



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN FARKLI AÇI VE ORYANTASYONDA
KARŞILAŞTIRMALI ENERJİ ÜRETİM SİMÜLASYONU VE ANALİZİ**

Muhammed KORKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed KORKMAZ tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN FARKLI AÇI VE ORYANTASYONDA KARŞILAŞTIRMALI ENERJİ ÜRETİM SİMÜLASYONU VE ANALİZİ” adlı tez çalışması 04/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



İmza

Muhammed KORKMAZ

Tarih: 04.10.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN FARKLI AÇI VE ORYANTASYONDA KARŞILAŞTIRMALI ENERJİ ÜRETİM SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

Muhammed KORKMAZ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2019, 62 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Bu çalışmada fotovoltaik sistem tasarımında kullanılan farklı oryantasyon ve açılara göre üretim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Konya ili Çumra ilçesinde 1 MW gücündeki sistem referans alınarak, ilk olarak sabit açılı sistem, ikinci olarak mevsimsel açılı sistem ve son olarak da güneş takip sistemleri için PVsyst simülasyon programı ile enerji üretim analizleri yapılmıştır. Böylelikle fotovoltaik sistemler için farklı tasarımlara ait üretim değerleri ve performansları incelenmiştir. Çalışmanın en önemli katkısı, farklı sistemler için gerekli üretimleri öngörebilmek ve bu şekilde farklı sistemlerin enerji üretimlerini, verimlerini ve performans oranlarını karşılaştırabilmektir. Sonuç olarak farklı yapıdaki sistemlerin enerji üretimleri karşılaştırılmış, birbirlerine olan üstünlükleri incelenmiş ve fiyat- performans oranları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: enerji üretimi, fotovoltaik, güneş enerjisi, PVsyst

ABSTRACT

MS THESIS

SIMULATION AND ANALYSIS OF COMPARATIVE ENERGY PRODUCTION IN VARIOUS ANGLE AND ORIENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Muhammed KORKMAZ

**The Graduate School of Natural and Applied Science of
Necmettin Erbakan University
The Degree of Master of Science
In Electrical Electronics Engineering**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

2019, 62 Pages

Jury

**Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN
Assist. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

In this study, production analyzes were performed according to different orientations and angles used in photovoltaic system design. For this purpose, 1 MW solar power system was used as reference in Çumra district of Konya. Firstly, fixed angle system, secondly seasonal angle system and finally, solar tracking systems PVsyst simulation program were used for energy production analysis. Thus, the energy production values and performances of different designs for photovoltaic systems were examined. The most important contribution of the study is to be able to foresee the productions required for different systems and to compare the energy production, efficiency and performance ratios of different systems. As a result, energy production of different systems were compared, their advantages over each other were examined and price-performance ratios were compared.

Keywords: energy production, photovoltaic, solar energy, PVsyst

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bütün desteklerinden dolayı başta saygıdeğer danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN olmak üzere, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm öğretim üyesi ve araştırma görevlisi hocalarıma ve yüksek lisans eğitimimi başarıyla tamamlamamda emeği geçen arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarken, beni büyüten yetiştiren ve her zaman destekleyen canım aileme teşekkür ederim.

Muhammed KORKMAZ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	2
2.1. Dünyamızın Güneş Enerjisi Potansiyeli	2
2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	3
2.3. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri	4
2.3.1. Fotovoltaik güneş teknolojilerinin tarihsel gelişimi	5
2.3.2. Yarı iletkenler	6
2.3.3. N-tipi yarı iletken	8
2.3.4. P-tipi yarı iletken	8
2.3.5. PN eklemi	9
2.3.6. Fotovoltaik hücre	10
2.3.7. Fotovoltaik hücre eş değer devresi	11
2.3.8. Fotovoltaik etki	12
2.3.9. Sıcaklığın fotovoltaik panel üzerine etkisi.....	12
2.3.10. Nem ve rüzgarın fotovoltaik panel üzerine etkisi.....	14
2.4. Fotovoltaik Hücrelerin Yapımında Kullanılan Malzemeler	15
2.4.1. Kristal silisyum	15
2.4.2. Galyum arsenit	15
2.4.3. Amorf silisyum	15
2.4.4. Kadmiyum tellürid (CdTe)	15
2.4.5. Bakır indiyum diselenid (CuInSe ₂).....	16
2.5. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri.....	16
2.5.1. İnce film güneş panelleri.....	17
2.5.2. Kristal silisyum hücreler	18
2.5.2.1. Mono kristal hücreler	18
2.5.2.2. Poli kristal hücreler	19
2.6. FV Sistem Bileşenleri	19
2.6.1. Evirici.....	20
2.6.1.1. Mikro eviriciler	20
2.6.1.2. Dizi eviriciler	21

2.6.1.3. Merkezi eviriciler.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Şebekeye Bağlı FV Sistemin Tanımı.....	24
3.2. FV Sistem Tasarımları.....	24
3.2.1. Zenit açısı.....	24
3.2.2. Yükseklik açısı.....	25
3.2.3. Azimut açısı.....	25
3.2.3.1. Güneş azimut açısı.....	25
3.2.3.2. Yüzey azimut açısı.....	26
3.2.4. Geliş açısı.....	26
3.2.5. Eğim açısı.....	26
3.2.6. FV sistem yerleşim tipleri.....	26
3.2.6.1. Sabit açılı sistemler.....	26
3.2.6.2. Güneş takip sistemleri.....	27
3.2.7. Panel evirici uyumluluk hesabı.....	28
3.2.8. FV sistem gölgelenme analizi.....	28
3.2.8.1. Parçalı gölgelenme durumu ve by-pass diyotu.....	30
3.3. Performans Analizi Sistem Parametreleri.....	32
3.3.1. Referans verim.....	32
3.3.2. Dizi verimi.....	32
3.3.3. Nihai sistem verimi.....	32
3.3.4. Dizi yakalama kayıpları.....	32
3.3.5. Sistem kayıpları.....	33
3.3.6. Performans oranı.....	33
4. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM VE MALİYET ANALİZİ.....	34
4.1. PVsyst.....	34
4.2. FV Sistemler İçin Üretim ve Maliyet Analizleri.....	35
4.2.1. Sabit açılı sistem için üretim ve maliyet analizi.....	35
4.2.2. Mevsimsel açılı sistem için üretim ve maliyet analizi.....	37
4.2.3. Tek eksenli güneş takip sistemi için üretim ve maliyet analizi.....	39
4.2.4. Çift eksenli güneş takip sistemi için üretim analizi.....	40
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	43
5.1. Sonuçlar.....	43
5.2. Öneriler.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CdTe	: Kadmiyum Tellürid
cm²	: Santimetrekaare
CuInSe²	: Bakır İndiyum Diselenid
GaAs	: Galyum Arsenid
km³	: Kilometreküp
m²	: Metrekare
S	: Güneş Değişmezi

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
dk	: Dakika
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVA	: Etil Vinil Asetat
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Sistemi
GW	: Giga Watt
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
mm	: Milimetre
MPP	: Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)
MW	: Mega Watt
MWh	: Mega Watt Saat
STC	: Standart Test Conditions (Standart Test Koşulları)
TEDLAR	: Termoplastik Film
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TW	: Tera Watt
USD	: Amerikan Doları

1. GİRİŞ

Dünya yıllık enerji tüketiminin 2050 yılına kadar yaklaşık 30 TW düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dünyamızda, yüzyılın ortalarında atmosferdeki CO₂'i dengede tutabilmek için yaklaşık 20 TW CO₂ dışı enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle CO₂'i dengede tutmak için en basit senaryolardan birisi yenilenebilir enerji kaynağı olan fotovoltaik (FV) sistemi kullanmaktır. Böylece, FV teknolojisinin dünyanın gelecekteki enerji talebini karşılamak amacıyla önemli bir işlevi olacaktır (Öztürk ve Kaya, 2013).

Eğer tükettiğimiz elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlarsak, Türkiye standartlarında tükettiğimiz elektriğin kWh'i başına 0.6 kg CO₂'in atmosfere salınması engellenmiş olur.

Güneş enerjisinin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir; güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur. Güneş, tüm dünya ülkelerinin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır. Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür. Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemekle beraber hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler.

Çeşitli güneş sistemlerinde elde edilen güneş enerjisi miktarı, zaman faktörleri dahil olmak üzere birçok faktörün karmaşık bir işlevidir. Bu faktörler yerel radyasyon ikliması(konumu), yerel sistemin yönelimi ve eğimi, toplayıcı yüzeyi ve zemin yansıma özellikleri gibi unsurlardır. Güneş santrallerinin performansı sistem oryantasyonu ve açısından büyük ölçüde etkilenir.

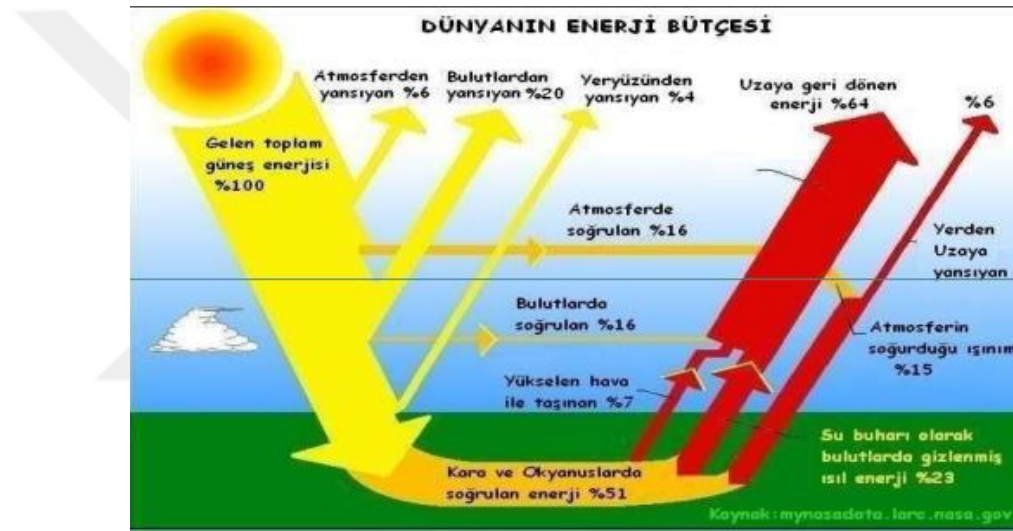
Güneş enerjisi santralleri güneş ışınım enerjisini kullanan sistemlerdir. Güneş panelleri güneş enerjisini DC elektrik enerjisine çeviren modüllerdir. Güneş panelleri gerekli hesaplamalar sonucunda belirlenen sayılarda seri ve paralel bağlanarak eviricilerle irtibatlandırılırlar. Eviricilere girişi yapılan DC güç, eviriciler vasıtasıyla AC güce çevrilerek şebekeye enjekte edilir (Despotovic ve Nedic, 2015).

Güneş enerjisinden en yüksek verim ile faydalanabilmek adına yapılan bu çalışmada, optimum tasarımları yapılan farklı FV sistemler yıllık enerji üretimleri bakımından karşılaştırılmıştır. Optimum tasarımlar belirlenirken birçok etmen göz önünde bulundurulmuştur.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Dünyamızın Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünya, güneşten yaklaşık 150 milyon kilometre uzakta hem kendi eksenini etrafında hem de eliptik bir yörünge üzerinde güneş etrafında dönmektedir. Güneşten yayılan enerji saniyede 300000 km'lik bir hızla yaklaşık 8 dk'da dünyamıza ulaşmaktadır. Ancak dünyaya ulaşan güneş enerjisinin tamamı kullanılabilir enerjiye dönüşmemektedir. Bu ışınlar atmosfere girdikten sonra, bir kısmı bulutlar ve atmosfer tarafından emilir, bir kısmı yansıtılır ve kalan kısmı da doğrudan yeryüzüne ulaşır. Şekil 2.1.'de atmosferden geçen güneş ışınlarının dağılımı görülmektedir (Cezim, 2013).



Şekil 2.1. Atmosfere giren güneş ışınlarının dağılımı

Dünya, güneş etrafında kendi dolanma yörüngesinin düzlemiyle 23,5 derecelik açı yaparak hareketini devam ettirir. Güneşe olan mesafesi yıl boyunca değiştiği için atmosfer dışındaki, gelen güneş enerjisi miktarı da değişmektedir. Yapılan hesaplar ve ölçümler ile yıl boyunca atmosfere ulaşan ışınlam miktarının ortalaması alınmış ve güneş sabiti olarak adlandırılmıştır. Güneş sabitinin değeri atmosfer dışındaki seviyesinde 1367 W/m² olarak kabul edilmiştir. Atmosfere girdikten sonra bir kısmı emilen bir kısmı da yansıtılan güneş ışınlarının deniz seviyesindeki ışınlam miktarı 1000 W/m² değerine düşmektedir.

2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

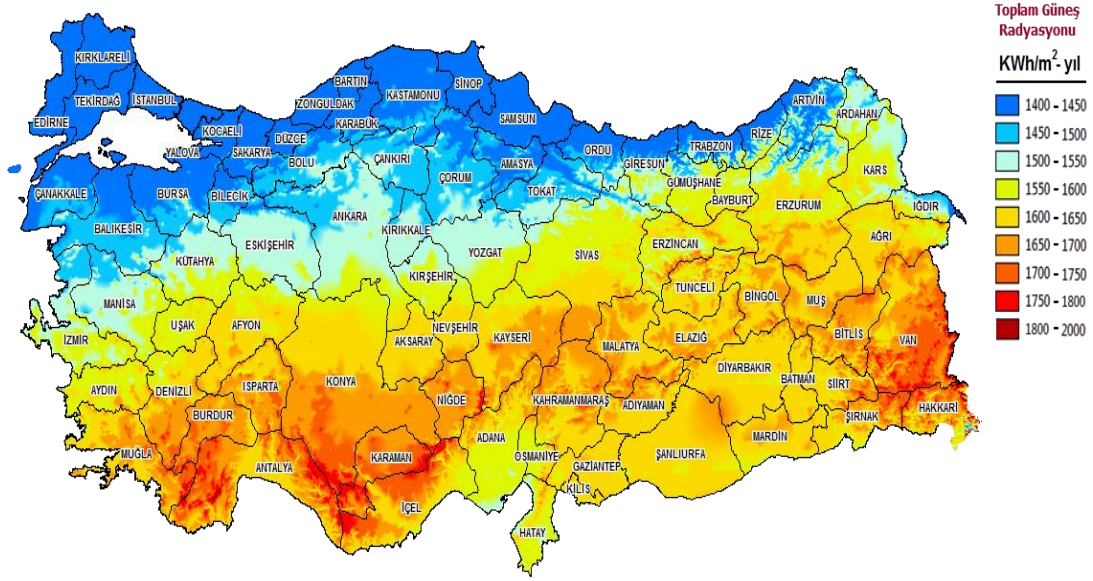
Türkiye bulunduğu konum itibariyle oldukça yüksek bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Enerji Bakanlığı'nca hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,18 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir.

2018 yılı Haziran ve öncesindeki son 365 gün içerisinde Türkiye genelinde birincil kaynaklardan elektrik enerjisi üretimimiz toplam 292702,9 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu üretimin en büyük payı % 71,2'i termik santrallerden elde edilmekte olup en fazla elektrik üretimi 104665 GWh ile doğal gazdan sağlanmıştır. Bu elektrik üretimine takiben hidroelektrik santrallerden % 17'i üretilmiş olup, diğer yenilenebilir enerji kaynakları tarafından % 11'i üretilmiştir. Son on beş yıl içerisinde termik ve hidrolik kaynaklı elektrik üretim dağılımı 2016 yılı dağılım oranı ile kıyaslandığında çok farklılık bulunmamakla birlikte rüzgâr ve jeotermal kaynağından elde edilen elektrik üretim payları 2002 yılındaki % 0,1 iken 2016 sonu ile yaklaşık % 8 civarı artmıştır. 2014 yılı ile 2018 yıl ortası rüzgâr santrallerinde üretilen elektriğin karşılaştırmasında ise 2014 yılında toplam üretimdeki pay % 3,4 iken 2018 yıl ortasında bu payın % 7'ye yükselmiş olması kayda değer önem belirtmektedir (URL01).

Çizelge 2.1. 2018 Ocak itibariyle elektrik enerjisi üretiminin kaynaklar bazında dağılımı (URL01)

	Ocak 2017 (%)	Ocak 2018 (%)	Aralık 2017 (%)
Doğalgaz	32	34	34
HES	19	5	15
HES	4	12	4
İthal Kömür	19	22	18
Linyit	14	14	14
Taş Kömürü	1	1	1
Fuel Oil	1	0	0
Rüzgar	6	7	9
Jeotermal	2	2	2
Güneş		1	1

2018 yılı sonu itibariyle işletmedeki güneş enerjisi santral sayısı 5868 adet, 4981,2 MW'ı lisanssız, 81,8 MW da lisanslı olmak üzere toplamda güneş enerjisi kurulu gücümüz 5063 MW'a ulaşmıştır. Ülkemizdeki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı da 7477,3 GWh ile % 2,5'a yükselmiştir. Şekil 2.2.' de Türkiye' nin güneşlenme potansiyeli verilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (URL02)

2.3. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri

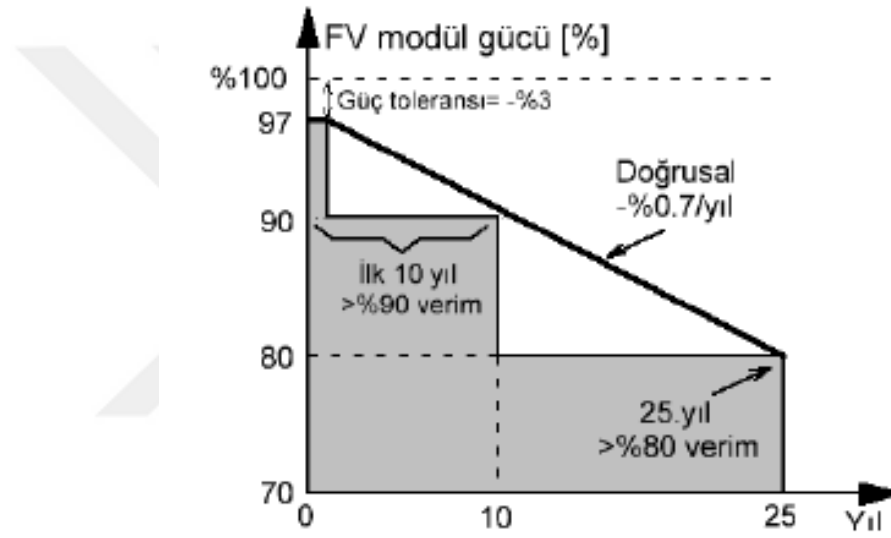
FV güneş teknolojileri, üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu dönüşüm için bünyelerinde, ısıl güneş sistemlerinden farklı olarak herhangi bir hareketli parça buldurmazlar. Ülkemizde kullanımı günden güne artan FV güneş teknolojileri çok çeşitli isimlerle adlandırılmaktadır. Bunların en başında gelenleri ise güneş pili, güneş paneli, FV panel ve güneş gözeleridir.

FV güneş panelleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken sistemlerdir. Genellikle en temel malzeme olarak silisyum kullanılır. FV panellerin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında değişen bir verimle elektrik üretirler. Çok sayıda FV hücre birbirine seri ya da paralel bağlanarak daha yüksek güçteki FV sistemler elde edilir. Günümüzde, kurulacak sistemin gücüne bağlı olarak yüzlerce hatta binlerce FV panel birbirlerine seri ve paralel bağlanarak MW veya GW boyutunda güçlere sahip santraller kurulmaktadır.

Bir FV sistemin ömrünü FV panellerin ömrü belirlediğinden mümkün olduğunca uzun ömürlü güneş panelleri tercih edilmelidir. Genel olarak çoğu üretici 25.yılda % 80 panel gücünü garanti etmektedir. Birçoğu güçteki azalmayı doğrusal olarak ifade ederken bazıları ise 10.yılda % 90 ve 25. Yılda % 80 güç garantisi şeklinde kademeli düşüş olarak belirtmektedir. Şekil 2.3'de açıkça görüleceği üzere doğrusal düşüş kademeli düşüşe göre daha geniş bir garanti kapsamını ifade ettiğinden tercih edilmelidir. Diğer yandan FV panellerin güç toleransı \pm % 3 olarak belirtilmektedir. Örneğin 270 W'lık bir panelin güç

toleransı %3 ise gerçek gücü 262 W ile 278 W arasında olabilir. Bu durum bir FV sistemde uyumsuzluk (mismatch) kayıplarını arttıran bir etkidir ve dolayısıyla toleransı düşük panellerin kullanılması uygun olacaktır (Boztepe, 2017).

