

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

**ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİNİN  
BENZETİMİ VE PERFORMANS ANALİZİ**

**Mohamed Alageli M. MILLAD**

<b>Danışman</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Osman ÇİÇEK</b>
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN</b>
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Tahir GÜNEŞER</b>

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KASTAMONU – 2019**

## TEZ ONAYI

**Mohamed Alageli M. MILLAD** tarafından hazırlanan "**Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Santralının Benzetimi ve Performans Analizi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Osman ÇİÇEK  
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN  
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Tahir GÜNEŞER  
Karabük Üniversitesi



16/07/2019

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Nur BELKAYALI



## TAAHHÜTNAME

Bu belgedeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ve taahhüt ederim.

İmza  
Mohamed Alageli M. MILLAD



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİNİN BENZETİMİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Mohamed Alageli M. MILLAD  
Kastamonu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman ÇİÇEK

Fotovoltaik sistem, çok önemli yenilenebilir enerji uygulamalarından biridir. Çevrede oluşabilecek zararı arttıran herhangi bir gürültü, kimyasal etki ya da sera gazı emisyonuna sebep olmadan, güneş ışığından elektrik üretir. Türkiye, enerji gereksinimini karşılamak ve ulusal enerji kaynaklarını korumak için uygun konumundan dolayı, güneş enerjisi sanayisine yatırım yapan ülkelerden biridir. Burada uygun olan çözüm, bazı geleneksel elektrik enerjisi tüketimlerini, şebekeye bağlı PV santralleri gibi temiz enerji kaynaklarıyla değiştirmektir. Fakat, PV modüllerinin performansı imalat malzemeleri, coğrafi konum, gölgelendirme, çalışma sıcaklığı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu sistemleri anlamak adına net bir görüşe sahip olmak için, MATLAB/Simulink gibi yazılım ve programlar, PV sistemlerini simüle etmek için kullanılabilir. Simülasyon güneş sistemini kurmadan önce zaman ve para tasarrufu adına önemlidir, performansı öngörmek ve uygun bileşenleri sağlamak için yardımcı olabilir. Yine de, çalışma çıktıların (I-V ve P-V) davranışlarını ve 290W PV panelinin özelliklerini incelemek için, PV modülünün MATLAB/Simulink simülasyonuna yönelik bir prosedür sunar. Seri direnç, paralel direnç, ters besleme akımı ve foto akım gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Benzer parametreler imalatçının veri sayfalarından alınmıştır. Dahası, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya'daki KRMN-SNAPS 1.6 MW PV elektrik santrali, gerçek veriler ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırmak adına MATLAB/Simulink kullanılarak simüle edilmiştir. Son olarak, önerilen PV sisteminin etkinliğini ve KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinin performansını sergilemek adına simülasyon sonuçları sunuldu.

**Anahtar Kelimeler:** PV modül, PV sistem, şebekeye bağlantılı PV güç santrali, MATLAB/Simulink simülasyonu, enerji tahmini.

**2019, 59 sayfa**  
**Bilim Kodu: 91**

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### MODELLING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

Mohamed Alageli M. MILLAD  
Kastamonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman ÇİÇEK

The photovoltaic system is a very important source of renewable energy. It generates electricity from photons without causing any noise, chemical effects or greenhouse gases emission that could increase the damage occurred to the environment. Turkey is one of some countries that has invested in generating solar power industry because of its suitable location to supply the energy demand and saving the national energy resources. The feasible solution is to substitute some of the conventional electricity energy consumption with clean energy sources such as on-grid PV plants. However, the performance of PV modules is related to several factors such as manufacturing materials, geographic location, shading, operating temperature and others. In order to have a clear vision to understand these systems, some software and programs like MATLAB/ Simulink can be used to simulate PV systems. Simulation is important to save time and money prior installing solar system, it can be helpful to predict the performance and sitting the suitable components. Nevertheless, the work presents a step by step procedure for MATLAB/Simulink Simulation of PV module to investigate the behaviour of the outputs (I-V and P-V) characteristics of a 290W PV panel. Some parameters such as series resistance, parallel resistance, reverse saturation current and photo current are taken into considerations. The approximate parameters are obtained from the manufacturer`s data-sheets. Moreover, KRMN-SNAPS 1.6 MW PV power plant, which situated in Konya Province in the Central Anatolia region of Turkey, is simulated by using MATLAB/ Simulink to compare the results of simulation with the real data. Finally, the simulation results are presented to demonstrate the effectiveness of the proposed PV system and the performance of KRMN-SNAPS 1.6 MW PV power plant.

**Key Words:** PV module, PV system, grid connected PV power plant, MATLAB/Simulink simulation, energy estimation.

**2019, 59 pages**

**Science Code: 91**

## TEŞEKKÜR

İlk olarak tezimin son halini almasında yol gösterici olan danışmanım Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümündeki kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman ÇİÇEK'e içten teşekkürlerimi sunarım. Herhangi bir sorunla karşılaştığımda veya bu süreçteki araştırmalarımı tezimle ilgili bir sorum olduğunda tüm desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN'e MATLAB/Simulink programı ile becerilerimi arttıran yardımını ve yorumları için teşekkür ediyorum. Katılımı olmadan tezim başarılı bir şekilde yürütülemezdi.

Son olarak, yıllarca süren çalışmam, araştırma ve bu tezi yazma süreci boyunca kesintisiz destekleri ve bana sürekli cesaret verdikleri için anneme, babama ve eşime engin şükranlarımı sunarım. Bu başarı onlar olmadan olamazdı. Teşekkür ediyorum.

Mohamed Alageli M. MILLAD  
Kastamonu, Temmuz, 2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ .....	8
3.1. Güneş Radyasyonu .....	8
3.2. PV Hücre .....	9
3.3. PV Modül .....	12
3.4. Şebekeye Bağlantılı PV Sistem.....	13
3.4.1. PV Dizileri.....	14
3.4.2. DC/DC Dönüştürücü.....	14
3.4.3. Maksimum Güç Noktası İzleme.....	15
3.4.4. Şebeke Bağlantılı İnverter.....	15
4. ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN BOYUTLANDIRILMASI .....	17
4.1. Coğrafi Koordinatlar .....	17
4.2. Proje Sahasında Güneş Radyasyonu .....	18
4.3. PV Elektrik Santrali.....	20
4.4. Elektrik Şebekesi.....	20
4.5. PV Modülünün Karakteristiği .....	21
4.6. Güç Düzenleme Ünitesi/Şebekeye Bağlantılı İnverter.....	22
4.7. Güç Aktarımı .....	22
4.8. PV Panellerinin Eğim Açısı .....	23
4.9. Güneş Enerjisi Santral Düzeni .....	24
4.10. PV SYST Kullanarak Simülasyon .....	26
5. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN SİMÜLASYONU .....	27
5.1. PV Modül Simülasyonu .....	27
5.1.1. MATLAB Modellemesi İçin M-dosyası Programı .....	28
5.1.2. Simulink Modellemesi İçin Adım Prosedürü.....	30
5.2. Yıllık Simülasyon Gücü Sonuçları.....	38
SONUÇ .....	44
KAYNAKLAR .....	45
EKLER.....	49
EK 1-(PV Modülünün Karakteristiği).....	50
EK 2-(İnverter).....	52
EK 3-(PV SYST Kullanarak Simülasyon) .....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	İdealite Faktörü (1.6)
$E_{g0}$	Yarı İletkenin Kuşak Açıklığı Enerjisi (1.1 eV)
G	Güneş Radyasyonu ( $W/m^2$ )
$I_D$	Diyot Akımı
$I_o$	Diyodun Ters Doyma Akımı
$I_p$	Paralel Direnç Akımı
$I_{ph}$	Işığın Yansımasıyla Oluşan Akım
$I_{pv}$	PV Modülü Akımı
$I_s$	Seri Direnç Akımı
K	Boltzmann Sabiti ( $1.38 \times 10^{-23} J/K$ )
$K_i$	25°C ve $1000 W/m^2$ (0.0017A) Kısa Devre Akım Katsayısı
$N_p$	Hücrelerin Paralel Bağlantı Sayısı
$N_s$	Seri Olarak Bağlanan PV Hücreleri Sayısı
PV	Fotovoltaik
q	Elektron Yüğü ( $1.602 \times 10^{-19} C$ )
$R_p$	Paralel Direnç
$R_s$	Seri Direnç
T	Sıcaklık (Kelvin cinsinden)
V	PV Modülü Voltajı
$V_{oc}$	Açık Devre Gerilimi (V)



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Işık altında güneş hücresinin basitleştirilmiş elektrik eşdeğeri (a) ve karakteristik eğrisi (b) .....	9
Şekil 3.2. Güneş hücresinin tek diyot (a) ve iki diyotlu elektrik eşdeğer devre .....	10
Şekil 3.3. PV modülünün sembol (a) ve eşdeğer devresi (b). .....	12
Şekil 3.4. PV dizi yapısı. ....	14
Şekil 3.5. DC/DC boost dönüştürücü. ....	15
Şekil 3.6. DC/AC inverter devresi .....	16
Şekil 4.1. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralının coğrafi konumu ve hava daı görünümü. ....	18
Şekil 4.2. Çumra/Türkiye'de günlük m <sup>2</sup> başına güneş radyasyonu ve yıl boyu ortalama güneşlenme saati .....	19
Şekil 4.3. PV panelinin eğim açısı .....	23
Şekil 5.1. 1.6 MW şebekeye bağlı şematik diyagram .....	27
Şekil 5.2. MATLAB Modellemesi için M-file Programı kullanılarak STC'de PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri .....	30
Şekil 5.3. Alt Sistem 1 .....	31
Şekil 5.4. Alt Sistem 2 .....	31
Şekil 5.5. Alt Sistem 3 .....	32
Şekil 5.6. Alt Sistem 4 .....	32
Şekil 5.7. Alt Sistem 5 .....	33
Şekil 5.8. Alt Sistem 6 .....	33
Şekil 5.9. Alt Sistem 7 .....	34
Şekil 5.10. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, STC'de PV modülünün "I-V ve P-V" eğrileri .....	34
Şekil 5.11. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen PV hücre sıcaklıkları ve sabit radyasyonk altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri .....	35
Şekil 5.12. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen güneş radyasyonu ve sabit PV hücre sıcaklıkları altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri .....	36
Şekil 5.13. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen seri dirençleri altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri .....	37
Şekil 5.14. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen paralel direnç altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri .....	38
Şekil 5.15. Farklı mevsimlerde PV güç santralının bulunduğu konuma günlük küresel radyasyon (günde W/m <sup>2</sup> ) dağıtımı .....	39
Şekil 5.16. Modelden elde edilen PV elektrik santralının şebeke gücü ve şebeke akım eğrileri .....	41
Şekil 5.17. 2018'de aylara göre elektrik santralının günlük gerçek enerji üretimi. ....	42
Şekil 5.18. PV güç santralının aylara göre gerçek ve tahmini enerji üretimi...	43

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 4.1. Aylık Güneş Radyasyonu: KRMN-SNAPS 1.6MW için 32.83°E enlem, 37.55°N enlem ve 1012m rakımda uzun vadeli aylık ortalama PVGIS tahminleri.....	19
Tablo 4.2. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan fotovoltaik panel SW 290 veri sayfası.....	21
Tablo 4.3. Tüm yıl boyunca PV dizisinin gerçek ve sabit eğim açısı.....	24
Tablo 4.4. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan bileşenlerin genel bilgileri ve detayları.....	25
Tablo 5.1. PV modülünün KRMN-SNAPS 1.6MW üzerindeki 32.83°E boylamında, 37.55°N enleminde ve 1012m rakımda hesaplanan ortalama gündüz sıcaklığı.....	40
Tablo 5.2. Gerçek ve tahmini aylık enerji üretimi .....	41

## 1. GİRİŞ

Türkiye son yıllarda endüstriyel alan bakımından dünyanın en fazla büyüyen en büyük ekonomik ülkelerinden biridir [1]. Bu gelişme, çalışma ihtiyaçlarını karşılamak için hem yerel hem de ithal enerjiye (petrol, doğal gaz ve kömür) olan küresel enerji talebini arttırmakla kalmadı, aynı zamanda ülke çapında enerji kaynaklarının kıtlığına sebep olmaya yönelik tedirginliği de arttırdı [2]. Dahası ise, gelişmekte olan ülkelerde, nüfusun hızlı büyümesi ve sanayileşme, güç tüketimini karşılamak adına enerji talebinin artmasına sebep oldu. Refah seviyen olarak enerji, herhangi bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişme gücü seviyesini tanımak için kullanılabilir ana göstergelerden biri olarak kabul edilir. Bu durum ise enerji tüketimi ve sosyal gelişim arasındaki doğru orantıyı gün yüzüne çıkardı. Bu nedenle, enerji tüketimi, ekonomik gelişme ve refah ile artmaktadır [3]. 2014 yılında, Türkiye'de enerji tüketimi miktarı, sanayi ve hizmet sektörlerinde tüketimin sırasıyla 86.136.765 ton petrol eşdeğeri TOE ve 14.597.707 TOE değerlerine sahip olduğu 100.734.472 (TOE) enerjisine ulaştı. Örneğin, 2014 yılı istatistikleri, ülkede 32.498.888 TOE doğal gaz, 16.416.093 TOE linyit ve 15.981.137 TOE kömür tüketildiğini göstermiştir. Doğal gaz tüketim oranı 2014 yılında m<sup>3</sup> başına 479 milyon iken, ithalat oranı 49 milyar/m<sup>3</sup>'tü. Türkiye, enerji üretimi için tüketilen doğal gazın %99'unu ithal etmektedir [4].

Şüphesiz ki, tüm dünyada artan enerji talebi, atmosferi kirleten petrol ürünlerinin yakılması sonucunda ozon tabakasına CO<sub>2</sub> salınım seviyesini arttırdı ve küresel ısınmaya sebep oldu [5]. Başka bir deyişle, küresel atmosfer karbondioksit konsantrasyonu, Aralık 1997 yılında yapılan Kyoto protokolünden önce 1997 yılında 22,112 milyon tondan, %46'lık bir artış göstererek 2015 yılında 32,294 milyon tona kadar hızlıca arttı. Uluslararası Enerji Ajansına göre, fosil yakıt yakımı sonucu oluşan CO<sub>2</sub> salınımları [6]. Türkiye'de de oran 1997 yılında 176.6 milyon tondan, %79.6'lık bir oranda, 2015 yılında 317.2 milyon tona kadar arttı. Böylece, hidroelektrik, jeotermal, rüzgar, biyokütle, güneş enerjisi (fotovoltaik) gibi yenilenebilir enerjiyi kullanmanın en büyük faydası, ısıtma gazları formunda olan havadaki kirletici yayımın azaltılmasıdır [7].

Yenilenebilir enerji kaynakları sıklıkla alternatif enerji kaynakları olarak adlandırılır. Aynı zamanda birçok yerde mevcut olması, bolluğu ve sürdürülebilirliğinden dolayı en önemli alternatif enerji kaynaklarından biri güneş enerjisidir [8, 9, 10]. Bu açıdan Türkiye, coğrafi olarak, elektrik talebinin bir kısmını karşılamak, daha iyi ekolojik yaşam sağlamak ve enerji maliyetini yaklaşık % 60 oranında azaltmak amacıyla güneş ışığını enerji kaynağı olarak kullanımdan yararlanmak için uygun bir konuma sahiptir ve ülkedeki enerji tüketimi sağlamak amacıyla ithal edilmektedir [11]. Aslında, ülke yıllık ortalama 3.6 kWh/(m<sup>2</sup> gün) güneş ışığına ve güneş sistemleri için yeterli enerji üretmeye uygun olan yılda yaklaşık 2460 saat toplam yalıtım süresine sahiptir [12]. Örneğin, Güneydoğu Anadolu toprakları, 344.8 cal/(cm<sup>2</sup> gün) ortalama güneş radyasyonu ve 8.2 saat/gün güneşlenme süresiyle güneş uygulamalarını kullanma için en doğru bölgedir [13].

Bir PV sisteminin en önemli bileşeni PV modülüdür, mono kristal, poli-kristal ve ince film teknolojileri gibi üretim maddelerine bağlı olarak farklı miktarlarda doğru akım üreten birkaç fotovoltaik güneş hücresinden oluşur [14]. PV modülü, 1 kW/m<sup>2</sup> güneş ışığı ve 25 santigrat derece (°C) PV hücresi sıcaklığı Standart Test Koşulları (STC) altında iletilen güce bağlı olarak derecelendirilir. Ek olarak, son 20 yılda güneş enerjisine olan talep %20'den %25'e yükselmiştir ve bu pazar dünya çapında büyümeye devam etmektedir [15].

PV sistemler şebekeye bağlantılı, şebekeden bağımsız ve hibrit PV sistemi olarak üç ana tipte sınıflandırılır. Bu çalışmada çalışılacak olan şebekeye bağlantılı güneş sistemleri, evler ve elektrik üretim şebekeleri tarafından en yaygın ve geniş çapta kullanılanlardır. Bu sistemler genel elektrik şebekesini doğrudan beslemek için elektriksel güç üretirken, pil depolama sistemine ihtiyaç duymaz. Genel olarak, şebekeye bağlı bir sistem güneş panelleri, şebeke tipi inverterler, bir güç düzenleme ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanından oluşur [16].

Bu çalışmanın ana hedefi MATLAB\Simulink simülasyon yöntemlerini kullanarak, fotovoltaik uygulamaları anlamak adına daha kolay bir yol hazırlamaktır. Güç kesintileri, güneş panelinin sıcaklığı, gölgelendirme ve diğer etkiler gibi güneş enerjisi sistemleriyle alakalı birçok sorun, bu sistemlerin performansını artırmak için çalışılacaktır. Ek olarak, KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santrali, iklim ve fiziksel parametre değişiklikleri altında uygulanan MATLAB\Simulink simülasyonu

birlikte bu santralde kullanılan PV modüllerinin gerçek sonuçları, karakteristikleri ve eğrilerini karşılaştırmak amacıyla çalışılmıştır.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Türkiye'de çevreyi kirleten enerji kaynaklarının kullanılmasının etkilerine çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının önceliği tartışılmaktadır [17]. Ekonomide ve toplumda meydana gelen gelişmenin sonucunda, son otuz yıl boyunca, ülkedeki enerji tüketimi ani bir şekilde artış yaşadı. Bugünlerde, Türkiye'de ihtiyaç duyulan enerjinin çoğu, toplam enerji talebinin %90'ından fazlasını temsil eden fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Ülkede petrol ve doğal gaz rezervlerinde bir kıtlık yaşanmakla beraber bu yakıtların çoğunluğu ithal edilmektedir. Aslında, Türkiye rüzgar, güneş, hidro ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklardan yararlanabilecek uygun konuma sahip ülkelerden biridir. Son yıllarda artan sürdürülebilir enerjiye yönelik endişeye rağmen, enerji karışımındaki payı (fosil yakıt ve yenilenebilir enerji), enerji talebindeki sabit artış kadar büyümektedir. Sürdürülebilir enerjinin enerji karışımındaki yüzdesi 1990 yılında %18'den, 2007 yılında %9.5'e düşmüştür. Yenilenebilir enerji, ülkenin ithal enerjiye bağımsızlığını düşürmek adına ana çözüm olarak görülmelidir ve ilk sıraya konulmalıdır.

MATLAB/Simulink'de fotovoltaik modülleri simüle etmek için detaylı bir adım adım prosedürü gösterilmiştir [18]. Bu simülasyon, tipik bir 36 W güneş modülünün I-V ve P-V karakteristiklerini tahmin etmek için tek-diyot eşdeğer devresi kullanılarak yapılmıştır. Eşdeğer devreyi temsil eden matematiksel denklemlerle oluşturulan bu model, Simulink blok kütüphanelerinde simgeler ve bir diyalog kutusu aracılığıyla kolayca tasarlanmıştır. Son olarak, adım adım prosedürü, fotovoltaik araştırmacıların PV modülünün I-V ve P-V karakteristikleri hakkında daha net fikirlere sahip olmalarını sağladı.

