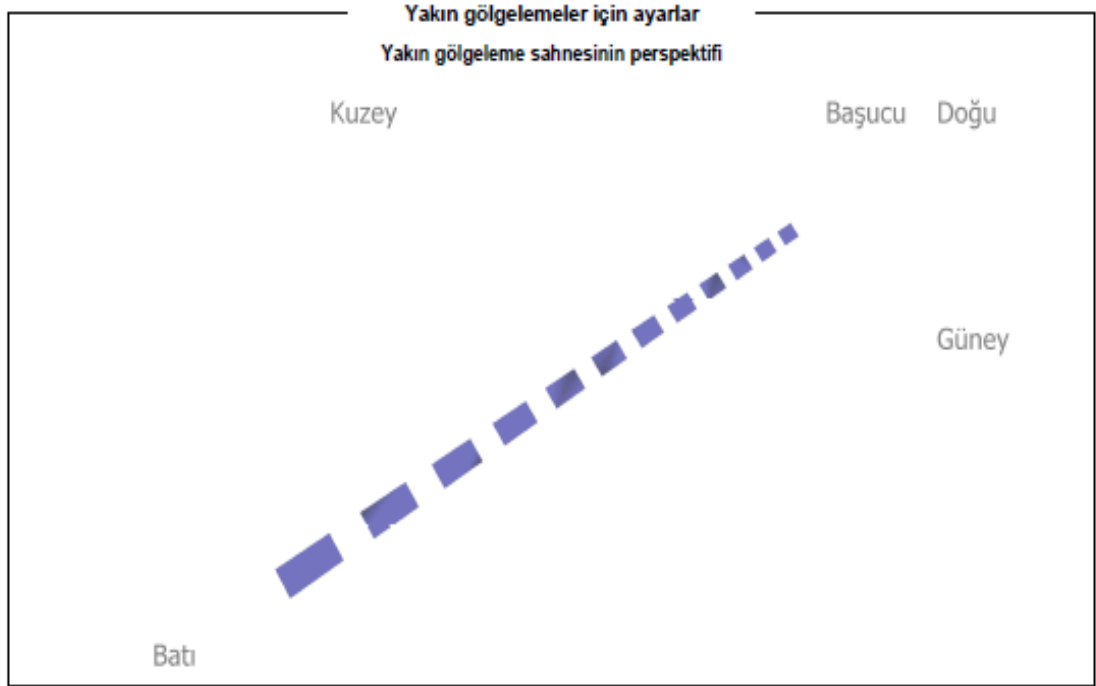
EK-3(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:08
v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker
Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM





PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:

18/07/22 21:08

v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker

Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji

209.3 MWh/yıl

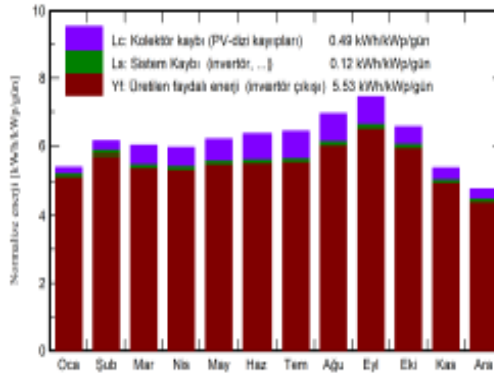
Üretilebilir

2019 kWh/kWp/yıl

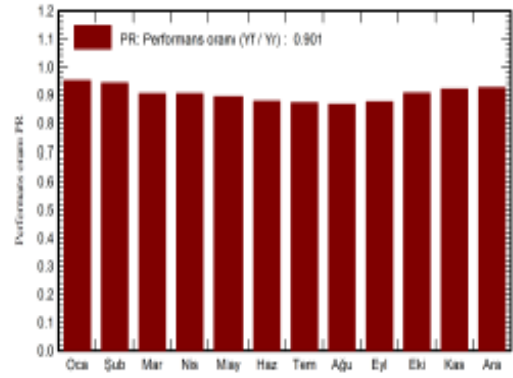
Performans oranı PR

90.13 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	76.3	27.20	-3.13	168.4	167.1	16.98	16.61	0.951
Şubat	95.7	33.34	-1.57	171.8	170.0	17.16	16.79	0.942
Mart	135.5	49.30	3.30	186.3	182.9	17.84	17.47	0.904
Nisan	165.0	66.54	8.20	178.4	174.4	17.08	16.73	0.904
Mayıs	203.8	67.19	13.22	191.9	187.2	18.17	17.79	0.894
Haziran	220.9	60.02	18.06	190.6	185.5	17.71	17.34	0.877
Temmuz	222.0	71.60	22.00	199.2	194.0	18.41	18.02	0.873
Ağustos	208.1	58.57	22.18	215.4	210.7	19.79	19.37	0.867
Eylül	168.4	45.48	17.41	223.5	219.2	20.74	20.30	0.876
Ekim	119.3	40.93	12.01	203.3	200.9	19.53	19.12	0.907
Kasım	79.4	29.89	4.75	162.5	161.0	15.86	15.52	0.921
Aralık	65.2	23.63	-0.65	148.3	147.2	14.56	14.23	0.926
Yıl	1759.5	573.69	9.71	2239.6	2200.0	213.83	209.29	0.901

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı



PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:

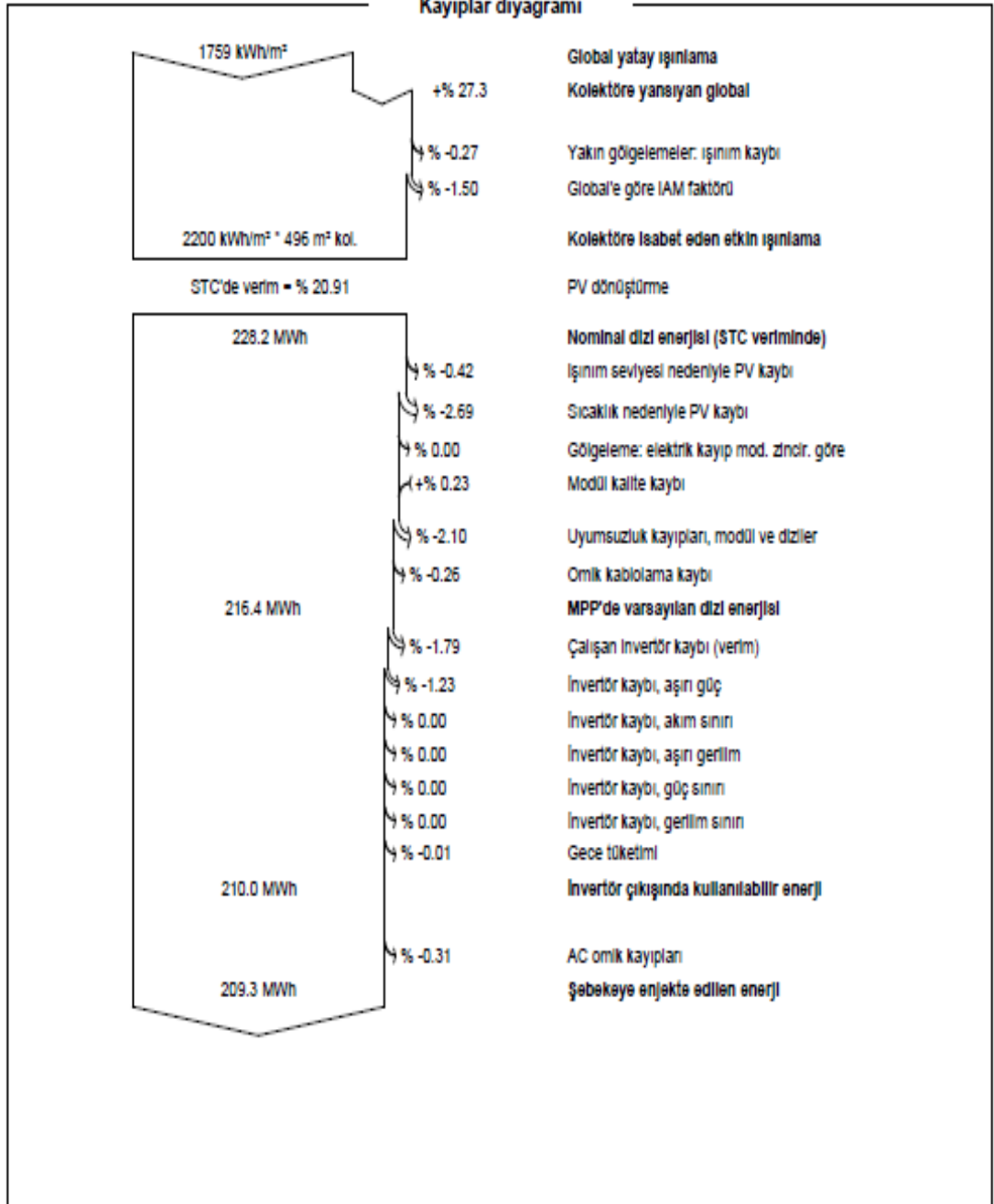
18/07/22 21.08

v7.1.5 ile

Proje: Van Bardakçı Tracker

Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Kayıplar diyagramı



EK-3 (Devamı)