Ayrıca transformatörsüz bir evirici ile kullanılacak kristal silisyum teknolojili FV panellerin çerçeve, cam gibi topraklanmış kısımlarında pozitif bir yük birikimi oluşabilmekte ve Potential Induced Degredation (PID) adı verilen etki ile modül gücü % 30'a varan oranlarda azalabilmektedir. Bu nedenle trafosuz evirici kullanılacak sistemlerde PID testinden onay almış FV panellerin tercih edilmesi önemlidir (Boztepe, 2017).



Şekil 2.3. FV panel garanti süreleri (Boztepe, 2017)

2.3.1. Fotovoltaik güneş teknolojilerinin tarihsel gelişimi

FV güneş panelleri FV etki prensibine göre çalışırlar. Bu prensibe göre üzerine ışık düşen FV panellerin uçlarında elektriksel potansiyel oluşmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde FV etki prensibinin 19. yüzyılın ortalarında keşfedildiği görülmektedir. 1837 yılında Fransız fizikçi A. Edmond Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu keşfederek, FV teknolojisinin çıkış noktasını oluşturmuştur. Ardından 1873 yılında Willoughby Smith'in selenyum elementinin foto iletkenliğini keşfetmesinden sonra, 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından geliştirilen, selenyum ve platin elementlerinden oluşan foto iletkenliğe sahip bir eklem icat edilmiştir. Bu iki gelişmenin

ardından 1877 yılında, selenyum kullanılarak güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren ilk solar hücre üretilmiştir. 1905 yılında yaptığı fotoelektrik etki kanununun keşfiyle Albert Einstein, 1921 yılında fizik dalındaki Nobel ödülüne layık görülmüştür. 1918 yılında Jan Czochralski tarafından mono kristal silikon üretim metodu keşfedilmiştir. Günümüzdeki mono kristal güneş panel üretiminin temeli olan bu metot halen kullanılmaktadır. Czochralski metodunun keşfinin ardından önce 1941’de ilk silikon mono kristal güneş pili sonra 1951’de ilk germanyum güneş pili üretilmiştir (Çolak, 2010).

1954 yılında Darly Chaplin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından Amerika’da üretilen % 6 verime sahip ilk FV güneş pili devrim niteliğinde bir etki oluşturmuştur. Bu gelişmenin hemen ardından Hoffman elektrik şirketi önce 1957 yılında % 8, sonra 1959 yılında % 10 verimle güneş pilleri üretmeyi başarmıştır (Güçlüer, 2010).

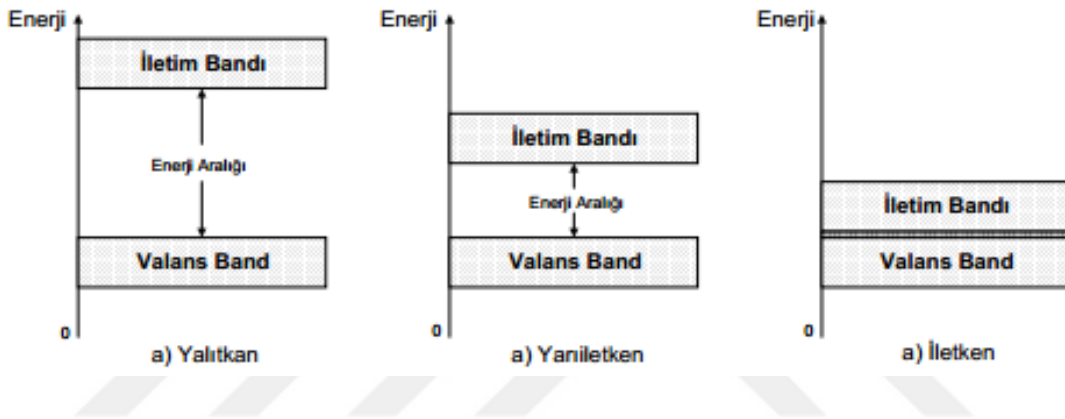
Yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle hem ülkemizde hem de dünya genelinde FV sistem maliyetleri düşmekte ve daha küçük alanlarda daha yüksek verimle üretim imkânı artmaktadır. Bu da FV teknolojisinin hızla yayılmasını sağlayarak temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı oluşturmaktadır.

2.3.2. Yarı iletkenler

Atomlar, merkezlerinde bulunan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde dolaşan elektronlardan meydana gelmektedir. Bu yapı içerisindeki pozitif yüklü çekirdek ve negatif yüklü elektronlar, herhangi bir dış etki olmadığı sürece birbirlerini dengelerler. Elektronlar, izlediği yörüngenin yarıçapıyla yani çekirdekten uzaklığıyla orantılı olarak potansiyel ve kinetik enerji taşırlar. Atomlar bu yörüngelerin ilk üç tanesinde sırasıyla 2, 8 ve 18 elektron bulundurabilirler. Birden fazla elektron yörüngesine sahip atomlarda çekirdeğe en yakın yörüngede bulunan elektronlar en az enerjiye sahip olduklarından, çekirdeğin çekim kuvvetini yenerek serbest hale geçmeleri için en yüksek enerji miktarına ihtiyaç duyarlar, çekirdeğin en dış yörüngesinde bulunan elektronlar ise en yüksek enerjiye sahip olduklarından dolayı serbest hale geçmek için en az enerji miktarına ihtiyaç duyarlar.

Çekirdeğe farklı uzaklıklarda bulunan elektronlar belirli enerji seviyelerine uyarlar ve atomda enerji bantları şeklinde gruplaşmış bu yörüngeler kabuk olarak adlandırılır. Her bir kabuk izin verilen sayıda elektron barındırabilir. Kabuk içerisindeki bu elektronların enerji seviyeleri birbirinden az da olsa farklılık gösterebilir fakat kabuklar arası enerji seviyeleri çok daha büyük farklılıklar göstermektedir. Bir atomun en dış kabuğu en yüksek enerji seviyeli elektronlara sahiptir ve bu elektronlar valans elektronları

olarak adlandırılırlar. Valans bandında bulunan bu elektronlar maddelerin iletkenlik seviyelerini de belirlemektedir. Bilindiği gibi elektriği ileten materyaller iletken olarak adlandırılmaktadır. İletken elementler için atomun son yörüngesindeki elektron sayısı 4'den azdır. Elektriği iletmeyen materyaller ise yalıtkan sınıfı altında toplanmaktadır ve yalıtkan elementler için atomun son yörüngesindeki elektron sayısı 4'den fazladır. Bu iki grubun dışında ne iyi bir iletken ne de iyi bir yalıtkan özelliği taşıyan ve atomunun son yörüngesinde 4 adet elektrona sahip olan germanyum, silisyum gibi elementler yarı iletken sınıfına girmektedirler. Şekil 2.4.'de maddelerin enerji band diyagramlarına göre sınıflandırılması gösterilmektedir (Girgin, 2011).



Şekil 2.4. İletkenlik Enerji Band Diyagramı (Girgin, 2011)

Çok az sayıda serbest elektrona sahip yalıtkanlarda enerji aralığı geniştir. Bu nedenle serbest elektronlar iletim bandına geçemezler. Yalıtkanlara göre daha fazla serbest elektrona sahip iletkenlerde, iletim bandı ve valans bandı neredeyse iç içe geçmiş şekilde olduğu için harici bir enerji uygulanmadan valans elektronların çoğu iletim bandına geçiş yapabilir. Yarı iletkenlerin enerji aralığı iletkenlere göre daha geniş yalıtkanlara göre ise daha dardır.

FV güneş panellerinin üretiminde de yarı iletkenler kullanılmaktadır. En çok kullanılan yarı iletkenlerden bir tanesi atomlarının dış kabuklarında 4 adet valans elektronu bulunduran silisyumdur. Saf silisyum kristali oda sıcaklığında bazı tepkimelere maruz kalır. Örnek olarak valans bandındaki bazı elektronlar enerji aralıklarını geçerek iletim bandına geçerler. Serbest ya da iletken elektron olarak adlandırılan bu elektronlardan bir tanesi valans bandından iletim bandına geçtiğinde valans bandında boşluk (*hole*) oluşturacaktır. Isı veya ışık enerjisi yardımıyla iletkenlik bandına geçen her elektron valans bandında boşluk oluşturmaktadır. Oluşturulan bu durum elektron-boşluk

çifti olarak adlandırılır. Uygulanan enerji sonlandırılıp, iletkenlik bandındaki elektronlar enerjilerini kaybederek valans bandındaki boşluklara geri geldiğinde atom ilk haline dönmüş olur.

Yarı iletken malzemeler, valans bandındaki boşlukların ve iletim bandındaki serbest elektronların sayısı sınırlı olduğu için akımı çok iyi iletmezler. Bu nedenle yarı iletkenlerin, iletkenliğini arttırmak için saf malzemeye katkı maddesi eklenerek akım taşıyıcıların (elektron ve boşluk) sayısı arttırılır. Bu işleme katkılama (doping) denir. Katkılama işlemi sonucu N-tipi ve P-tipi maddeler oluşmaktadır (Girgin, 2011).

2.3.3. N-tipi yarı iletken

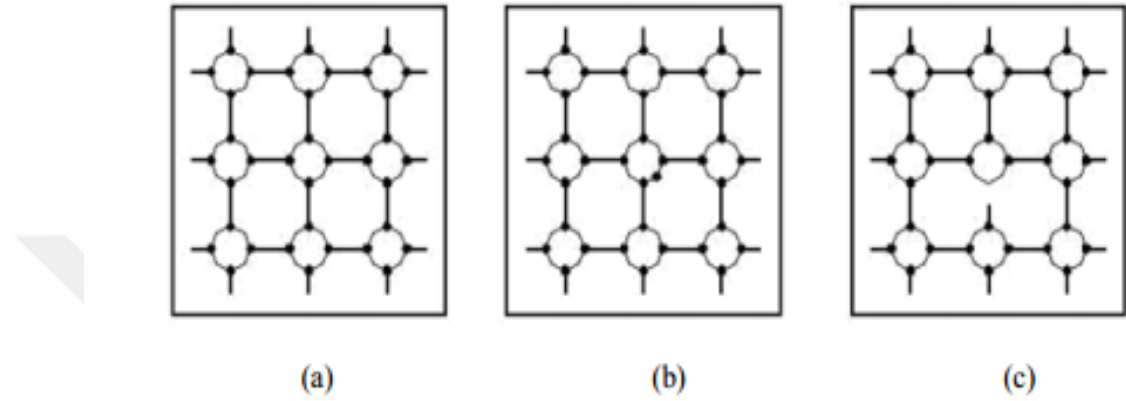
Düzgün kristal yapıya sahip saf haldeki yarı iletkene en dış yörüngelerinde 5 adet valans elektronu bulunduran periyodik cetvelin 5A grubundaki elementlerin atomları katkılanırsa, bu katkı atomları yarı iletkenin en dış yörüngesinde bulunan 4 adet valans bandı ile bağ oluşturarak saf kristal yapı içerisine yerleşir. Katkı atomunun açığa kalan beşinci elektronu serbest elektron haline geçerek, ait olduğu atomdan kolaylıkla ayrılarak yapı içerisinde serbestçe dolaşabilir. Bu şekilde oluşan serbest elektron miktarı, yapıya katkılanan 5 valans elektronlu atomların sayısı kadardır. Yapı içerisindeki bu serbest elektronlar ile hareketsiz pozitif iyonların haricinde, yarı iletken atomlarından ısıl uyarma sonucu kopan elektronlar ile bu elektronların kopması sonucu oluşan boşluklar da vardır. Sonuç olarak içerisine 5 valans elektronuna sahip yabancı atomlar katkılanmış bir yarı iletkende akım taşıyıcısı olarak çok sayıda negatif yüklü elektron ve az sayıda pozitif yüklü boşluk oluşacaktır. Negatif yüklü elektron akım taşıyıcıları yapı içerisinde daha fazla olduğu için oluşturulan yarı iletken N-tipi yarı iletken adını almaktadır (Girgin, 2011).

2.3.4. P-tipi yarı iletken

En dış yörüngelerinde 3 adet valans elektronu bulunduran periyodik cetvelin 3A grubundaki elementlerin atomları, düzgün kristal yapıya sahip saf haldeki yarı iletkene katkıldığında, her bir katkı atomu kendisine en yakın yarı iletken atomu ile bağ kurarak yapı içerisine yerleşir. Bu sırada birer elektron alan katkı atomları negatif yüklü iyon haline geçerken, aldıkları elektronlardan kalan boşluklar pozitif yükler olarak yapı içerisinde serbestçe dolaşmaya başlarlar. Katkılama işlemi sonucu oluşan pozitif yüklü boşluklar, ısıl uyarma sonucu oluşan elektron-boşluk çifti halindeki akım taşıyıcılarına

katılır. Yapı içerisinde pozitif yüklü akım taşıyıcıları daha fazla olduğu için oluşturulan iletken P-tipi yarı iletken adını alır (Girgin, 2011).

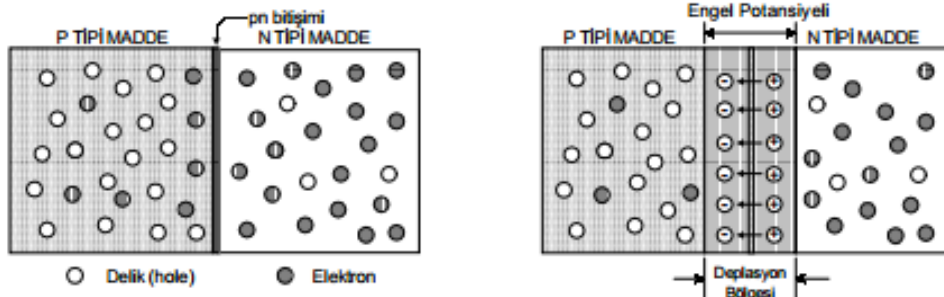
Şekil 2.5.'de silisyum yarı iletkenin saf yapısı (a)'da, 5A grubu elementlerinden fosfor katkılanmış yapısı (b)'de ve 3A grubu elementlerinden bor katkılanmış yapısı (c)'de gösterilmiştir (Girgin, 2011).



Şekil 2.5. İletkenlik Enerji Band Diyagramı (Girgin, 2011)

2.3.5. PN eklemi

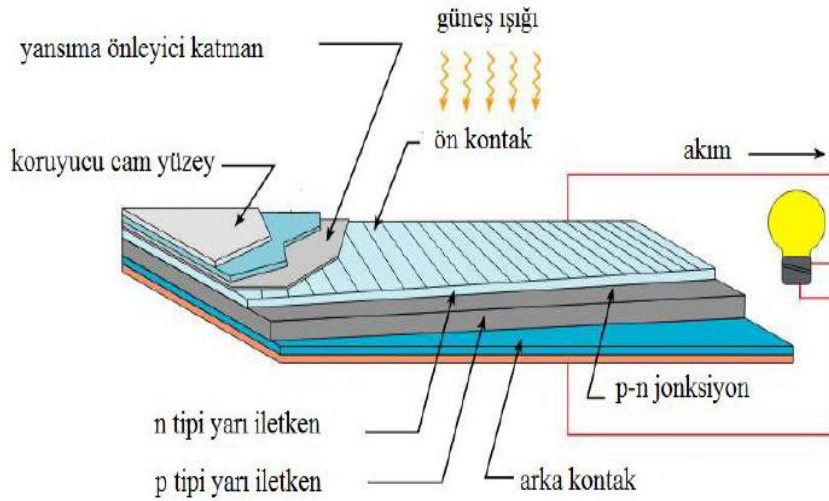
Hem P-tipi hem de N-tipi yarı iletkenler, elektron ve boşlukların yarı iletkenler içerisinde kolayca hareket etmesine izin veren yapılardır. P-tipi ve N-tipi yarı iletkenler bir araya getirilerek bir eklem oluşturulduğunda, P-tipi bölgede bulunan çok sayıdaki boşluklar N-tipi bölgeye ve N-tipi bölgede bulunan çok sayıdaki elektronlar P-tipi bölgeye doğru yayılmaya başlar. Difüzyon etkisiyle bu şekilde harekete geçen taneciklerin hareketi sonucu, P-tipi bölgenin N-tipi bölgeye yakın kısmında negatif yük fazlalığı ve N-tipi bölgenin P-tipi bölgeye yakın olan kısmında ise pozitif yük fazlalığı olduğu gözlenir. Bu şekilde iki farklı bölgenin temas kısmında, difüzyon miktarıyla orantılı olarak artış gösteren bir elektrik alan oluşur. Alan içerisindeki yükler dengelenene kadar difüzyon devam eder ve denge sağlandıktan sonra P tarafındaki negatif yükler N tarafından daha fazla elektron gelmesini sınırlarlar ancak P tarafından N tarafına doğru elektron akışı, N tarafındaki pozitif yüklerden dolayı daha kolaydır. Bu şekilde oluşan bölge PN eklemi olarak isimlendirilir ve bu eklem bir diyot gibi hareket eder. Şekil 2.6.'da PN eklemının oluşum süreci gösterilmiştir (Kaplan, 2007).



Şekil 2.6. PN eklemi oluşumu (Kaplan, 2007)

2.3.6. Fotovoltaik hücre

FV hücre, FV sistemleri oluşturan temel birimdir ve fiziksel özelliği bakımından bir P-N yüzey birleşmeli diyot ile arasında pek fark yoktur. Şekil 2.7.'de bir FV hücresinin iç yapısı gösterilmiştir. FV hücresinin birleşme yüzeyine ışık düştüğünde fotonların enerjisi malzemenin elektron sistemine aktarılır. Bu enerji ile birleşme yüzeyinde potansiyel güç oluşur. Oluşan bu güç depolanamaz ve ışık etkisi ortadan kalktığında oluşamaz. FV hücresinin iletkenler vasıtasıyla başka devrelere bağlanmasıyla kapalı devre oluşturulur. Böylece hücrede oluşan potansiyel güç elektrik akımına dönüştürülür.



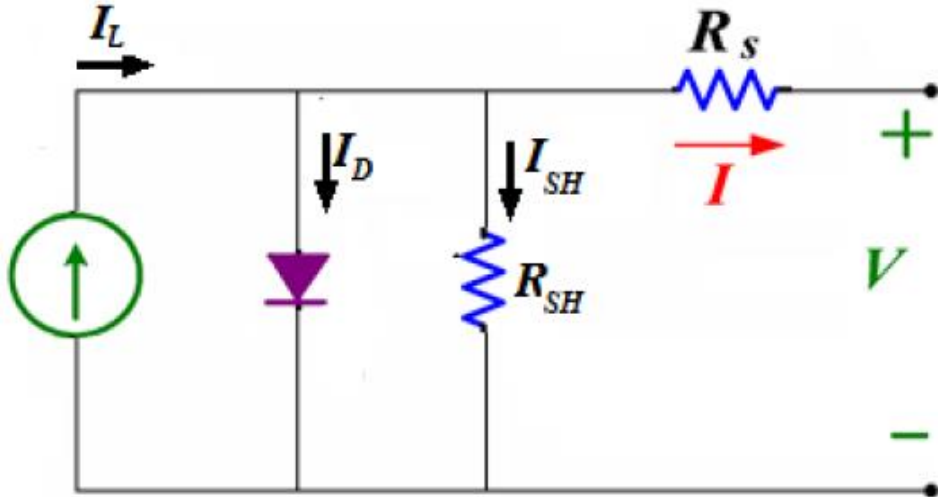
Şekil 2.7. FV hücre (Dişli, 2018)

2.3.7. Fotovoltaik hücre eş değeri devresi

FV hücrelerinin analizi için, hücrenin elektriksel eşdeğer devresi kullanılır. Bu devre, davranışları bilinen elamanlardan oluşur. Literatürde tek diyotlu, çift diyotlu gibi birçok eşdeğer devre gösterimi vardır. Şekil 2.8.'de FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi verilmiştir. Bu devrede akım kaynağı güneş ışınımı ile doğru orantılı I_L akımını meydana getirir. Diyot P-N birleşme yüzeyini ifade etmektedir. Pratikte hücre ideal değildir ve kayıplar meydana gelir. Hücrenin önündeki ve arkasındaki kontaklarda meydana gelen gerilim düşümünü seri bir R_s direnci temsil etmektedir. Ayrıca sızıntı akımları paralel bir R_{SH} direnci kullanarak ifade edilir. Modellenen bu devredeki akımlar;

- FV akım (I_L): Hücre üzerine düşen ışınım ile doğru orantılıdır.
- Diyot akımı (I_D): Gerilime ve ters doyma akımına bağlıdır.
- Paralel kol akımı (I_{SH}): P-N birleşme yüzeyinin gerilimi ve paralel kolun direnci ile ilişkilidir.
- Çıkış akımı (I): Hücrenin çıkış akımını ifade etmektedir ve diğer parametrelerle ilişkisi eşitlik 2.1' de verilmiştir.

