



**BİR FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİ
TASARIMININ SİSTEM SİMÜLASYONU VE
TEKNOEKONOMİK FİZİBİLİTESİ**

Benan MUTLUAY

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Figen BALO

AĞUSTOS

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİ TASARIMININ SİSTEM SİMÜLASYONU
VE TEKNOEKONOMİK FİZİBİLİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Benan MUTLUAY

141120114

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Doç. Dr. Figen BALO

AĞUSTOS-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİ TASARIMININ SİSTEM SİMÜLASYONU
VE TEKNOEKONOMİK FİZİBİLİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Benan MUTLUAY

141120114

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Ağustos 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ağustos 2016

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Figen BALO (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR (D.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL (F.Ü)

AĞUSTOS-2016

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamın gerçekleşme sürecindeki tüm çalışmalarda engin bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve beni yönlendiren, yardımseverlik, anlayış, sabır ve hoşgörüyle desteklerini esirgemeyen ayrıca yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm ayrıca kendisiyle çalışabilme fırsatına sahip olduğum için gurur duyduğum ve şanslı hissettiğim kıymetli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Figen BALO'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, destekleyen aileme, her zaman yanımda olan özellikle tez çalışmamda desteğini eksik etmeyen Rüveyda YILDIRIM'a, teşekkürü bir borç bilirim. Sürecin başından beri sabırla yanımda olan ve hayatım boyunca da yanımda olacağına inandığım nişanlım, 15 Eylül 2016 itibarıyla müstakbel eşim Koray ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Benan MUTLUAY
ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
KISALTMALAR LİSTESİ	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Enerjisi	5
1.1.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Çeşitleri	7
1.1.1.1. CSP Teknolojisi.....	7
1.1.1.1.1. Parabolik Oluk Teknolojisi	8
1.1.1.1.2. Fresnel Teknolojisi.....	8
1.1.1.1.3. Kule Sistemi	9
1.1.1.1.4. Çanak Sistemi.....	10
1.1.1.2. CPV Teknolojisi.....	11
1.1.1.2.1. FV Güneş Panelleri	11
1.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Elektrik Gücü	12
1.1.2.1. Türkiye’de Elektrik Üretim ve Tüketimi	14
1.2. Fotovoltaik Sistem.....	18
1.2.1. FV’lerin Tarihi	19
1.2.2. FV Kullanımının Avantajları	21
1.2.3. Dezavantajları.....	22
1.3. FV Sistem Ekipmanları	23
1.3.1. FV Panel ve Hücreler	23
1.3.1.1 Güneş Hücrelerinin Yapısı Ve Çeşitleri.....	23
1.3.1.1.1. Silisyum Güneş Hücresi	25
1.3.1.1.1.1. Mono-Kristal Silisyum Güneş Hücresi	26
1.3.1.1.1.2. Multi(poly)-Kristal Silisyum Güneş Hücresi	27
1.3.1.1.2. İnce film hücreler	27

1.3.1.1.2.1.	Amorf Silisyum (a-Si).....	28
1.3.1.1.2.2.	Bakır indiyum diselenid hücreler	29
1.3.1.1.2.3.	Kadmiyum tellürid hücreler	29
1.3.1.1.2.4.	İnce Kristal Silisyum	30
1.3.1.1.2.5.	Mikrokristal ve Mikroşekilli Hücreler	30
1.3.1.1.3.	Gelişen Güneş Hücreleri	30
1.3.1.1.3.1.	Gallium Arsenide (GaAs), GaInP / GaInAs.....	31
1.3.1.1.3.2.	Organik ve Nano Kristal Güneş Hücresi (DSC)	31
1.3.1.1.3.3.	Boyaya duyarlı hücreler	31
1.3.1.2.	Güneş Hücrelerinin Kıyaslanması.....	32
1.3.1.3.	FV Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler	34
1.3.1.3.1.	İklimsel koşullar	34
1.3.1.3.2.	Panelin konumu.....	35
1.3.1.3.3.	Panelin açısı.....	35
1.3.1.3.4.	Panelin yönü	36
1.3.1.3.5.	Panelin gölgelenmesi durumu	37
1.3.1.3.6.	Panelin bakımı ve temizliği.....	38
1.3.2.	Akü	38
1.3.2.1.	Sıvı Elektrolitli Kurşun Izgaralı Plaka Aküleri	39
1.3.2.2.	Kurşunlu Jel Akü.....	40
1.3.2.3.	Panzer Plakalı Sabit Akü (Özel veya Kapalı Model).....	41
1.3.2.4.	Jeneratör Bağlantı Kutusu, Dizi Diyotları ve Dizi Sigortaları	41
1.3.3.	İnverterler	42
1.3.3.1.	Şebeke Bağlantılı İnverterler.....	43
1.3.3.2.	Şebeke Bağlantısız (Ada Tipi) İnverterler	44
1.3.3.3.	Kare dalga inverterler:.....	44
1.3.3.4.	Modifiye kare dalga	44
1.3.3.5.	Tam Sinüs İnverter	45
1.3.4.	Kablo seçimi.....	46
1.3.5.	Aşırı Akım Koruması	47
1.3.6.	Sistem Topraklama.....	47
1.3.7.	Bağlantı Teknolojisi	48
1.3.9.	Doğru Akım Yük şalteri (DA Ana şalteri)	49
1.3.10.	Hat Koruma şalterleri	50

1.3.11.	Kaçak Akım Koruma şalteri.....	50
1.3.12.	Şarj Regülatörleri	51
1.4.	FV Sistem Tasarımında Kullanılan Simülasyon Programları	51
1.4.1.	Renewable Energy Technologies Screen (RETScreen)	52
1.4.2.	TRaNsient SYstems Simulation (TRNSYS).....	53
1.4.3.	HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)	53
1.4.4.	PhotoVoltaic Design Program (PV DesignPro)	53
1.4.5.	INSEL (INtegrated Simulation Environment Language).....	54
1.4.6.	PhotoVoltaic F-Chart (PV F-Chart)	54
1.4.7.	National Renewable Energy Laboratory Solar Advisor Model (NREL SAM).....	54
1.4.8.	SolarDesignTool.....	55
1.4.9.	Solar Pro.....	55
1.4.10.	PhotoVoltaic Design Program-Grid connected systems (PV DesignPro-G) .	55
1.4.11.	PhotoVoltaic Solar Expert (PV*SOL Expert).....	56
2.	MATERYAL VE METOD	57
2.1.	Sistem Sahasının belirlenmesi.....	57
2.1.1.	Elazığ ili ve Santral Kurulacak Yer hakkında genel bilgi	57
2.1.1.2.	Elazığ Elektrik Santralleri ve Teşvik durumu	58
2.1.3.	Saha Özellikleri	60
2.2.	PVsyst Programı ve Simülasyon Aşamaları.....	61
2.2.1.	Sistem Tasarımı	62
2.2.1.2.	Panellerin yönelimi	65
2.2.1.2.1.	Sabit Eğimli Yüzey:	65
2.2.1.2.2.	Panellerin İki Eksende İzlemesi:	66
2.2.1.2.3.	Panelleri Gruplayarak İki Eksende İzleme:	67
2.2.1.2.4.	Tek eksende izleme	67
2.2.2.	Sistem İçin Gerekli Tasarım Parametrelerinin Seçimi	68
2.2.2.1.	Panel seçimi:	68
2.2.2.2.	İnverter Seçimi	72
2.2.3.	Sistem Kayıplarının Belirlenmesi	74
2.2.4.	Saha Yerleşim ve Tasarımı	77
2.2.5.	Gölgeleme Analizi ve Sonuçlar.....	79
2.2.6.	Maliyet Değerleri	82

3.	SONUÇLAR	84
4.	ÖNERİLER.....	98
	KAYNAKLAR.....	100
	ÖZGEÇMİŞ.....	107



ÖZET

Son yıllarda tüm Dünya ülkeleri enerji bağımsızlıklarını sağlayabilmek için enerji üretim oranları arasında yenilenebilir enerjinin payını arttırmaya çalışmaktadır. 2023 yılında elektriğin en az %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ve kurulu gücün 120.000 MW'a ulaşması hedeflenmektedir. Ülkemiz coğrafi konumu sayesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi bakımından şanslı ülkelerdendir. Sahip olduğu güneş enerji potansiyelini elektrik enerjisine dönüştürmek için son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, öncelikle güneş enerji santralleri (GES) ve uygulamaları konusunda literatür taraması yapılmıştır. güneş enerjisinin kullanım çeşitleri ve farklı sistem teknolojileri araştırılmıştır.

Türkiye'nin güneş enerjisi ve elektrik gücünden gösterilerek, Türkiye'deki elektrik üretim ve tüketimi irdelenmiştir. Fotovoltaik (FV) konusunda sistemin geçmişten günümüze kadar yapılan araştırma ve çalışmaları kronolojik olarak sıralanmış, avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir. Bir FV sistemde yer alan sistem ekipmanları detaylı olarak incelenmiştir.

Tezin ana konusu olan FV sistem tasarımına ait simülasyon için mevcut bütün programlar incelenerek, günümüzde tüm Dünya'da geçerli olan ve verdiği sonuçların güvenilirliği bakımından kredi imkanı sunabilen PVsyst programı seçilmiştir. Daha sonra tasarım yapılacak uygulama alanı olarak Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi Kampüsü önünde mevcut 20 dönümlük bir arazi belirlenmiştir. Arazinin güneş tarlası olarak kullanılabilirliği program tarafından teyid edildikten sonra sözkonusu alana 1MW'lık FV sistem tasarımı için gerekli veriler araştırılmıştır. Ardından simülasyonun diğer aşamalarında sisteme ait meteorolojik ve coğrafi bilgilerin, FV panellerin yönelimleri, ekipmanların yerleştirilmesi, gölgelenme analizi, enerji kayıpları ve enerji verimliliği elde edilmiştir. Son olarak tasarlanan tesis için maliyet analizi yapılarak geri dönüşüm süresi tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik, fizibilite, enerji verimliliği, solar panel, GES.

SUMMARY

THE SYSTEM SIMULATION AND TECHNOECONOMIC FEASIBILITY OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT DESIGN

In recent years, countries all over the world have been working to increase the share of renewable energy among energy production notes in order to gain their energy independence. At least thirty percent of electricity is intended to reach 120.000 MW.

Due to the geographical position of our country, it is one of the luckiest countries in terms of solar energy which is one of the renewable energy source many studies have been made in our country to convert solar energy to electrical energy in recent years.

In this master thesis, firstly a literature review has been conducted about solar power plants and its applications and use of solar energy and different types of systems technology are mentioned. Among the system investigated, system scan is made in the following sections by selecting the photovoltaic system applications.

By mentioning Turkey's solar energy and electric power, electricity generation and consumption in Turkey was discussed. Studies carried on photovoltaic systems were listed chronologically from past to present and advantages and disadvantages are stated. The system equipments in photovoltaic systems were examined in detail. The PVsyst program, which is currently valid around the world and is able to offer bank credit opportunity considering the results it presented, was selected after examining all available programs to simulation that belong to FV system design, which constitutes the topic of the current dissertation. A 20 decare of field in front of the faculty of Communication in Firat University was specified as the implementation area where the design will take place. After confirming that the field is appropriate for sun farm, the necessary data for the design of 1MW FV system was investigated for the aforementioned field. Next, meteorological and geographic information, the direction of FV panels, placement of equipment, shadowing analysis, loss of energy and energy productivity were determined in the following process of simulation. Lastly, cost analysis was made and recycling time is determined for the plant.

Key words: Photovoltaic, feasibility, energy efficiently, solar panel, SES

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Dünya üzerine düşen Güneş ışınımının dağılımları	7
Şekil 1.2.	Güneş enerjisinden elektrik üretimi için uygulanan yöntemler	7
Şekil 1.3.a.	Parabolik oluk teknolojisi çalışma prensibi b. Parabolik oluk teknolojisi örneği.....	8
Şekil 1.4.a.	Lineer fresnel çalışma prensibi b. Lineer fresnel teknolojisi örneği	9
Şekil 1.5.a.	Kule sistemi çalışma prensibi. b. Kule sistemi prensibine dayalı GES örneği.....	10
Şekil 1.6.a.	Çanak sistemli çalışma prensibi. b. Çanak sistemli santral örneği.	10
Şekil 1.7.	CPV teknolojisiyle hazırlanmış tasarım örneği.....	11
Şekil 1.8.a.	Ada sistem çalışma diyagramı. b. Şebeke bağlantılı sistem örneği	12
Şekil 1.9.	Türkiye Güneş haritası	13
Şekil 1.10.	Bölgelere göre Yıllık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	13
Şekil 1.11.	Bölgelere Göre Yıllık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	14
Şekil1.13.	Türkiye’de lisanssız Güneş enerji gelişiminin kurulu güç ve kurulu güç içindeki katkı payına göre değişimi.....	16
Şekil 1.14.	Aylık toplam elektrik tüketiminin yıllara göre değişimi.....	17
Şekil 1.15.	30 Haziran günü içerisinde saatlik tüketimi.	17
Şekil 1.16.	T.C. Enerji Ve Tabii Kaynakları Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü 2023 hedefleri.....	18
Şekil 1.17.	Sırasıyla FV hücre, modül ve panelin gelişimi	23
Şekil 1.18.	Farklı form ve yapılarıdaki hücre tipleri	24
Şekil1.19.	FV hücrenin yapısı	24
Şekil 1.20.	Güneş Hücre Çeşitleri	25
Şekil 1.21.	Kare ve daire biçimli monokristal hücreler.....	27
Şekil 1.22.	Multikristal hücre örnekleri.....	27
Şekil 1.23.	İnce film hücre	28
Şekil 1.24.	Amorf silisyum hücre katmanı ve örneği	29
Şekil 1.25.	Bakır indiyum diselenid hücre örneği ve katmanları	29
Şekil 1.26.	Kadmilyum tellürid hücre katmanları ve örneği	30
Şekil 1.27.	Organik ve Nano Kristal Güneş Hücresi.....	31
Şekil 1.28.	Boyaya duyarlı Güneş hücresi.....	32

Şekil 1.29.	Laboratuvar ortamında kaydedilen en verimli FV hücrelerin zaman içinde gelişimi	33
Şekil 1.30.	Sıcaklığın modül performansına etkisi	34
Şekil 1.31.	Almanya, Freiburg için yönlere göre Güneşlenmenin panel verimine etkisi	36
Şekil 1.32.	Gölgelenmenin modül performansına etkisi (12V DC)	37
Şekil 1.33.	Sıvı elektrolitli kurşun ızgaralı plaka aküsünün yapısı	40
Şekil 1.33.	Kurşunlu jel akünün yapısı	40
Şekil 1.34	Jenaratör Bağlantı kutusu ve toplayıcı kutu	42
Şekil 1.35.	İnverter çalışma şeması	42
Şekil 1.36.	İnverterler tarafından üretilen çeşitli dalga formları	44
Şekil 1.37.	Vidalı kısaç bağlantı	48
Şekil 1.38.	Vidalı bağlantı	48
Şekil 1.39.	Yaylı kısaç	49
Şekil 1.40.	Bağlantı soketleri	49
Şekil 1.41.	Doğru akım yük şalteri	50
Şekil 1.42.	Hat koruma şalteri	50
Şekil 1.43.a.	Sezgisel göstergeli şarj regülatörü b. Uzak göstergeli akıllı şarj regülatörü	51
Şekil 2.1.	Elazığ ili Güneş Enerji Potansiyel Atlası	57
Şekil 2.2.a.	Elazığ ili global radyasyon değeri b. Elazığ Güneşlenme süreleri	58
Şekil 2.4.	Ges Simülasyonu yapılan alan	61
Şekil 2.5.	Dünya'daki meteonorm istasyonları	62
Şekil 2.7.	Seçilen bölgenin PVsyst programında uydu görüntüsü	63
Şekil 2.8.	Güneş Tarlasının sınır alanı görünümü	63
Şekil 2.9.	Aylara göre ışıınım, sıcaklık ve rüzgar değerleri	64
Şekil 2.10.	Albedo ve tasarım parametreleri	65
Şekil 2.11.	Sabit eğimli yüzey seçimi	66
Şekil 2.12.	İki ekseninde izlenilen paneller	66
Şekil 2.12.	İki ekseninde izlenilen paneller	67
Şekil 2.13.	Panellerin gruplandırılarak 2 ekseninde izlenmesi	67
Şekil 2.14.	Panellerin tek ekseninde izlenmesi	67
Şekil 2.15.	25 ⁰ için sistem analiz sonuçları	68

Şekil 2.16.	30° için sistem analiz sonuçları.....	69
Şekil 2.17.	Panel teknik özellikleri.....	69
Şekil 2.18.	Panel Mekanik Özellikleri.....	70
Şekil 2.19.	a. Panelin akım-voltaj ve güç voltaj eğrisi b. Panelin sıcaklığa bağlı değişimleri.....	71
Şekil 2.20.	İnverter çalışma sıcaklığı ve güç grafiği	72
Şekil 2.21.	Sistem seçimi ve teknik bilgileri	73
Şekil 2.22.	Sistem bakım onarım kaybı değerleri.....	75
Şekil 2.23.	İnverter ve panel uyum grafiği	76
Şekil 2.24.	Saatlik ışıınım dağılımı	77
Şekil 2.25.	Saha yerleşim özellikleri	78
Şekil 2.26.	Işınlanmaya ait doğrusal gölgelenme değerleri.....	79
Şekil 2.27.	Düzlemsel koordinat horizon diyagramı	80
Şekil 2.28.	Polar koordinat horizon diyagramı.....	80
Şekil 2.29.	Simülasyon sonuç ekranı.....	81
Şekil 2.30.	Sistem maliyet değerleri.....	82
Şekil 3.1.	Sistem simülasyon parametreleri	85
Şekil 3.2.	PVsyst ana sonuçlar	87
Şekil 3.3.	Sistem üretim ve kayıp raporu	90
Şekil 3.4.	Maliyet raporu	95
Şekil 3.5.	Geri dönüşüm süresi.....	96

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Güneş hücrelerinin kıyaslanması	32
Tablo 2.1. Elazığ’da kurulu elektrik santralleri	59



SEMBOLLER LİSTESİ

€	: Avro
°C	: Santigrat derece
°K	: Kelvin derece
h	: saat
I	: Akım
I _{sc}	: Kısa devre akımı
kW	: KiloWatt
kW _p	: KiloWatt Peak
MW	: Mega Watt
P _{max}	: Panelin ürettiği güç
V	: Volt
V _{oc}	: Açık devre gerilimi
W	: Watt
watt/m ²	: Watt / metrekaare
y	: yıl

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
a-Si	: Amorf Silisyum güneş Hücresi
CdTe	: Kadmiyum Tellürid güneş Hücresi
CIS	: Bakır İndiyum Diselenid güneş Hücresi
DC	: Doğru Akım
EİE	: Elektrik işleri Etüt İdaresi
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
İPARD	: Instrument for Pre-accession Rural Development
MPPT	: Maksimum güç noktası takibi
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NEC	: National Electrical Code
NOCT	: Nominal test koşulları
STC	: Standart Test Koşulları
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TKDK	: Tarım Kredi Düzenleme Kurumu
UV	: Ultraviyole
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Günümüzde gittikçe artan enerji tüketimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan nüfus yoğunluğu gelecek yıllarda bu tüketimin daha artacağını göstermektedir. Bu nedenle son yıllarda eşitli yenilenebilir enerji kaynakları araştırmaları, daha da önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi ve uygulamaları hakkında araştırma yapılmıştır. FV sistem çalışmaları, güneş enerji Santrali(GES) uygulamaları ve FV sistem simülasyon programlarıyla ilgili detaylı literatür araştırmaları yapılmıştır.