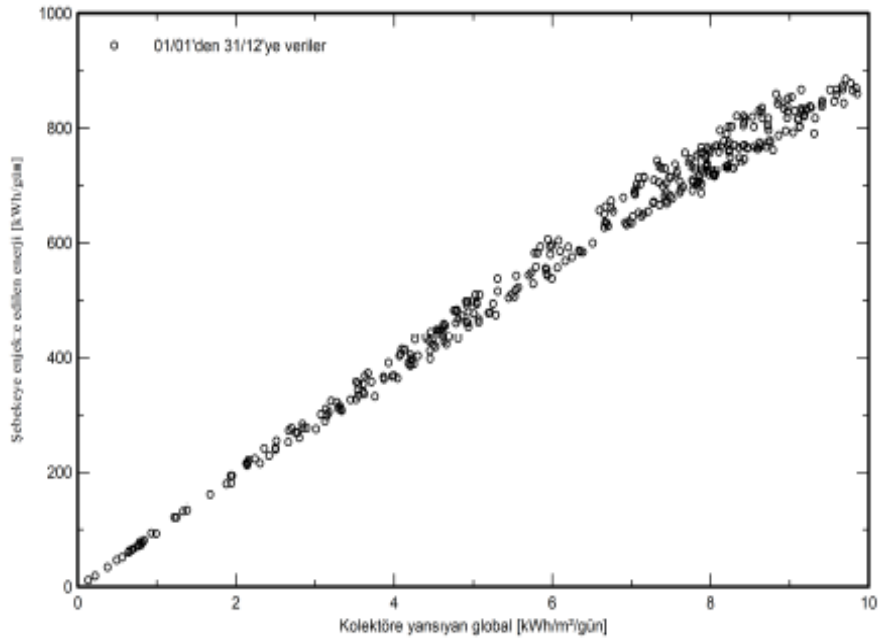
PVsyst V7.1.5

VC3, Simülasyon tarihi:
18/07/22 21:08
v7.1.5 ile

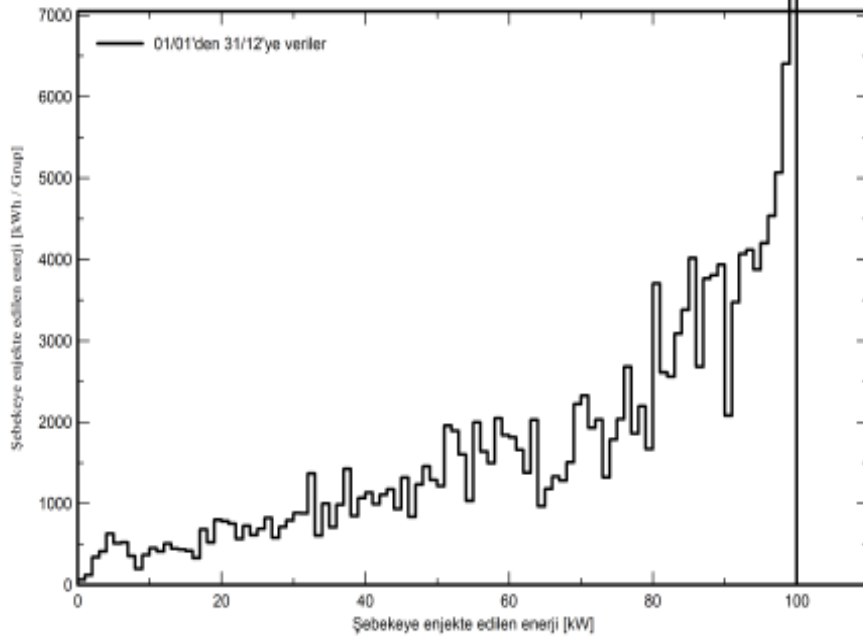
Proje: Van Bardakçı Tracker
Varyant: Van Bardakçı TRACKER SİSTEM

Özel grafikler

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



EK-4



Sürüm 7.1.5

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM
Backtracking'li tek sıra takipçi
Sistem gücü : 104 kWp
1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü - Turkey

| Ayşegül ETCİ

EK-4(Devamı)



Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

PVsyst V7.1.5

VC2, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
v7.1.5 ile

Proje özeti

Coğrafi konum	Konum	Proje ayarları
1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü Turkey	Enlem 38.03 °N Boylam 32.50 °E Rakım 1158 m Saat dilimi UTC+3	Albedo 0.20

Hava durumu verileri
1- Konya Selçuk Üniversite Kampüsü
Meteonorm 7.3 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem	Backtracking'li tek sıra takipçi	Kullanıcı ihtiyaçları
Kolektör düzleminin yönlendirmesi Çift eksenli takipçi düzlemi	Yakın gölgelermeler Lineer gölgelermeler	Sınırsız yükleme (şebeke)
Sistem bilgisi	İnvertör	
PV alanı	Öge sayısı	1 Birim
Modül sayısı	Toplam nom. güç	100 kWac
Toplam nom. güç	Şebeke güç sınırı	100 kWac
	Şebeke sınır Pnom oranı	1.037

Sonuçların özeti

Üretilen enerji	202.9 MWh/yıl	Üretilebilir	1957 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	90.08 %