Sadece veri sayfası parametrelerine dayanan tek diyotlu beş parametre (ters doygunluk akımı, foto-akım, idealite faktörü, seri direnç ve paralel direnç) kullanan bir güneş panelinin oluşturulmuş modeli sunulmaktadır [19]. Panel parametrelerinin veri sayfası değerleri kullanılarak çıkarılması ve uygulanan modelde Standart Test Koşulları (STC) altında bu kazanılmış değerlerin kullanımı sunulmaktadır. Güç sıcaklığı bağımlılığının veri sayfası değerleriyle karşılıklı ilişkiyi arttırmak için, hücre saturasyon akımının sıcaklık bağımlılığı farklı bir formül ile ifade edilmiştir. Test

edilen model, farklı parlaklık ve sıcaklık koşullarında PV panelinin davranışını tahmin etmek adına kolay bir yol sundu.

PV hücresi, modülleri ve dizisi için bir MATLAB/Simulink modeli geliştirildi ve sunuldu. Bu model, fotoakım kaynağı, bir diyot, bir seri direnç ve bir paralel dirençten oluşan eşdeğer bir devreden alınan matematiksel denklemlerle ilişkilidir [20]. Bu model, güneş radyasyonu ve hücre sıcaklığı gibi çeşitli doğal ve çevresel faktörler altında güneş hücresinin davranışını tahmin etmede bir avantaj oluşturdu. Ek olarak, PV modülü ve PV dizisinin çalışma prensibi için ana hat olarak düşünülebilir. Bu çalışmada geliştirilen modeli kontrol etmek için, yüksek verimli bir PVL-124 güneş levha panelinin deneysel bir test tezgahı test edildi ve elde edilen sonuçlar, simülasyon çıktıları ile tatmin edici bir uyum sergiledi [20].

Fotovoltaik (PV) sistem için MATLAB/Simulink simülasyonunun geneli resimlenmiştir [21]. İki-diyot modeli fotovoltaik hücrenin simülasyonu için kullanılmıştır. Bu model düşük radyasyon seviyeleri için uygundur ve kısmi gölgelendirme süresi boyunca PV sisteminin performansına yönelik daha doğru bir tahminde bulunur. Bu model, hesaplama zamanını azaltmak için sadece dört parametreyi baz alır. Paralel ve seri dirençlerin değerleri etkili bir yineleme teorisi tarafından hesaplanmıştır. Ek olarak, simülasyonun tüm girdileri güneş modülü veri sayfasının standardından alınmıştır. Bu simülasyonda, MPPT algoritmalarına ve güç elektroniği dönüştürücülerine bağlanabilen çok sayıda PV dizi kombinasyonu vardır. Simülasyonun yüksek doğruluğunu elde etmek için model, farklı fabrikalardan farklı tiplerde beş PV modülüne (çok kristalli, tek kristalli ve ince film) uygulanmıştır. Bu çalışmanın fotovoltaik sistemlerin kurulumları için kolay, çabuk ve kesin PV simülatörüne ihtiyaç duyan PV mühendislerine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Tek diyot kullanan fotovoltaik (PV) sistemin Simulink tabanlı bir modeli ve PV hücresinin iki diyotlu modeli sunulmuştur [22]. Güneş hücrelerinin tek diyotlu ve çift diyotlu modeli arasındaki ilişki açıklanmıştır. Ek olarak, serilerin çıktıları ve güneş hücrelerinin paralel bağlantısı incelenmiştir. Modelde, seri ve paralel direnç tahminleri açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve radyasyon değerleri esas alınarak etkin bir yineleme yöntemi ile belirlenmiştir. MATLAB/Simulink'da eşdeğer PV modülü seri ve paralel direnç, ters besleme akımı, foto akım ve ideallik faktörü gibi beş parametreyi göz önünde bulundurur. Yaklaşık parametreler üreticinin veri sayfalarından alınmıştır.

Model, güneş ışıması ve ortam sıcaklığını girdi olarak içerir. Güç ve voltaj gibi her ölçüm de çıktıdır. PV sisteminin şebekeli bağlantısı için inverter, filtre ve yükseltici transformatör kullanılmıştır. Bu modelin performansı yeterli bulunmuştur.

Performanslarını arttırmak için, hem güneş sistemi hem de şebekeye bağlı sistemler için, üç fazlı şebekeye bağlı boost dönüştürücüsü kullanma önerisi sunulmuştur [23]. Uygun bir seviyeye sahip verimli bir alternatif voltaj elde etmek ve böylece inverterin bunu alternatif bir forma dönüştürebilmesi için, boost dönüştürücünün PV panellerinin düşük çıkış gerilimini dönüştürmesi gerekmektedir. Bu çalışmada PV sisteminin ortalama 80 V voltajı 415 V'a kadar yükseltilmiş, ters çevrilmiş ve 300 V'luk (aşama-aşama) voltaj ile şebekeye beslenmiştir [23].

Hindistan'da bulunan Karnataka'nın Kolar ilçesinin Yalesandra köyü yakınlarındaki 3 MW kapasiteli şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerjisi santrali, 2010 yılında performansını analiz etmek için çalışılmıştır [24]. O yılda üretilen toplam kapasite 3.34 GWh'ye ulaşmıştır ve şebekeye gönderilen enerji miktarı 3.3 GWh idi. Santral tarafından üretilmesi beklenen enerjinin hesaplamalarına göre, üretilen günlük ortalama güç düşüktü. Bu durum inverterlerde ortaya çıkan bir arızaya bağlı olarak yaşanan problemler ya da ağda bir düzensizlik ve ilk üretim evresinde deneyim eksikliği sebebiyle oluşmuş olabilir. Fotovoltaik mono-kristalin silikon modüllerinin verimliliği, gün boyunca %14.5 ila %11.5 arasında değişen panellerin sıcaklık değişimleriyle, 25 °C ile 50 °C arasındaki sıcaklıklarla ilişkilidir. Başka bir deyişle, güneş enerjisi santrali düşük çalışma sıcaklıklarında verimli bir şekilde performans göstermiştir ve bunun tersi de geçerlidir. Böylece, santralin verimini arttırmak için, artan sıcaklık dolayısıyla kaybedilen enerjiden daha düşük çalışma enerjisi gerektiren bir soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Ek olarak, bakım, modüllerin rengini değiştirme ve temizleme problemlerini içeren teknik işletim sorunları gibi bazı hususlardan bahsedilmiştir. Bu çalışma, güneş enerjisi şirketlerine yüksek verimli fotovoltaik elektrik santrali projeleri tasarlamaları için yardımcı olmayı amaçlamıştır [24].

Gelişmekte olan ülkelerdeki artan enerji talebini karşılamak amacıyla şebekeye bağlı PV sistemlerini geniş ölçekte en iyi alternatif kaynak olarak kullanmanın önemi belirtilmiştir [25]. Bu çalışma, Ramagundam'da pik kapasitesi 10 MW olarak kurulan Hindistan'daki en büyük şebekeye bağlı güneş enerjisi panellerinden biriyle ilgilidir. Tesis 4.97 kWh/m<sup>2</sup> gün güneş ışımasını ve yıllık ortalama sıcaklığı 27.3 °C olan bir yere



kurulmuştur. Güneş enerjisi santrali tasarımının gelişimi bu araştırmada ve yıllık performansın geliştirilmesinde dikkate alınmıştır. Sadece sıcaklık, kablolar, güç elektroniği cihazları ve diğer sebeplerden dolayı toplam kayıplar değil ayrıca performans oranı da hesaplanmıştır. Güneş enerjisi santralinden elde edilen gerçek veriler simülasyon sonuçları ve PV-GIS yazılımıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, santralin son çıktısı 1.96 ve 5.07 h/d arasında ve %86.12 yıllık performans oranında dağıldı. Bir yıllık çalışma boyunca, 10.34 MW maksimum güç çıkışı ve 40.83 kW en düşük güç çıkışı izlendi. Toplam enerji üretimi Ocak ayında 1511.003 MWh olarak tavan yaptı ve minimum toplam enerji üretimi Temmuz ayında 950.228 MWh olarak elde edildi [25].



### 3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ

Güneşin, ışık, ısı ve diğer yenilenebilir kaynaklar olarak önemli bir rol oynadığı şüphesizdir. Bununla birlikte, fotovoltaik kelimesi, ışık anlamına gelen Yunanca (foton) ifadesinden ve elektromotor kuvvet (voltaj) birimi olan (voltaik) ifadesinin birleşiminden oluşan bir terimdir. Fransız fizikçi "Alexandre Edmond Becquerel" (1820-1891) tarafından 1839'da gerçekleştirilen "fotovoltaik etkinin" keşfi, elektrik üretmek için alternatif bir kaynak olarak güneş enerjisinin kullanımında en önemli dönüm noktalarından biri olarak kabul edilir. [26]. Bu teknolojinin ana fikri, güneş ışığını doğrudan elektriğe (doğru akıma) dönüştürmektir, bu da elektrikli aletler temin etmek için inverterler kullanarak alternatif akıma (AC) dönüştürülebilir [27]. 1883 yılında "Charles Fritts" (1850-1903), bir demir plaka ve yarı saydam bir üst tabaka arasında bir selenyum sandviç yaptığı zaman icat edilen ilk çalışan fotovoltaik hücre, düşük verimine sahipti (% 1) [ 28]. Sadece fotovoltaik güç sistemleri kamu şebekelerinin olmadığı izole alanlardaki elektriksel yükleri güçlendirmek için geliştirilmemiştir, aynı zamanda kamu şebekelerine bağlı güneş enerji şebekeleri aracılığıyla veya evlerde kullanılan ufak şebekeye bağlı güneş sistemleri sayesinde elektrik şebekelerini desteklemek için de kullanılabilirler.

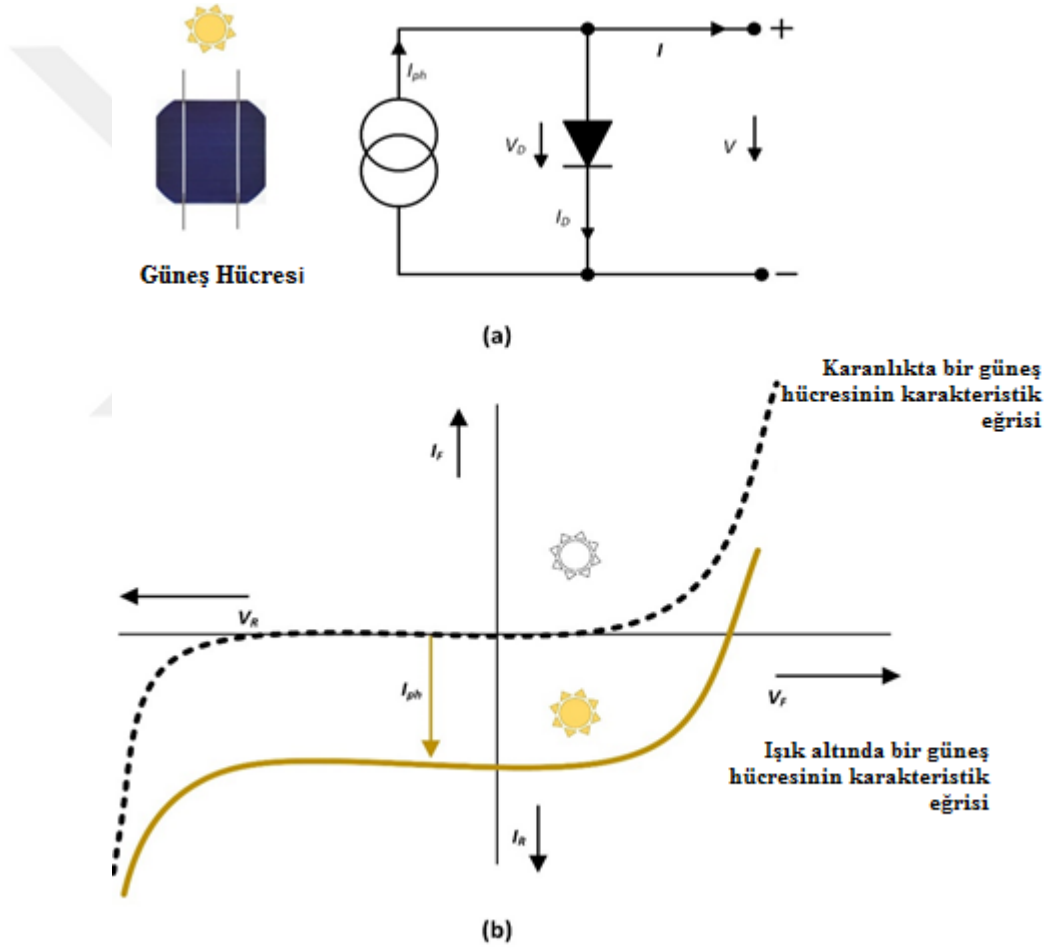
#### 3.1. Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonunun hesaplanması, herhangi bir fotovoltaik güç sistemini tasarlarken ve kullanırken göz önünde bulundurulması gereken önemli parametrelerden biridir. Fakat, güneş ışığı dünya yüzeyine ulaşmak için yaklaşık 150 milyon kilometre kateder ve bunu yapması yaklaşık 8.31 saniye sürer, dünya atmosferi dışındaki güneş ışınım miktarı yaklaşık  $1366 \text{ W/m}^2$ 'dir [29]. Dahası, dünyanın yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarı bir yerden diğerine değişiklik gösterdi ve dünyanın hareketine ve atmosferik koşullarına bağlıdır. Öğle saatlerinde deniz seviyesinde açık bir gün boyunca karasal bir yüzeye bakan güneş ışınımının tipik tepe değeri  $1000 \text{ W/m}^2$ 'dir öyle kabul edilir ve veri sayfasında bulunan herhangi bir PV modülünün elektriksel parametrelerini hesaplamak için, üretim sürecinde PV modülleri için değer şartı olarak kullanılır. PV

yüzeyinde emilen radyasyon (S) oranı gelen ışığa, hava kütlesi ve geliş açısına dayanır.

### 3.2. PV Hücre

Çalışma prensibi, güneş ışığı PV hücrelerine tutunduğunda, malzemenin bant aralıklarını aşan enerjiye sahip fotonları emen ve radyasyona bağlı olan akım üreten elektron hole çiftlerinin üretilmesidir [30]. Şekil 3.1 güneş hücresinin sadeleştirilmiş elektriksel eşdeğerini gösterir ve ışık altında çalışma prensibini açıklar.



Şekil 3.1. Işık altında güneş hücresinin basitleştirilmiş elektrik eşdeğeri (a) ve karakteristik eğrisi (b)

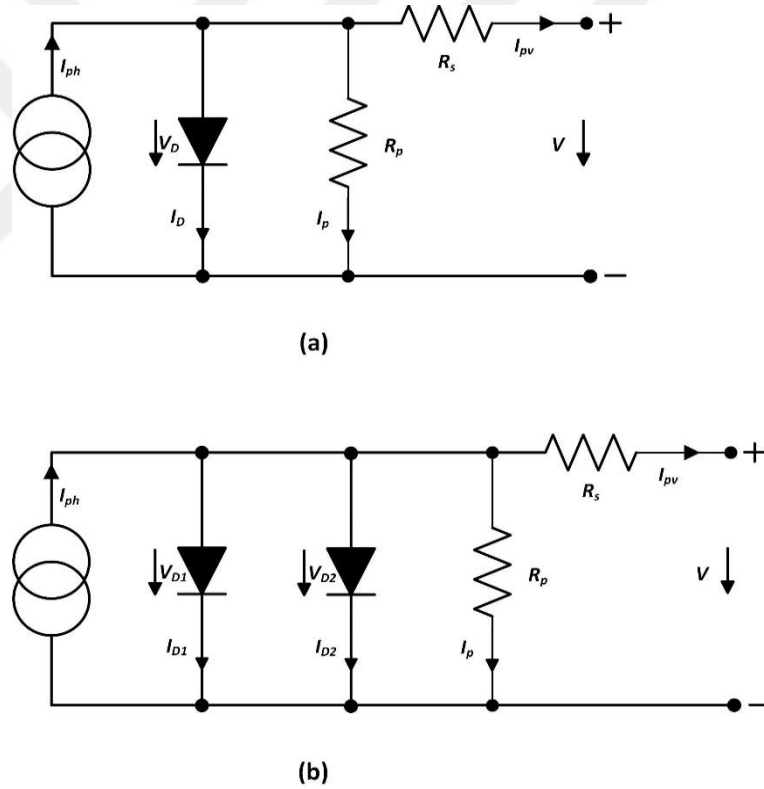
Bu şekil, ideal güneş hücresinin eşdeğer devresini göstermekle birlikte diyot ve güneş hücresinin karakteristik eğrisini belirtir.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D \quad (1)$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left[ e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right] \quad (2)$$

Tek bir diyot ve iki diyot modelini gösteren, Şekil 3.2'de gösterilen diyot sayısına değinen bir elektrik devresi olarak bir güneş hücresini temsil eden iki tip vardır.

PV hücresinde, güneş hücresinde p-n malzemeleri boyunca akımın hareket etmesi ve ayrıca metal teması ile silikon arasındaki temas direncinden dolayı, güneş hücresinde birkaç milyon seri direnç  $R_s$  meydana gelir. Dahası, PV hücresinde meydana gelen güç kayıpları ve kaçak akımlar, eşdeğer devrede paralel direnç  $R_p$  olarak gösterilmiştir [31].



Şekil 3.2. Güneş hücresinin tek diyot (a) ve iki diyotlu elektrik eşdeğer devresi (b)

$I_{ph}$ 'nin ışığın geliş açısı tarafından üretilen akım olduğu yerde, D diyot,  $I_D$  diyot akımı,  $R_p$  paralel direnç,  $I_p$  paralel direnç akımı,  $R_s$  seri direnç,  $I_s$  seri direnç akımı,  $I_{pv}$  PV modülünün akımıdır ve V PV modül voltajıdır.

Tek diyot eşdeğer devre Şekil 2'de (a) gösterilmiştir. Bir akım kaynağı, bir diyot, bir seri direnç ve bir paralel direnç içerir [32]. PV hücresinin temel denklemleri, yarı iletken teorisinden ve aşağıda belirtildiği gibi elektriksel devre analizi yöntemlerinden [33] kaynaklanmış olabilir:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_p \quad (3)$$

Diyotun akımı  $I_D$  aşağıda verilen Shockley diyot denklemi olarak bilinen formül kullanılarak yazılabilir:

$$I_D = I_o \left[ e^{\frac{q(V+I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right] \quad (4)$$

Burada  $q$ , elektron yüküdür ( $1.602 \times 10^{-19}$  C);  $n$ , idealite faktörüdür (1.6);  $I_o$ , diyotun ters doyma akımıdır;  $K$ , Boltzmann sabitidir ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K) ve  $T$ , sıcaklıktır (Kelvin cinsinden).

Şimdi  $I_{pv}$  değerlerini ve  $I_D$  denkleme ekliyoruz (1).

