

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALLERİNDE ENERJİ KAYBI VE
VERİMLİLİK ENTEGRASYONU

Metin SÜLÜ

Danışman: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ANABİLİM DALI

Haziran, 2019

KİLİS

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU danışmanlığında, **Metin SÜLÜ** tarafından hazırlanan “**FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALLERİNDE ENERJİ KAYBI VE VERİMLİLİK ENTEGRASYONU**” adlı tez çalışması/...../20.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı Soyadı	İmza
	(Kurumu)	
Başkan	Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniv. Elektrik Elektronik Mühendisliği)	
Üye	Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Elektrik Elektronik Mühendisliği)	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi M. Mikail ÖZÇİLOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniv. Elektrik Elektronik Mühendisliği)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

ONAY

..../....2019

ÜNVANI ADI SOYADI

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEDE

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALLERİNDE ENERJİ KAYBI VE VERİMLİLİK ENTEGRASYONU

Metin SÜLÜ

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Yıl: 2019 Sayfa: 78

Bu çalışmada “Fotovoltaik Güç Santrallerinde Enerji Kaybı ve Verimlilik Entegrasyonu” konusu ele alınmıştır. Fotovoltaik güç santrallerinde enerji kaybına neden olan faktörler irdelenerek verimlilik adı altında sistemin performansı, yaşam ömrü ve ürettiği enerji miktarını etkileyen parametreler incelenmiştir. Bunların sisteme olan etkileri ortaya konularak, güneş pillerinin eş değer devresi çıkartılıp nasıl elektrik ürettikleri açıklanmış ve verimlilikleri analiz edilmiştir.

Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğüne bağlı Gaziantep İli, Şehitkamil İlçesi, İncesu Köyünde bulunan 103 ada ve 277 parsel numaralı arazinin yaklaşık 18.000 m² alanında elektrik üretimi için kurulmuş olan 1080 kWp/1000kW kapasiteli fotovoltaik güç santralinin PVsyst 6.3.9 simülasyon programı ile sistemin performans analizleri yapılarak optimizasyon yönünden tasarım şartları belirlenmiştir. Ayrıca güç santralinin 1 yıllık enerji üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik güneş enerjisi santralleri, sistem performans oranı, enerji verimi, solar enerji, PVsyst.

ABSTRACT

Msc. Thesis

ENERGY LOSS AND PRODUCTIVITY INTEGRATION IN PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

Metin SÜLÜ

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics Engineering

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Year: 2019 Pages: 78

In this study, “Energy Loss and Efficiency Integration in Photovoltaic Power Plants is discussed. Through the examination of the factors that cause energy loss in photovoltaic power plants, the most important parameters which affect the performance, life cycle and energy amount of the system under the name of efficiency have been examined. The effects of these parameters on the system have been revealed and equivalent values of solar cells are extracted in order to explain the production of electricity and to compare its efficiency.

Gaziantep Water and Sewerage Administration General Directorate of Gaziantep, Şehitkamil District, İncesu Village in the area of 103 island and 277 parcel numbered land in an area of 18.000 m^2 electricity generation established 1080 kW_p/1000 kW capacity photovoltaic power plant PVsyst simulation program with the system performance analyzes were determined and design conditions were determined for performance optimization. In addition, the power generation values of the power plant for a year were compared with the simulation results.

Keywords: Photovoltaic solar power plants, system performance rate, energy efficiency, solar energy, PVsyst.

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşıp bana yol gösteren, her daim yanımda olduğunu hissettiğim, yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman için esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU'na en kalbi duygular ile teşekkürlerimi sunarım.

Hazırladığım çalışmalarda, karşılaştığım problemlerin çözülmesinde destek veren hocam Arş. Gör. Habip Yusuf HASIRCI'ya destekleri için teşekkür ederim.

Çalışmalarımdaki sorunların çözümünde yardımlarını esirgemeyen Solartürk Enerji Firması Müdürü Sayın Ahmet SÜLÜ'ye desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreç boyunca yanımda olan, manevi desteklerini esirgemeyen ve çalışmalarımın dolaylı ihmal ettiğim arkadaşlarıma anlayışlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında bana maddi-manevi destek olan, büyük bir sabır ve anlayışla beni bugünlere getiren, bütün sıkıntılarında yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Metin SÜLÜ

Kilis, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
1. Simgeler	vii
2.Kısaltmalar.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
BİRİNCİ BÖLÜM.....	1
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Durumu.....	1
1.2. Amaç.....	2
İKİNCİ BÖLÜM.....	3
2. MATERYAL VE METOD	3
2.1. Tipik Bir Güneş Pilinin Yapısı.....	3
2.2. Güneş Pili Hücrelerinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli.....	6
2.3. Fotovoltaik Güneş Panellerinin Çalışma İlkesi.....	9
2.4. Kristal Silikon Piller	11
2.4.1 Monokristal Güneş Paneli (c-Si, SIN)	12
2.4.2 Polikristal Güneş Paneli (Poly-Si)	13
2.5 İnce Film Güneş Panelleri	13
2.5.1 Amorf Silisyum Güneş Hücresi (a-Si)	14
2.5.2 Kadminyum Tellür Güneş Pilleri (Cd-Te)	15
2.5.3 Bakır İndiyum Diselenit Güneş Pilleri (CIS)	15
2.5.4 Diğer	15
2.6. Güneş Panellerinin Verimi	15
2.6.1 Verimlilik	15
2.6.2 Fill (Doluluk) Faktörü (FF)	15
2.6.3 Kuantum Verimliliği	19
2.7 FV Verimlilik Oranları	20
2.8. Verimliliğe Etki Eden Parametreler	22
2.8.1 Güneş Işıma Faktörü	22

2.8.2 Sıcaklık, Nem	24
2.8.3 Rüzgâr Yönü Ve Hızı	29
2.8.4 Hava Kirliliği, Güneş Panel Yüzeyinin Temizliği	29
2.8.5 MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçi) Etkisi	30
2.8.6 Yansıma Kayıpları	30
2.8.7 Spektral Etken	30
2.8.8 Uyumsuzluk (Mismatch) Kayıpları	31
2.9 Gaziantep Su Ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (GASKİ) Güneş Enerjisi	
Santralinin PVsyst Simülasyon Programına Göre Verim ve Kayıp Analizi	31
2.9.1 Coğrafi Konum	32
2.9.2 Gaziantep İklimi	32
2.9.3 Gaziantep İli Güneş Radyasyon Değerleri	34
2.9.4 Santralin Teknik Özellikleri	39
2.9.4.1 Fotovoltaik Panel	42
2.9.4.2 İnverterler	42
2.9.4.3 Güneş Enerji Santrali İzleme Programı	44
2.10 Sistem Performans Oranı (SPO)	46
2.11 PVsyst Programı	47
2.11.1 PVsyst Simülasyon Programının Çalıştırılma Aşamaları	47
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	61
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
3.1 PVsyst Simülasyon programına göre Performans Analizi	61
3.2 PVsyst Simülasyon Programı Sonuçlarının ve Tesisten Elde Edilen Verilerin	
Karşılaştırılması.....	63
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	70
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
BEŞİNCİ BÖLÜM.....	72
5. KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER ve KISALTMALAR

1. Simgeler

A_a	: Pilin ışığı gören etkin alanı, [cm^2]
B	: İdealleştirme faktörü, [1,92]
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
cm	: Santimetre
E_{ac}	: Elektrik enerjisinin belirli bir zamanda üretilen kWh değeri
E_{G0}	: Silikon için bant genişliği
G	: Işınım değeri, [kWh]
H	: Belirlenen zaman içerisindeki güneş panellerinin üzerine düşen küresel ışınım değeri, [kWh/m^2]
I_0	: Güneş pili ters doyum akımı
I_{0R}	: Referans sıcaklığında güneş pili doyum akımı
I_g	: Güneş pili çıkış akımı
I_{kd}	: Kısa Devre Akımı
I_L	: Fotovoltaik akım
I_{mp}	: Maksimum güç akımı
I_{sat}	: Diyot akımı
I_{stk}	: Standart test koşullarındaki gün ışığı radyasyon değeri, [$1 \text{ kWp}/\text{m}^2$]
k	: Boltzman sabiti, [$1.380 \cdot 10^{-23} \text{ Joule}/\text{K}$]
K_1	: Kısa devre sıcaklık katsayısı, [$\text{A} / ^{\circ}\text{C}=0,0017$]
kWh	: Kilowatt saat
m^2	: Metrekare
mA	: Miliamper
MWp	: Megawatt peak
n	: İdealleştirme faktörü, [1,92]
nm	: Nanometre

η_Q	: Kuantum verimi
P_{ζ}	: Güneş paneli çıkış gücü
P_{in}	: Güneş paneli giriş gücü
P_m	: Güneş panelinin maksimum çıkışı,
P_{max}	: Maksimum güç
$P_{m,STK}$: Panelin standart test koşullarında sağlayacağı maksimum çıkış gücü
P_{nom}	: Sistemin kWp cinsinden toplam gücü
$\% P_{kayıp}$: Yüzde güç kaybı
R_p	: Şönt direnci
R_s	: Seri direnç
SiO_2	: Silisyum dioksit
T	: Güneş pili sıcaklığı, [°C]
ΔT	: Sıcaklık değişimi, [°C]
T_a	: Ortam sıcaklığı, [°C]
T_c	: Hücre sıcaklığı, [°C]
T_{NOCT}	: Panel kataloğunda belirtilen NOCT değeri, [°C]
T_R	: Referans sıcaklık, [301,18°K]
T_{STK}	: Standart test koşullarındaki sıcaklık değeri, [25°C]
Γ	: Pili aydınlatan foton akısı
V_{ad}	: Açık devre voltajı
V_g	: Güneş pili gerilimi
V_{mp}	: Maksimum güç voltajı
W_p	: Watt peak
q	: Elektrik yükü, [1.602*10 ⁻¹⁹ Coulomb]
μ	: Sıcaklık katsayısı, [% / °C]
μm	: Mikrometre

η : Güneş pilinin verimi
 λ : Solar aydınlanma, [W/m²]

2. Kısaltmalar

c-Si, SIN : Monokristal
CdTe : Kadmiyum tellür
CIS : Bakır iridyum diselenid
DC : Doğru akım
DM : Dağıtım merkezi
DSİ : Devlet su işleri
a-Si : Amorf silisyum
EİE : Elektrik işleri etüt idaresi
ENH : Enerji Nakil Hattı
FF : Fill (Doluluk) Faktörü
FV : Fotovoltaik
GASKİ : Gaziantep Su Ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES : Güneş Enerjisi Santrali
MPPT : Maksimum Güç Noktası Takipçi
NOCT : Nominal işletim hücre sıcaklığı, [°C]
PERC : Pasif verici ve arka kontak
Poly-Si : Polikristal güneş panelleri
SPO : Sistem Performans Oranı
STK : Standart test koşulları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hücrelerden modül, panel ve dizi oluşumu	3
Şekil 2.2. PN eklemine oluşturulması	4
Şekil 2.3. Tipik bir güneş pilinin şeması	5
Şekil 2.4. PERC solar hücresi	6
Şekil 2.5. Güneş hücresinin elektriksel eşdeğer devre modeli	7
Şekil 2.6. İdeal bir güneş pilinin elektriksel eşdeğer devresinin gösterimi	8
Şekil 2.7. Güneş pilinin çalışma ilkesi	10
Şekil 2.8. Silikon güneş pili çeşitleri ve 1 kWp güç için gereken alan gereksinimi	12
Şekil 2.9. Kuantum veriminin dalga boyuna bağlı değişimi.....	19
Şekil 2.10. Kristal yapılu bir güneş paneli veriminin yıllara göre değişimi	21
Şekil 2.11. Çeşitli PV üretim teknolojileri verim karşılaştırma tablosu	22
Şekil 2.12. Güneş ışınımının kristal silisyum güneş panel üzerindeki I-V üzerine etkisi...23	
Şekil 2.13. Güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) etkisi	23
Şekil 2.14. 50°C çevre sıcaklığı altındaki güneş panellerinin çıkış gücü ve kayıpları....28	
Şekil 2.15. Farklı sıcaklık altındaki fv modülün güç ve gerilim karakteristik eğrisi	29
Şekil 2.16. Santral alanı	32
Şekil 2.17. Gaziantep ili difüz radyasyon değerleri (kWh/m ² yıl)	34
Şekil 2.18. Gaziantep ili direkt radyasyon değerleri (kWh/m ² yıl)	35
Şekil 2.19. Gaziantep ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² yıl)	35
Şekil 2.20. Gaziantep ili güneşlenme süresi (saat)	36
Şekil 2.21. Gaziantep ili aylara göre güneş ışınım süresini gösteren grafik	36
Şekil 2.22. Gaziantep ili aylara göre global güneş radyasyon değerlerini gösteren grafik	37
Şekil 2.23. Gaziantep ili güneş enerji potansiyeli	37

Şekil 2.24. Santralin kurulduğu Şehitkamil İlçesinin global radyasyon değerleri (kW/m ² yıl)	38
Şekil 2.25. Santralin kurulduğu Şehitkamil İlçesinin güneşlenme süreleri (saat)	38
Şekil 2.26. Gaziantep’te farklı fv tipleri ile farklı alan büyüklüklerinde üretilebilecek enerji miktarı (kWh-yıl)	39
Şekil 2.27. Santralin yerleşim planı	40
Şekil 2.28. İncelenen santralin genel konfigirasyonu	43
Şekil 2.29. Sems portal programında bir günlük enerji üretimini gösteren grafik	44
Şekil 2.30. Sems portal programında aylık olarak enerji üretimini gösteren grafik	45
Şekil 2.31 Sems portal programında günlük olarak bir invertere ait enerji üretimini gösteren grafik	45
Şekil 2.32. PVsyst programı aşama 1	47
Şekil 2.33. PVsyst programı aşama 2	48
Şekil 2.34. PVsyst programı aşama 3	49
Şekil 2.35. PVsyst programı aşama 4	49
Şekil 2.36. PVsyst programı aşama 5	50
Şekil 2.37. PVsyst programı aşama 6	51
Şekil 2.38. PVsyst programı aşama 7	52
Şekil 2.39. PVsyst programı aşama 8	53
Şekil 2.40. PVsyst programı aşama 9	54
Şekil 2.41. PVsyst programı aşama 10	55
Şekil 2.42. PVsyst programı aşama 11	56
Şekil 2.43. PVsyst programı aşama 12	57
Şekil 2.44. PVsyst programı aşama 13	58
Şekil 2.45. PVsyst programı aşama 14	58
Şekil 2.46. PVsyst programı aşama 15	59

Şekil 2.47. PVsyst programı aşama 16	59
Şekil 2.48. PVsyst programı aşama 17	60
Şekil 3.1. PVsyst simülasyon programına göre incelenen santrale ait kayıp diyagramı	61
Şekil 3.2. Pvsyst programına göre GASKİ güneş enerji santralinin SPO'nun aylara göre değişimi.....	63
Şekil 3.3. Tesisten alınan verilere göre GASKİ güneş enerji santralin SPO'nun aylara göre değişimi	64
Şekil 3.4. Tesisin performans oranının sıcaklığa bağlı olarak aylar içindeki değişimi ..	65
Şekil 3.5. Aylara göre ışıınım ve PVsyst SPO karşılaştırılması	67
Şekil 3.6. Aylara göre ışıınım ve tesisin SPO karşılaştırılması	67
Şekil 3.7. Aylara göre ışıınım ve PVsyst'te üretilen toplam enerji miktarları	68
Şekil 3.8. Aylara göre ışıınım ve incelenen tesiste üretilen toplam enerji miktarları	68
Şekil 3.9. PVsyst ile tesiste üretilen enerji miktarlarının aylara göre karşılaştırılması ..	69

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. 270 Wp polikristal panelin elektriksel ve mekaniksel özellikleri.....	17
Tablo 2.2. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu	17
Tablo 2.3. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu	18
Tablo 2.4. 280 Wp monokristal güneş panelinin elektriksel özellikleri	25
Tablo 2.5. 280 Wp polikristal güneş panelinin elektriksel özellikleri	26
Tablo 2.6. CIGS ince film güneş panelin elektriksel özellikleri	27
Tablo 2.7. Uzun yıllar içerisinde gerçekleşen meteoroloji genel müdürlüğünün iklim istatistikleri	33
Tablo 2.8. Santralde kullanılan güneş paneline ait elektriksel özellikler	42
Tablo 2.9. Santralde kullanılan dizi inverterlere ait elektriksel özellikler	42
Tablo 3.1. SPO'nun tablosal karşılaştırılması	64
Tablo 3.2. Aylara göre elde edilen ışınım ve enerji üretim değerleri	66

RESİMLER DİZİNİ

- Resim 2.1** GASKİ güneş enerji santralının yandan görünümü41
- Resim 2.2.** Kurulumu tamamlanmış olan santralin üstten görünümü41



BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Durumu

Ülkelerin sanayi devrimiyle birlikte başlayan ekonomik kalkınma yarışı, teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, insanların daha konforlu yaşam arzusu gibi nedenlerden dolayı özellikle son 50 yılda enerji tüketimi hızla artmıştır. Bu enerji tüketimleri çeşitli enerji üretim arayışlarına, dolayısıyla yeni enerji üretim tesislerinin kurulma ihtiyacını doğurmuştur.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) den alınan verilere göre Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınlama şiddeti 1.311 kWh/m²/yıl (günlük toplam 3.6 kWh/ m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla ülkemiz yıl boyunca sürekli güneşlenme ve yoğun ışımaya altında olduğu için Fotovoltaik (FV) güneş elektrik santralleri bu enerji ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir enerji üretim kaynağı olarak görülebilir. Çünkü ham maddesini hem doğanın kendisinde bulunan güneşten elde etmek ve hem de güneş bakımından oldukça zengin ülkemizde bu sitemleri yaygınlaştırıp enerji üretmek, enerjideki dışa bağımlılığımızı da büyük ölçüde azaltacaktır. Ancak bu güneş enerji santrallerinin kurulması için iyi bir fizibilite çalışmasının yapılmasını gerektirmektedir.

Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) 20 ile 30 yıl arasında ekonomik ömürlerinin olduğu kabul edilmektedir. Yatırım planları yapılırken bu ekonomik ömürleri göz önüne alınmalıdır. Bu süre boyunca sistemdeki çok küçük verim düşüşleri yıllar sonunda büyük kayıplar oluşturmaktadır.

GES verimliliğini üretilen enerjideki kayıplar belirler. Sistemdeki bu kayıplar minimize edilip sistemin verimi artırılarak yatırımın amortisman süresi azaltılır. Amortisman süresinin kısılması ise yatırımcıyı teşvik eden çok önemli bir unsurdur. Dolayısıyla bu yatırımlar enerji ihtiyacının bitmediği bu yaşam diliminde ülke ekonomisine de büyük oranda katkı sağlayacaktır.

FV santrallerindeki kayıplar; yüksek güneş ışınımı değerleri, güneş açısı, rüzgâr yönü ve hızı, sıcaklık, nem, hava kirliliği, güneş panelinin yüzeyinin temizliği, kullanılan FV panelin yarı iletken yapısı ve FV verimlilik oranı, elverişli arazilerin varlığı gibi bir çok faktöre bağlıdır ve kurulacak sistemin analizi iyi yapılmalıdır. Bu parametrelerin karakteristik özelliklerini bilmeden sisteme etkilerini minimize etmek veya ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu faktörler göz önüne alınarak, güneş hücrelerinden (pilleri) üretilen elektrik enerjisinin kalitesi önemli ölçüde artırılabilir.

1.2. Amaç

Bu çalışmada amaç, fotovoltaik güç santrallerinde enerji kaybına neden olan faktörleri irdeleyerek verimlilik adı altında sistemin performansı, yaşam ömrü ve ürettiği enerji miktarını etkileyen en önemli parametreler incelenip, FV enerji üretim santrallerinde kayıp ve verimlilik entegrasyonu gerçekleştirmektir. İlk bölümde güneş pillerinin eş devresi çıkartılıp nasıl elektrik ürettiği açıklanmıştır. Daha sonra güneş pilleri gruplandırılıp, özellikleri açıklanıp, verimlilikleri kıyaslanmıştır. Takip eden bölümde 1 MWp fotovoltaik güç sisteminde kayıp ve verimliliğe etki eden faktörler olan maksimum güç noktası izleme (MPPT), sıcaklığın etkisi, FV panel yerleşimi, uyumsuzluk (mismatch) kayıpları, arazi kullanımı ve gölgeden kaçınma, rüzgâr hızı, hava kirliliği, güneş panel yüzeyinin temizliği, sistem verimliliği, performans oranı vb. olacak şekilde gruplandırılarak her biri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Daha önce Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi (GASKİ) Genel Müdürlüğüne bağlı olarak kurulmuş olan 1080/1000 kWp kapasiteli fotovoltaik güç santrali PVsyst simülasyon programı ile incelenip performans analizleri ortaya konulmuştur. FV güç tesisinde oluşan kayıplar ortaya konulup açıklanmıştır. Son olarak ise kullanılan panellerin üretim performansının simülasyon çıktılarını karşılayıp karşılamadığı belirlenip farklılıklar oluşmuş ise bu farkların minimizasyonu için yapılması gerekenlerin analizi yapılmıştır. Araştırmadan sonra konular tartışılıp sonuç çıkarılmış ve performansı yüksek tutmak için gerekli önlemler önerilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

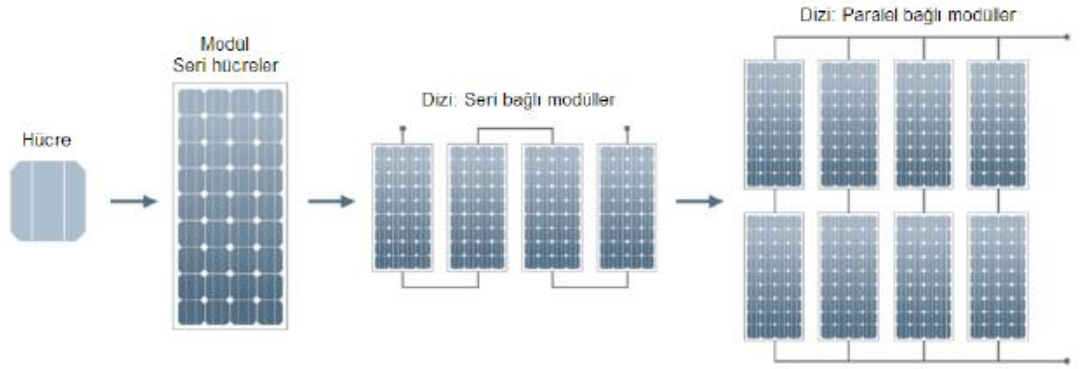
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Tipik Bir Güneş Pili'nin Yapısı

Güneş pilleri özellikle piyasada en yaygın olan silisyumun, kalınlıkları 0.2 – 0.4 mm arasında değişen, yüzeylerine düşen güneş fotonlarını doğrudan elektrik enerjisine (DC) dönüştüren yarı iletken maddelerdir.

Güneş pilleri ışığa maruz kaldığı zaman yarı iletken içindeki elektronlar fotonları absorbe eder ve uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Metrekare başına en fazla 1000 W olarak kabul edilen ışınım şiddeti ile güneş pilinin yapısına göre % 5 - % 70 arasında bir verim ile fotovoltaik ilkeye dayalı olarak her türlü ışık altında elektrik enerjisi elde edilir ve bir dış devreye bağlanırsa devreden akım geçer.

Güneş pilleri çıkışında istenilen güç değerini elde etmek için piller birbirlerine paralel bağlanarak gerilimi, seri bağlanarak akımı artırırılar. Bu bağlanma sonucu Şekil 2.1'de gösterildiği gibi piller modülleri, modüller panelleri, paneller ise fotovoltaik dizileri oluştururlar [1].



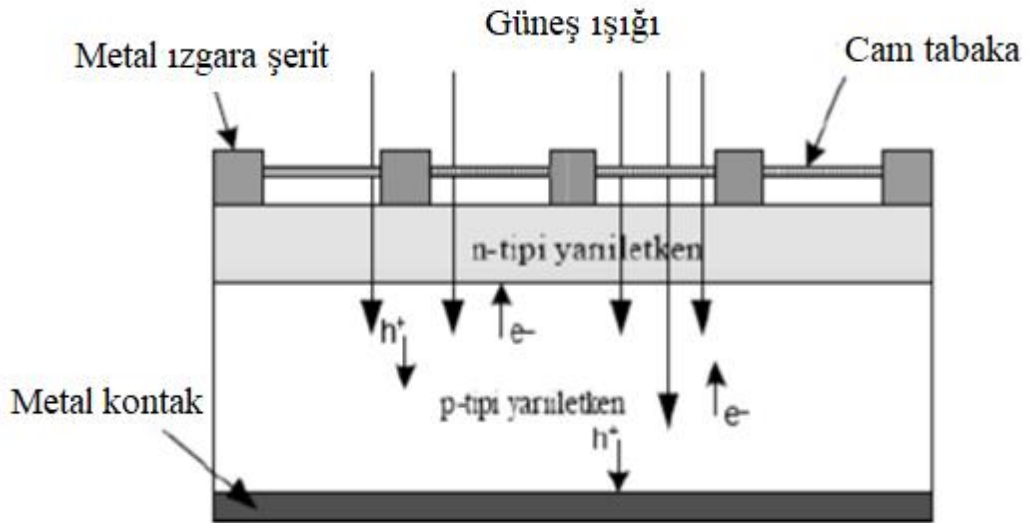
Şekil 2.1. Hücrelerden modül, panel ve dizi oluşumu

Tipik bir güneş pili 0.5 Volt kadar elektrik üretebilir. Daha fazla çıkış voltajı oluşturmak için ortalama 30 – 36 adet güneş pili, 15 – 17 voltluk gerilim ele edebilmek için bağlanabilir ve bu da 12 voltluk aküyü şarj etmek için yeterlidir [2].

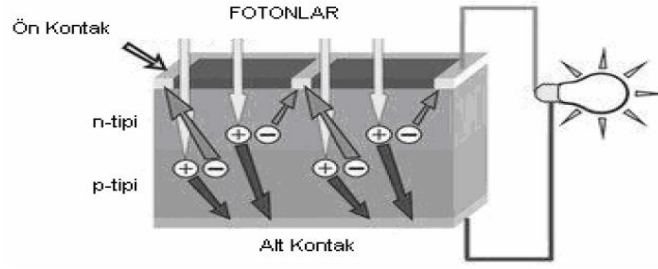
Solar hücreler genel olarak bir yarı iletkende P-N birleşim alanları oluşturularak meydana gelir. Tipik bir P-N birleşim bölgesi güneş pili Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

5 temel bileşeni vardır. Yansıtıcı önleyici katman, ön kontak, n katmanı, p katmanı, arka kontak [3]. Tipik bir güneş pili ise Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

n ve p katmanı : Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında elektrik alanının oluştuğu bir yapı bulunur ve bu yapı n ve p katmanı olan iki farklı katmandan oluşur. Silisyuma fosfor atomlarının eklenmesiyle n katmanı, bor atomlarının eklenmesiyle p katmanı oluşur. İlk aydınlatılan katman n katmanı, genel olarak p katmanından daha ince ve ağır katkılanır. Bir güneş hücresindeki ışık emiliminin çoğu, daha kalın ve hafif katkılı olan p katmanında olur. Düşük katkılama daha yüksek difüzyon (yayılma) katsayılı olmasını ve azınlık taşıyıcıların daha fazla ömürlü olmasını sağlar bu da taşıyıcı yayılım uzunluğunu artırır. Ancak, katkılama çok düşük olduğunda, cihaz performansını önemli ölçüde bozabilecek karanlık akımı arttıracaktır. P ve n birleşimi olduğunda n tipi elektronlar p katmanına doğru akar ve yük dengesi her iki tarafta da sağlanana kadar bu yük akışları devam eder. PN tabakalarının birleştiği eklem bölgesinde, p bölgesine yakın kısımda negatif verici iyonlar, n bölgesine yakın kısımda pozitif alıcı iyonlar birikir. PN tabakalarının birleştiği eklem bölgesi “geçiş bölgesi” ya da “yükten arındırılmış bölge” olarak adlandırılır [4].



Şekil 2.2. PN ekleminin oluşturulması



Şekil 2.3. Tipik bir güneş pilinin şeması

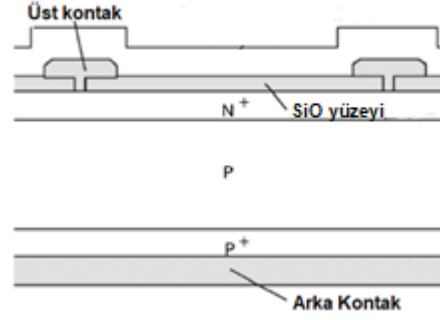
Ön kontak : Pilin üst kısmında bulunan ön kontak genellikle bakırdan yapıлып, pil tarafından üretilen akımı toplar. Negatif kontak görevi görür.

Arka kontak : Elektronların hücrenin arka yüzeyinde girdiği kısımdır. Pozitif kontak görevi görür.

Yansımayı önleyici katman (Cam tabaka) : Kontakların altında 150 nm kalınlığında olan yansımayı önleyici katman bulunur. Bu katmanın olmaması halinde silisyum üzerine düşen ışınımın yaklaşık 1/3'ü geri yansır [5].