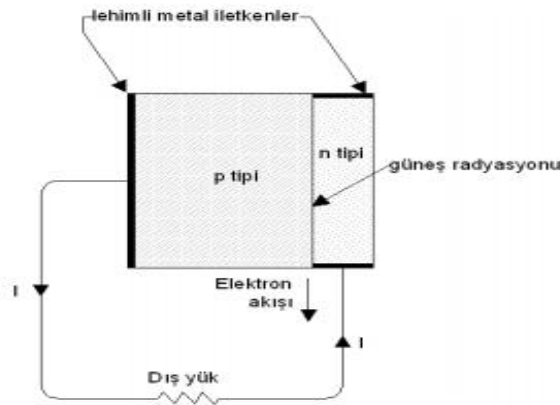
$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.1)$$



Şekil 2.8. FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi (Dişli, 2018)

2.3.8. Fotovoltaik etki

Güneşten yayılan fotonlar, yarı iletkenlerin katkılanmasıyla oluşturulan PN eklemine düşürüldüğünde, valans bandındaki elektronlar gelen foton enerjisini emerek serbest elektron haline geçer ve elektron boşluk çiftleri oluştururlar. Emilen foton enerjisi kuşak aralığından küçük olduğu takdirde elektron, iletim bandına geçebilecek yeterli enerjiye sahip olamaz ve enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Bu kinetik enerji, güneş pillerindeki verim düşüklüğünün sebebinin oluşturduğu sıcaklık artışına sebep olur. Ancak elektron boşluk çifti PN eklemine yeterince yakınsa elektrik alan yüklerin ayrılmasına sebep olarak elektronları N-tipi yarı iletken tarafına, boşlukları da P-tipi yarı iletken tarafına yönlendirir. Elektron tarafından emilen foton enerjisinin, elektronun kuşak aralığını atlayarak iletim bandına geçebilecek boyutta olması durumunda, PN prensibiyle üretilmiş bir güneş pilinin iki tarafı bir yüke bağlanmış ise pile güneş ışınları geldiği sürece elektrik akımı üretir. Şekil 2.9.'da bir güneş pilinin çalışma prensip şeması gösterilmiştir (Çolak, 2010).

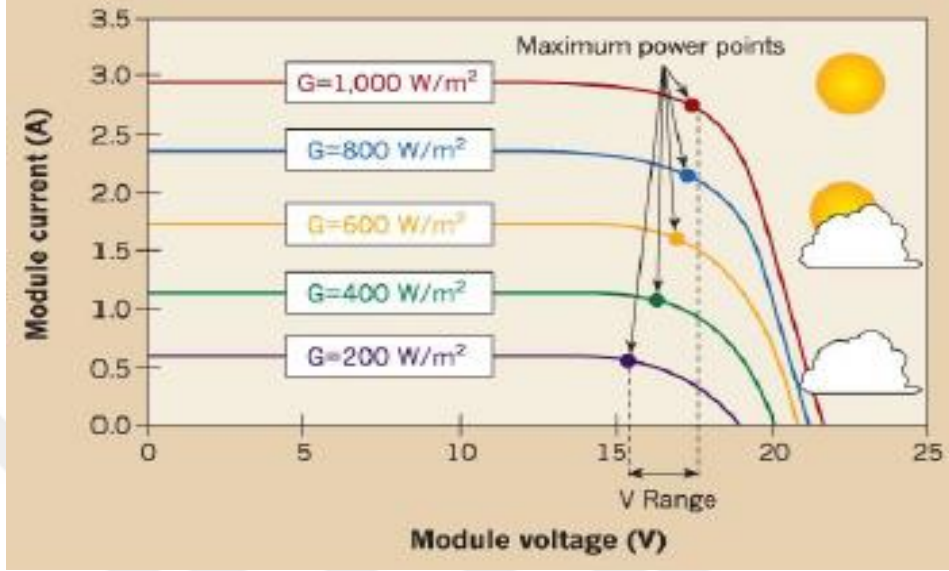


Şekil 2.9. Güneş hücresi çalışması prensip şeması (Çolak, 2010)

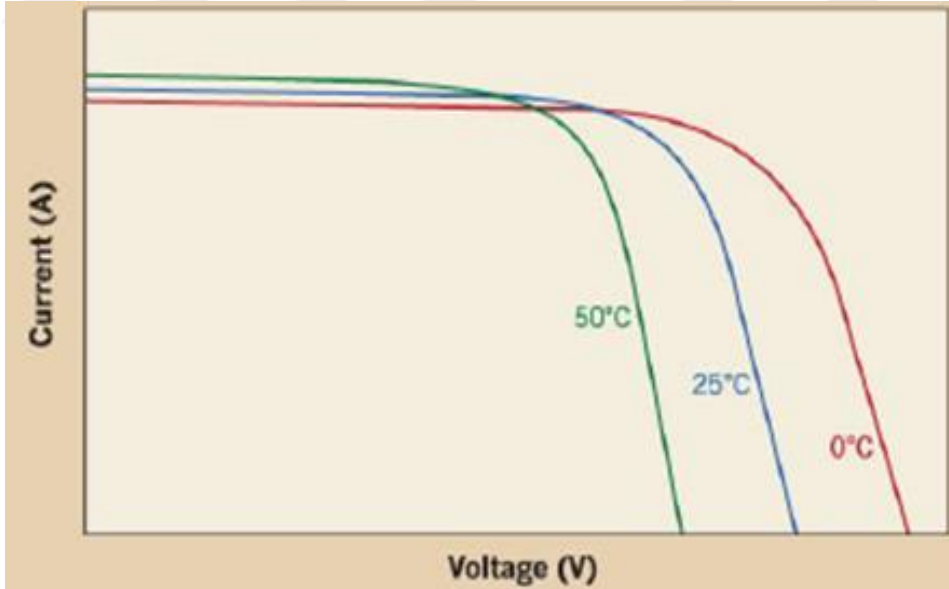
2.3.9. Sıcaklığın fotovoltaik panel üzerine etkisi

Sıcaklığın artması FV hücrelerin kısa devre akımını artırırken, açık devre gerilimini azaltır. Dolayısıyla yüksek çalışma sıcaklıkları FV sistemlerde güç ve verimi olumsuz etkilemektedir. Hücrenin verimi sıcaklıkla ters orantılı olup, sıcaklık arttıkça verim düşüş gösterir. Mono kristal ve poli kristal silikon panellerdeki bu düşüş, ince film panellere göre daha belirgindir. Bu nedenle çok sıcak ortamlarda ince film panel tercih edilmelidir. Her 1 °C'lık sıcaklık artışı, elde edilen gücü % 0.5 oranında azaltmaktadır. Ayrıca FV panelde üretilen akım, güneş ışığı yoğunluğu ve radyasyonu ile artmaktadır. Işınımın

önemli oranda değişmesi akımı önemli ölçüde değiştirmesine rağmen gerilim neredeyse sabit kalır. Şekil 2.10.'da ışınımın FV panel akım gerilim eğrisine etkisi görülürken, Şekil 2.11.'de sıcaklığın FV panel akım gerilim eğrisine etkisi görülmektedir (Mayfield, 2012).



Şekil 2.10. Işınımın FV panel I-V eğrisine etkisi (Mayfield, 2012)



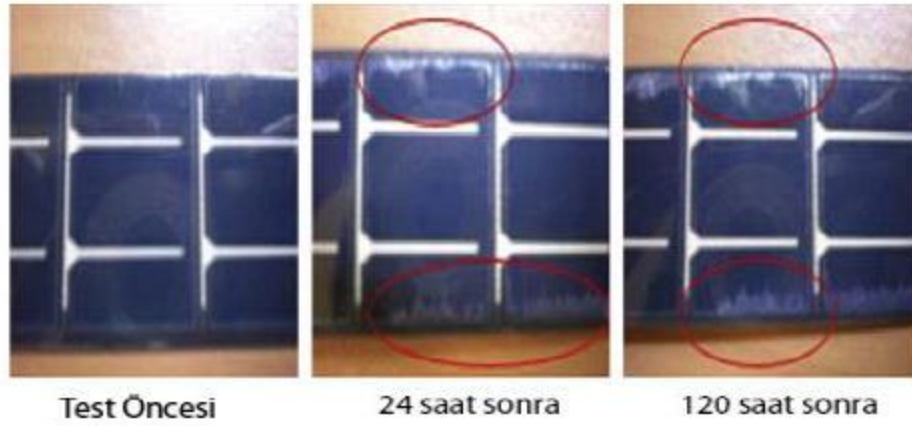
Şekil 2.11. Sıcaklığın FV panel I-V eğrisine etkisi (Mayfield, 2012)

2.3.10. Nem ve rüzgarın fotovoltaik panel üzerine etkisi

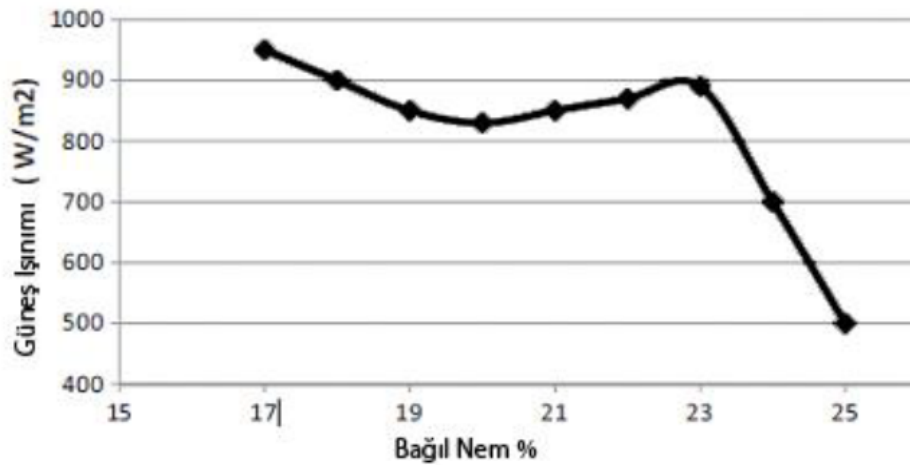
Hava koşulları panel güç çıkışını etkiler. Rüzgar hızı FV panel sıcaklığını düşüreceğinden dolayı FV sistemin güç çıkışına pozitif etki etmektedir. FV panel sıcaklığı rüzgar hızına büyük ölçüde, rüzgar yönüne ise küçük ölçüde duyarlıdır.

Nem güneş panellerini olumsuz etkilemektedir. Nemin artması ile paneller üzerinde su damlaları oluşur. Bu durumda gelen ışınların kırılarak güneş panellerine dik ulaşmama durumu söz konusudur. (Aksungur vd., 2013).

Şekil 2.12.'de nemli bölgedeki güneş panellerinin durumları gösterilmiştir. Şekil 2.13.'de nemin ışınımına etkisi görülmektedir. Bağıl nem % 15' den % 25' e geldiğinde güneş ışınımında yarı yarıya düşüş görülmektedir.



Şekil 2.12. Nemli bölgede bırakılan güneş panellerindeki 120 saat değişimi (Mekhilef vd., 2012)



Şekil 2.13. Güneş ışınımını ile bağıl nem arasındaki ilişki (Mekhilef vd., 2012)

2.4. Fotovoltaik Hücrelerin Yapımında Kullanılan Malzemeler

2.4.1. Kristal silisyum

Silisyum atomunun optik, elektriksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve günümüzde silisyum üretim teknolojisindeki ulaşılan seviye nedeniyle, kristal silisyum hücrelerin en önemli hammaddesi konumundadır. Bununla birlikte dünyada oksijenden sonra en çok bulunan ikinci element olmasına rağmen, doğada saf halde bulunmadığı için öncelikle yüksek sıcaklık gerektiren ısı işlemler uygulanarak saflaştırılması gerekir. Saflaştırma işlemiyle beraber farklı üretim teknikleri uygulanarak mono kristal ve poli kristal olarak iki farklı şekilde üretim yapılır. Mono kristal hücrelerden üretilen ticari panellerde verim % 15'in üzerindeyken laboratuvar şartlarında bu değer % 24 civarındadır. Poli kristal hücrelerde ise laboratuvar şartlarındaki verim % 18 civarında iken ticari panellerde % 14 civarında bir değere sahiptir. Poli kristal hücrelerde daha düşük verim olmasına rağmen üretim çok daha ucuzdur (Yılmaz, 2013).

2.4.2. Galyum arsenit

Diğer FV malzemelere göre daha yüksek verim elde edilebilmesine rağmen yüksek üretim maliyetleri nedeniyle uzay sistemleri ve optik yoğunlaştırıcı sistemler gibi özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Galyum Arsenit kullanılan FV hücrelerde, laboratuvar şartlarında % 30 civarında verimlere ulaşılmıştır (Yılmaz, 2013).

2.4.3. Amorf silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu hücreler günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynakları olarak ve binaların dış yüzeylerinde koruyucu ve elektrik kaynağı görevlerini üstlenerek binalara entegre yarı saydam cam yüzey olarak kullanılmaktadır. Bu hücrelerden elde edilen verim laboratuvar şartlarında % 10 civarında iken ticari panellerde % 6 mertebesindedir (Yılmaz, 2013).

2.4.4. Kadmiyum tellürid (CdTe)

Kadmiyum tellürid kullanılan panellerde laboratuvar şartlarında % 16, ticari panellerde ise % 7 verim elde edilmiştir. Çok kristalli bir yapıya sahip olan Kadmiyum Tellürid ile FV hücre maliyetlerinin çok aşağıya çekileceği tahmin edilmektedir (Yılmaz, 2013).

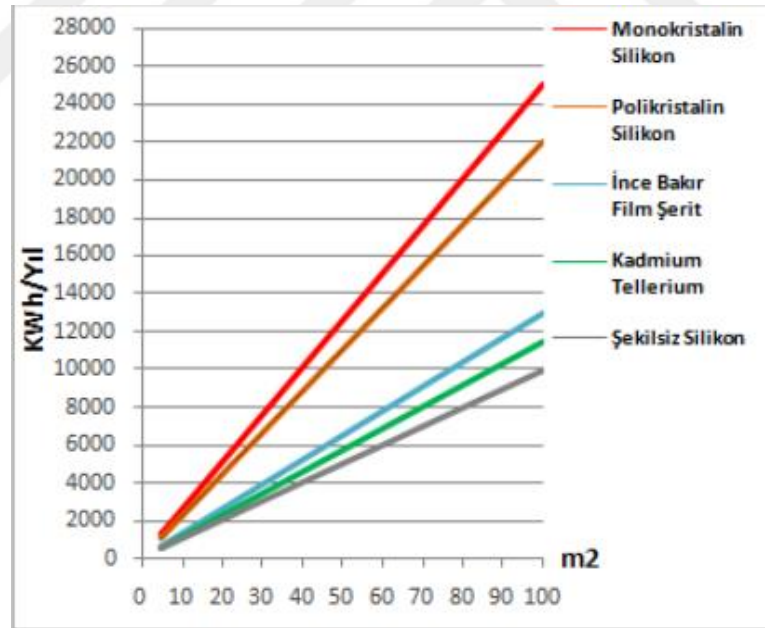
2.4.5. Bakır indiyum diselenid (CuInSe_2)

Bakır, indiyum ve selenyum elementlerinden üretilen bu hücreler CIS güneş pilleri olarak adlandırılır. Günümüzde çoğu CIS hücrelerinin içerisine Ga elementi katılarak daha yüksek verimlilik değeri elde edilir. Ancak hücre içerisindeki yarı iletken kısmı oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemelerin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık hale getirmektedir. CIS güneş hücrelerinde laboratuvar şartlarında % 18 civarındaki verimlere ulaşılmıştır (Karamanav, 2007).

2.5. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

FV hücreler temel olarak kristal silikon hücreler ve ince film hücreler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Günümüzde yaygın olarak kristal silikon hücreler kullanılmasına rağmen, ince film teknolojisi de son yıllarda büyük gelişme göstererek pazar payını hızla arttırmaktadır (Çolak, 2010).

Şekil 2.14.'de farklı FV panel tiplerinin aynı alan için üretebilecekleri enerji yıllık olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14. FV Tipi-Alan Üretebilecek Enerji (URL02)

2.5.1. İnce film güneş panelleri

Yarıiletken malzemelerin geniş yüzeyleri üzerine kaplanarak elektrik üretebilmesi mantığına dayanan bu yöntem farklı karakteristiklere sahip hücrelerin üretilmesine imkân sağlamıştır. İnce film alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pili üretiminde kullanılan birçok yarıiletken malzemenin düşük maliyetlerle cam, metal ya da plastik tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir.

İnce film üretiminde kullanılan yarıiletkenler, genellikle çok kristalli FV malzemelerden seçilmektedir. Bu nedenle inci film yarı iletken malzemeler, büyüklükleri mikrometreden nanometreye değişen damarlardan oluşmaktadır. FV uygulamalar için kullanılan çok kristalli malzemelerin her damar içerisindeki elektriksel, optik ve yapısal özellikleri her ne kadar uygun olsa da damarlar arasındaki sınırlarda oluşan mikro düzeydeki yapısal kusurlar karşılaşılan en önemli problemlerden bir tanesidir. Bunun yanında ince film malzemelerde optik özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzeme ile milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tamamına yakın bir kısmı soğurulabilmektedir. Bu sayede ince film FV hücrelerde kalınlık, silisyum hücrelerdekine göre çok daha azdır. Ayrıca dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu alanlarda üretim kayıplarının silisyum hücrelere göre daha az olması sebebiyle de avantaj sağlamaktadır. İstenen şekilde birçok malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilen ince film güneş panellerinin en önemli dezavantajları ise verim düşüklüğü, yıllara bağlı üretim kaybı oranının yüksek olması ve yüksek gerilim-düşük akım prensibi ile çalışmalarıdır (Girgin, 2011).

Şekil 2.15.'de arazide ince film paneller ile kurulmuş sabit açılı sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.15. İnce film güneş panelleri (URL03)

2.5.2. Kristal silisyum hücreler

Kristal silisyum hücreler günümüzde mono kristal ve poli kristal olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir.

2.5.2.1. Mono kristal hücreler

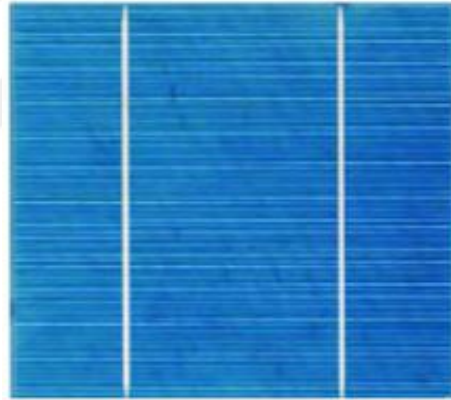
Monokristal silikon üretiminde 1918 yılında geliştirilen Czochralski metodu kullanılmaktadır. Güneş hücresi üretim metodları arasında en eski ve en pahalı yöntem olmasına rağmen günümüzdeki en yüksek verimlilik değerine sahip güneş hücreleri, mono kristal yapılarıdır. Czochralski metodunda küçük bir aşı kristali, kristal malzemesi içerisine batırıldıktan sonra yavaş yavaş soğuk bölgeye çekilerek tek kristalli uzun bir silindir elde edilmiş olur. Çok yüksek sıcaklıklarda işlem gerektiren bu metotla, 300 mm çapında birkaç metre boyunda mono kristal silikon silindirler oluşturulmaktadır. Bu silindirler dairesel, dikdörtgen ya da çokgen şeklinde pahlandıktan sonra 0,2-0,3 mm kalınlıklarında dilimlenmektedir. Bu şekliyle ortaya çıkan tabakalar güneş hücresinin P-tipi tabakasını oluşturmaktadır. Hücrenin N-tipi tabakası ise çok daha düşük kalınlıklarda ve fosfor yayılımı yoluyla elde edilmektedir. P-tipi ve N-tipi tabakalar bir araya getirildikten sonra arka bağlantılar yapılarak hücrenin elektrik akım yolları oluşturulmuş olur. Son olarak ise hücrenin üzerine düşen güneş ışınlarının yansımalarını önlemek amacıyla ön yüzey, yansıma engelleyici malzemeyle kaplanarak hücre üretimi tamamlanmış olur. 4-6 inç civarındaki boyutlara sahip olan mono kristal hücreler homojen yapıya sahiptir ve renkleri karakteristik olarak koyu mavi-siyah aralığındadır. Piyasadaki mevcut ticari mono kristal hücrelerin verim değerleri ortalama olarak % 15-18 civarında olmakla birlikte son dönemlerde geliştirilen hücreler % 22-24 civarındaki değerlere ulaşmıştır. Şekil 2.16.'da mono kristal bir hücre örneği gösterilmiştir (Çolak, 2010).