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left[ e^{\frac{q(V+I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{(V+I_{pv}R_s)}{R_p} \quad (5)$$

Şekil 2'de (b) görüldüğü gibi eşdeğer devre bir akım kaynağından oluşmaktadır; iki diyot paralel olarak bağlanmıştır; bunlar da bir seri direnç ve bir paralel dirençtir. PV akımının denklemi Kirchhoff'un Akımlar Yasası kullanılarak şu şekilde yazılabilir:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_p \quad (6)$$

İki diyotun akımları denklem 4'ten şu şekilde türetilebilir:

$$I_{D1} = I_{o1} \left[ e^{\frac{q(V+I_sR_s)}{nkT}} - 1 \right] \quad (7)$$

$$I_{D2} = I_{o2} \left[ e^{\frac{q(V+I_sR_s)}{nkT}} - 1 \right] \quad (8)$$

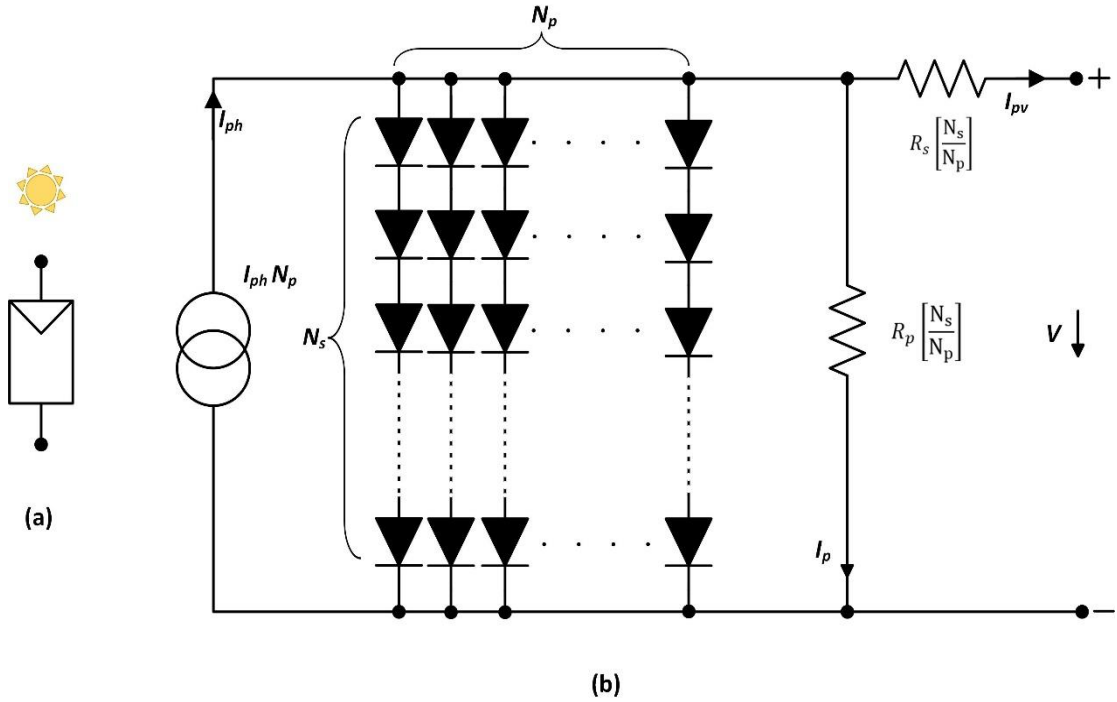
$I_{pv}$  akımının denklemi, denklem 7 ve 8'i denklem altıyla değiştirerek şu şekilde bulunabilir:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{o1} \left[ e^{\frac{q(V+I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right] - I_{o2} \left[ e^{\frac{q(V+I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{(V+I_{pv}R_s)}{R_p} \quad (9)$$

### 3.3. PV Modül

PV modül, PV hücrelerini doğru bir çıkış gerilimi elde etmek için seri bir şekilde bağlayarak yapılandırılabilir. PV sistemleri yaygın olarak 12 voltun katları olarak çalıştırılırken, modüller bu sistemlerde genelde ideall çalışma için tasarlanmıştır. Bu tasarımın ana hedefi, ortalama ışık koşulları altında, modülün voltajını ( $V_m$ ) batarya sistem voltajının uygun bir aralığında tutmak için, uygun sayıda PV hücrelerini seri olarak bağlamaktır. Bunun sonucunda, modülün güç çıkışı maksimuma yakın bir şekilde tutulabilir.  $V_m$  normalde modül  $V_{oc}$ 'un açık devre voltajının yaklaşık %80'idir. Silikon tek hücre açık devre gerilimi genelde 0.5– 0.6 volt aralığındadır, her bireysel hücre için yaklaşık 2-3 watt üretme kapasitesine sahiptir.

Güneş paneli, Şekil 3.3. (a) da gösterildiği gibi PV hücrelerinin paralel-seri yapılandırmasından oluşur. Fakat, Şekil 3.3. (b) PV modülünün eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 3.3. PV modülünün sembol (a) ve eşdeğer devresi (b)

PV modülü sonraki denklemlerde belirtildiği gibi matematiksel olarak [34] modellenilebilir. PV modülü foto akımı:

$$I_{pH} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \quad (10)$$

PV modülünün ters besleme akımı,  $I_{rs}$  ve doyunluk akımı,  $I_o$  şu şekilde verilmiştir:

$$I_{rs} = I_{sc} / \left[ e^{\left( \frac{qV_{oc}}{N_s nkT} \right)} - 1 \right] \quad (11)$$

$$I_o = I_{rs} \left[ \frac{T}{T_r} \right]^3 e^{\left( \frac{qE_{g0}}{nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right)} \quad (12)$$

PV modülünün çıkış akımı şöyledir:

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_o \left[ e^{\left( \frac{q(V + I_{pv}R_s)}{N_s nkT} \right)} - 1 \right] - \frac{(V + I_{pv}R_s)}{R_p} \quad (13)$$

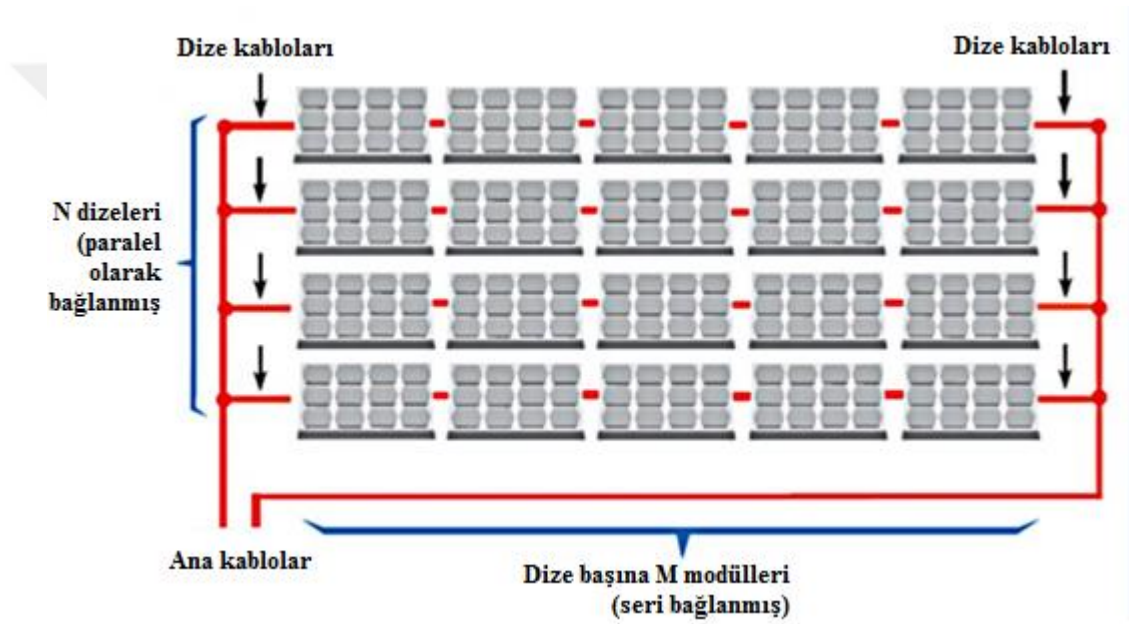
Burada,  $N_s$  PV hücrelerinin seri olarak bağlantı numarasıdır;  $N_p$  hücrelerin paralel bağlantı sayısıdır;  $I_{ph}N_p$  de her PV hücresinde üretilen toplam  $I_{ph}$ 'dir.  $R_s$  ve  $R_p$  sırasıyla, dizinin eşdeğer seri ve paralel dirençleridir.  $I_{sc}$  ise kısa devre koşullarında PV modülü tarafından sağlanan kısa devre akımıdır (A).  $K_i$ , STC'de (25 °C ve 1000 W/m<sup>2</sup>) 0.0017 A'ya tekabül eden hücrenin kısa devre akımı katsayısıdır.  $T$ , PV modülü için çalışma sıcaklığıdır (K).  $G$  ise güneş radyasyonudur (W/m<sup>2</sup>).  $V_{oc}$  açık devre gerilimidir (V) bu da akım eksikliği anlamına gelir;  $n$  ise 1.6.'ya tekabül eden diyotun idealite faktörüdür.  $T_r$  nominal sıcaklıktır (298.15 K).  $E_{g0}$ , yarı iletkenin kuşak açıklığı enerjisidir (1.1 eV).

### 3.4. Şebekeye Bağlantılı PV Sistemi

Şebekeye bağlı bir PV sistemi, yeterli bir inverter sayesinde doğrudan AC şebekesine bağlıdır, bunun sebebi ise PV modülü sadece DC gücü üretir ve güç depolama sistemi içermez. Fotovoltaik dizi DC busbarına, DC/DC yükseltme dönüştürücüsü tarafından bağlanır ve bundan sonra da DC/AC inverteri kullanarak AC şebekesine bağlanır. İnverter kendi kontrol devresine sahiptir bu sayede maksimum güç üretir ve aktif ve reaktif gücü şebekede sabitlemek için ayarlar [35].

### 3.4.1. PV Diziler

PV modülü, PV sistemlerinin en temel üretim kısmıdır. 25 °C hücre sıcaklığı ve 1000 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonunda test edilen elektriksel karakteristiğe sahip farklı veri sayfalarıyla bulunabilir. Kullanılan PV panellerinin sayısı, veri sayfasında yazan sistemin toplam gücünü PV modülünün güç değerine bölerek bulunabilir. Bazı PV modülleri sistemin uygun voltajını elde etmek için seri olarak bağlanmıştır ve geri kalanlar ise Şekil 3.4. de gösterildiği gibi PV Dizisi oluşturmak için paralel olarak bağlanmıştır.

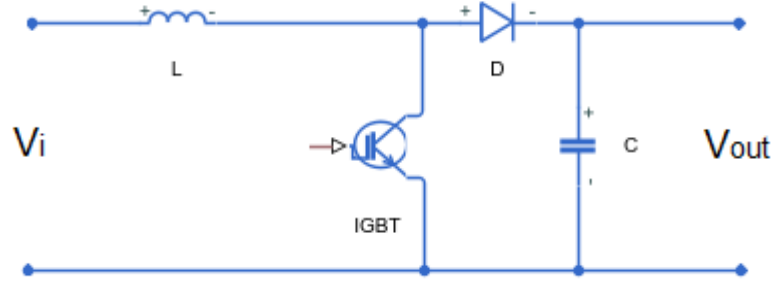


Şekil 3.4. PV dizi yapısı

### 3.4.2. DC/DC Dönüştürücü

DC/DC dönüştürücü DC bus ve DC/AC inverteri arasında bulunur. DC/DC yükseltme dönüştürücüsü, şebeke bağlı PV sistemlerinde geniş ölçüde kullanılan en yaygın dönüştürücüdür. DC-DC dönüştürücüsünün fonksiyonu düşük PV gerilimini en iyi güneş enerjisiyle eşleştirmek için yeterli seviyeye çıkarmaktır. Genel olarak, bir kapasitör, yüksek frekans uyumlarını düşürmek için güneş dizini ve yükseltme bileşenleri arasında bağlanır [36]. Aşağıdaki şekil DC/DC yükseltme dönüştürücüsünün devresini göstermektedir.





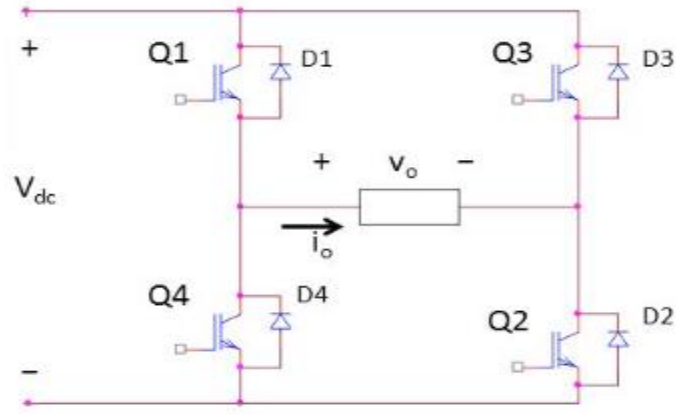
Şekil 3.5. DC/DC boost dönüştürücü

### 3.4.3. Maksimum Güç Noktası İzleme

PV dizisinin maksimum güç noktasının izlenmesi tüm PV sistemler için önemli bir parçasıdır. İyi bilindiği üzere, en uygun işletme noktası, güneş radyasyonu ve hücre sıcaklığının değişmesiyle değişir. Şebekeye bağlı PV sisteminin performansı ve verimini artırmak için, tüm ışımaya koşullarında PV dizisinden maksimum olağan gücü çıkarmak için, MPPT algoritması tarafından maksimum güç üretimi için güneş panelleri kontrol edilmelidir. MPPT, maksimum güç noktasını takip etmek için görev döngüsünü düzenleyerek DC/DC boost dönüştürücünün ayarlayarak yapılan Boz ve Gözle algoritmasına bağlıdır. Bu yöntem yavaş değişen atmosferde mükemmel sonuçlar verirken, hızlı değişen hava koşullarında bazı kısıtlamalara sahiptir [37].

### 3.4.4. Şebeke Bağlantılı İnverter

Genel olarak, inverterler küçük elektronik cihazlarda büyük elektrik kamu hizmetleri kuruluşlarının uygulamalarına kadar çok sayıda uygulamada bulunabilir. Yine de, şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde, güneş modülleri ve DC-DC yükseltme dönüştürücüler, DC/AC inverter aracılığıyla elektrik şebekesine bağlıdır. İnverterin fonksiyonu, AC şebekesini besleyen alternatif formlara hem PV çıkış doğrudan akımını hem de voltajını dönüştürmektir ve aynı zamanda PV dizisinden kamu şebekesine gönderilen optimum gücü dengelemektir [38]. Şekil 3.6 DC/AC inverter eşdeğer devresinin bileşenlerini belirtmektedir.



Şekil 3.6. DC/AC inverter devresi



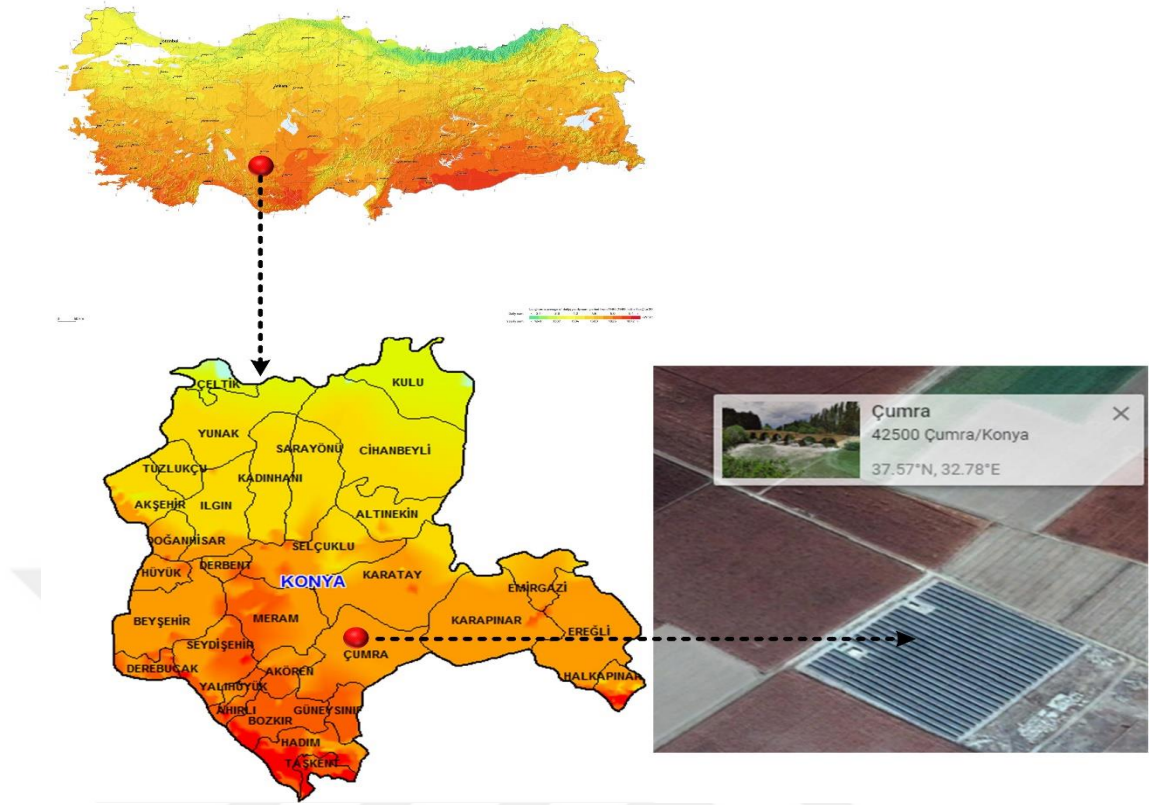
## 4. ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN BOYUTLANDIRILMASI

Genel olarak, fotovoltaik elektrik santralleri veya güneş parkları, gücü elektrik Şebekesine tedarik etmek için tasarlanan geniş kapsamlı fotovoltaik sistemleri kullanarak, güneş iőıđını elektriğe çevirmeye dayalıdır. Üretilen ya da ihtiyaç duyulacak enerji miktarına göre; çevrim-içi PV sistemleri, üretilen enerjiyi akülerde depolamak yerine Şebekeye aktarma veya tüketme prensibine dayalıdır. Güneş enerjisi santrallerinin konum Őeçme kriterleri, kurulma aőamasından işletme aőamasına ve elektrik üretim maliyetlerine kadar tüm süreçleri doğrudan etkiler. Konum Őeçimi verimlilik, yasal düzenlemeler ve çevresel etki değerlendirme kriterine göre belirlenir.

Fotovoltaik güç santrali piyasası, dünya pazarı enerjisine artan temiz enerji talebini tedarik etmek için köklü bir gelişme yaşadı. KRMN-SNAPS 1,6 MW güneş enerjisi santrali, Türkiye'nin dört bir yanında fotovoltaik enerji santralleri kurarak ulusal elektrik Şebekesini desteklemek amacıyla bu sektörde yaptığı yenilenebilir enerji kaynakları yatırımına bir örnektir.

### 4.1. Coğrafi Koordinatlar

KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santrali yukarıda da bahsedildiği üzere, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde bulunan Konya ilinde bulunan Çumra ilçesi sınırları içerisinde bulunur. Bu projenin coğrafi koordinatları 32.83 °E boylamında, 37.55 °N enleminde ve deniz seviyesinden 1012 m yüksekliktedir. Proje alanı Okçu mahallesinden yaklaşık 1.8 km ve Çumra merkezinden 5.5 km uzaklıktadır. Şekil 4.1. güneş enerjisi santralinin coğrafi konumunu ve havadan fotoğrafını göstermektedir.

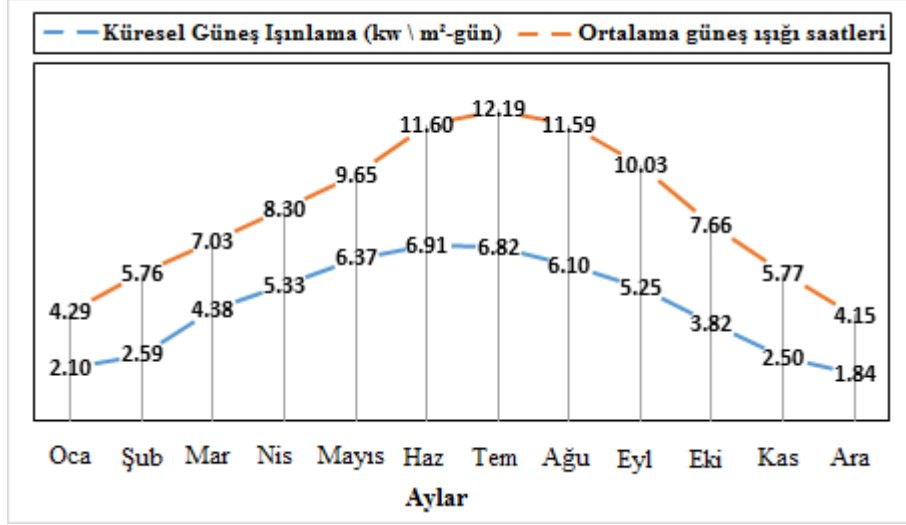


Şekil 4.1. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinin coğrafi konumu ve hava dai görünümü

#### 4.2. Proje Sahasında Güneş Radyasyonu

Türkiye'de yıllık ortalama güneşlenme süresi yaklaşık 2640 saate ulaşmaktadır. Bu durumda, güneşli saatlerin günlük ortalaması 7.2 saat civarındadır. Dahası, ülke günde ortalama 3,6 kWh/m<sup>2</sup>'ye eşit, bir yıllık ortalama 1311 kWh/m<sup>2</sup> radyasyon yoğunluğuna sahiptir.