Güneş pili teknolojisi her zaman gelişmektedir. Geleneksel güneş panellerinin yanı sıra yeni bir yöntem ile PERC (Pasif verici ve arka kontak) güneş pilleri de üretilmektedir. Bir PERC güneş pili, çekirdeğinde daha verimli bir güneş pili'dir. PERC güneş pillerinden üretilen güneş panelleri, hem düşük ışık koşullarında hem de yüksek sıcaklıklarda geleneksel panellerden daha iyi performans gösterir. PERC teknolojisi geleneksel güneş pillerinin arkasına bir tabaka ilavesiyle verimliliği artırır. PERC hücreleri ve tipik monokristal hücreler arasındaki temel fark, hücre verimliliğini artıran üç ana fayda sağlayan, hücrelerin arkasındaki bir malzeme tabakası olan bir arka yüzey pasivasyon tabakasının entegrasyonudur. Bu tabaka ile toplam verimliliği artırmanın birinci yolu; hücre içinden ışığın geri yansımalarını sağlamaktır. Yani silikon hücresinden tekrar silikon içine alınmadan geçen ve güneş hücresine ikinci bir emme girişimi veren ışığı yansıtır. Işık bu yansıması, daha fazla gelen güneş ışığının silikon hücresi tarafından absorbe edileceği ve böylece hücrenin daha verimli hale geleceği anlamına gelir. İkinci faydası elektronların solar hücre boyunca serbest hareketinde bir tıkanmaya neden olan elektron rekombinasyonunu azaltmaktır. Üçüncü faydası ise belli ışık dalga

boylarının yansımadır. Bir güneş hücresindeki bir silikon plaka 1180 nanometreye (nm) kadar dalga boylarında ışığı emebilir ve daha yüksek dalga boylu ışık dalgaları silikondan geçer ve güneş panelinin metal arka levhası tarafından emilerek ısı oluşturur. Güneş panelleri ısıtıldıklarında verimleri düşer. PERC güneş panellerindeki arka yüzey pasivasyon tabakası, 1180 nm'nin üzerinde bir dalga boyuna sahip ışığı yansıtarak güneş hücresindeki ısı enerjisini azaltır ve sonuç olarak verimliliği artırır [6].



Şekil 2.4. PERC solar hücresi [7]

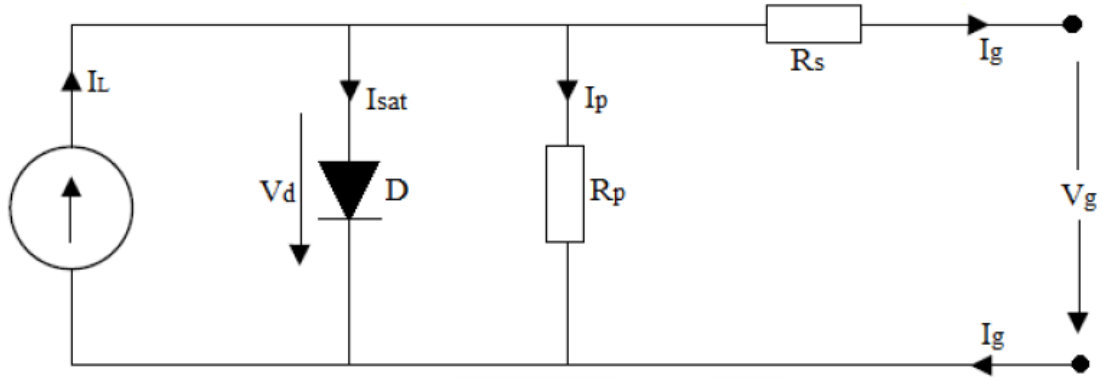
Bir PERC hücresinin yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir. PERC hücresini üretmek için iki adım gerekir. Birincisi, arka yüzey pasivasyon tabakasının uygulanması ikincisi ise pasivasyon katmanında küçük cepler açmak için lazer/kimyasal dağlama. Bu iki adım önemli bir maliyet katmaz ve sonuçta daha verimli bir hücre elde edilir [8].

2.2. Güneş Pili Hücrelerinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli

Bir güneş pili; güneş ışınımının sonucunda oluşan fotonların meydana getirdiği akımı geçirecek durumda olan bir diyot üzerine, paralel bağlı, sabit bir akım kaynağı gibi davranır ve dolayısıyla güneş pilinin elektrik üretimi, bir akım kaynağı ile gösterimi yapılır. Güneş pilinde oluşan akım, üzerine düşen ışınım miktarı ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır.

Yarıiletken malzeme olan güneş pili diyotla sembolize edilir. PN ekleminde oluşan enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar, güneş pili verimini doğrudan etkileyen seri direnç ile gösterilir [9].

Standart koşullarda, (ışınım 1000 W / m^2 , sıcaklık 25°C) tipik elektriksel değerleri; Kısa Devre Akım Yoğunluğu olarak $I_{kd}=30 - 40 \text{ mA/cm}^2$ ve Açık Devre Gerilimi olarak da $V_{ad}=0,5 - 0,6 \text{ V}$ dir. Şekil 2.5'te bir güneş pilinin eş değer devre modeli gösterilmektedir [10].



Şekil 2.5. Güneş hücrenin elektriksel eşdeğer devre modeli

Bir güneş pilinden geçen akım sıfır olması durumunda pilin uçlarında oluşan gerilim açık devre gerilimi (V_{ad})'dir. Sıfır gerilim ve aydınlatma altında geçen akım ise pilin kısa devre akımı (I_{kd})'dir. Güneş panelindeki seri direnç etkileri ihmal edildiği ideal durumda bu akım, ışıkla oluşan akıma eşit olup ışığa şiddetine bağlıdır [11]. İdeal bir güneş pilinde ($R_s=0, R_p \rightarrow \infty$), kısa devre olma durumunda ($V_d = 0$), pilin kısa devre akımı I_{kd} , I_L akımına eşit olur ve

$$I_{kd} = I_L \quad (2.2.1)$$

bağıntısı ile gösterilir.

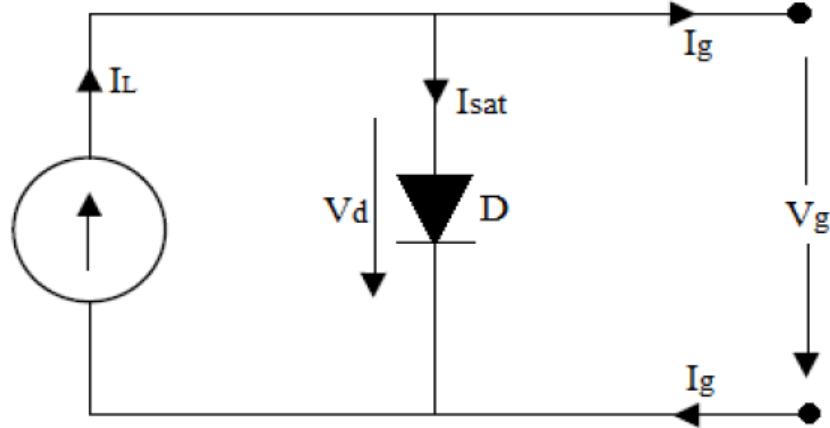
Bir güneş pilinin ucuna RL yükü bağlanırsa ve $RL \rightarrow \infty$ olması durumunda içinden geçen akım sıfır olacağından V_{ad} açık devre gerilimi, matematiksel olarak,

$$V_{ad} = \left(\frac{n \cdot k \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right) \quad (2.2.2)$$

bağıntısı ile bulunur.

PN eklem bölgesinde oluşan kristaldeki boşluklar ve istenmeyen yabancı maddeler I_0 'ın (karanlık doyum akımı) artmasına sebep olur. Açık devre voltajı olan V_{ad} , fotovoltajik elektromotor kuvvetine (emk) eşittir ve bu emk, yarı iletken materyalin yasak enerji

aralığının ve şönt direncinin artması ile artar; I_0 akımının ve sıcaklığın artması ile azalır. İdeal bir güneş hücresinin elektriksel eş değer devresi ise Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İdeal bir güneş pilinin elektriksel eşdeğer devresinin gösterimi

Güneş paneli üzerine düşen ışık radyasyonu ile fotovoltaik akım (I_L) doğru orantılıdır. Bu akım;

$$I_L = [I_{kd} + K_1(T-25)] \lambda / 100 \quad (2.2.3)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada; I_{kd} , 25°C ve 1000 W/m² 'deki kısa devre akımı, K_1 , kısa devre sıcaklık katsayısı (A / °C=0,0017), T, güneş pili Sıcaklığı (°C), λ , W/m²'deki solar aydınlanmadır.

Işığın olmadığı zaman diyodun sızma akımının yoğunluğu olan ters doyum akımı I_0 ;

$$I_0 = I_{0R} \left(\frac{T}{T_R} \right)^3 \cdot \exp \left[\frac{q \cdot E_{G0}}{B} \left(\frac{1}{T_R} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.2.4)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada I_{0R} ; T_R referans sıcaklığında güneş pili doyum akımı, T_R ; referans sıcaklık=301,18°K, q; Elektrik yükü (1.602*10⁻¹⁹ Coulomb), E_{G0} ; Silikon için bant genişliği, B; İdealleştirme faktörü =1,92 'dir.

Gerilime ve sızıntı akımına (ters doyum akımı) I_0 'a bağlı olan Diyot akımı I_{sat} ;

$$I_{sat} = I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (2.2.5)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada I_0 ; güneş pili ters doyum akımı, n; İdealleştirme faktörü =1,92 , k; boltzman sabiti (1.380*10⁻²³ Joule/K.)'dir.

Paralel kol direncindeki eklem gerilimi etkisi ile ortaya çıkan I_p ;

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V_g + I_g \cdot R_s}{R_p} \quad (2.2.6)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada R_p , şönt direnci, I_g ve V_g ; güneş pili çıkış akım ve gerilimi, R_s ; seri direncini göstermektedir. Paralel kol direnci R_p , N ve P eklemleri boyunca akan elektronlara bağlı olarak ortaya çıkan kaybı belirler.

Hücreden akan çıkış akımı;

$$I_g = I_L - I_{sat} - I_p \quad (2.2.7)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Seri direnç R_s , yarı iletken direncine, opak elektrot direncine ve bağlantı kayıplarından dolayı ortaya çıkar ve aşağıdaki gibi ifade edilen V_g gerilim düşümüne sebep olur. V_g ;

$$V_g = V_d - I \cdot R_s \quad (2.2.8)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Denklem (2.2.5) ve (2.2.6), denklem (2.2.7)' de yerine konular ise hücreden çıkan çıkış akımı I_g ;

$$I_g = I_L - I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{q(V_g + I_g \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{V_g + I_g \cdot R_s}{R_p} \quad (2.2.9)$$

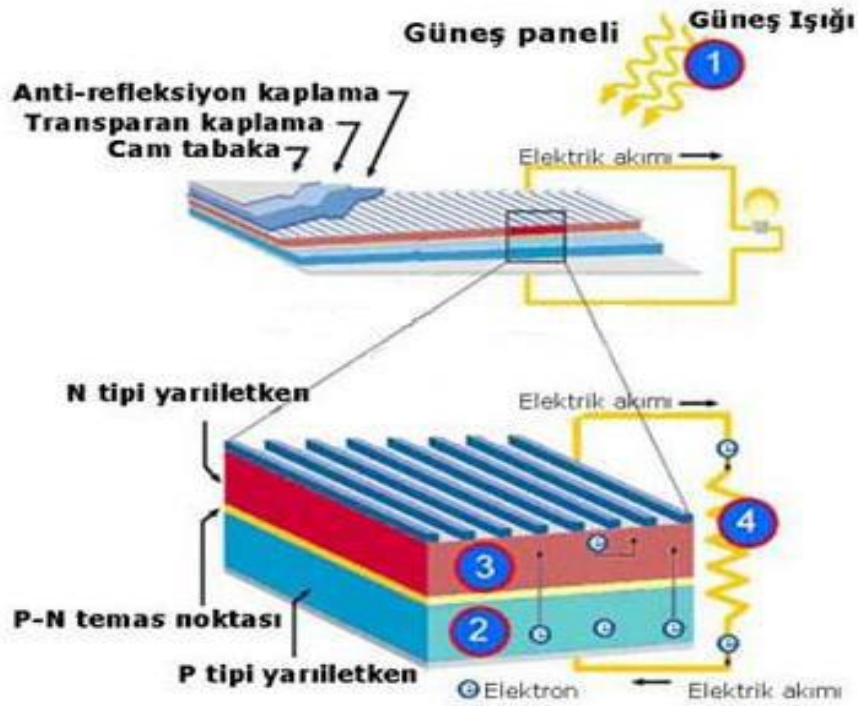
denklemleri ile tek bir hücre için genel bir matematiksel model elde edilir. Paralel direnç R_p çok büyük olduğu için genel olarak sonsuz kabul edilir. Hücre sıcaklığı solar radyasyon yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi çevre şartlarından etkilenir. Bu faktörlerin tamamı güneş hücresindeki ısı transferine etki ederler [9,12,13].

2.3. Fotovoltaik Güneş Panellerinin Çalışma İlkesi

Güneş pilinin yapısında piyasada yaygın olarak bulunan daha çok silisyum maddesi kullanılmaktadır. Silisyumun son yörüngesinde 4 elektron bulunur ve periyodik cetvelin 5. grubundan bir element eklenmesiyle n tipi silisyum elde edilir. Son yörüngesinde 5 elektron bulunan bu element genellikle fosfor atomudur ve silisyum atomuna fazla olan bir elektronunu vererek kristal yapı oluşturur. Bu sebeple 5. grup elementlerine n tipi madde denir.

Son yörüngesinde 3 elektrona sahip periyodik tablonun 3. grup elementleri kullanılırsa, p tipi silisyum elde edilir ve bu periyottaki elementler 3 elektron bulundurduğundan dolayı hol ya da boşluk olarak adlandırılan kristal yapı içinde elektron eksikliğine neden olurlar. Günümüzde ise daha çok bor atomu kullanılmaktadır. Pozitif yük taşıdığı varsayılan bu tür maddelere ise p tipi madde denir [14].

Yarı iletkenler, PN eklemine oluşturulmasıyla “valans bandı” ve “iletkenlik bandı” olarak adlandırılan ve yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşurlar. Yarı iletken tarafından soğurulan, yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar ve böylece elektron-hol çiftleri oluşmuş olur. Bu durum p-n bölgesi ara yüzeyinde oluşmuş ise elektron-boşluk çiftleri burada bulunan elektrik alanın etki etmesi sonucu ayrılır ve elektronlar n katmanına, boşluklar ise p katmanına doğru hareket eder. Bir pompa gibi bu şekilde çalışan güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluşur ve bu süreç yeterli enerjiye sahip fotonların yarı iletken tarafından soğurulmasıyla devam eder. Ancak gerekli elektrik alan oluşmaz ise elektron-hol çiftleri birleşerek kaybolmaktadır [15-16].



Şekil 2.7. Güneş pilinin çalışma ilkesi


Güneş pilinin çalışması şematik olarak gösterilen Şekil 2.7’de numaralandırılmış kısımlarda sırasıyla şu olaylar meydana gelmektedir.

- 1) Güneş ışığı tarafından gelen foton güneş pili üzerine düşer ve bu güneş pili tarafından soğurulur. Fotovoltaik hücre içerisinde elektronun fazla olduğu p tipi ve az olduğu n tipi yarıiletken madde bulunur.
- 2) Güneş pili üzerine düşen milyonlarca foton, p tipi yarıiletken maddeden elektron koparır.
- 3) Enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkan elektronlar n tipi yarıiletken maddeye doğru akarlar.
- 4) Akışın tek yönlü olduğu elektronlar doğru akımı oluşturur ve oradan da pil dışına çıkarak bir çok alanda kullanılır [17].

2.4. Kristal Silikon Piller

Doğada en çok bulunan oksijen elementinden sonra gelen silisyum, silikon yapılı kristal pillerin en önemli ham maddesidir. Ancak silisyum doğada saf halde bulunmadığından saflaştırılması gerekmektedir. Bundan dolayı silisyum dioksit (SiO_2) bileşiğine yüksek sıcaklık altında ısı işlem uygulanır ve bileşiklerinden ayrılır [18]. Saf silisyumun elde edilmesinin nedeni ise silisyum atomunun optik ve elektriksel olarak 20-30 yıl kadar uzun süre değişmemesidir. Dolayısıyla güneş pili üretiminde en çok kullanılan silisyum elementidir [19]. Silikon güneş pili çeşitleri ve 1 kWp güç için alan gereksinimleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

Şekil 2.8’den de görüldüğü gibi m^2 başına düşen güç değeri monokristal güneş panelinde daha fazladır. Sonrasında ise polikristal ve ince film güneş panelleri gelmektedir. Dolayısıyla güneş panellerinin kurulumun yapılacağı alanın kısıtlı olması durumunda monokristal güneş panelleri tercih edilebilir.



Module Tipi	Mono Kristalin Moduller (Mono Crystalline Silicon)	Poly Kristaline Moduller (Poly Crystalline Silicon)	CIS – Moduller (Copper-Indiyum-Diselenid)	CdTE – Moduller (Kadmiyum Tellurid)	ASI /McSi (Tandem) Moduller (Amorphous Silicon/Micro Crystalline Silicon)
1 kWp - Güç için Alan Gereksinimi	7 - 9 m ²	7,5 - 10 m ²	9 - 11 m ²	9 - 15 m ²	11 - 14 m ²
Kategori	Kristal Silikon Güneş Pilleri		İnce Film Güneş Pilleri		

Şekil 2.8. Silikon güneş pili çeşitleri ve 1 kWp güç için gereken alan gereksinimi [20]

2.4.1. Monokristal güneş paneli (c-Si, SiN)

En eski ve hala da en pahalı olarak kullanılan ilk güneş pilleridir. Monokristal silikon pillerin verimlilikleri ticari olarak % 15-% 20 arasında değişmekle birlikte diğer güneş pillerine göre verimi en yüksek olup laboratuvar şartlarında bu verim daha yüksek değerlere % 26.7'ye kadar ulaşmaktadır [21].

Verim değerleri güneş panellerinin bulunduğu ortama, ışınım miktarına, açısına bağlı olarak değişebilir. 'Czochralski Metodu' monokristal silikon yapımında üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu metodu 1971 yılında geliştiren Czochralski, çok yüksek sıcaklıkta silisyum dioksit (SiO₂) bileşimini bir kaba koyup eritmekte, sonrasında erimiş olan malzeme içerisine küçük bir aşı kristali batırıp, yavaş yavaş soğuk bölgeye, yukarıya doğru çekmektedir. Bunun sonucunda 0,2-0,3 mm kalınlığında, 30 cm çapında çokgen, dairesel ya da dikdörtgen şeklinde, birkaç metre boyutunda monokristal malzeme dilimlenmektedir. Bu malzeme güneş pilinin p tipi yarı iletken malzemesi olup n tipi yarı iletken malzemesi ise daha düşük kalınlıkta olmaktadır. Bu iki yarı iletken malzeme, özel yapıştırıcılar ile birbirlerinden ayrılmayacak şekilde bağlantıları yapılır.

Güneş pilinin en son işlemi olarak da yansımayı önleyici cam tabaka yapıştırılır. Rengi koyu mavi-siyah aralığında bir renktir [22].

Monokristal güneş panelleri yüksek saflıkta silikondan yapılmış olmalarından dolayı verimi diğer panellere göre en yüksek olandır. Az güneşte daha çok üretim yapabilirler dolayısıyla aynı şartlardaki düşük ışık koşullarında diğer panellere göre yüksek verim sergilerler. Ayrıca sıcaklığın fazla olması durumunda da polikristal güneş panellerine göre daha verimli olma eğilimindedirler. Verimi diğer pillere göre en yüksek olan monokristal silikon pilin dezavantajı ise saf kristal gereksiniminden dolayı pahalı oluşu ve malzeme kaybının yapım aşamasında çok fazla olmasıdır [23].

2.4.2 Polikristal güneş paneli (Poly-Si)

Monokristal pilleri ile özdeş optik, yapısal ve elektriksel özellikler gösterir. Pil içerisinde kristalin kalitesi ile doğru orantılı olarak değişen damarların büyüklüğünün küçülmesi, elektriksel özelliklerinin orantılı olarak bozulmasına, dolayısıyla monokristal pillere göre verimin daha az olmasına sebep olur. Ancak monokristal pillere göre avantajı ise daha kolay üretim ve maliyetin ise daha az olmasıdır. Dolayısıyla yatırımcılar tarafından daha çok tercih edilme sebebidir [24].

Üretim sürecinde ise tek kristal silisyum üretiminde yapılan bir çok işlemin aynı uygulanmaktadır. Dökme yöntemi kullanılan polikristallerdeki erimiş yarı iletken silisyum maddesi kalıplara dökülerek soğuması beklenir ve oluşan bloklar kare şeklinde kesilir. Ticari olarak bu pillerin verimlilikleri % 11 - % 8 arasında değişir. Laboratuvar şartlarında ise bu verim % 22.3'e kadar ulaşmaktadır[25].

2.5. İnce Film Güneş Panelleri

Güneş pillerinin maliyetlerinin fazla olmasından dolayı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonunda teknolojinin basitleştirilerek geniş yüzeyler üzerine yarı iletken malzemenin ince filmler şeklinde kaplanması fikir olarak ortaya çıkmıştır. İçerisindeki damar büyüklükleri milimetrenin binde birinden milyondan birine kadar değişiklik göstermekle birlikte bu pilde karşılaşılan en büyük problem damarlar arası sınırlarda bulunan mikro düzeydeki yapısal kusurlardır. [26].

Absorbsiyon özelliği diğer güneş pillerine göre daha iyi olan ince film güneş panelinin oluşturulması için daha ince katmanlı malzeme kullanılır. Örneğin 0,7 mikron dalga boyu katsayısına sahip bir alandaki güneş radyasyonunu emmek için 1000 mikron kalınlığına sahip amorf silisyum gerekirken aynı radyasyonu soğurmak için 5000 mikron kalınlığında kristal silisyum gerekir [27].

Kristal silisyum pillere göre çıkış voltajları 2-3 kat daha fazla olan ince film güneş pillerinin çıkış akımları çok küçüktür. Esnekliği sayesinde birçok malzeme üzerine istenilen boyutta kaplanabilir [28].

Verimleri diğer FV pillerine göre düşük olan ince film güneş panellerinin verimleri % 13 seviyelerine kadar gelmektedir. Laboratuvar şartlarında ise % 21 civarı verime ulaşılmaktadır [29].

Diğer FV panellere göre güç ürettiği ışınım spektrumu, daha geniş olmakla birlikte daha düşük sıcaklıklar altında diğer FV panellere göre daha yüksek performans oranı göstermektedir [30].

3 farklı ince film FV pil olup bunlar amorf silisyum (a-Si) güneş hücresi, kadmiyum tellür (CdTe) güneş hücresi ve bakır iridyum diselenid $CuInSe_2$ (CIS) güneş hücresidir [31].

2.5.1. Amorf silisyum güneş hücresi (a-Si)

Rengi kırmızımsı kahverengi ve çok ince katmanlı olan amorf silisyum güneş pillerinin en önemli özelliği atom dizilişlerinin dağımık halde olmasıdır [32].

Aynı zamanda bu pilleri oluşturmada gereken ısı diğer pillere göre çok daha düşük olduğundan üretimi de daha ucuzdur. Ticari olarak verimleri %5 - %7 arasında değişmekle birlikte laboratuvar ortamında % 10 civarında olmaktadır. Verimleri düşük olmasına karşın maliyetleri de düşüktür. Soğurucu etkisinden dolayı güneş ışınımın az olduğuyerlerde tercih edilir ve saat, hesap makinesi, şarj cihazları gibi küçük elektronik cihazlarda güç kaynağı olarak, binaların dış cephelerinde vs. kullanılmaktadır [33].

2.5.2. Kadmiyum tellür güneş pilleri (Cd-Te)

Kalınlık olarak 1 µm olmasına karşın ışığı absorbe etmede yüksek verime sahiptir ve üzerine düşen güneş ışınlarının % 90'nını soğurabilmektedir. Üretim aşamasında kadmiyum malzemesinin zehirli olmasından dolayı dikkat gerektirmektedir [34].

Piyasada % 7 verim, laboratuvar ortamındaki küçük hücrelerde ise % 21 civarında verim elde edilmektedir [35].

2.5.3. Bakır indiyum diselenit güneş pilleri (CIS)

Soğurma katsayıları oldukça yüksek olan ve CIS olarak bilinen bu pil bakır, indiyum ve selenyumdan atomlarının birleşmesiyle yapılır. Laboratuvar şartlarında % 23 seviyelerinde verim elde edilmekle birlikte 900 cm² yüzey alanına sahip modül verimlilikleri % 15 civarındadır [36].

2.5.4. Diğer

Farklı nedenlerden dolayı kullanımı henüz fazla yaygın olmayan galyum diselenit, termovoltajik, süpertandem, sıcak taşıyıcı ve organik güneş pilleri de bulunmaktadır.

2.6. Güneş Panellerinin Verimi

2.6.1. Verimlilik

Bir güneş pilinin verimi; pil çıkışından sağlanan maksimum gücün, pil yüzeyine düşen maksimum güç oranına denir ve η ile gösterilir. P_m , güneş panelinin maksimum çıkışı, P_{in} , panelin giriş gücü olmak üzere güneş panelinin verimi;

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (2.6.1)$$

bağıntısı ile elde edilir [37].

2.6.2. Fill (doluluk) faktörü (FF)

Doluluk faktörü de deneni fill faktörü, açık devre voltajı ve kısa devre akımına bağlı olarak güneş panelinin maksimum çıkış gücünü tanımlamak için kullanılan bir

parametredir [38]. Güneş pilindeki iç seri dirençten kaynaklı bir nicelik olup seri direncin artmasıyla fill faktörü azalır. Fill faktörü;

$$FF = \frac{P_m}{V_{ad} I_{kd}} \quad (2.6.2)$$

bağıntısı ile tanımlanır [39]. Ayrıca bir güneş pilinin açık devre voltajı (V_{ad}) kısa devre akımı (I_{kd}) fill faktörü (FF), pil üzerine gelen ışımaya şiddeti (P_{in}) ve panel alanı (A) bilindiğinde,

$$\% \eta = \frac{(V_{ad} I_{kd}) FF}{P_{in} \cdot A} \times 100 \quad (2.6.3)$$

bağlantısı kullanılarak güneş panellerinin verimleri bulunabilir.

Tablo 2.1. 270 Wp polikristal panelin elektriksel ve mekaniksel özellikleri

PANELİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Maksimum güç (P_{max})	270 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	30,82 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	8,76 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	37,88 V
Kısa devre akımı (I_{kd})	9,38 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,41 [% / °C]
Nominal işletim hücre sıcaklığı (NOCT)	45 °C
PANELİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Boy	1647 mm
En	992 mm
Kalınlık	35 mm
Ağırlık	18,4 kg

Tablo 2.1’de ki polikristal bir güneş panelinin doluluk faktörü üzerinden panel verimi

(2.6.2)’de ki denklem ile bulunur.

$$FF = \frac{270}{37,88 \cdot 9,38} = 0,76 \text{ olarak elde edilir.}$$

Panel verimi ise (2.6.3) denklemi ile bulunur. Standart test koşullarında (STK) $P_{in} = 1000 \text{ W/m}^2$ dir.

$$\% \eta = \frac{37,88 \cdot 9,38 \cdot 0,76}{1000 \cdot 1,63} \times 100 \approx 16,56 \text{ olarak elde edilir.}$$

İdeal bir güneş pilinin ölçütü olarak fill faktörünün 1'e eşit olması istenir. Bunun için ise sıcaklığın, diyod ideallik faktörünün, seri direncin ve ters doyum akım yoğunluğunun küçük, şönt direnci ve yasak enerji aralığının büyük olması gerekir.

Güneş pilinin kalitesinin göstergesi olarak verim çok önemli yer tutmakla birlikte, verimin yüksek olması kalitesinin de doğru orantılı olarak o derece artması demektir [40].

Aşağıdaki Tablo 2.2'de monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinde hücre ve panel verimlerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Tablodan görüldüğü gibi hücre verimi panel veriminden daha yüksektir.

Tablo 2.2. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu

HÜCRE TİPİ	HÜCRE VERİMİ	PANEL VERİMİ
Monokristal	% 26	15-20 %
Polikristal	% 21	11-18 %
Amorf Silisyum	11-13 %	8-10 %

Panellerin verim hesabı standart koşullar (1000 W / m^2 ışınım, 1.5 hava kütlesi ve 25°C hücre sıcaklık değeri) baz alınarak yapılır [41].

Tablo 1'deki polikristal bir panelin verim hesabı (2.6.1) denklemi ile bulacak olursak;

Panel alanı $1647 \times 992 \approx 1,63 \text{ m}^2$ dir. $1,63 \text{ m}^2$ den 270 Wp güç çıkışı elde ediliyor ise 1 m^2 den $165,6 \text{ Wp}$ güç çıkışı sağlanır ve standart test koşulları dikkate alınarak verim formülü kullanıldığında;

$$\text{Yüzde Verim} = \frac{165,6}{1000} \times 100 = \% 16,56 \text{ olarak elde edilir.}$$

Tablo 2.3'teki monokristal bir panelin verim hesabını (2.6.1) denklemi ile bulacak olursak;

Tablo 2.3. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu

PANELİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Maksimum güç (P_{max})	305 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	33,05 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	9,2 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	40,17 V
Kısa devre akımı (I_{kd})	9,98 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,39 [% / °C]
Nominal işletim hücre sıcaklığı (NOCT)	45 °C
PANELİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Boy	1647 mm
En	992 mm
Kalınlık	35 mm
Ağırlık	18,4 kg

Panel alanı $1647 \times 992 \approx 1,63 \text{ m}^2$ dir. $1,63 \text{ m}^2$ den 270 Wp güç çıkışı elde ediliyor ise 1 m^2 den 187 Wp güç çıkışı sağlanır ve standart koşullar dikkate alınarak verim formülü kullanıldığında;

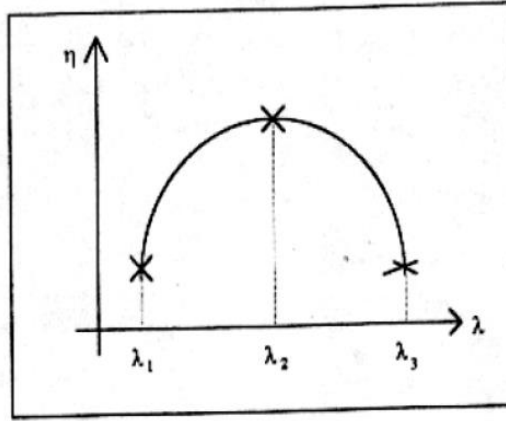
$$\text{Yüzde Verim} = \frac{187}{1000} \times 100 = \% 18,7 \text{ olarak elde edilir.}$$

Güneş panellerin metrekarede verebildikleri güç değeri hücre veriminin yüksek olmasıyla birlikte artar ve dolayısıyla yüzey alanı küçük kurulumlar için monokristal güneş panelleri tercih edilebilir. Silisyum yapıdaki monokristal güneş panellerinin metrekarede verdikleri güç çıkışı daha fazla olduğu için polikristal ve ince film güneş panellerine göre verimleri daha yüksektir. PERC teknolojisi ile üretilen monokristal güneş panellerinin sıcaklıktan etkilenmeleri daha az olduğu için verimleri de daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu da ışınım az olduğu yerlerle birlikte sıcak bölgelerde de PERC monokristal güneş panellerini kullanılmasını uygun kılmaktadır. İnce film güneş panelleri ise kristal güneş panelleri ile aynı verim düzeylerinde değildir. Aynı

gücü elde edebilmek için daha geniş alanlara ihtiyaç vardır ve daha fazla konstrüksiyon kullanılması gerekmektedir.