Şekil 2.16. Mono kristal güneş hücresi (Çolak, 2010)

2.5.2.2. Poli kristal hücreler

Mono kristal silikon üretimine benzer şekilde poli kristal silikon hücre üretiminde de dökme yöntemi kullanılmaktadır. Ancak mono kristal hücre üretiminden farklı olarak, artık kristallerin eritilip soğumasıyla poli kristal bloklar elde edilir. Bloklar kare şeklinde kesildikten sonra, kimyasal olarak işlenen levhalar mono kristal hücredeki üretim aşamaları izlenerek güneş hücresi haline getirilir. Poli kristal silisyumdan üretilen güneş hücrelerinin verim değerleri daha düşük olmakla birlikte üretim maliyetleri de daha düşüktür. Verimlilik/maliyet oranları mono kristal hücrelere göre daha yüksek olan poli kristal hücreler bu özelliği ile ticari alanda en çok tercih edilen güneş hücreleri olmaktadır. Çok kristalli yapıda olan poli kristal hücrelerin bu özelliği, ışığın yansımadaki kırılmalarda, çıplak gözle bakılarak görülebilir. Yansımayı engelleyen anti reflektif kaplama nedeniyle mavi rengi alan poli kristal hücreler kaplamasız haldeyken gümüş rengindedir. Şekil 2.17.'de kaplamalı hali görülmektedir (Girgin, 2011).



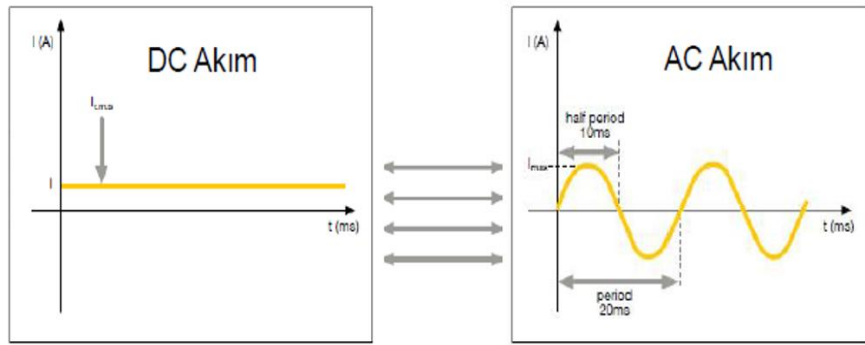
Şekil 2.17. Poli kristal güneş hücresi (Girgin, 2011)

2.6. FV Sistem Bileşenleri

FV sistemler birkaç yüz W'lık değerlerden kW hatta MW büyüklüğündeki santrallere kadar kurulabilmektedir. Özellikle panel verimlerindeki artışlar sayesinde dünya çapında GW mertebesindeki santraller devreye girmektedir. Temel olarak incelendiğinde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki gruba ayrılan bu sistemlerde hem maliyet hem de üretim konusunda en önemli bölümünü paneller oluştursa da, sistemin güvenilirliğini arttırmak, verileri izlemek, gerekli elektriksel dönüşümleri yapmak, uzaktan kontrolü sağlamak gibi birçok konuda ilave donanımlar kullanılmaktadır.

2.6.1. Evirici

Eviriciler, panellerin üretmiş olduğu DC akımı AC akıma çeviren, güneş enerji santrallerinin kalbi olarak isimlendirilen cihazlardır. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan eviriciler, şebeke ile uyumlu çalışarak şebekeden gelen gerilim ve frekans seviyelerine göre kendi çıkış gerilim ve frekans değerlerini ayarlayarak, elektronik kontrol ünitesi olarak görev yaparlar. Piyasada, kullanım yeri ve enerji boyutuna göre çok çeşitli eviriciler üretilmiş olmasına rağmen genel olarak şebeke bağlantılı eviriciler mikro, dizi ve merkezi tip olarak üç grupta incelenebilir. Şebekeden ayırık sistemlerde ise üretilen enerji akülerde depolandığı için, ihtiyaç halinde akülerdeki DC akımı AC akıma çevirmek için eviriciler kullanılır. Şekil 2.18.'de evirici çalışma prensibi görülmektedir (Özgün, 2015).



Şekil 2.18. Evirici çalışma prensibi (Özgün,2015)

2.6.1.1. Mikro eviriciler

Ticari anlamda çok fazla örneği bulunmayan mikro eviriciler, bir veya iki panel bağlantısına izin vererek 200-400 W arasında güç çıkışına izin veren cihazlardır. Düşük güçlü sistemler kurulumuna daha uygun olduğu için fazla tercih edilmeyen bu eviricilerin en büyük avantajları, panel gölgelenmesi ya da arızası durumunda ilgili kısmı devre dışı bırakarak genel sistem verimini düşürmeden diğer bölümlerin çalışmasını devam ettirir. Şekil 2.19.'da mikro evirici çalışma şeması görülmektedir (Özgün, 2015).



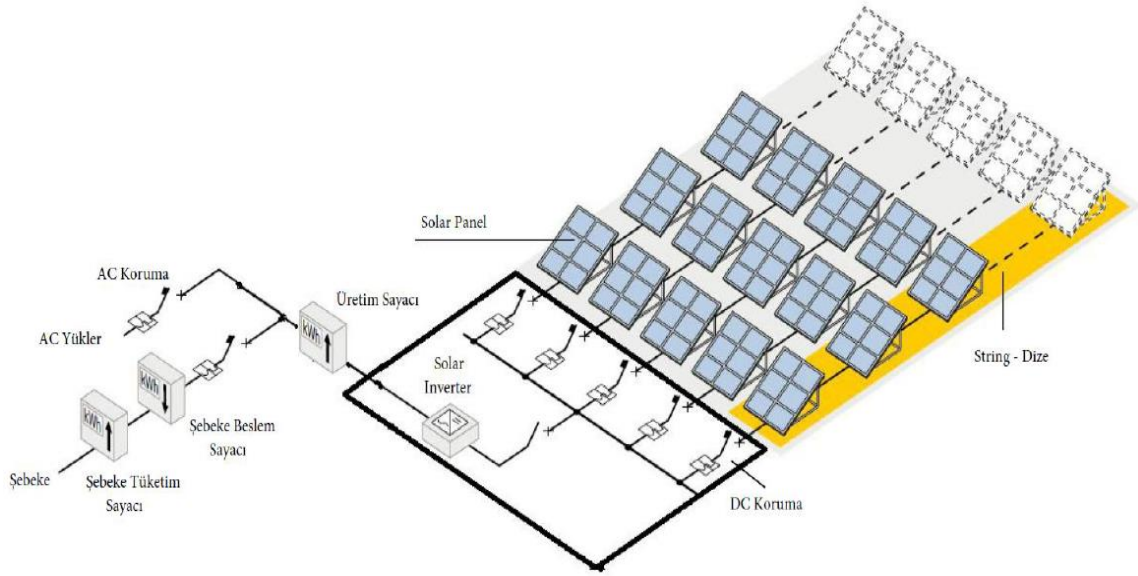
Şekil 2.19. Mikro eviriciler (Özgün, 2015)

2.6.1.2. Dizi eviriciler

Üretici firmaların katalog bilgilerindeki izin verilen DC giriş gerilim değerine kadar panellerin seri bağlanabildiği dizi eviriciler, her bir FV dizinin eviricilere doğrudan bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerde kullanılırlar. Dizideki paneller birbirlerine seri olarak bağlandıktan sonra en baştaki ve en sondaki panellerde boşta kalan birer uç, FV sistemler için geliştirilmiş solar kablolar ile eviricilere bağlanır. Eviriciler, firmanın üretim şekline bağlı olarak DC kabloları kendi içerisinde toplayabildiği gibi, kendisinden önce kullanılan DC toplayıcı kutular yardımıyla da bağlantısını sağlayabilir. 1-125 kW güç aralığında çıkış sağlayan dizi eviriciler sektörde kullanılmaktadır. Şekil 2.20.'de farklı üreticilere ait eviriciler gösterilmiştir. Şekil 2.21.'de ise dizi eviricili sisteme ait tek hat şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Dizi eviriciler



Şekil 2.21. Dizi eviricili AG sistem tekhat şeması (Özgün, 2015)

2.6.1.3. Merkezi eviriciler

Dizi eviricilere göre daha büyük güçlerdeki santral ve endüstriyel tesis uygulamaları için geliştirilmiş olan evirici teknolojisidir. Güneş panellerinin kablo bağlantıları toplayıcı ünitelerde toplandıktan sonra, tüm sistemi tek bir noktadan yönetme kabiliyeti olan merkezi eviricilere bağlanırlar. Diğer evirici çeşitlerine göre daha büyük panel gruplarını yönetebilen bu eviriciler genel olarak bir beton köşk içerisine yerleştirilirler (Özgün, 2015).

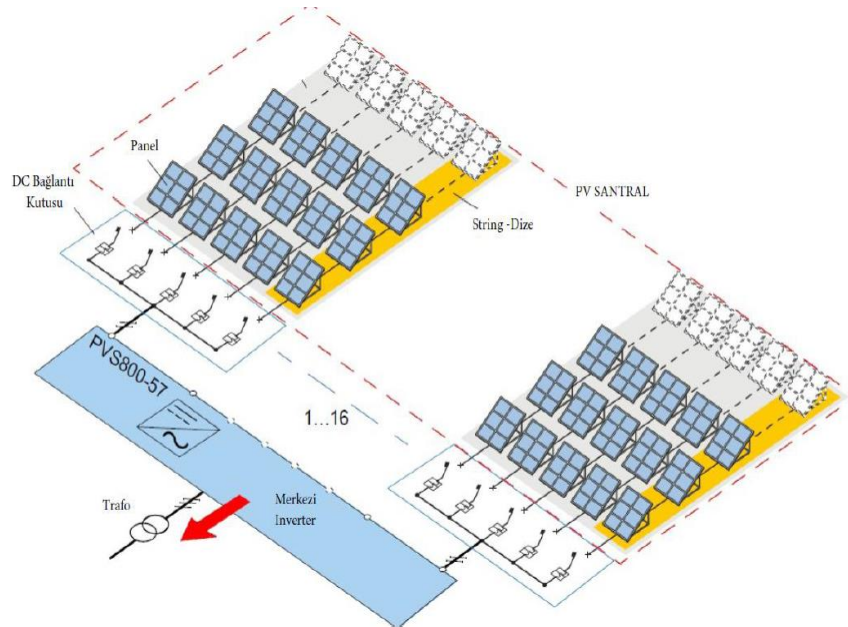
Eviriciler yapılarına göre trafolu ve trafosuz olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde uzun yıllar kullanıldığı bilinen trafolu eviriciler, doğru akım ve alternatif akım üniteleri arasında izolasyon sağlaması ve elektromanyetik etkilere karşı üst düzey koruma sınıflarıyla avantaj sağlamaktadır. Ancak eviriciler içerisinde bulunan trafonun kayıpları yüzünden verimleri trafosuz eviricilere göre daha düşüktür. Yüksek verim avantajı özelliğiyle son yıllarda daha çok tercih edilen trafosuz eviriciler ise doğru akım ve alternatif akım üniteleri arasında yalıtım bulunmadığı için harici güvenlik donanımlarına ihtiyaç duyarlar. Şekil 2.16.'da merkezi eviriciye ait bağlantı şeması detayları gösterilmiştir. Şekil 2.23. ve Şekil 2.24.'de farklı üreticilere ait merkezi eviriciler gösterilmiştir. Şekil 2.25.'de ise merkezi eviricili sisteme ait tek hat şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.23. SMA 1000 kW merkezi evirici



Şekil 2.24. ABB 1000 kW merkezi evirici



Şekil 2.25. Merkezi eviricili sistem tekhat şeması (Özgün, 2015)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, şebekeye bağlı FV sistem, PVsyst yazılımı kullanılarak modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır.. Bu analizin temel amacı, farklı FV sistemleri için yıllık enerji üretimini ve performans oranını belirlemek ve karşılaştırmaktır. Performans analizini yapabilmek için farklı parametreler incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3.1. Şebekeye Bağlı FV Sistemin Tanımı

Simülasyon 37.6°N enlem ve 32.8°E boylamında 1011 metre yüksekliğinde bulunan Konya ili, Çumra ilçesi için yapılmıştır. Seçilen konumun yatay küresel ışınlanma değeri yıllık 1763.3 kWh/m² dir.

Bu çalışmada simülasyonu yapılan şebekeye bağlı FV tesis, 4400 adet Talesun TP660P model panel içerir. Her FV panel 270 W_p güç değerinde olup polikristalin yapıdadır. FV panel verimi % 16.6' dır. Panel ölçüleri 1640*990*35 mm'dir. Üretici firması Kaco New Energy modeli Blueplanet 50.0 TL3-INT XL olan 20 adet evirici seçilmiştir. Tek MPPT (maksimum güç noktası izleyici) değerine sahip olan evirici 10 adet girişe sahiptir. Maksimum güç noktasında çalışabilmesi için voltaj aralığı 580 V-900V değerindedir. Anma gücü 50 kW değerinde ve maksimum % 98.5 verimle çalışmaktadır. Her bir dizi 22 seri panelden oluşmaktadır. Eviriciye 10 dizi girişi yapılmıştır. Sistemde toplamda 200 dizi bulunmakta ve toplam DC güç 1188 kW_p değerindedir. Şebekeye enjekte edilecek olan AC güç ise 1000 kW' dir.

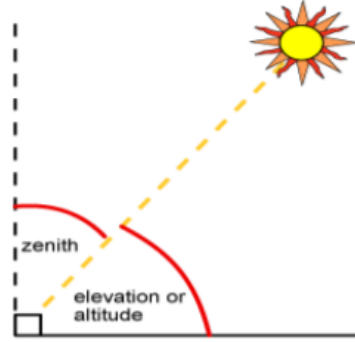
3.2. FV Sistem Tasarımları

FV sistemlerdeki tüm çalışmalar sistemin daha verimli çalışabilmesi için tasarlanmış ve yapılmıştır. Bu nedenle kayıpları en aza indirmek FV sistemler için çok önemlidir. Güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Bu açılar hakkında bilgi edinilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir. Bu bölümde FV sistem tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar bölümler halinde ayrı ayrı ele alınacaktır.

3.2.1. Zenit açısı

Zenit açısı, doğrudan güneş ışınımı ile yatay düzlemin dikey arasındaki açıdır. “Ψ” simgesi ile gösterilir. Zenit açısı, diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme

geliş açısıdır. Zenit açısı, güneşin doğuşu ve güneşin batışı sırasında 90° iken, güneş ışınlarının dik geldiği durumda sıfırdır. Şekil 3.1.'de zenit açısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Zenit açısı

3.2.2. Yükseklik açısı

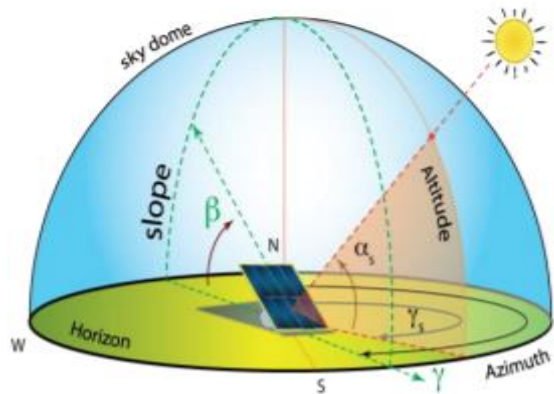
Güneş yükseklik açısı, direkt güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. “ α ” simgesi ile gösterilir. Güneş yükseklik açısı zenit açısını 90° ’ye tamamlar.

3.2.3. Azimut açısı

Azimut açısı, güneş azimut açısı ve yüzey azimut açısı olmak üzere 2’ye ayrılır.

3.2.3.1. Güneş azimut açısı

Güneş azimut açısı, güneş ile dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Kuzey-güney doğrultusu ile doğrudan güneş ışınımı arasındaki açıdır. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilir. “ γ_s ” simgesi ile gösterilir. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.’de azimut açısı gösterilmiştir.



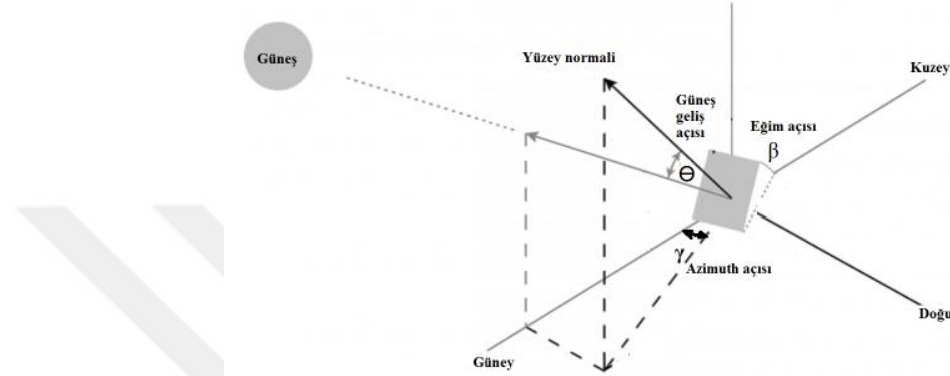
Şekil 3.2. Azimut açısı

3.2.3.2. Yüzey azimut açısı

Yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. Yüzey azimut açısı güneyde sıfır doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitiftir.

3.2.4. Geliş açısı

Yüze gelen direkt ışını ile yüzeyin diki arasındaki açıdır. “ θ ” simgesi ile gösterilir. Şekil 3.3.’de geliş açısı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Geliş açısı, azimut açısı, eğim açısı

3.2.5. Eğim açısı

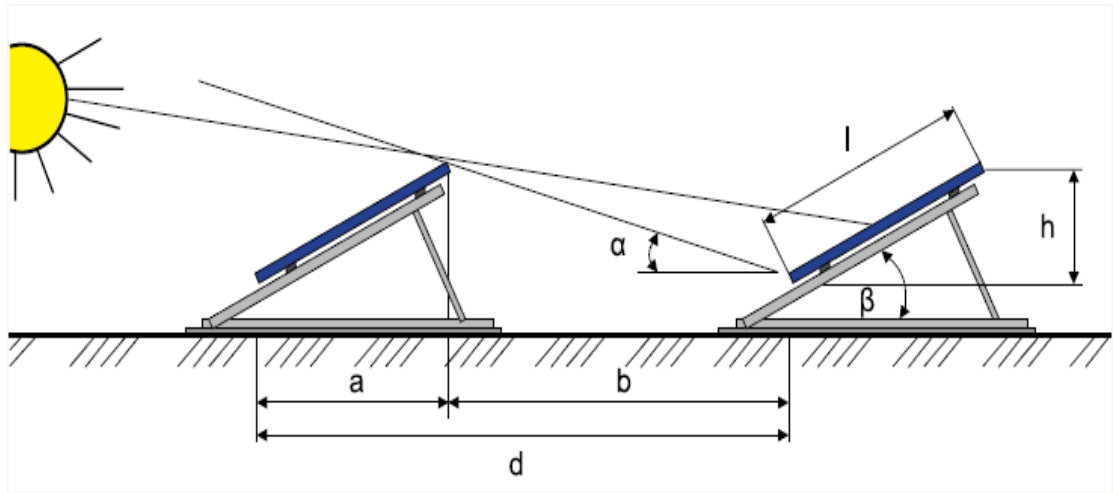
Güneş panellerinin yatay düzlemle yaptığı açıdır. “ β ” simgesi ile gösterilir. Şekil 3.3.’de eğim açısı gösterilmiştir.