Konya ilinin Çumra ilçesinde bulunan KRMN-SNAPS 1.6 MW santralinin yıllık toplam güneşlenme süresi 2985.64 saattir. Aynı zamanda, güneşli saatlerin günlük ortalaması 8.18 saattir. Dahası, proje alanı günde ortalama 4.51 kWh/m<sup>2</sup>'ye eşit, bir yıllık ortalama 1646.55 kWh/m<sup>2</sup> radyasyon yoğunluğuna sahiptir. Türkiye'nin toplam güneş ışığı süresi ve toplam radyasyon yoğunluğu, sırasıyla, yaklaşık %13,5 ve %25,5'dir. m<sup>2</sup> başına küresel güneş radyasyonu ve yıl boyunca proje konumunun ortalama güneş ışığı saatleri, Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çumra/Türkiye'de günlük m<sup>2</sup> başına güneş radyasyonu ve yıl boyu ortalama güneşlenme saati

Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS), bağımsız veya şebekeye bağlı PV sistemleri ve santralleri için Avrupa, Afrika, Amerika ve Asya'da seçilen konumun çevrim içi ücretsiz radyasyon veri tabanıdır. Ayrıca, güneş radyasyon verileri AYLIK, GÜNLÜK ve SAAT VERİLER olarak sağlanabilir. Bu nedenle, bu konum için, uzun vadeli aylık ortalama ışınlama PVGIS Tahminleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Aylık Güneş Radyasyonu: KRMN-SNAPS 1.6 MW için 32.83 °E enlem, 37.55 °N enlem ve 1012m rakımda uzun vadeli aylık ortalama PVGIS tahminleri [39]

Ay	H <sub>h</sub>	H <sub>opt</sub>	H(90)	I <sub>opt</sub>	T <sub>24h</sub>	N <sub>DD</sub>
Ocak	2080	3160	3110	60	2.8	496
Şubat	3020	4130	3610	52	3.9	393
Mart	4580	5470	3900	39	7.4	303
Nisan	5460	5800	3170	24	12.0	138
Mayıs	6730	6500	2650	10	17.1	24
Haziran	7880	7250	2320	4	21.2	3
Temmuz	8110	7650	2520	8	25.2	2

Tablo 4.1'nin devamı

Aylar	H <sub>h</sub>	H <sub>opt</sub>	H(90)	I <sub>opt</sub>	T <sub>24h</sub>	N <sub>DD</sub>
Ağustos	7410	7680	3430	20	24.9	6
Eylül	5940	7060	4500	36	21.0	41
Ekim	4070	5520	4590	50	13.9	195
Kasım	2760	4300	4240	60	8.3	352
Aralık	1910	2990	3060	62	3.6	447
Yıl	5010	5630	3420	31	13.4	2400

Burada: H<sub>h</sub> = Yatay düzlemde ışınlama (Wh/m<sup>2</sup>/gün), H(90) = Açıdaki düzlemde ışınlama: 90der (Wh/m<sup>2</sup>/gün), H<sub>opt</sub>: En uygun eğimli düzlemde ışınlama (Wh/m<sup>2</sup>/gün), I<sub>opt</sub> = Optimal eğim (derece), T<sub>24h</sub> = 24 saatlik ortalama sıcaklık (°C), N<sub>DD</sub> = ısıtma derecesi sayısı -günler (-).

### 4.3. PV Elektrik Santrali

Türkiye'deki RES kapasitesini artırmak için bazı teşvikler düzenlenmiştir. KRMN-SNAPS 1.6 MW projesi, Çumra sınırları içerisinde bulunan tesiste enerji üretmeyi hedeflemektedir. Proje yaklaşık 21924 metrekare üzerine kuruldu. Bu proje toplam 1791.04 kW<sub>p</sub>/1600.00 kW üretim kapasitesine sahiptir. Bu sistemin performansı için tek kristal teknolojisine sahip güneş panelleri daha uygun olduğundan, toplamda 6180 Solar-world markası 290W tek kristal güneş paneli kullanılmıştır.

### 4.4. Elektrik Şebekesi

Şebekeye bağlı PV sistemleri, güneş panelleri, şebeke tipi inverterler, bir güç düzenleme ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanından oluşur. Güneş enerjisinden üretilen etkin bir güç kullanımına sahiptir çünkü hiç enerji depolama kaybı ve maliyetine sahip değildir. PV santralleri şebekeye doğrudan bağlıdır ve enerji

tedarikine katkıda bulunur. Fakat, bağımsız sistemlerde, bataryalar enerjiyi depolamak için kullanılır aksi takdirde enerji doğrudan yüke bağlı olmak zorundadır.

#### 4.5. PV Modülünün Karakteristiği

PV modülü, servis ömrü ve güvenilirliği açısından sistemin en önemli bileşenidir. İmalatçıların çoğu her modül için yirmi-yirmi beş yıllık garanti vermektedir [40]. KRMN-SNAPS 1,6 MW'lık PV santralinde kullanılan PV modülleri monokristalden yapılan  $290W_p$  değerindedir. Standart Test Koşulları (STC,  $1000W/m^2$ ,  $25^\circ C$ , AM 1.5) ve sabit karakteristiği altında % 17.03 verime sahiptirler. 25 yıllık bir süreyi kapsayan lineer performans garantisi ile üretilmektedir. STC'de açık devre voltajı ( $V_{OC}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ) değerleri sırasıyla 39.9V ve 9.97A'dır. Maksimum güç noktasındaki voltaj ve akım değerleri sırasıyla 31,4V ve 9,33A'dır. Ek olarak, maksimum sistem voltajı ve ters akım sırasıyla 1000V ve 25A iken, PV modülü çalışma aralığı ise  $-40^\circ C$  ile  $85^\circ C$  arasındadır. Bu şekilde monte edilen güneş panelleri yapıdan yapıda olup, merkezden merkeze uzaklığı 4 m'dir. Modüller arasındaki (Panelden panele) ve modülün alt kenarına topraklama arasındaki mesafe sırasıyla 25 mm ve 400 mm'dir. Daha iyi verim elde etmek için modüller ayda iki kez temizlenir. Güneş panelini teknik dokümanı Çizelge EK A.1'da verilmiştir. Tablo 4.2, KRMN-SNAPS 1.6 MW PV santralinde kullanılan PV modülünün elektriksel özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4.2. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan fotovoltaik panel SW 290 veri sayfası

Model numarası	Sun-module Plus SW 290
Maksimum Güç (Pmax)	290 Wp
Açık Devre Voltajı (Voc)	39.9 V
Maksimum Güç Noktasındaki Voltaj (Vmpp)	31.4 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	9.97 A
Maksimum Güç Noktasındaki Akım (Impp)	9.33 A
Maksimum Sistem Voltajı	1000 V

Tablo 4.2'nin devamı

Maksimum Ters Akım	25 A
Modül Başına Hücre Sayısı	60
Çalışma Aralığı	-40 °C to 85 °C
Panel Verimi	17.3%

#### 4.6. Güç Düzenleme Ünitesi/Şebekeye Bağlantılı İnverter

İnverterler, güneş panelleri odasında üretilen elektrik DC'yi ağ tarafından kullanılan AC'ye dönüştürür. KRMN-SNAPS 1.6 MW GES projesinde 72 adet ABB marka inverter kullanılmıştır. Nominal DC giriş gücü ve nominal DC giriş voltajı değerleri sırasıyla 28600 W ve 800 V'dir. İnvertein çıkışı, şebekenin aynı voltaj ve frekansıyla otomatik olarak senkronize edilir. Kullanılan inverter dünyanın en saygın inverter firmalarından birinde yapılır. Çizelge EK B.1 KRMN-SNAPS 1.6 MW PV santralinde kullanılan iki inverter tipi için teknik verileri göstermektedir göstermektedir. Çizelge EK B.2, inverterin blok diyagramını göstermektedir. Çizelge EK B.3, KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan ve farklı giriş gerilimlerinde kullanılan iki inverter tipinin etkinliğini göstermektedir.

#### 4.7. Güç Aktarımı

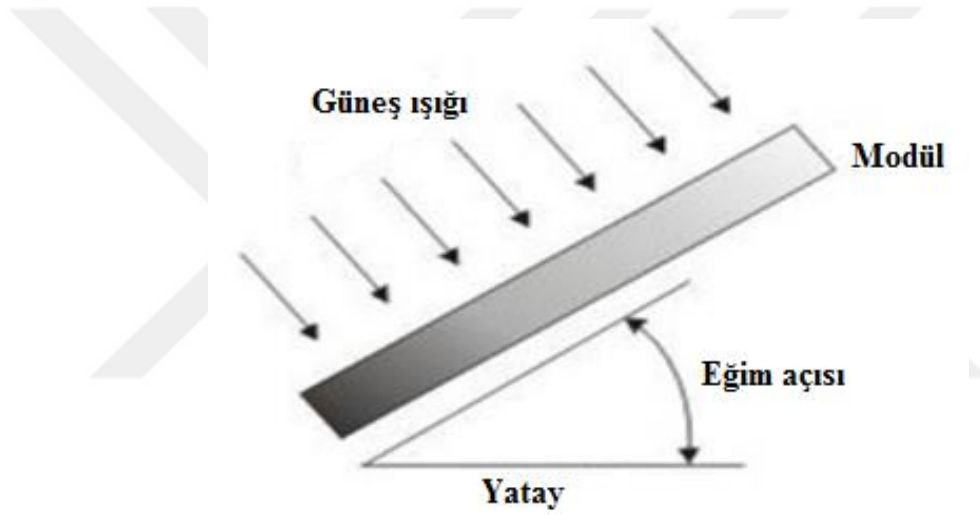
Üretilen enerjiyi şebekeye aktarmak için kullanılan trafonun anma gücü 1.5 MVA ve imalat tipi Vektör grubu DY5Y5'tir. Transformatörün birincil voltajı 385 V olup, ikincil olanı doğrudan 33 kV şalt alanına bağlanır. Transformatörün her iki tarafındaki akımların derecesi 2.24 A ve 1124.70 A olarak verilmiştir. Transformatörün verimliliği neredeyse% 97'dir.

#### 4.8. PV Panellerinin Eğim Açısı

PV dizisinin eğim açısı, maksimum güneş radyasyonu elde etmek için ilgili yerin enlemine göre seçilir. Bu güneş enerjisi santrali, güneş panellerinin eğilmesi için



modern teknolojiyi kullanır [41]. Daha fazla güneş radyasyonunu emilim yapmak ve daha fazla güç çıkışı çıkartmak için manüel mevsimlik eğim teknolojisi kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Daha fazla güne radyasyonu emilim yapmak ve güç çıkışını çıkartmak için PV dizisinin eğim açısı, yılın farklı mevsimleri baz alınarak manüel olarak ayarlanmalıdır. Güneş panellerinin eğimi şu şekilde ayarlanmıştır. Kış mevsiminde eğim biraz daha yüksek olmalıdır ( $47.82^\circ$ ), yaz mevsiminde eğim daha düşük değerdedir ( $17.82^\circ$ ), eğim açısı ne olursa olsun, daha fazla radyasyon emilir. Ayrıca, diğer aylar için eğim açısı  $32,83^\circ$  'ye ayarlanır. Ancak, yüksek işçilik maliyeti nedeniyle, eğim açısı  $25^\circ$  olarak ayarlanmıştır, bu da tüm yıl için en uygun değerdir. Şekil 4.6, PV panelinin eğim açısını göstermektedir.



Şekil 4.3. PV panelinin eğim açısı

Bir sonraki tablo yılın mevsimleri boyunca PV dizisinin gerçek ve sabit eğim açısını göstermektedir.

Tablo 4.3. Tüm yıl boyunca PV dizisinin gerçek ve sabit eğim açısı

Sezon	Gerçek Eğim Açısı	Sabit Eğim Açısı
Kış	$47.82^\circ$	$25^\circ$
Yaz	$17.82^\circ$	$25^\circ$
bahar	$32.83^\circ$	$25^\circ$
sonbahar	$32.83^\circ$	$25^\circ$

#### 4.9. Güneş enerjisi santrali düzeni

Santralin toplam değeri yaklaşık 21924 metrekare arsada 1,6 MW'tır. Santral alanı iki bloğa ayrılmıştır. Her bireysel blok 800 kW üretim kapasitesine sahiptir. Böylece toplam 72 devre 1.6 MW üretim kapasitesini oluşturmak için toplanmıştır. Toplam dizi sayısı 309 olmasına rağmen, güneş panellerinin her dört dizisinde 51 devre bulunur ve güneş panellerinin 21 devresinin her birinde beş dizi bulunur.

Panellerin toplam sayısı 6180'dir. Her dizi, seri olarak bağlanan 20 güneş panelinden oluşur ve bu dizilerde 5 ya da 6'sı bir ana dizi kombine kutusu aracılığıyla tek invertere paralel olarak bağlıdır. Üç fazlı çift beslemeli primer sargı transformatörü kullanılır. 72 inverterden dönüştürülen AC gücü transformatörün bu iki primerine beslenir. Her dizi 20 modülden oluşur, bu şekilde dört veya beş dizi bir dizi kombine kutuya (SCB) bağlanır. SCB'ler bir ana dizi birleşik kutusuna (MSCB'ler) bağlanır. Her inverter, bir ana dizi kombine kutusuyla bağlanmıştır. Toplam 72 inverter bir transformatöre bağlanmıştır. Transformatörün çıktısı doğrudan 33 kV şebekeye bağlıdır. Santral uygun maliyetli, daha güvenilir ve daha fazla enerji üretecek şekilde kurulmuştur. Gece süresinde güneş radyasyonunun eksikliği dolayısıyla güç üretimi olmadığında, dahili güç gereksinimi dolayısıyla güç şebekeden geri alınır. Güç, aydınlatma, bataryaların ilk çalışması, kontrol odası aletleri için kullanılır. Bir sonraki tablo KRMN-SNAPS 1.6 MW PV elektrik santralinde kullanılan bileşenlerin genel bilgileri ve detayları belirtir.

Tablo 4.4. *KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan bileşenlerin genel bilgileri ve detayları*

PV güç santrali	21924 m <sup>2</sup>
Panel Tipi	Mono
Panel Gücü	290 W
Panel Sayısı	6176
Panel Verimi	17.3%
İnvertör tipi	ABB

Tablo 4.4'nin devamı

İnvertör Gücü	30 kW
İnvertör DC Giriş Gücü	28600 W
İnvertör DC Giriş Gerilimi	800 V
İnvertör Sayısı	72
İnvertör Verimliliği	98%
Trafo Tipi	Vector grubu DY5Y5
Trafo Gücü	1.5MVA
Trafo Gerilimi	385 V to 33 kV
Trafo Akımı	2.24 A to 1124.70 A
Trafo Verimliliği	97%
Santral Türü	Tek Açılı Sabit Sistem
Santral Açısı	25 °C
Enerji Santrali (DC)	1791.04 kW <sub>p</sub>
Enerji Santrali (AC)	1600,00 kW <sub>e</sub>
Toplam Güç Üretimi	2 987 347 kWh/year

#### 4.10. PV SYST Kullanarak Simülasyon

Konumun seçilmesi, sistem ekipmanları ve opsiyonel sistemin modellenmesi, şebekeye bağlı PV santralının kurulumu için oldukça önemlidir. PVSYST paket programı bu amaçla kullanılmaktadır. Planlanan PV santralının 3B simülasyonu yapılabilir, sistemin performansı elde edilir ve güneş doğarken ve gün batımında PV modüllerine düşen gölgeler gerçek zamanlı olarak analiz edilebilir.

Böylece, santralin performansı kurulumdan önce değerlendirilebilir. Bu bağlamda, kurulan PV sistemi için PVSYST analizi uygulandı ve proje 800 kW<sub>e</sub>'lik bir analiz

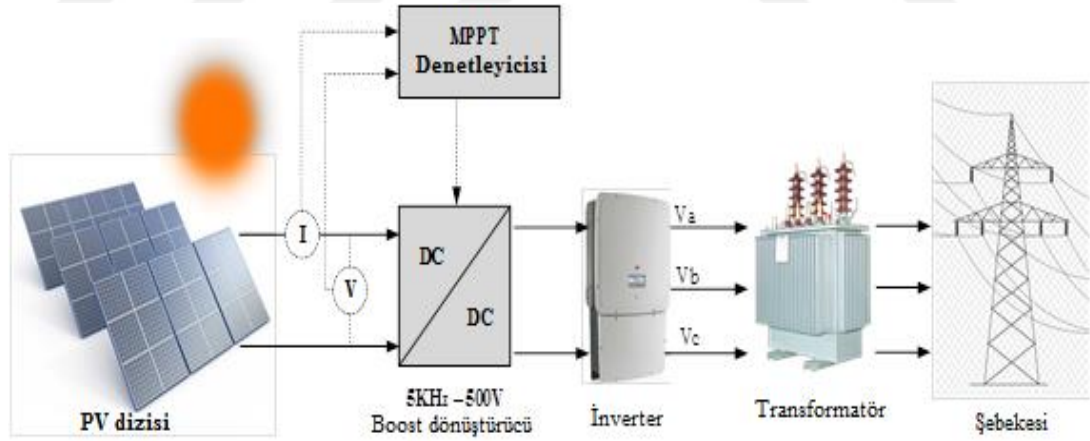
gücüyle, iki proje için ortak olarak yürütüldü. Analizler, toplam yıllık enerji üretiminin 3027 MWh olduğunun tahmin edildiğini ortaya koydu. Bu değer, iki projenin toplam elektrik üretim değeridir. Çizelge EK C.1 'de simülasyon programlarından birinde göz önünde bulundurulmuş simülasyon parametreleri gösterilmiştir. Simülasyonun ana sonucu Çizelge EK C.2 'de açıkça görülebilmektedir. Çizelge EK C.3 'da KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinin simülasyon programı aracılığıyla kayıp diyagramı gösterilmektedir.



## 5. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN SİMÜLASYONU

Bu çalışmada, Dc-Dc boost dönüştürücü aracılığıyla 33 kV şebekeye bağlı bir 1600-kW PV dizisi ve üç fazlı gerilim kaynağı dönüştürücü (VSC), MATLAB/Simulink'te simüle edilmiştir. Artımlı İletkenlik ve İntegral Regülatör tekniği, artırma dönüştürücüsünde Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) olarak uygulanır [42]. 5-kHz DC-DC güç dönüştürücü, PV sistem çıkış geriliminden 800 V DC'ye gerilim artırmak için kullanılır. Gereken gerilimi üretmek ve maksimum gücü çıkartmak için MPPT sistemi görev döngüsünü otomatik olarak değiştirir.

VSC, 800 V DC bağlantı voltajını 380 V AC'ye dönüştürür ve birim güç faktörünü tutar. VSC tarafından üretilen harmonikleri filtrelemek için 5 kvar'lık bir kapasitör bankı kullanılır. PV sistemini şebekeye bağlamak için 1600-kVA 380 V/ 33 kV üç fazlı coupling transformatörü kullanılır. Fayda şebekesi 33 kV olarak 8 km.lik dağıtım besleyici kullanılır. Şekil 5.1, KRMN-SNAPS 1.6 MW şebekeye bağlı güneş enerjisi santralinin şematik diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.1. 1.6 MW şebekeye bağlı şematik diyagram

### 5.1. PV Modülünün Simülasyonu

Daha önce de bahsedildiği gibi 290 W PV modülü KRMN-SNAPS 1.6 MW fotovoltaik güç santralinde kullanılmıştır. Bu modül, MATLAB/Simulink kullanılarak PV modülünün tüm simülasyon çeşitlerini açıklamak için referans modülü olarak

alınmıştır. 290 W PV modülünün elektriksel özellikleri Tablo 4.2'de, 1000W/m<sup>2</sup>'ye eşit ışınlama testinde, 1.5 hava kütleli spektrumda ve 25 °C hücre sıcaklığında test koşulları altında verilmiştir.