2.6.3. Kuantum verimliliği

Herhangi bir ışınım altındaki güneş pilleri üzerine düşen fotonların oluşturduğu elektron-hol çifti sayısına denir. Buna kuantum toplama verimi de denebilir. Kuantum verimliliği güneş panellerinin kısa devre akımında fotonların oluşturduğu elektrik akımına dönüşen toplanan taşıyıcı yüzdelerini belirtir. Foton iletimi ve yansıma güneş panellerinin dış kuantum verimliliğini oluşturur [42].



Şekil 2.9. Kuantum veriminin dalga boyuna bağlı değişimi

Kuantum verimliliğinin dalga boyuna bağlı değişimi Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Kuantum verimliliği küçük dalga boyları için güneş pilinin p eklemesinde, büyük dalga boyları için ise n bölgesinde daha büyüktür. Yük taşıyıcılarının yeniden birleşerek yok olmaları, kuantum veriminin düşmesine yol açar. η_Q kuantum verimi bağıntısı aşağıda verilmektedir [37,43, 44].

$$\eta_Q(\lambda) = \frac{I_{kd}(\lambda)}{q \cdot A_a \cdot \Gamma(\lambda)} \quad (2.6.4)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada;

I_{kd} , herhangi bir aydınlatma altındaki kısa devre akımını, q , elementer yük, A_a , pilin ışığı gören etkin alanını (cm^2) ve Γ , pili aydınlatan foton akısını göstermektedir.

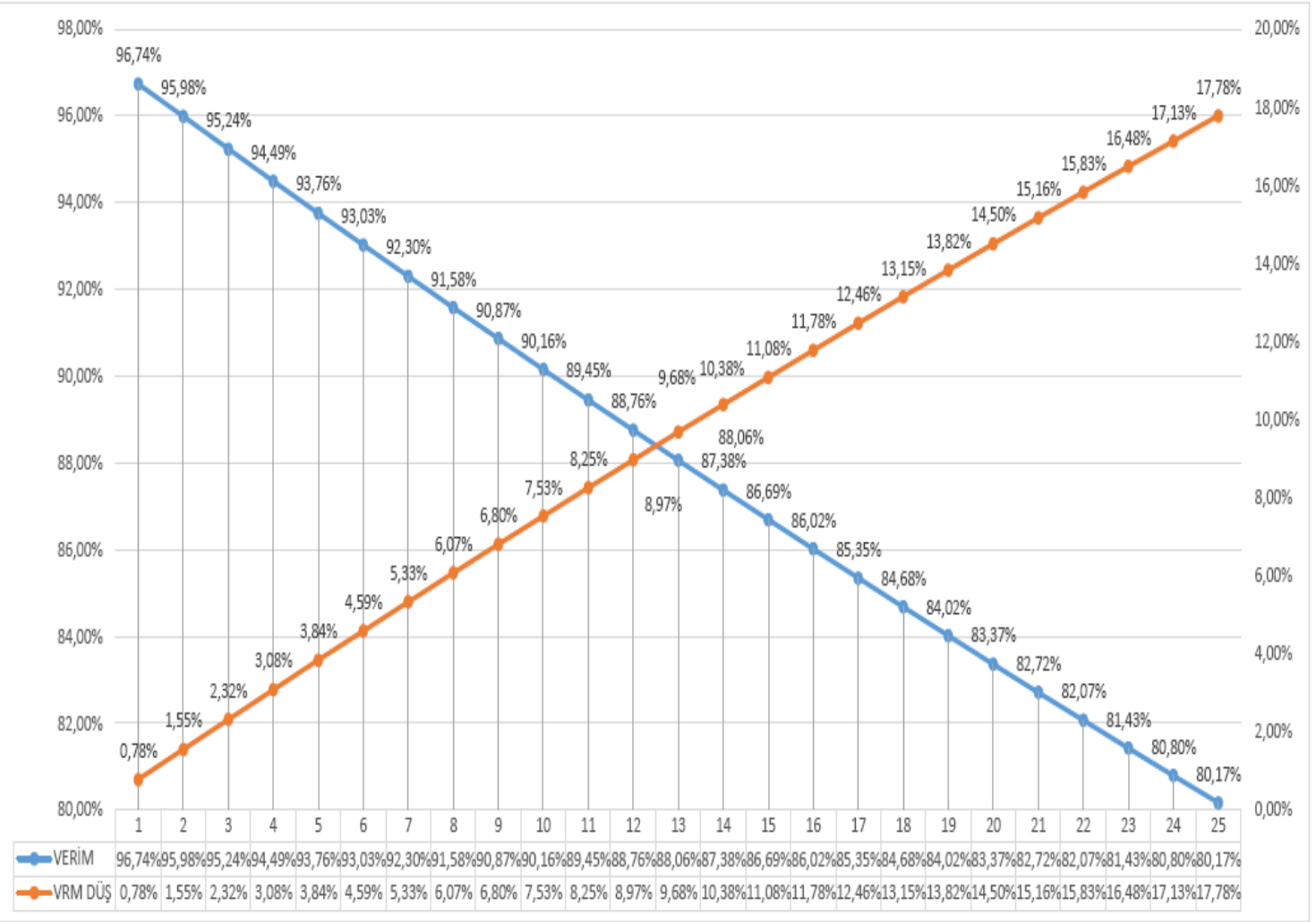
2.7. FV Verimlilik Oranları

FV güneş panel verimlilikleri güneş enerji santrallerinde toplam çıkış gücünü etkileyen önemli bir parametredir. Aynı şekilde panel ömrü, güneş enerji güç santrallerinin ömrünü belirler. Piyasada güneş panelleri için genellikle ortalama 25 yıl sonunda % 80 panel gücü garanti etmektedirler [45].

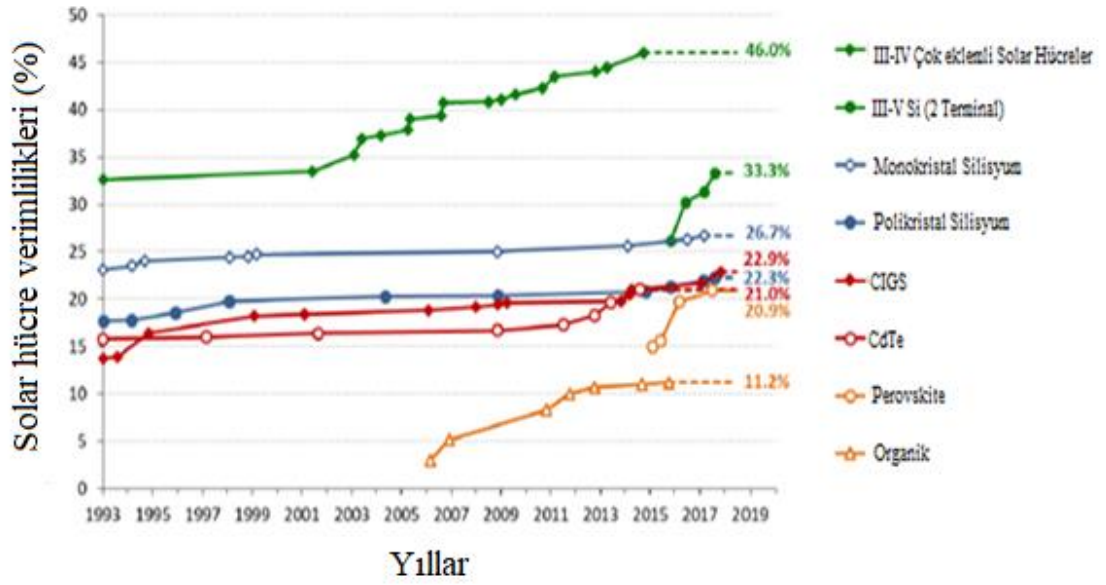
Kristal yapılu FV güneş panellerinin verimleri genellikle üretildikleri ilk yıldan sonraki yıllar için de her yıl % 0.7 - % 1.0 arasında azalma gösterir. Bu duruma bir örnek olarak bir güneş panelinin yıllık % 0,78 verim düşüşünün 25 yıl sonunda olan verim kaybının nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2.10'da verilmiştir.

Grafiğe göre her yıl % 0,78 verim kaybı olan bir güneş panelinin 25 yıl sonunda toplamda % 17,78 kaybı olduğu ve veriminin ise % 80,17 olduğu gözlemlenmektedir. Tesisin performans oranı değerlendirilirken panellerin yıllara bağlı olarak azalan verimleri de göz önüne alınmalıdır.

YILLAR	VERM. DÜŞÜM	0,78%	TOP
	BAŞL. DEĞ.	97,50%	VER DÜŞ.
1	96,74%	0,78%	
2	95,98%	1,55%	
3	95,24%	2,32%	
4	94,49%	3,08%	
5	93,76%	3,84%	
6	93,03%	4,59%	
7	92,30%	5,33%	
8	91,58%	6,07%	
9	90,87%	6,80%	
10	90,16%	7,53%	
11	89,45%	8,25%	
12	88,76%	8,97%	
13	88,06%	9,68%	
14	87,38%	10,38%	
15	86,69%	11,08%	
16	86,02%	11,78%	
17	85,35%	12,46%	
18	84,68%	13,15%	
19	84,02%	13,82%	
20	83,37%	14,50%	
21	82,72%	15,16%	
22	82,07%	15,83%	
23	81,43%	16,48%	
24	80,80%	17,13%	
25	80,17%	17,78%	



Şekil 2.10. Kristal yapılı bir güneş panel veriminin yıllara göre değişimi



Şekil 2.11. Çeşitli PV üretim teknolojileri verim karşılaştırma tablosu [46]

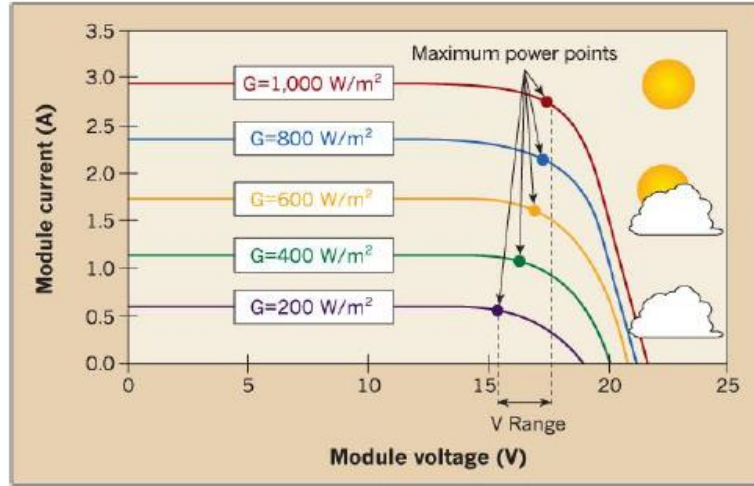
Şekil 2.11’de görüldüğü üzere monokristal güneş panellerinin verimleri ise diğer güneş panellerine göre daha yüksek oranlarda olup üretildiği malzemeye göre FV güneş pillerinin verimleri % 11.6 - % 26.7 aralığında değişmektedir.

Laboratuvar şartlarında monokristal hücre verimi % 26.7 ve polikristal hücre verimi % 22.3’tür. İnce film teknolojisindeki en yüksek laboratuvar verimi, CIGS için % 22.9 ve CdTe güneş pilleri için % 21’dir [46].

2.8. Verimliliğe Etki Eden Parametreler

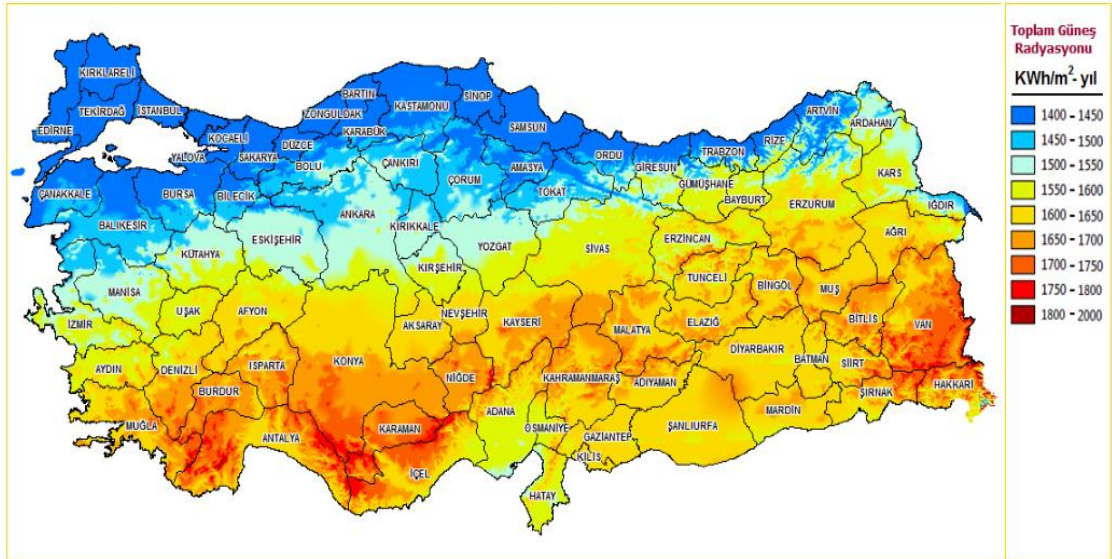
2.8.1 Güneş ışıma faktörü

Monokristal güneş panelleri düşük ışık koşullarında diğer panellere göre daha yüksek verim sergilerler. Güneş ışımasını güneş panelleri üzerindeki etkisi en büyüktür. FV sistemlerde güneş ışımasını arttıkça akım değeri de doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak akımın büyük oranda artmasına rağmen gerilim değeri neredeyse sabit kalır [47]. Şekil 2.12’de güneş ışımasının güneş paneli akım ve gerilim üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.12. Güneş ışımının kristal silisyum güneş panel üzerindeki I-V üzerine etkisi [47]

Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7.2 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²/yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu, buna göre güneş enerjisi potansiyelinin de 380 milyar kWh/yıl olduğu hesaplanmıştır [48].



Şekil 2.13. Güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [48]

Şekil 2.13'de görüleceği üzere ülkemiz yıl boyunca sürekli güneşlenme ve yoğun ışınım altında olduğu için FV güneş elektrik santralleri bu enerji ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Düşük ışınlım koşullarında daha fazla üretim yaptığından dolayı Türkiye'nin güneyine göre güneş ışınlımının daha az olduğu kuzey bölgelerde monokristal güneş panellerinin kullanılması daha uygundur.

2.8.2. Sıcaklık, nem

Güneş panellerinde sıcaklığın artması, FV panellerde kısa devre akımını artırırken açık devre gerilimini azaltır ve verimi olumsuz yönde etkileyerek çıkış gücünün düşmesine neden olur. Monokristal ve polikristal hücrelerin sıcaklık arttıkça verimleri düşer, sıcaklık düştükçe verimleri artar. İnce film güneş paneller sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde çalışmaya daha uygun olup sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenir. Sıcaklık artışındaki her 1°C, elde edilen gücü % 0.5 oranında azaltmaktadır. Amorf silisyum hücrelerde ise 1 °C'lık artış, gücü % 0.2 oranında azaltmaktadır [49].

Güneş panellerinin kataloglarında verilen NOCT değeri vardır ve bu değer 800 W/m² ışınlım, 1 m/s rüzgar, 20 °C ortam sıcaklık koşullarındaki sıcaklığı gösterir ve Hücrenin Nominal Çalışma Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature – NOCT) adı verilir [50]. 1000 W/m² nominal ışınlım ve herhangi bir ortam sıcaklığı değerlerindeki bir hücrenin sıcaklığını bulmak için;

$$T_c = T_a + \frac{T_{NOCT} - 20}{0.8} G \text{ (kW / m}^2\text{)} \quad (2.8.1)$$

bağıntısı ile elde edilir [51].

Burada T_c , güneş paneli hücre sıcaklığı, T_a , istenilen herhangi bir ortam sıcaklığı, T_{NOCT} panel kataloğunda belirtilen NOCT değeri, G ışınlım değeridir. FV panelin hücre sıcaklığı ile μ sıcaklık katsayısı birlikte kullanılarak panel çıkış gücü;

$$P_{\zeta} = P_{m,ST} - P_{kayıp} \quad (2.8.2)$$

bağıntısı ile elde edilir.

$$P_{\zeta} = P_{m,STK} - (P_{m,STK}) \cdot (\% P_{kayıp}) \quad (2.8.3)$$

$$P_{\zeta} = P_{m,STK} (1 - \% P_{kayıp}) \quad (2.8.4)$$

$$\% P_{kayıp} = \mu \cdot \Delta t \quad (2.8.5)$$

$$\Delta t = T_c - T_{STK} \quad (2.8.6)$$

T_{STK} = Standart test koşullarındaki sıcaklık değeri (25°C)

Burada P_c , güneş paneli çıkış gücü, $P_{m,STK}$, panelin standart test koşullarında sağlayacağı maksimum çıkış gücüdür. μ , panel gücünün sıcaklığa bağlı katsayısıdır. Güneş paneli kataloglarında belirtilen μ değeri arttıkça panel çıkış güç kaybı da o oranda artmaktadır.

Güneş paneli üretici bir firmanın silisyum yapıdaki 280 W monokristal güneş panelinin katalog değerlerine göre hücre sıcaklığının ve çevre sıcaklığı ile çıkış gücünün nasıl değiştiğini Tablo 2.4'e göre bulacak olursak;

Tablo 2.4. 280 Wp monokristal güneş panelinin elektriksel özellikleri

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum güç (P_{max})	280 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	31,1 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	9 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	39,9 V
Kısa devre akımı (I_{kd})	9,35 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,39 [% / °C]
Nominal işletim hücre sıcaklığı (NOCT)	44°C

(2.8.1) denkleminde öncelikle T_c hücre sıcaklığı bulunur. T_a , istenilen çevre sıcaklığı 50 °C olsun. Nominal işletim hücre sıcaklığı T_{NOCT} , 44°C'dir. STC değerindeki G ışınım değeri 1 kW / m² 'dir. Buna göre;

$$T_c = 50 \text{ °C} + \frac{44\text{°C}-20\text{°C}}{0,8} \times 1 = 80 \text{ °C bulunur.}$$

İstenilen bir çevre sıcaklığındaki panel çıkış gücü ise (2.8.2) denklemi ile bulunur.

$T_a = 50 \text{ °C}$ olsun. Buna göre;

$$\Delta T = T_a - T_{STK} \Rightarrow \Delta T = 50 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 25 \text{ °C}$$

$$\% P_{kayıp} = \mu \cdot \Delta T \Rightarrow \% P_{kayıp} = 0,39 \% / \text{°C} \times 25 \text{ °C} \Rightarrow \% P_{kayıp} = 9,75 \%$$

$$P_{kayıp} = 280 \times \frac{9,75}{100} = 27,3 \text{ W}$$

$$P_{\zeta} = 280 - 27,3 = 252,7 \text{ W bulunur.}$$

280 W polikristal güneş panelinin Tablo 2.5’de verilen elektriksel özelliklerine göre hücre sıcaklığını ve çevre sıcaklığına göre çıkış gücünü bulacak olursak;

(2.8.1) bağıntısından öncelikle T_c hücre sıcaklığı bulunur. T_a , istenilen çevre sıcaklığı 50 °C olsun. Nominal işletim hücre sıcaklığı T_{NOCT} , 44 °C’dir. STK değerindeki G ışınım değeri 1 kW / m² ‘dir. Buna göre;

Tablo 2.5. 280 Wp polikristal güneş panelinin elektriksel özellikleri

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum güç (P_{max})	280 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	30,8 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	9,1 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	39,7 V
Kısa devre akımı (I_{ka})	9,5 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,40 [% / °C]
Nominal işletim hücre sıcaklığı (NOCT)	44°C

$$T_c = 50 \text{ °C} + \frac{44\text{°C}-20\text{°C}}{0,8} \times 1 = 80 \text{ °C bulunur.}$$

İstenilen bir çevre sıcaklığındaki panel çıkış gücü ise;

$$P_{\zeta} = P_{m,STC} - P_{kayıp} \text{ bağıntısı ile bulunur. } T_a = 50 \text{ °C olsun. Buna göre;}$$

$$\Delta T = T_a - T_{STC} \Rightarrow \Delta T = 50 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 25 \text{ °C}$$

$$\% P_{kayıp} = \mu \cdot \Delta T \Rightarrow \% P_{kayıp} = 0,40 \% / \text{°C} \times 25 \text{ °C} \Rightarrow \% P_{kayıp} = 10 \%$$

$$P_{kayıp} = 280 \times \frac{10}{100} = 28 \text{ W}$$

$$P_{\zeta} = 280 - 28 = 252 \text{ W bulunur.}$$

150 W CIGS ince film güneş panelinin Tablo 2.6’da verilen elektriksel özelliklerine göre hücre sıcaklığını ve çevre sıcaklığına göre çıkış gücünü bulacak olursak;

(2.8.1) bağıntısından öncelikle T_c hücre sıcaklığı bulunur. T_a , istenilen çevre sıcaklığı 50 °C olsun. Nominal işletim hücre sıcaklığı T_{NOCT} , 45,6 °C’dir. STK değerindeki G ışınım değeri 1 kW / m² ‘dir. Buna göre;

Tablo 2.6. CIGS ince film güneş panelin elektriksel özellikleri

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum güç (P_{max})	150 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	62,7 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	2,39 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	80,8 V
Kısa devre akımı (I_{kd})	2,72 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,26 [% / °C]
Nominal işletim hücre sıcaklığı (NOCT)	45,6°C

$$T_c = 50 \text{ °C} + \frac{45,6\text{°C}-20\text{°C}}{0,8} \times 1 = 82 \text{ °C bulunur.}$$

İstenilen bir çevre sıcaklığındaki panel çıkış gücü ise (2.8.2) bağıntısı ile bulunur.

$T_a = 50 \text{ °C}$ olsun. Buna göre;

$$\Delta T = T_a - T_{STK} \Rightarrow \Delta T = 50 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 25 \text{ °C}$$

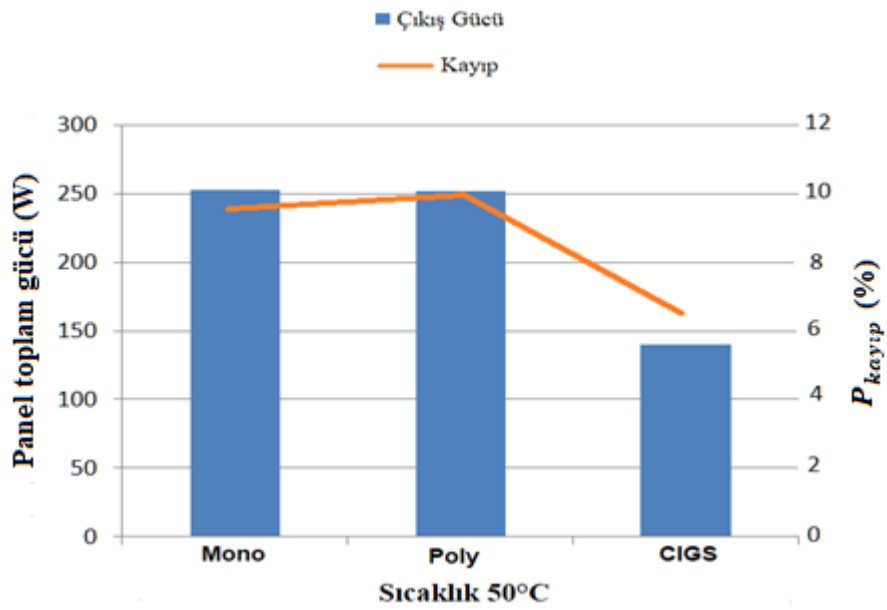
$$\% P_{kayıp} = \mu \cdot \Delta T \Rightarrow \% P_{kayıp} = 0,26 \% / \text{°C} \times 25 \text{ °C} \Rightarrow \% P_{kayıp} = 6,5 \%$$

$$P_{kayıp} = 150 \times \frac{6,5}{100} = 9,75 \text{ W}$$

$$P_c = 150 - 9,75 = 140,25 \text{ W bulunur.}$$

280 W monokristal ve polikristal güneş paneli ile 150 W ince film güneş panellerinin standart test koşullarında, 50°C çevre sıcaklığı altında oluşan çıkış gücü ve oluşan kaybı gösteren grafik Şekil 2.14’de verilmiştir. Çevre sıcaklığı ve panel kataloglarda belirtilen μ sıcaklık katsayısına göre çıkış gücü değişmektedir. Yukarıda da işlemlerde de

görüldüğü gibi aynı sıcaklık altında aynı güçlerdeki monokristal panel verimi, polikristal panel veriminden daha fazladır. Monokristal güneş panellerinde μ sıcaklık katsayısı 0,36 ile 0,52 % / °C arasında değer almaktadır. Buna göre ise monokristal panellerde % 3,6 ile % 5,2 aralığında güç farkı ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla panel seçiminde μ sıcaklık katsayısı en düşük olan seçilmeli böylece yüksek sıcaklıklarda verim düşüşü daha az olacaktır. Sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde ince film güneş panellerinin verim düşüşü daha az olmaktadır. Ancak ince film güneş panellerinde aynı gücü elde edebilmek için daha geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

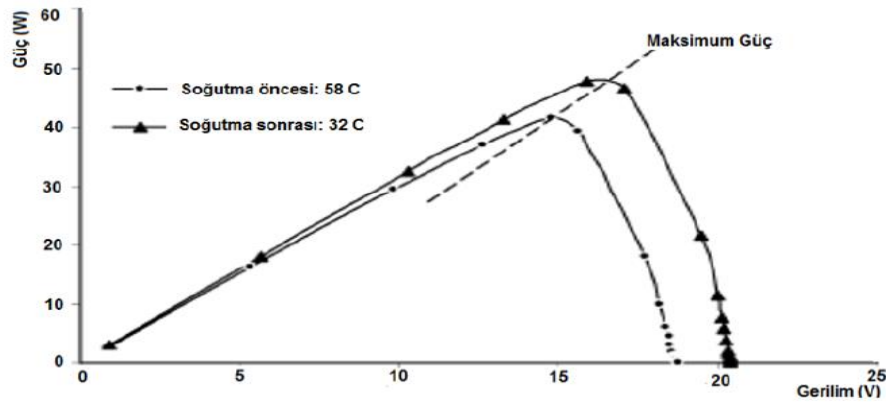


Şekil 2.14. 50°C çevre sıcaklığı altındaki güneş panellerinin çıkış gücü ve kayıpları

PERC monokristal güneş panellerinde ise sıcaklıktan dolayı verim kaybı geleneksel monokristal güneş panellerine göre daha az olduğundan sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde PERC monokristal güneş panelleri kullanılabilir.

Atmosferdeki içerisindeki su buharının fazla olması ışınımın perdelenmesine yol açar ancak yoğunlaşarak kar ve yağmur halini alması atmosferin daha berrak olmasını sağlayarak ışınımın engellenmesi en az seviyeye indirir [52].

Güneş panellerinde sıcaklığın düşürülüp verimin artırılması için literatürde çeşitli iklimlendirme sistemlerinin kullanılması sonucu % 4 ile % 10 daha fazla enerji üretebileceğine dair çalışmalar mevcuttur. Şekil 2.15'te farklı sıcaklıklardaki güç ve gerilim karşılaştırması verilmiştir. Bu grafiğe göre çalışma sıcaklığı 58 °C olan güneş panelinin soğutma sistemi olmadan maksimum 41 W üretim yaptığı ancak panelin soğutulup 32 °C'ye kadar düşürüldüğünde maksimum çıkış gücünün 49 W olduğu görülmektedir. Dolayısıyla güneş panelleri sistemlerinin sıcaklık ile ters orantılı olduğu ve soğutularak verimliliğin arttığı görülmektedir [53].



Şekil 2.15. Farklı sıcaklık altındaki FV modülün güç ve gerilim karakteristik eğrisi [53]

2.8.3. Rüzgâr yönü ve hızı

Güneş panellerindeki güç çıkışı modül ısısından kaynaklı hava şartlarına bağlı olarak ortam ısısı, bulut yapısı ve rüzgar hızına göre değişkenlik gösterir. FV hücre sıcaklığı rüzgar yönüne küçük ölçüde, rüzgar hızına ise büyük oranda duyarlıdır [54].