3.2.6. FV sistem yerleşim tipleri

FV sistem tasarlanırken panellerin yerleşiminin yapılacağı yere göre farklı tasarımların yapılabilmesi söz konusudur. Araziye kurulacak olan FV santral için sabit açılı ve güneş takip sistemi olmak üzere 2 farklı sistem tasarımı yapılabilir.

3.2.6.1. Sabit açılı sistemler

Sabit açılı sistemlerde optimum panel açısı genellikle yıllık olarak belirlenir ve sistem yıl boyunca aynı açıda kalır. Gölgelemelerin olmaması, sistemin kurulum sonrasında işletme maliyetlerinin fazla olmaması için açığı doğru belirlemek çok önemlidir. Araziyi efektif kullanabilmek ve gölgelemelerden daha az etkilenmek için açının büyüklüğünü doğru belirlemek gerekir. Şekil 3.1.’de dizi kollektör ve detayları verilmiştir. 1 MW FV sistem kurulumu için ortalama 15000-16000 m² alan gereklidir. Türkiye’de lisanssız santraller için izin verilen maksimum alan değeri 20000 m²’dir.



Şekil 3.4. Dizi kollektörler (IFC, 2015)

$$a = 1 \times \cos(\beta) \quad (3.1)$$

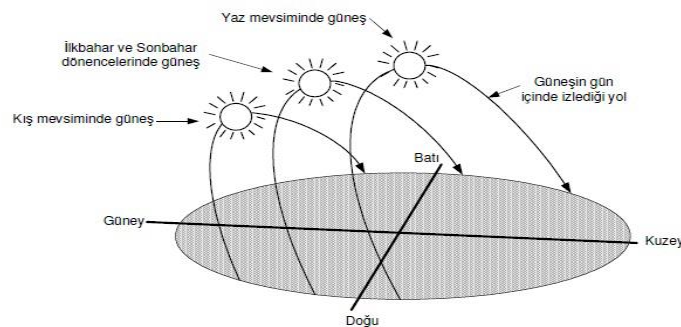
$$h = 1 \times \sin(\beta) \quad (3.2)$$

$$b = h/\tan(\alpha) \quad (3.3)$$

$$d = a + b \quad (3.4)$$

3.2.6.2. Güneş takip sistemleri

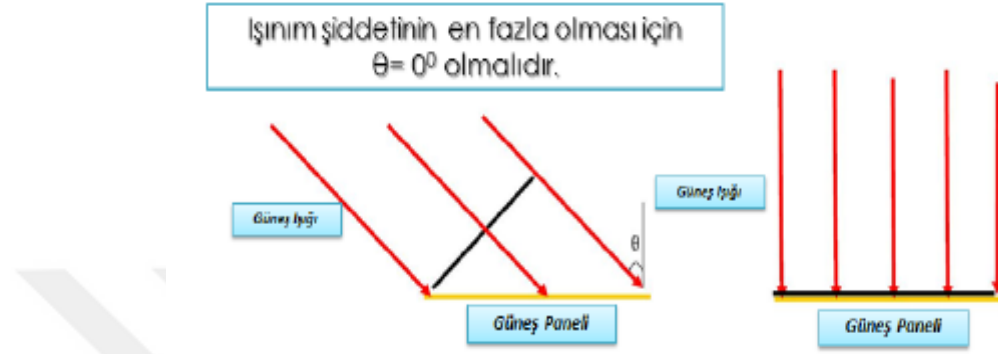
Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için FV panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, güneşlenme de en yüksek seviyede olur. FV panellerin güneşi dik açı ile görebilmeleri için sabah gün doğumundan akşam gün batımına kadar FV panellerin güneşi takip etmeleri gerekir. Ancak gün boyu yapılan takip işlemi yılın her mevsimi için aynı kazancı sağlamaz. Çünkü dünyanın güneş eksenindeki hareketine bağlı olarak yıl içerisinde güneş her mevsim farklı yörüngeleri takip etmektedir (Rüstemli, 2013).



Şekil 3.5. Güneşin mevsimlere göre yörüngesi (Rüstemli, 2013)

FV panellerin üzerine düşen güneş ışığının radyasyon değeri, güneş ışığının FV panellerin normali ile yaptığı açının kosinüsü ile hesaplanmaktadır. Yani güneş ışığı panellerin üzerine dik açıyla düştüğü sürece üretim azami olmaktadır (Yılmaz, 2017).

Kurulması planlanan güneş takip sisteminin tek eksenli olması durumunda, aynı güçteki sabit açılı sisteme göre %25 daha fazla alana ihtiyaç olacaktır.



Şekil 3.6. Güneş paneli üzerine düşen ışınım (Yılmaz, 2017)

3.2.7. Panel evirici uyumluluk hesabı

FV sistem tasarımı yapılırken en önemli unsur panel ve evirici uyumluluğudur. Eviricinin maksimum güç noktasında çalışabileceği değerler arasında bir tasarım yapmak verimi arttıracaktır. Aşağıdaki denklemlerin sol tarafı panellere ait gerilimler iken, sağ taraf ise eviricilere ait gerilimlerdir. Tasarım yapılırken aşağıda verilen denklemlerin uygunluğu kontrol edilir.

$$V_{OCmax} = N \times V_{OC} \times [1 + (k \times (T_{min} - T_{nom})/100)] < V_{OCmaxevirici} \quad (3.5)$$

$$V_{OCmin} = N \times V_{OC} \times [1 + (k \times (T_{max} - T_{nom})/100)] > V_{OCminevirici} \quad (3.6)$$

$$V_{MPPmax} = N \times V_{MPP} \times [1 + (k \times (T_{min} - T_{nom})/100)] < V_{MPPmaxevirici} \quad (3.7)$$

$$V_{MPPmin} = N \times V_{MPP} \times [1 + (k \times (T_{max} - T_{nom})/100)] > V_{MPPminevirici} \quad (3.8)$$

3.2.8. FV sistem gölgeleme analizi

FV sistemlerde dizi kollektörlerinin birbirinin üzerine gölgeleme oluşturması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle dizi kollektörleri arasında bırakılması gereken mesafenin değeri iyi hesaplanmalıdır. Sabit açılı sistem tasarımında kollektör tasarımıyla

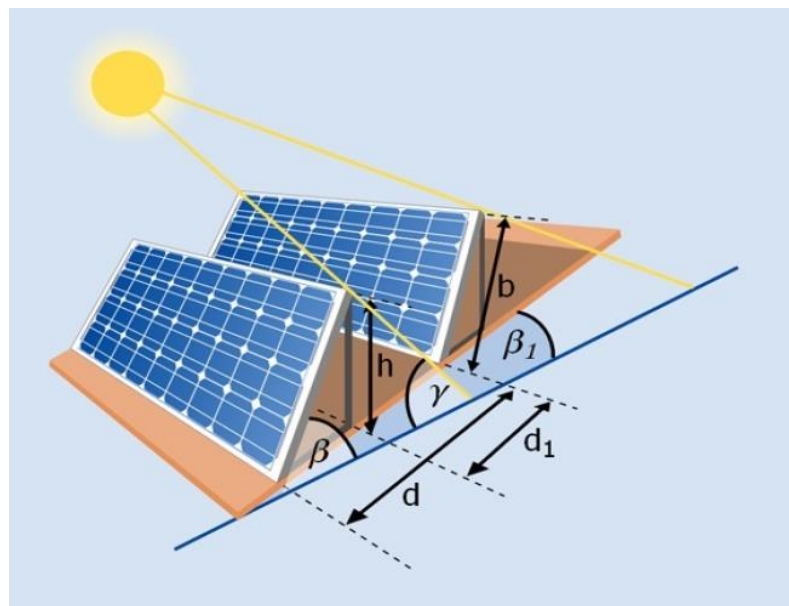
ilgili hesaplar verilmişti, bunun akabinde örnek bir sistem için gölgeleme simülasyonu ve analizi aşağıda verilmiştir.

FV sistem tasarımı yapılırken gölgelemeden kaçınmak adına tasarımlar, güneş yüksekliğinin en düşük olduğu yani gölge boyunun en uzun olduğu gün referans alınarak gerçekleştirilir.

Bu çalışmada PVsyst ile FV sistem 3 boyutlu olarak arazi yapısının düz olduğu varsayılarak gerçekleştirilip detaylı gölgeleme incelemeleri yapılmıştır. Arazi yapısının düz olmadığı durumlar için 3 boyutlu modellemeler ve gölgeleme analizleri birçok farklı program vasıtasıyla kolayca yapılabilir.

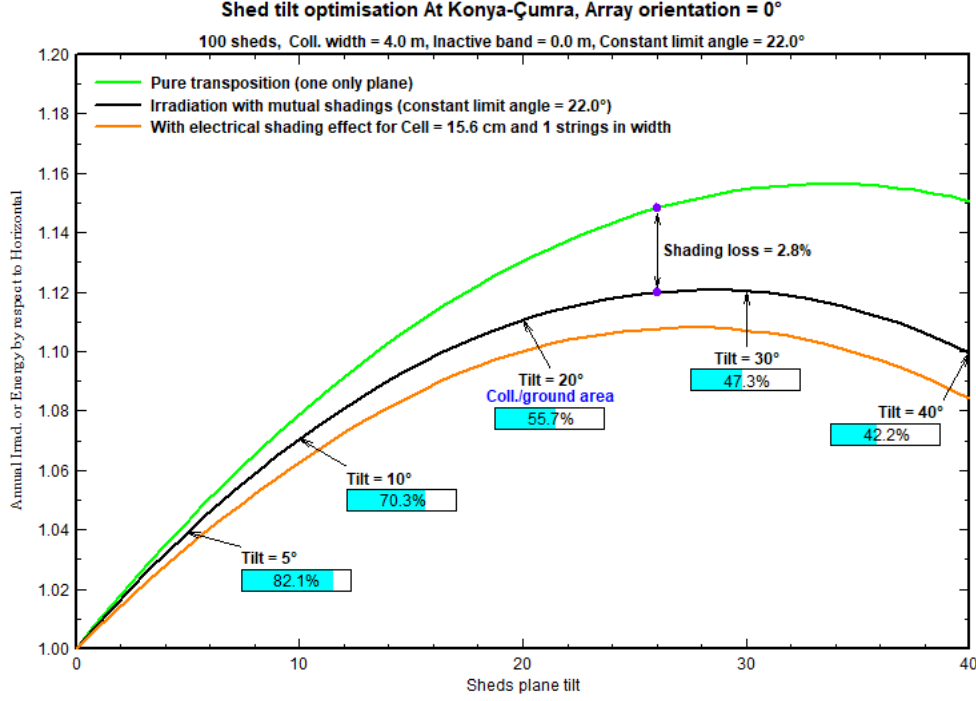
Çizelge 3.1. FV sistem yerleşimi tasarım bilgileri

Giriş		
Referansları	Değer	Birim
Modül Genişliği	0,99	m
Modül Masa Genişliği (b)	3,96	m
Modül Masa Yüksekliği (h)	1,73	m
Modül Masa Açısı (β)	26	°
Azimet	0	°
Sonuç		
Referansları	Değer	Birim
Masa Derinliği (d-d ₁)	3,56	m
Masalar arası boşluk (d ₁)	4	m
Masa Aralığı(d)	7,56	m



Şekil 3.7. Sistem tasarım gösterimi

Çizelge 3.1.' de bulunan giriş referans değerleri dikkate alınarak PVsyst programında santralin gölgelenme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8.'de tasarıma ait gölgelenme kaybı ve arazi kullanım oranı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Gölgeleme kaybı eğrisi

3.2.8.1. Parçalı gölgelenme durumu ve by-pass diyotu

FV paneller seri bağlanarak sistemin istenen gerilim seviyesinde çalışması sağlanır. Ancak reel uygulamalarda bütün hücreler aynı güneş seviyesine maruz kalmazlar. Yani hücreler çoğunlukla homojen olmayan güneş ışınımına maruz kalırlar. FV panelde küçük bir kısım gölgelenme etkisine maruz kalsa bile panelin çıkışı büyük ölçüde azalabilir. Ancak gölgeli hücrenin FV panel üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkinin büyük bir kısmı by-pass diyotları ile giderilebilir.

By-pass diyotları normal iletim esnasında aktif değil iken, gölge etkisi durumunda aktif hale gelir. By-pass diyotları sistem akımının gölgeli veya hatalı çalışan modülün etrafından dolaşarak akmasını sağlar. By-pass diyotları dizinin sadece performansını arttırmakla kalmayıp aynı zamanda hücrelerin fiziksel eşdeğerindeki paralel dirençten akım geçmesinden dolayı oluşacak sıcak noktaların oluşmasını da engeller.

Sistemdeki panellere gölge düşme olasılığı bulunan durumlarda, panel yerleşim yönü çok önemlidir. Gölgeleme durumlarında by-pass diyotları aktif hale gelir. Panellerin kısa kenarının veya uzun kenarının gölgede kalması iki farklı durumu

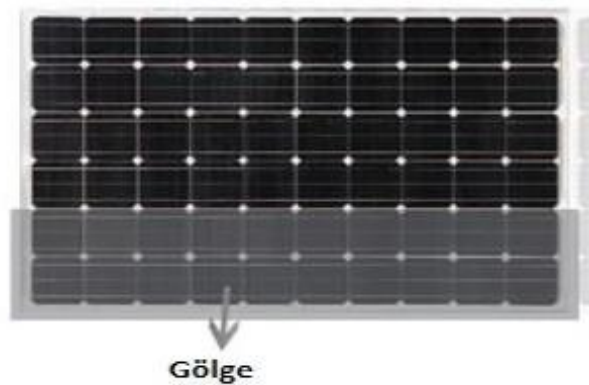
oluşturur. İlk durum için, eğer gölgelenme panelin kısa kenarında oluşmuş ise panel üzerindeki busbarların dikey(seri bağlı) lehimli olmasından dolayı bu panelin ürettiği enerji neredeyse sıfıra yakın olur. Çünkü bütün hücre dizilerinin en alt sırasındaki hücre gölge etkisine maruz kalmıştır. Yani paneli oluşturan bütün hücre dizilerinin birer hücresi gölgelenmiştir. Bir modülün gölge etkisinde kalması demek, bir dizinin o gölgeden etkilenmesi demektir. Yani o dizinin üretim değerlerinin minimum seviyelere ulaşması demektir.



Şekil 3.9. İlk durum için panel kısa kenarında oluşan gölge

İkinci durumda ise panelin uzun kenarında gölge oluştuğu varsayılırsa, gölge miktarına bağlı olarak aktif hale geçen by-pass diyot sayısına göre üretim düşer. 1 by-pass diyodu aktif ise %33 üretim düşerken, 2 by-pass diyodu aktif ise %66 üretim düşer. 3 by-pass diyodu aktif ise %99 üretim düşer.

Sonuç olarak panellerin dikey yerine yatay montajının yapılması meydana gelebilecek gölge etkisinden dolayı oluşacak kayıpları en aza indirecektir.



Şekil 3.10. İkinci durum için panel uzun kenarında oluşan gölge

3.3. Performans Analizi Sistem Parametreleri

Uluslararası enerji ajansı (IEA), performans analizi için performans parametreleri geliştirmiştir. Şebekeye bağlı FV sistemin performans parametreleri: “referans verim, dizi verimi, son sistem verimi, dizi yakalama kayıpları, sistem kayıpları, performans oranları, kapasite kullanım faktörü, evirici verimliliği, sistem verimliliği, şebekeye enjekte edilen enerji vb. şeklinde sıralanabilir (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

3.3.1. Referans verim

Y_r ile temsil edilir, toplam yatay ışınlamanın STC'deki küresel ışınlamaya oranıdır. Y_r , kWh / m²/ gün birimiyle ifade edilir (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$Y_r = H_T / G_0 \quad (3.9)$$

Burada, ‘ Y_r ’ referans verimi, ‘ H_t ’ kWh/m²/gün cinsinden yatay düzlemdeki toplam ışınımı ve ‘ G_0 ’ ise kWh / m² / gün cinsinden standart test koşullarındaki küresel ışınımıdır.

3.3.2. Dizi verimi

Y_a ile temsil edilir, FV diziden üretilen DC enerjisinin nominal değere oranı olarak tanımlanır. (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$Y_a = E_{DC} / P_0 \quad (3.10)$$

Burada, ‘ Y_a ’ dizi verimidir, ‘ E_{DC} ’ FV dizisinin kWh cinsinden DC enerji çıkışıdır. ‘ P_0 ’ ise FV dizinin standart test koşullarındaki nominal gücüdür.

$$E_{DC} = V_{DC} \times I_{DC} \times t \quad (3.11)$$

Burada, ‘ V_{DC} ’ volt cinsinden FV dizisinin DC çıkış voltajı, ‘ I_{DC} ’ amper cinsinden FV dizisinin DC çıkış akımıdır. Zaman ise saat cinsinden t ile temsil edilir.

3.3.3. Nihai sistem verimi

Y_f ile temsil edilir, yıllık, aylık veya günlük olarak FV sistemin AC enerji çıkışının oranı olarak tanımlanır. (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$Y_f = E_{AC} / P_p \quad (3.12)$$

Burada, ‘ Y_f ’ kWh / kWp / gün cinsinden son sistem verimi, ‘ E_{AC} ’ FV sisteminin AC enerji çıkışıdır. ‘ P_p ’ ise standart test koşullarındaki FV dizisinin tepe gücüdür.

3.3.4. Dizi yakalama kayıpları

L_c ile temsil edilir ve referans verimi ile dizi veriminin farkıdır. Bu kayıp esas olarak FV hücresinin sıcaklık artışı, FV dizisinde toz birikmesi, maksimum güç noktası

hataları, uyumsuzluk ve kısmi gölge gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak FV dizide ortaya çıkar. (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$L_C = Y_r - Y_a \quad (3.13)$$

Burada, 'L_C', dizi yakalama kaybı, 'Y_r' referans verim ve 'Y_a' ise dizi verimidir.

3.3.5. Sistem kayıpları

L_S ile temsil edilir ve dizi veriminin son sisteme verimine farkıdır. Bu kayıp, evirici sistemi ve şebeke entegrasyonu için kullanılan diğer elektrikli bileşenlerden kaynaklanmaktadır (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$L_S = Y_a - Y_f \quad (3.14)$$

Burada, 'L_S' sistem kaybı, 'Y_a' dizisi verimidir ve 'Y_f' son sistem verimidir.

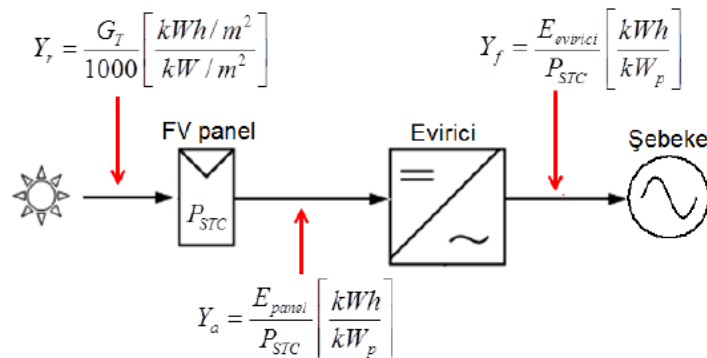
3.3.6. Performans oranı

PR ile belirtilir ve son sistem veriminin referans verimine oranı olarak tanımlanır. Aynı zamanda şebekeye enjekte edilen enerjinin FV dizisinin ayrıntılarında belirtilen nominal güce oranı olarak da tanımlanabilir (Sharma, 2013; Kumar, 2015; Marian, 2005).

$$PR = Y_f / Y_r = E_{GRID} / GlobInc \quad (3.15)$$

Burada, 'PR' performans oranı, 'Y_f' son sistem verimi, 'Y_r' referans verimdir. 'E_{Grid}' MWh veya kWh cinsinden şebekeye enjekte edilen AC enerjidir. 'GlobInc' ise kollektör düzleminde toplanan enerjidir.

Performans oranı bir verim katsayısı değildir. Kurulu güçten ve ışınım şiddetinden arındırılmış bir başarımlı katsayıdır. Böylece Dünya'nın çeşitli yerlerinde kurulu bulunan şebekeye bağlı FV güç sistemlerinin birbirleriyle karşılaştırılması mümkün hale gelmektedir.



Şekil 3.6. Performans Oranı Tanımlamaları (Boztepe, 2017)

4. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM VE MALİYET ANALİZİ

Güneş enerjisi santralının yıllık enerji üretimi bir güneş enerjisi santralının ekonomik analizinin en önemli parçalarından biri olarak belirtilmektedir. Bu bağlamda, yıllık enerji üretimi ile ilgili çalışmalar yapılırken hassasiyetin mümkün olduğunca artırılabilmesi için dünya üzerinde çok yaygın olarak kullanılan ve finans kuruluşlarının da hesaplama sonuçlarına kredi verdiği PVsyst yazılımı kullanılacaktır.