L. A. Dobrzanski, güneş hücrelerinin temel elektriksel özelliklerini tayin ve FV modülün temel elektriksel parametrelerini analiz edilmiştir. Bunun için birkaç metot kullanılmıştır: 36 monokristal güneş hücresinin akım-gerilim karakteristiklerinin temel elektriksel özelliklerini tayin etmek için bond güneş hücrelerine solf soldering teknik kullanılmıştır. Fotovoltaik modül 31 tane güneş hücresiyle seri bağlı kısa devre akımından üretilmiştir. Daha yüksek akım ve gerilim seviyelerinde elektrik akımı üreten bir cihaz elde etmek için, güneş hücreleri FV modüle bağlanmış ve sonrasında dış faktörlerden kaynaklı zararlardan korunmuştur. Sonuçta, 36 güneş hücresinden ölçülen akım gerilim karakteristiklerinin temelinde, 31 tanesinin açık devre voltajı 17,58V, kısa devre akımı 101mA ve fill faktörü ise ortalama % 61 olarak saptanmıştır. Mevcut şartlar göz önüne alındığında, FV modül sonuçları tatmin edici bulunmuştur [1].

C. Becker, polikristal silikon ince film teknolojileri gelişmeleri hakkında bilgi vermiştir. Termal katı faz kristalleşme gibi çeşitli polisilyum ince film güneş hücrelerini araştırmıştır. Söz konusu çalışmanın ilk kısmında dört farklı polikristal silisyum ince film güneş hücrelerinin teknolojik fabrikasyon metodları karşılaştırılarak, yapısal ve elektriksel özellikleri, hücre performansları konsepti özetlenmiştir. İkinci kısmında ümit verici teknolojiler fabrikasyon süresi araştırılmıştır [2].

L. A. Dobrzanski, çalışmada kullanılan FV modül kurulumu ve temel elektriksel özelliklerini analiz etmiştir. Sistemde kullanılan FV modül 4 adet seri bağlı polikristal silikon hücreden oluşmuştur. Soft soldering-yumuşak lehim- teknik ve copper tin strip- bakır döküm- hücrelerin bir araya getirilmesinde kullanılmıştır. Güneş hücrelerinin uygulamasını göstermektir. Çalışmada FV modül monte edilmiş ve elektriksel özellikleri

analiz edilmiştir. Yapılan denemelerde görülmüştür ki, FV modüller başarılı olarak birer yenilenebilir enerji kaynağıdır ve çıkışan birçok güneş hücresi sınırlı enerji üretebilir. FV modül ile akım gerilim talebine, dolum faktörüne göre kurulum yapılabileceğine ve seri bağlı güneş hücreleri ile 2 FV modülün edinimine imkân tanınabildiği görülmüştür [3].

L. A. Dobrzanski, monokristal ve polikristal silikon güneş hücrelerinin elektriksel özelliklerini karşılaştırmıştır. Bu işlem akım gerilim karakteristiklerine ve matematiksel hesaplar doğrultusunda yapılmıştır.

Güneş hücrelerinin aydınlık ve karanlık akım gerilim karakteristikleri solar simülatör FV test solutions company model ile ölçülmüştür. Güneş hücrelerinin akım gerilim karakteristikleri hakkındaki bilgi ve parametrelerin üretimlerinin kalitesi ve gelişimi hakkında bilgi edinmeye olanak tanıdığı belirlenmiştir. En iyi verime monokristalde ölçümlerde % 14,95 olarak ulaşılmıştır [4].

F. Kadırgan, termal ve elektrik dönüşümlerin teknolojileri ile ilgili çalışmıştır. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ve güneşlenme sürelerini belirtilmiş, FV pazarın ve FV pil teknolojisinin aldığı yol gözler önüne serilmiştir. Ticari olarak satılan pillerin cinsleri, laboratuvar şartlarında hücre verimleri ve modül halindeki verileri karşılaştırılmıştır. FV teknolojinin malzeme çeşitliliği ve verimleri araştırılmıştır [5].

S. Turhan, sistemden maksimum performans elde etmek üzere tasarımcıların en uygun tercihi yapmaları amacıyla FV panellerin binalarda kullanımında tasarımı etkileyen özellikler: konum, yönlendirme ve yüzey eğim açısı, gölgelenme, panel tipi, bakım ve temizlik, modüllerin arkasında oluşan sıcaklık gibi etmenler ayrı ayrı incelenmiştir. Bina analiz sonuçlarının performansı etkileyen etmenlerle ilişkilendirilerek bilgiler verilmiştir. Analiz sonucunda; yıllık güneş enerjisi değeri yüksek bölgeleri tercih eden, doğru eğim açısı ile yerleştirilen, yüksek performanslı hücre teknolojileri ile gerçekleştirilmiş panelleri kullanan, gölgelenme risklerine karşı önlem alınan, modül arka yüzeyinde havalandırma sağlanan, kullanım sürecinde yüzey temizliğine dikkat edilen uygulamalarda FV panellerden maksimum performans elde edildiği görülmüştür [6].

M. Lalwani ve arkadaşları, solar FV simülasyon yazılımları hakkında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada retscreen simülasyon programının söz konusu tezde geliştirilecek simülasyonun doğrulamasında en iyi program olduğunu belirtmiştir [7].

F. Canan, FV hücrelerin karakteristik özelliklerini ve FV hücre çeşitleri incelemiştir. Söz konusu çalışmada, FV panellerin çevrim oranlarını, 1 kW için gerekli olan panel alanlarını ve FV tiplerine göre m^2 başına düşen enerji miktarını incelenmiştir [8].

Orgill ve Arkadaşları, yatay düzleme gelen yaygın güneş ışıınım modelini geliştirmiştir. Yapılan modelde difüz ışıınım oranı ve saatlik berraklık indeksi uygulanarak yatay düzleme ulaşan saatlik difüz güneş ışıınım şiddeti hesaplanmıştır [9].

E. Deniz, güneş enerjisi santrallerinde kayıplar çalışması kapsamında görülmesi muhtemel kayıpları sınıflandırmış ve incelenmiştir. Bu kayıpların tahmin edilen sonuçları ve GES performansına etkileri araştırılmıştır. Dünya'daki ve Türkiye'deki uygulamalardan alınan FV sistem örnekleri incelenmiştir. FV sistemlerde yönlendirme performansı etkileyen konum ve eğim açısı, panel tipi gölgelenme, panel yüzey temizliği gibi etmenler ve modüllerin arkasında oluşan sıcaklık, çalışmada göz önüne alınmıştır [10].

Aslanoğlu ve arkadaşları, üretilen elektriğe bağlı olarak karbon emisyonu hesaplama çalışmalarında CO₂ emisyonlarının bulunması için planlanan santrallerin ve mevcut elektrik üretimi, emisyon faktörleri, yakıt tüketim verileri, yakıt alt ısı değerleri, elektrik talep tahmin değerleri ve ortalama termodinamik verimlerini kullanmıştır. Mevcut bulunan santrallere ait yakıt tüketimine bağlı CO₂ emisyonu ve yakıt bazında özel emisyon faktörlerini belirlemiştir [11].

Varınca ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynakları arasında hem üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yeri olan güneş enerji kaynaklı sistemlerinin üretimi hem de sahip olduğu potansiyel ve bu sistemlerin muhtemel olan çevresel etkilerini incelemiştir, muhtemel olan olumsuz etkilerinin minimuma indirgenmesi veya ortadan kaldırılmasına yönelik yapılan bazı değerlendirmelerde ve önerilerde bulunmuştur [12].

Peippo ve Lund, FV sistemlerin şebeke bağlantılı türlerinde, FV anma panel kapasitesinin, inverterin anma giriş kapasitesinin oranının optimumluğunu belirlemiştir. Bu sistemin panel yönü inverter karakteristiğini ve FV sisteme ait bileşenlerin maliyetini sayısal simülasyonlarla belirlemiştir. Çalışmada FV panelin boyutlandırmasını etkileyen mühim bir etki olarak panel çıkış karakteristiğinin önemi vurgulamıştır [13].

Agha ve Sbita, FV panellerin eğimlerinin sabit olması ve değişken yük profili için dört ana boyutlandırma parametre değişkenlerinin analiz sonuçlarını belirlemiştir. Çalışmada solar dizayndan elde edilen enerjiyle yük profilinin uyumu araştırmıştır. Bu amaçla, FV yüzeyinin eğim açısı, FV dizilerinin kapasitesi, tasarım süresi ve göreceli depolamanın kapasitesi gibi değişkenler optimize edilmiştir [14].

Kaushika ve arkadaşları, şebekeden bağımsız (off grid) ve birbirine bağımlı dizilerin düzenek formatı için sistem simülasyonu yapmıştır. Çalışmada düzenek boyutlandırmasında sıraların ürettiği elektrik ve kararsız yük talebini taşıyan akü merkezinin depolama özellik göz önüne alınmıştır. Ayrıca güneş takipli ve sabit sistemlerin ekonomik maliyet simülasyonu yapılmıştır [15].

Ashok, yenilenebilir enerji kaynakları arasında kombinasyon yaparak aralarında optimum karma bir tasarım elde edileceğini, tasarım güvenliği için garantili ve sisteme ait kümülatif maliyeti minimuma indirgeyen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Söz konusu çalışmada QUASI-NEURTON metoduyla ilişkili sayısal bir algoritmayla sistemdeki problem çözümünü gerçekleştirilmiştir [16].

Benatiallah ve arkadaşları, DELPHİ isimli bir simülasyon programıyla, FV kurulumundaki ekipmanların boyutlandırılması ve değerlendirilmesini yapmıştır. Bu program vesilesiyle üretilmiş olan enerjiyle sisteme gerekli tüketim yükü karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmayla sisteminin zamana bağlı faktörü de optimizasyonla simülasyon haline getirilmiştir [17].

Posadillo ve Luque, FV sistem boyutlandırması ve ölçülmesi amacıyla metod geliştirilmiştir. Bu metod değişken aylık enerjinin talebine göre belirlenmiştir. Yapılan çalışmada solar radyasyonun günlük olarak istatistiksel yolla karakterize hale getirilmesindeki önem vurgulanmıştır [18].

Cabral ve arkadaşları, şebeke harici FV sistemlerin boyutlandırılması amacıyla FV üreteç boyutuyla ilgili değişkenlerin statik analiz ve değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmada şebekeden bağımsız sistemlerin solar ışıınımı ve enerjinin depolanmasının rastgele yapısına göre analizi gerçekleştirilmiş, bulunan sonuçlar deterministik yapı sandia yöntemiyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak statik yöntemin güvenli, gerçek sonuçlar verdiğini fakat daha karmaşık olduğunu gösterilmiştir [19].

Chikh ve arkadaşları, bir bölge belirlemiş ve bu bölgeye uygun enerji ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, FV panel ve akü potansiyelini belirlemek için gerekli çalışmalar yapmıştır. Bu boyutlandırmayı ve simülasyonu gerçekleştirmek için (PVSS 1.0) isimli program geliştirilmiştir. Sonuçların doğru ve isabetli olduğu belirtilmiştir [20].

Skunpong ve Plangklang, FV sistemin zamansal açıdan az sürede tasarlanması için, kullanışlı pratik bir yöntem sunmuştur. Çalışmalarında hibrit FV sistemlere ve şebekeden bağımsız sistemlere göre simülasyonlar yapılmıştır [21].

Jakhrani ve arkadaşları, günlük güneş ışıını ve meteorolojiye ait değerleri kullanarak şebekeye bağlı olmayan bir FV sistemin maliyeti ve güvenilirliğini tespit etmek amacıyla bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada kötü hava şartlarında dahi gün boyunca bataryaların yükleri beslediği belirtilmiştir. Sonuçlar yeterince ikna edici ve gerçekçi görülmüştür, çünkü modellenen sistemdeki arsanın enlemi, FV dizinin verimi, sistem yükü, sistem elemanlarının birim maliyeti ve simüle edilen ışıını değerleri sonuçlarının gerçeğe çok yakın değerler aldığı görülmüştür [22].

Kazem ve arkadaşları, belirlenen sistemde şebekeden bağımsız ve uzak bölgelerde sistem boyutlandırması yapılmıştır. Matlab programı kullanılarak, FV sistemdeki dizilerin boyutlandırması bataryanın kapasitesi, FV panelin eğimi, meteorolojiden alınan veri ve sistemdeki yükün talebine göre optimum edilmiştir. Sonuç olarak FV dizilerdeki panel eğimlerinin yıl içerinde 2 kez değiştirilmesiyle, sadece diziden alınan verimin %20.6 oranında arttığı görülmüştür [23].

Rezk ve El-Sayed, enerjinin dengeli olması metoduna dayanan bir bilgisayar yazılımıyla, FV sistem parametrelerini belirlemiştir. Güneş takipli sisteme dayalı odaklanmış FV ve bataryadaki depolanmanın boyutlandırma sistemini araştırmıştır [24].

1.1. Güneş Enerjisi

Giderek tükenen enerji kaynaklarının yerine yenisini koymayı amaçlayan araştırmalara 20.yy'ın 2. yarısından sonra daha fazla önem verilmiştir. Farklı yol ve yöntemler geliştirilerek kaynak sorununa bir taraftan mevcut kaynakların dünya nüfusuna eşit dağılımı gibi çıkış noktaları aranmış bir taraftan da doğal ve organik kaynakları araştırılmıştır. Bu kaynaklar içinde en büyük potansiyele sahip kaynaklardan birinin de güneş enerjisi olduğu görülmüştür [25].

Güneş'in çapı 1,4 milyon km (yani dünyanın 110 katı) ve bize uzaklığı 150 milyon km'dir [25].

Güneşten 1 yıl içerisinde dünyaya yansıtılan enerji, yerküredeki hali hazırdaki ihtiyaç kömür enerjisinin 150 katını aşmaktadır [26].

Güneşten gelen ışıık, değişik frekansa sahip elektromanyetik dalgalarda meydana gelmektedir. Bu yayılan elektromanyetik dalgalar; bir Angstrmun kesirlerinden yüzlerce metreye kadar uzanmaktadır [27].

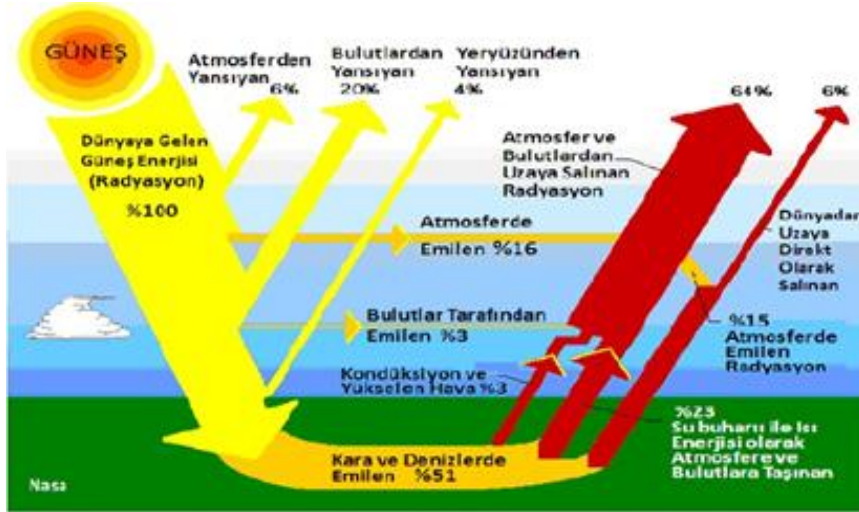
Ayrıca güneşin merkez sıcaklığı 16 milyon °C değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Dünya'ya ulaşan enerji yaklaşık 6000°K değerindedir ve güneşin birkaç yüz km kadar dar ve üst bölgesinden gelmektedir [28].

Güneş enerjisine ait özellikler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Saf bir enerji türü olan güneş enerjisinin karbon, duman, toz veya kükürt gibi zararlı etkenleri yoktur.
- *Dünyadaki tüm ülkelerin faydalanabileceği kadar yüksek enerjiye ve etkiye sahip güneş enerjisi bu özelliğiyle tüm dünya ülkelerini kendine bağımlı hale getirmiştir.
- Tesis ve bakım masrafı dışında kaynağa herhangi bir ücret ödemeyi gerektirmeyen güneş enerjisi, devamlılığı olan bir enerji türüdür.
- Güneş enerjisinin en büyük özelliği de desantralize oluşudur. Yani diğer bir anlamda her yerde kullanılabilir, çünkü doğanın her yerindedir. Bu faydalanma esası dünyanın farklı yerlerinde farklı verim sonuçları elde etmesine sebep olsa da tükenmez ve hali hazırda bir enerji kaynağı olmuştur.
- Kurulması, işleyişi ve atığının olmamasıyla karmaşık yapıya sahip bir sistem değildir.
- Bu enerji türü özellikle rezerve sahip yeraltı kaynaklarına göre birçok avantaja sahiptir. Örneğin ülkelerin savunma stratejilerinde yapacakları herhangi bir değişiklik, enerji türünü etkilemeyecek ve dışa bağımlılığı azaltacaktır [29].

Güneş enerjisi, ekolojik açıdan da diğer bütün enerjilerin temeli durumundadır. Fosil yakıtlar, termik, hidroelektrik, dalga, rüzgar ve biyogaz gibi tüm enerji türleri kaynağını güneşten almaktadır [30].

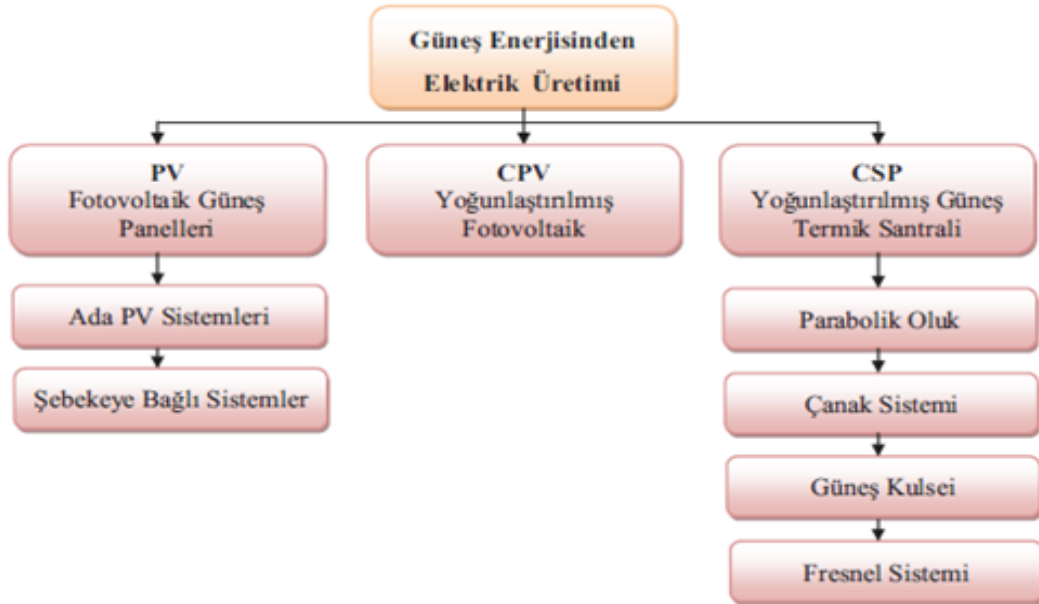
Güneşten yeryüzüne inen toplam ışıınım dolaylı (yaygın) ve dolaysız (direkt) olmak üzere 2 bileşene ayrılmaktadır, direkt ışıınım adından da anlaşılacağı üzere yeryüzüne direkt inen ışıınım türüdür. Yaygın ışıınımda isminden anlaşılacağı gibi yeryüzüne inerken yutulan ve saçılan ışıının yeryüzüne ulaştığı kadar olan kısmıdır. Bu ışıının belirli yön ve doğrultusu bulunmamaktadır [31]. Şekil 1.1'de güneş ışıınım dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Dünya üzerine düşen güneş ışıınının dağılımları [32].

1.1.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Çeşitleri

Günümüzde güneş enerjisi özellikle elektrik ve ısı elde edilmesinde kullanılmaktadır. Genelde yaygın olarak çatılara konulan sıcak su kolektörleri ile, ısıya dönüşüm birçok ev iş yerlerinde karşımıza çıkmaktadır [33].