2.8.4. Hava kirliliği, güneş panel yüzeyinin temizliği

Güneş panellerindeki verim, hava kirliliğine ve panel yüzeyindeki temizliğe göre değişkenlik gösterir. Hava kirliliği ışınım perdelenmesine yol açar ve güneş panelinin yeterli oranda radyasyon almasını engeller. Dolayısıyla bulut etkisi yapan hava kirliliği FV panel verimini düşürür. FV panellerin temizliklerinin yapılmaması ve üzerinde biriken kardan dolayı solar ışınım azalması verim düşüşüne yol açar [55]. Tozlanma üzerine yapılan araştırmalar güneş panellerinin yatayla yaptığı eğim açısı 15°' den büyükse yağmurun tozu temizlemede etkili olacağı varsayılır ve verim kaybı % 0,5 ile

sınırlı olacağını gösterir [56]. Eğer açı 15°'den küçükse, ya da yağışın az olduğu durumlarda, çevreden kaynaklı tozlanmalar ve hava kirliliği varsa bu değer artabilir ve tozlanmadan kaynaklı kayıplar nadiren % 4'ün üstüne çıkar [57]. Bu verim kayıplarına yol açmamak için FV güneş panellerinin düzenli belirli periyotlarla temizliği yapılması gerekmektedir. Ancak panel temizliği yapılırken özellikle yaz aylarında ısımanın yoğun olduğu öğle saatlerinde kullanılan şebeke suyu yeterince saf olmamasından kaynaklı panel yüzeylerinde kireç oluşturabilir bu da panel yüzeyine zarar vermekle birlikte verimini de düşürecektir. Dolayısıyla kullanılacak suyun saflığına da dikkat edilmelidir.

2.8.5. MPPT (maksimum güç noktası takipçi) etkisi

İnverter verimleri hesaplanırken üretici firmalar FV dizisinin Akım – Gerilim (I – V) eğrisinin Maksimum Güç Noktasında çalıştıklarını varsayarlar. Ancak inverterin gerçek çalışma noktasının MPP'den sapmasına neden olan bir çok faktör vardır [58]. Örnek olarak, MPP'yi tarayan cihazlar optimum noktasının etrafında sürekli salınım yapması, MPPT hata ve kayıplarının oluşmasına dolayısıyla MPPT kayıpları da inverterin çevrim veriminin düşmesine sebep olur [59]. Bu verim kaybını minimize edebilmek için inverterlerin çok iyi bir MPP izleyicisine sahip olması gerekir.

2.8.6. Yansıma kayıpları

Panel yüzeyine düşen solar ışınımın hücreler tarafından emilirken bir kısmı emilmeden geri yansır. Bu geri yansımadan kaynaklı kayıplara yansıma kayıpları denir. Malzemenin kalitesi optik yansımaya, iletimdeki kayıpların azlığına, emilen ışınım yoğunluğuna bağlıdır. Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha çok ışık emer. Panel yüzeyine gelen normal bir ışınımın gelen ışığın % 4'ü geri yansıtılır. FV modül ve güneş arasındaki açığa, modülün kırılma indeksine bağlı olarak, yansıyan solar ışınım şiddeti değişkenlik gösterir [60].

2.8.7. Spektral etken

Panel yüzeyine gelen monokromatik ışık, yarıiletken içerisinde elektron-hol çiftlerinin oluşumuna yol açar. Bu elektron hol çiftlerinin oluşma hızının, yarıiletken yüzeyinden içine doğru olan uzaysal dağılımı foton açısı, yansıtma katsayısı ve soğurma katsayısına bağlıdır. Soğurma katsayısı, kısa dalga boylu ışınım için çok büyük olduğundan yarıiletkene gelen ışınımın hemen soğrulur ancak bu kısa dalga boylu ışınımın verim

çok düşük olur. Görünür dalga boylarında verim en yüksek değere ulaşırken, kızılötesi bölgelerde ise en düşüktür [42], [61].

2.8.8. Uyumsuzluk (mismatch) kayıpları

Güneş panelleri birbirleri ile seri veya paralel bağlanarak çıkış güçlerini oluştururlar. Ancak panellerin tek tek güçlerinin toplamı, böyle bir yapıdaki güneş panellerinin toplam DC gücünden daha fazladır [62]. Bu duruma sebep olan etmenler statik uyumsuzluk (panel içerisindeki modüllerin yaşlanma faktörleri ve üretim esnasındaki toleranslar), çevresel gerilim (hava koşullarından kaynaklı modüllerin zarar görmesi) ve gölgelenme faktörleridir [63].

Kaushika ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada panellerdeki uyumsuzluk kayıplarının başlangıçta % 2 dolayında olduğu panellerinin yaşlandıkça ise % 12'lere kadar çıkabileceği belirtilmektedir [63].

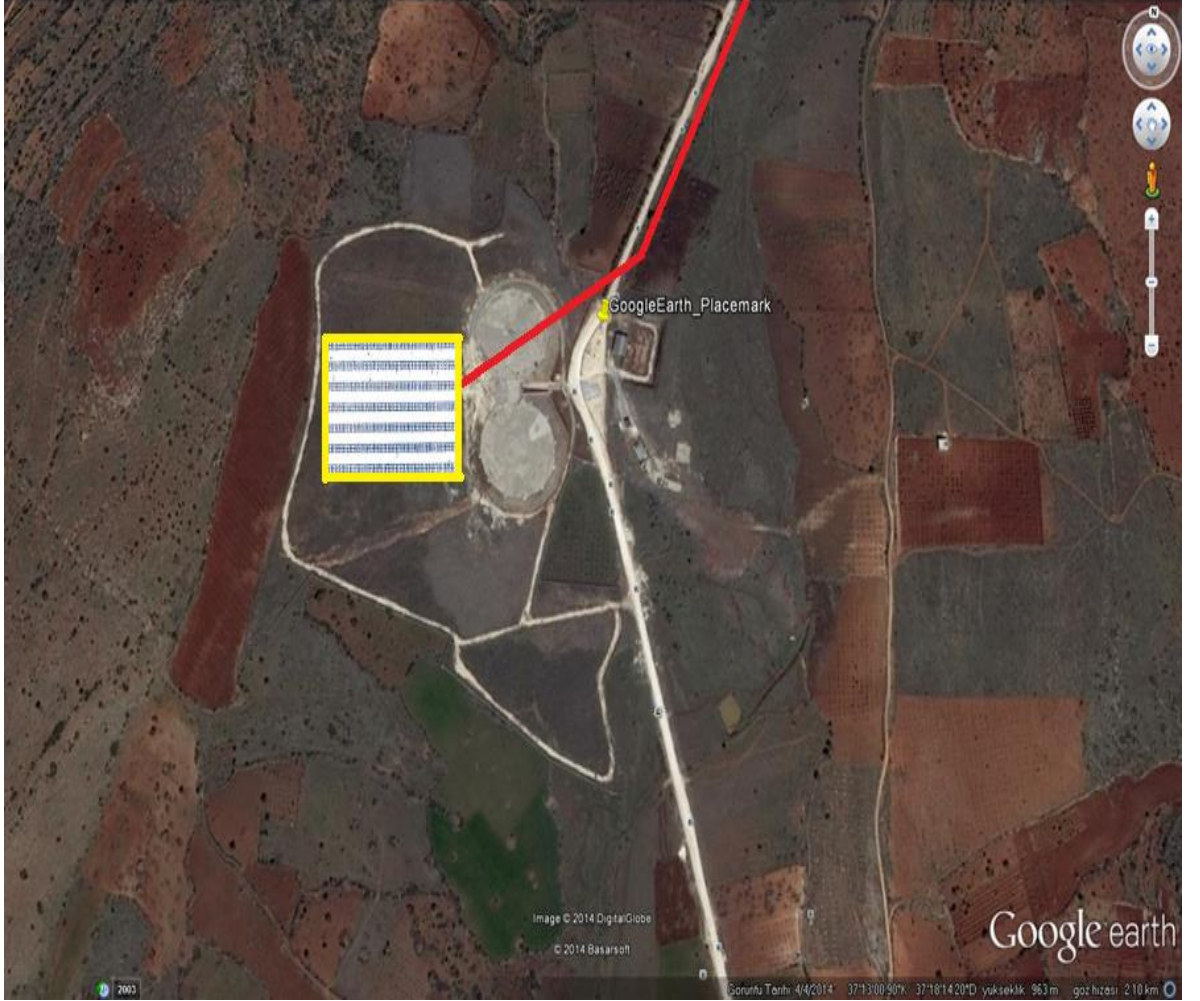
Panel içerisinde bulunan modül sıcaklıklarının, ışıınım değer ve açılarının farklı olması da uyumsuzluk kayıplarına neden olur. Bu uyumsuzluk etkileri sonucu güneş panellerinde güç ve gerilim eğrileri değişir ve küçük bölgesel tepelikler oluşur. MGN izleyici algoritmalarının bu küçük tepelere takılması sonucu MGN izleme kayıpları da ortaya çıkar ve maksimum güç çıkışı sağlanmamış olur. Dolayısıyla bu uyumsuzluk kayıplarının önemle dikkate alınması gerekmektedir. Aynı veya yakın MGN akımlarına sahip güneş panelleri aynı dizilerde seri olarak bağlanırsa bu uyumsuzluk kayıplarının düşük olması sağlanabilir [51].

2.9 Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (GASKİ) Güneş Enerjisi Santrali'nin PVsyst Simülasyon Programına Göre Verim ve Kayıp Analizi

Simülasyon programları kurulan fotovolttaik güç santrallerinde sistem performans analizini ortaya çıkarılmasını ve simülasyon raporlarının gerçekte üretilen enerji değerleriyle karşılaştırılmasını sağlar. Doğru sonuçların alınması için ise simülasyon programlarına doğru verilerin girilerek analiz yapılması gerekmektedir.

2.9.1. Coğrafi konum

GASKİ Güneş Enerji Santrali Gaziantep İli, Şehitkamil İlçesi, İncesu Köyünde bulunan 103 ada ve 277 parsel numaralı arazinin yaklaşık 18.000 m² alanında Lisanssız Elektrik Üretimi kapsamında kurulmuştur. Proje alanını gösteren yer haritası Şekil 2.16'da bulunmaktadır.



Şekil 2.16. Santral alanı

Sarı bölge içerisindeki mavi alan güneş enerji santralinin bulunduğu yeri göstermektedir. Kırmızı çizgi ile gösterilen yer ise 0,4/31,5 kV'luk enerji nakil hattını göstermektedir.

2.9.2. Gaziantep iklimi

“Güneydoğu Anadolu'nun güneybatı ucunda yer alan ilin batı sınırını Amanos Dağları sınırlamaktadır.

Karasal iklim ve Akdeniz ikliminin geçiş bölgesinde bulunan ilde yağışlar istasyonlara göre farklılık göstermekle birlikte Amanos Dağları civarında en yüksek (850.7 mm), doğuya gittikçe yağış miktarı azalmaktadır; İslahiye 850.7 mm, Sakçagözü 618.3 mm, Gaziantep merkez 558.9 mm, Araban 518.6 mm, Yavuzeli 490.3 mm, Nizip 464 mm, Oğuzeli 454.2 mm, Elbeyli 392 mm ve Barak yağış istasyonu değeri 333.3 mm'dir.

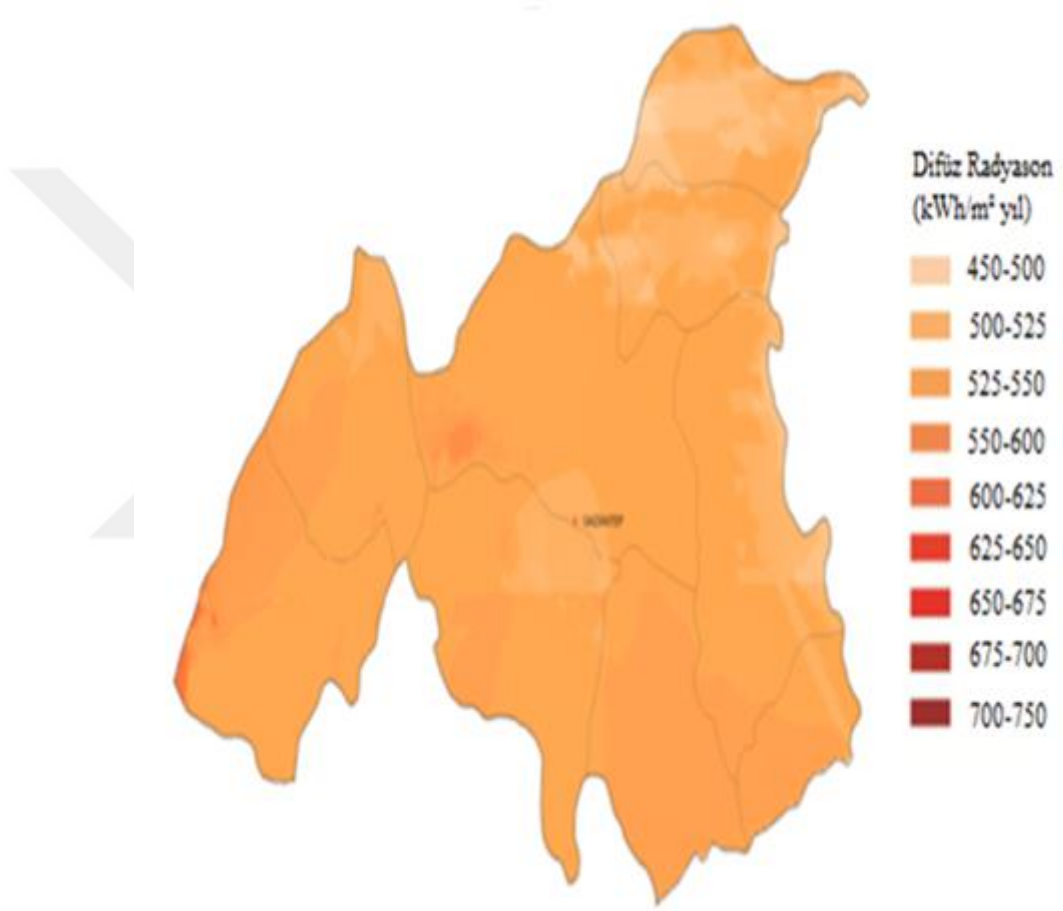
İlin yıllık ortalama sıcaklık rakamı 14.5 °C dir. Yine sıcaklık ilin doğu ve batı yönleri arasında sıcaklık değerleri belirgin şekilde farklılık oluşturmaktadır. Ancak il merkezi ilin karasal iklimin hakim olduğu bölgede yer almaktadır. Kentin yerleşiminde ve mimarisinde bu iklim türünün belirleyici etkisi olmuştur. Binaların güney yönelimli gelişmesi, dışı kapalı, ısı tutucu masif mimari yapılar iklim türünün kent yerleşimi üzerine etkileridir” [64]. Gaziantep İlinin 1954-2013 yılları arası iklim istatistikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7.Uzun yıllar içerisinde gerçekleşen meteoroloji genel müdürlüğünün iklim istatistikleri [65]

Gaziantep	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1954 – 2013)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	3.0	4.2	8.1	13.2	18.6	24.1	27.7	27.4	22.8	16.2	9.4	4.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.6	9.3	14.0	19.6	25.5	31.3	35.3	35.3	31.1	24.3	16.2	9.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.7	0.0	3.1	7.3	11.8	17.0	21.0	20.9	16.1	10.0	4.5	1.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.4	4.3	5.4	7.1	9.0	11.0	11.2	10.4	9.2	7.2	5.3	3.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.9	12.4	12.0	10.3	7.2	2.1	0.6	0.4	1.5	6.2	8.6	12.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)	97.7	83.2	70.5	53.2	32.0	6.9	2.5	2.0	5.1	35.3	64.7	99.2
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1954 – 2013)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.0	21.0	27.4	34.0	37.8	39.6	44.0	42.8	40.8	34.4	-27.3	25.2
En Yüksek Sıcaklık (°C)	-16.8	-15.6	-11.0	-4.3	2.5	4.5	10.6	12.1	3.4	-2.8	-7.5	-13.4

2.9.3. Gaziantep ili güneş radyasyon değerleri

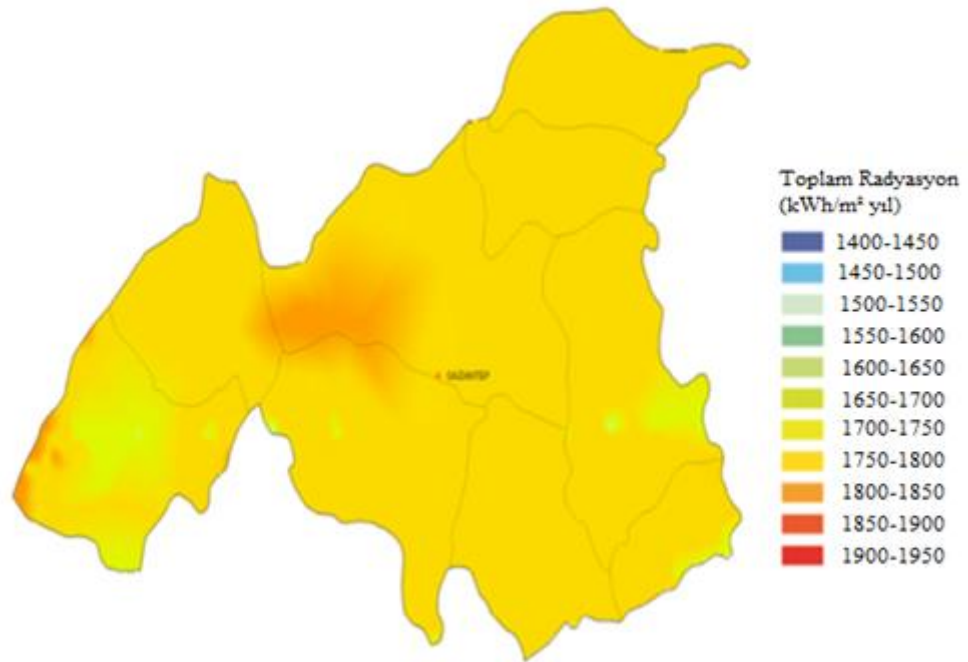
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre Gaziantep ili toplam radyasyon ($\text{kWh/m}^2 \text{ yıl}$), direkt radyasyon ($\text{kWh/m}^2 \text{ yıl}$), difüz radyasyon ($\text{kWh/m}^2 \text{ yıl}$), güneşlenme süresi değerlerini gösteren şekiller aşağıda verilmiştir (Şekil 2.17, 2.18, 2.19, 2.20) [48].



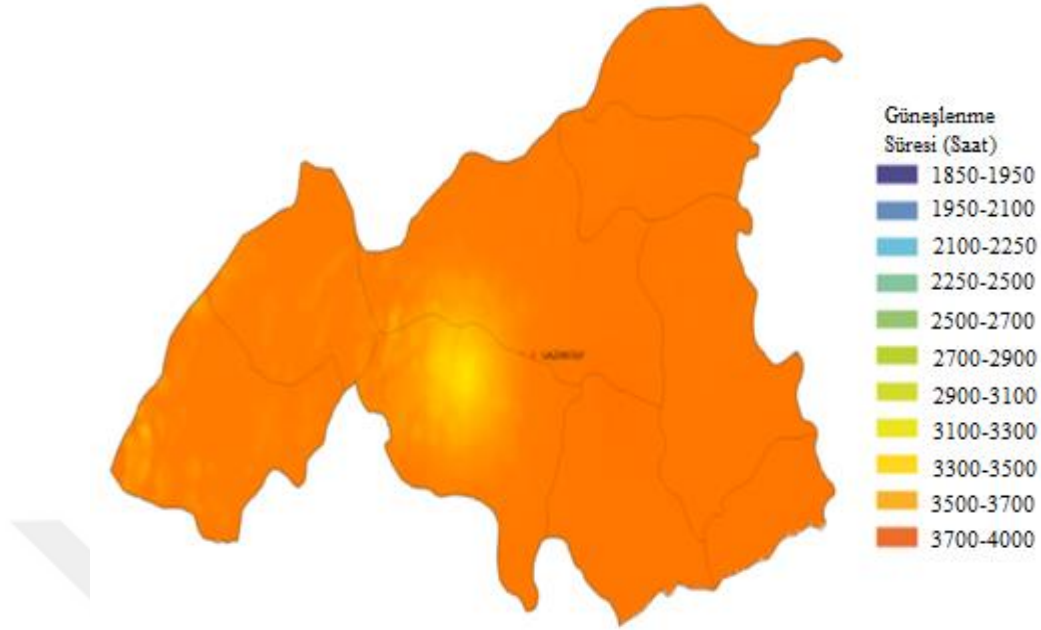
Şekil 2.17. Gaziantep ili difüz radyasyon değerleri ($\text{kWh/m}^2 \text{ yıl}$) [48]



Şekil 2.18. Gaziantep ili direkt radyasyon değerleri (kWh/m² yıl) [48]

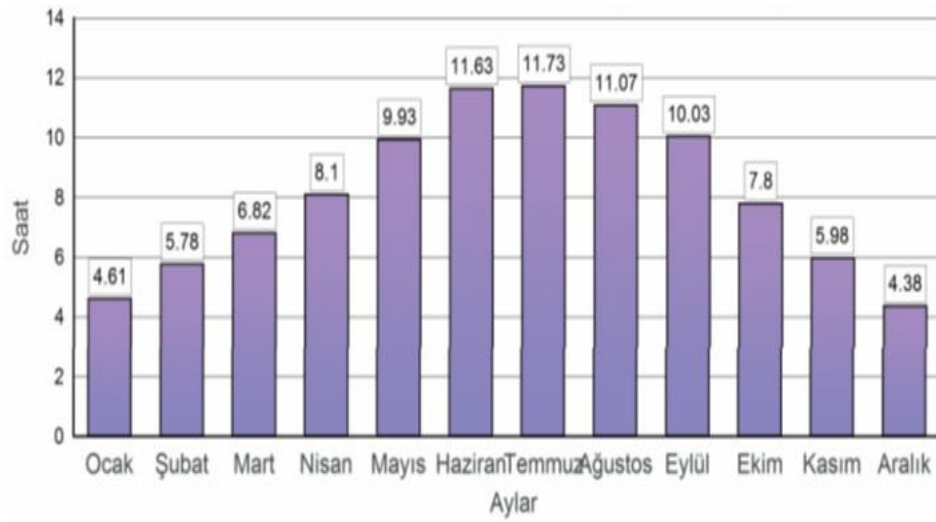


Şekil 2.19. Gaziantep ili global radyasyon değerleri (kWh/m² yıl) [48]

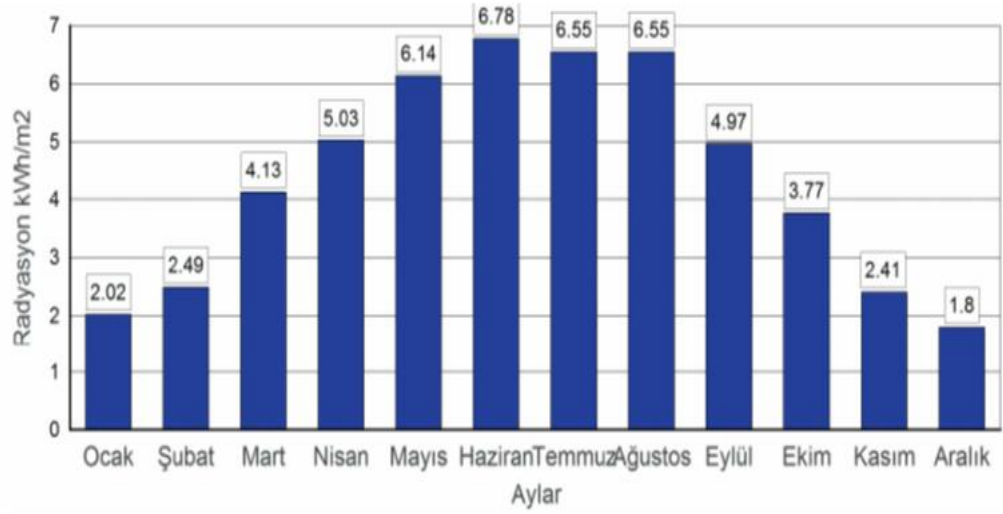


Şekil 2.20 Gaziantep ili güneşlenme süresi (saat) [48]

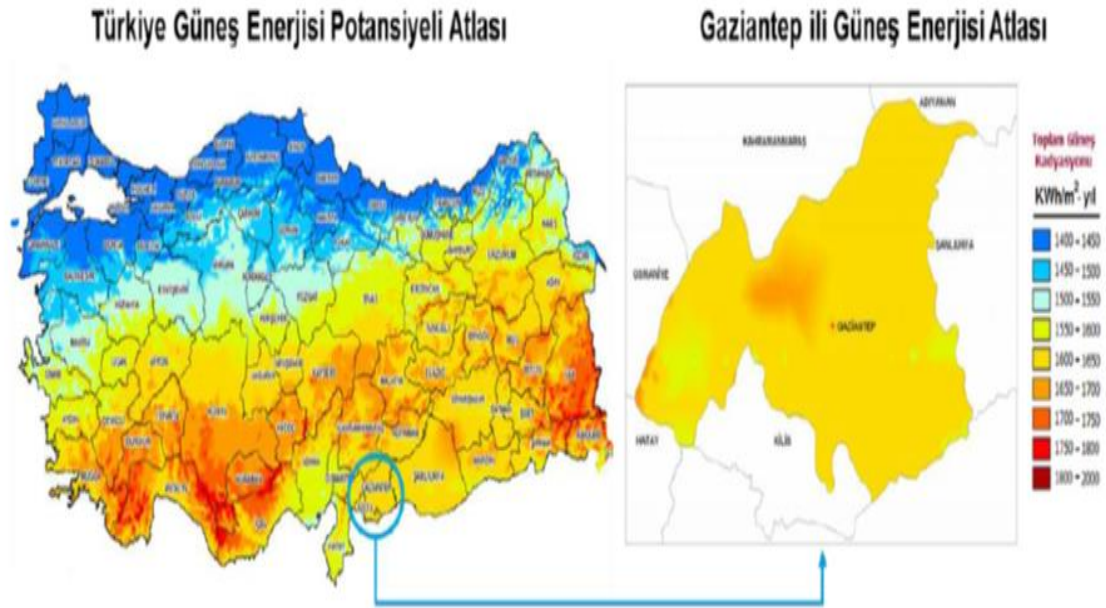
Gaziantep iline ait aylık güneş ışınım süreleri Şekil 2.21’de, global güneş radyasyon değerleri Şekil 2.22’de güneş enerji potansiyeli ise Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Gaziantep ilinin aylara göre güneş ışınım süresi (saat) [48]



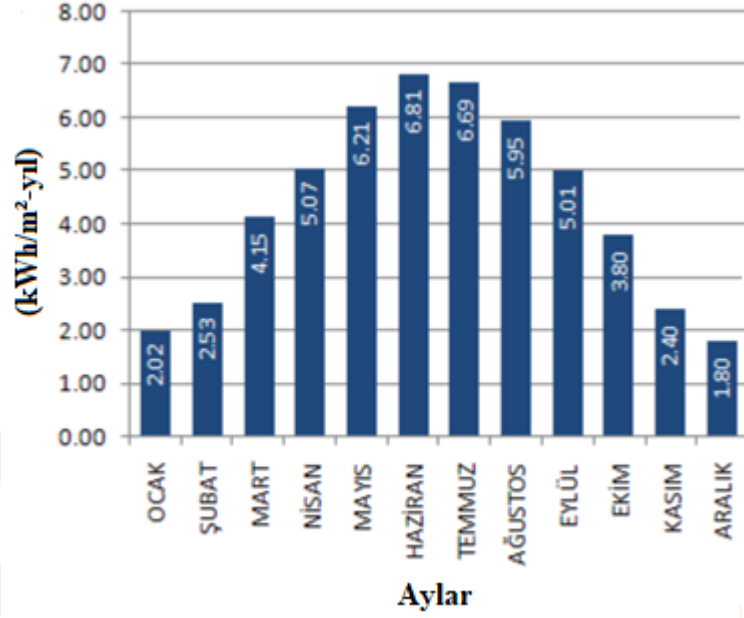
Şekil 2.22. Gaziantep ilinin aylara göre global güneş radyasyon değerleri (kWh/m²) [48]



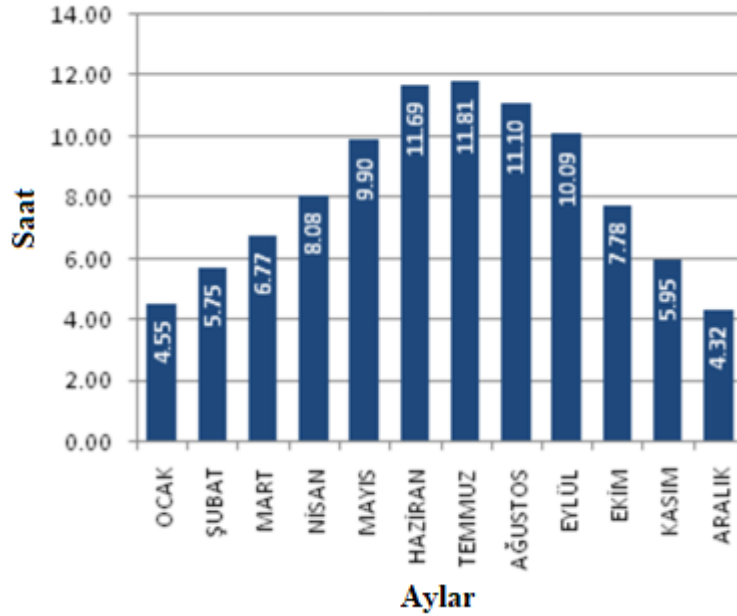
Şekil 2.23. Gaziantep ili güneş enerji potansiyeli [48]

Güneş Enerji Santralinin kurulduğu bölgeye ait global radyasyon değerleri (kWh/m² yıl) Şekil 2.24’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Gaziantep ili toplam güneş

radyasyonu bakımından büyük potansiyele sahiptir. Dolayısıyla güneş enerji santrali çıkış gücünün güneş radyasyonuna bağlı olarak artması açısından önem arz etmektedir.