4.1. PVsyst

PVsyst İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir simülasyon programıdır. PVsyst programı ile FV sistemleri için boyutlandırma, simülasyon ve veri analizi yapılabilmektedir. Bu yazılım, mimar, mühendis ve araştırmacılar için araçlar içermektedir. PVsyst programı ile şebekeye entegre sistemlerin modellemesi yapılabildiği gibi şebekeden uzak sistemlerin de modellemesi yapılabilmektedir. PVsyst programı simülasyon programları içerisinde bankalar tarafından kabul edilen ender programlardan biri olarak tanımlanmaktadır ve program C programlama dili ile yazılmıştır. Şekil 4.1.'de PVsyst yazılımına ait arayüz gösterilmiştir. PVsyst yazılımı hesaplamalarını gerçekleştirirken birçok ince detayı göz önüne almaktadır. Bu detaylar arasında ;

- Meteorolojik veriler
- Bölge kirlilik oranları (Kum fırtınası, çamur yağmuru vb.)
- Ayrıntılı güneş ışınım değerleri
- Gölgeleme analizleri
- Yer yansımaya oranları (Albedo)
- Yerleşim planları
- Güneş paneli yönü ve açısı
- Güneş panelinin özellikleri
- Güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları
- Eviricilerin özellikleri
- Kablo mesafeleri
- Bağlantı noktası sayısı
- Şebeke özellikleri



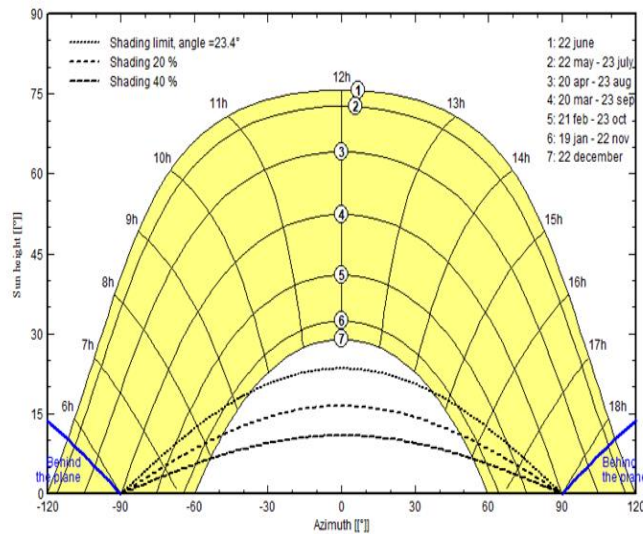
Şekil 4.1. PVsyst arayüzü

4.2. FV Sistemler İçin Üretim ve Maliyet Analizleri

Birçok farklı sistem için üretim simülasyonu ve analizleri yapılmış ve üretimi etkileyen hususlar ele alınmıştır. Farklı sistem maliyetleri göz önüne alınarak sistemler arasındaki fiyat performans oranları karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Sabit açılı sistem için üretim ve maliyet analizi

Sabit açılı sistemlerde optimum panel açısı yıllık olarak belirlenir ve sistem yıl boyunca aynı açıda kalır. Bu nedenle açığı doğru belirlemek sistem için çok önemlidir. Araziyi efektif kullanabilmek ve gölgelenmelerden daha az etkilenmek için açının büyüklüğünü doğru belirlemek gerekir. Konya bölgesi için panel açısı olarak 26° öngörülmüştür. Şekil 4.2.'de güneş yüksekliği gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş yüksekliği

PVsyst ile üretim simülasyonu gerçekleştirildiğinde sistemin yılda yaklaşık 1950 MWh enerji üretebileceği öngörülmektedir. Detaylı üretim analizi EK-1 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Sabit açılı sistemin aylara göre PVsyst üretim sonuçları

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.3	-0.63	94.0	87.0	99.9	97.7	14.88	14.55
February	86.0	0.77	116.3	108.6	123.7	121.1	14.89	14.58
March	134.3	6.75	161.1	151.1	166.2	162.6	14.44	14.13
April	162.4	10.94	173.1	161.5	174.7	171.0	14.13	13.83
May	203.8	16.04	201.4	188.0	199.4	195.2	13.86	13.57
June	222.1	20.94	210.2	196.7	205.0	200.6	13.65	13.36
July	234.4	24.68	226.1	212.2	217.5	212.9	13.46	13.18
August	219.3	24.44	231.1	218.0	222.6	217.9	13.49	13.20
September	169.6	18.82	198.4	187.3	195.2	191.1	13.77	13.48
October	120.0	13.57	158.1	148.8	160.4	157.1	14.20	13.90
November	82.8	6.46	123.7	115.4	128.3	125.6	14.52	14.21
December	62.4	1.25	94.8	86.3	99.0	96.9	14.62	14.30
Year	1763.3	12.07	1988.4	1861.0	1991.9	1949.7	14.02	13.73

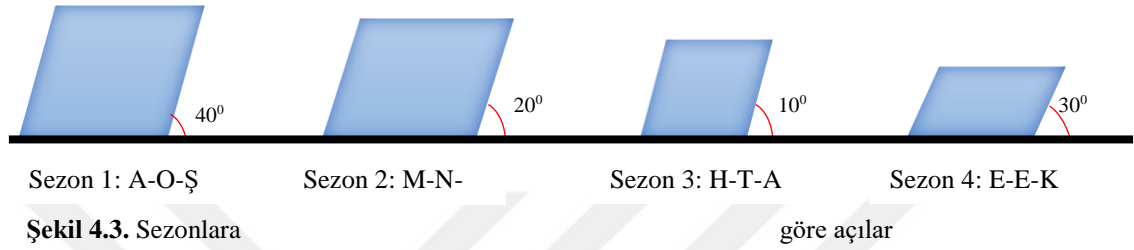
Sabit açılı sisteme ait maliyet bilgileri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Toplam sistem maliyeti 711640 USD olmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda sabit açılı sistem için 1 kWh enerji üretim maliyeti 0,365 USD olmuştur.

Çizelge 4.2. 2019 yılı sabit açılı sistem maliyeti

Malzemenin Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı (\$)	Birim	Toplam (\$)
Güneş Paneli	1188000	0,28	Wp	332640
Evirici	20	2700	adet	54000
Konstrüksiyon	1	75000	set	75000
Diğer Ekipmanlar (trafo, yg hücre, kablo,işçilik vb.)	1	250000	set	250000
TOPLAM				711640

4.2.2. Mevsimsel açılı sistem için üretim ve maliyet analizi

Mevsimsel (sezonluk) açılı sistemde, sistem yıl içerisinde mevsimlere göre belirli açılara getirilir. Simülasyon yapılırken sistem için iki farklı senaryo düşünülmüştür. Bu senaryolardan ilki, kış ve yaz olmak üzere 2 sezonluk olup sezonlar için uygun görülen açılar 40° ve 10° dir. İkinci senaryo ise kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar olmak üzere 4 sezonluk olup uygun görülen açılar sırasıyla 40° , 20° , 10° , 30° 'dir. Şekil 4.3.'de sezonlara göre açılar gösterilmiştir. Senaryo detayları ise aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir.



Çizelge 4.3. Aylara göre senaryo 1 detayı

	Senaryo 1	Açı
Sezon 1	Aralık-Ocak-Şubat Mart-Nisan-Mayıs	40
Sezon 2	Haziran-Temmuz-Ağustos Eylül-Ekim-Kasım	10

Çizelge 4.4. Aylara göre senaryo 2 detayı

	Senaryo 2	Açı
Sezon 1	Aralık-Ocak-Şubat	40
Sezon 2	Mart-Nisan-Mayıs	20
Sezon 3	Haziran-Temmuz-Ağustos	10
Sezon 4	Eylül-Ekim-Kasım	30

Çizelge 4.5. Mevsimsel açılı-Senaryo 1'e göre PVsyst üretim sonuçları

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.3	-0.63	102.9	99.5	113.4	111.0	15.43	15.09
February	86.0	0.77	125.0	120.8	136.4	133.5	15.27	14.95
March	134.3	6.75	164.8	159.0	173.3	169.6	14.72	14.40
April	162.4	10.94	169.7	162.4	176.8	173.1	14.58	14.27
May	203.8	16.04	206.9	198.3	210.2	205.8	14.22	13.92
June	222.1	20.94	221.5	212.4	220.6	216.0	13.94	13.65
July	234.4	24.68	235.5	225.9	231.1	226.3	13.74	13.45
August	219.3	24.44	228.5	219.8	225.3	220.5	13.80	13.51
September	169.6	18.82	184.4	176.8	186.0	182.1	14.11	13.82
October	120.0	13.57	167.9	162.4	173.2	169.6	14.44	14.14
November	82.8	6.46	137.3	133.1	146.3	143.2	14.91	14.59
December	62.4	1.25	106.1	102.6	116.7	114.2	15.39	15.07
Year	1763.3	12.07	2050.6	1973.0	2109.3	2064.7	14.40	14.09

Çizelge 4.6. Mevsimsel açılı-Senaryo 2'e göre PVsyst üretim sonuçları

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.3	-0.63	102.9	99.5	113.4	111.0	15.43	15.09
February	86.0	0.77	125.0	120.8	136.4	133.5	15.27	14.95
March	134.3	6.75	157.1	150.9	167.9	164.3	14.96	14.64
April	162.4	10.94	173.1	166.0	180.9	177.1	14.63	14.32
May	203.8	16.04	204.9	196.5	209.7	205.2	14.32	14.02
June	222.1	20.94	221.5	212.4	220.6	216.0	13.94	13.65
July	234.4	24.68	235.5	225.9	231.1	226.3	13.74	13.45
August	219.3	24.44	228.5	219.8	225.3	220.5	13.80	13.51
September	169.6	18.82	199.9	192.7	201.9	197.6	14.14	13.84
October	120.0	13.57	161.8	156.0	169.0	165.5	14.62	14.32
November	82.8	6.46	128.3	123.8	138.5	135.6	15.11	14.79
December	62.4	1.25	106.1	102.6	116.7	114.2	15.39	15.07
Year	1763.3	12.07	2044.6	1966.9	2111.4	2066.8	14.61	14.30

PVsyst ile üretim simülasyonu gerçekleştirildiğinde sistemin yılda senaryo 1'e göre yaklaşık **2065 MWh**, senaryo 2'ye göre ise yaklaşık **2067 MWh** enerji üreteceği öngörülmektedir. Detaylı analiz raporu EK-2' de sunulmuştur.

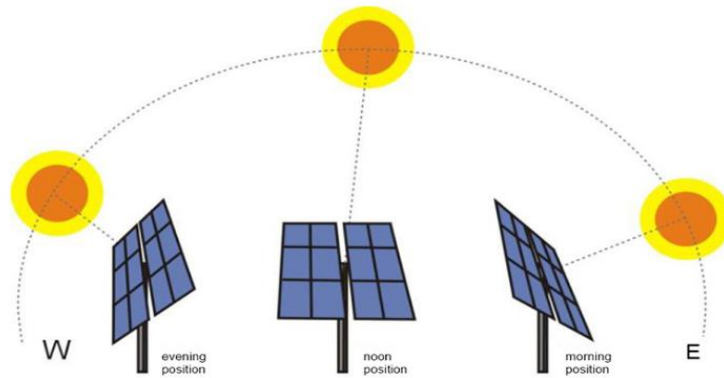
Mevsimsel açılı sisteme ait maliyet bilgileri Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Toplam sistem maliyeti 731640 USD olmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda mevsimsel açılı sistem için 1 kWh enerji üretim maliyeti 0,354 USD olmuştur.

Çizelge 4.7. 2019 yılı mevsimsel açılı sistem maliyeti

Malzemenin Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı (\$)	Birim	Toplam (\$)
Panel	1188000	0,28	Wp	332640
Evirici	20	2700	adet	54000
Konstrüksiyon	1	95000	set	95000
Diğer Ekipmanlar (trafo, yg hücre, kablo, işçilik vb.)	1	250000	set	250000
TOPLAM				731640

4.2.3. Tek eksenli güneş takip sistemi için üretim ve maliyet analizi

Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için FV panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, güneşlenme de en yüksek seviyede olur. FV panellerin güneşi dik açı ile görebilmeleri için sabah gün doğumundan akşam gün batımına kadar FV panellerin güneşi takip etmeleri gerekir. Ancak gün boyu yapılan takip işlemi yılın her mevsimi için aynı kazancı sağlamaz. Çünkü dünyanın güneş eksenindeki hareketine bağlı olarak yıl içerisinde güneş her mevsim farklı yörüngeleri takip etmektedir. Şekil 4.4.'de panellerin güneşi takip edişi görülmektedir.



Şekil 4.4. Panellerin güneşin konumuna göre konumlanması (URL04)

PVsyst simülasyonu gerçekleştirilirken güneş takip sisteminin güneşi takip etme kabiliyeti -45° ile $+45^\circ$ arasında seçilmiştir. PVsyst ile üretim simülasyonu neticesinde sistemin yılda yaklaşık **2320 MWh** enerji üretebileceği öngörülmektedir. Detaylı analiz raporu EK-3' de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Tek eksen güneş takip sisteminin aylara göre PVsyst üretim sonuçları

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.3	-0.63	83.8	79.5	92.1	90.1	15.40	15.06
February	86.0	0.77	111.8	106.9	122.7	120.1	15.36	15.05
March	134.3	6.75	173.0	166.9	184.8	180.9	14.95	14.64
April	162.4	10.94	207.8	201.3	216.9	212.2	14.61	14.30
May	203.8	16.04	262.4	255.0	266.3	260.5	14.20	13.90
June	222.1	20.94	291.0	283.5	289.7	283.5	13.94	13.64
July	234.4	24.68	309.9	302.1	304.6	298.0	13.76	13.46
August	219.3	24.44	291.1	283.9	287.6	281.4	13.83	13.53
September	169.6	18.82	228.3	221.7	231.2	226.3	14.17	13.87
October	120.0	13.57	160.7	154.6	167.7	164.2	14.60	14.30
November	82.8	6.46	111.0	105.8	118.9	116.5	15.00	14.69
December	62.4	1.25	80.8	76.4	88.4	86.5	15.30	14.97
Year	1763.3	12.07	2311.7	2237.7	2370.7	2320.2	14.36	14.05

Tek eksenli açılı sisteme ait maliyet bilgileri Çizelge 4.9.'de verilmiştir. Toplam sistem maliyeti 786640 USD olmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda tek eksenli güneş takip sistemi için 1 kWh enerji üretim maliyeti 0,340 USD olmuştur.

Çizelge 4.9. 2019 yılı tek eksenli güneş takip sistem maliyeti

Malzemenin Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı (\$)	Birim	Toplam (\$)
Panel	1188000	0,28	Wp	332640
Evirici	20	2700	adet	54000
Konstrüksiyon	1	150000	set	150000
Diğer Ekipmanlar (trafo, yg hücre, kablo, işçilik vb.)	1	250000	set	250000
TOPLAM				786640

4.2.4. Çift eksenli güneş takip sistemi için üretim analizi

İki eksenli kontrol sistemlerinde güneşin gökyüzündeki konumunu belirten iki açı değeri ile takip gerçekleştirilir. Bu kontrol sisteminde eksenlerden biri azimut eksen, diğeri ise zenit ekseninde hareket etmektedir. Şekil 4.5.'de çift eksenli güneş takip sistemine ait örnek verilmiştir.



Şekil 4.5. Çift eksenli güneş takip sistemi (URL05)

Pvsyst simülasyonu gerçekleştirilirken güneş takip sisteminin azimuth açısı -90 ile $+90$ arasında, zenith açısı ise -45° ile $+45^\circ$ arasında seçilmiştir. Pvsyst ile üretim simülasyonu neticesinde sistemin yılda yaklaşık **2504 MWh** enerji üretebileceği öngörülmektedir. Detaylı analiz raporu EK-4’ de sunulmuştur.

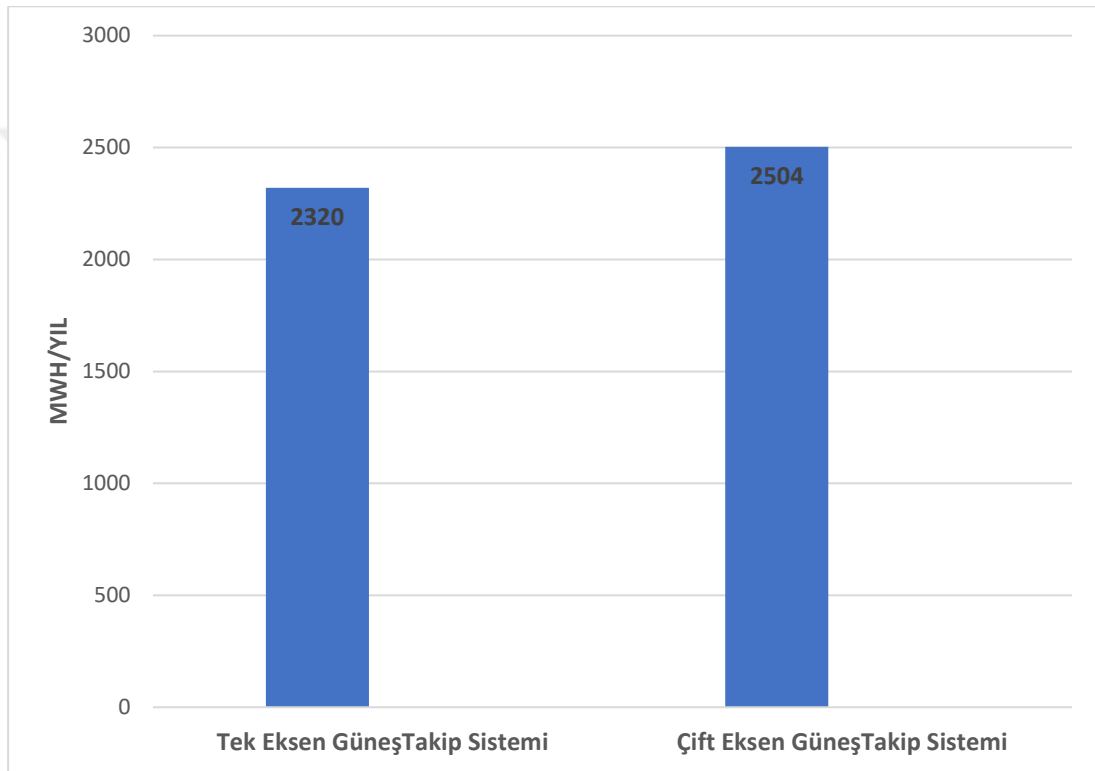
Çizelge 4.10. Çift eksen güneş takip sisteminin aylar göre Pvsyst üretim sonuçları

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.3	-0.63	115.7	112.2	127.1	124.3	15.38	15.04
February	86.0	0.77	146.3	142.3	159.1	155.7	15.22	14.89
March	134.3	6.75	200.4	194.9	208.9	204.4	14.60	14.28
April	162.4	10.94	207.1	201.1	211.7	207.2	14.31	14.00
May	203.8	16.04	251.2	243.8	253.4	248.0	14.12	13.82
June	222.1	20.94	273.3	266.0	272.6	266.8	13.96	13.67
July	234.4	24.68	290.4	283.0	285.5	279.4	13.76	13.47
August	219.3	24.44	284.6	277.7	278.6	272.5	13.70	13.40
September	169.6	18.82	254.8	249.1	252.9	247.4	13.89	13.59
October	120.0	13.57	204.5	199.5	210.1	205.6	14.38	14.08
November	82.8	6.46	158.4	154.4	167.6	164.0	14.82	14.50
December	62.4	1.25	119.9	116.4	131.5	128.7	15.34	15.02
Year	1763.3	12.07	2506.6	2440.5	2559.0	2503.9	14.29	13.98

Çift eksenli açılı sisteme ait maliyet bilgileri Çizelge 4.11.’de verilmiştir. Toplam sistem maliyeti 916640 USD olmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda çift eksenli güneş takip sistemi için 1 kWh enerji üretim maliyeti 0,366 USD olmuştur.