Şekil 1.2. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için uygulanan yöntemler

1.1.1.1. CSP Teknolojisi

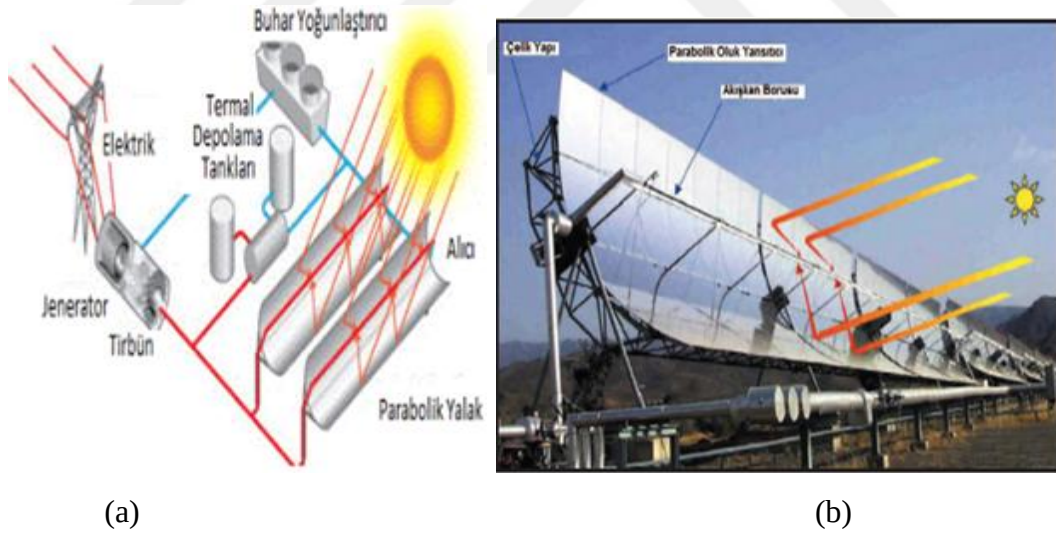
Güneş enerjisiyle elektrik üretiminde farklı teknolojiler mevcuttur. Bunlardan birincisi CSP teknolojisidir. CSP, yoğunlaştırılmış solar güç (concertrated solar power)

anlamındadır [34]. Bu teknoloji 4 kısımdan oluşmaktadır. CSP teknolojisi, güneş enerjisinin bir yerde yoğunlaştırılmasıyla ve ardından sıcaklığın artıp, akışkandan buhar türbinine aktarılması sonucu meydana gelmektedir. Bu sistemde ışıının yoğunlaştırma işlemi yansıtıcı aynalar tarafından oluşmaktadır. Bu aynalar sayesinde yoğunlaşma işlemi 25 ile 2000 kat artmaktadır [35].

1.1.1.1.1. Parabolik Oluk Teknolojisi

Toplayıcı, parabolik oluk şeklindedir. Çift eksenli ya da tek eksenli tasarımları mevcuttur. Temel amaç toplayıcı üzerine yoğunlaşan güneş ışıının ısıya ve ardından elektriğe dönüştürülmesidir.

Çöllerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat sistemin dezavantajı kulelerden yoğunlaşan su buharları kollektör üzerinde gölge meydana getirmektedir. Bu sistemde, parabolik oluklarda erimiş tuz, fuel-oil, mineral yağ transfer işlemini gerçekleştiren akışkan olarak görev yapmaktadır. Çalışma sıcaklıkları yaklaşık 400-500°C arasındadır. Basit ve maliyeti düşük sistemlerdir [36]. Parabolik güneş enerjisi santralleri diğer CSP güneş enerjisi santralleri içerisinde en fazla verim elde edilen teknolojidir.

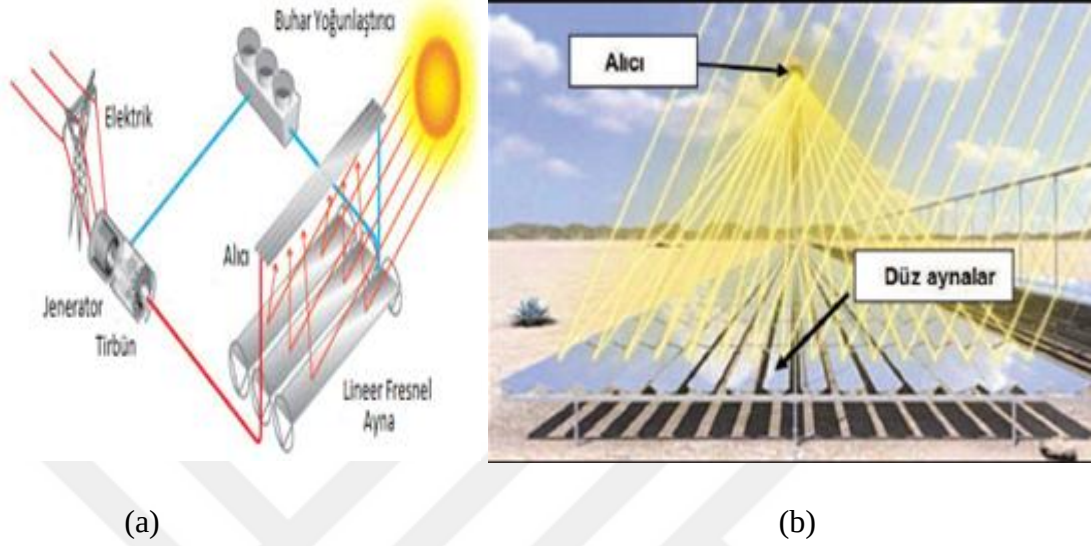


Şekil 1.3.a. Parabolik oluk teknolojisi çalışma prensibi **b.** Parabolik oluk teknolojisi örneği [37].

1.1.1.1.2. Fresnel Teknolojisi

Bu sistem parabolik oluk sistemine göre daha ucuz ve daha az yer kaplamaktadır. Kullanılan bu sistemdeki aynalar güney-kuzey yönünde uzanmaktadır, böylece güneş ışınları alıcıya yoğunlaşıp, tüpler içerisinde geçen sıvıyı ısıtmaktadır. Bu sistemlerin en

önemli özelliğinden biri de kum fırtınası veya dolu yağması halinde kendini kapatıyor olmasıdır. Bu sistemdeki alıcı, kısa dalga boylu radyasyonu soğurarak, uzun dalga boylu radyasyonun yayılması özelliğine sahiptir [35].

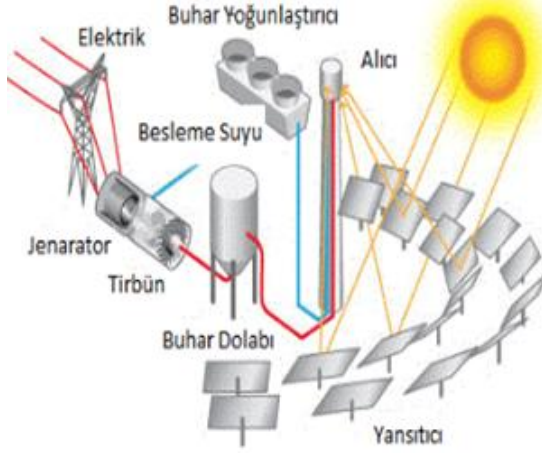


Şekil 1.4.a. Lineer fresnel çalışma prensibi [35]. **b.** Lineer fresnel teknolojisi örneği [37].

1.1.1.1.3. Kule Sistemi

Bu sistemde, güneş ışınları heliostat adı verilen çok sayıda aynaya ve oradan kuleye yansıtılarak elektrik oluşumunu meydana getirmektedir. Bu santrallerin kurulu gücü çok yüksek olup, ortalama 30 ile 400 MW arasındadır. Bu nedenle bu sistemlerin şebekeye bağlı olması gerekmektedir.

Kulenin tepesindeki alıcı içerisinde ısı transfer akışkanı bulunmaktadır. Bu akışkan kule içinde doymuş buhar halinde olup ve ardından kuleden inerek buhar türbinine ve oradan da jeneratöre giderek elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Zor bir sistemdir. Çünkü iki eksen takip sistemlidir. Kulenin odak noktası olması ve yüksekliğinin fazla olması sebebiyle projenin gerçekleştirilmesi sırasında dezavantajları mevcuttur [38].



(a)



(b)

Şekil 1.5.a. Kule sistemi çalışma prensibi [37]. **b.** Kule sistemi prensibine dayalı GES örneği [39].

1.1.1.1.4. Çanak Sistemi

Bu sistem de ışıınım sonucundaki asıl enerji ilk önce mekanik ve ardında elektrik enerjisine dönüşmektedir. Güneş takip sistemli çift eksenli bir ekipman gerektirmektedir. Bu sistemin diğer CSP teknolojilerinden ayıran en önemli özelliği hem küçük hem de modüllerin bağımsız olmasıdır. Sistemin verimi yüksek, tekrar sökölüp montajlanabilme özelliğine sahiptir. GES’lerde en yüksek kapasite faktörüne sahip çanak %30 gibi yüksek değere ve şu anki teknolojiye göre bu sistemlerin bir ortalama verime sahip olduğu söylenebilir. [35].



(a)



(b)

Şekil 1.6.a. Çanak sistemli çalışma prensibi [37]. **b.** Çanak sistemli santral örneği [36].

1.1.1.2. CPV Teknolojisi

Yoğunlaştırılmış sistem olan bu modelin elektrik üretimi yöntemi CSP 'ler den tamamen farklıdır. CPV sistemlerinde FV hücreler yardımıyla ışık elektriğe dönüşmektedir. Bu düzenekte herhangi bir termodinamik proses bulunmamaktadır. Bu düzeneklerin en önemli özelliği yoğunlaştırmanın yüksek oluşudur. Bu modellerde yoğunlaştırmanın 100 ile 900 kat düzeyinde olduğu durumlarda %40-41 arasında bir verime sahip olduğu belirtilmiştir [38].

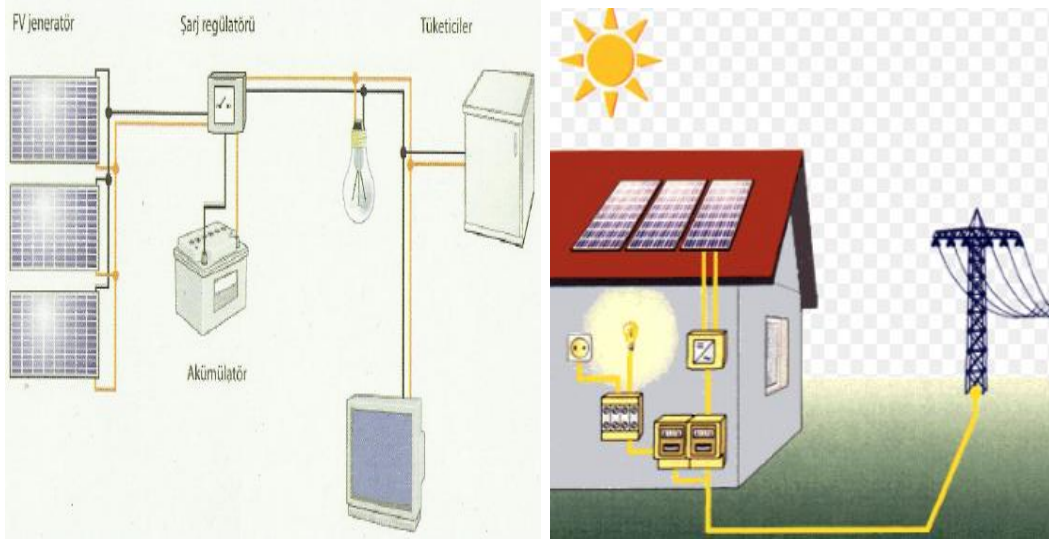


Şekil 1.7. CPV teknolojisiyle hazırlanmış tasarım örneği [37].

1.1.1.2.1. FV Güneş Panelleri

Bu sistem özellikle tez konusunun temelini oluşturmakla birlikte, özellikle ileri bölümlerde sistem detayları hakkında bilgi verilmiştir.

Ada sistemleri ve şebekeye bağlı sistemler olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Ada sistemlerinde enerji ihtiyacına göre enerji üretimi olmaktadır. Fakat üretilen enerji genelde tüketicilerin anlık ihtiyacından fazla olduğundan genellikle aküler kullanılmaktadır. Ada sistemlerine örnek olarak; karavan araç ve tekneler verilebilir. Kent merkezi dışında dağ evlerinde, yazlıklarda ve kırsal alanlarda gelişmekte olan ülkelerde çokça tercih edilmektedir. GSM baz istasyonları, trafik ışık ve levhaları, çağrı direkleri ve benzeri şebekeden uzak düzeneklerde kullanılmaktadır.



(a)

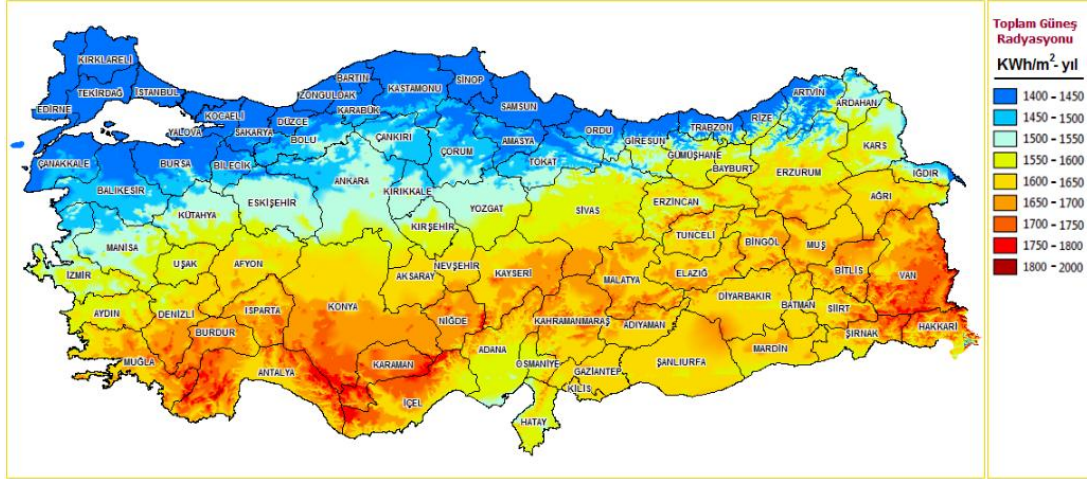
(b)

Şekil 1.8.a. Ada sistem çalışma diyagramı [41]. **b.** Şebeke bağlantılı sistem örneği [42].

Şebeke bağlantılı sistemlerin en önemli özelliği adında da anlaşılaacağı gibi toplu elektrik şebekelerine bağlı olmasıdır. Dünya çapındaki FV tesislerin birçoğu şebekeye bağlı tesislerden oluşmaktadır. Özellikle Almanya da 2050 yılına kadar enerji ihtiyacının 3'te birinin bu tip sisteme göre çalışan güneş enerji kaynaklardan temin edileceği öngörülmektedir [43].

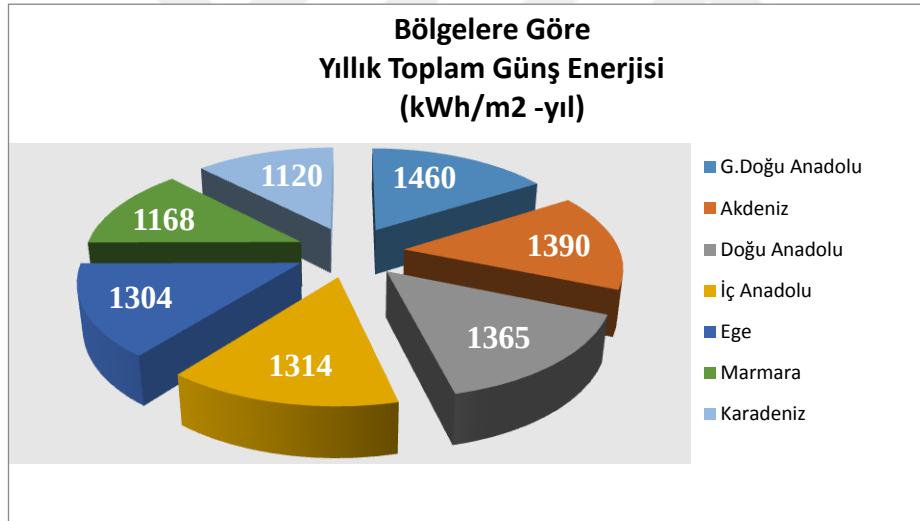
1.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Elektrik Gücü

Ülkemizin oldukça fazla güneş enerji potansiyeline sahip olmasındaki en büyük etken birçok ülkeye göre ekvatora daha yakın olmasıdır. Yapılmış olan araştırmalar neticesinde 10 aylık bir güneşlenme süresi ülkemizin %63'lük bir kısmında, 1 yıllık güneşlenme ise ülke genelinin %17'lik bölümünde meydana gelmektedir [34]. Şekil 1.9.'da Türkiye'nin güneş haritası ve şehirlere göre toplam güneş radyasyonu gösterilmiştir.

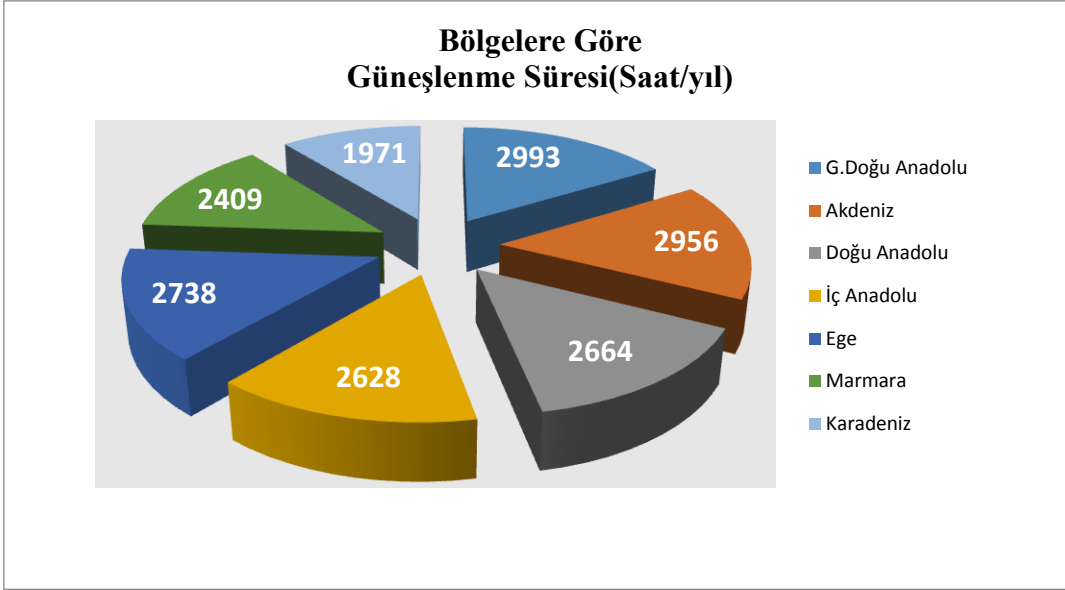


Şekil 1.9. Türkiye güneş haritası [45].