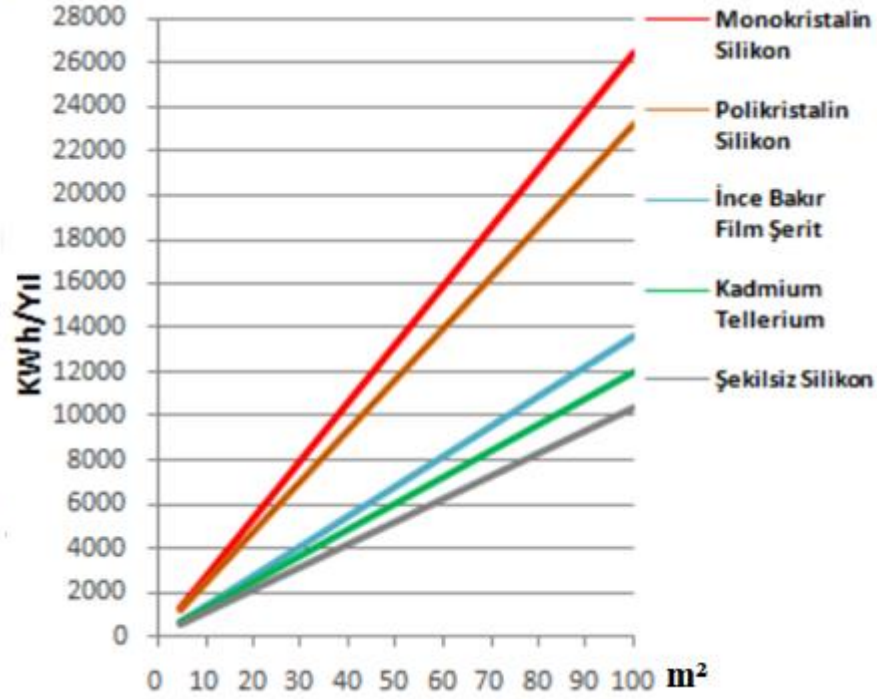


Şekil 2.24. Santralin kurulduğu Şehitkamil ilçesinin global radyasyon değerleri (kWh/m²-yıl) [48]



Şekil 2.25. Santralin kurulduğu Şehitkamil ilçesinin güneşlenme süreleri (saat) [48]

Güneş Enerji Santralinin kurulduğu bölgeye ait güneşlenme süreleri (saat) ise Şekil 2.25’de gösterilmiştir. Bu değerlerin incelenmesinden Gaziantep ilinin yıl boyunca ortalama 8 saat güneş aldığı görülmektedir. Gaziantep ili Türkiye ortalamasının üzerinde güneş alması güneş enerjisinden etkili bir şekilde yararlanmak için önemli bir gerekçe olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.26. Gaziantep’te farklı FV tipleri ile farklı alan büyüklüklerinde üretilen enerji miktarı (kWh-yıl) [48]

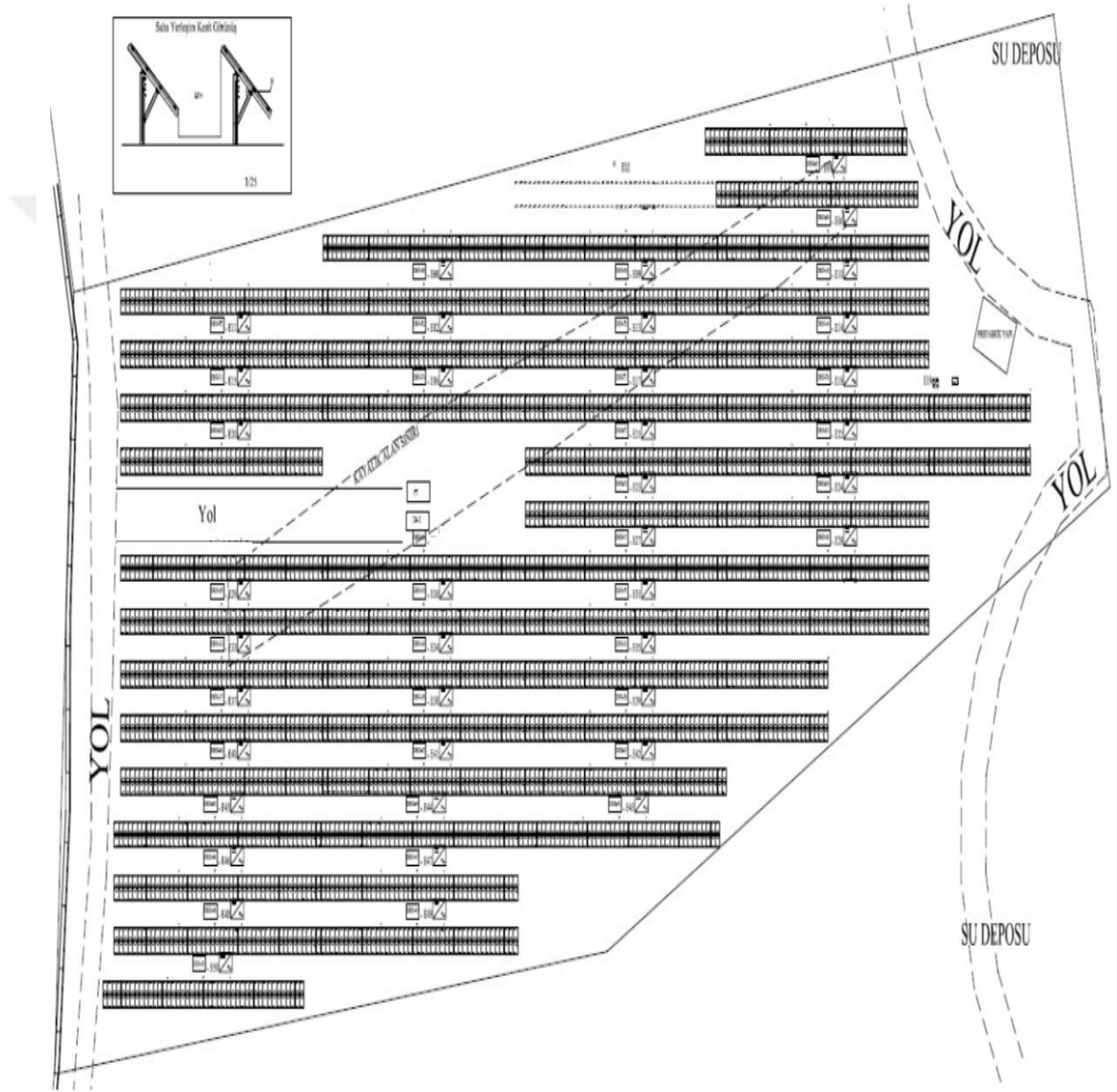
Gaziantep’te kullanılan farklı FV tipleri ile farklı alan büyüklüklerine göre bir yılda üretilen enerji miktarları Şekil 2.26’da verilmiştir. Alanın kısıtlı olması durumunda monokristal güneş panelleri kullanılabilir ya da yatırımcı arazi büyüklüğüne göre ilgili güneş panellerini seçebilir.

2.9.4 Santralin teknik özellikleri

GASKİ Güneş Enerji Santrali 37.217586 N 37.301403 E coğrafi koordinatlarında yer almaktadır. 2017 yılının Ekim ayında kurulmuştur. 154 / 31.5 kV Gaziantep TM-2 3/0 iletkenli DSİ fideri beslemeli, Aktoprak DM / Karayusuflu DM irtibatlı, GASKİ çıkışlı

ENH'nın mevcut kesicili çıkış hücresinden bağlantı yapılarak uygun kadastro yol güzergâhından 3/0 iletkenli enerji nakil hattı tesis edilmiştir.

1080 kWp/1000 kW kapasitelidir. Hücre teknolojilerinden olan polikristal hücre kullanılmış olup her bir panelin gücü 260 W'tır. Güneş panelleri 30°'lik açı ile güneye bakacak doğrultuda yerleştirilmiştir. İncelenecek tesisin yerleşim planı Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Santralin yerleşim planı

Kurulumu tamamlanmış güneş enerji santralinin görüntüsü ise Resim 2.1 ve Resim 2.2' de verilmiştir.



Resim 2.1 GASKİ güneş enerji santralinin yandan görünümü



Şekil 2.2. Kurulumu tamamlanmış olan santralin üstten görünümü

2.9.4.1. Fotovoltaik panel

İncelenen güneş enerji santralinde 260 Wp gücünde, Risen marka, toplamda 4160 adet polikristal güneş paneli kullanılmıştır. Her panelde ise 60 adet güneş hücresi bulunmaktadır. Panelin elektriksel değerleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Santralde kullanılan güneş paneline ait elektriksel özellikler

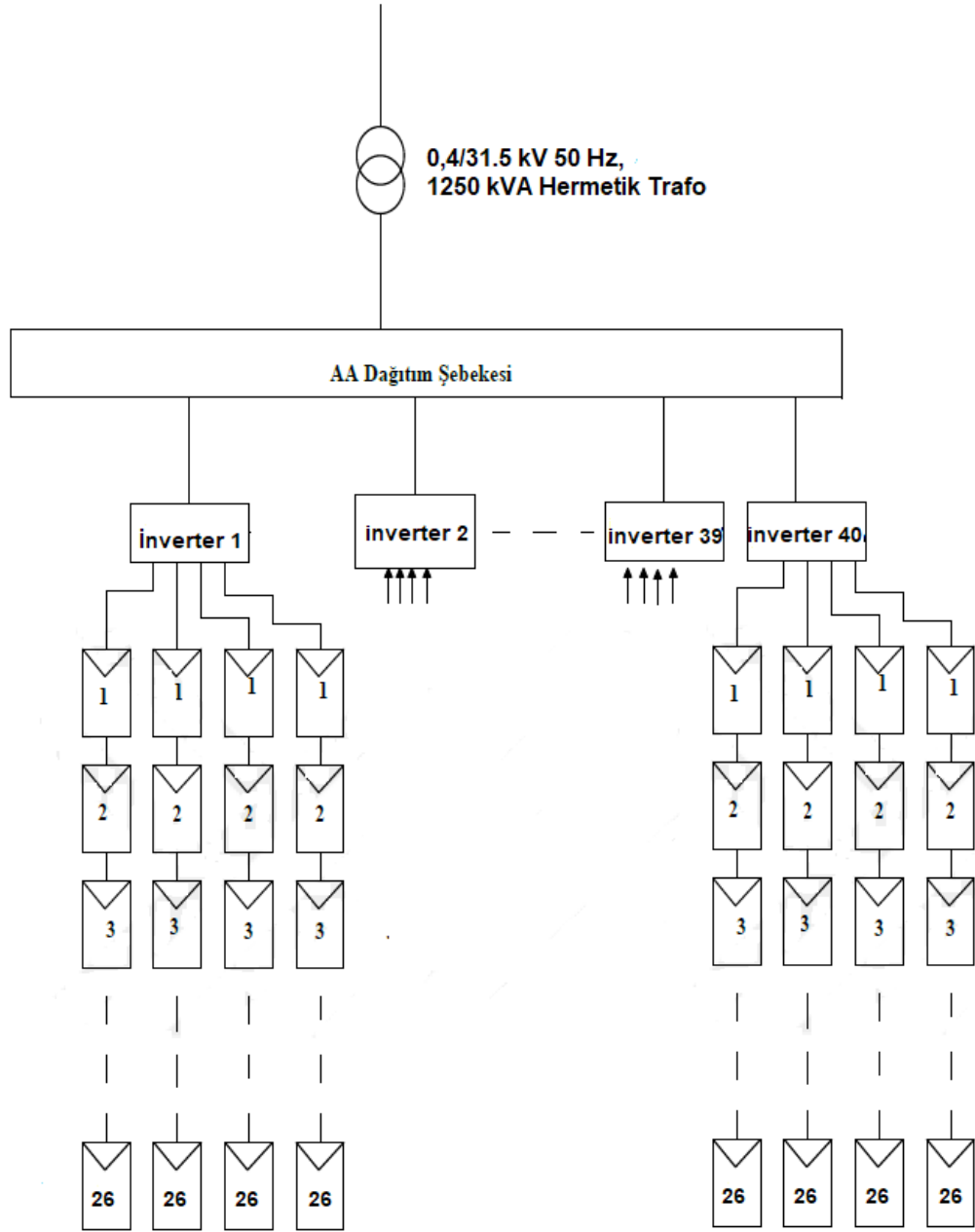
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum güç (P_{max})	260 Wp
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	30,7 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	8,48 A
Açık devre voltajı (V_{ad})	37,9 V
Kısa devre akımı (I_{kd})	9,00 A
Sıcaklık katsayısı (μ)	-0,39 [% / °C]

2.9.4.2. İnverterler

İnverter çıkışlarındaki alçak gerilim 3 fazlı, 0,4 / 31,5 kV, 50 Hz, 1250 kVA’lık bir hermetik bir trafo ile 31.5 kV yüksek gerilime dönüştürülerek şebekeye bağlantısı yapılmaktadır. Kullanılan dizi invertere ait elektriksel özellikler Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9. Santralde kullanılan dizi inverterlere ait elektriksel özellikler

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum giriş gücü	25800 W
Maksimum giriş gerilimi	1000 V
Maksimum giriş akımı	27 A
Maksimum çıkış akımı	37 A
Maksimum çıkış gücü	25000 W



Şekil 2.28. İncelenen santralin genel konfigürasyonu

Santral 40 tane 25 kW'lık kırk diziden (string) oluşmaktadır. Santralde Goodwe marka, 9025KDTU177R0 serisi harici tip inverter kullanılmıştır. İnverterlerin iki adet MPPT girişi mevcuttur. 25 kW gücündeki dizilerde 4 adet dize (array) bulunmaktadır. Her iki dize 25 kW'lık inverterlerin bir MPPT girişine bağlanmaktadır. Her dizede 26 tane fotovoltaik modül seri bağlanmıştır. Toplamda 5 adet inverter toplama panosu olup her panoya 8 adet inverter bağlanmaktadır. İncelenen GASKİ Güneş Enerji Santralinin genel konfigürasyonu Şekil 2.28'de gösterilmektedir.

2.9.4.3. Güneş enerji santrali izleme programı

Bu güneş enerji santrali sisteminde dataloger kullanılarak 1080 kWp lik santralin FV gücü, FV enerjisi, üretilen güç, üretilen enerji, DC güç, DC gerilim, akım, gerilim, frekans, inverter sıcaklığı gibi farklı bilgiyi ölçebilmekte ve kayıt altına alabilmektedir. Anlık olarak alınan veriler 5 dakikalık aralıklarla veri toplama kartları ile kaydedilmiştir. Kayıt altına alınan verilere, Sems Portal programı kullanılarak uzaktan erişim imkânı sunmaktadır. Bu program bir gün içinde üretilen enerjiyi anlık olarak takip edebilme imkânı sunmakta birlikte bir günlük, aylık, yıllık ve toplam TL kazancını da göstermektedir. Bir günlük üretimi gösteren grafik Şekil 2.29’te örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.29. Sems portal programında bir günlük enerji üretimini gösteren grafik

Aylık üretimi gösteren grafik ise Şekil 2.30’te örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.30. Sems portal programında aylık olarak enerji üretimini gösteren grafik

Ayrıca programda her bir invertere ait sıcaklık, akım, gerilim, güç değerlerini ve günlük, aylık ve yıllık olarak üretilen enerji değerlerini göstermektedir. Bir invertere ait elektriksel özellikleri ve günlük üretilen enerji miktarını gösteren grafik Şekil 2.31’de verilmektedir.



Şekil 2.31. Sems portal programında günlük olarak bir invertere ait enerji üretimini gösteren grafik

2.10. Sistem Performans Oranı (SPO)

Sistem performans oranı güneş enerji santralının konumundan bağımsız bir kalite ölçüsüdür ve genellikle kalite faktörü olarak adlandırılır. Fotovoltaik tesisin gerçek ve teorik çıkışları arasındaki ilişkiyi tanımlar ve sistem performans oranı yüzdesel olarak ifade edilir. Bu nedenle enerji kaybı (termal kayıplar ve iletim kayıpları gibi) ve işletme için gereken enerji düşüldükten sonra FV sistemin verebileceği gerçek enerji miktarını gösterir.

FV tesis için bulunan SPO değeri % 100'e yaklaştıkça tesisin daha verimli çalıştığı anlamına gelir. Gerçek hayatta güneş enerji santrali çalışırken oluşan önlenmesi mümkün olmayan kayıplar, ısınma sonucu panelde oluşan termal kayıplar gibi nedenlerle % 100 değerlerine ulaşmak mümkün değildir.

SPO güneş enerji santralının ne kadar verimle çalıştığını göstererek diğer FV tesisleriyle kıyaslama yapmayı sağlar ve tesisin durumunu uzun periyotlar süresince izleme imkanı sunar.

Sabit düzenli aralıklarla sistem performans oranının belirlenmesi mutlak bir karşılaştırma sağlamaz. Buna karşılık işletmeciye performans ve çıkışı kontrol olanağı sağlar. PV sistemin kurulumundan bu yana optimum çalıştığı farz edilir ve zaman içinde yeni SPO değerleri alınırsa sapmaların belirlenmesi kolaylaşır ve uygun önlemlerin derhal alınması sağlanır. SPO değerindeki normalin altındaki sapmalar FV tesisindeki sorunun erken bir safhada saptanmasını sağlar.

SPO değeri;

$$SPO = \frac{E_{ac} \cdot I_{stc}}{P_{nom} \cdot H} \quad (2.10.1)$$

bağıntısı ile elde edilir [66].

Burada E_{ac} elektrik enerjisinin belirli bir zamanda üretilen kWh değerini, I_{stc} STK koşullarındaki gün ışığı radyasyon değerini (1 kWp/m²), P_{nom} sistemin kWp cinsinden toplam gücünü ve H belirlenen zaman içerisindeki güneş panellerinin üzerine düşen küresel ışınım değerini (kWh/m²) ifade etmektedir.

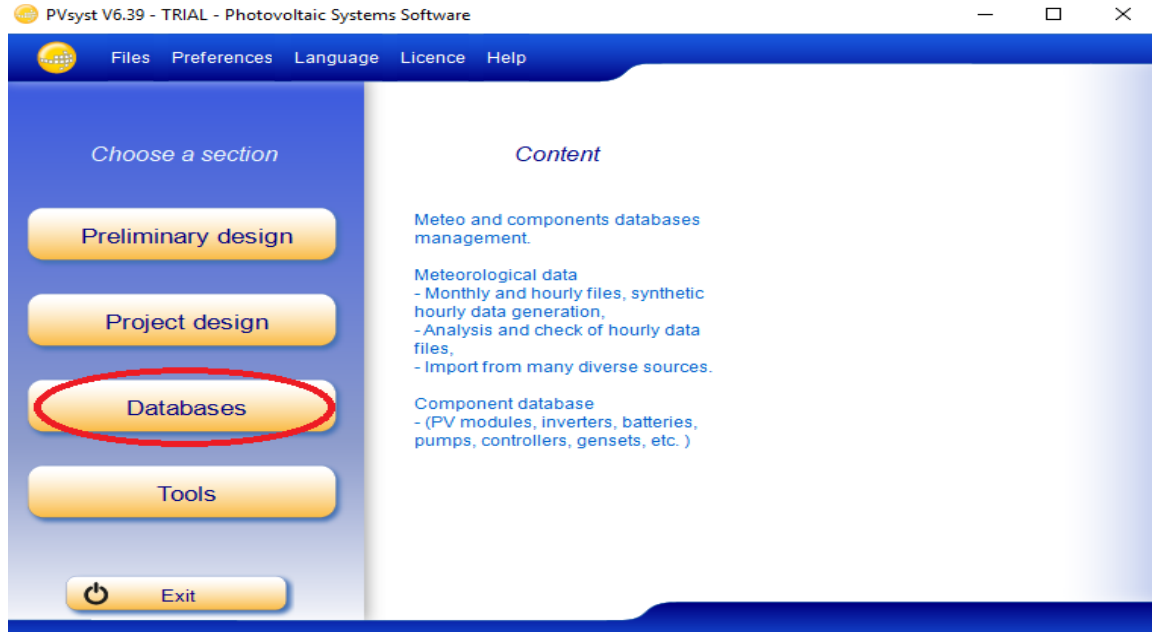
SPO değerleri dikkate alınırken panellerin yıllara bağlı olarak azalan verimleri de göz önüne alınmalıdır.

2.11. PVsyst Programı

PVsyst programı FV sistemlerin modellenmesi, boyutlandırılması ve veri analizi için kullanılan bir yazılım programıdır. Bu program Cenevre Üniversitesi tarafından C programlama dili kullanılarak yapılan, mühendisler ve araştırmacılar tarafından kullanılmasına yöneliktir. Bu yazılım programı şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız FV sistemler için meteorolojik verileri, güneş ışınım değerlerini, inverter ve panel özelliklerini, FV sistem bileşenlerini kullanarak analizlerin geręekleřtirilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında 3D uygulaması ile gölgelerin analizi yapılarak sistem performansına olan etkileri incelenebilir. Ayrıca ekonomik yönden analiz ederek geri ödeme hesapları yapılabilir.

2.11.1. PVsyst simülasyon programının çalıştırılma aşamaları

PVsyst simülasyon programının 3.6.9 versiyonu kullanılmıştır. İncelenecek tesisin performans analizi bulurken programda öncelikle tesisin bulunduğu bölge işaretilenerek o yere ait ışınım değerleri bulunur.



şekil 2.32. PVsyst programı aşama 1

Bunun için Şekil 2.32’de gösterilen Veri tabanı (Databases) tıklanır. Bu araç saat-saat ve ay-ay iklimsel bilgilerin yönetiminde ve saat değerlerini yapay olarak oluşturup, oluşturulan verilerin dışarı aktarılmasında kullanılır. Veri tabanı aynı zamanda FV kurulumlarında kullanılan tüm elemanların, paneller, eviriciler, bataryalar gibi verilerini de içerir.

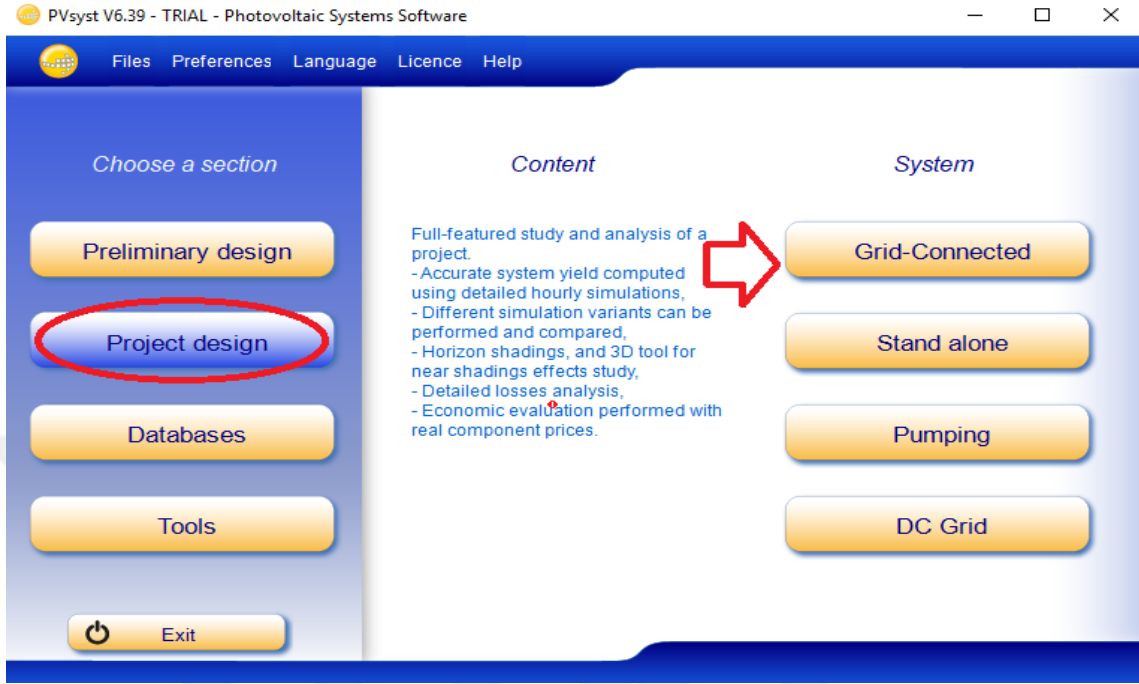
Diğer aşamada ise içerisinde bulunan coğrafi alan yönetim bölgesine tıklayıp haritadan tesisin bulunduğu alan işaretlenir ancak incelediğimiz tesis haritada gözükmediğinden Şekil 2.33’de gösterildiği gibi tesisin bulunduğu koordinatlar ilgili yerlere girilerek import (içeri aktarım) seçeneğine tıklanır, tesise ait meteorolojik veriler belirlenir ve kayıt yapılır.

The screenshot shows the 'Geographical site parameters' dialog box in PVsyst. The 'Geographical Coordinates' tab is selected. The 'Location' section includes 'Site name' (GASKI GES), 'Country' (Turkey), and 'Region' (Asia). The 'Geographical Coordinates' section includes 'Latitude' (37.22 Decimal, 37 Deg, 13 min), 'Longitude' (37.30 Decimal, 37 Deg, 18 min), 'Altitude' (980 M above sea level), and 'Time zone' (3.0). A 'Sun paths' button is also present. On the right, there are 'Meteo data Import' options (Meteonorm 7.1 selected, NASA-SSE) and 'Import' button. Below that are 'Tabular I/O (Excel)' options: 'Import', 'Export line', and 'Export table'. At the bottom, there are buttons for 'New Site', 'Print', 'Cancel', and 'OK'.

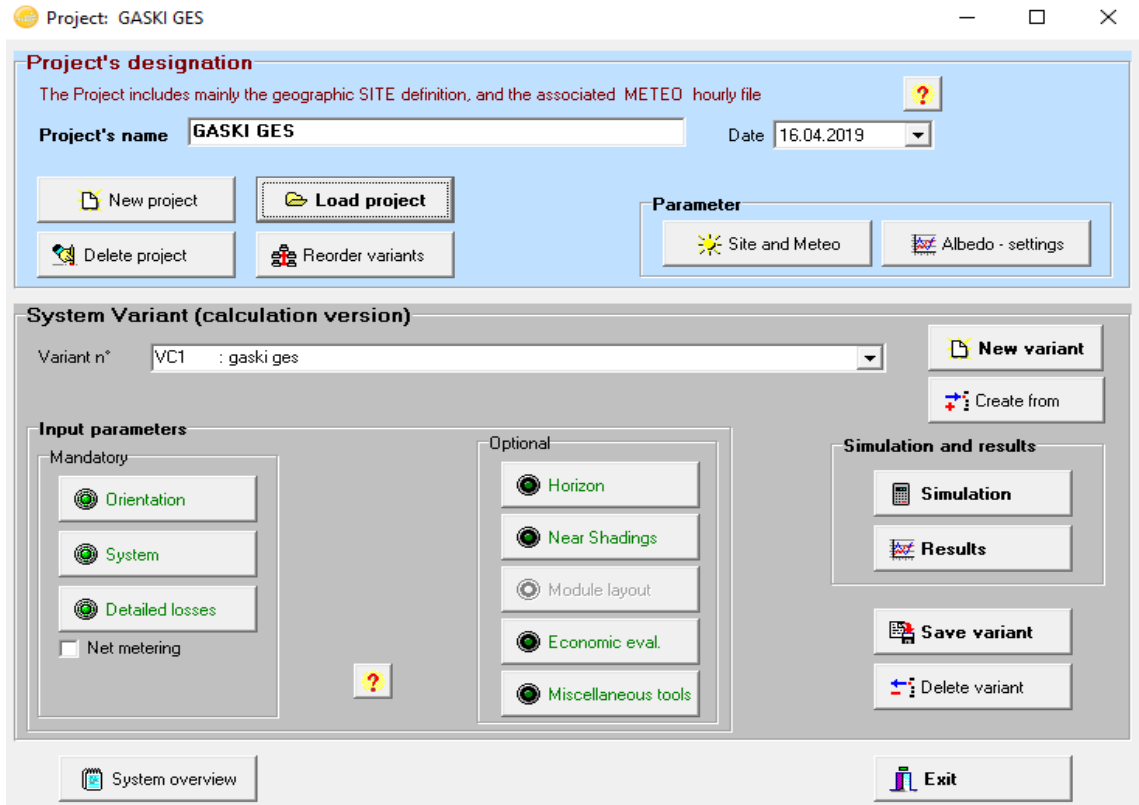
Şekil 2.33. PVsyst programı aşama 2

Sonraki aşama ise Şekil 2.34’de gösterilmiştir. İncelediğimiz tesis şebekeye bağlı bir tesis olduğu için bu aşamada Proje Dizaynı (Project Design) seçeneği kullanılır. Şebeke

Bağlantılı (Grid connected) seçimini yaptığımızda, Şekil 2.35’de belirtilen kontrol penceresi açılır.