Çizelge 4.11. 2019 yılı çift eksenli güneş takip sistem maliyeti

Malzemenin Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı (\$)	Birim	Toplam (\$)
Panel	1188000	0,28	Wp	332640
Evirici	20	2700	adet	54000
Konstrüksiyon	1	280000	set	280000
Diğer Ekipmanlar (trafo, yg hücre, kablo, işçilik vb.)	1	250000	set	250000
TOPLAM				916640



Şekil 4.6. Tek eksen ve çift eksen enerji üretimleri

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Şebeke bağlantılı 1 MW FV sistem için farklı oryantasyonlar ve açılar ele alınarak gerekli tasarımlar oluşturulmuş ve bu tasarımlar referans alınarak PVsyst enerji üretim simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, PVsyst üretim analiz sonuçları ile farklı sistemlerin üretim değerleri ve performansları karşılaştırılmıştır.

Üretim simülasyonları neticesinde; sabit açılı sistemde yıllık üretilen enerji miktarı 1950 MWh, mevsimsel açılı sistemlerinde yıllık üretilen enerji miktarı 2065 MWh ve 2067 MWh'dır.

Tek eksenli güneş takip sisteminde yıllık üretilen enerji miktarı ise 2320 MWh iken çift eksenli güneş takip sisteminde ise 2504 MWh'dir.

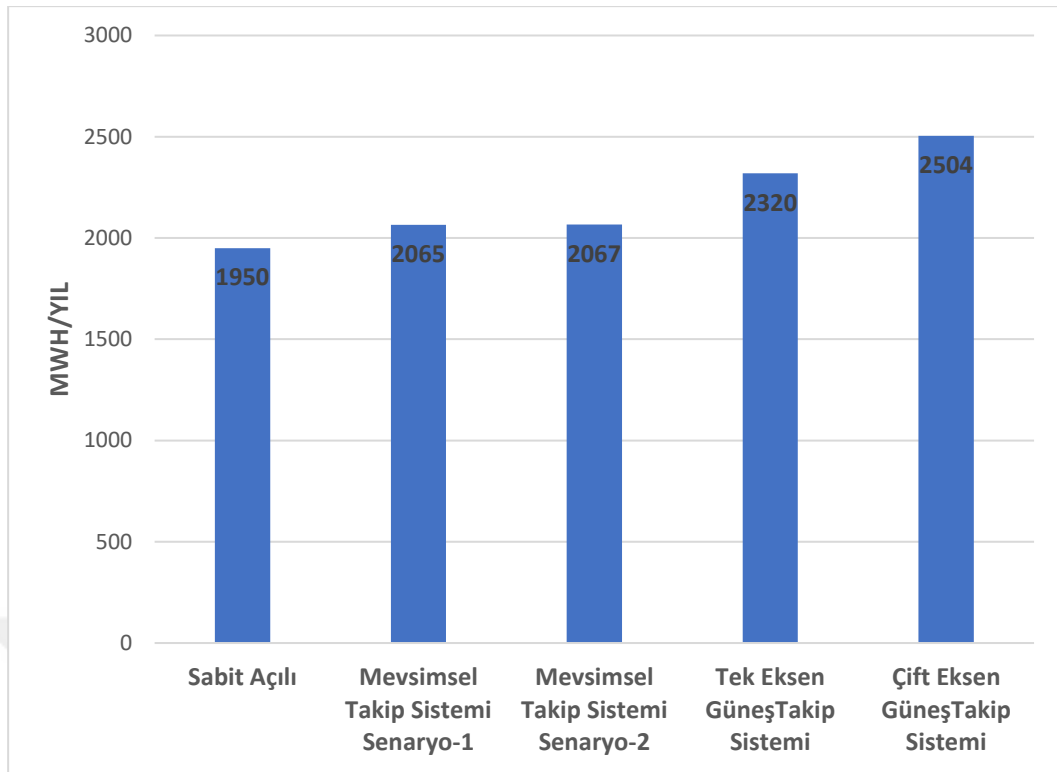
Mevsimsel açılı sistemde üretilen enerji miktarı, sabit açılı sisteme göre üretilen enerji miktarına göre yaklaşık % 6 artış göstermiştir.

Tek eksenli güneş takip sisteminde üretilen enerji miktarı sabit açılı sisteme göre yaklaşık % 19 artış gösterirken, mevsimsel açılı sisteme göre yaklaşık % 18 artış göstermektedir.

Çift eksenli güneş takip sisteminde üretilen enerji miktarı sabit açılı sisteme göre % 28 artış gösterirken, mevsimsel açılı sisteme göre yaklaşık % 21 artış göstermiştir. Çift eksenli sistem tek eksenli sisteme göre yaklaşık % 8 artış göstermiştir.

Çizelge 5.1. Farklı sistemlerde yıllık üretilen enerji miktarı

Sistem Tanımı	Yıllık Üretilen Enerji Miktarı (MWh)
Sabit Açılı	1950
Mevsimsel Açılı- Senaryo 1	2065
Mevsimsel Açılı- Senaryo 2	2067
Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	2320
Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi	2504



Şekil 5.1. Farklı sistem tasarımlarının enerji üretim grafiği

Maliyet analizi neticesinde; 2019 yılı fiyatları göz önüne alınmış olup sabit açılı maliyeti 711640 USD, mevsimsel açılı sistem maliyeti 731640 USD, tek eksenli güneş takip sistem maliyeti 786640 USD, çift eksenli güneş takip sistem maliyeti ise 916640 USD olmuştur.

Çizelge 5.2. 2019 yılı için sistem maliyetleri

Sistem Tanımı	Sistem maliyeti (USD)
Sabit Açılı	711640
Mevsimsel Açılı- Senaryo 1	731640
Mevsimsel Açılı- Senaryo 2	731640
Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	786640
Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi	916640

Çizelge 5.3. Yıllık 1 kWh enerji üretim maliyeti karşılaştırması

Sistem Tanımı	Yıllık 1 kWh enerji üretim maliyeti (USD/kWh)
Sabit Açılı	0,365
Mevsimsel Açılı- Senaryo 1	0,354
Mevsimsel Açılı- Senaryo 2	0,354
Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	0,340
Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi	0,366

5.2. Öneriler

Sistem tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken birçok unsur söz konusudur. Gölgeleme kayıpları FV sistemler için büyük kayıplar oluşturmaktadır. Gölgeleme minimuma indirmek sistemin verimini artıracaktır. Bu nedenle sistem tasarımı yapılırken gölgelemelerden kaçınmak adına gerekli mesafeler bırakılmalı ve panel yönü olarak yatay yerleşim seçilmelidir.

Çizelge 5.1.'de enerji üretim miktarları verilmişti, bu bilgiler doğrultusunda aynı güç ve aynı konumda en fazla üretim yapan sistem çift eksenli güneş takip sistemidir. Ancak çift eksenli güneş takip sisteminin fiyat-performans oranı Çizelge 5.3.'den de görülebileceği üzere en düşüktür. 2019 yılı fiyatları itibari ile çift eksenli sistem kurulumu fiyat-performans açısından aşağıda kalmıştır. Ayrıca çift eksenli takip sistemlerinin kurulum sonrası bakım maliyetlerinin de fazla olması nedeniyle, çift eksenli sistem tercih edilmemelidir.

Tek eksenli güneş takip sisteminin enerji üretimi 2. sırada olmakla beraber fiyat performans açısından en iyi sistem olmuştur. Kurulum sonrasında çift eksenli sistemler kadar bakım maliyeti gerektirmemesi nedeniyle tek eksenli sistemler tercih edilebilir. Ancak daha önce de bahsedildiği üzere tek eksenli sistemlerde sabit sisteme göre % 25 daha fazla alana ihtiyaç duyulması, alan bakımından sıkıntılı yerlerde kullanılmasını zora sokmaktadır. Ayrıca tek eksenli sistem kurulumu yapıldığında fazladan kullanılacak olan % 25 alan için, eğer ki alan yeterliyse tek eksenli sistemden vazgeçilip sabit açılı sistem ile aralarındaki maliyet farkına daha fazla panel kurulumu yapıлып, sabit açılı sistemden de yıllık olarak tek eksenli güneş takip sistemi kadar enerji üretimi almak mümkün olabilir.

Mevsimsel açılı sistem fiyat-performans oranı olarak 2.sıradadır. Mevsimsel açılı sistem, tek eksenli sistem kadar güneşi takip edemese de, sezon ve açı hassasiyeti artırılarak daha fazla enerji üretimi yapılması mümkün olacaktır. Mevsimsel açılı sistemde tek eksenli sistemdeki gibi bir alan kaybı yoktur. Mevsimsel açılı sistem, bir nevi sabit açılı sistem ve tek eksenli güneş takip sisteminin karışımıdır. Mevsimsel açılı sistemde enerji üretimi sabit açılı sisteme göre fazla olması ve tek eksenli sistemin dezavantajları olan alan kaybı ve yıllık bakım maliyetlerini içermemesi nedeni en mantıklı çözüm haline gelmektedir.



KAYNAKLAR

Aksungur, M., Kurban, K. M., Filik, Ü. B., 2013, Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu.

Boztepe, M., 2017, Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler, Emo İzmir Şubesi Dergisi.

Cezim, C., 2013, Fotovoltaik sistemler ve uygulamaları, TMMOB Elektrik mühendisleri odası eğitim ve seminer etkinlikleri.

Çolak, Ş.Ç., 2010, Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-37.

Dişli, F., 2018, Fotovoltaik panellerin üzerindeki toz yoğunluğunun görüntü işleme ile tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Girgin, M.H., 2011, Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5MW'lık güneş enerji santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 21-32.

Güçlüer, D., 2010, Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların cbs – çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5.

IEC. Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement Data Exchange and Analysis. IEC Standard 61724. Geneva Switzerland; 1998.

Karamanav, M., 2007, Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-31.

Kumar S.B, K. Sudhakar. Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. Energy Reports 2015; 1: 184-192.

Marion B. et al. Performance parameters for grid-connected PV systems. In Proceedings of Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005; 2005. p. 1601-1606.

Mayfield, R., 2012, The Highs and Lows of Photovoltaic System Calculations, Renewable Energy Consultants Electrical Construction and Maintenance.

Mekhilef, S., Saidur, R. ve Kamalisarvestani, M., 2012, Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells.

Özgün, H., 2015, Temel kavramlar ve örnek projelerle fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri, İstanbul, 102-128.

PVsystem User Manual. <URL: <http://files.pvsyst.com/help/>>

Rüstemli, S., 2013, Fotovoltaik paneller: güneş takip ve iklimlendirme sistemleri, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 141-147

Sharma V., Chandel S.S., Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. Energy 2013; 55: 476-485.

URL01: (www.enerji.gov.tr, erişim tarihi: 2019)

URL02: (www.yegm.gov.tr, erişim tarihi: 2019)

URL03: (<http://www.solarportall.com/>, erişim tarihi: 2018)

URL04: (<http://solar.inventoturkiye.com/portfolio/gunes-takip-sistemleri/>, erişim tarihi: 2019)

URL05: (<https://nexten.com.tr/tr/ges-santrallerinde-gunes-takip-sistemi-solar-tracker-uygulamalari/>, erişim tarihi :2019)

Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants, 2015, International Finance Corporation(IFC)

Yılmaz, M., 2013, Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin elde edilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-73.

Yılmaz, M., 2017, İki eksenli güneş takip sistemlerinde takip verimliliğinin artırılması, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 1/2.



	PVSYST V6.43	EK-1	01/06/19	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Konya Çumra			
Geographical Site	Konya-Çumra	Country	Turkey	
Situation	Latitude	37.6°N	Longitude	32.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	1011 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	Konya-Çumra	Meteonorm 7.1 (2003-2011), Sat=48% - Synthetic		
Simulation variant :	Talesun-Kaco			
	Simulation date	01/06/19 10h57		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	26°	Azimuth	0°
20 Sheds	Pitch	7.56 m	Collector width	3.96 m
Inactive band	Top	0.20 m	Bottom	0.20 m
Shading limit angle	Gamma	25.51 °	Occupation Ratio	52.4 %
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Mutual shadings of sheds			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	TP660P	
Custom parameters definition	Manufacturer	Talesun		
Number of PV modules	In series	22 modules	In parallel	200 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	4400	Unit Nom. Power	270 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1188 kWp	At operating cond.	1086 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	630 V	I mpp	1725 A
Total area	Module area	7144 m²		
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT XL		
Custom parameters definition	Manufacturer	Kaco new energy		
Characteristics	Operating Voltage	580-900 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	20 units	Total Power	1000 kWac
PV Array loss factors				
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	25.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.1 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Grid-Connected System: Main results

Project : Konya Çumra

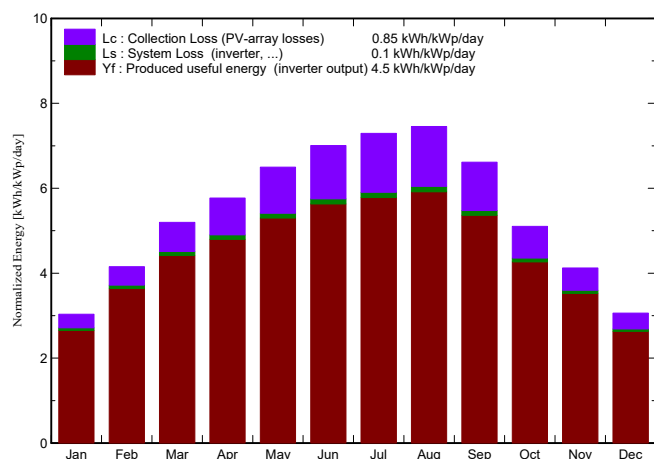
Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	26°	azimuth	0°
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

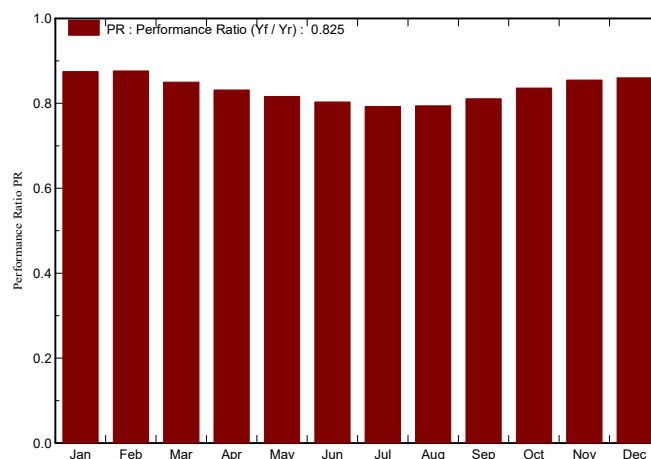
Main simulation results

System Production **Produced Energy 1950 MWh/year** Specific prod. 1641 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 82.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1188 kWp



Performance Ratio PR



Talesun-Kaco Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	66.3	-0.63	94.0	87.0	99.9	97.7	14.88	14.55
February	86.0	0.77	116.3	108.6	123.7	121.1	14.89	14.58
March	134.3	6.75	161.1	151.1	166.2	162.6	14.44	14.13
April	162.4	10.94	173.1	161.5	174.7	171.0	14.13	13.83
May	203.8	16.04	201.4	188.0	199.4	195.2	13.86	13.57
June	222.1	20.94	210.2	196.7	205.0	200.6	13.65	13.36
July	234.4	24.68	226.1	212.2	217.5	212.9	13.46	13.18
August	219.3	24.44	231.1	218.0	222.6	217.9	13.49	13.20
September	169.6	18.82	198.4	187.3	195.2	191.1	13.77	13.48
October	120.0	13.57	158.1	148.8	160.4	157.1	14.20	13.90
November	82.8	6.46	123.7	115.4	128.3	125.6	14.52	14.21
December	62.4	1.25	94.8	86.3	99.0	96.9	14.62	14.30
Year	1763.3	12.07	1988.4	1861.0	1991.9	1949.7	14.02	13.73

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

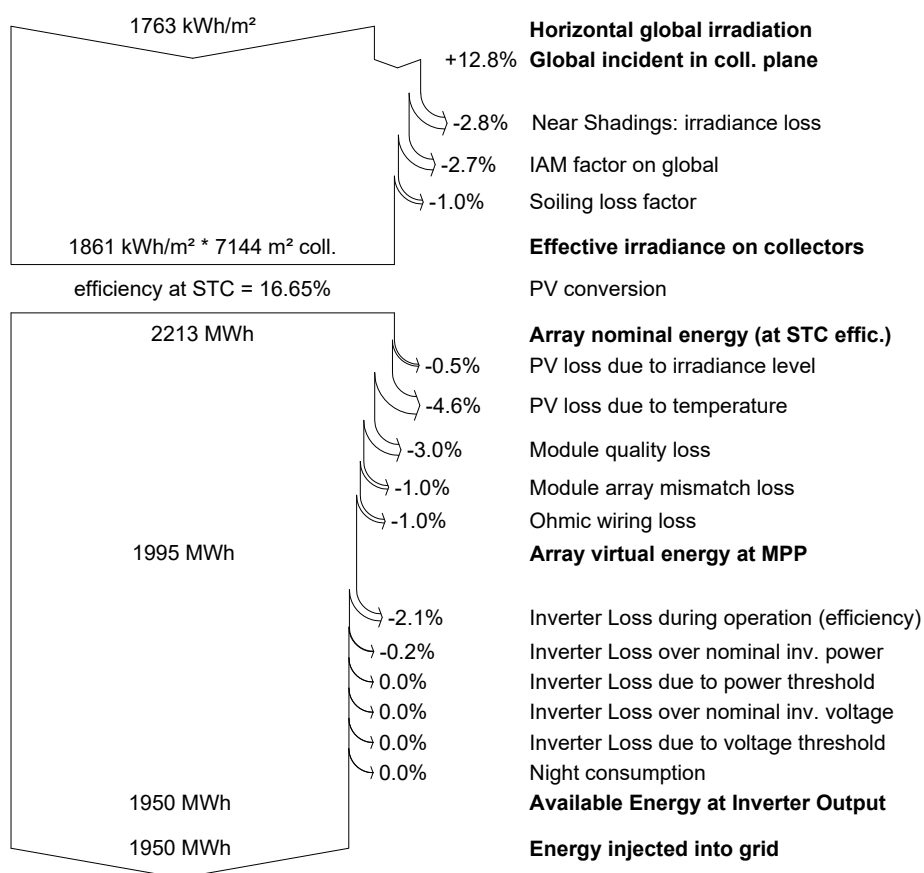
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Konya Çumra

Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	26°	azimuth	0°
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



	PVSYST V6.43	EK-2	01/06/18	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Konya Çumra			
Geographical Site	Konya-Çumra	Country	Turkey	
Situation	Latitude	37.6°N	Longitude	32.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	1011 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	Konya-Çumra	Meteonorm 7.1 (2003-2011), Sat=48% - Synthetic		
Simulation variant :	Talesun-Kaco			
	Simulation date	01/06/19 14h30		
Simulation parameters				
Coll. plane: Seasonal tilt adjustment	Azimuth	0°	Winter season	O-N-D-J-F-M
	Summer Tilt	10°	Winter Tilt	40°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	TP660P	
Custom parameters definition	Manufacturer	Talesun		
Number of PV modules	In series	22 modules	In parallel	200 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	4400	Unit Nom. Power	270 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1188 kWp	At operating cond.	1086 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	630 V	I mpp	1725 A
Total area	Module area	7144 m²		
Inverter				
Custom parameters definition	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT XL		
Characteristics	Manufacturer	Kaco new energy		
	Operating Voltage	580-900 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	20 units	Total Power	1000 kWac
PV Array loss factors				
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	25.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.1 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Grid-Connected System: Main results

Project : Konya Çumra

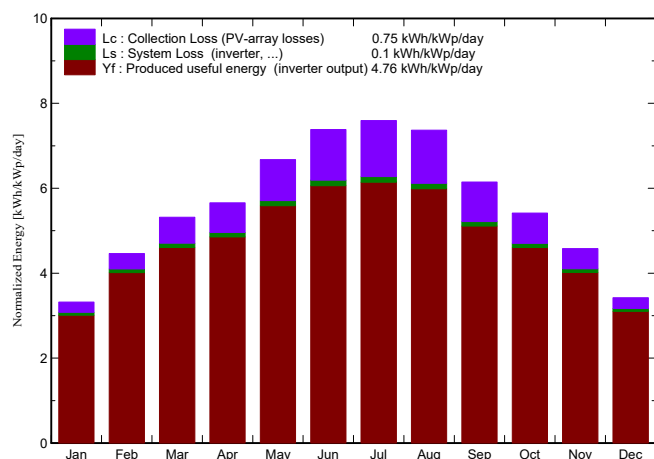
Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters		System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	Seasonal tilt: summer/winter	10°/40°	azimuth 0°
PV modules	Model	TP660P	Pnom 270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total 1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom 50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total 1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