Türkiye 7 bölgeden meydana gelmekte ve her bölgenin enlem etkisiyle farklı iklim koşullarına sahip olduğu bilinmektedir. Her bölgenin kendine özgü yıllık toplam güneş enerji süresi ve yıllık toplam güneş enerji miktarı Şekil 1.10'da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Bölgelere göre yıllık toplam güneş enerjisi (kWh/m²-yıl)

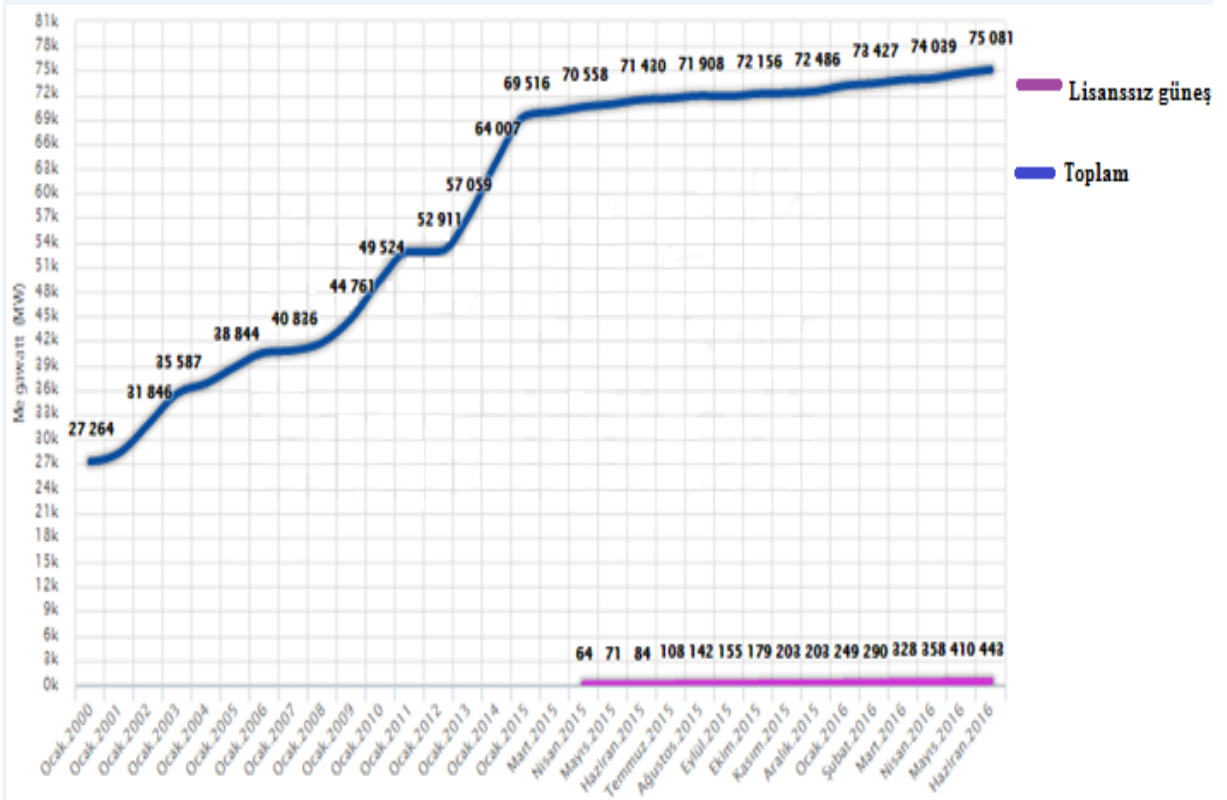


Şekil 1.11. Bölgelere göre yıllık toplam güneş enerjisi (kWh/m^2 -yıl)

Şekil 1.11.'de görüldüğü gibi ülkemizin, yarısından fazlası yüksek güneşlenme miktarına sahip şanslı ülkelerdendir. Ülkemizde güneşlenme ile ilgili yapılan araştırmalar sonucunda EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi)'den alınan bilgiler ışığında, yıllık ortalama güneşlenme süresinin günlük olarak 7,2 saat yani toplamda 2640 saat olduğu tespit edilmiştir. Toplam ışınlam şiddetinin ise $1311 \text{ KWh/m}^2\text{-yıl}$ yani günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ olduğu sonucuna varılmıştır [46].

1.1.2.1. Türkiye’de Elektrik Üretim ve Tüketimi

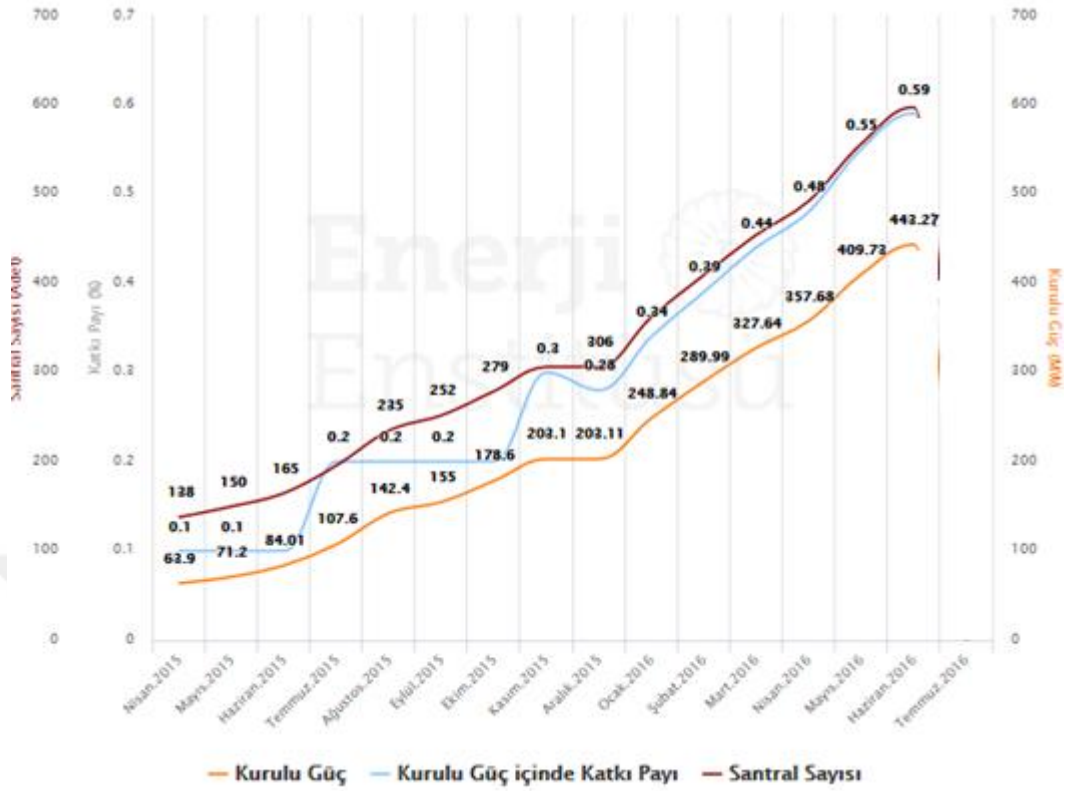
Türkiye’de elektrik üretimi 2015’te 73.146,7 MW iken 2016 Mayıs ayı sonu istatistiklerine göre 75.081.5 MW olarak belirlenmiştir. Yani 2016 Mayıs ayı itibari ile elektrik enerjisi kurulu gücünde %2,64’lük bir artış meydana gelmiştir. 2016 Mayıs sonu elektrik üretimi ise 108.625.441.787 kWh olarak belirlenmiş olup, bu değer 2015’te bir önceki yıla göre %2,69 artarak 264136800 MWh olarak gerçekleşmiştir [47]. Türkiye'nin yakıt cinslerine göre kurulu elektrik gücü (MW) şekil 1.12’de gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Türkiye'nin toplam kurulu gücü ve lisanssız güneş enerji kurulum gücü

Şekil 1.12'de 2000 yılı Ocak ayından 2016 yılı Haziran ayına kadar lisanssız ve toplam olarak güneşten elde edilen enerji görülmektedir. Bu 2000 yılı Ocak ayında 27.264 MW üretilirken, 2016 yılı Haziran ayında 75,081 MW'a çıkmıştır. 2015 yılı Nisan ayında toplamda 64 MW güneş enerjisiyle elektrik üretilirken, bu değer yıllarla doğru orantılı olarak artmıştır. Son olarak 2016 yılı Haziran ayında güneş enerjisiyle üretim 443 MW'lık değere ulaşmıştır.

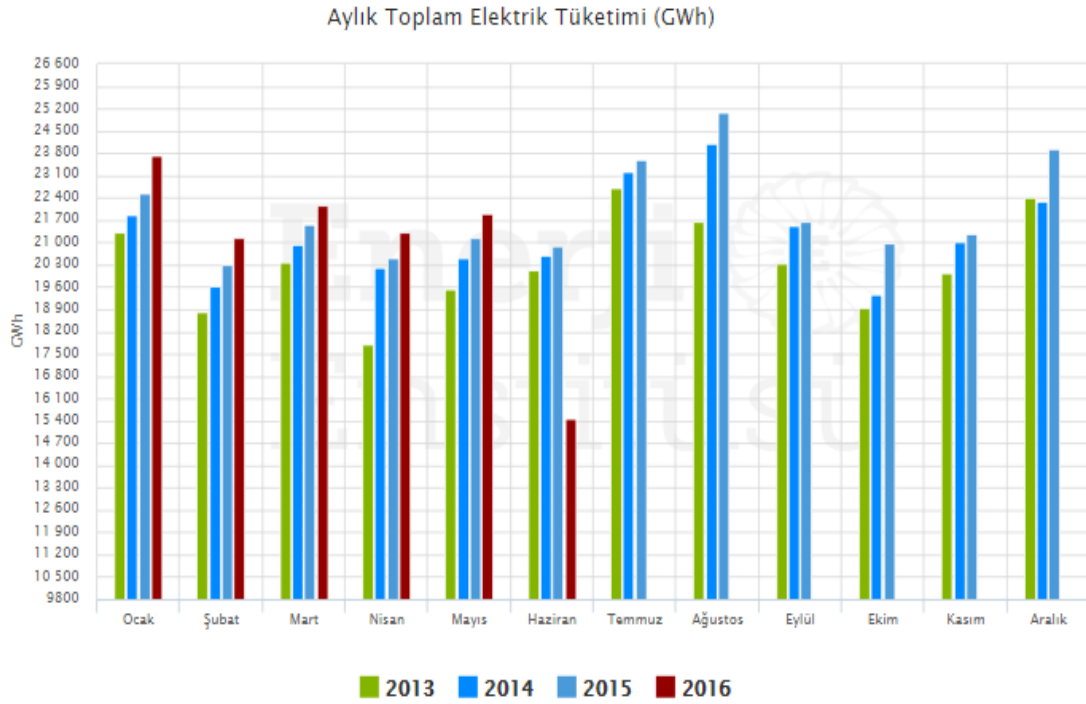
Devletten destek alan yenilenebilir enerji projeleri kapsamında geçtiğimiz yıl yani 2015 yılında 17.720.976 MWh üretim gerçekleştirerek 2014 yılındaki 5.813.746 MWh'lik üretim 3 kat artmıştır. Bu nümerik değerlerden de anlaşılacağı gibi 2015 yılında Türkiye'de üretimi gerçekleştirilen elektriğin %6,8'lik kısmı bu destek mekanizmaları tarafından sağlanmıştır. Bu üretim içinde en fazla paya sahip yenilenebilir enerji türleri hidrolik ve rüzgar santralleri olduğu görülmüştür [48].



Şekil1.13. Türkiye’de lisanssız güneş enerji gelişiminin kurulu güç ve kurulu güç içindeki katkı payına göre değişimi [48].

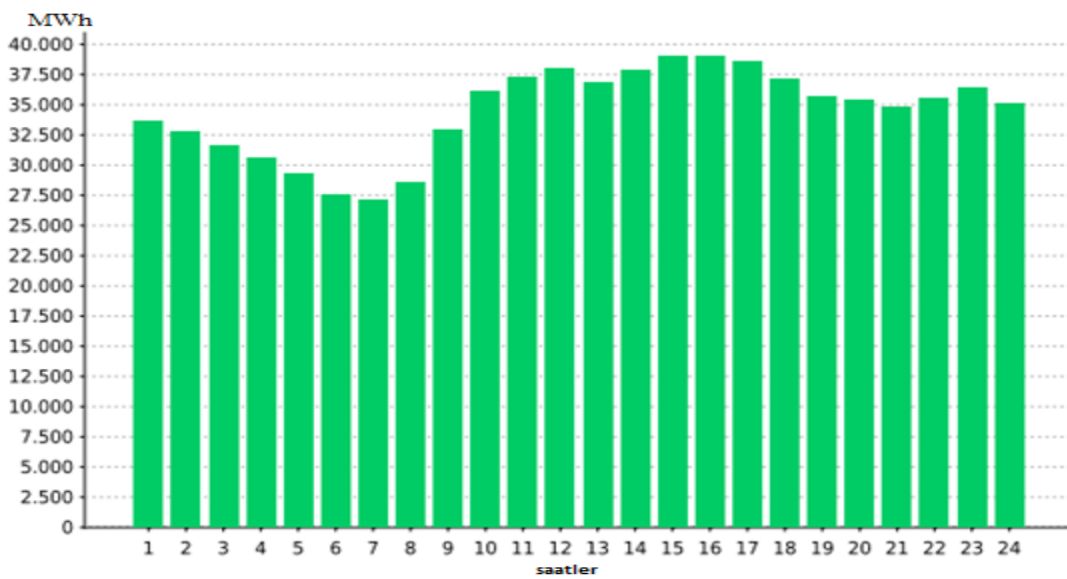
Şekil 1.13’te gösterilen lisanssız güneş enerjisinin gelişiminde, 2015 yılı Nisan ayında kurulu güç 63,9 MW, kurulu güç katkı payı %0,1 ve santral sayısı 138 olarak belirlenmiştir. 2016 yılı Haziran ayında kurulu güç 443,27 MW, kurulu güç katkı payı %0.59, santral sayısı 597 olmuştur. Henüz tamamlanmamış verilerle 2015 yılı Haziran ayında kurulu güç 84,01 MW katkı payı %0,1, santral sayısı 165’e ulaşmıştır.

Türkiye elektrik üretimi bakımından da kurulu santral sayısı bakımından da oldukça iyi bir artış göstermektedir. Bu artışa göre tüketim değerlerini de irdelemek gerekmektedir.



Şekil 1.14. Aylık toplam elektrik tüketiminin yıllara göre değişimi [49]

Aylık toplam enerji tüketimi, tıpkı yıllara göre doğru orantılı olarak artış gösteren elektrik üretimi gibi sürekli artmaktadır (Şekil 1.14). 2016 yılı Mayıs ayındaki tüketim temel alındığında, 2013 yılında 19.540GWh, 2014'te 20.510 GWh, 2015'te 21.140 GWh ve 2016'da 21.890 GWh değerine ulaşarak 2013 yılına göre %12,02'lik bir artış göstermiştir.



Şekil 1.15. 30 Haziran günü içerisinde saatlik tüketimi [49].

Şekil 1.15'e göre 2016 yılı Haziran ayında bir günlük süreç içerisinde 826078 MWh'lık bir tüketim meydana gelmiştir. En yüksek elektrik enerjisi tüketimi saat 15.00'te günlük tüketimin %4,72si olan 39007 MWh değeri elde edilmiştir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün 2023 yılı hedefleri içinde en az 5000 MW'lık güneş enerjisi kapasitesinden faydalanmak hedeflenmektedir



Şekil 1.16. T.C. Enerji Ve Tabii Kaynakları Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü 2023 hedefleri

1.2. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik (Photovoltaic) kelimesindeki "Photo" kelimesi ışık, "Voltaic" kelimesi ise elektrik anlamına gelmektedir. FV terimi, güneş ışığının güneş hücreleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülme süreci için kullanılmaktadır. Talep edilen parametrelere verimli ve uygun olarak planlanmış bir FV sistem, dönüşümünü tamamladıktan sonra yüksek miktarda elektrik üretimini gerçekleştirebilmektedir [50].

Sistem ekipmanları ve işleyişi hakkında ileri bölümlerde daha detaylı bilgiler verilmektedir.

1.2.1. FV'lerin Tarihi

FV'lerin tarihsel gelişimi yıllara bağlı olarak aşağıda özetlenmiştir.

Güneşin teknolojiye kullanımına çok uzun yıllar önce başlanılmıştır. Milattan önce 7. yy.'da, güneş ışınlarının cam veya ayna yardımıyla yoğunlaştırılarak ateş yakıldığı bilinmektedir 51 1839 Fransız bilim adamı Edmond Becquerel tarafından, iletken solüsyona koyulan iki elektrotun ışığa maruz kaldığında elektrik ürettiği (elektrolit hücredeki FV etkiyi) çeşitli denemeler esnasında keşfedilmiştir [52].

- 1873 Selenyumun ısı iletkenliği Willoughby Smith tarafından keşfedilmiştir.
- 1876 William Grylls Adams ve Richard Evans Day tarafından selenyumun ışığa maruz kaldığında elektrik ürettiği keşfedilmiştir.
- 1883 Charles Fritts tarafından selenyumdan yapılan ilk güneş hücresi tanımlanmıştır.
- 1905 Albert Einstein izafiyet teorisinde fotoelektrik etkiyi yayınlamıştır.
- 1914 FV aygıtların içindeki geçiş katmanı (barrier layer) kaydedilmiştir.
- 1916 Robert Millikan fotoelektrik etkiyi deneysel olarak ispatlamıştır.
- 1918 Polonyalı Jan Czochralski monokristal silisyumu geliştirmiştir.
- 1931 Alman Bruno Lange de selenyum bazlı bir güneş hücresi üretmiştir. Ancak bu hücrenin verimi %1 dolaylarında kalmıştır [53].
- 1932 Audobert ve Stora tarafından kadmiyum sülfürün FV etkisi keşfedilmiştir.
- 1951 İlk germanyum esaslı güneş hücresi bulunmuştur.
- 1954 Bell Laboratuvarında silisyum güneş hücresinin patenti alınmıştır.
- 1955 Western Elektrik silisyum FV teknolojilerini satma ticari ruhsatını almıştır.
- 1956 RCA Laboratuvarları tarafından FV hücrelerin Dünya uydusu olarak geliştirilme önerisi sunulmuştur.
- 1957 Hoffman Electronic FV hücrelerde %8'lik verim elde etmiştir.
- 1958 Hoffman Electronic FV hücrelerde %9'luk verim elde etmiştir. Ufak bir FV dizisi (1watt civarında) Vanguard I uydusunda radyo dalgası için kullanılmıştır [54].
- 1959 Hoffman Electronic FV hücrelerde %10'luk verim elde etmiştir. Ağustos Explorer VI uydusu 9600 güneş hücreli FV dizisiyle (her birinin ölçüsü 1cmX2cm) fırlatılmıştır.
- 1960 Hoffman Electronic FV hücrelerde %14'lük verim elde etmiştir.

- Silicon Sensors firması selenyum ve silisyum hücrelerini üretmeye başlamıştır.
- 1962 Bell Telefon Laboratuvarı ilk telekomunikasyon uydusu Telstar'ın ilk enerjisi 14 W olarak bulunmuştur.
- 1963 Sharp Anonim Şirketi pratik silisyum FV modüllerini üretmiştir.
- 1964 NASA nimbus uzay aracını uzaya fırlatmıştır. Uydusu 470 W dizi FV'den güç almaktadır.
- 1966 NASA 1 kW dizi FV enerjisi ile çalışan gökyüzü gözlem evini fırlatmıştır.
- 1970 Exxon Şirketi'nin yardımıyla Dr. Elliot Berman düşük maliyetli güneş hücresini üretmiştir. Maliyet 100 \$'dan 20 \$'a düşürülmüştür.
- 1973 Petrol krizi yaşanmıştır.
- 1976 NASA Lewis Araştırma Merkezi Avusturalya dışında 83 kıtaya FV güç sistemleri kurmaya başlamıştır. 1976-1985 ve 1992-1995 yılları arasında işlem gerçekleşmiştir.
- 1978 NASA Lewis Araştırma Merkezi'nin 3,5 kW'lık FV sistemi güney Arizona'da Hintli köyüne koyulmuştur. İlk köy FV sistem uygulaması olmuştur.
- 1980 ARCO Şirketi 1 yılda 1MW(1000 kW) FV modül üreten tek şirket olmuştur. Delaware Üniversitesi tarafından ilk ince film güneş hücresinin verimliliği %10'nun üzerine çıkarılmıştır. Bakır sülfid ve kadmiyum sülfid kullanılmıştır.
- 1981 Paul Mac Cready tarafından ilk güneş enerjisi ile çalışan uçak yapılmıştır. 16000'den fazla güneş hücresi ve 3000W enerji ile Fransa'dan İngiltere'ye uçmuştur.
- 1982 İlk MW ölçeğindeki FV istasyonu Kaliforniya'da kurulmuştur. Avustralyalı Hans Tholstrup ilk güneş enerjili arabayı kullanmıştır.
- 1985 South Wale Üniversitesi silisyum güneş hücresine %20 verim elde edilmiştir.
- 1986 ARCO Şirketi tarafından dünyanın ilk ticari ince film G-4000 modülü yapılmıştır.
- 1990 Almanya'da FV modüllü 1000 çatı programı başlamıştır.
- 1992 South Florida Üniversitesi tarafından ince film güneş hücresinde kadmiyum tellür kullanılarak verimlilik %15,9'a çıkarılmıştır.