### 5.1.1. MATLAB Modellemesi İçin M-dosyası Programı

Aşağıdaki program MATLAB kullanarak bir PV modülünün modellemesinde kullanılan yapıların ve düzenlerin sırasını gösterir. KRMN-SNAPS 1.6 MW PV güç santralinde kullanılan fotovoltaik panel SW 290 veri sayfasından alınan tüm girdiler Tablo 4.2. de gösterilmiştir.

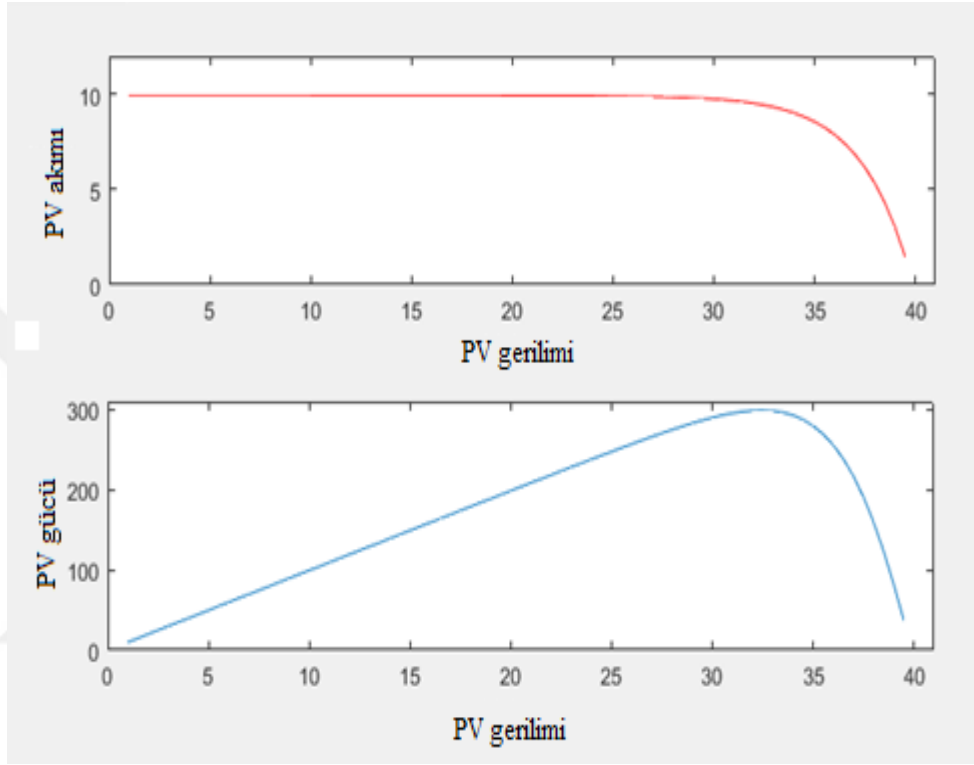
```
clear all;clc;close all;
% PV modül veri sayfasından bilgi.
Ns=60; % dizi PV hücrelerinin sayısı.
Np=1; % paralel PV hücrelerinin sayısı.
Isc=9.97; % kısa devre akımı.
Voc=39.9; % açık devre voltajı.
Imp=9.33; % maksimum güç noktası akımı.
Vmp=31.4; % maksimum güç noktası voltajı.
Pmax=290;
% sabitleri.
Ki=0.0017; % mevcut sıcaklık katsayısı.
q=1.602e-19; % elektron yükü.
A=1.6; % diyot sabiti.
K=1.3805e-23; % Boltzmann sabiti.
Ego=1.1; % Bant aralığı enerjisi.
Gstc=1000; % 25C°'de nominal radyasyon.
% sistemin girişleri.
Toc=25; % koleus'ta çalışma sıcaklığı.
G=1000; % radyasyon.
Vpv=0:1:Voc; % PV gerilimi;
% Kelvin sıcaklık.
Tok=Toc+273;
```

```

Tsk=25+273;
% PV modülünün foto akımı.
Iph=(G/Gstc)*(Isc+(Ki*(Tok-Tsk)));
% ters besleme akımı.
Vt=(K*Tok)/q; %% terminal gerilimi.
Irs=Isc/(exp(Voc/(Vt*A*Ns))-1);
% besleme akımı.
Io=(Irs*(Tsk/Tok)^3)*exp(((1/Tsk)-(1/Tok))*(Ego*q)/(A*K));
% PV akımı ve gerilimi.
Rs=0.1; % seri direnç çok küçük.
Rp=1000; % paralel direnç yüksek.
Vpv=1:0.5:Voc;
for j=1:length(Vpv)
    I(1)=0;
    I(j+1)=I(j);
    I(j)=Np*Iph-(Np*Io)*(exp((Vpv(j)+I(j)*Rs)/(Vt*Ns*A))-1)-
    ((Vpv(j)+I(j)*Rs)/Rp);
    Ipv(j)=I(j);
end
% gücü hesaplamak.
for i=1:length(Vpv)
    P(i)=(Np*Iph-(Np*Io)*(exp((Vpv(i)+I(i)*Rs)/(Vt*Ns*A))-1)-
    ((Vpv(i)+I(i)*Rs)/Rp))*Vpv(i);
end
% Çizim döngü.
for n=1:Voc
    subplot(2,1,1)
    plot(Vpv,Ipv);
    hold on
    subplot(2,1,2)
    plot(Vpv,P);
end

```

Yukarıda yazılı program, MATLAB penceresindeki çalışan bir program simgesine dokunarak kolayca çalıştırılabilir. Aşağıdaki şekil programdan elde edilen eğrileri göstermektedir. Şekil 5.1, " $T = 25^{\circ}\text{C}$  ve  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ " Standart Test Koşulunda MATLAB modellemesi için M-dosya programı kullanılarak sonuçlanan 290 W PV modülünün "I-V" ve "P-V" özelliklerini göstermektedir.



Şekil 5.2. MATLAB Modellemesi için M-file Programı kullanılarak STC'de PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri

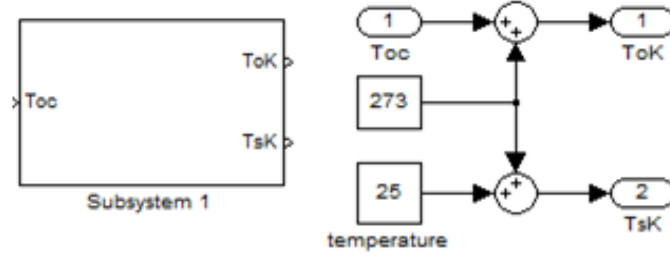
### 5.1.2. Simulink Modellemesi İçin Adım Prosedürü

MATLAB programında Simulink kullanılarak yapılan simülasyon tasarımcılar ve programcılar için önemlidir çünkü kütüphanesinde yaygın cihazların çoğu yüklüdür. Bununla birlikte, MATLAB-Simulink içindeki PV modül simülasyonu için prosedür adımlarında ihtiyaç duyulan tüm modelleme parametrelerini aşağıda açıklanmıştır:



## Adım 1

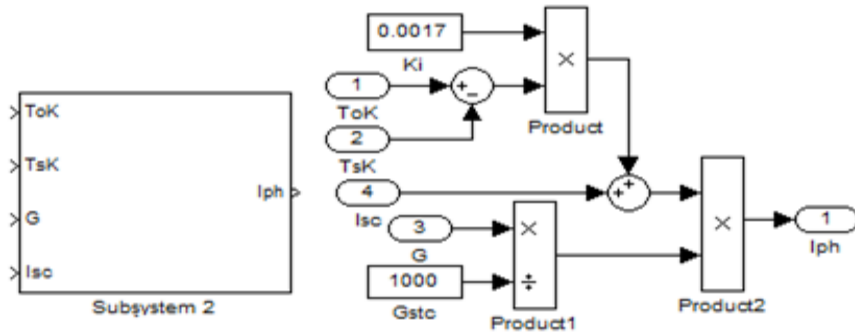
Şekil 5.3'te gösterildiği gibi alt sistem 1, modülün çalışma sıcaklığı ve Standart Test Koşulları "STC" sıcaklığını Celsius "°C" dan Kelvin'e "°K" dönüştürmek için tasarlanmıştır.



Şekil 5.3. Alt Sistem 1

## Adım 2

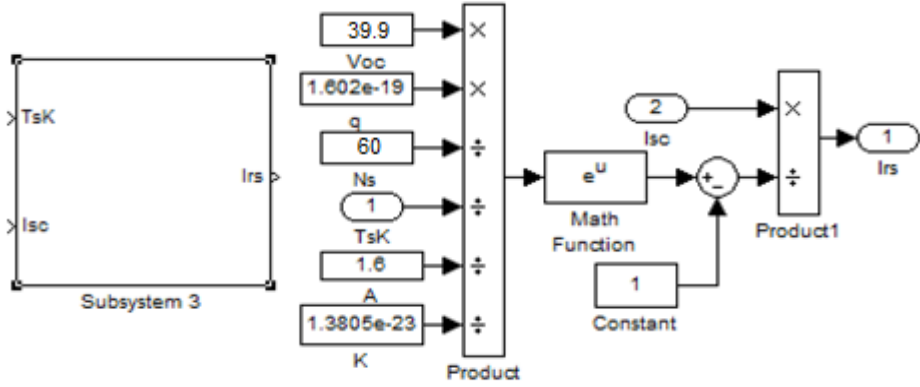
İkinci adımın önemi, güneş ışığının PV modülünün yüzeyine baktığı zaman üretilen akımı hesaplamaktır. Bununla birlikte, bu alt sistem 10. denklemden yazılan tüm parametreleri temsil eder. Şekil 5.4 2. alt sistemin yapımını göstermektedir.



Şekil 5.4. Alt Sistem 2

### Adım 3

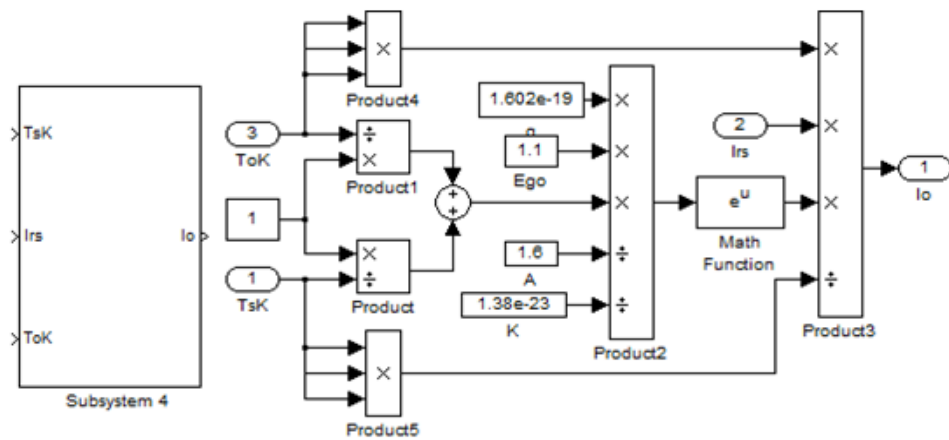
Bu adımda, PV hücresi " $I_{rs}$ " in ters doyma akımı, Simulink içindeki 11. denklem parametrelerini temsil ederek hesaplanır. Şekil 5.5 alt sistem 3 bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 5.5. Alt Sistem 3

### Adım 4

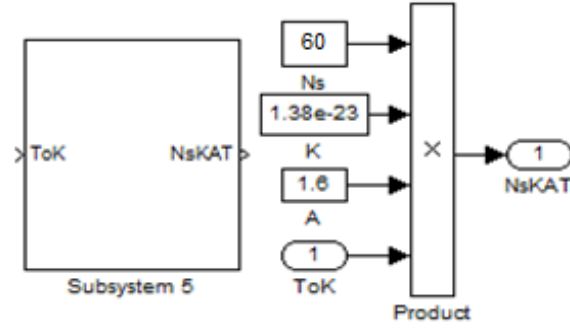
Simulink'te 12. denklemleri kurarak, diyotun ters doygunluk akımı 4. alt sistemden tahmin edilebilir. Şekil 5.6, 4. alt sistemin devresini göstermektedir.



Şekil 5.6. Alt Sistem 4

## Adım 5

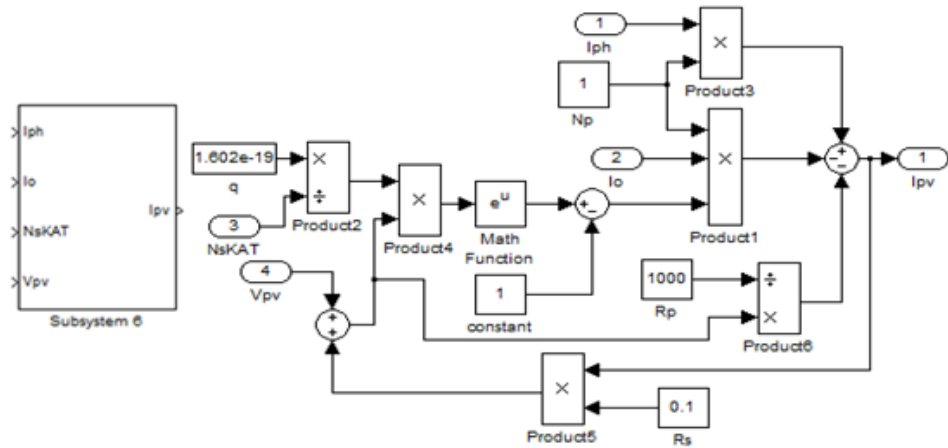
Şekil 5.7'de gösterildiği gibi 5. alt sistem, 13. denklemde yazılan "NsKAT" çarpımının sonucunu hesaplamayı hedeflemektedir.



Şekil 5.7. Alt Sistem 5

## Adım 6

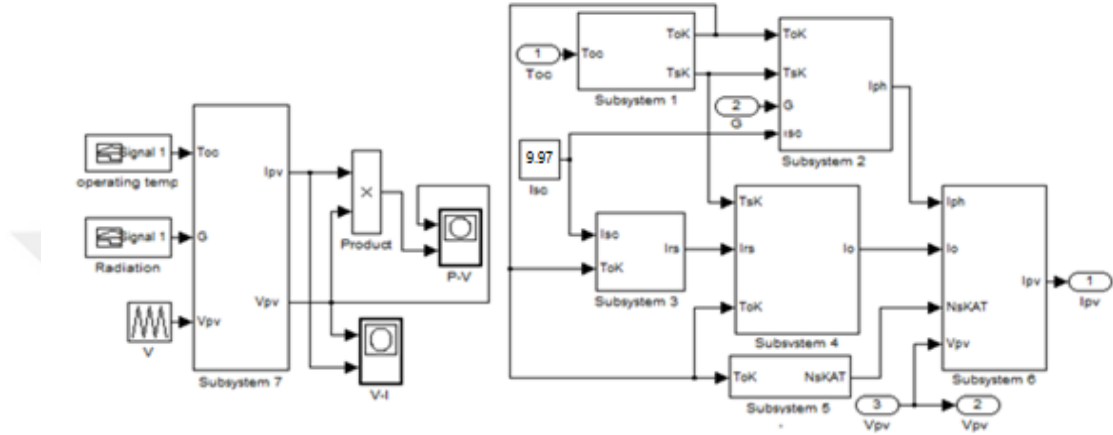
PV modülünün akımı, şekil 5.8'de gösterilen 6. alt sistemden elde edilebilir. Paralel direncin değeri " $R_p$ " çok yüksektir ve yaklaşık " $1000 \Omega$ " dir. Seri direnç " $R_s$ " değeri çok küçük ve yaklaşık " $0.1 \Omega$ " dir.



Şekil 5.8. Alt Sistem 6

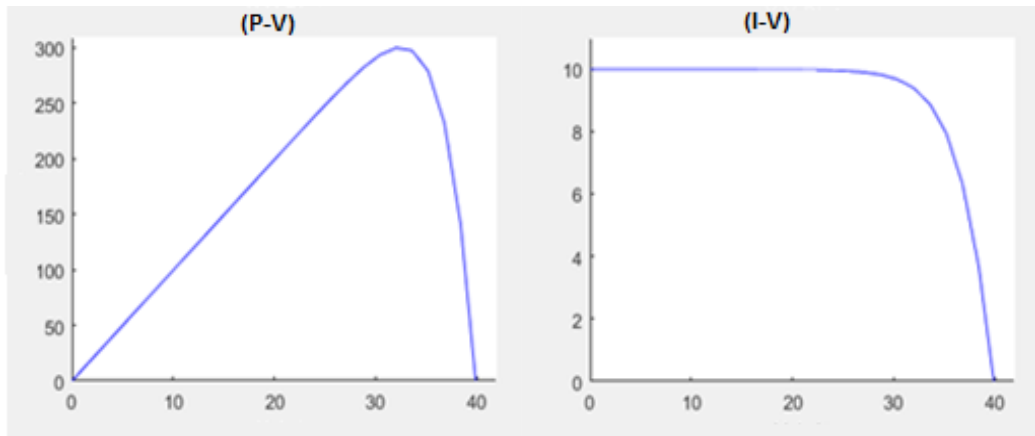
## Adım 7

Bu aşamada, tüm alt sistemler Şekil 5.9'da gösterildiği gibi son alt sistemi oluşturmak için bağlanmıştır. Bu alt sistem, ışınlama, Santigrat cinsinden çalışma sıcaklığı ve PV modülünün voltajını girdi olarak alır.



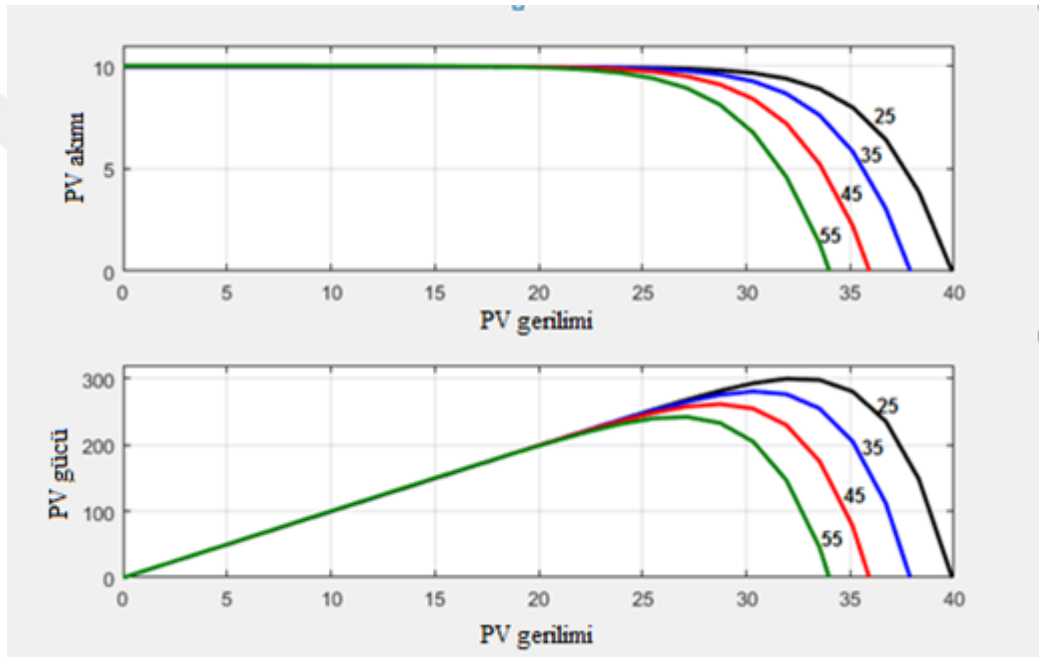
Şekil 5.9. Alt Sistem 7

Şekil 5.10, standart test koşulunda " $T=25^{\circ}\text{C}$  ve  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ " 'de Simulink Modellemesi için Adım Adım Prosedür kullanılarak elde edilen 290 W güneş paneli için "I-V ve P-V" eğrilerini göstermektedir.