-----------------	---------------	--------------	------------------	----------------	---------

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Yakın gölgelermelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	5
Genel sonuçlar	6
Kayıplar diyagramı	7
Özel grafikler	8



Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

PVsyst V7.1.5

VC2, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
v7.1.5 ile

AC kablolama kaybı

İnv. çıkışından enjeksiyon noktasına	
İnvertör gerilimi	400 Vac tri
Kayıp oranı	0.4 STC'de%
İnvertör: SUN2000-100KTL-M1-400Vac	
Kablo kesiti (1 İnv.)	Alü 1 x 3 x 120 mm ²
Kablo uzunluğu	25 m

EK-4(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC2, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem	Backtracking'li tek sıra takipçi	
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Backtracking stratejisi	Kullanılan modeller
Yönlendirme	Takipçi sayısı 12 birim	Transpozisyon Perez
Çift eksenli takipçi düzlemi	Dizi alan, basit	Difüz Perez, Meteorom
	Boyutlar	Circumsolar ayrı
	Takipçi aralığı 15.0 m	
	Kolektör eni 9.20 m	
	Arazi kullanım oranı (GCR) 61.3 %	
	Etkisiz sol şerit 0.02 m	
	Etkisiz sağ şerit 0.02 m	
	Tilt min / max 0.0 / 80.0 °	
	Azimet min / max -/+ 120.0 °	
Ufuk	Yakın gölgelemeler	Kullanıcı ihtiyaçları
Ufuk tanımlanmadı	Lineer gölgelemeler	Sınırsız yükleme (şebeke)
Şebeke gücü kısıtlaması		
Aktif güç 100 kWac		
Nom. güç oranı 1.037		