- 1993 Pacific Gas & Electric tarafından şebekeye bağlı ilk FV sistem Kaliforniya’da
- 500kW enerji üretimiyle gerçekleştirilmiştir.
- 1994 The National Renewable Energy Laboratuarları galyum indiyum fosfit, galyum arsenid kullanarak geliştirmiş oldukları hücrede ilk defa %30’un üzerinde verim elde edilmiştir.
- Almanya’da şebekeye bağlı üretilen fazla elektriğe ödeme yapılması kabul edilmiştir.
- 1996 Dünyanın gelişmiş güneş enerjili ilk uçağı Icare Almanya üzerinde uçurulmuştur. Kanat ve kuyruğunda 3000 adet 21m²’ lik süper verimli hücreler kullanılmıştır. İlk renkli FV modülleri yapılmıştır.
- 1998 Subhendu Guha adındaki bilim adamı tarafından esnek şingil icat edilmiştir. FV şingillar direkt olarak çatıya monte edilerek asfalt şingillarin yerini almışlardır.
- 2000 Uluslararası Uzay İstasyonunda astronotlar 32800 adet güneş hücresini kanatlara koyarak uzayda en geniş güneş enerji güç sistemini kurulmuştur.
- Bp Solarex şirketi ince film teknolojisinde 0,5m² alanda %10.8 verim elde etmiştir.
- 2001 NASA’nın güneş enerjili uçağı Helios (96,863 fit) rekor kırmıştır. TerraSun LLC şirketi tarafından holografik filmler kullanılarak transparan modüller çatı penceresi olarak kullanılmaya başlanılmıştır.
- 2002 NASA’nın uçağı Pathfinder Plus insansız olarak uçurulmuştur [55].

1.2.2. FV Kullanımının Avantajları

FV sistem kullanımının avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- güneş sonsuz ve tükenmeyen enerji kaynağı olduğu için ilave bir yakıta ihtiyaç duyulmamaktadır.
- FV sistem, güneş radyasyonunun elektriğe dönüşümünde en fazla verim elde edilen sistemdir.
- En küçük elektrik üretim birimi 1 W’tan 1 MW değerine ve hatta daha fazla değerlere kadar elektrik üretimi mümkün olmaktadır.

- Ada sistemlerinde, tüketim için elektrik hattına gerek kalmamaktadır. Gücün tüketilmesi düşünülen yere kurulabilen sistem yapısı mevcuttur.
- Kullanım ömrü aslında teoride sonsuz olmasına rağmen analizler sonucunda verim problemi yaşanmaması için 20 yıl ile sınırlandırılmıştır.
- Güvenlik bakımından çevreyi ve insanları tehdit edici herhangi bir güven sorunu meydana gelmemektedir.
- Hammaddesi doğada bol miktarda bulunan silisyum olduğu için, hammaddenin sınırlandırılması gibi bir tehdit unsuru içermemektedir.
- Sistem bakımına çok uzun periyotlarla ihtiyaç duyulmaktadır.
- Sistem ekipmanları olan modüllerden herhangi birinin veya grubun sistem dışı kalması durumunda dahi gücün üretimi devam etmektedir.
- İstenilen miktarda ekipman sayısını artırarak istenilen voltajda güç üretimi mümkündür.
- Elektrik şebekelerinin özellikle yoğun çalıştığı saatlerde şebekelere destek sağlanabilmektedir.
- Üretilen fazla enerjinin ise akümülatörlerde depolanabilmesi olanağı mevcuttur.
- Havayı kirletme özelliğinin olmamasının yanı sıra sera etkisine sebep olan gazların salınımının olmayışı büyük bir avantajdır.
- Sistem çalışırken zararlı bir gürültü meydana gelmemektedir.
- Yeni tasarlanan bir binaya entegrasyonu söz konusu ise ekstra bir altyapıya gerek duyulmamaktadır.
- Çatının örtüsü veya cephe elemanı olarak kullanılması mümkündür.
- Kurulması kolay ve kısa sürelidir. Modüler olduğu için istenildiği kadar ekipman ekleyip çıkarmak mümkün olmaktadır [56-60].

1.2.3. Dezavantajları

- Sistem ekipmanlarının pahalı olması nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Güneş tükenmez enerji kaynağıdır. Fakat ülkenin coğrafi konumu nedeniyle iklimsel sonuçlardan kaynaklı enerjinin sürekli olmadığı durumlarda batarya ile depolanması gerekmektedir.

- Güneşin, güneşlenmenin fazla olduğu her yer GES için uygun değildir. Çünkü güneş ışığını oldukça yüksek alan bölgelerde fazla sıcaklık verim düşümüne sebep olmaktadır.
- Verimi düşüren en önemli etken gölge kaybıdır. Bu nedenle panel temizliği önemli bir etkidir.
- Tasarım esnasında eğim açısını yakalamak ve güneş enerjisinden optimum yararlanmak için eğim açısı tasarımında biraz zorluk yaşanılmaktadır [56-60].

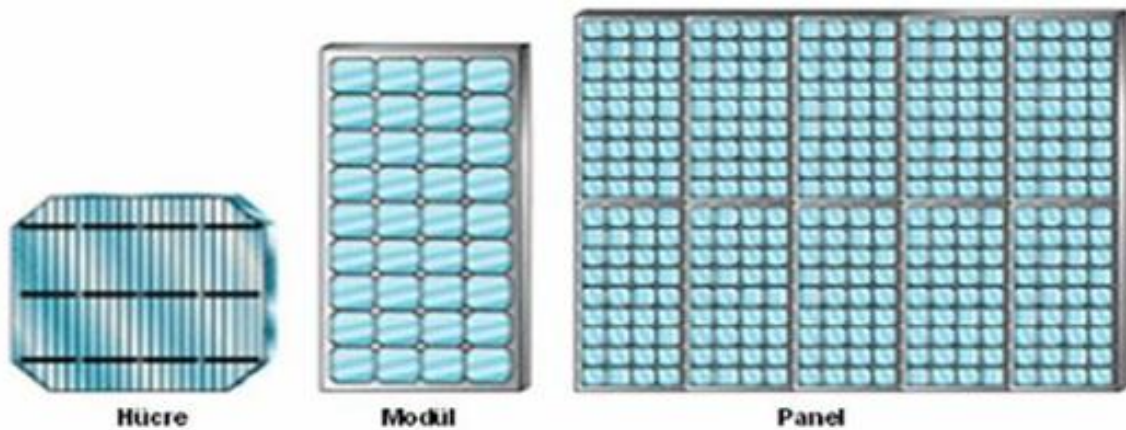
1.3. FV Sistem Ekipmanları

1.3.1. FV Panel ve Hücreler

1.3.1.1 Güneş Hücrelerinin Yapısı Ve Çeşitleri

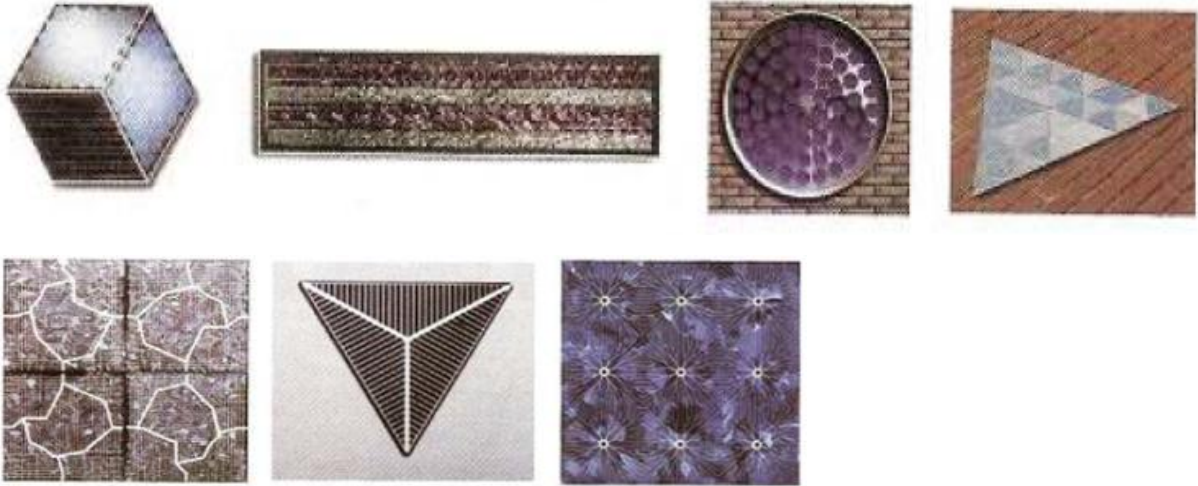
Hücrelerin kendi aralarında, paralel ve seri bağlanmaları ile modüller ve modüllerin bir araya gelmesi ile panel dizisi meydana gelmektedir [61]. Paneller elektrik enerjisinin üretildiği, ana ekipmanlardır. FV modül seçimi, bir sistemin verimini etkileyen önemli bir başlangıç noktası olmaktadır.

Modül çıkışındaki akım, panel yüzeyinin miktarı ve hücre verimine bağlı olarak değişmektedir. FV hücreler, genellikle bir çerçeve içerisinde yerleştirilmiş ve dış etkenlerden korumak için, yüzeyleri genellikle temperlenmiş camlarla kapatılmıştır. Hücrelerin ana maddesi olan silisyum kumdan elde edilmektedir.⁵⁶



Şekil 1.17. Sırasıyla FV hücre, modül ve panelin gelişimi [62]

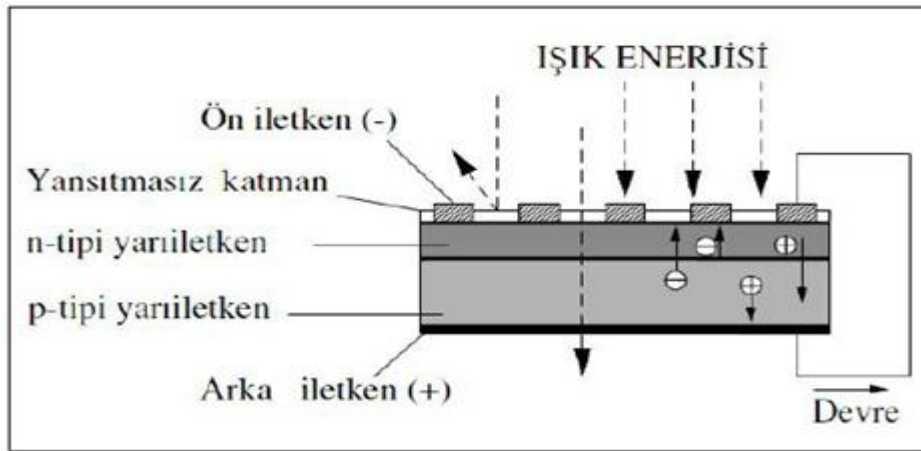
FV hücrenin yapısı genel olarak kare, dikdörtgen, daire gibi değişik şekillerde olabilmektedir ve FV hücre boyutları 1 cm ile 15 cm, kalınlıkları da 0.2-0.4 mm değerleri arasında değişebilmektedir.



Şekil 1.18. Farklı form ve yapılarıdaki hücre tipleri [63]

Tipik bir güneş hücresinin katmanları şekil 1.19’da görüldüğü gibi, FV hücrenin niteliği, gücü ve verimi bu katmanların özelliklerine bağlıdır [64] .

Saydam örtü tabakası; Yarı iletken malzemeyi ve elektrik iletkenlerini dış hava koşullarından koruyan saydam tabakadır. Bu tabakanın güneş ışınımını geçirme özellikleri toplayıcının verimini belirlemektedir.

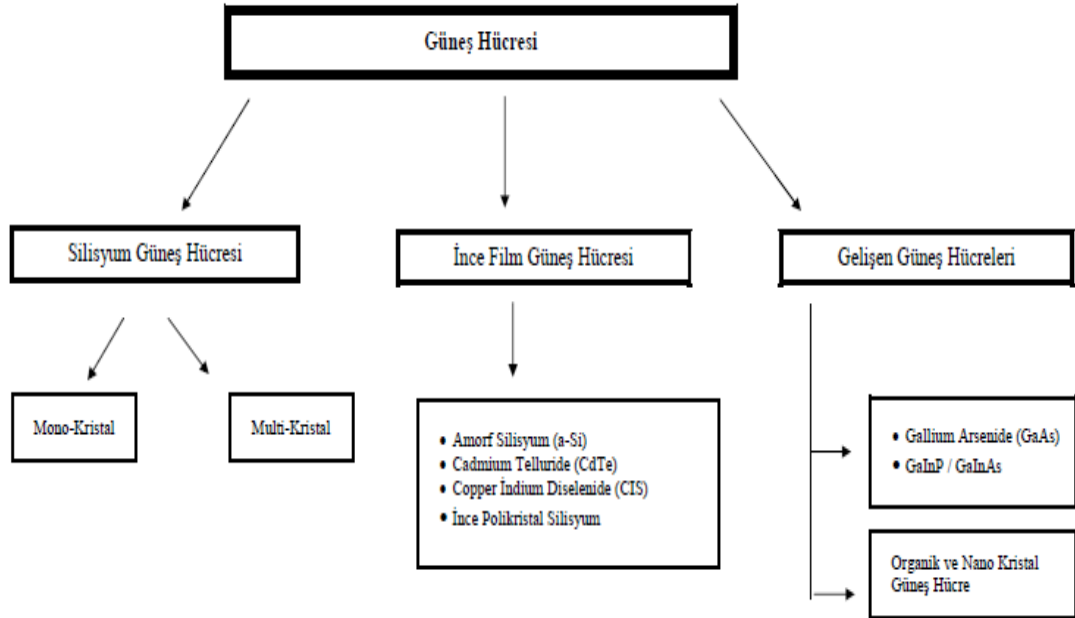


Şekil1.19. FV hücrenin yapısı [65]

Yansıtmasız katman (Seçici Yüzey); panel üzerine gelen güneş ışınımının bir bölümü örtü tabakasında bir kısmı ise yarı iletken malzemenin yüzeyinde yansımaktadır. Hücrenin verimli çalışabilmesi, yarıiletken malzemede yutulan ışığın niceliğine bağlıdır. Bu yüzden yansımaların azaltılması gerekmektedir. Yarı iletken malzeme üzerinde oluşan yansımaların azaltılması için yüzeyin yansıtıcılığı az olan silisyum monoksit gibi ince bir malzeme ile kaplanması, yarı iletken malzemenin yüzeyinin yansımaları tekrar kendi

üzerine yansıtacak biçimde kimyasal aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmesi yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir [66].

Elektrik iletkenleri; FV hücreler üzerinde bulunan ön ve arka iletkenler, üretilen enerjinin dışarıya alınmasında köprü görevi gördüğünden hücrenin niteliğini belirleyen önemli etkenlerden biridir. Arka iletken, hücrenin altında levha biçiminde oluşturulmaktadır. Hücrenin üst kısmında ise ön iletken olarak, güneş ışınımının yarı iletken malzemeye erişiminin sağlanması için metal ızgaralar kullanılmaktadır. Izgara tellerinin, iyi bir iletim sağlayacak ve çok direnç oluşturmayacak kadar kalın, ışığın yarı iletken malzemeye gelmesini engellemeyecek kadar ince olması gerekmektedir [67].



Şekil 1.20. Güneş hücre çeşitleri

1.3.1.1.1. Silisyum Güneş Hücresi

Genel olarak, üretilen güneş pillerinin %95'i silikondan yapılmaktadır. Silikon yeryüzünde oksijenden sonra en fazla bulunan elementtir [68]. Karışık donanım ve detaylı teknolojisiyle zor bir süreç geçirmektedir. Dört aşamada kumdan FV modüller meydana gelmektedir.

- Kum halinin saf silisyuma geçişi
- Silisyum kristal hücrelerinin arıtılması
- Silisyum pullarının güneş hücresi haline getirilmesi
- Oluşan hücrelerin modül haline gelmesi.

FV güneş pilleri dünyanın enerji ihtiyacında önemli bir yere sahip olması beklenildiği için daha geniş, yeni ve ucuz teknolojilere özellikle özütleme, arıtma ve silisyumu kristalleştirme teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır [69].

Silisyum güneş hücreleri polikristal (multikristal) ve monokristal olmak üzere iki grupta incelenmektedir. 56

1.3.1.1.1. Mono-Kristal Silisyum Güneş Hücresi

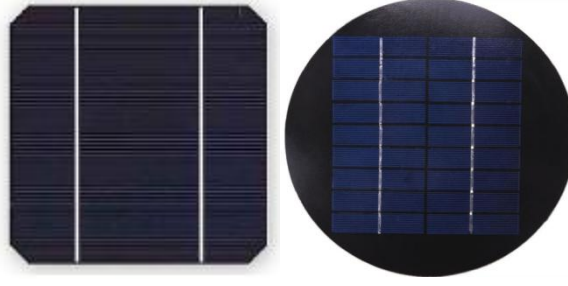
Monokristal yapıli silisyum güneş hücreleri, güneş-elektrik dönüşümünü yüksek verimlilikte gerçekleştirdikleri için çok tercih edilmektedir [70].

Saf kristal silisyumdan yapılan hücrelerin, meydana gelen saf kristal yapısında hemen hemen kirlilik ve kusur bulunmamaktadır. Farklı üretim yöntemi bulunan bu teknolojinin üretim sürecinde diğerlerine göre pahalı ve karışıktır.

EFG (Edge-defined Film-fed Growth) modüllerin elektrik verimini ve yoğunluğunu artırmak için güneş hücrelerini sekizgenlerden kesilerek tasarlamış ve bu metod oldukça popüler hale gelmiştir. Diğer bir yaklaşım kristal silisyum ince tabaka tortularıyla alt tabakalar meydana getirilerek silisyum atıkları giderilerek modüldeki silisyum niceliği azaltılarak yapılmaktadır.

Başka bir yaklaşım türü ise dizgi şerit (strings ribbon) yöntemidir. Sıcaklığı yüksek olan iki şerit sicim, dikey doğrultuda yüzeysel erimiş olan silisyuma doğru çekilerek, eriyen silikonun genişip dizgiler arasına doldurulmasıyla oluşturulmaktadır [71].

Bu hücrelerin laboratuvar şartlarında verimliliği %24,7, ticari modüllerinde ise %18-14 civarındadır. Panellerdeki silisyum saflığı ne kadar fazla ise verimde o kadar yüksek olduğu için bu hücrelerde verim oldukça yüksektir. Homojen yapıda olan bu hücrelerin renk yapıları koyu mavi tonundan siyah tonuna doğru değişmektedir [65]. Renklendirilmiş mono-kristal silisyum hücrelerde verimlilik oranları gümüş rengine %11,8 ‘den başlayarak lacivert rengine ise %15,8 değerine kadar değişmektedir [71]. Şekil ve pah miktarına göre kare veya kareye benzer şekilde veya yuvarlak biçiminde olabilmektedirler (şekil 1.21.). Daire olan hücreler üretimlerinde ucuz olmalarına karşın fazla kayıp oluşturmaları sebebiyle panellerde tercih edilmemektedir [65].