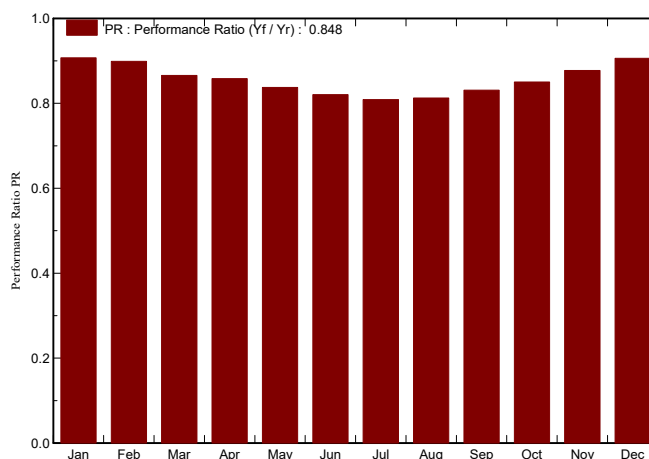
Main simulation results

System Production **Produced Energy 2065 MWh/year** Specific prod. 1738 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR **84.8 %**

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1188 kWp



Performance Ratio PR



Talesun-Kaco Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	66.3	-0.63	102.9	99.5	113.4	111.0	15.43	15.09
February	86.0	0.77	125.0	120.8	136.4	133.5	15.27	14.95
March	134.3	6.75	164.8	159.0	173.3	169.6	14.72	14.40
April	162.4	10.94	169.7	162.4	176.8	173.1	14.58	14.27
May	203.8	16.04	206.9	198.3	210.2	205.8	14.22	13.92
June	222.1	20.94	221.5	212.4	220.6	216.0	13.94	13.65
July	234.4	24.68	235.5	225.9	231.1	226.3	13.74	13.45
August	219.3	24.44	228.5	219.8	225.3	220.5	13.80	13.51
September	169.6	18.82	184.4	176.8	186.0	182.1	14.11	13.82
October	120.0	13.57	167.9	162.4	173.2	169.6	14.44	14.14
November	82.8	6.46	137.3	133.1	146.3	143.2	14.91	14.59
December	62.4	1.25	106.1	102.6	116.7	114.2	15.39	15.07
Year	1763.3	12.07	2050.6	1973.0	2109.3	2064.7	14.40	14.09

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

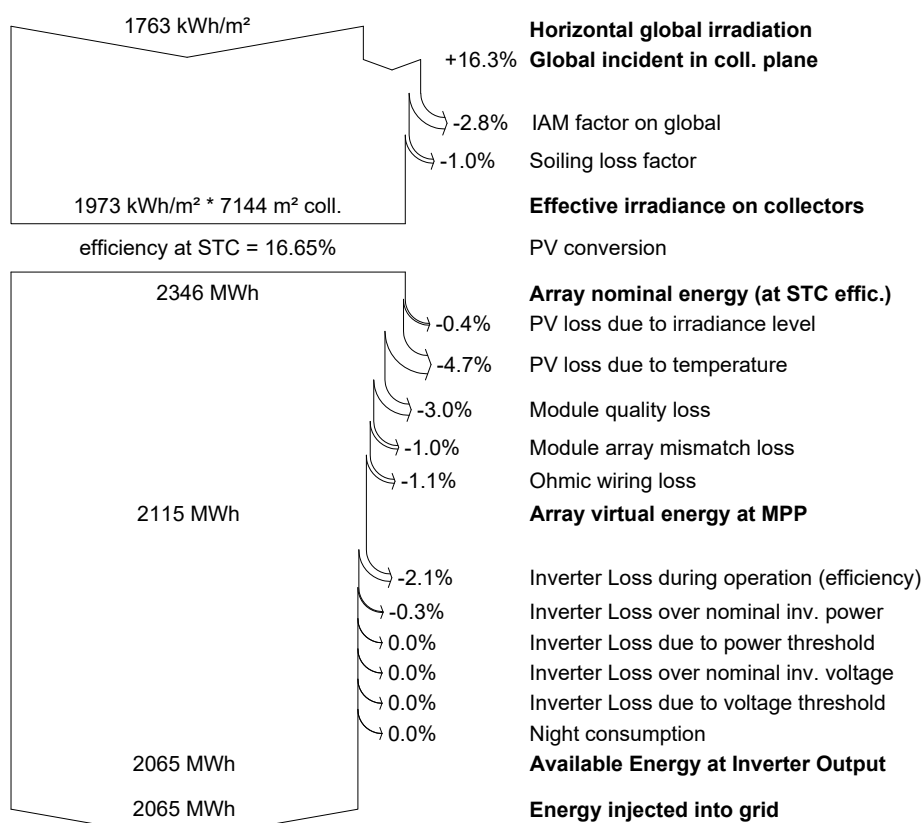
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Konya Çumra

Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	Seasonal tilt: summer/winter	10°/40°	azimuth	0°
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



	PVSYST V6.43	EK-3	16/06/19	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Konya Çumra			
Geographical Site	Konya-Çumra	Country	Turkey	
Situation	Latitude	37.6°N	Longitude	32.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	1011 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	Konya-Çumra	Meteonorm 7.1 (2003-2011), Sat=48% - Synthetic		
Simulation variant :	Talesun-Kaco			
	Simulation date	16/06/19 18h34		
Simulation parameters				
Tracking plane, tilted Axis	Axis Tilt	0°	Axis Azimuth	0°
Rotation Limitations	Minimum Phi	-45°	Maximum Phi	45°
Backtracking strategy	Tracker Spacing	8.00 m	Collector width	3.30 m
Inactive band	Left	0.02 m	Right	0.02 m
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	TP660P	
Custom parameters definition	Manufacturer	Talesun		
Number of PV modules	In series	22 modules	In parallel	200 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	4400	Unit Nom. Power	270 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1188 kWp	At operating cond.	1086 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	630 V	I mpp	1725 A
Total area	Module area	7144 m²		
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT XL		
Custom parameters definition	Manufacturer	Kaco new energy		
Characteristics	Operating Voltage	580-900 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	20 units	Total Power	1000 kWac
PV Array loss factors				
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	25.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.1 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Grid-Connected System: Main results

Project : Konya Çumra

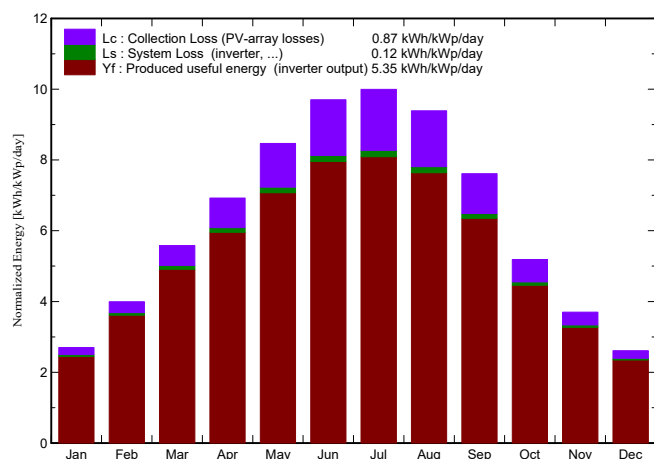
Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tracking, tilted axis, Axis Tilt	0°
PV modules	Model	TP660P
PV Array	Nb. of modules	4400
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT
Inverter pack	Nb. of units	20.0
User's needs	Unlimited load (grid)	
	Axis Azimuth	0°
	Pnom	270 Wp
	Pnom total	1188 kWp
	Pnom	50.0 kW ac
	Pnom total	1000 kW ac

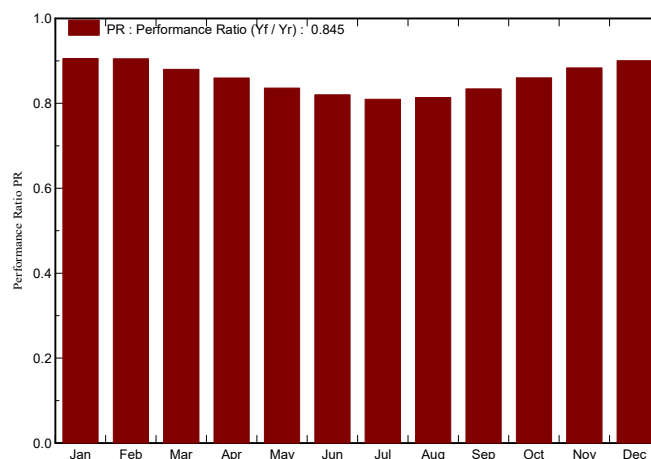
Main simulation results

System Production **Produced Energy** **2320 MWh/year** Specific prod. 1953 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 84.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1188 kWp



Performance Ratio PR



Talesun-Kaco Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	66.3	-0.63	83.8	79.5	92.1	90.1	15.40	15.06
February	86.0	0.77	111.8	106.9	122.7	120.1	15.36	15.05
March	134.3	6.75	173.0	166.9	184.8	180.9	14.95	14.64
April	162.4	10.94	207.8	201.3	216.9	212.2	14.61	14.30
May	203.8	16.04	262.4	255.0	266.3	260.5	14.20	13.90
June	222.1	20.94	291.0	283.5	289.7	283.5	13.94	13.64
July	234.4	24.68	309.9	302.1	304.6	298.0	13.76	13.46
August	219.3	24.44	291.1	283.9	287.6	281.4	13.83	13.53
September	169.6	18.82	228.3	221.7	231.2	226.3	14.17	13.87
October	120.0	13.57	160.7	154.6	167.7	164.2	14.60	14.30
November	82.8	6.46	111.0	105.8	118.9	116.5	15.00	14.69
December	62.4	1.25	80.8	76.4	88.4	86.5	15.30	14.97
Year	1763.3	12.07	2311.7	2237.7	2370.7	2320.2	14.36	14.05

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
 GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

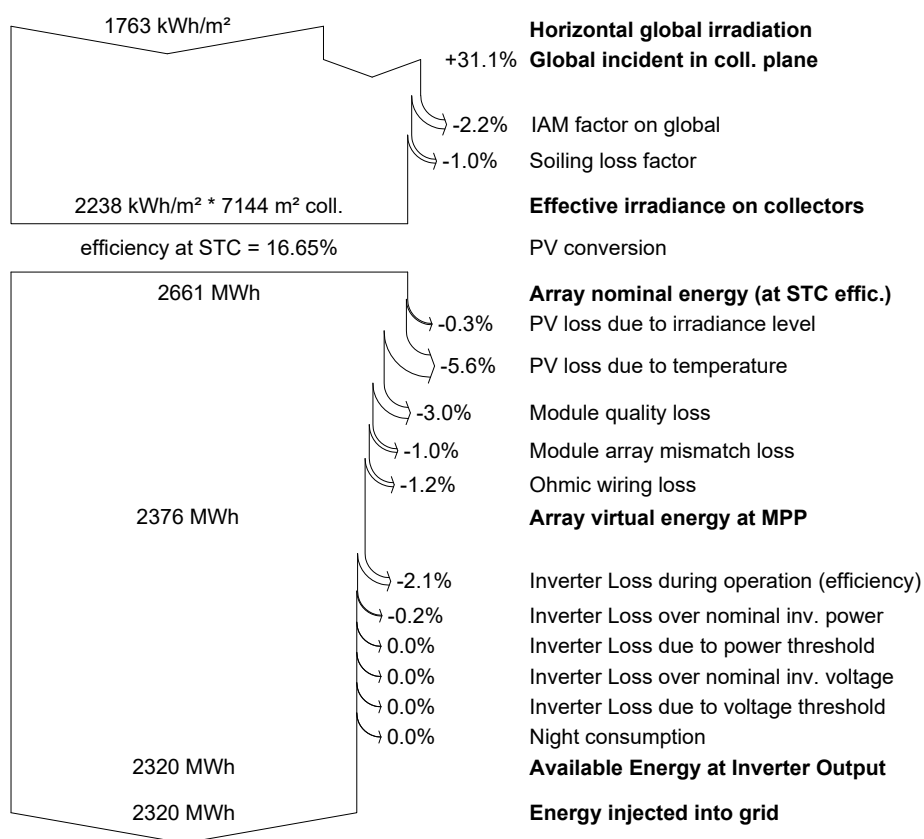
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Konya Çumra

Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tracking, tilted axis, Axis Tilt	0°	Axis Azimuth	0°
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



	PVSYST V6.43	EK-4	16/06/19	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Konya Çumra			
Geographical Site	Konya-Çumra	Country	Turkey	
Situation	Latitude	37.6°N	Longitude	32.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	1011 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	Konya-Çumra	Meteonorm 7.1 (2003-2011), Sat=48% - Synthetic		
Simulation variant :	Talesun-Kaco			
	Simulation date	16/06/19 18h42		
Simulation parameters				
Tracking plane, two axis	Minimum Tilt	-45°	Maximum Tilt	45°
Rotation Limitations	Minimum Azimuth	-90°	Maximum Azimuth	90°
Backtracking strategy	Tracker Spacing	33.0 m	Collector width	3.30 m
Inactive band	Left	0.02 m	Right	0.02 m
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	TP660P	
Custom parameters definition	Manufacturer	Talesun		
Number of PV modules	In series	22 modules	In parallel	200 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	4400	Unit Nom. Power	270 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1188 kWp	At operating cond.	1086 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	630 V	I mpp	1725 A
Total area	Module area	7144 m²		
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT XL		
Custom parameters definition	Manufacturer	Kaco new energy		
Characteristics	Operating Voltage	580-900 V	Unit Nom. Power	50 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	20 units	Total Power	1000 kWac
PV Array loss factors				
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	25.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.1 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Grid-Connected System: Main results

Project : Konya Çumra

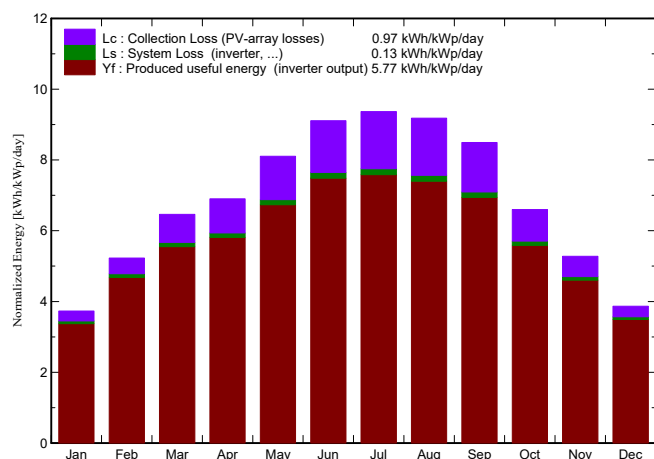
Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	Tracking two axis			
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

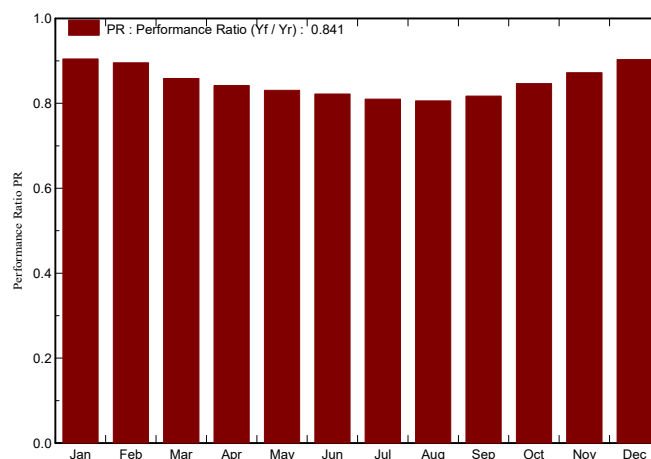
Main simulation results

System Production **Produced Energy 2504 MWh/year** Specific prod. 2108 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 84.1 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1188 kWp



Performance Ratio PR



Talesun-Kaco Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	66.3	-0.63	115.7	112.2	127.1	124.3	15.38	15.04
February	86.0	0.77	146.3	142.3	159.1	155.7	15.22	14.89
March	134.3	6.75	200.4	194.9	208.9	204.4	14.60	14.28
April	162.4	10.94	207.1	201.1	211.7	207.2	14.31	14.00
May	203.8	16.04	251.2	243.8	253.4	248.0	14.12	13.82
June	222.1	20.94	273.3	266.0	272.6	266.8	13.96	13.67
July	234.4	24.68	290.4	283.0	285.5	279.4	13.76	13.47
August	219.3	24.44	284.6	277.7	278.6	272.5	13.70	13.40
September	169.6	18.82	254.8	249.1	252.9	247.4	13.89	13.59
October	120.0	13.57	204.5	199.5	210.1	205.6	14.38	14.08
November	82.8	6.46	158.4	154.4	167.6	164.0	14.82	14.50
December	62.4	1.25	119.9	116.4	131.5	128.7	15.34	15.02
Year	1763.3	12.07	2506.6	2440.5	2559.0	2503.9	14.29	13.98

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

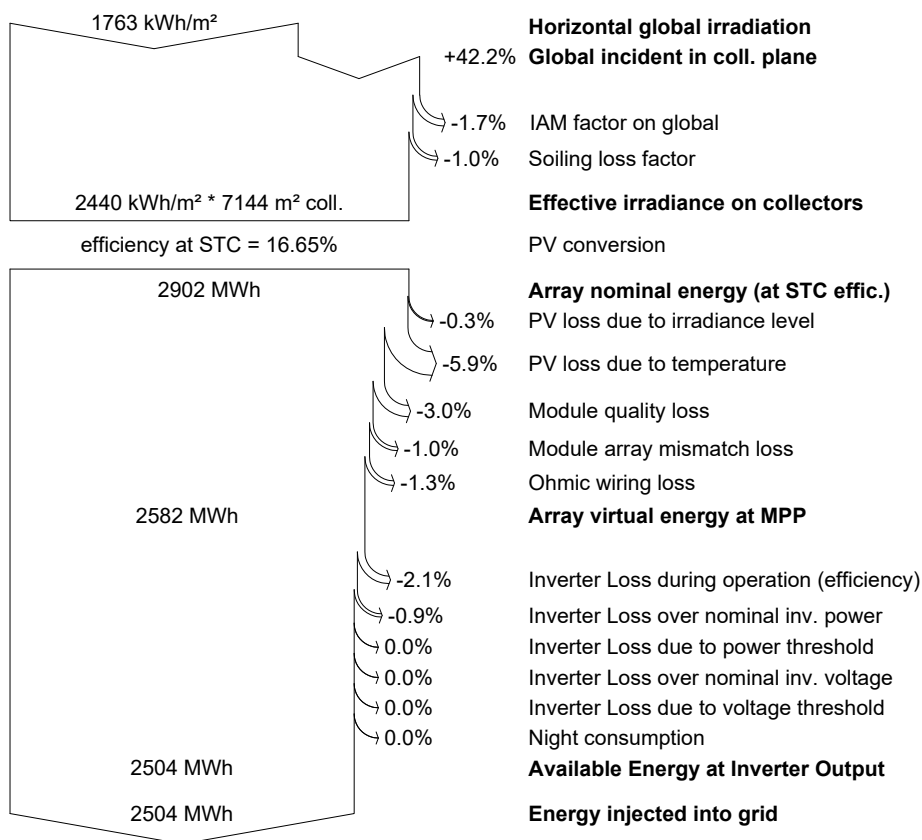
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Konya Çumra

Simulation variant : Talesun-Kaco

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	Tracking two axis			
PV modules	Model	TP660P	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4400	Pnom total	1188 kWp
Inverter	Model	blueplanet 50.0 TL3-INT	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	20.0	Pnom total	1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed KORKMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 10.05.1991
Telefon : 0(535) 798 85 72
Faks :
e-mail : muhammedkorkmaz06@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dr.Binnaz-Dr.Rıdvan Ege Anadolu Lisesi	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.	2015
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üni. Elektrik-Elektronik Müh.	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2017	Birlik Enerji A.Ş.	Proje Mühendisi
2017-2018	Arke Solar A.Ş.	Proje Mühendisi
2018-Halen	Prime Enerji A.Ş.	Proje Tasarım Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1-) Korkmaz, M., Özkan, A. O., 2019, Simulation and Analysis of Comparative Energy Production in Various Angle and Orientation of a Photovoltaic System, The International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference in Seydişehir / TURKEY (IATENS'19), October 4-6 2019