Şekil 5.10. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, STC'de PV modülünün "I-V ve P-V" eğrileri

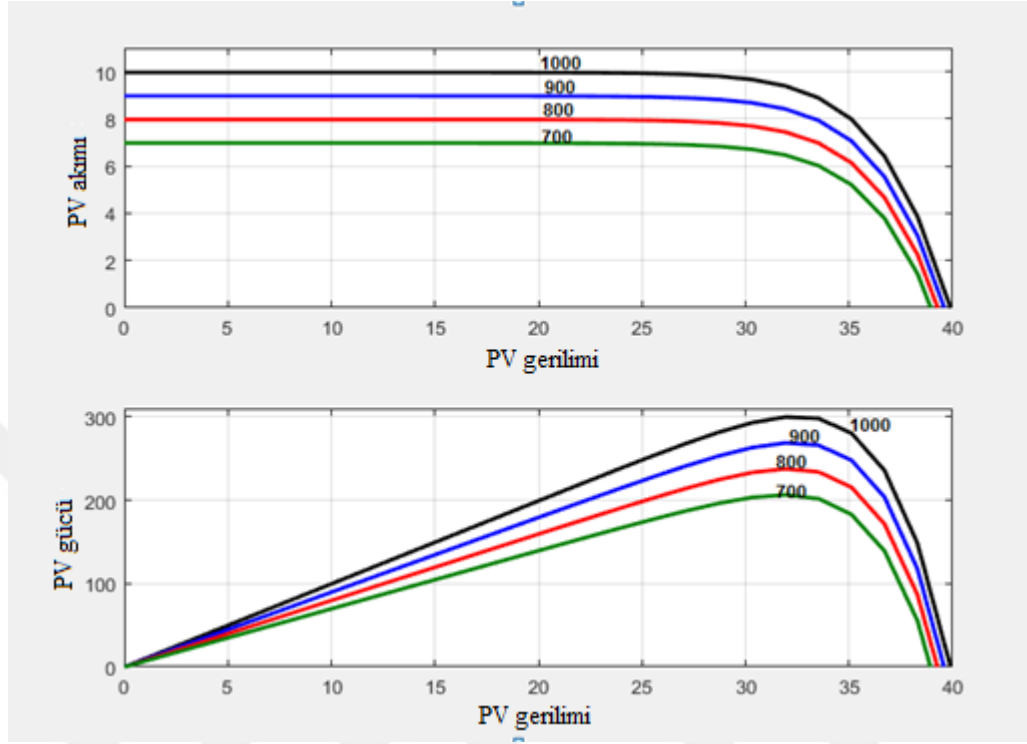
MATLAB-Simulink programı, PV modülünün tüm etkilerini çalışmanın yanı sıra test süreci için PV referans modülleri gelişime yeteneği sağlayarak performansını arttırmak için yardımcı bir kılavuz olarak görülür. Son alt sistemdeki sıcaklığın giriş değeri 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C olacak şekilde değiştirilerek güneş hücreleri üzerindeki sıcaklığın etkisi test edilebilir. Simülasyon prosedürü sırasında giriş ışınımı her seferinde 1000 W/m<sup>2</sup>'de sabit tutulmuştur. Şekil 5.11, farklı PV hücre sıcaklıklarında PV modülünün "I-V ve P-V" özelliklerini ve "1000 W/m<sup>2</sup>" değerinde sabit bir ışınımı göstermektedir.



Şekil 5.11. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen PV hücre sıcaklıkları ve sabit radyasyon altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri

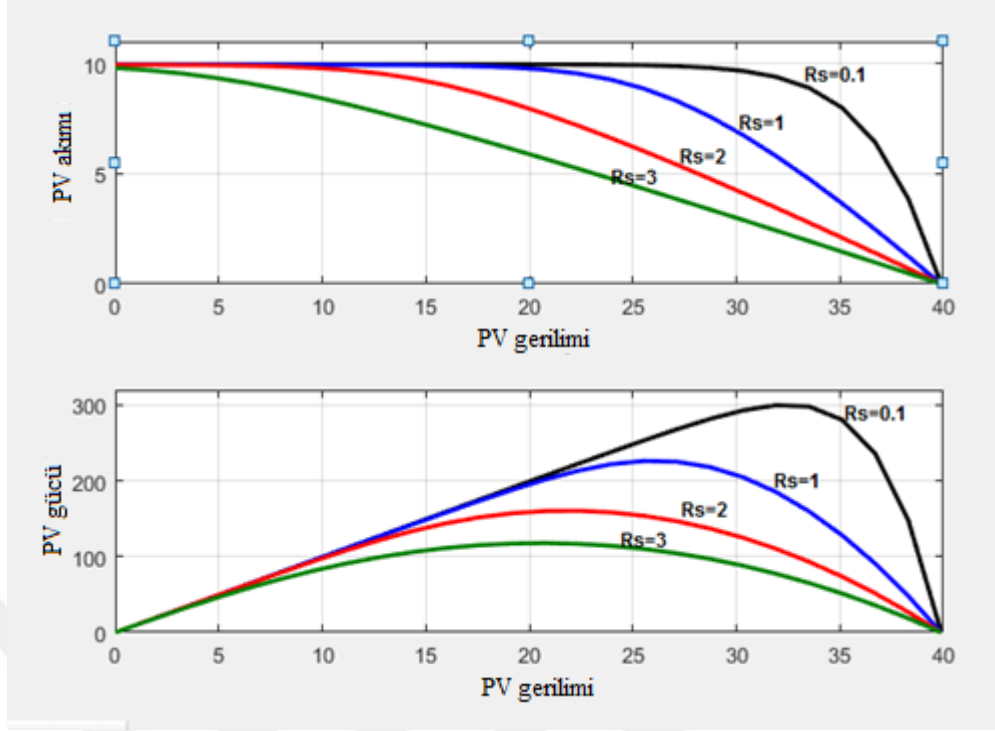
Güneş radyasyonun yoğunluğu, fotovoltaik sistemleri kullanarak enerji üretiminde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, bu simülasyonda, PV modüllerinin yüzeyinde olan güneş radyasyonunun miktarının artırılması veya azaltılması sebebiyle oluşan etki çalışılabilmektedir. Güneş radyasyonunun fotovoltaik modüllerin performansı üzerindeki genel etkisi, son alt sistemdeki güneş radyasyonunun girdi değerlerinin 1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup> ve 700 W/m<sup>2</sup> olarak değiştirilmesiyle incelenebilir. Giriş PV hücre sıcaklığı, simülasyon işleminde her seferinde 25 °C'de sabit olarak ayarlanmıştır. Bir sonraki şekil, değişken güneş ışınımı altındaki bir 290 W PV panelin

davranışını ve "I-V, P-V" eğrilerini ve "25 °C" sabit bir PV hücre sıcaklığını göstermektedir.



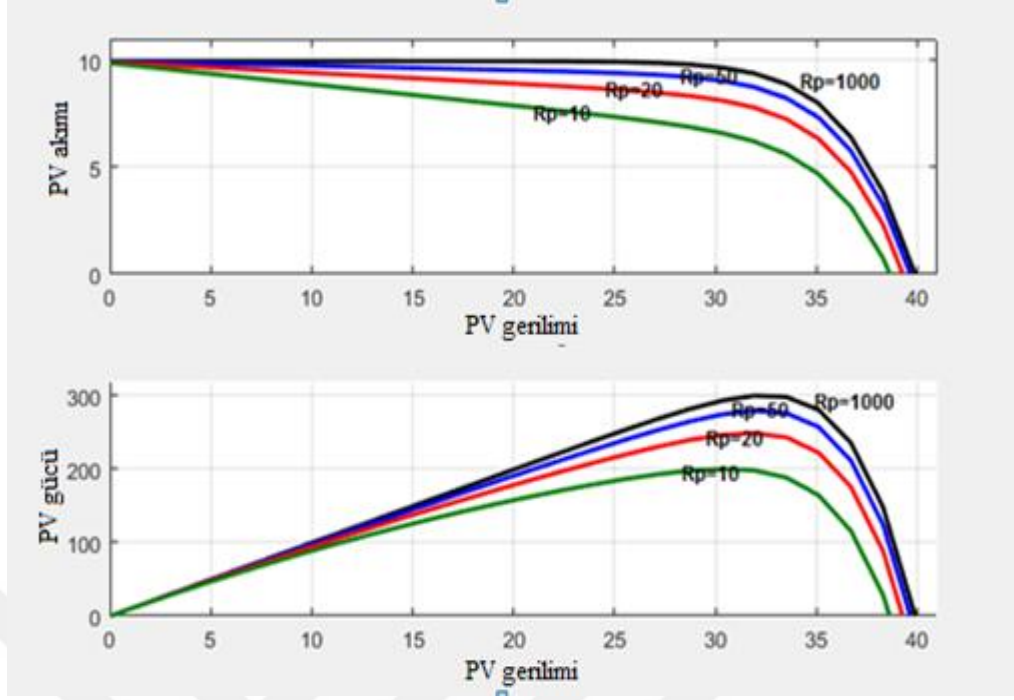
Şekil 5.12. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen güneş radyasyonu ve sabit PV hücre sıcaklıkları altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri

Seri direncin uygun değeri " $R_s$ ", herhangi bir fotovoltaik modülü tasarlarırken ve üretirken çok önemli bir süreçtir. Seri direnç değerinin PV panellerin davranışı ve performansı üzerindeki etkisini incelemek için, bu son alt sistemdeki seri direnç değerinin 0,1 $\Omega$ , 1 $\Omega$ , 2 $\Omega$  ve 3 $\Omega$  olarak değiştirilmesiyle yapılabilir. Giriş güneş ışınımı 1000 W/m<sup>2</sup>'de sabittir ve giriş PV hücresi sıcaklığı simülasyon işlemi boyunca her seferinde 25 °C'de sabittir. Şekil 5.13, "I-V ve P-V" karakteristiklerini ve 290 W PV modülünün değişken seri direnç altında "1000 W/m<sup>2</sup>" sabit ışınlama davranışını ve "25 °C" sabit PV hücre sıcaklığı özelliklerini göstermektedir.



Şekil 5.13. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen seri dirençleri altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri

Son olarak, paralel direncin uygun değeri " $R_p$ " ayrıca herhangi bir fotovoltaik panelin tasarım ve üretim süreci boyunca göz önünde bulundurulması gereken önemli bir işlemdir. Bununla birlikte, simülasyon prosedüründe, paralel direnç değerinin PV panellerinin davranışı ve performansı üzerindeki etkisi, son alt sistemdeki paralel direnç değeri  $1000\Omega$ ,  $50\Omega$ ,  $20\Omega$  ve  $10\Omega$  olarak değiştirilerek incelenebilir. Giriş güneş radyasyonu ve giriş PV hücre sıcaklığı, sırasıyla  $1000 \text{ W/m}^2$  ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabittir. Şekil 5.14, "I-V ve P-V" karakteristiklerini ve  $290 \text{ W}$  PV modülünün değişken paralel direnç altında " $1000 \text{ W/m}^2$ " sabit radyasyon davranışını ve " $25 \text{ }^\circ\text{C}$ " sabit PV hücre sıcaklığı özelliklerini göstermektedir.

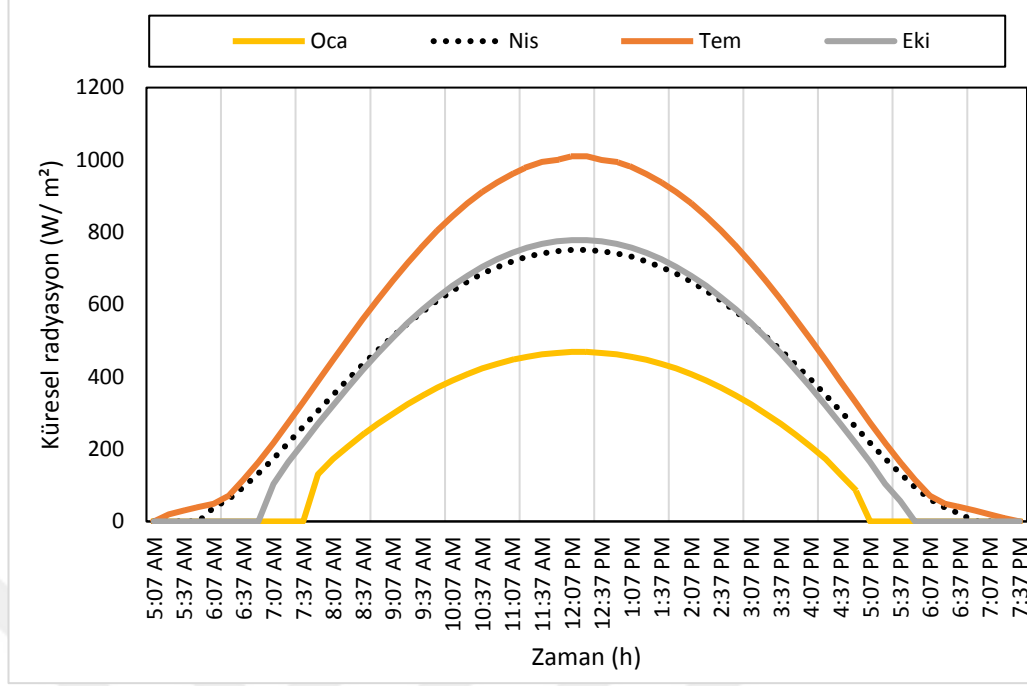


Şekil 5.14. Simulink Modelleme için Adım Adım Prosedürü kullanılarak, değişen paralel direnç altında PV modülünün "I-V ve P-V" karakteristikleri

## 5.2. Yıllık Simülasyon Gücü Sonuçları

Güneşlenme kuşağında bulunan Türkiye'de, coğrafi olarak farklı olmasına rağmen, güneş radyasyon değerlerinde büyük bir fark olmadığı bilinmektedir. Çalışmada güneş ışığı süresi ve güneş radyasyonu değerleri için uygun olan Çumra/Konya bölgesi seçildi. PV santralinin performansını analiz etmek için gereken aylık ortalama günlük güneş radyasyonu değerleri PVGIS'den elde edilir. Her mevsimin bir ayı için bir günlük küresel ışınlama dağılımı, küresel ışınlamanın (günde  $W/m^2$ ) verilerinin örneklenmesi için Şekil 5.15'te gösterilmektedir.





Şekil 5.15. Farklı mevsimlerde PV güç santralının bulunduğu konuma günlük küresel radyasyon (günde  $W/m^2$ ) dağıtımı

PV santrali tarafından üretilen güç sadece küresel ışıınımdan  $G_{hücre}^{eq}$  ( $W/m^2$ ) değil, ayrıca PV modülünün sıcaklığı  $T$  ( $^{\circ}C$ ), ortam sıcaklığı  $T_a$  ( $^{\circ}C$ ), rüzgar hızı  $V_{rüzgar}$  ( $m/S$ ) ve yönü ve bağıl nemden de etkilenir. Ayrıca, bireysel güneş hücrelerindeki küresel radyasyon ve sıcaklık, kısmi gölgelenme durumunda olduğu gibi aynı değildir. [28]. Güneş hücresi sıcaklığını tahmin etmek için basitleştirilmiş bir model kullanılır.

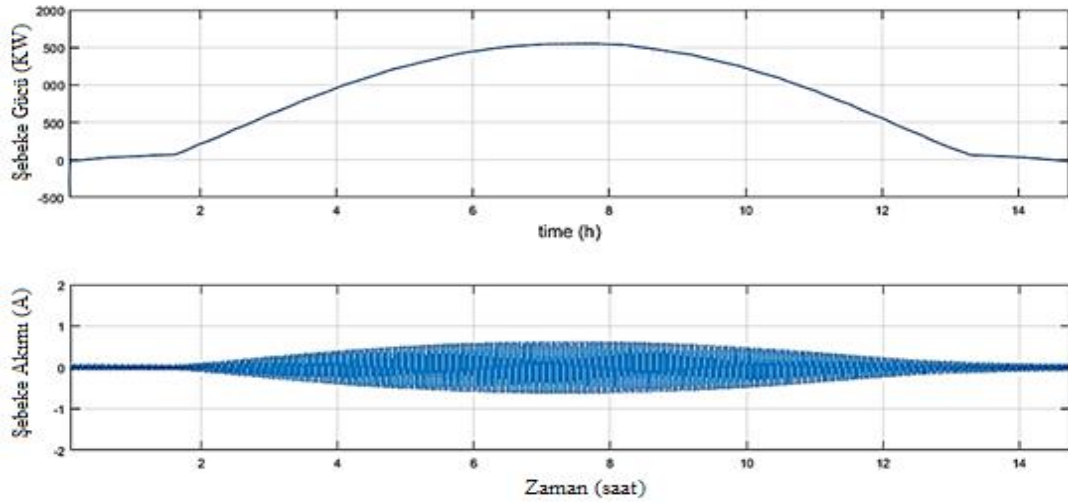
$$T = 0.943T_a + 0.028G_{hücre}^{eq} - 1.528v_{rüzgar} + 4.3 \quad (14)$$

Bu model aslında PV modülünün sıcaklığını tahmin etmek için geliştirilmiş olsa da, hücre sıcaklığını ve kısmi gölge koşullarını tahmin etmek için de kullanılabilir [28]. PV modülü tarafından üretilen gücü doğrudan etkilen çevresel faktörler Türkiye Devlet Meteoroloji İşlerinden alınmıştır ve PV modülünün her ay için ortalama gün sıcaklığı hesaplanmıştır. Küresel radyasyon  $G_{hücre}^{eq}$  ( $W/m^2$ ), ortam sıcaklığı  $T_a$  ( $^{\circ}C$ ), rüzgar hızı  $V_{rüzgar}$  ( $m/s$ ) ve PV modülünün hesaplanan ortalama sıcaklığı  $T$  ( $^{\circ}C$ ) Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. PV modülünün KRMN-SNAPS 1.6 MW üzerindeki 32.83 °E boylamında, 37.55 °N enleminde ve 1012 m rakımda hesaplanan ortalama gündüz sıcaklığı

Ay	$T_a$	$G_{cell}^{eq}$	$v_{wind}$	$T$
Ocak	4,9	326,1	3,4	12,8
Şubat	6,8	385,6	3,1	16,9
Mart	10,8	438,4	3,5	21,4
Nisan	16,0	436,9	3,8	25,9
Mayıs	21,4	443,4	3,2	32,0
Haziran	25,6	481,5	3,5	36,6
Temmuz	30,0	518,4	4,7	39,9
Ağustos	29,5	566,3	4,5	41,1
Eylül	25,3	565,4	3,9	37,9
Ekim	17,2	497,9	2,9	30,1
Kasım	11,2	430,3	2,8	22,5
Aralık	5,9	310,2	3,2	13,7

Elde edilen şebeke gücü ve şebeke akım eğrileri, temmuz ayının bir günü için simülasyondan Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Simülasyonda, zaman eksenini olarak bir saat yerine bir saniye ölçeği kullanılmıştır. Bu simülasyonlar, yılın tüm ayları için Şekil 5.15'te dört ay boyunca gösterilen saatlik küresel ışınlama değerleri için tekrarlanmıştır.