Şekil 1.21. Kare ve daire biçimli monokristal hücreler [72,73]

1.3.1.1.2. Multi(poly)-Kristal Silisyum Güneş Hücresi

Polikristal hücreler, polikristal silisyum külçelerden meydana gelmektedir. Üretim aşamasında, eriyik silisyum külçeler halinde üçgen veya kare kalıplara dökülüp ardından soğuması için beklenilmektedir. Oluşan külçeler çok ince silisyum pullar halinde kesilerek montajlanmaktadır. Maliyeti düşük polikristal zarın alt tabakaları özellikle yeni üretim metodlarında kullanılmaktadır. Bu alt tabakada madensel derecesi çok iyi, silisyum tabaka, paslanmaz çelik, seramik, kuartz cam veya silisyum zarını tabaka olarak çöktürecek gelişmiş teknoloji kullanılmaktadır. Polikristal hücrelerin yapıları çok kristallidir ve ışığın yansımada bu kristaller rahatlıkla görülebilmektedir [74]. Polikristal hücrelerin üretim aşaması oldukça basit olması sebebiyle monokristal hücrelerin üretimine göre daha ucuzdur. Bu hücrelerin laboratuvar şartlarındaki verimliliği %19,8, ticari modüllerinde ise %16-13 mertebesinde [66].

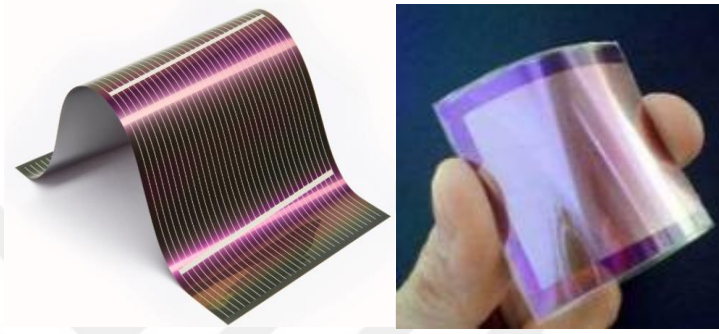


Şekil 1.22. Multikristal hücre örnekleri [71]

1.3.1.1.2. İnce Film Hücreler

Bu tip hücrelerde yarı-iletkenler ince katmanlar halinde destek yüzeye uygulanmaktadır. Uygulandıkları yüzeyler genellikle camdır. İnce film hücre üretimi, kristal silisyum hücrelerinin üretiminden daha zahmetsiz ve hızlıdır. Ayrıca bu hücreler üretilirken daha az malzeme ve enerji harcanarak istenilen boyutlarda üretilmektedir. Ancak elektrik üretimi için aktif olan şekil dikdörtgen olanıdır. Dikdörtgen formun dışında

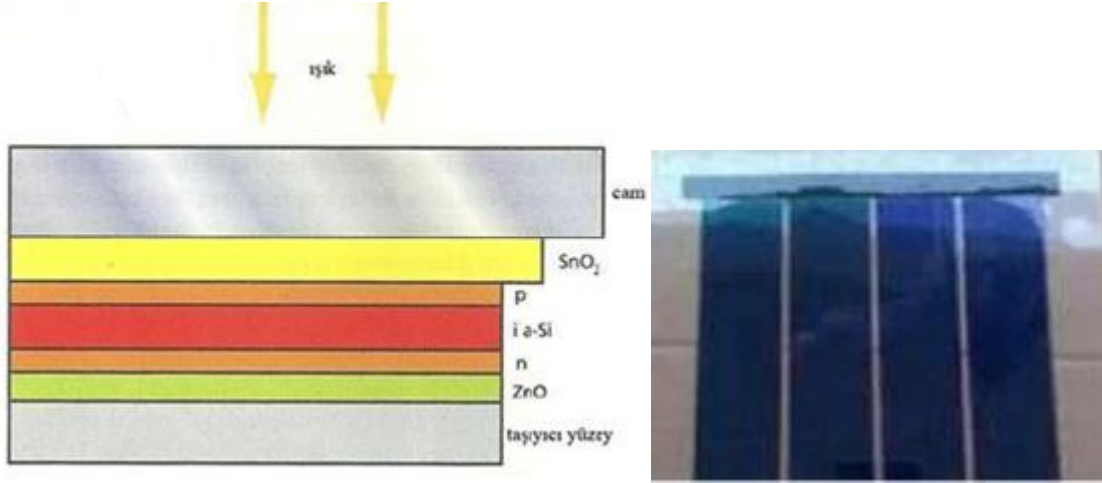
kalan bölümleri elektrik üretmemektedir [68]. İlk olarak 1960 yılında keşfedilmiş olan ince film hücreler %10 verimliliğe sahiptir. Farklı malzemelerden üretilen bu hücrelerin en yaygın çeşitleri, amorf silisyum ve kadminyum tellürid hücrelerdir. Bu hücreler üzerinde yapılan çalışmalarda verimleri yükseltilmektedir [75]. Bu tip hücrelerde, kristal silisyum hücrelerden farklı olarak hücreler yekpare olur ve hücreler arası bağlantı modül üzerindeki ince oluklarla sağlanır. Bu oluklar hücrelere şeffaflık kazandırabilir. İstenilen durumlarda yarı geçirgenlik, hücreler arası boşluğun büyütülmesi ile artırılabilir [68].



Şekil 1.23. İnce film hücre

1.3.1.1.2.1. Amorf Silisyum (a-Si)

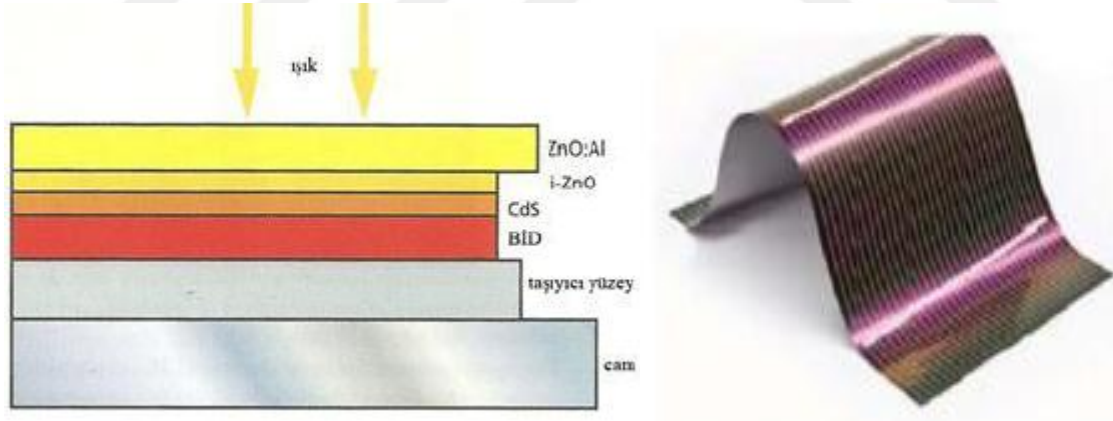
Amorf silisyum hücreleri, kristal yapıdan ziyade ince homojen katmandaki silisyum atomlarından oluşmaktadır. Amorf silisyum, silisyum pulu kesmek yerine alt tabaka üzerine çökmeyeyle oluşturulduğundan hücreler daha incedir. Bu sebeple amorf silisyum “ince film” FV teknolojisi olarak bilinir. Amorf silisyum geniş alt bir tabakanın üzerine rijit veya esnek (kavisli ve bükümlü modüller için) uygulanabilmektedir. Amorf hücrelerin etkinliği kristal hücrelerin etkinliğinden daha azdır. Bununla beraber az malzeme içerdiği için üretimi ucuzdur. Düşük maliyet gerektiren ve yüksek verimlilik gerektirmeyen uygulamalarda kullanılması mümkündür [76]. Teknolojideki bu hızlı gelişim likit kristal aktif matrix göstergelerin içindeki ince film transistörlerde, ışığa duyarlı fotokopi makineleri binayla bütünleştirilmiş yarı-saydam cam yüzeylerde, küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak(hesap makinesi, saat), yapı dış koruyucusu, enerji üretici ve diğer sensörlü uygulamalarda kullanılmaktadır [77-78]. Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir [45].



Şekil 1.24. Amorf silisyum hücre katmanı ve örneği [68].

1.3.1.1.2.2. Bakır İndiyum Diselenid Hücreler

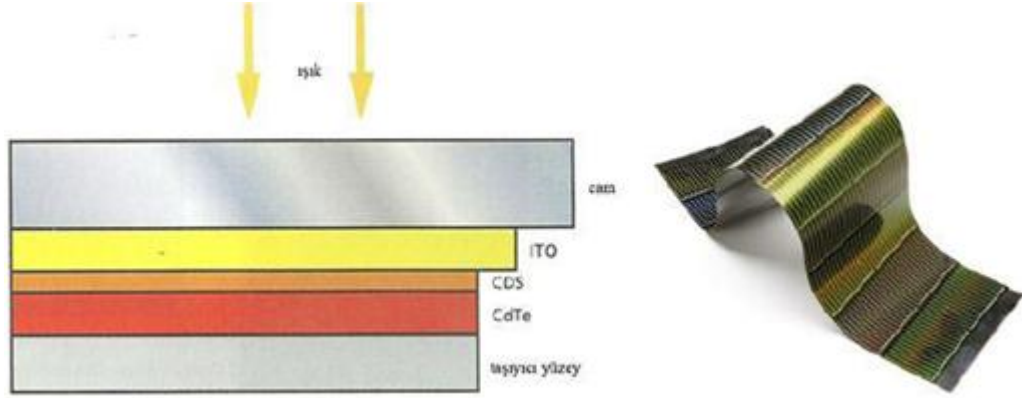
Bakır indiyum Diselenid (BiD) FV hücrelerinde aktif olan yarı-iletken madde bakır indiyum diseleniddir. Modüllerinin verimliliği %9 ile %11 arasında değişim göstermektedir. Bu tip hücrelerde standart modül boyutları en fazla 1,2 m x 0,6 m'dir. Materyalin kalınlığı cam kaplama olmaksızın 2 mm ile 4 mm arasındadır. Homojen bir görüntüsü vardır, rengi ise koyu gri ile siyah arasında değişebilmektedir [68].



Şekil 1.25. Bakır indiyum diselenid hücre örneği ve katmanları [79]

1.3.1.1.2.3.Kadmiyum Tellürid Hücreler

Alt tabaka malzemesi cam kaplama olmaksızın 3 mm kalınlığında olan bu tip hücreler de homojen yapıdadır. Standart modül ölçüleri 1,2 m x 0,6 m olan hücrelerin rengi yansıtıcı koyu yeşil ile siyah arasındadır [68]



Şekil 1.26. Kadminyum tellürid hücre katmanları ve örneği [80]

1.3.1.1.2.4. İnce Kristal Silisyum

Teoride silisyum güneş hücrelerinin üzeri ince film katmanı ile kaplanabilmektedir. Optik emilmenin sağlanabilmesi için birkaç yüz mikrometre kalınlığa ihtiyaç vardır. Silisyum katmanları ile bunu sağlamak zordur. Düzlemsel hücre üzerine düşen ışınlar anti reflekte (AR) örtüden geçmektedir. Buradan alt bağlantıya kadar devam edip alt bağlantıya gelen ışınlar tekrar hücreye gönderilmektedir. Böylece ışık ışını içerde 20 kez hücre kalınlığında kırılır ve film kalınlığı onlarca mikrometre kalınlığına düşürülür. Verimliliği düşük hücrelerde %16, ticari olanlarda %12 civarındadır ve hücre boyutu 10 cmx10 cm 'dir. [69]

1.3.1.1.2.5. Mikrokrystal ve Mikroşekilli Hücreler

Alışlagelmiş ince film teknolojisinin düşük ısıli sistemlerinin, şekilsiz silikon teknolojisinden üretilen bir çeşittir. 200 °C ile 600 °C arasında ısıtılan silikon filmler, mikro kristal strüktürlerle birbirinden uzaklaştırılmaktadır. Düşük ısıli sistemler, cam, metal ya da plastik gibi ucuz materyallerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır [68]. Günümüzde üzerinde çalışılan mikro kristal hücrelerden %11 verim elde edilmektedir. Pazar payını arttırmak ve hücreleri yaygınlaştırmak için, üretim maliyetini azaltmak ve verimi arttırmak amaçlı çalışmalar devam etmektedir [83].

1.3.1.1.3. Gelişen Güneş Hücreleri

Gelişen güneş hücreleri; Gallium Arsenide (GaAs) , GaInP / GaInAs, İnce kristal silisyum güneş hücresi,

Organik ve Nano Kristal güneş Hücre ve Boyaya Duyarlı Hücreler olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.3.1.1.3.1. Gallium Arsenide (GaAs), GaInP / GaInAs

Kristal silisyumdan sonra ikinci derecede önemli yarı iletken materyaldır. Led ve lazerlerde kullanılmaktadır. güneş enerjisini dönüştürmede optimum elektrik alan boşluğuna (band gap) sahiptir. Periyodik tablonun 3.ve 5. grup elementleri (örneğin: Al, In, N, P) ile kombinasyonu yapılabilir. Güneş hücre etkinliği %25 civarındadır ve üretimi çok pahalıdır [77].

1.3.1.1.3.2. Organik ve Nano Kristal Güneş Hücresi (DSC)

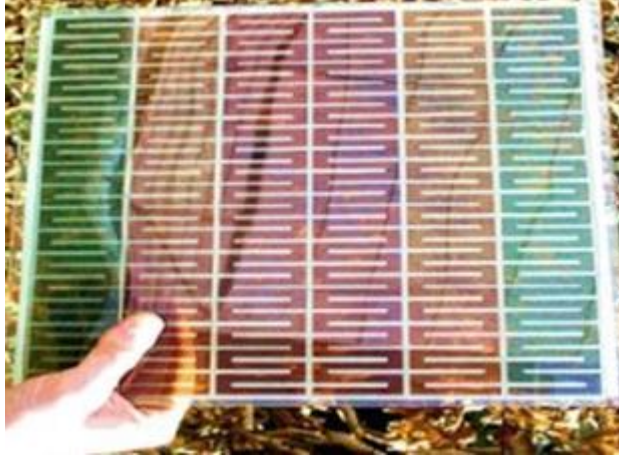
DSC güneş teknolojisi yapay fotosentez göz önünde bulundurularak düşünülmüş iyi bir teknolojidir. Bulutlu havalarda, geçici veya kalıcı bölgesel gölgelemelerde direk olmayan ışınlama en iyi performansı göstermektedir. Titanyum dioksit partikülleri ışığa duyarlı boya ile kaplanarak ve iyot iyonlarından oluşan solüsyon içindeki iki elektrot arasında askıya alınmaktadır. Işığa maruz kalan boyadan titanyum dioksit elektronlar geçer. Bununla beraber iyot elektronları da boyada boşalan yere akar. Böylece bir elektron akımı oluşturulur. Verimi %10 civarındadır, değişik gün ışığı koşullarında etkindir [84].



Şekil 1.27. Organik ve nano kristal güneş hücresi

1.3.1.1.3.3. Boyaya Duyarlı Hücreler

Bu hücreler, üçüncü nesil güneş hücrelerindendir. Ümit vadetmekte olmasına rağmen henüz ticari olarak kârlı olduğu kanıtlanamamıştır [81]. İsviçreli Profesör Michael Gratzel 1991 yılında yeni bir FV hücre keşfetmiştir ve ana materyali yarı-iletken titanyum dioksit olan bu hücrenin silikon teknolojisi için gelecekte ucuz bir alternatif olacağını öngörmüştür. [68] Şekil 1.28’de boyaya duyarlı hücre fotoğrafı gösterilmiştir. Bu hücreler, bitkilerde gözlenen foto elektro-kimyasal mekanizmalarla çalışırlar ve bu özelliklerinden dolayı “yapay fotosentez hücreleri” olarak da adlandırılmaktadırlar [82]



Şekil 1.28. Boyaya duyarlı güneş hücresi [82]

1.3.1.2. Güneş Hücrelerinin Kıyaslanması

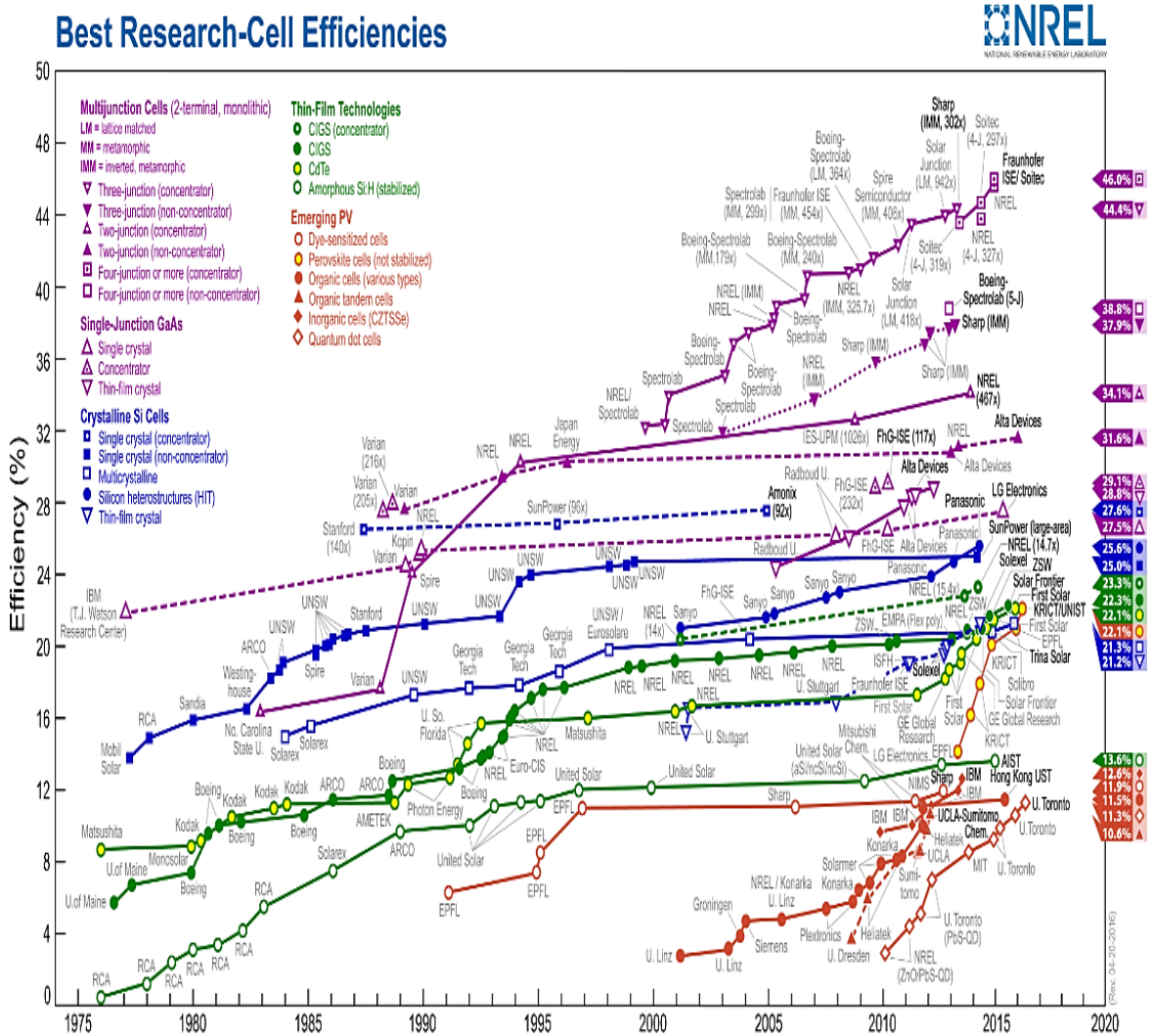
Günümüzde verimi en yüksek güneş hücre tipi, kristal yapılu güneş hücreler olarak bilinmektedir. Üretim maliyetinden dolayı piyasa fiyatı düşük olan polikrystal hücrelerin verimi de monokristal hücrelere göre düşüktür. Kristal yapılu hücrelerin verimi ince film hücrelere göre daha yüksektir. İnce film hücreleri 1 kWp gücünde bir sistem oluşturmak için daha fazla yüzey alanına gereksinim duymaktadır. Fiyatları kristal hücrelere göre daha düşüktür. Bu yüzden tercih edilen hücre tiplerindendir. Bakır indiyum diselenid (CIS) hücreler ince film hücreler içinde en verimli olanıdır, ardından kadmiyum tellürid (CdTe) ve üçüncü olarak amorf silisyum (a-Si) hücreler gelmektedir. Güneş hücrelerinin verimlilikleri ve 1 kWp için gerekli alanlar karşılaştırmalı olarak Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Güneş hücrelerinin kıyaslanması [66]

Güneş Hücresi	Malzemesi	Hücre malzemesi (laboratuvarda) (%)	Hücre verimi (üretiminde) (%)	Módül verimi (üretimde) (%)	1kWp için gerekli alan m ²
Kristal Silisyum Güneş Hücreleri	Monokristal siliyum (m-Si)	24,7	18	14	7-9m ²
	Polikristal silisyum (p-Si)	19,8	16	13	8-11m ²
İnci film güneş hücreleri	Bakir indiyum diselenid CIS	18,8	14	10	11-13 m ³
	Kadmiyum Tellürid (CdTe)	16,4	10	9	14-18 m ²
	Amorf Silisyum (a-Si)	13	10,5	7,5	16-20 m ²

Ortalama 25 yıl ömür tahmininde bulunulsa da, 45 yıldır kullanılan ve gücünde herhangi bir kaybı olmayan paneller de vardır. Yapılan testler sonucunda 10 yıllık bir süreç sonucunda kristal silisyum yapıli hücrelerde yılda % 0,25 ile % 0,50 değeri arasında bir verim kaybı görülmüştür. İlk dönemlerde amorf modüllerde bu kayıp daha fazla olmuştur. Fakat teknolojinin gelişmesiyle günümüzde bu değeri daha da düşmüş kristal yapıli hücrelerin verim değeri ne yaklaşmıştır. FV güneş hücrelerinin pazar paylarına bakıldığında, pazarın %60'ını polikristal güneş hücreleri oluştururken, monokristal güneş hücreleri %30'unu, amorf silisyum güneş hücreleri ise %10'unu oluşturmaktadır. Kadmiyum tellürid ve bakır indiyum güneş hücrelerinin pazar payı %1'den azdır [66].