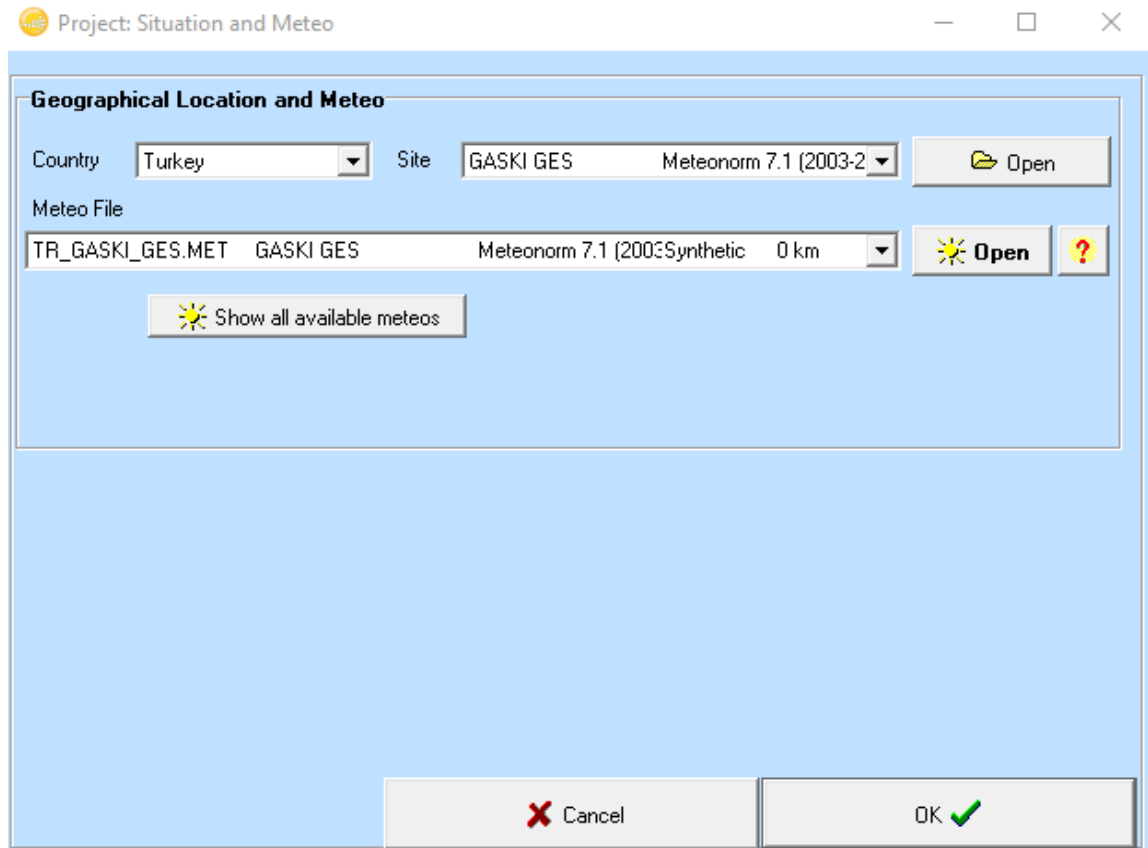
Şekil 2.34. PVsyst programı aşama 3



Şekil 2.35. PVsyst programı aşama 4

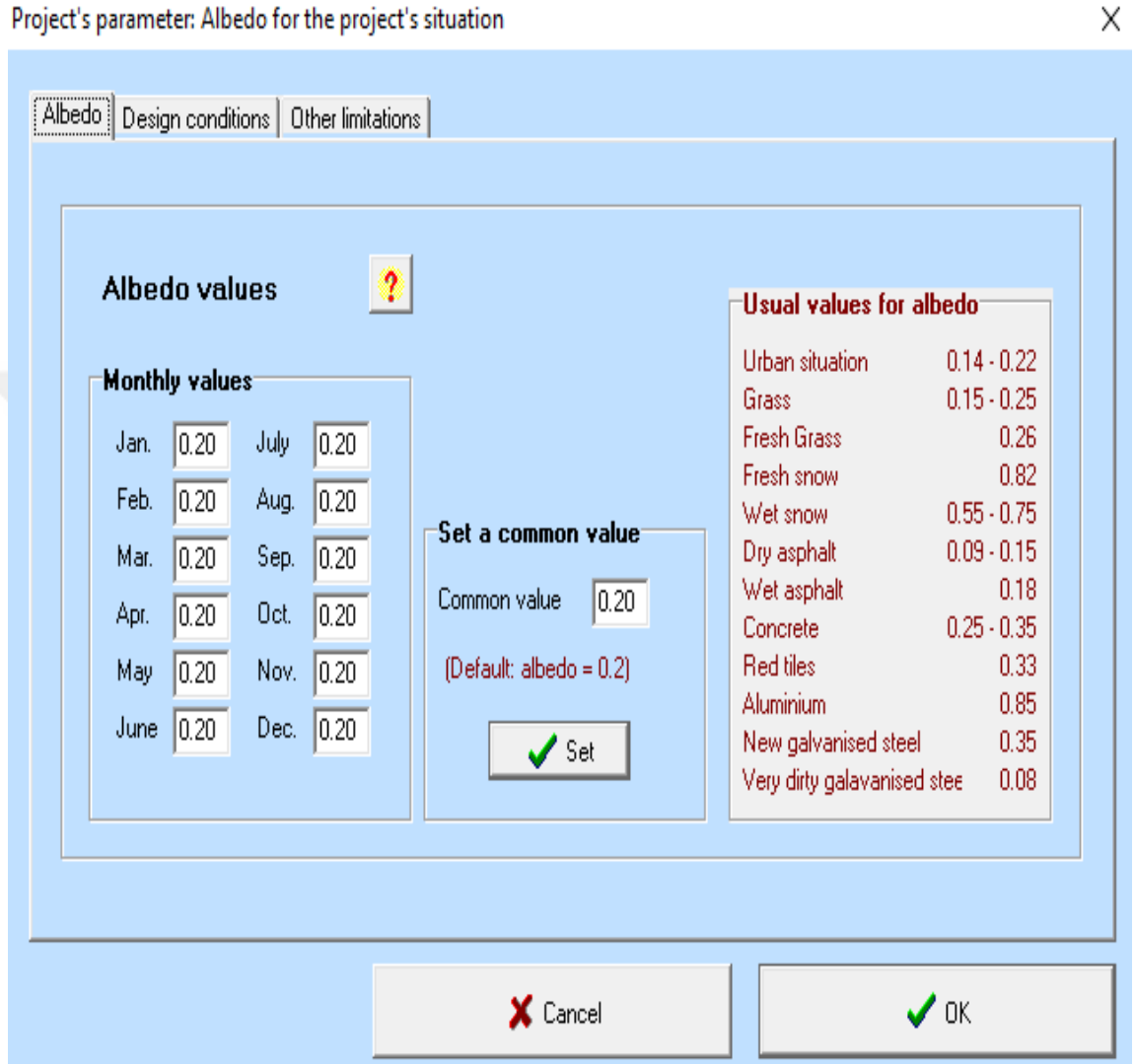
Kontrol penceresinde incelenecek tesisin coğrafi konumunu, meteorolojik bilginin bulunduğu dosyayı, Albedo değişkeni gibi temel parametreleri bazı boyut durumlarını ve sisteme özel parametreleri içerir. Veri tabanında proje *.PRJ uzantısına sahip bir dosya olacaktır.

Her sistem değişkeni sistemin tüm detaylı tanımını içerir, bu sayede simülasyon hesaplamaları yapılır. Bu tanımlara solar panellerin ve eviricilerin modeli ve sayısı, sistemin geometrik düzeni ve olası gölge durumları, elektrik bağlantıları, çeşitli ekonomik senaryolar vs. dahildir. Sonrasında Site and Meteo'ya tıklanarak Şekil 2.36'da belirtilen pencere açılır. Bu pencere de daha önce kayıt ettiğimiz tesisin ismi seçilir ve "Ok" butonu ile inceleyeceğimiz tesis seçili duruma getirilmiş olur. Bu kısım tesis bilgilerini, koordinatları (enlem, boylam, yükseklik ve zaman dilimi) ve aylık meteorolojik verilerini içerir.



Şekil 2.36. PVsyst programı aşama 5

4. aşamadaki çalışma penceresinde belirtilen “Albedo Settings” butonuna basılarak ortak proje parametrelerine yani albedo değerlerine, dolayısıyla dizayn koşullarına ve dizayn sınırlamalarına ulaşılır. İlgili alan Şekil 2.37’de verilmiştir.



. Şekil 2.37. PVsyst programı aşama 6

Albedo faktörü genelde 0.2 değeri seçilebilir standart bir değerdir. Yine de, eğer proje bölgesi çok dağlık ve kalıcı kar olan bir bölgede ise, albedo faktörünü daha yüksek bir değere, mesela 0.8’e ayarlanabilir. Burada incelenen tesis dağlık bir bölge olmadığından 0.2 değeri seçilmiştir. Kontrol penceresinin diğer sekmesinde Şekil 2.38’de gösterilen dizayn koşulları (design conditions) sekmesi bulunur.

The screenshot shows the 'Design conditions' tab in the PVsyst software. It is divided into two main sections: 'Site-dependent Design parameters' and 'Other design Parameters'. The 'Site-dependent Design parameters' section includes a red warning icon and a text box: 'Reference temperatures for array design by respect to the inverter input voltages'. Below this, there are four temperature settings, each with a value in a text box, a unit of °C, and a checked checkbox. The 'Other design Parameters' section includes a red warning icon and a text box: 'Array Max. voltage'. It has two radio button options: 'IEC (usually 1000 V)' and 'UL (usually 600 V)'. Below this is another text box: 'muVoc value' with two radio button options: 'From one-diode model' and 'From specification'. To the right of these options is a text box for 'Limit overload loss for design' with the value '3.0' and a checked checkbox. At the bottom of the window are two buttons: 'Cancel' with a red X icon and 'OK' with a green checkmark icon.

Parameter	Value	Unit	Default
Lower temperature for Absolute Voltage limit	-10	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Winter operating temperature for VmppMax design	20	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Usual operating temperature under 1000 W/m	50	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Summer operating temperature for VmppMin design	60	°C	<input checked="" type="checkbox"/>

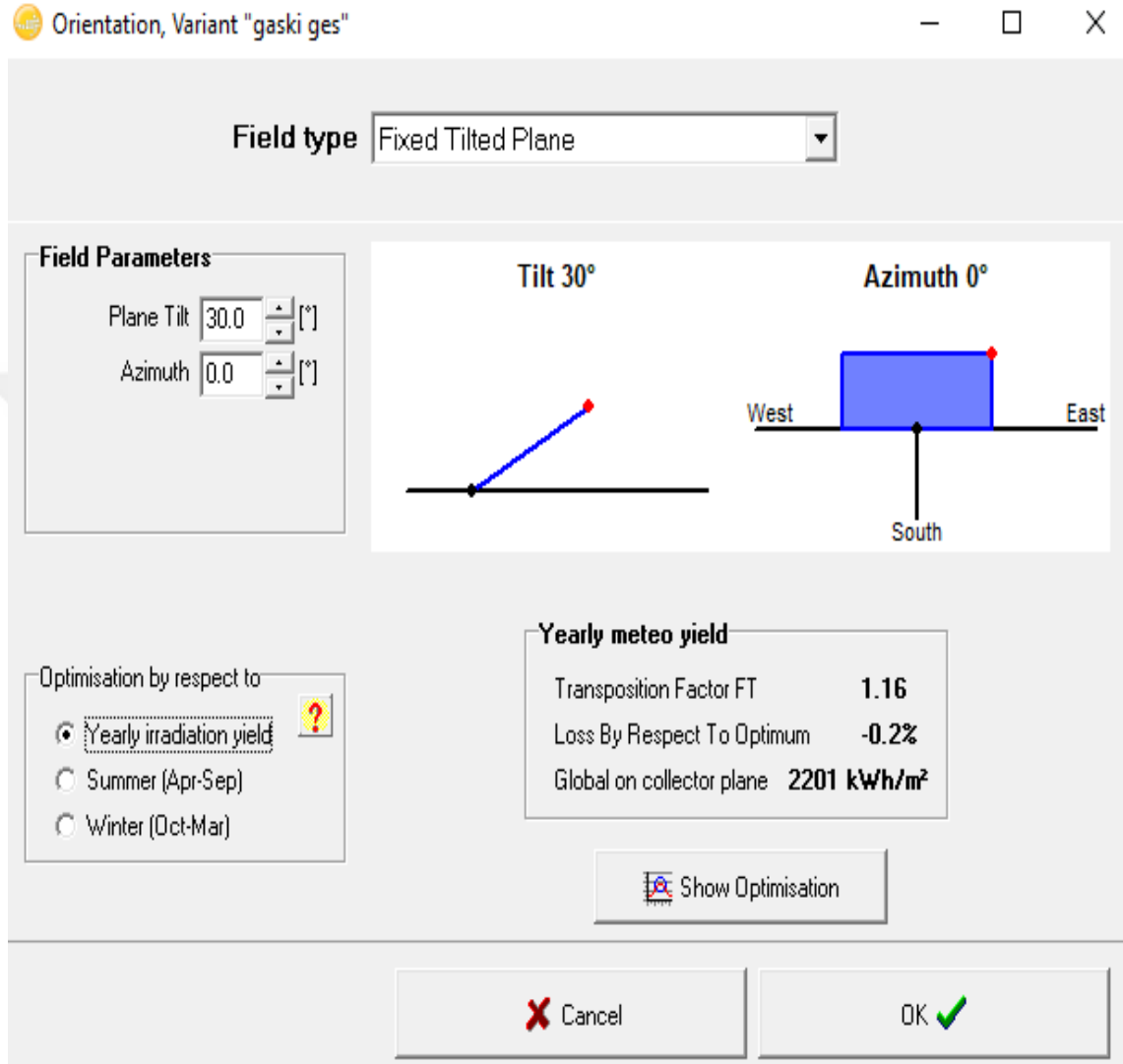
Parameter	Value	Unit	Default
Limit overload loss for design	3.0	%	<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 2.38. PVsyst programı aşama 7

Bu sekme minimum ve maksimum sıcaklık değerlerini ayarlayabileceğiniz penceredir. Bu sıcaklık değerleri simülasyona dahil edilmez sadece sistemin boyutlandırılmasında kullanılır.

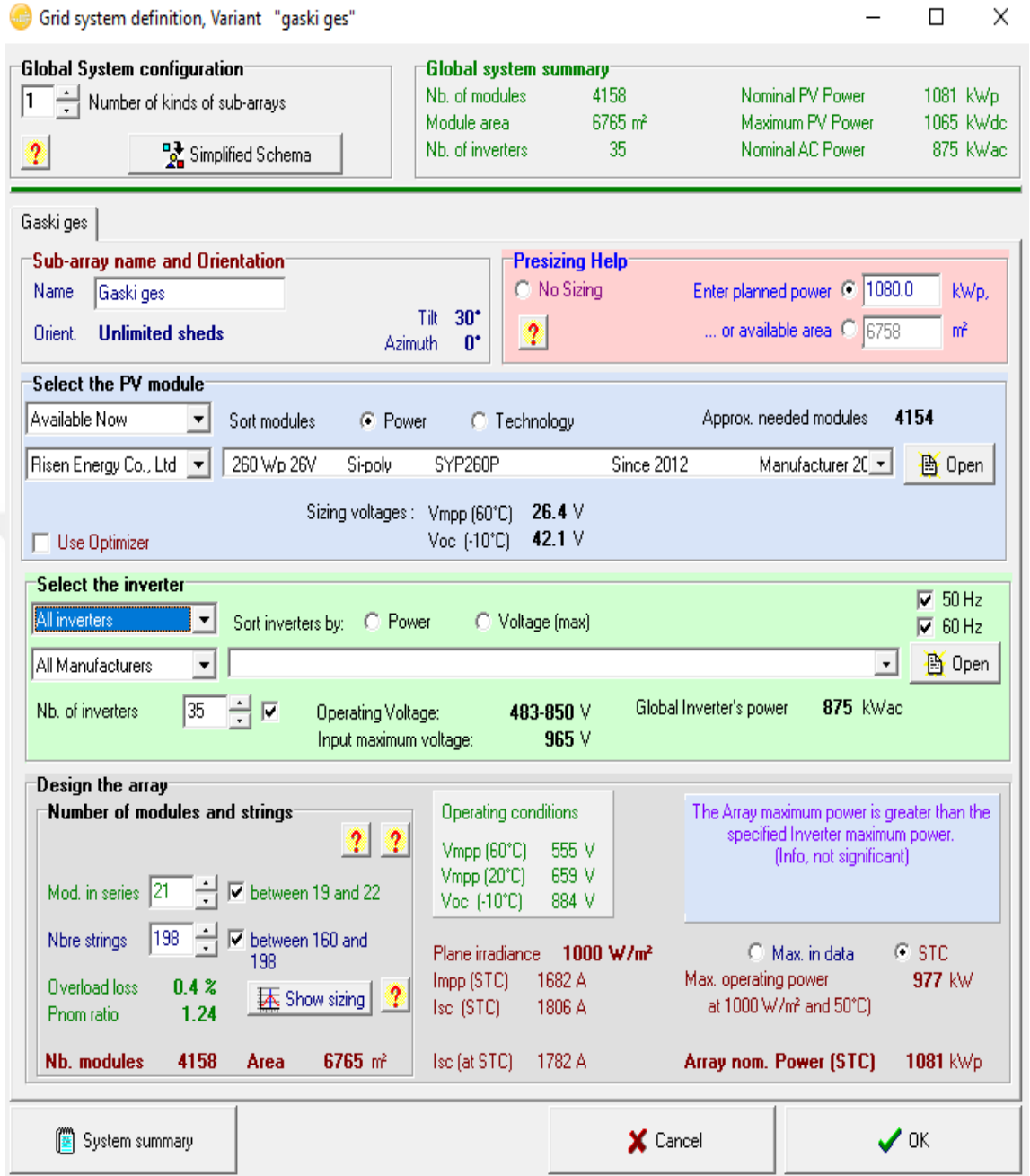
Mutlak voltaj için alt sıcaklık değeri "Lower temperature for Absolute Voltage Limit" bölgeye bağlıdır ve sistemin güvenliği ile ilgili olduğu için önemli bir değerdir (herhangi bir durumda maksimum dizi gerilimini belirler). İdeal olarak, bu değer gün içinde o bölgede ölçülmüş mümkün olan en düşük sıcaklık değeridir. Orta Avrupa'da bu değer için yaygın uygulama -10°C 'dir (dağlık bölgelerde daha düşüktür).

Sonrasında “Ok” butonuna basılarak kayıt yapılır ve tekrar 4. aşama penceresine gelinerek oryantasyon (Orientation) butonuna tıklanır ve tesisin kurulum yapıldığı eğim ve azimut değerleri girilir.



Şekil 2.39. PVsyst Programı Aşama 8

İncelenen tesis sabit eğimli düzlem üzerinde olduğu için “fixed tilted plane” seçeneği seçilmiştir. Şekil 2.39’da görüldüğü üzere eğim ve azimut değerleri sırasıyla 30° ve 0° dir. Azimut, güney ile panellerin yönü arasındaki açı olarak tanımlanır. Batı yönündeki açı pozitif, doğu yönündeki açı ise negatif olarak alınır. Azimut ve eğimi ayarladıktan sonra “Ok” a basılır ve “Orientation” butonunun yeşile döner sonrasında ise “System” e tıklanır. Sonrasında açılacak pencere Şekil 2.40’ta verilmiştir.



Şekil 2.40. PVsyst programı aşama 9

Veri tabanından bir FV panel seçilir. “All Modules” tıklanır ve ilgili marka seçilir. Tesiste 260 W Riven marka güneş panelleri kullanıldığı için bu marka seçilir ve panele ait elektriksel ve mekaniksel özellikler ise “Open” seçeneğinde verilir. Bu ise Şekil 2.41’de verilmiştir.

Aynı şekilde inverter seçeneğinden tesiste kullanılan Goodwe marka inverter seçilip tesise ait diğer dizayn parametreleri girildi. Son aşamada ise simülasyon kısmına geçilir.

Ancak bu kısma geçmeden önce proje kontrol penceresinde tüm butonların yeşil yanması veya kapalı olması gerekir.

Simülasyonda gösterilen mesaj renkleri o uyarının ne anlama geldiğini söylemektedir. Siyah mesajlı renkler ek bilgiler yada nasıl devam edileceğini söyleyen mesajlardır. Turuncu mesajlar uyarıdır ve dizayndaki sorunları gösteren kabul edilebilir mesajlardır. Kırmızı renkli mesajlar ise simülasyonda yapılan ciddi hataları göstermekte olup simülasyonu başlatmayı engelleyebilecek kadar ciddi mesajları içerir.

The screenshot shows the 'Definition of a PV module' dialog box in PVsyst. The 'Basic data' tab is active, displaying the following information:

- Model:** SYP260P
- Manufacturer:** Risen Energy Co., Ltd
- File name:** Risen_SYP260P.PAN
- Data source:** Manufacturer 2014
- Original PVsyst database:** Prod. from 2012
- Nom. Power (at STC):** 260.0 Wp
- Tol. +/-:** 0.0, 3.0 %
- Technology:** Si-poly

The 'Manufacturer specifications or other Measurements' section includes:

Reference conditions:	GRef	1000	W/m ²	TRef	25	°C
Short-circuit current	Isc	9.000	A	Open circuit Voc	37.90	V
Max Power Point:	Imp	8.480	A	Vmpp	30.70	V
Temperature coefficient	mulsc	4.8	mA/°C			
	or mulsc	0.053	%/°C			

The 'Model summary' section includes:

R shunt	300 ohm
Rsh(G=0)	1200 ohm
R serie model	0.30 ohm
R serie max.	0.35 ohm
R serie apparent	0.47 ohm

The 'Internal model result tool' section includes:

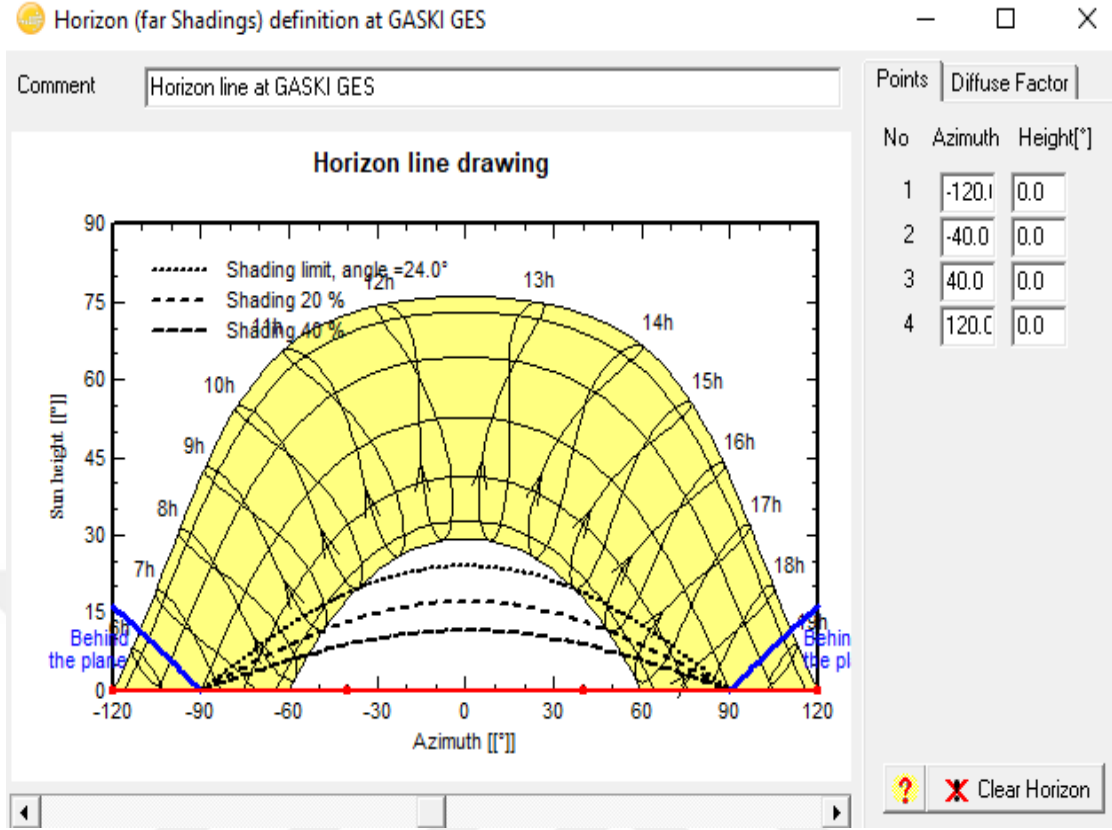
Operating conditions	GOper	1000	W/m ²	TOper	25	°C
Max Power Point:	Pmpp	260.3	W	Temper. coeff.	-0.39	%/°C
	Current Imp	8.45	A	Voltage Vmpp	30.8	V
	Short-circuit current Isc	9.00	A	Open circuit Voc	37.9	V
Efficiency	/ Cells area	N/A	%	/ Module area	16.00	%

The 'Model parameters' section includes:

Gamma	0.986
IoRef	0.13 nA
muVoc	-121 mV/°C
muPMax fixed	-0.39 /°C

The dialog box has five buttons at the bottom: 'Show Optimization', 'Copy to table', 'Print', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 2.41. PVsyst programı aşama 10

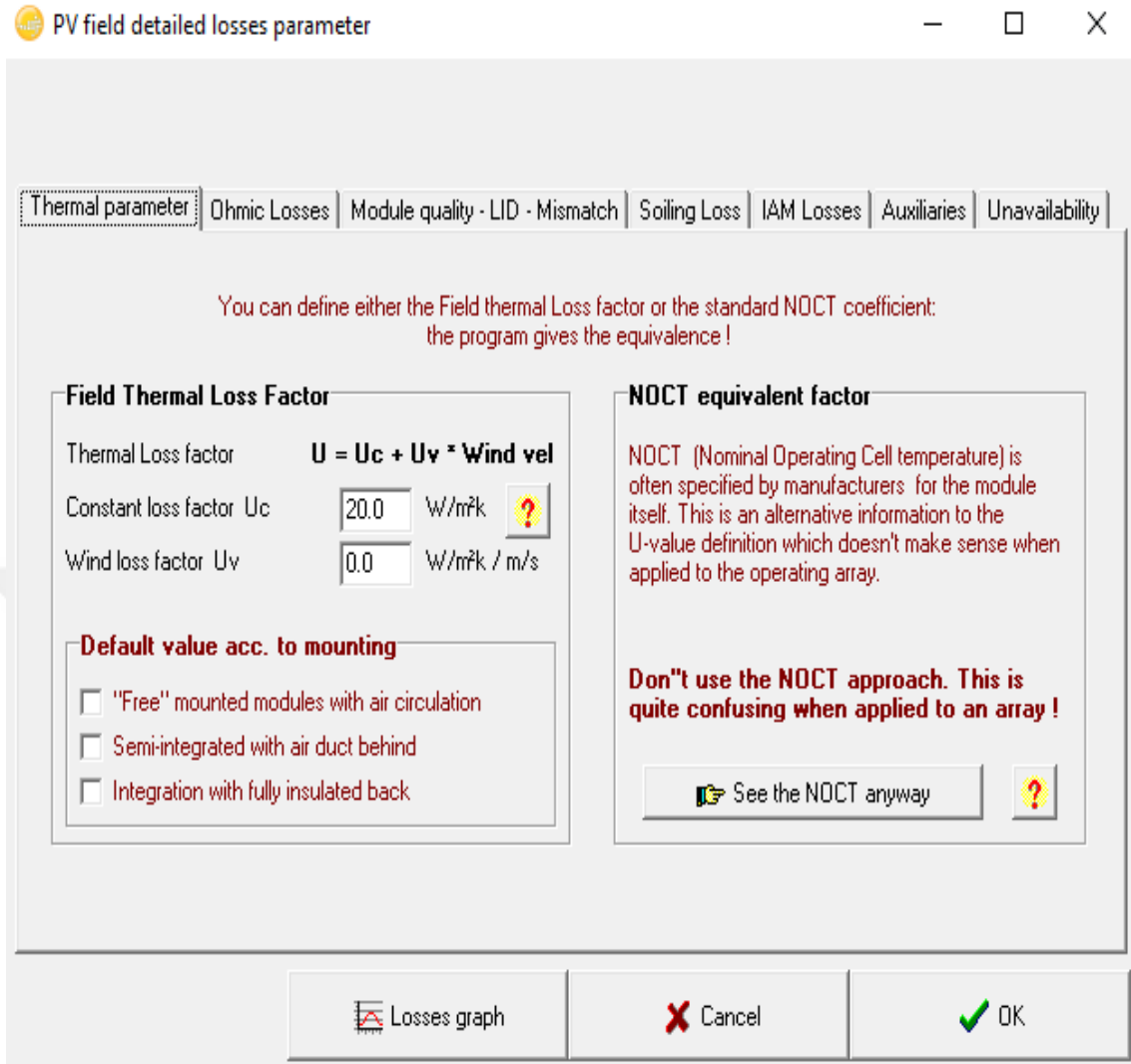


Şekil 2.42. Pvsyst programı aşama 11

Şekil 2.42’de ufuk profili görülmektedir. Ufuk profili sadece FV panellerden çok uzakta olan gölge yapma durumunda olan objeler için kullanılır. Çok uzak demek gölge yapıcı obje ile panel arasında ki mesafenin en az FV sistemin boyutunun 10 katı kadar olması anlamına gelir. Ufuk profili rakım ve azimut değerlerine bağla bir eğridir.

Uzak gölgelenmeler bir on/off modundadır. Yani ya vardır yada hiç hesaba katılmaz. Eğer güneş gölgelendirici objenin arkasında kalırsa, gölgelendirme etkisi hesaba katılır.”Horizon” butonuna basılırsa seçili bölgenin güneş hareketlerini gösteren bir grafikte karşılaşılır. Ancak incelediğimiz tesisin etrafında herhangi bir gölgelenme oluşturacak etken bulunmadığından bu kısım hesaba katılmadı.