Şekil 5.16. Modelden elde edilen PV elektrik santralının şebeke gücü ve şebeke akım eğrileri

Santralin elektrik üretim değerleri, güç eğrilerinden elde edilen aylık toplam küresel ışınlama verileri kullanılarak elde edilmiştir. 2018 yılında santralin simülasyonundan ve aylık üretim verilerinden elde edilen aylık enerji üretimi verileri Tablo 5.2'de verilmiştir. Santralin gerçek toplam enerji üretimi 3.122.015.50 kWh iken, PVYST'den elde edildi ve sonuçta sırasıyla 3.027.000.00 kWh ve 3.008.281 kWh olarak simülasyonumuz yapıldı. Aynı üretim verileri Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

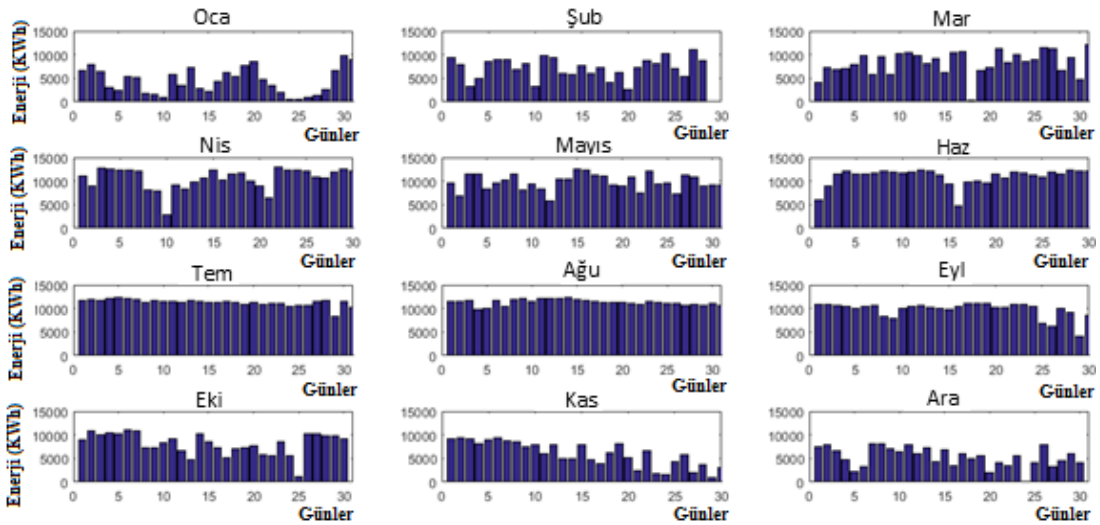
Tablo 5.2. Gerçek ve tahmini aylık enerji üretimi

Ay	Gerçek (kWh)	Tahmini (kWh)	Hata (kWh)
Ocak	133,864.6	143,451.6	-9587.0
Şubat	202,639.2	179,107.5	23531.7
Mart	256,521.3	233,724.8	22796.5
Nisan	314,250.0	280,145.8	34104.2
Mayıs	303,687.5	289,438.9	14248.6
Haziran	327,629.9	327,663.0	-33.1
Temmuz	345,619.6	332,743.2	12876.4
Ağustos	350,145.1	355,974.6	-5829.5
Eylül	293,946.2	282,858.7	11087.5

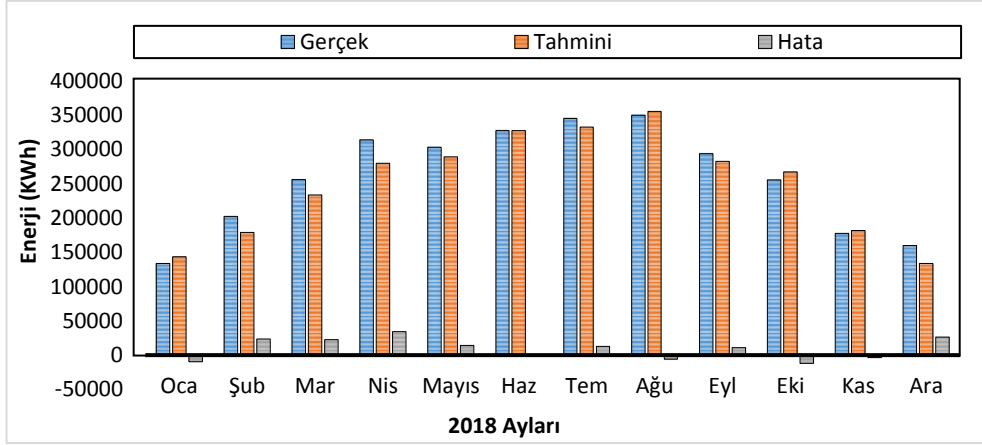
Tablo 5.2'nin devamı

Ay	Gerçek (kWh)	Tahmini (kWh)	Hata (kWh)
Ekim	255,618.1	267,434.4	-11816.3
Kasım	178,000.0	181,756.0	-3756.0
Aralık	160,094.0	133,982.9	26111.1
Toplam	3,122,015.50	3,008,281.40	113734.1

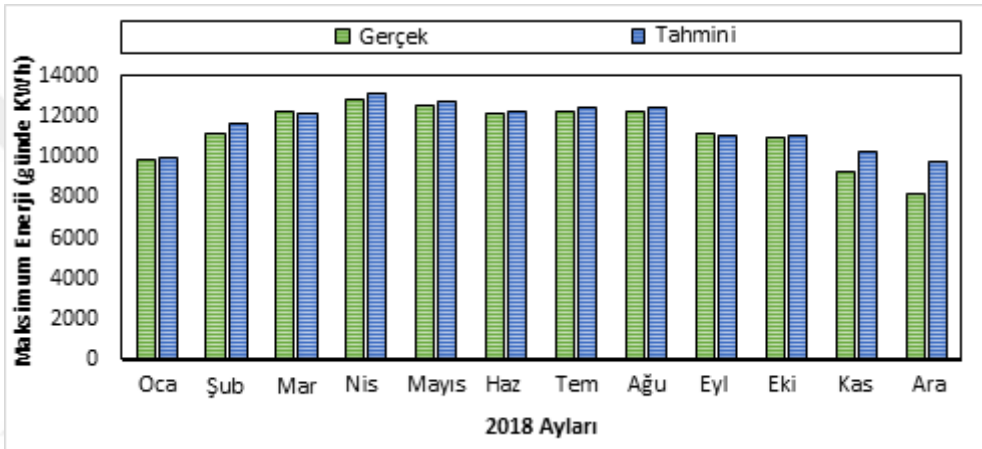
Görülebileceği üzere, gerçek değerler ve simülasyon değerleri arasında büyük bir fark yoktur. Bir PV santralının enerji üretimi, radyasyon dışında birçok meteorolojik faktöre bağlı olarak değişir. Bu faktörler tüm yıllar boyunca aynı değildir. Şekil 5.17 santralin ay bazında günlük enerji üretimindeki gerçek varyasyonu göstermektedir. Yaz aylarında karasal iklimde büyük değişiklikler görülmemektedir. Fakat, ilkbaharda, sonbaharda ve özellikle kış aylarında, farklı yıllar için iklimde değişiklikler olabilir. Bununla birlikte, Şekil 5.18 de görülebileceği gibi, yaz aylarında tahmini değerler gerçek değerlere yakındı fakat diğer mevsimlerde hata daha büyüktü. Yıllar içinde oluşabilecek meteorolojik değişimler göz önünde bulundurulduğunda, santralin uzun yıllar boyunca ortalama üretiminin tahmini değerlerle örtüşeceği düşünülmektedir.



Şekil 5.17. 2018'de aylara göre elektrik santralının günlük gerçek enerji üretimi



(a)



(b)

Şekil 5.18. PV güç santralının aylara göre gerçek ve tahmini enerji üretimi

Santralin 2018 yılı için günlük üretimi mevcuttur. Simülasyonda her ay için günlük üretim tahminleri, sabit bir düzlem üzerinde küresel açık gökyüzü ışınlam değerleri kullanılarak elde edilmiştir  $G_c$  ( $W/m^2$ ). Bu değerler, santralin gün bazında her ay için ürettiği maksimum enerji ile karşılaştırılmıştır. Bu verilerim gerçek ve tahmini değerleri Şekil 18 (b). de verilmiştir. Simülasyon tarafından tahmin edilen değerler üretilebilecek maksimum enerjiyi temsil ettiğinden, tüm aylarda tahmini değerler gerçek değerlerden daha büyüktü. Fakat, yıllar içinde meteorolojik değişimlerin daha az olduğu daha sıcak aylarda bu değerler birbirine daha yakındı.

## 6. SONUÇ

Güneş hücresinin performansı ilk olarak hava koşullarına bağlıdır. Fakat, detaylı bir simülasyon çalışması hem zaman hem de kaynaktan tasarruf ettirebilir. MATLAB-Simulink programı kullanılarak uygulanan PV modeli tüm detayları içerir. PV modelinin Simulink uygulaması bazı parametreleri göz önünde bulundurur. Model parametrelerinin değişikliklerinin etkileri bu çalışmada gösterilmiştir. Farklı güneş ışığı yoğunluklarının PV modülünün performansına olan etkileri, üretim sürecinin yüksek ışınımında, düşük güneş radyasyonundan daha etkili olduğunu belirtmektedir. Ortam sıcaklığının PV panelinin davranışı üzerine olan etkisi, daha fazla üretim gücü elde etmek için PV hücre sıcaklığının uygun olduğunu göstermektedir. Ek olarak, seri ve paralel dirençlerin değerini içeren PV modülleri üretiminin özellikleri, etkileri ve performansı için önemlidir. Başka bir deyişle, düşük seri direnç ve yüksek paralel dirence sahip PV modülleri yüksek enerji üretebilir. PV modeli, tek PV hücresinden modüllerin dizisine kadar değişen düzenlemeleri simüle etmek için otomatik olarak modifiye edilebilir.

PV santralının performansı ilk olarak hava koşullarına bağlıdır. Fakat, uzun vadeli veriler kullanıldığında, santralin yıllar içinde gerçek üretim performansı elde edilebilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya İline kurulan 1.6 MW PV santrali üretim performansı boyunca değerlendirildi. PV santrali, sıcaklık, radyasyon, rüzgar ve güneş ışığı süresi gibi performansı önemli ölçüde etkiler parametreler baz alınarak modellenmiştir. Santralin aylık enerji üretimi verileri gerçek değerlerle karşılaştırıldı. Santralin 2018 yılında gerçek toplam enerji üretimi 3.122.015.50 kWh iken, PVYST'den elde edildi ve sonuçta sırasıyla 3.027.000.00 kWh ve 3.008.281 kWh olarak simülasyon yapıldı. Aylık değerlerle karşılaştırıldığında, ilkim değişikliklerinin düşük olduğu özellikle en sıcak aylarda, tahmini değerlerin gerçek değerlerle örtüştüğü görülmüştür. Santralin her ay için bir günde üretebileceği maksimum enerji açık gökyüzü radyasyon değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Santralin performans ve üretim değerleri, PV santralini modelleyerek yıllar içinde tahmin edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Gülistan Erdal, Hilmi Erdal and Kemal Esengün. (2008). the causality between energy consumption and economic growth in Turkey.
- [2] Neetu and Surender. (2017). A Review Paper on Residential Grid Connected Solar Photovoltaic System Using Matlab Simulink. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology.  
<https://www.ijariit.com/manuscripts/v3i5/V315-1166.pdf>.
- [3] E. Koç and M. C. Şenel. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu -The State of Energy in World and Turkey - General Evaluation.
- [4] Turkish Statistical Institute, Energy statistics. 24 February 2016. Sectoral Energy Consumption Statistics, 2014, No: 21587.  
<http://www.turkstat.gov.tr/HbPrint.do?id=21587>.
- [5] V. Marchal, R. Dellink, D. van Vuuren, C. Clapp, J. Château, E. Lanzi, B. Magné and J. van Vliet. (2011). OECD ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2050. OECD.
- [6] IEA, (CO2 Emissions from Fuel Combustion, IEA, 2017) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017.
- [7] K. Q. Nguyen, (Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam) Energy Policy, cilt 35, no. 4, p. 2579–2589, 2007.
- [8] M. Hosenuzzaman, N. Rahim, J. Selvaraj, M. Hasanuzzaman, A. Malek and A. Nahar, "Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 41, pp. 284-297, 2015.
- [9] K. Solangi, M. Islam, R. Saidur, N. Rahim and H. Fayaz, (A review on global solar energy policy) Ren Sustain Energy Rev, cilt 15, no. 4, p. 2149–2163, 2011.
- [10] F. Ahmed, A. Al Amin, M. Hasanuzzaman and R. Saidur, (Alternative energy resources in Bangladesh and future prospect) Renew Sustain Energy Rev, cilt 25, p. 698–707, 2013.
- [11] D. Kaya, (Renewable energy policies in Turkey) Renewable and Sustainable Energy Reviews, cilt 10, p. 152–163, 2006.
- [12] Havva Balat (Solar Energy Potential in Turkey) Polatoglu Ap., Kat 6, Besikduzu, Trabzon, Turkey. 2005.

- [13] Demirbaş Ayhan (Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey) *Energy Convers Mgmt*, Vol. 42, pp. 1239–1258. 2001.
- [14] P. Sudeepika and G. Gayaz Khan, (Analysis Of Mathematical Model Of PV Cell Module in Matlab/Simulink Environment) *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, cilt 3, no. 3, pp. 7823-7829, 2014.
- [15] J. Selvara and N. A. Rahim, «Multilevel Inverter For Grid-Connected PV System Employing Digital PI Controller,» *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, cilt 56, no. 1, pp. 149-158, 2009.
- [16] Mohamed A. Eltawil and Zhengming Zhao (Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review). 2010.
- [17] The contribution of renewable resources in meeting Turkey's Energy-related challenges by Z. Bengü Erdem. Yapı Kredi Retirement Incorporated Company, Ankara, Turkey.
- [18] Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink by (N. Pandiarajan and Ranganath Muthu) Department of Electrical & Electronics Engineering SSN College of Engineering Kalavakkam -603110, TamilNadu, India.
- [19] PV panel model based on datasheet values by Dezso Sera, Remus Teodorescu (Aalborg University, Institute of Energy Technology, Aalborg, Denmark) and Pedro Rodriguez (University of Catalonia, Electrical Engineering Department, Terrassa-Barcelona, Spain).
- [20] MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell (Tarak Salmi, Mounir Bouzguenda, Adel Gastli, and Ahmed Masmoudi).
- [21] A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model (Kashif Ishaque, Zainal Salam and Syafaruddin).
- [22] Modeling of Solar Photovoltaic System Using MATLAB/Simulink by (Md. Shohag Hossain, Naruttam K. Roy and Md. Osman Ali) Department of Electrical and Electronic Engineering, Khulna University of Engineering & Technology (KUET), Khulna-9203, Bangladesh.
- [23] THREE PHASE GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC UNIVERSAL BRIDGE INVERTER APPLYING A BOOST CONVERTER by (Ashutosh Kumar Singh and Er. Sudhanshu Tripathi) Department of Electrical Engineering, SHIATS, Allahabad (U.P.) INDIA.
- [24] A case study of 3-MW scale grid-connected solar photovoltaic power plant at Kolar, Karnataka. Performance assessment & recommendations by (H.



Mitavachan, Anandhi Gokhale and J. Srinivasan) Indian Institute of Science.  
REPORT IISc-DCCC 11 RE 1 AUGUST 2011.

- [25] Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India by (B. Shiva Kumar, K. Sudhakar) Energy Reports. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/egyr](http://www.elsevier.com/locate/egyr).
- [26] K. Hanjalić, R. van de Krol, A. Lekić, Eds., Sustainable Energy Technologies: Options and Prospects. Dordrecht (Netherlands): Springer, 2007.
- [27] P.A. Lynn, Electricity from sunlight: an introduction to photovoltaics. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2011.
- [28] T. Jamasb, W.J. Nuttall, M.G. Pollitt, Eds., Future Electricity Technologies and Systems. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2006.
- [29] <http://ecgllp.com/files/3514/0200/1304/2-Solar-Radiation.pdf>
- [30] H. B. Vika (Modeling of Photovoltaic Modules with Battery Energy Storage in MATLAB/Simulink) Trondheim Norwegian University of Science and Technology. 2014.
- [31] Deutsche Gesellschaft Für Sonnenenergie, 2008 (Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, architects and engineers) second edition.
- [32] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu and Yi-Jie Su, 2008 (Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/Simulink). Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS, San Francisco, USA.
- [33] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho, 2009 (Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays) IEEE Trans Power Electron, vol. 24, pp. 1198–1208.
- [34] Nallamilli Ayyappa Reddy and Koviri Dhana Raju, 2017 (Mathematical Modeling of Soft Switched Single Stage Multistring Inverter with Multi-Rated ETT Photovoltaic Modules) International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology.
- [35] Jaime Alonso-Martínez and Santiago Arnaltes, 2006 (A Three-Phase Grid-Connected Inverter for Photovoltaic Applications Using Fuzzy MPPT).
- [36] E. Benkhelil and A. Gherbi, 2012. (Modeling and simulation of grid-connected photovoltaic generation system).
- [37] M. Salhi and Rachid El Bachiri, 2009. (Maximum Power Point Tracking Controller for PV Systems using a PI Regulator with Boost DC/DC Converter). ICGST-ACSE International Journal.

- [38] Ranu Verma and Kamlesh Gupta, 2017. (Simulation of grid connected photovoltaic system using MATLAB/ Simulink), International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS).
- [39] PVGIS, "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps," European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability Renewable Energies Unit, [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. [Accessed 12 March 2019].
- [40] H. V. Goetzberger A. (Photovoltaic Solar Energy Generation), New York: Springer, 2005.
- [41] S. Labeed and E. Lorenzo, 2004 (The impact of solar radiation variability and data discrepancies on the design of PV systems).
- [42] M. de Brito, L. Sampaio, L. Jr., G. e Melo and C. Canesin, "Comparative Analysis of MPPT Techniques for PV Applications," in IEEE, 2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Ischia, Italy, 2011.

# **EKLER**

- EK 1**      **PV Modülünün Karakteristiği**
- EK 2**      **İnverter**
- EK 3**      **PV SYST Kullanarak Simülasyon**



## EK 1. PV Modülünün Karakteristiği

# Sunmodule<sup>+</sup> Plus

## SW 280 - 295 mono



**SOLARWORLD**  
REAL VALUE

*Data Sheet*



Produced in Germany,  
the center for solar technology



TUV Power controlled:  
Lowest measuring tolerance in industry

[www.tuv.com](http://www.tuv.com)  
ID 0000039361



Sunmodule Plus:  
Positive performance tolerance

-0/+5 Wp



25  
years  
WARRANTY

25 year linear performance warranty and  
10 year product warranty



SolarWorld AG relies on Germany as its technology location, thereby ensuring sustainable product quality.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

The positive power tolerance guarantees utmost system efficiency. Only modules achieving or exceeding the designated nominal power in performance tests are dispatched. The power tolerance ranges between -0 Wp and +5 Wp.

With its linear performance warranty covering a period of 25 years, SolarWorld guarantees a maximum performance degression of 0.7% p.a., a significant added value compared to the two-phase warranties common in the industry. Therefore, the service certificate offers comprehensive protection for your investment in the long term.

[www.solarworld.com](http://www.solarworld.com)

## EK 1'nin devamı

# Sunmodule Plus

## SW 280 - 295 mono



### PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 280	SW 285	SW 290	SW 295
Maximum power	$P_{max}$	280 Wp	285 Wp	290 Wp	295 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	31.2 V	31.3 V	31.4 V	31.5 V
Short circuit current	$I_{sc}$	9.71 A	9.84 A	9.97 A	10.1 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	9.07 A	9.20 A	9.33 A	9.45 A
Module efficiency	$\eta_m$	16.7 %	17 %	17.3 %	17.59 %

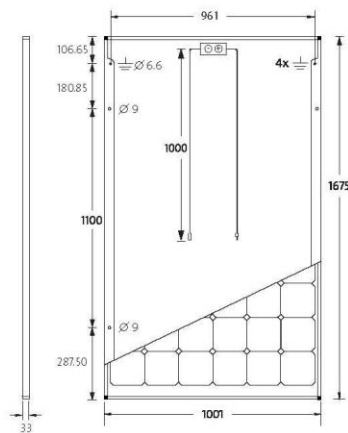
Messtoleranz ( $P_{max}$ ) rückführbar auf TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled)

\*STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

### PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 280	SW 285	SW 290	SW 295
Maximum power	$P_{max}$	209.2 Wp	213.1 Wp	217.1 Wp	220.5 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	36.1 V	36.4 V	36.6 V	36.7 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	28.5 V	28.7 V	28.8 V	28.9 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.85 A	7.96 A	8.06 A	8.17 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	7.33 A	7.43 A	7.54 A	7.64 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.



### COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Mono-crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	Tempered safety glass (EN 12150)
Back	Film, white
Frame	Clear anodized aluminum
J-Box	IP65
Connector	H4

### DIMENSIONS / WEIGHT

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Weight	18.0 kg

### THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
$TK I_{sc}$	0.040 %/K
$TK U_{oc}$	-0.30 %/K
$TK P_{mp}$	-0.41 %/K

### PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m <sup>2</sup>
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C

### ORDERING INFORMATION

Order number	Description
82000068	Sunmodule Plus SW 280 mono
82000070	Sunmodule Plus SW 285 mono
82000072	Sunmodule Plus SW 290 mono
82000074	Sunmodule Plus SW 295 mono



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.  
This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

90000995 | 2016-03-04-EN

## EK 2. Inverter

Solar inverters

ABB string inverters  
TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD  
20 to 27.6 kW



**The three-phase commercial inverter offers more flexibility and control to installers who have large installations with varying aspects or orientations.**

The dual input section containing two independent Maximum Power Point Tracking (MPPT), allows optimal energy harvesting from two sub-arrays oriented in different directions.

The TRIO features a high speed and precise MPPT algorithm for real power tracking and improved energy harvesting.

**High efficiency at all output levels**

Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels ensuring consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range.

This device has an efficiency rating of up to 98.2%.

The very wide input voltage range makes the inverter suitable for installations with reduced string size.

**Highlights**

- True three-phase bridge topology for DC/AC output converter
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Detachable wiring box to allow an easy installation
- Wide input voltage range

Power and productivity  
for a better world™ **ABB**

## EK 2'nin devamı

### Additional highlights

- Integrated string combiner with different options of configuration which include DC and AC disconnect switch in compliance with international standards (S2, S1J, -S2J, -S2F and -S2X versions)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- Capability to connect external sensors for monitoring environmental conditions
- Availability of auxiliary DC output voltage (24 V, 300 mA)



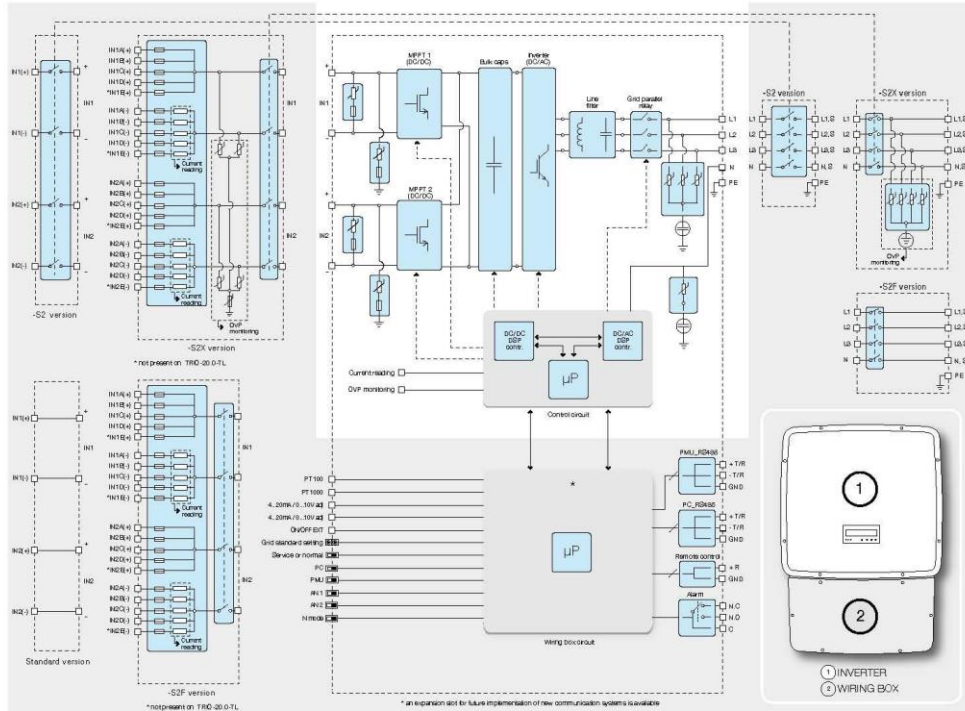
### Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
<b>Input side</b>		
Absolute maximum DC input voltage ( $V_{max,dc}$ )	1000 V	
Start-up DC input voltage ( $V_{start}$ )	430 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ( $V_{dmin}...V_{dmax}$ )	0.7 x $V_{start}...950$ V (min 200 V)	
Rated DC input voltage ( $V_{dc}$ )	620 V	
Rated DC input power ( $P_{dc}$ )	20750 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ( $P_{MPPT,max}$ )	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at $P_{dc}$	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null ( $800 V \leq V_{dc} \leq 950 V$ )	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{dc}$ , max unbalance example	12000 W ( $480 V \leq V_{MPPT} \leq 800 V$ ) the other channel $P_{dc} = 12000$ W ( $350 V \leq V_{MPPT} \leq 800 V$ )	16000 W ( $500 V \leq V_{MPPT} \leq 800 V$ ) the other channel $P_{dc} = 16000$ W ( $400 V \leq V_{MPPT} \leq 800 V$ )
Maximum DC input current ( $I_{dc,max}$ ) / for each MPPT ( $I_{MPPT,max}$ )	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S1J, -S2J versions)	1 (6 in -S2X and -S2F versions, 4 in -S1J and -S2J)
DC connection type	PV quick fit connector <sup>2)</sup> / Screw terminal block on Standard and -S2 versions	
<b>Input protection</b>		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X, -S1J and -S2J versions)	-S2X Type 2, -S1J, -S1J, Type 1+2	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
<b>Output side</b>		
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power ( $P_{ac}$ @ $\cos\phi=1$ )	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ( $P_{ac,max}$ @ $\cos\phi=1$ )	22000 W <sup>2)</sup>	30000 W <sup>2)</sup>
Maximum apparent power ( $S_{max}$ )	22200 VA	30670 VA
Rated AC grid voltage ( $V_{ac}$ )	400 V	
AC voltage range	320...480 V <sup>3)</sup>	
Maximum AC output current ( $I_{ac,max}$ )	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	46.0 A
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ( $f_{min}...f_{max}$ )	47...53 Hz / 57...63 Hz <sup>2)</sup>	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. $\pm 0.9$ with $P_{ac}=20.0$ kW, $\pm 0.8$ with max 22.2 kVA	> 0.995, adj. $\pm 0.9$ with $P_{ac}=27.6$ kW, $\pm 0.8$ with max 30 kVA
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
<b>Output protection</b>		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	50.0 A	63.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Type 2)	
<b>Operating performance</b>		
Maximum efficiency ( $\eta_{max}$ )	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Night consumption	< 0.6 W	

<sup>2)</sup> ABB solar inverters | Product flyer for TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD

# EK 2'nin devamı

Block diagram of TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD



## Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
<b>Communication</b>		
Wired local monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.)	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)	
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)	
User interface	Graphic display	
<b>Environmental</b>		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 45°C/113°F	
Relative humidity	0...100% condensing	
Sound pressure level, typical	50 dBA @ 1 m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
<b>Physical</b>		
Environmental protection rating	IP65	
Cooling	Natural	
Dimension (H x W x D)	1061 mm x 702 mm x 292 mm / 41.7" x 27.6" x 11.5"	
Weight	< 70.0 kg / 154.3 lbs (Standard version)	< 76.0 kg / 165.4 lbs (Standard version)
Mounting system	Wall bracket	
<b>Safety</b>		
Isolation level	Transformerless	
Marking	CE (50 Hz only), RCM	
Safety and EMC standard	EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, AS/NZS 60950.1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, CEI 0-21, CEI 0-18, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, 635/3, C10/T11, EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, RD 661, P.O. 12.3, AS 4777, BDEW, NRS-097-2-1, MEA, IEC 61727, IEC 62116, Ordinal 30/2013, VFR 2014	
Grid standard (check your sales channel for availability)		
<b>Available products variants</b>		
Standard	TRIO-20.0-TL-OUTD-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-400
With DC+AC switch	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2-400
With DC+AC switch and fuse	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2F-400
With DC+AC switch, fuse and surge arrester	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400
With DC+AC switch, fuse and 1 DC surge arrester type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S1J-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S1J-400
With DC+AC switch, fuse and 2 DC surge arrester type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2J-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2J-400

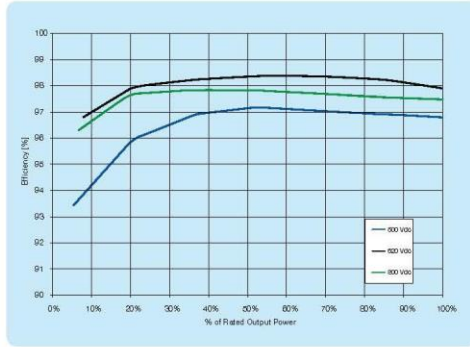
<sup>1</sup> The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard  
<sup>2</sup> The Frequency range may vary depending on specific country grid standard  
<sup>3</sup> Please refer to the document "String Inverters – Product manual appendix" available at [www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters) for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter  
<sup>4</sup> Limited to 20000 W for Germany  
<sup>5</sup> Limited to 27600 W for Germany

Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

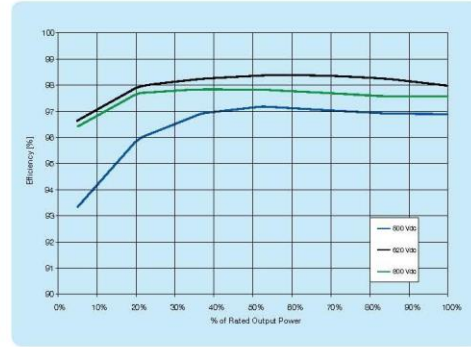


## EK 2'nin devamı

Efficiency curves of TRIO-20.0-TL-OUTD



Efficiency curves of TRIO-27.6-TL-OUTD



BCD.00276 Rev. F 06.06.2016

### Support and service

ABB supports its customers with dedicated, global service organization in more than 60 countries and strong regional and national technical partner networks providing complete range of life cycle services.

For more information please contact your local ABB representative or visit:

[www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters)  
[www.abb.com/solar](http://www.abb.com/solar)  
[www.abb.com](http://www.abb.com)

© Copyright 2016 ABB. All rights reserved.  
 Specifications subject to change without notice.



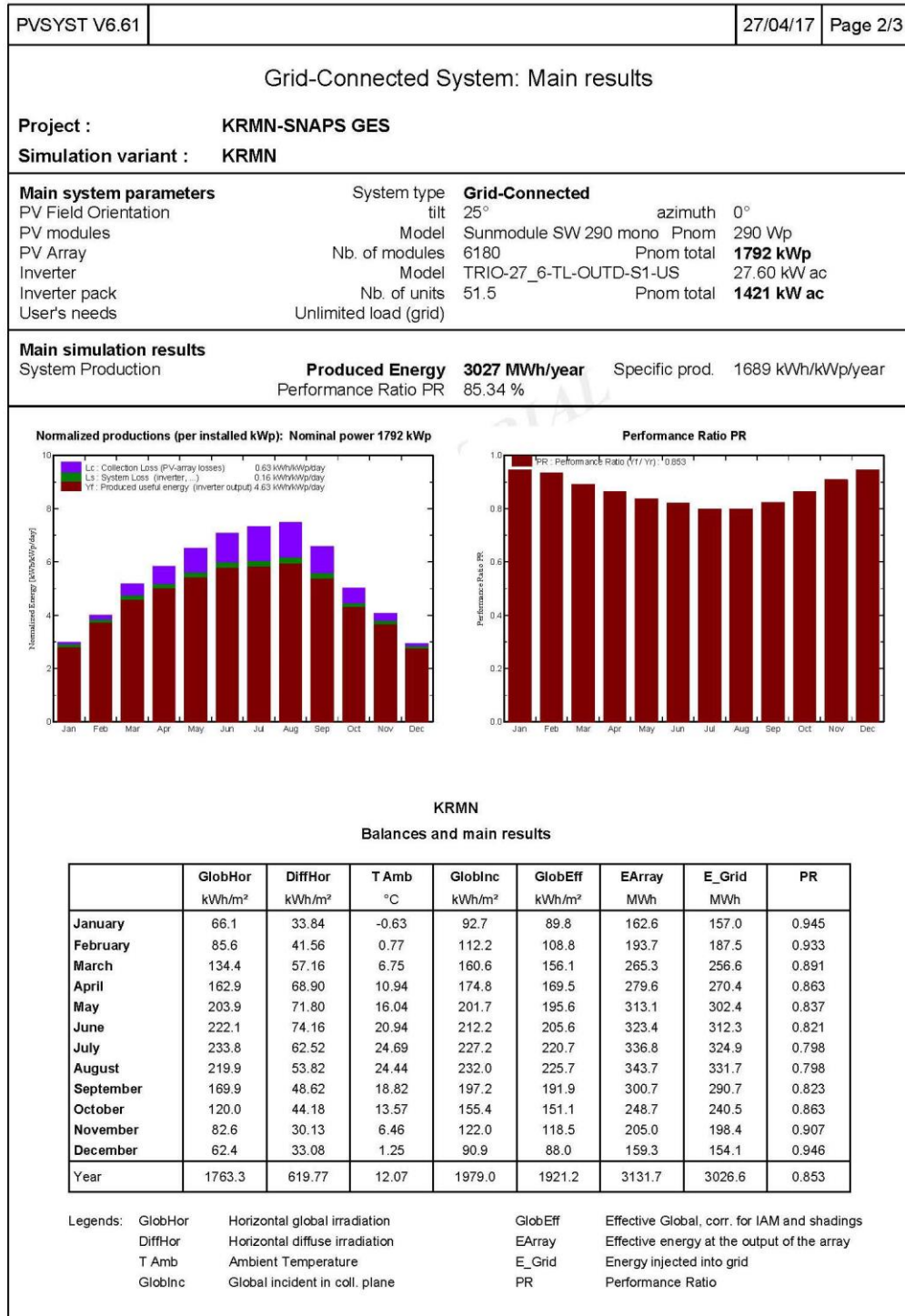
Power and productivity  
 for a better world™ **ABB**

### EK 3. PV SYST Kullanarak Simülasyon

PVSYST V6.61		27/04/17	Page 1/3	
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b>	<b>KRMN-SNAPS GES</b>			
<b>Geographical Site</b>	<b>Krmn_konya_cumra</b>	Country	<b>Turkey</b>	
<b>Situation</b>	Latitude	37.55° N	Longitude	32.83° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	1012 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data:</b>	<b>krmn_konya_cumra</b>	Meteonorm 7.1 (2003-2011), Sat=55% - Synthetic		
<b>Simulation variant :</b>	<b>KRMN</b>			
	Simulation date	27/04/17 09h36		
<b>Simulation parameters</b>				
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>Sunmodule SW 290 mono</b>	
Original PVsyst database	Manufacturer	SolarWorld		
Number of PV modules	In series	20 modules	In parallel	309 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	6180	Unit Nom. Power	290 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>1792 kWp</b>	At operating cond.	1600 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	558 V	I mpp	2869 A
Total area	Module area	<b>10362 m²</b>		
<b>Inverter</b>				
Original PVsyst database	Model	<b>TRIO-27_6-TL-OUTD-S1-US</b>		
Characteristics	Manufacturer	ABB		
	Operating Voltage	200-950 V	Unit Nom. Power	27.6 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	103 * MPPT 50 %	Total Power	1421 kWac
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	3.3 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			

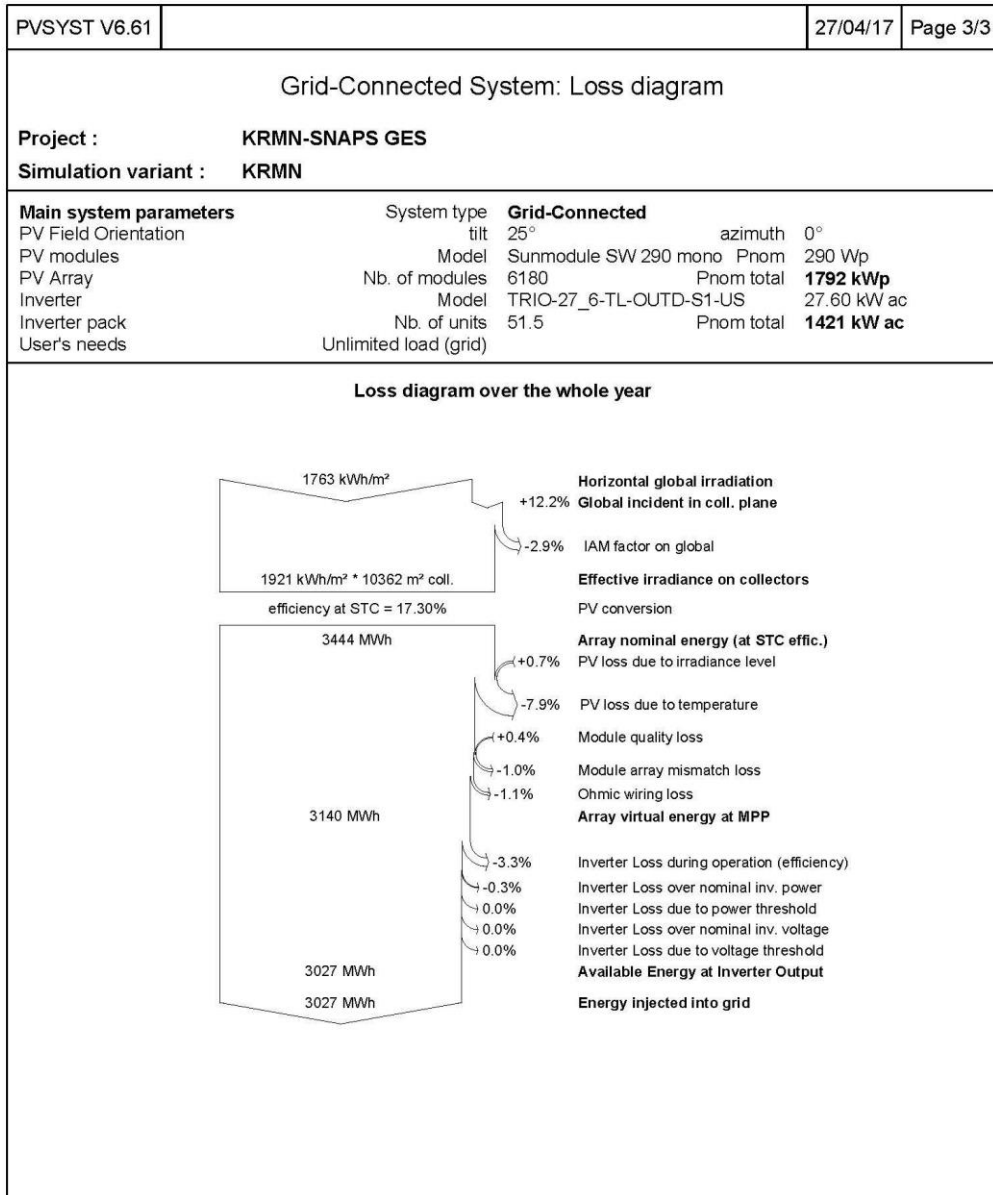
PVsyst Evaluation mode

## EK 3'nin devamı



PVsyst Evaluation mode

## EK 3'nin devamı



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mohamed Alageli M. MİLLAD.

Doğum Yeri ve Yılı : Libya- Yefren -11/07/1984.

Medeni Hali : Evli.

Diller : Berberi, Arapça ve İngilizce

E-posta : mohamedmillad @ yahoo.com



### Eğitim Durumu

Lise : Alqalaa-Libya, Şeyh Ali Al-Qalawi Lisesi.

B.Sc : Tripoli Üniversitesi, Libya, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.

### Mesleki Deneyim

İş Yeri : (Elektrik Santrali Mühendisi) Libya Genel Elektrik Şirketi'nde.