Laboratuvar ortamında optimum koşullar sağlanarak elde edilen en verimli FV hücrelerin verim değeri ne zamanla gelişimini gösteren grafik Şekil 1.29'da verilmiştir.



Şekil 1.29. Laboratuvar ortamında kaydedilen en verimli FV hücrelerin zaman içinde gelişimi [85,86]

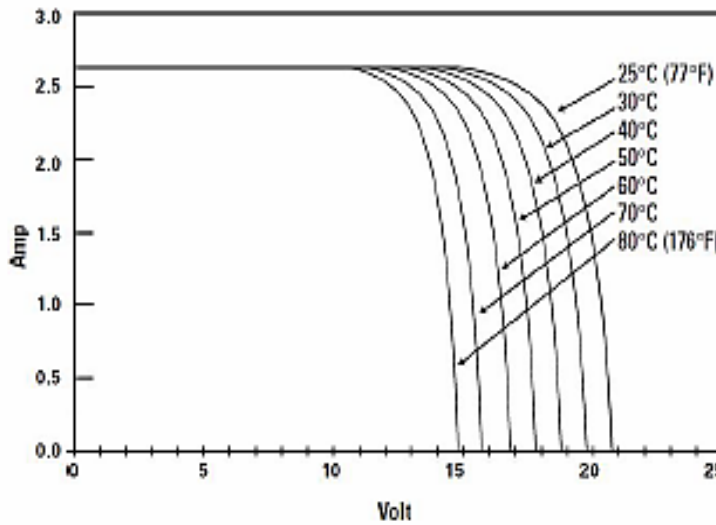
1.3.1.3. FV Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler

Günümüzde FV hücrelerin verimleri kristal silikon (c-Si) hücrelerde %27,6'lara, ince film hücrelerde de %20,4'lere kadar çıkmıştır. Ancak bu verim değerleri laboratuvarlarda araştırılmak üzere üretilen FV hücrelerin ölçülen verim değerleridir. Güneş enerjisi piyasasında satışa sunulan FV hücrelerin verimleri bu değerlerin çok daha altında kalmaktadır.

FV sistemlerin performansı; iklimsel koşullara, panelin konumuna, açısına, yönüne, gölgelenme durumuna, sıcaklık artışına, arkasının havalandırılmasına ve bakım yapılıp temizlenmesine göre değişiklik göstermektedir.

1.3.1.3.1. İklimsel Koşullar

Güneş panellerinden üretililebilecek en yüksek güç, panelin 25°C sıcaklıkta ürettiği akım ve gerilimin çarpımı ile bulunmaktadır [87].



Şekil 1.30. Sıcaklığın modül performansına etkisi [87]

FV sistem kullanılacaksa sistemin kurulacağı bölgenin iklimsel koşulları en fazla dikkat edilmesi gereken husustur. Yani iklimin 1.dereceden FV sisteme etkisi vardır. Bölgenin iklim koşullarının dikkate alınması, malzeme temini ve sistem dönüşümü hakkında öngörüle bulunmak için en büyük zorunluluktur.

Örneğin Kuzey yarımkürede güneş kış aylarında yeryüzüne daha yakındır ve daha eğiktir. Bu nedenle, düşey kabuk şeklinde bir tasarım geliştirilirse kış günlerinde güneş ışınlamından daha fazla kazanç sağlamaktadır [88].

İklimsel koşullardan en fazla sıcaklık etkisinden bahsedebilmek mümkündür.

FV panelin sıcaklığı arttıkça, etkinliği azalmaktadır [89]. Normal durumda, güneş ışınlarının %10–%15 kadarı FV modüller tarafından elektrik enerjisine çevrilmektedir. Geri kalan güneş ışınları ısıya çevrilerek modülleri olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklıktaki değişim, daha çok açık devre voltajını etkilediği için FV pilin çıkış gücü ve verimi sıcaklık arttıkça azalmaktadır [90]. Isıdan olumsuz etkilenme yüzdesi, hücre tiplerine göre değişim göstermektedir [91]. Kristal silisyum hücreler, bu sıcaklık artışından amorf silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle daha fazla performans düşüklüğü göstermektedir [92].

FV paneller ile ortam sıcaklığı arasındaki fark güneş ışınlarına bağlıdır ve 40°C'ye kadar çıkabilmektedir. Yazın, yüksek hava sıcaklıklarında FV panel sıcaklığı 75°C'ye kadar ulaşabilmektedir [91].

FV panelin ulaştığı sıcaklık, ısıyı ne şekilde dağıtabildiği ile değişim göstermektedir. Bu durumda, FV panel sıcaklıklarının havalandırma yoluyla düşürülmesi mümkündür. Bu amaçla, FV paneller ile bina strüktürü arasında bir havalandırma boşluğu bırakılmalıdır, sahalarda ise doğal konveksiyon yolu panellerin ısı kaybına uğramasına yardımcı olmaktadır. [89].

1.3.1.3.2. Panelin Konumu

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir [92]. Güneye konumlanma, geniş açıklıklı arazilere yönelme, gölgelenmeyi önleyecek şekilde boş arazilere yönelme ve açının doğru ayarlanması çok önemlidir [89]

FV sistemler, uzun süre güneş ışınımı alacak yüzeylere uygulanmalıdır. Etraftaki yapılara ve ağaçlara dikkat edilmelidir. Sistemin en iyi performansı, sahaya güneş ışınlarının homojen olarak ulaşması durumunda gerçekleşmektedir. Birbirine seri bağlı olan hücreler elektrik üretimini üstlerine gelen en düşük ışımaya seviyesinde yapmaktadırlar. Işımanın eşit gelmesi durumunda verim de yükselmiş olacaktır [93].

1.3.1.3.3. Panelin Açısı

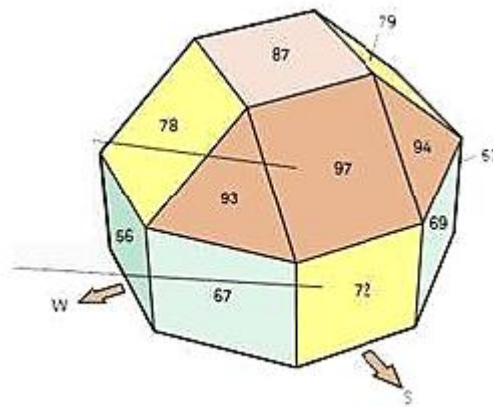
FV paneller yüksek performans sağlamak için, güneş ışınımını yüksek miktarda alması amaçlanarak yerel enlem açısına elverişli şekilde yönlendirilmelidir. Bu nedenle; 1990'lı yıllara kadar maksimum ışıınımdan yararlanmak üzere bina yatay kabuğunda

(çatıda) kullanılmıştır. Ancak, 1990'lı yıllarda yapılan araştırmalar, panellerin aşırı ısınması durumunda performansında önemli kayıplar olduğunu ve buna bağlı olarak daha az elektrik üretebildiğini göstermiştir [94]. Tasarım aşamasında, panel açısı ve cephelerin yönü, FV panellerin tespitlerine başlamak için yol göstermektedir. Açının önemi, güneş ışınlarının binaya ne şekilde ulaştığıyla orantılıdır [68]. Farklı yön ve açılarda yerleştirilen FV panellerdeki performans düşüşü, modül tipine göre farklılıklar gösterir. Türkiye şartlarında 10^0 ile 30^0 arasındaki yıllık performans farkı %15'i geçmemektedir [6].

FV sistemler, direkt güneş ışınımına maruz kaldığı zaman maksimum verim sağlamaktadır. Güneşin hareketleri hem günlük hem de yıla bağlı olarak değiştiğinden, yıllık verimi maksimuma dönüştürmek için iki eksenli toplayıcı kullanmak da bir seçenek olmaktadır. Güneşi takip eden toplayıcılar da kuru iklimlerde en iyi direkt güneş ışınımını yakalamaktadır. Bunlarda bile güneş ışınımının %10-20' lik miktarı yayılıp etkisiz hale gelmektedir [95].

1.3.1.3.4. Panelin Yönü

Genellikle maksimum verim almak üzere paneller güney yönünde uygulanmaktadır. Güneydoğu ve güneybatı yönleri de uygulama için uygundur fakat bu uygulamalar güney yönüne uygulanan paneller kadar verimli değildir [96]. Örneğin Şekil 1.31'de görüldüğü gibi; Almanya, Freiburg için çatıda güney yöne, 45° açı ile yerleştirilmiş panellerin verimleri %90 civarındayken, doğu ve batı yönlerinde verim en fazla %79'dur. Diğer taraftan, dikey yerleştirilmiş panellerdeki verimin yatay ve açılı yerleştirilmiş panellere oranla daha düşük olduğu da görülmektedir [68].



Şekil 1.31. Almanya, Freiburg için yönlere göre güneşlenmenin panel verimine etkisi [68].

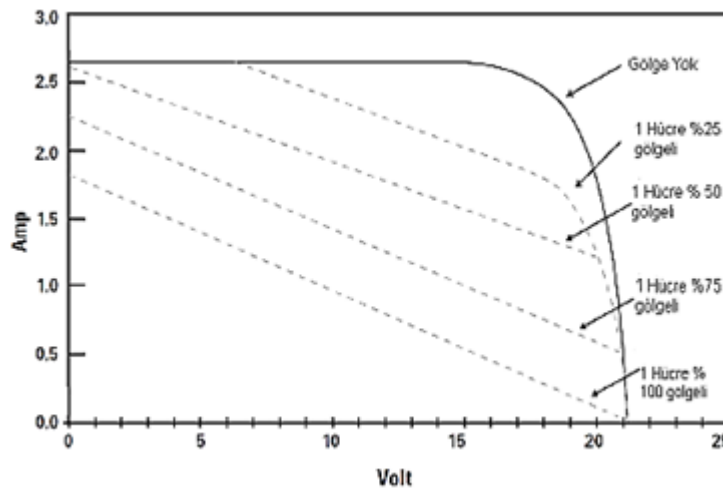
Dış duvara tespit edilen sistemlerde, her zaman en uygun yönü yakalamak mümkün olmayabilir. Kullanılabilecek yönleri ve en uygun açıyı tespit edebilmek için, arazinin bulunduğu bölge için geçerli olan güneşlenme çizelgesi gibi tasarım araçları kullanılabilir [68].

1.3.1.3.5. Panelin Gölgelemesi Durumu

Gölgeleme, FV verimini oldukça kötü etkilemektedir. FV paneller üzerindeki küçük bir gölgeleme, elektrik üretimini durdurmakla kalmaz, akımı ani olarak durdurur ve gölgelenen hücre direnç gibi çalışmaktadır [68].

Panelin gölgelemesi; bulutlara, çevresindeki bina ya da ağaçlara ve panellerin birbirini gölgelemesine bağlı olarak oluşabilmektedir. Eğer uygulama öncesi gereken hesaplamalar yapılmazsa, birbirini gölgeleyen FV paneller elektrik üretimini olumsuz yönde etkilemektedir [68, 97].

Şehirlerin gelişimi ile, binaların birbirlerini gölgeleme ihtimalleri daha çok artmaktadır. Mümkün olduğu durumlarda FV paneller binaların güney taraflarına tespit edilmeli ve bu yönün önü her zaman açık bırakılmalıdır. Eğer planlama şehir ölçeğinde yapılıyorsa, kuzey tarafta en uzun binalar planlanmalı ve güneye doğru kısalan bir yapılaşmaya gidilmelidir. Kuzey yarımkürede güneye yönelen binalar, günışığı ile aydınlatma, pasif güneş enerjisi kullanımı ve gölgelemenin en aza indirgenmesi açısından ve FV uygulamaları için en uygun binalardır [68].



Şekil 1.32. Gölgelemenin modül performansına etkisi (12V DC) [98]

1.3.1.3.6. Panelin Bakımı ve Temizliği

FV paneller ön yüzeylerinin cam olması nedeniyle, açık hava şartlarında her türlü yağmur, kar, rüzgar gibi hava koşullarına maruz kaldıklarından sürekli kirlenmektedirler [99]. Özellikle zemine yakın tespit edilen paneller, dış duvara tespit edilen panellere göre daha çok kirlenmektedir. Fakat 20° veya daha dik tespit edilmiş FV paneller yağmurun etkisiyle kendi kendine temizlenebilmektedir [100]. Kirlilik, panel üzerinde gölgelenme yapacağından, verimi düşürecektir. Bu yüzden gerekli zamanlarda panel yüzeyleri temizlenmelidir [101].

1.3.2. Akü

Enerji depolaması, enerji kazanımı ve tüketimi günlük ve yıllık olarak genellikle eşzamanlı olarak gerçekleşmeyeceğinden güneş enerjisinin ada tesislerinde kullanılmasında, son derece önemli bir konudur. Gündüz güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin büyük kısmı aslında güneş battıktan sonra gerekeceğİ için, enerjinin depolanması gereklidir. Depolama ayrıca ışınımın az olduğu kapalı hava dönemlerinin aşılması için de gereklidir [41]. Aküler; doğru akımı, elektrik enerjisini kimyasal formda, daha sonra kullanmak üzere depolayan sistemlerdir [102].

Kurşunlu aküler, FV tesislerde kısa süreli bellek depolayıcıları olarak en yaygın akü çeşitidir. Bunlar en iyi fiyat/performans oranına sahip olup yüksek bir verimle büyük ve küçük şarj akımlarını değerlendirebilir. FV sistemlerde gerçekleştirilen depolama kapasiteleri genellikle 0,1 ile 100 kWh arasındadır, ancak zaman zaman 1 MWh'ı aşan depolama kapasiteli tesislerde söz konusudur [41]. Bu tip aküler, otomotiv sektöründe kullanılan aküler gibi olmayıp, sık şarj-deşarj olduğu için, akü kapasitesinin % 80'ine kadardeşarj olmasını sağlayan, derindeşarj tipi akülerdir Piyasada yaygın olarak satılan diğerk akü çeşitleri, nikel-kadmiyum aküleri, metal hibrit aküleri ve lityum iyon aküleridir. Bunlar özellikle radyo, saat, el feneri, dizüstü bilgisayarlar vb. küçük cihazlarda kullanılmaktadır [41].

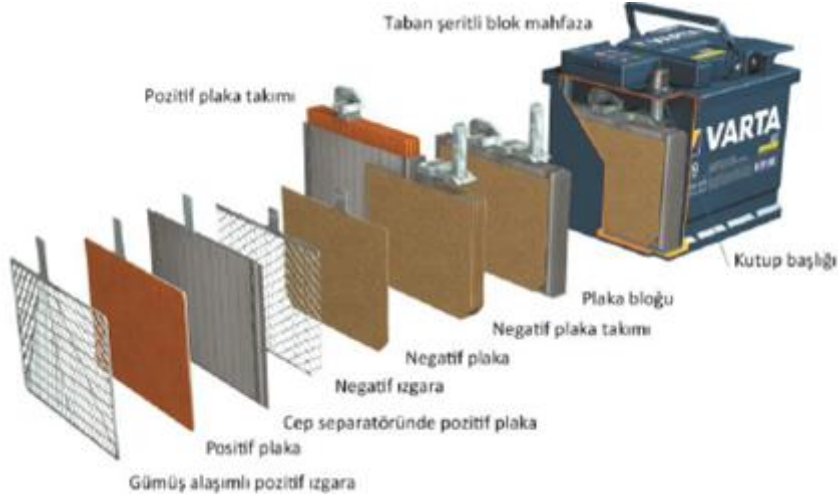
Kurşunlu aküler, sıvı dolumuna açık tip ve kapalı tip olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sıvı açık akülerde, akü içindeki reaksiyonlardan dolayı, akü içerisindeki saf su azalmaktadır ve belirli aralıklarla kontrol edilmesi gereklidir. Bu tip akülerin, tamamendeşarjı yapılmadığı sürece, uzun bir kullanım ömrü vardır.

Kapalı tip aküler, sıvı açık tip aküler gibi değildir. Aküde herhangi bir sıvı dolum ağzı yoktur. Bu yüzden bu tip aküler, bakımsız akü olarak da ifade edilir. Kurşunlu aküler, kullanılan plaka teknolojisi ve elektrolitik sıvısının türüne göre ayırt edilebilir: FV tesislerde genellikle sıvı elektrolitli kurşunlu ızgara aküleri (FV aküleri veya modifiyeli marş aküleri de denir), kurşunlu jel aküleri, panzer plakalı sabit aküler ve blok aküler kullanılmaktadır. Akü seçimi yapılırken, nasıl bir sistem içinde kullanılacağı, hangi sıklıkla deşarj edileceği, deşarj esnasında akünün kaç volta kadar düşeceği, akü üzerinden sürekli aynı amperde mi ya da anlık olarak daha fazla, sonrasında ise sabit bir akım mı çekileceği gibi unsurlar iyi tespit edilmelidir. Bütün bu şartlar ve kullanılacağı noktanın farklı özellikleri gözetilerek akü seçimi yapılmalıdır [102]. Kurulacak FV sistemde dizayn yapılırken, eğer akü kullanılacak ise akü seçimi yapılırken aşağıdaki hususların dikkate alınması gereklidir. Bu faktörler;

- İyi bir maliyet/performans oranı
- Düşük bakım gereksinimi
- Yeterli kullanım ömrü
- Düşük öz boşalma olgusu ve yüksek enerji verimi
- Düşük şarj akımlarıyla da şarj edilebilme
- Yüksek enerji ve performans yoğunluğu (yer gereksinimi ve ağırlık)
- Darbelere karşı güvenli olma (mobil kullanım ve taşıma amaçlı)
- Sağlığa ve çevreye zararlı olmama, dönüştürülebilirlik [41].