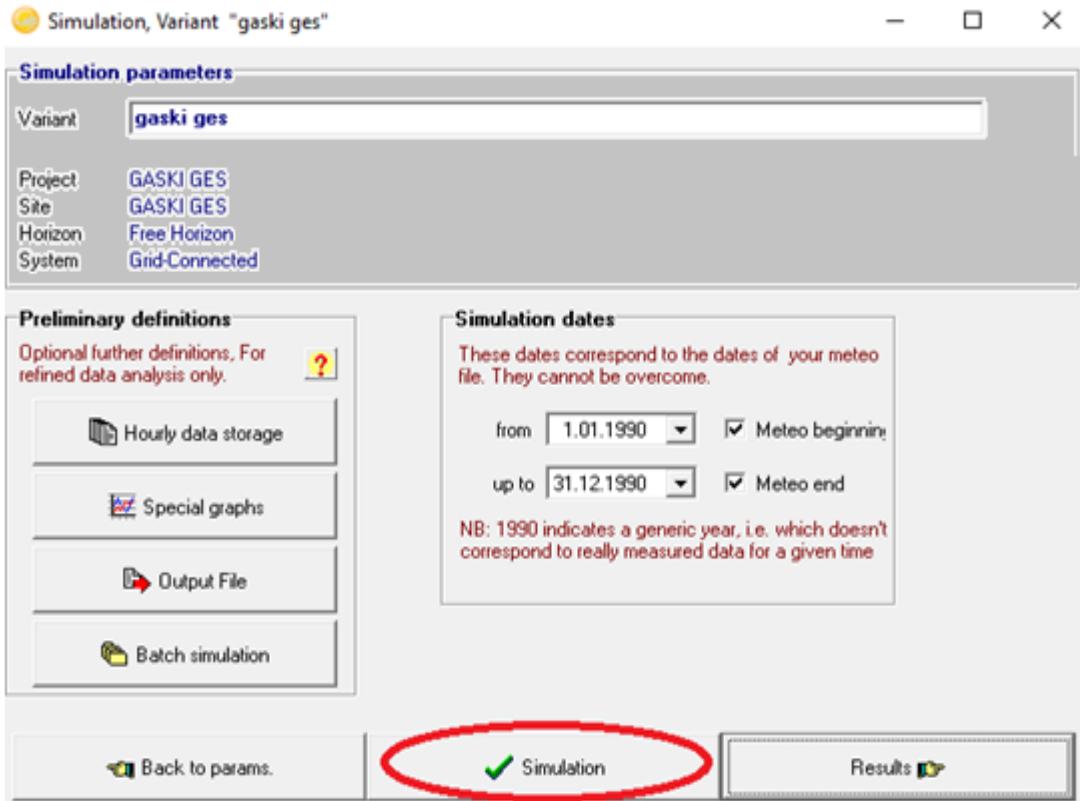
Aşama 4’de gösterilen pencerede bulunan kayıp detayları (detailed losses) butonuna tıkladığında Şekil 2.43’de gösterilen pencere açılır ve burada güneş enerji santraline ait ilgili parametreler girilir.



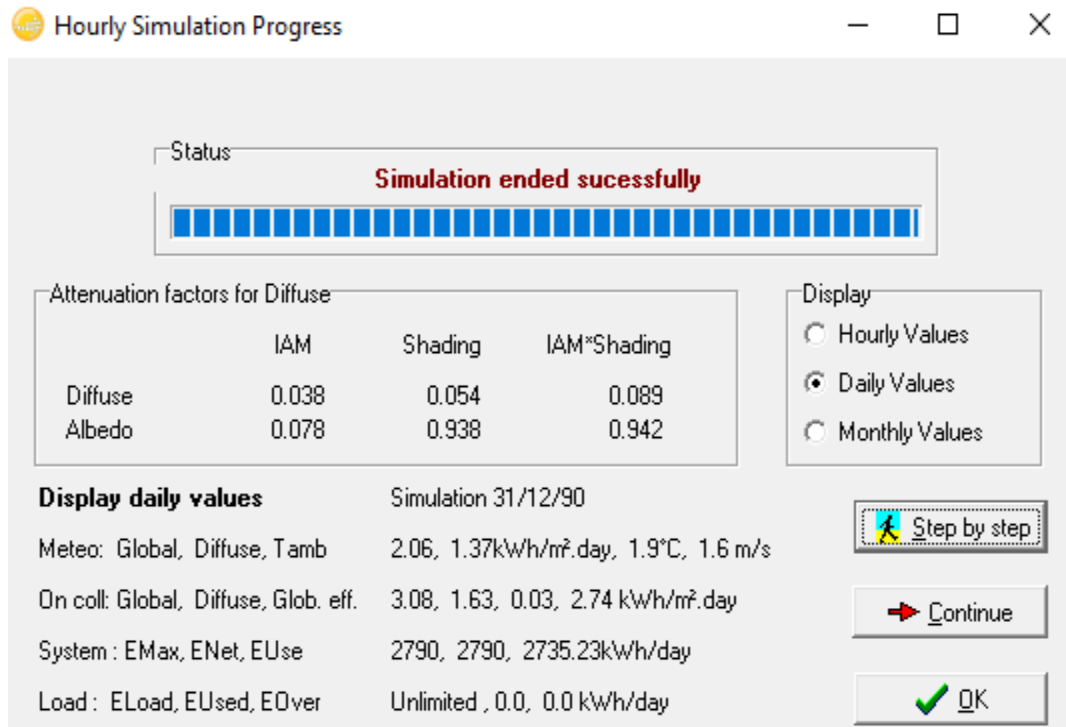
Şekil 2.43. PVsyst programı aşama 12

Simülasyon seçeneğine tıkladığında Şekil 2.44’de gösterilen ‘simulation date’panelinin altındaki tarihler değiştirilmez çünkü değiştirilmesi durumunda simülasyon yapılamaz. Sonrasında ise aktif olan simülasyon butonuna basılır ve simülasyon çalıştırılır.

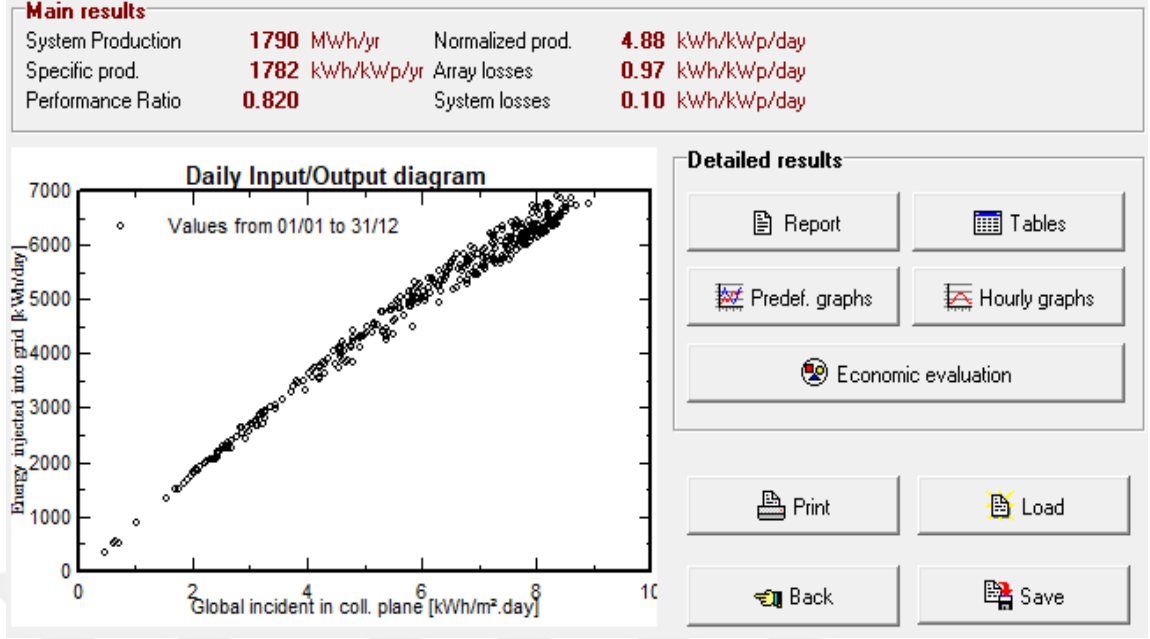
İlerleme çubuğu tamamlandığında Şekil 2.45’de gösterilen “Ok” butonu aktifleşir. Ok butonuna tıkladıktan sonra sonuçların bulunduğu “Results” penceresine yönlendirilir. Bu aşamadan sonra sistemin kayıp ve performans oranları belirlenmiş olur.



Şekil 2.44. PVsyst Programı Aşama 13

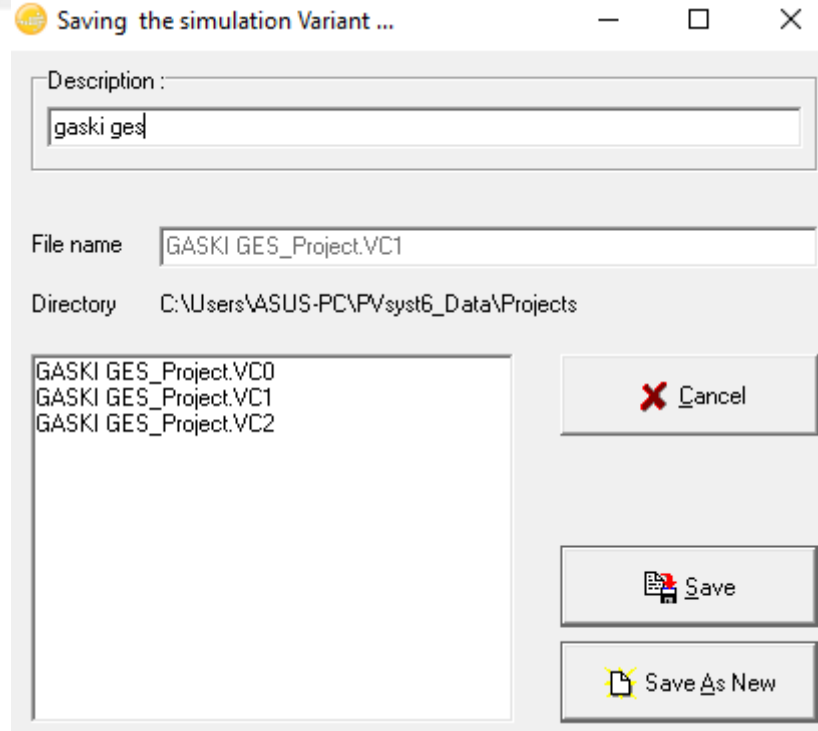


Şekil 2.45. PVsyst programı aşama 14



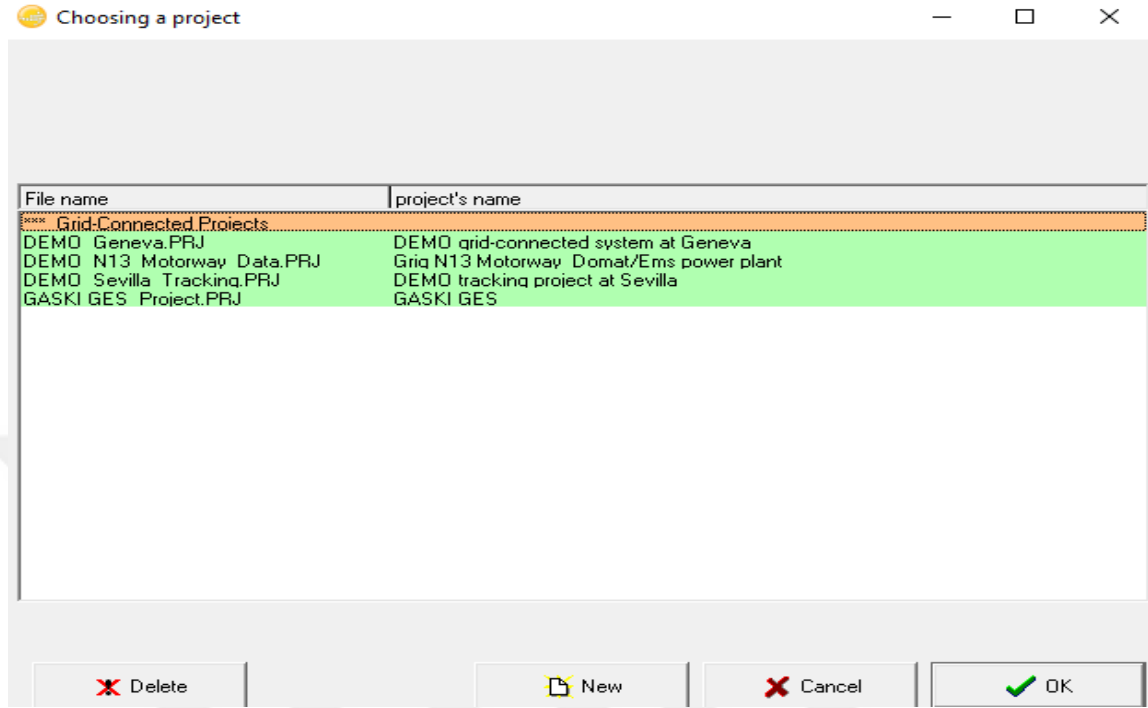
Şekil 2.46. PVsyst programı aşama 15

Şekil 2.46’da yapılan simülasyona ait detaylı bilgiler rapor sekmesinde yer alır. Diğer sekmeler ise simülasyona ait bilgilerin grafiksel ve tablosal olarak daha detaylı sonuçlara ulaşmamızı sağlar.



Şekil 2.47. PVsyst programı aşama 16

Yaptığımız çalışmayı kaydetmek için yaptığımız çalışmanın ismi yazılıp Şekil 2.47’de gösterilen kayıt (save) butonuna tıklanır ve çalışma kaydedilmiş olur.



Şekil 2.48. PVsyst programı aşama 17

Yapılan çalışmayı tekrar açıp kullanmak istediğimizde projeyi yükle (Load Project) sekmesinden tıklanıp Şekil 2.48’de gözüktüğü gibi kaydedilen isimdeki projeye tıklanır ve simülasyonu yapılan çalışma tekrar açılır.

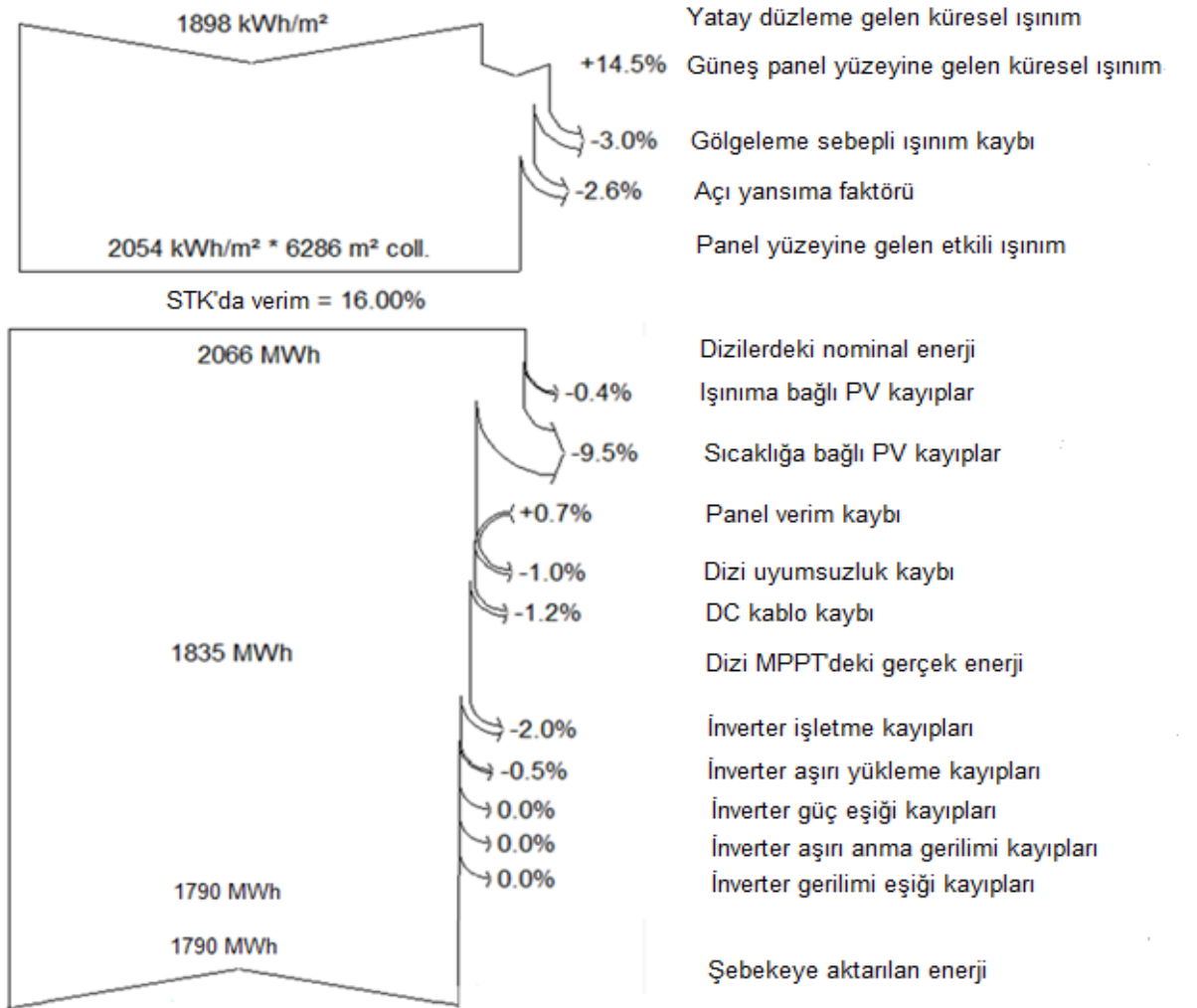
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Gaziantep Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğü Güneş Enerji Santralinin gerçek enerji üretim değerleri ile PVsyst simülasyon program çıktı sonuçları karşılaştırılıp tesisin performansı analizi yapılacaktır.

3.1. PVsyst Simülasyon Programına Göre Performans Analizi

GASKİ güneş enerji santraline ait teknik bilgiler PVsyst simülasyon programına girilerek simülasyonu yapılmıştır ve Şekil 3.1'deki diyagram elde edilmiştir. Bunun sonucunda sistemden beklenen enerji üretim değerleri, oluşan kayıplar ve sistem performans oranı incelenmiştir.



Şekil 3.1. PVsyst simülasyon programına göre incelenen santrale ait kayıp diyagramı

Burada;

Yatay düzleme gelen küresel ışınım; bugüne kadar ölçülüp kaydedilmiş meteorolojik veriler sonucu belirlenen ışınım değerini,

Güneş panel yüzeyine gelen küresel ışınım; panel montaj açısına göre oluşan kayıp veya kazanımları,

Gölgelenme sebepli ışınım kaybı; güneş açısına göre santralde oluşabilecek gölgelenme kayıplarını,

Açı yansıma faktörü; küresel ışınım sonucu panel açısına bağlı olarak yansıyan fotonların oluşturduğu kayıpları,

Işınımına bağlı PV kayıplar; panel yüzeyine gelen ışınım sonucu oluşan kayıpları,

Sıcaklığa bağlı PV kayıplar; sıcaklığın etkisi sonucu panel üzerinde meydana gelen kayıpları,

Panel verim kaybı; zaman içerisinde panel verimlerinde oluşan kayıpları,

Dizi uyumsuzluk kaybı; güneş panellerinin aynı akım ve gerilim değerinde olmamalarından kaynaklı oluşan kayıpları,

DC kablo kaybı; DC kabloda oluşan kayıpları;

İnverter işletme kayıpları; inverter verimlerine bağlı olarak oluşan kayıpları;

İnverter aşırı yükleme kayıpları; inverterin DC giriş güç kapasitesini AC çıkış güç kapasitesi üzerinde yükleme sonucu oluşabilecek kayıpları,

İnverter güç eşiği kayıpları; inverter güç eşik değerinin altında yada üstünde kısmı sonucu oluşan kaybı;

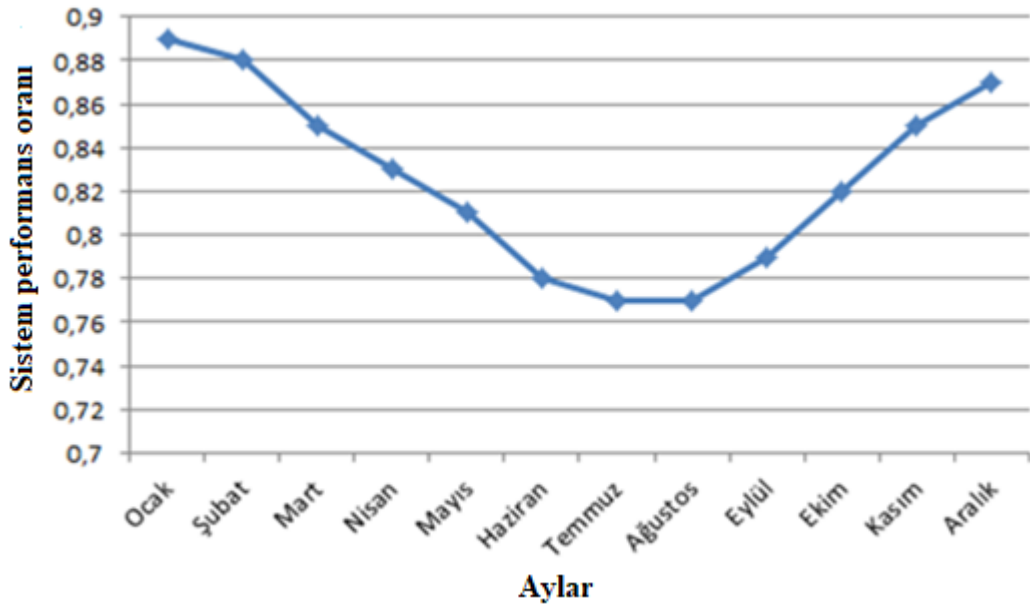
İnverter aşırı anma gerilimi kayıpları; sıcaklık sonucu dizi gerilim değerlerine göre oluşan kayıpları;

İnverter gerilim eşiği kayıpları; inverter kaynaklı kayıpları,

Şebekeye aktarılan enerji; ilgili kayıplar düştükten sonra şebekeye verilen enerjiyi göstermektedir.

3.2. PVsyst Simülasyon Programı Sonuçlarının ve Tesisten Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması

Simülasyon sonucunda elde edilen diyagrama göre GASKİ güneş enerjisinin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen yıllık global ışınım miktarı 1898 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Panel montaj açılarının 30°C olması sonucu bu değer % 14.5 artış göstermiştir. Diyagram üzerinde kayıplar da gösterilmiş olup bu kayıpların çıkması sonucu güneş enerji santralının sisteme verdiği enerji 1790 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistem performans oranı ise simülasyon raporu sonucuna göre % 82 olarak belirlenmiştir ve aylara göre sistemin performans oranı değişimi Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekildeki grafiğe göre SPO’nun en yüksek 0,89 değeri ile Ocak ayında olduğu en düşük ise 0,77 değeri ile Temmuz ayında olduğu tespit edilmiştir.

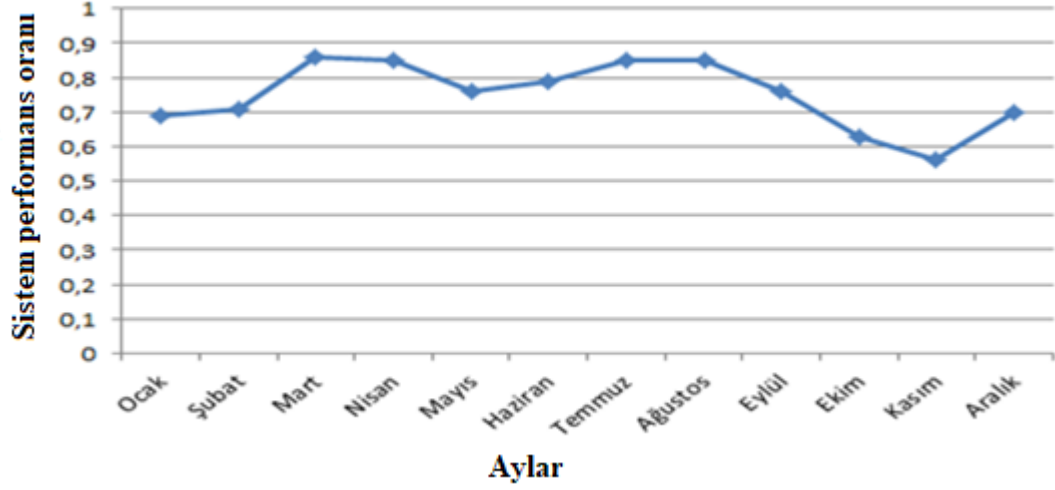


Şekil 3.2. Pvsyst programına göre GASKİ güneş enerji santralının SPO’nun aylara göre değişimi

Tesisten alınana verilere göre ise sistem performans oranı % 75 olarak belirlenmiştir ve aylara göre sistemin performans oranı değişimi Şekil 3.3’de verilmiştir.

Şekildeki grafiğe göre SPO’nun en yüksek 0,86 değeri ile Mart ayında olduğu en düşük ise 0,56 değeri ile Kasım ayında olduğu tespit edilmiştir. PVsyst simülasyon programı

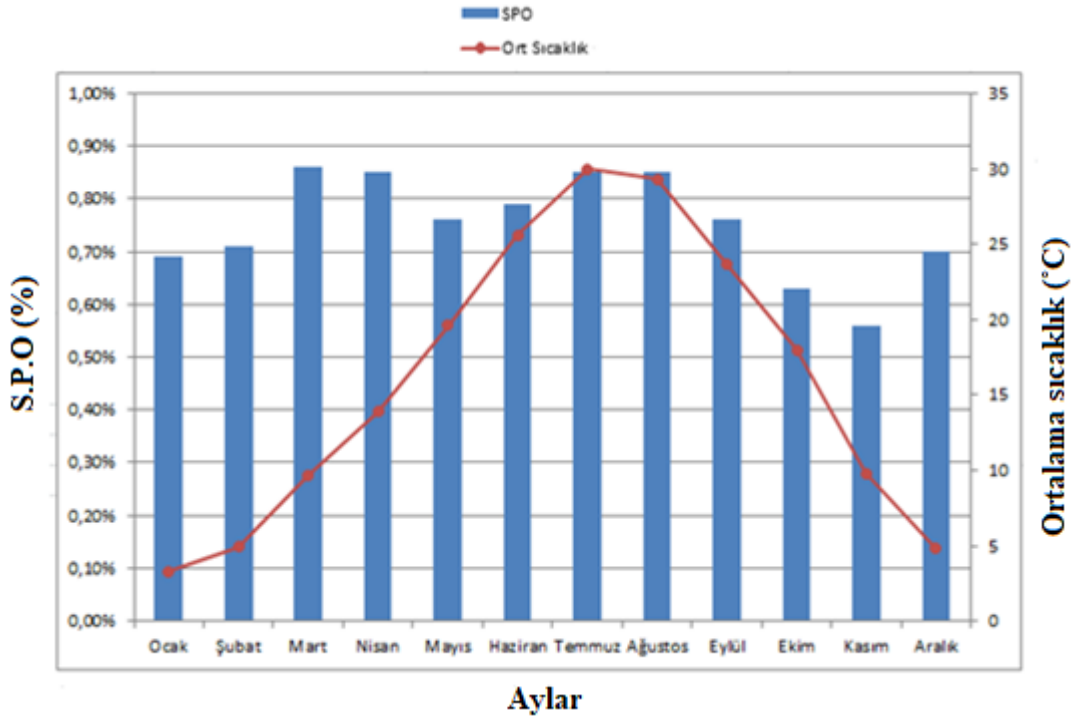
ve tesisten elde edilen verilere göre elde edilen sistem performans oranlarının tablosal karşılaştırılması ise Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Tesisten alınan verilere göre GASKİ güneş enerji santrali SPO’nun aylara göre değişimi

Tablo 3.1. SPO’nun tablosal karşılaştırılması

AYLAR	PVsyst Raporu SPO (%)	İncelenen Tesis SPO (%)	Sıcaklık(°C)
Ocak	0,89 %	0,69 %	4.3 °C
Şubat	0,88 %	0,71 %	4.9 °C
Mart	0,85 %	0,86 %	9.7 °C
Nisan	0,83 %	0,85 %	13.9 °C
Mayıs	0,81 %	0,76 %	19.6 °C
Haziran	0,78 %	0,79 %	25.6 °C
Temmuz	0,77 %	0,85 %	30 °C
Ağustos	0,77 %	0,85 %	29.3 °C
Eylül	0,79 %	0,76 %	23.7 °C
Ekim	0,82 %	0,63 %	18 °C
Kasım	0,85 %	0,56 %	9.8 °C
Aralık	0,87 %	0,70 %	4.8 °C
Ortalama	0,82 %	0,75 %	16.05 (°C)



Şekil 3.4. Tesisin performans oranının sıcaklığa bağlı olarak aylar içerisinde değişimi

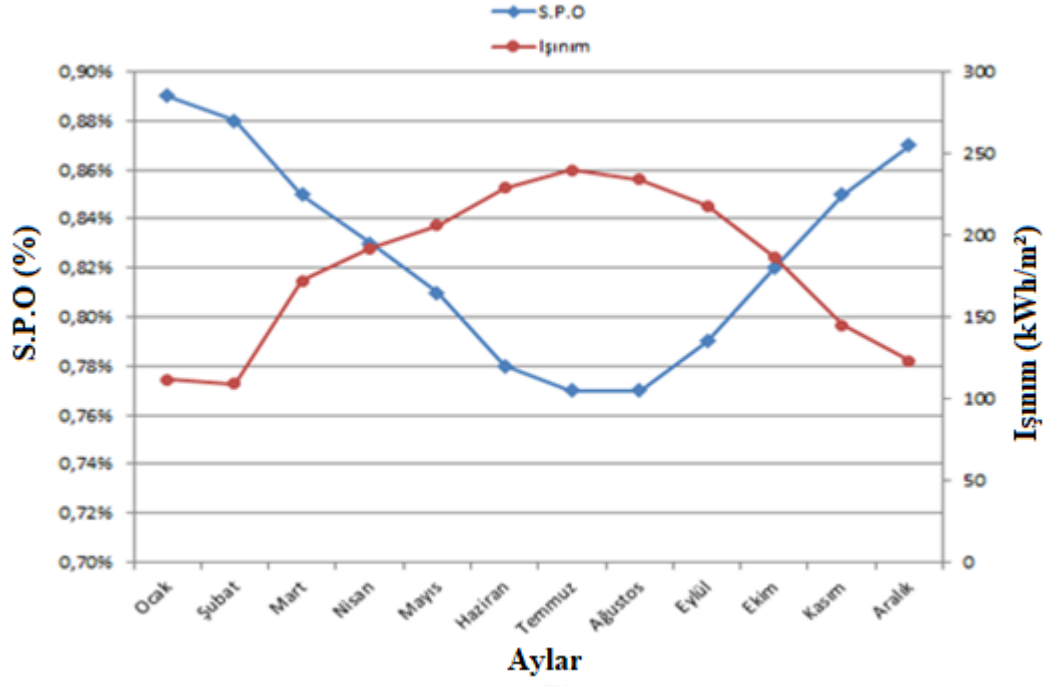
Yukarıdaki veriler ışığında görüldüğü üzere PVsyst raporunda kış aylarında sistem performans oranının yükseldiği ancak sıcaklığın arttığı yaz aylarında ise sistem performans oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum sıcaklığa bağlı olarak oluşan kayıplar ile açıklanabilir. Tesisten elde edilen verilere göre SPO'nun en düşük % 0,56 değer ile Kasım ayında en yüksek ise 0,86 değer ile Mart ayında olduğu gözlemlenmiştir. Tesiste Ocak, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında istenilen performans oranına yaklaşamamıştır. Ancak geri kalan diğer aylarda simülasyon raporuna yakın yada daha üst performans oranları elde edilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak değişen tesisin performans oranı ise Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2'de aylara göre yatay düzleme gelen küresel ışınım, global toplam ve etkin ışınım, PVsyst programı ve tesisten elde edilen enerji değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek ışınım ve enerji üretim değerlerinin Temmuz ayında olduğu görülmektedir. Tabloya göre ışınım değerleri ile üretilen enerji miktarları doğru orantılı olarak değişmektedir.