Kolektör alanının özellikleri

PV modül	İnvertör	
Üretici Elin (verified by SolPEG)	Üretici Huawei Technologies	
Model ELNSM72M-540-HC-HV	Model SUN2000-100KTL-M1-400Vac	
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)	(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)	
birim gücü 540 Wp	birim gücü 100 kWac	
PV modül sayısı 192 birim	İnvertör sayısı 1 Birim	
Nominal (STC) 104 kWp	Toplam güç 100 kWac	
Modül 12 Zincir x 16 Seri	Çalışma gerilimi 200-1000 V	
İşletme şartlarında (50°C)	Maks güç (=>30°C) 110 kWac	
Pmpp 96.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC) 1.04	
U mpp 608 V		
I mpp 158 A		
Total PV gücü	İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC) 104 kWp	Toplam güç 100 kWac	
Toplam 192 modül	İnvertör sayısı 1 Birim	
Modül yüzeyi 496 m ²	Nom. güç oranı 1.04	
Hücre yüzeyi 456 m ²		

Dizi kayıpları

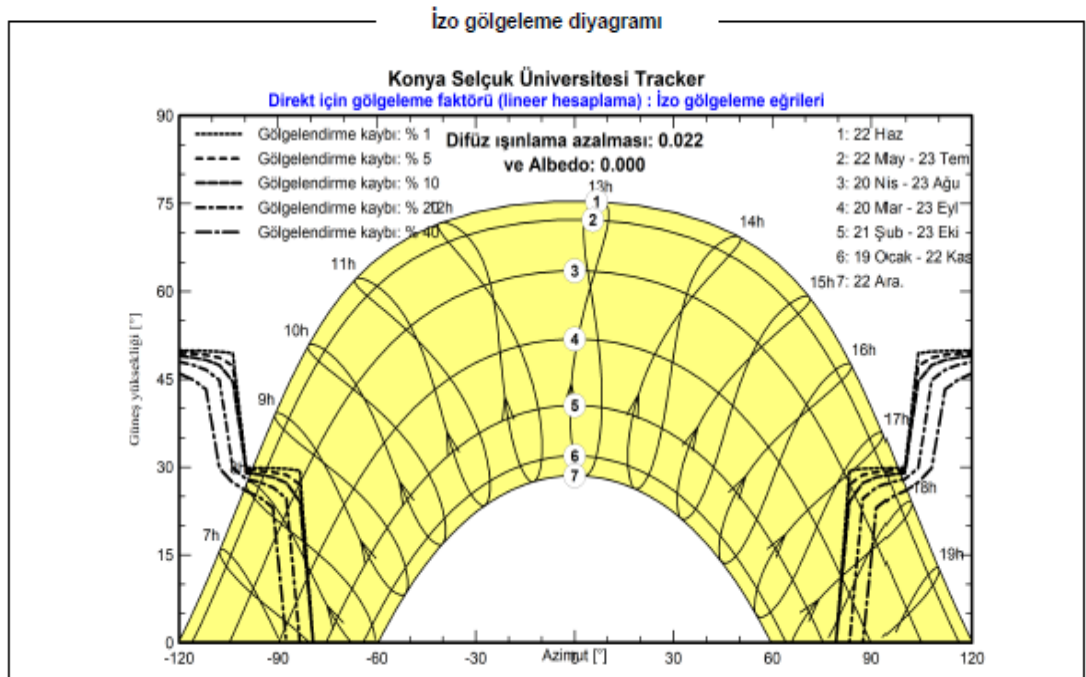
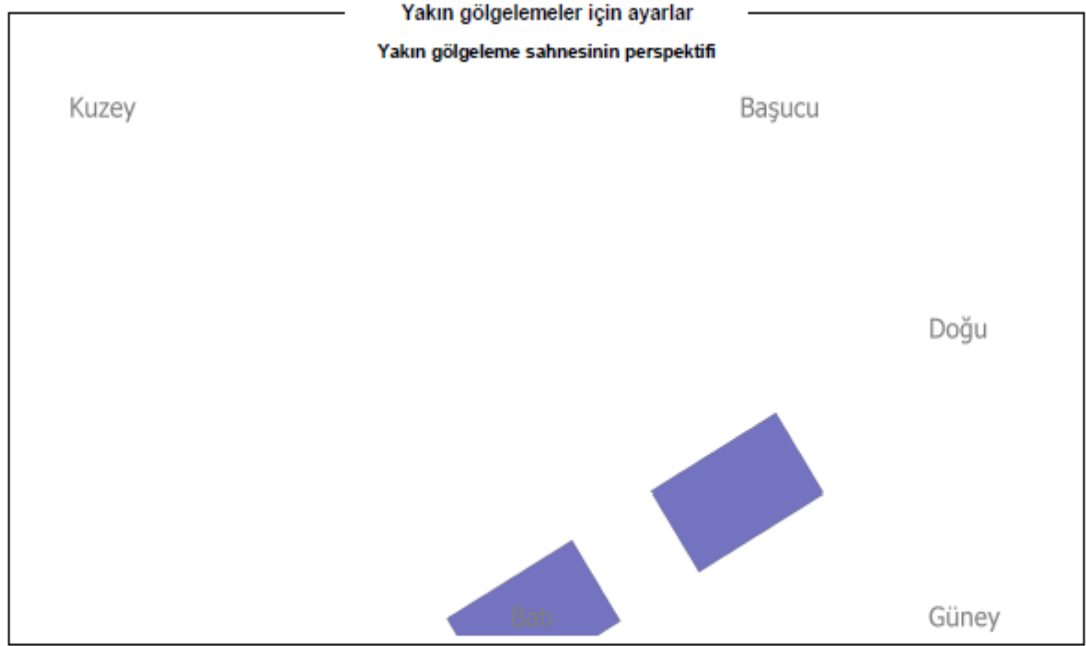
Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı
İşinima göre modül sıcaklığı	Global alan direnci 13 mΩ	Kayıp oranı -0.2 %
Uc (sabit) 29.0 W/m ² K	Kayıp oranı 0.3 STC'de%	
Uv (rüzgar) 0.0 W/m ² K/m/s		
Modül uyumsuzluk kaybı	Dizi uyumsuzluk kaybı	IAM kayıp faktörü
Kayıp oranı 2.0 MPP'de%	Kayıp oranı 0.1 %	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo/(1+cosi -1)
		bo param. 0.05

EK-4(Devamı)



PVsyst V7.1.5
VC2, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM



EK-4(Devamı)



Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

PVsyst V7.1.5

VC2_Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
v7.1.5 ile

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji

202.9 MWh/yıl

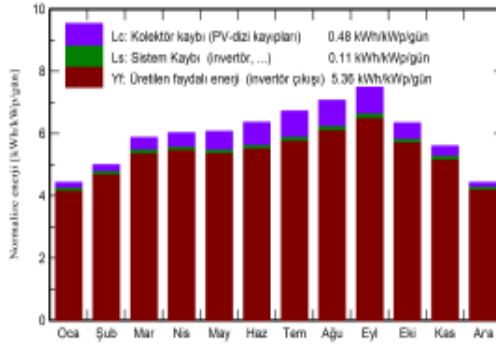
Üretilebilir

1957 kWh/kWp/yıl

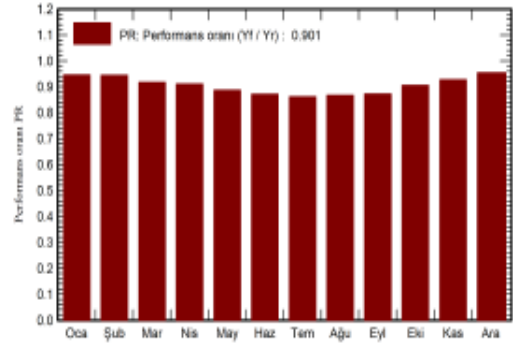
Performans oranı PR

90.08 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	oran
Ocak	67.1	27.54	-0.77	137.3	136.1	13.76	13.46	0.946
Şubat	82.9	37.40	0.61	139.7	137.8	13.97	13.68	0.945
Mart	133.4	56.67	6.50	182.1	178.9	17.68	17.32	0.917
Nisan	164.7	67.13	10.62	180.8	176.7	17.44	17.09	0.912
Mayıs	202.6	66.83	15.84	188.3	183.6	17.70	17.33	0.888
Haziran	219.6	64.39	20.81	190.7	185.7	17.60	17.23	0.872
Temmuz	235.8	60.67	24.76	208.4	203.0	19.03	18.61	0.861
Ağustos	213.5	58.41	24.49	219.1	214.3	20.14	19.70	0.867
Eylül	171.4	45.59	18.65	224.6	220.4	20.75	20.31	0.872
Ekim	121.1	44.19	13.35	196.4	193.8	18.83	18.44	0.905
Kasım	82.8	28.03	6.23	168.0	166.6	16.50	16.15	0.927
Aralık	64.7	28.87	1.00	137.1	135.9	13.85	13.56	0.954
Yıl	1759.4	585.71	11.91	2172.4	2132.6	207.24	202.88	0.901

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

EK-4(Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC2, Simülasyon tarihi:

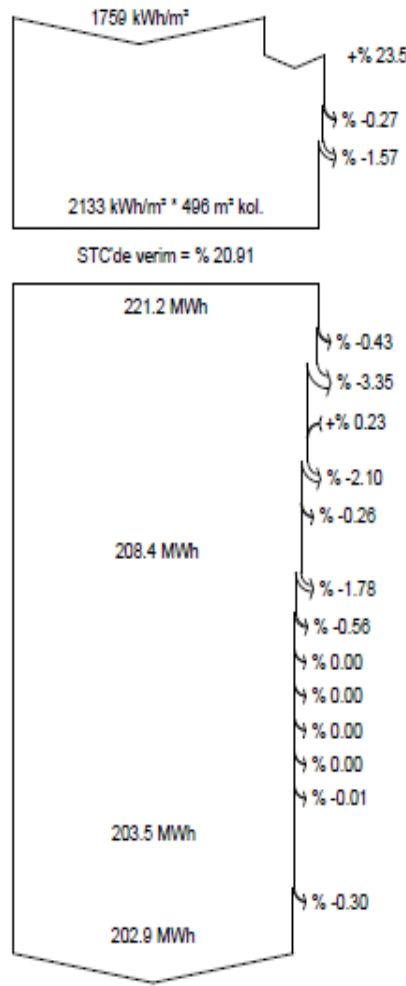
23/05/22 11:41

v7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker

Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Yakın gölgelermeler: ışınım kaybı

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Nominal dizi enerjisi (STC veriminde)

Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan invertör kaybı (verim)

İnvertör kaybı, aşırı güç

İnvertör kaybı, akım sınırı

İnvertör kaybı, aşırı gerilim

İnvertör kaybı, güç sınırı

İnvertör kaybı, gerilim sınırı

Gece tüketimi

İnvertör çıkışında kullanılabilir enerji

AC omik kayıpları

Şebekeye enjekte edilen enerji

EK-4 (Devamı)



PVsyst V7.1.5

VC2, Simülasyon tarihi:
23/05/22 11:41
V7.1.5 ile

Proje: Konya Selçuk Üniversitesi Tracker
Varyant: Konya Selçuk Üniversitesi TRACKER SİSTEM