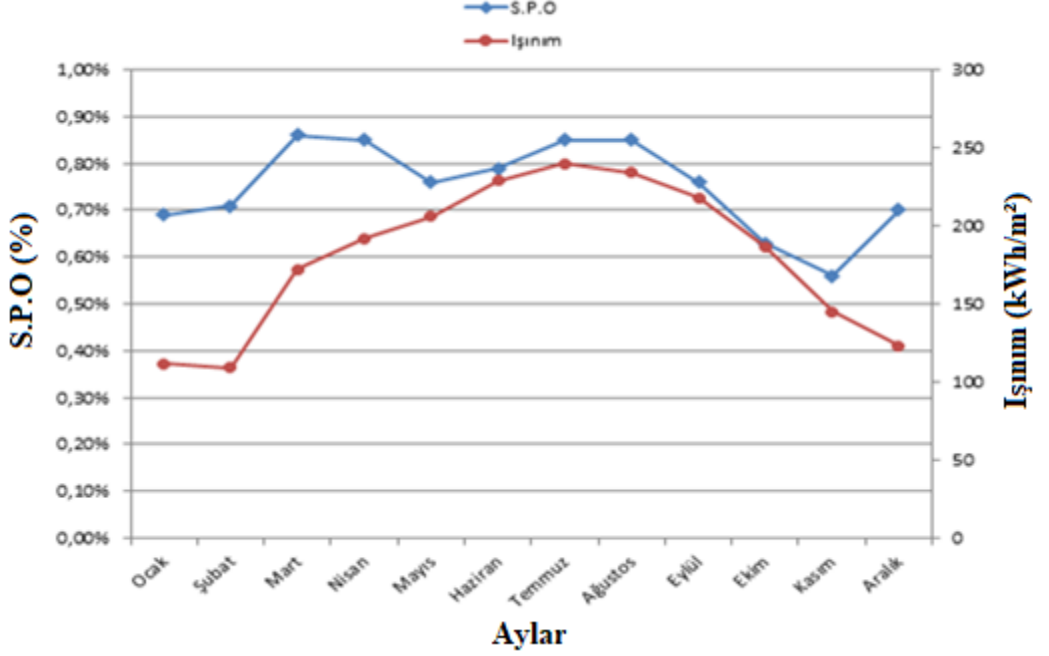
Tablo 3.2. Aylara göre elde edilen ışınlım ve enerji üretim değerleri

Aylar	Yatay Düzleme Gelen Küresel Işınlım (kWh/m ²)	Global Işınlım Toplam (kWh/m ²)	Global Işınlım Etkin (kWh/m ²)	PVsyst Enerji Üretim Değerleri (kWh/m ²)	Tesis Enerji Üretim Değerleri (kWh)
Ocak	72.8	112.8	105.4	100.898	74.866,73
Şubat	82.0	109.7	103.2	97.258	77.709,53
Mart	142.5	172.7	163.3	148.651	147.668,63
Nisan	178.8	192.8	182.0	161.800	163.616,25
Mayıs	212.2	206.6	194.1	168.034	156.041,78
Haziran	245.7	229.4	216.1	181.250	182.185,88
Temmuz	253.6	240.1	227.3	185.832	204.578,10
Ağustos	226.0	234.3	222.7	182.319	199.392,00
Eylül	183.5	218.7	209.4	174.317	167.204,00
Ekim	135.7	187.0	178.5	155.493	118.021,05
Kasım	91.7	145.6	138.1	125.650	81.439,58
Aralık	73.3	123.3	113.6	108.582	86.541,53
Toplam	1897.8	2172.9	2053.6	1.790.083	1.659.265,03

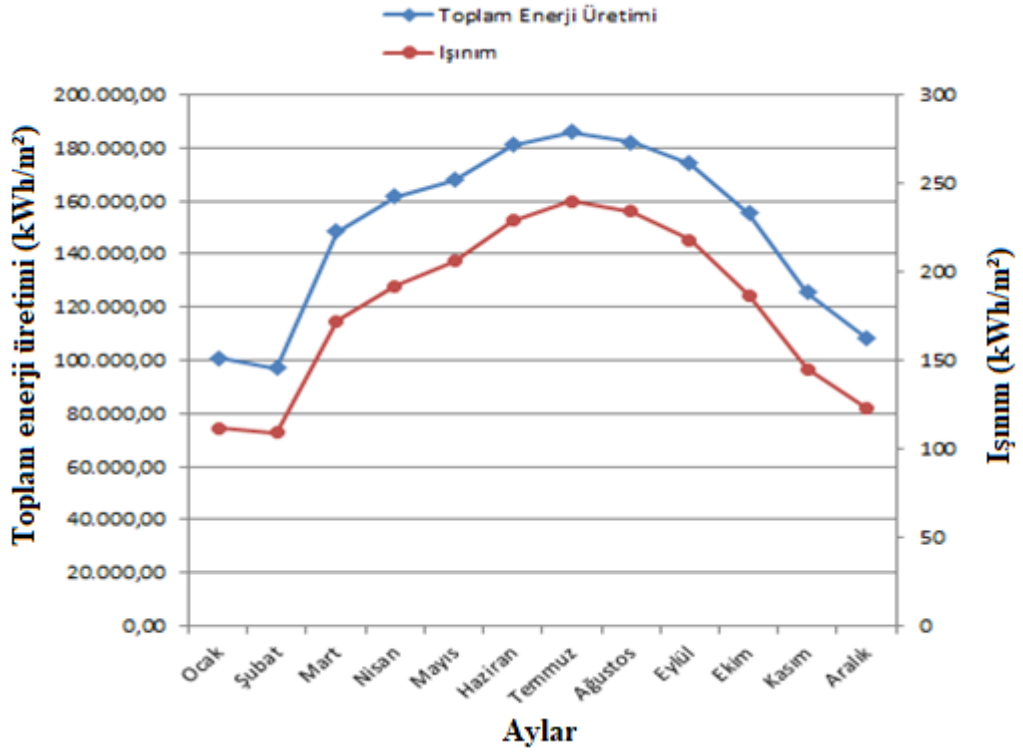
2018 yılı için aylara göre ışınlım miktarının PVsyst ile incelenen tesisin sistem performans oranları ve ışınlım miktarının PVsyst ile incelenen tesisin toplam enerji üretim değerleri karşılaştırılması sırası ile Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de grafiksel gösterimi verilmiştir. Bu grafiklere göre ışınlımın artması ile hem simülasyon programında hem de incelenen tesiste toplam enerji üretiminin doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak PVsyst programında hem de tesisteki sistem performans oranı sıcaklık, rüzgar vs. çevre koşulların da bağlı olduğundan sadece ışınlıma bağlı olarak artmayabilir.



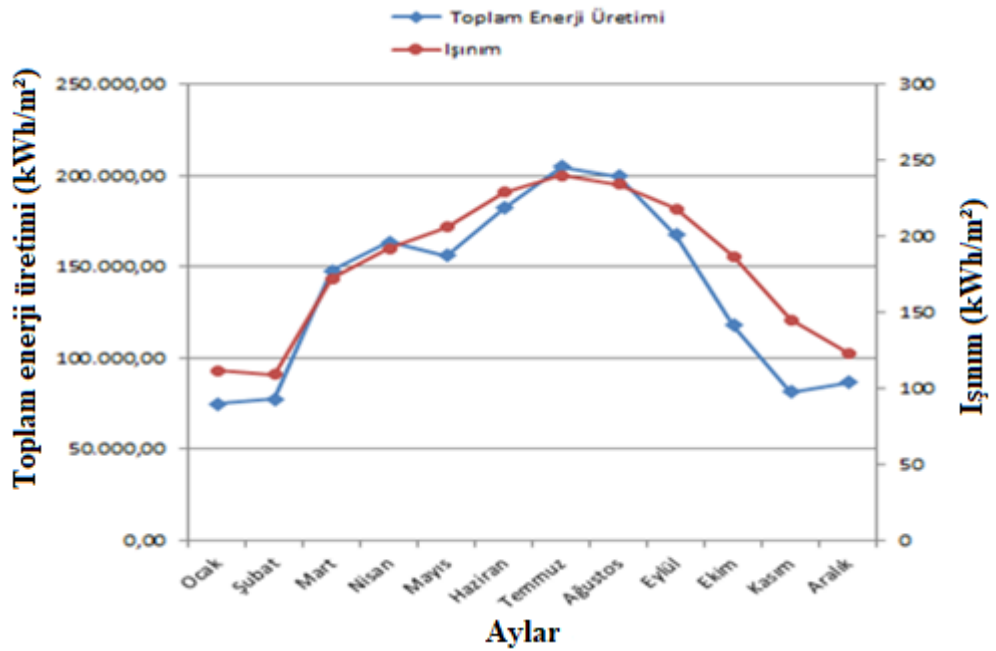
Şekil 3.5. Aylara göre ışınım ve PVsyst SPO karşılaştırılması



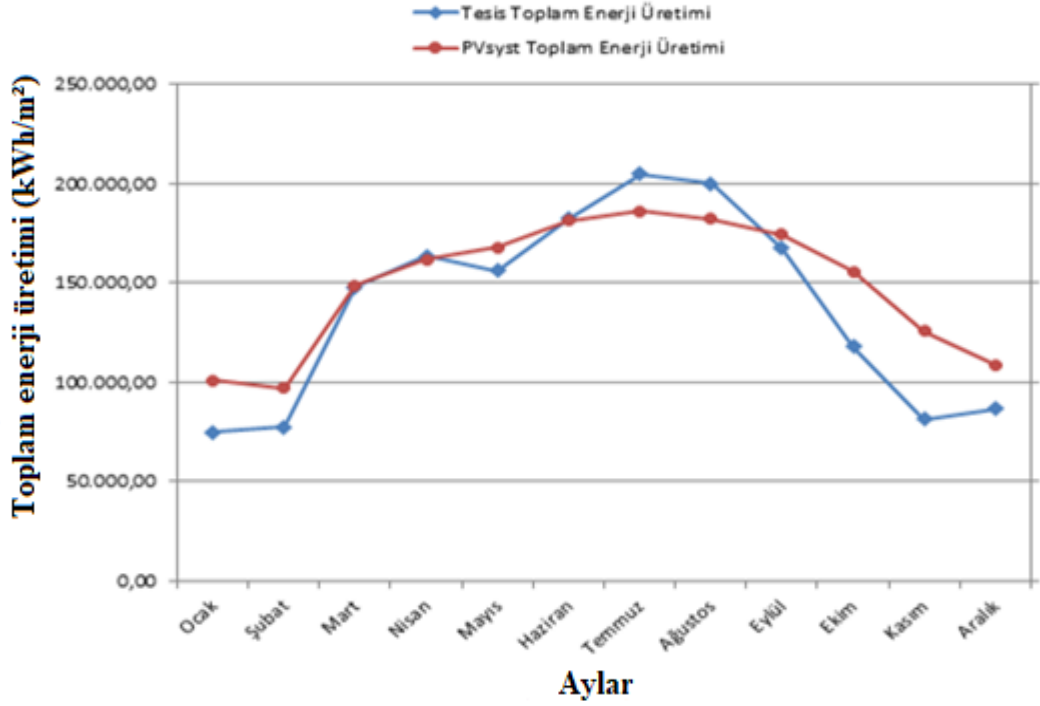
Şekil 3.6. Aylara göre ışınım ve tesisin SPO karşılaştırılması



Şekil 3.7. Aylara göre ışınım ve PVsyst'te üretilen toplam enerji miktarları



Şekil 3.8. Aylara göre ışınım ve incelen tesiste üretilen toplam enerji miktarları



Şekil 3.9. PVsyst ile tesiste üretilen enerji miktarlarının aylara göre karşılaştırılması

Şekil 3.9’da simülasyon programında üretilmesi gereken toplam enerji üretim değerleri ile incelen tesisin gerçekte ürettiği toplam enerji miktarlarının grafiksel gösterimi verilmiştir. Grafiğe göre Ocak ve Şubat aylarında istenilen üretim değerine ulaşamamıştır. Çünkü hava şartlarına bağlı olarak kar yağışının olması ve panellerin üzerinin karlarla kaplı olması güç çıkışını düşürmüştür. Mart ayında istenilen üretim miktarına yaklaşılmıştır. Nisan ayında beklenen üretim değerinin üzerinde enerji üretilmiştir. Mayıs ve Eylül aylarında beklenenin altında enerji üretimi olmuştur. Bunun nedeni birden fazla faktör olabilir. Çevre şartlarına bağlı olarak gölgelenme oluşturan havanın kapalı olması veya sıcaklık artışına bağlı olarak sistemin performans oranının düşmesi gibi. Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında ışımanın artması ile beklenenin üzerinde bir enerji üretimi olmuştur. Ekim ve Kasım aylarında ise şebekeden kaynaklı elektrik kesintilerinden dolayı istenilen enerji üretim miktarlarına ulaşamamıştır. Aralık ayında ise sıcaklığın düşmesi ile simülasyon programına göre sistem performans oranını artmıştır ancak kış ayı ile birlikte panel üzerinin karlarla kaplı olması ve dolayısıyla panel üzerine düşen ışıma değerinin düşmesi, güç çıkışını düşürmüştür.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada fotovoltaik güç santrallerinde verimliliğe etki eden faktörler incelenmiş olup bu faktörlerin sisteme olan etkileri anlatılmıştır. Daha sonra, güneş panellerinin verim karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalara göre silisyum yapıdaki monokristal güneş panellerinin polikristal ve ince film güneş panellerine göre verimin daha yüksek olduğu görülmektedir. PERC güneş pillerinden üretilen güneş panelleri, hem düşük ışık koşullarında hem de yüksek sıcaklıklarda geleneksel panellerden daha iyi performans göstermektedir. Sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde monokristal güneş panellerinin verimlilikleri ince film güneş panellerine göre düşük, ancak çok kristalli diğer güneş panellerine göre daha yüksek olma eğilimindedir. Ancak PERC teknolojisi monokristal güneş panellerini sıcak bölgelerde tipik monokristal güneş panellerine göre daha verimli kılmaktadır. Dolayısıyla ışınımın az ve sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde PERC monokristal güneş panellerinin kullanılması verimi artırıcı bir unsur olacaktır.

Bu çalışmada ayrıca Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan 1 MW güneş enerji santralının PVsyst programında simülasyonu yapılarak santrale ait kayıplar ve sistem performans oranı ortaya çıkarılmıştır. Buna göre PVsyst programında 2018 yılına ait bir yıllık simülasyonda 1790 MWh elektrik enerjisi ürettiği ortaya konmuştur. Ancak santralden elde edilen verilere göre 2018 yılı içerisinde üretilen elektrik enerji değerleri toplamı 1.659.265,03 kWh olarak bulunmuştur. Bu aradaki farkın çoğunluğu yıl içerisinde yaşanan elektrik kesintilerinden kaynaklanmaktadır.

İncelenen tesisin performans oranı ise simülasyon programında 0,82 olarak bulunmuştur. Ancak tesisin sistem performans oranı 0,75 dir. Bu ise elektrik kesintileri dışında hava şartlarına bağlı olarak değişen sıcaklık, bulutlu havaların olması, gerçekleşen hava olaylarının tahminlerden farklı olma ihtimali, kış aylarında panellerin üzeri karlarla kaplı olması ve panel temizliklerinin düzenli periyotlarda yapılmaması olarak açıklanabilir. Tesise ait birkaç yıllık enerji üretim değerlerinin ortalaması ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması daha doğru sonuçlar ortaya koyacaktır.

Fotovoltaik güç sistemlerinin performans oranını artırmak için ışıma yoğunluğunun ve süresinin fazla olduğu bölgeler seçilmeli, sıcaklık 25°C altında tutulmalı, ya da bu bölgeler tercih edilmeli ya da soğutma sistemleriyle fotovoltaik dizilerin alt kısımlarından su dolaşımı sağlanmalıdır. Böylelikle FV sistemlerde oluşan kayıplar azaltılarak verimlilik artırılmış olacaktır. Panel temizliği yapılırken suyun saf oluşuna dikkat edilmeli, yeterli ve düzenli periyotlarda panel temizlikleri yapılmalıdır.

Yenilenebilir ve sonsuz enerji kaynağı olan temiz ve çevreye zarar vermeyen fotovoltaik güç santrallerinin kurulumu yaygınlaştırılmalı ve güneş tarlaları kurulmalıdır. Bunlar için teşvik edici yatırım planları oluşturulmalı ve bu projeler desteklenmelidir. Çünkü dünya nüfusunun artması ile birlikte enerjiye olan ihtiyaçta buna bağlı olarak artmaktadır. Ülkemizde de güneş panellerinin kurulumu yaygınlaştırılmalı ve bunun için gerekli yasa ve düzenlemeler yapılmalıdır. Fotovoltaik güç santrallerinin yanı sıra güneş panellerinin binalarda enerji ihtiyaçlarında kullanılması, güneş panelleri ile çalışan araçlara yönelik çalışmaların artırılıp uygulanması ve buna bağlı olarak şarj istasyonlarının kurulmasında güneş panellerinin kullanılması da enerjide dışa bağımlılığımızı azaltılmış olacaktır.

Güneş panellerine ait verimlilik çalışmaları ve güneş enerji santrallerinde verimliliğe etki eden parametrelerde iyileştirilme çalışmaları yapılarak sistem verimliliği artırılıp daha yüksek performanslar sağlanabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. KAYNAKLAR

- [1] <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf> (Erişim Tarihi: Ekim 2018).
- [2] <http://www.normenerji.com.tr/> (Erişim Tarihi: Kasım 2018).
- [3] M.A. Green, 1982. Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications, Prentice Hall, New Jersey.
- [4] Okyay, Y., “Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel İncelenmesi ve Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi , Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2006.
- [5] Çıtıroğlu, A., Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi, Mühendis ve Makine, 41, (485).
- [6] <https://news.energysage.com/perc-solar-cells-overview> (Erişim Tarihi: Ocak 2019).
- [7] M.A.Green, A.W. Blakers, J.Shi,E.M.Keller, S.R.Wenham, 1984. 19.1% Efficient Silicon Solarcell Appl. Phys. Lett. 44, 1163–1165.
- [8] Martin A., 2015. Green, Solar Energy Materials & Solar Cells, Article.
- [9] http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcaf51a49_ek.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2019).
- [10] Köse E., Zengin E., Güneş Pillerinin Enerji Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Önemli Faktörlerin Değerlendirilmesi, 2s.
- [11] Öztürk, A., “Monokristal Ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [12] <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf> (Erişim Tarihi: Şubat 2019).
- [13] Küpeli, A. Ö., “Güneş Pilleri ve Verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [14] Durgut, T., “Güneş Panel Sistemi İçin Farklı Bir Method Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

- [15] Hankins, M., 1991. "Small solar electric systemsfor Africa, Commen Wealth Science Council Published", United Kingdom.
- [16] Markvart, T., 1994. Solar Electricity, John Wileyand Sons Ltd. Published, England.
- [17] <http://www.robotiksystem.com/> (Erişim Tarihi: şubat 2019)
- [18] Upadhyaya, A., Yelundur V., Rohatg. A., 2006. High Efficiency Mono-Crystalline Solar CellsWith Simple ManufacturableTechnology. Gerorgia Institute of Technology, Atlanta, USA.
- [19] Erkul, A., "Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panelleri Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [20] <https://slideplayer.biz.tr/slide/2457598/8/images/9/Fotovoltaik+Panel> (Erişim Tarihi şubat 2019).
- [21] Kıyançıçek. E., "Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İcin PSV2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [22] Abdelkader, M. R., Al-Salaymeh A., Al- Hamamre, Z. And Sharaf F., 2010. A comparative analysis of the performance of monocrystallineand multiocrystalline PV cells in semi arid climate conditions: The case of jordan, Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering (5), Pages 543-552s.
- [23] Karamanav, M., "Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [24] Demir, O., "Güneş Pilleri", Seminer, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2002.
- [25] Boz, O., "Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı Güneş Pilleri", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [26] <http://www.unienerji.com/arsivler/186> (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [27] Bergmann, R. B., Berge, C., Rinke, T. J., Schmidt, J., Werner, J. H., 2002. Advances in monocrystalline si thin film solar cells by layer transfer. Solar Energy Materials &Solar Cells, (1-4), 213-218s.

- [28] Koroğlu, T., Teke, T., Bayındır, C., Tumay, M., 2010. Güneş paneli sistemlerinin tasarımı. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 409, 98-014s.
- [29] <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [30] Başoğlu, M. E., Kazdaloğlu, A., Bilgin, M. Z., Erfidan, T., Çakır, B., “Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli ili için Performans Değerlendirmesi”, Elektrik Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Kasım 2014.
- [31] Koryürek, E., “Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 2008.
- [32] Keleş, C.Ö., “Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanımına Yönelik Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [33] Yumurtacı, Z., Dönmez, A. H., 2013. Konutlarda enerji verimliliği. Mühendis ve Makine Dergisi, 54, (637), 38-43s.
- [34] Gültuna, K. M., “Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralının Simülasyonu; Teknoekonomik Ve Çevresel Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [35] http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [36] Mete C., Metin C., 2013. Gökçeada’da şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güç sistemi benzetimi ve karşılaştırmalı gerçek performans incelemesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, (5), Sayfalar 201-208s.
- [37] Demirci, F., “Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışmasını Etkileyen Dış Faktörlerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [38] Çabuk, S., “İnce Film SNO₂/CuO₂ Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1992.
- [39] Tercan, M.B., “Güneş Pili Karakterizasyon Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [40] Köse, S., “Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1986.

- [41] www.elektriktesisatportali.com (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [42] Öztürk, H.H., “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler”, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, Adana, Türkiye, 2017.
- [43] Kittel, C., 1996. Katıhal Fiziğine Giriş, (Çeviren: Bekir Karaoğlu). Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd. şti.
- [44] Yüksel, Ö. F., “P-N Eklem Güneş Pillerinin Verim Parametreleri ve Bunları Ölçme Yöntemi”, Yüksek Lisan Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990.
- [45] H. Özgün, 2015, Temel Kavramlar ve Örnek Projelerle Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri. ISBN: 978-605-65469-0-7, İstanbul.
- [46] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html> (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [47] R. Mayfield, The Highs and Lows of Photovoltaic System Calculations, Renewable Energy Consultants Electrical Construction and Maintenance, 2012.
- [48] <http://www.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: şubat 2019).
- [49] <http://slideplayer.biz.tr/slide/1958984/> (Erişim Tarihi: Mart 2019).
- [50] http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2019).
- [51] Boztepe, M., “Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler”, IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir, Türkiye, 2017.
- [52] Aksungur, K. M., Kurban, A. M., Filik, Ü. B. “Türkiye’nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi”, V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2013.
- [53] Odeh S., Behnia M., 2009. Improving photovoltaic module efficiency using water cooling, heat transfer engineering, 30(6), 499-505.
- [54] J. K. Kaldellis, M. Kapsali, K. A. Kavadias, Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece, 2014.

- [55] M. Piliouguine, J. Carretero, M. Sidrachde-Cardona, D. Montiel, P. Sánchez-Friera. "Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses", Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference, 2008.
- [56] Detrick, A., Kimber, A. & Mitchell, L., Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems, Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference, pp. 1581-1586, ISBN 0-7803-8707-4, Lake Buena Vista, USA, January 2005.
- [57] Kymakis, E., Kalykakis, S., Papazoglou, T. M., 2009. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. Energy Conversion and Management, 50(3), 433–438.
- [58] Jantsch, M., Real, M., Häberlin, H., Whitaker, C., Kurokawa, K., Blässer, G., Measurement of PV maximum power point tracking performance, 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1997.
- [69] Sigifredo, G., Joshua, S., Armando, F., Michael, R., Dustin, S., Performance of Utility Interconnected Photovoltaic Inverter Operating Beyond Typical Modes of Operation, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- [60] <https://studylibr.com/doc/1283501/güneş-enerjisi-santrallerinde-kayıplar> (Erişim Tarihi: Ocak 2019).
- [61] Engin R., 1995. Güneş Pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları 3, Van.
- [62] Henze, N., Sahan, B., "Koirala, B., Study on MPP Mismatch losses in Photovoltaic Applications", 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, 2003.
- [63] Kaushika N., Rai A., 2007. An Investigation of Mismatch Losses in Solar Photovoltaic Cell Networks. Energy, 32, 755-759.
- [64] Gaziantep İl Çevre Durum Raporu, 2011.
- [65] <https://www.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: Şubat 2019)
- [66] Akar, A., "Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu Ve Performansının Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Metin SÜLÜ

Memleketi : Malatya

Doğum Tarihi : 01 Nisan 1991

E-posta : metin-sulu@hotmail.com

Bildiği yabancı diller : İngilizce, Lehçe (Polonya)

Eğitim Durumu ;

Lisans: Fırat Üniversitesi, 2009/2013, Elazığ

Yüksek Lisans : Kilis Üniversitesi, 2015/2019 Kilis

Aldığı Sertifikalar:

- Google Reklam Yöneticiliği Sertifikaları, 2019
- İnsansız Hava Aracı Ticari Pilot Sertifikası, 2018
- Katodik Koruma Eğitimi Katılım Belgesi, 2017
- Autocad Destekli Elektrik İç Tesisatı Proje Hazırlama Eğitimi Katılım Belgesi, 2016
- Güneş Enerjisi Sistemleri İçin PV-Sol Yazılımı Eğitimi Katılım Belgesi, 2016
- Test ve Ölçüm Teknolojileri Eğitim Sertifikası, 2016
- Elektrik Tesislerinde Güvenlik, Topraklamada Yenilikler ve Almanya'daki Uygulamaları Eğitimi Katılımcı Belgesi, 2016
- Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmonikler Eğitimi Katılımcı Belgesi, 2015
- Elektrik İç Tesisleri Proje Hazırlama Eğitimi Katılımcı Belgesi, 2015
- Gaziantep Kuruluş Koşusu Katılım Belgesi, 2015
- Güneş Enerjisi Sistemleri Tesisatı Eğitimi Katılımcı Belgesi, 2015
- C Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği, 2014
- Elektrik 1 kV Üstü ve 1kV Altı Tesisler Topraklama Yetkilendirme Belgesi, 2014
- Elektrik YG Tesislerinde İşletme Sorumluluğu Yetki Belgesi, 2014
- Sıvıların Akış Hızının Ölçümü 2.lik ödülü Başarı Belgesi, 2013
- Yurt Dışı Öğrenci Değişim Programı – Erasmus Bialystok University of Technology Poland, 2012



Yayın ve/veya Bildiriler:

Farsakoğlu, Ö, F., Sülü, M., “Efficiency analysis of monocrystal solar panels in silicone structure”, International symposium on advanced engineering technologies (ISADET), Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 2-4 May 2019

Çalıştığı Kurum: Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak halen çalışmakta (2013 -).

İş Deneyimi:

- 500 kW Güneş Enerji Santrali Kurulumu Fizibilite Çalışmaları
- 1 MW Güneş Enerji Santrali Yapım İşi
- Büyük ve Küçük Ölçekli İçme Suyu Pompası İstasyonlarının İşletmeciliği
- 120 kW Kurulu Gücünde Solar Otopark Yapım İşi
- Bina İçi A.G İç Tesisat Kontrollüğü
- Büyük ve Küçük Ölçekli Enerji Nakil Hattı Yapım İşleri
- Çeşitli Elektrik Tesisatlarının Yapımları (Elektrik Topraklaması, Paratoner vs.)
- A.G İç Tesisat Projeleri ve O.G Enerji Nakil Hattı Proje Çizimleri
- 1500 Ton Kapasiteli Soğuk Hava Deposu Yapım İşi
- Gaziantep-Düzbağ İçmesuyu Terfi İstasyonu ve İsale Hattı İşi Gözetmenliği