1.3.2.1. Sıvı Elektrolitli Kurşun Iızgaralı Plaka Aküleri

En yaygın akü tipi, ızgara plakalı sıvı elektrolit maddeli basit kurşunlu aküdür. Otomobillerde yaygın olarak marş aküsü olarak kullanıldığından dolayı büyük çapta üretilmektedir. Bir diğer uygulama alanı, klasik FV akü olarak kullanılmaktadır.

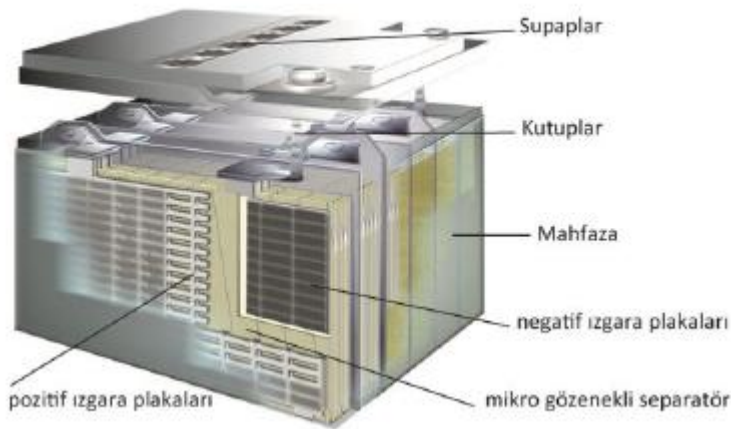


Şekil 1.33. Sıvı elektrolitli kurşun ızgaralı plaka aküsünün yapısı [41].

1.3.2.2. Kurşunlu Jel Akü

Klasik ızgara plakalı kurşunlu akünün geliştirilmiş bir versiyonu, kurşunlu jel aküsüdür. Asit bu modellerde katkı maddeleri kullanılarak jel kıvamına getirilmiş olmaktadır. Bu yöntemin beraberinde getirdiği başlıca avantajlar şunlardır:

- Rahatsız edici asit yoğunlaşmasının olmaması, sülfat oluşumunun az olması
- Döngü sayısına bağlı kullanım ömrünün daha uzun olması
- Gaz oluşumunun olmaması, havalandırılmayan ortamlarda da kullanılabiliyor olması
- Sızdırmayan, akmayan mahfaza sayesinde montaj konumuna bağlı olmayan kullanım imkanı (tekne, karavan)
- Kullanım ömrü boyunca elektrolit takviyesi gerekmediği için bakım gerektirmemesi



Şekil 1.33. Kurşunlu jel akünün yapısı [41].

Jel aküleri aşırı şarj edilmeye karşı oldukça hassas oldukları için bu akü tipi için teknik özelliklerine uygun bir şarj regülatörün kullanılmasının şart olduğu dikkate alınmalıdır. Şarj kesme gerilimine mutlaka dikkat edilmelidir; aksi takdirde gaz meydana gelerek akünün kurumasına neden olmaktadır. Kapalı mahfazalı yapısı yüzünden şarj durumunun asit konsantrasyonu ölçülerek tespit edilmesi mümkün olmamaktadır. Sadece akünün açık devre gerilimi ölçülerek şarj durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir [41].

1.3.2.3. Panzer Plakalı Sabit Akü (Özel veya Kapalı Model)

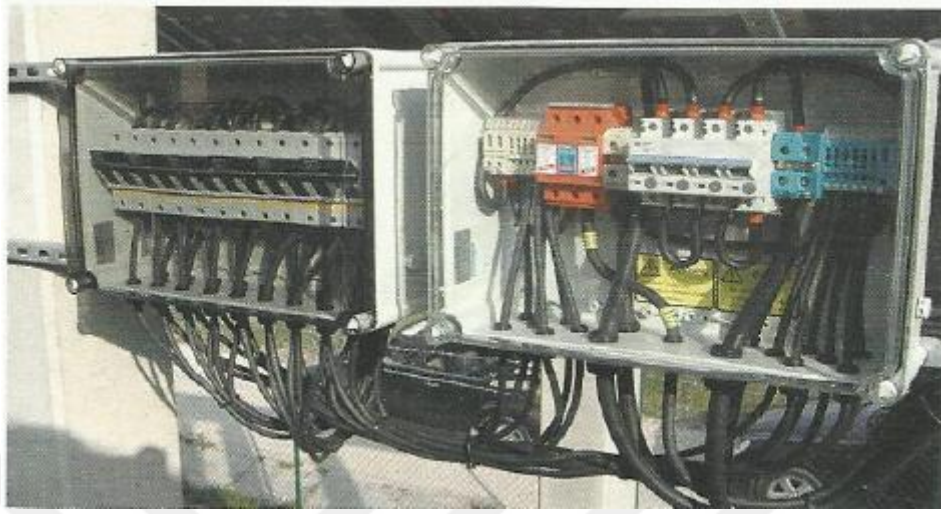
Daha büyük, stasyonier elektrik tedarik tesislerinde yıl boyu kullanım ve 15 ila 20 yıla varan kullanım ömürlü güvenli kesintisiz kullanım için, (örneğin bir ada sistemiyle beslenen bir ev tesisi gibi), sabit (stasyoner) akülerin kullanımı uygundur. Bu akülerin yüksek ağırlık ve hacimleri, kurulum yerinde daha fazla hazırlık (yeterli taşıma kapasitesine sahip bir temelin hazırlanması gibi) ve normal maliyetin iki ila üç katı maliyete ihtiyaç olmasını gerektirmektedir [41].

1.3.2.4. Jeneratör Bağlantı Kutusu, Dizi Diyotları ve Dizi Sigortaları

Jeneratör bağlantı kutusu, bağlantı kutularına ait dizilerin birbirine bağlanmasında yani dizi hatlarında, potansiyel dengeleme hattında ve doğru akım ana hattında kullanılmaktadır. Jeneratör bağlantı kutusunda bağlantı kısaçları ve ayırıcı ünitelerin dışında dizi sigortaları ve dizi diyotları da bulunabilir. DA ana şalteri veya hat koruma şalterleri bazen jeneratör bağlantı kutularına yerleştirilir. Büyük tesislerde dizi denetim ünitelerinin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Fazla gerilimleri toprağa aktarmak amacıyla genellikle jeneratör bağlantı kutularına topraklama iletkenleri eklenmektedir [41].

Tesiste mümkün olduğunca, sigorta kullanılmamalıdır. Dizi sayısının dörtten az olması halinde, sigortaların tetiklenmesi ve kısa devre akımının en az iki katının akması gerektiği için, sigorta kullanımının faydası olmamaktadır. Fakat modül ve dizi hatlarının aşırı yüklenmeye karşı korunması için, topraksız tüm hatlara dizi sigortaları ilave edilmektedir. Hatların aşırı yüklenmesine karşı dizi sigortaları kullanılmaktadır. Bu dizi sigortaları doğru akıma da uygun olmalıdır. Fakat FV tesislerdeki sigortaların standartları farklı çalışma şartlarında olması gerekirken, uygulamada bu fazla gerçekleştirilememektedir. Geçmişte dizi sigortası olarak uygun olmayan doğru akım sigortası kullanılmıştır. Günümüzde bazı üreticiler uygun özelliğe sahip sigortalar geliştirse

de, buna rağmen yıpranma sonucu ısı kaynaklı sorunlar oluşabilmektedir. Bu yüzden toprak hattı ve potansiyel dengeleme de jenaratör bağlantı kutusuna kadar taşınmalıdır.

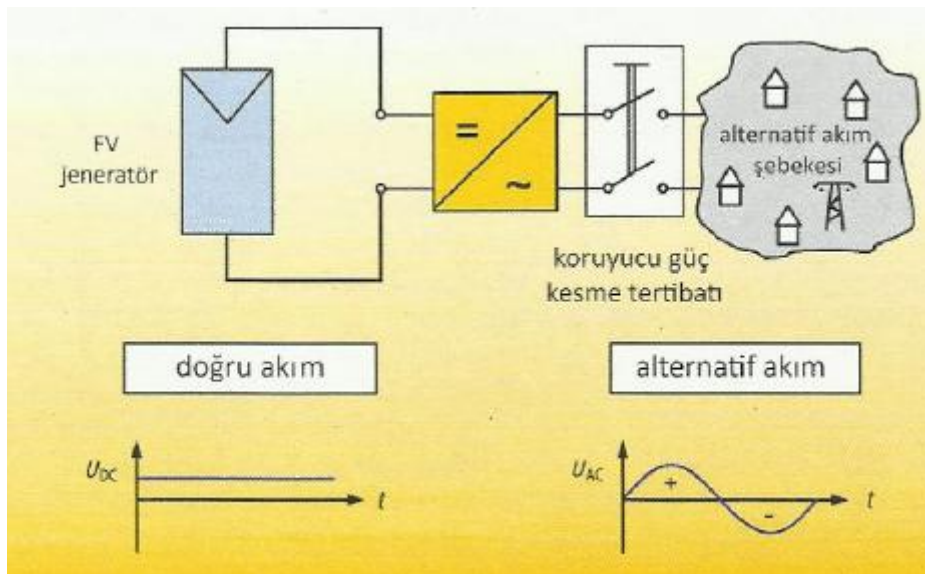


Şekil 1.34 Jenaratör bağlantı kutusu ve toplayıcı kutu [41]

1.3.3. İnverterler

FV inverter, alternatif akım şebekesiyle FV jenaratör arasında bağlantıyı kuran ekipmandır [41].

Alternatif akımı (AC) uzak mesafelere taşımak kolaydır. Elektrikle çalışan cihazların çoğu AC ile çalışacak şekilde, dizayn edilmiştir. FV modüller DC akım üretir ve aküler enerjiyi yalnızca DC akım şeklinde depolayabilmektedirler. Bu nedenle DC akım ile AC akım arasında bir köprü ve dönüşümü sağlayan inverterler kullanılmaktadır [98].



Şekil 1.35. İnverter çalışma şeması

İnverterler kullanım şekline göre ada tip ve şebeke bağlantılı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şebeke bağlantılı FV sistemlerde inverter direk elektrik şebekesine yada ev tesisatına bağlanmaktadır [41].

1.3.3.1. Şebeke Bağlantılı İnverterler

Şebeke bağlantılı inverterlerin, her geçen gün kullanımı artmaktadır. Bu inverterleri iki grupta incelemek mümkündür,

- ✓ Şebeke bağlantılı akülü sistemler
- ✓ Şebeke bağlantılı aküsüz sistemler

Aküsüz sistemler için istenen ideal özellikler;

- Maksimum güç noktası takibi özelliği (MPPT); günümüzdeki inverterlerin tümü FV sisteminin maksimum güç noktasını takip eden özelliklere sahiptir.

- Topraklama koruması olmalıdır.
- AC/DC koruması ve ayırıcısı olmalıdır.
- AC güç çıkışı (Bazı inverterler DC güç çıkışını da verirler) vermelidir.
- Giriş Voltajı: Çoğu şebeke bağlantılı inverterler, 75–600 V DC arasında çalışır. Bu voltaj aralığına göre, FV modüllerin paralel ve seri bağlantısı tasarlanır.

Tasarımda mevsimsel koşullar dikkate alınarak, inverterin maksimum ve minimum voltaj aralığına göre, FV modüllerin bağlantı tasarımı yapılmalıdır.

- Çıkış Voltajı, inverterler şebeke bağlantı olan voltaj çıkışı vermek üzere tasarlanmıştır. Bu değer şebeke voltajına göre 120 V, 240 V gibi değerlere göre üretilmektedir.

- Frekans: 50 Hz veya 60 Hz çalışma standartlarına göre üretilmektedir [98] şebeke bağlantılı ve akü yedeklemeli sistemlerde;

Akü şarj kapasitesi: Bu tip inverterlerde AC kaynağını inverterden DC'ye çevirerek aküyü şarj edebilmelidir (AC kaynağı jeneratör veya şebeke olabilir).

- Otomatik koruma veya akü seviyesi düştüğünde AC yükleri kapatabilmelidir.
- Yüksek akım kapasitesi: şebeke gittiğinde motorlar gibi ilk devreye girdiğinde çekilen yüksek akımları sağlayabilmelidir.
- Otomatik olarak Jeneratörü açıp kapatabilmelidir.
- Güç merkezi olarak kullanılabilirdir.
- Su sızdırma özelliği ve toz gibi kirliliklerden sızdırmazlık sağlayarak koruma tertibatı olmalıdır [98].

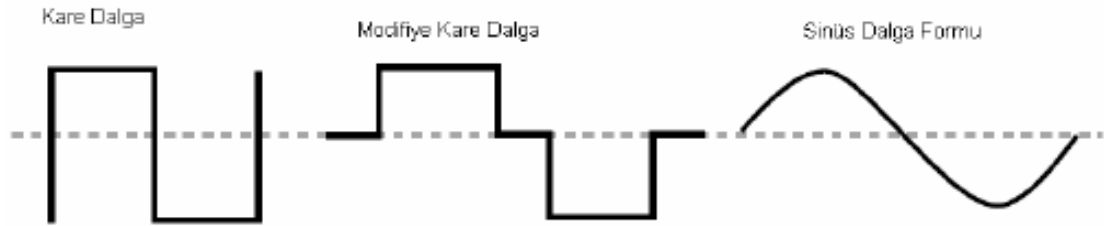
1.3.3.2. Şebeke Bağlantısız (Ada Tipi) İnverterler

Şebeke dışı bir inverter seçiminde sürekli güç akışını sağlamak için jeneratör girişi, aşırı yükleri sönmüleyebilme, akü şarj edebilme gibi genel özelliklere sahip olmalıdır

Bu tip inverterler için ideal özellikler;

- Yüksek akım dalgalanma kapasitesi: Motorlar gibi ilk devreye girdiğinde ihtiyaç duyduğu fazla akım ihtiyacını karşılayabilmelidir.
- Akü seviyesi minimuma geldiğinde otomatik olarak kapanabilmelidir.
- Koruyucu sızdırmaz kapak vardır.
- Akü şarj kapasitesi: İnverter Jeneratörden gelen AC akımı DC ye çevirerek aküyü şarj edebilmelidir.
- Jeneratör otomatik açma kapatma özelliğine sahiptir.
- Güç merkezi özelliği vardır.

İnverterler ayrıca dalga formuna göre de ayrılabilir. Kare dalga, modifiye kare dalga ve tam sinüs inverter olmak üzere 3'e ayrılmaktadır [98].



Şekil 1.36. İnverterler tarafından üretilen çeşitli dalga formları [98].

1.3.3.3. Kare Dalga İnverterler

Kare şeklinde harmonik alternatif akım vermektedirler. Bu tip inverterler küçük rezistanlı ısıtma yüklerinde ve bazı küçük uygulamalarda kullanılmaktadır. Endüstriyel ve bina uygulamalarında kullanılmamaktadır. Kullanılması halinde motorların yanmasına neden olabilmektedir.

1.3.3.4. Modifiye Kare Dalga İnverterler

Bu tip inverterler DC akımı direk AC akıma çevirmektedir. Karmaşık devrelerdeki büyük dalgalanmaları sönmüleyebilir ve daha az harmonik bozukluk göstermektedirler. Kullanım alanı olarak motorlarda, aydınlatmada, televizyon video müzik sistemi gibi elektronik cihazlarda geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bununla birlikte saat ve mikrodalga fırınlarda saatin hızlı veya yavaş çalışmasına ve bazı elektronik cihazlarda

gürültü parazit oluşumuna neden olabilmektedir. Bunun yanında batarya şarjında bu tip inverterlerin kullanılması tavsiye edilmemektedir [104].

1.3.3.5. Tam Sinüs İnverter

İnverterlerin özelliklerini iyi bilinmesi, bir sistem tasarımcısı için çok önemlidir. Standart inverter özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. Yüksek kalitede harmonik dalga formunda ürettiğinden hassas elektronik cihazların çalışmasına uygundur. Alternatif akım dalga formuna uygun harmonik üretmektedirler. Günümüzde en çok kullanılan inverter tipidir. Şebeke bağlantılarında, mutlaka tam sinüs inverter kullanılmalıdır.

Yüksek Verimlilik: Günümüzde çoğu inverterler % 90'nın üzerinde bir verimle DC akımı AC akıma çevirebilmektedir. İnverterler çoğunlukla nominal kapasitelerinin altında kullanılırlar. Bu yüzden piyasadaki ürünlerde inverter verimleri, belli bir aralıkta çalıştığı durumdaki yüksek verim noktasını belirtirler.

- ✓ Uyku veya bekleme modunda kayıplar düşüktür. İnverterler çalışma sırasında üzerinde yük olmadığında da yüksek verimli olmalıdır.
- ✓ Frekans Regülasyonu: İnverter 50 Hz frekans çıktısını (ülkemizdeki frekans) değişik girdilerde, sürekli verebilmelidir.
- ✓ Harmonik Düzen: İnverter testere dişi gibi istenmeyen pik yükleri etkisini sönümleyebilmelidir.
- ✓ Servis imkânları geniş olmalıdır.
- ✓ Dayanıklılık: Uzun süre düşük bakım maliyetleri sunmalıdır.
- ✓ Güç düzeltme faktörü: Güç kaynağı ile yük arasında uygun değer dengeyi sağlamalıdır.
- ✓ Düşük ağırlık: İnverter montaj ve servis faaliyetlerinde hafifliği ile avantaj sağlamalıdır.
- ✓ Uzaktan kontrol operasyonu ve verileri gösterme: İnvertere uzaktan müdahale edilebilmeli ve anlık ve toplam güçler, çalışma süresi gibi, temel verileri ekrandan gösterebilmelidir.
- ✓ Yük transfer anahtarı: Manüel yük anahtarı ile herhangi bir arıza durumunda, bazı kritik yükleri inverter karşılayabilmelidir.
- ✓ Paralel bağlanabilme kapasitesi: Bazı sistemlerde inverterler, servis açısından paralel bağlamaya müsaade etmelidir.

- ✓ Seri bağlama kapasitesi: Çoklu inverterli sistemlerde bu özellik, yüksek voltajlarda çalışma kolaylığı sağlamaktadır [98].

1.3.4. Kablo Seçimi

FV sistemlerde kablonun seçimi, önemli bir parametredir. Özellikle DC sisteminin tasarımında, dikkat edilmesi gerekli ana faktörlerden biridir ve dikkat edilmediğinde oluşan zararın maliyeti yüksektir. Çünkü DC sistemler, genellikle düşük voltaj kullanılır ve akım akışı, tek yöndedir bu yüzden AC akıma göre daha kalın kablo kesitleri kullanılır. Kablo ve ek parçalarının, yanlış seçimi ve yanlış bağlantısı, sistemde yangın tehlikesine, telafisi mümkün olmayan zararlara, büyük maddi kayıplara neden olduğu gibi, insan ölümü dahi söz konusu olabilmektedir [102]. Kablo malzemesi seçiminde, iletken malzemesi ve izolasyon malzemesi olmak üzere iki husus vardır. İletken malzemesi olarak bakır ve alüminyum kullanılmaktadır. Bakır Alüminyuma göre daha iletkenidir. Küçük çaplarda bakır daha dayanıklıdır. İzolasyon malzemesi ise kabloyu sıcaktan, UV ışıklardan, kimyasallardan, nemden korumak için kullanılmaktadır. FV sistemlerde kullanılan kabloların izolasyon malzemesi, güneş ışığına dayanıklı olan kablolar seçilmelidir. Kablo kalınlığı seçiminde iki önemli faktör göz önüne alınır. Birincisi kablonun akım taşıma kapasitesi, diğeri ise voltaj düşümüdür. Eğer, düşük kapasiteli kablo seçilirse ve büyük bir yük taşınırsa, kablolar fazla ısınacak, kısa devreye neden olup, yangın tehlikesi oluşturacaktır [98]. FV sisteminde kablo seçiminde, öncelikle sistemden çekilecek maksimum akımın tespit edilmesi gereklidir. FV panellerden aküye, şarj kontrol ünitesine gidecek akım, modülün kısa devre akımının, paralel bağlı modül sayısı ile çarpımı, sonucu bulunmaktadır. Güvenlik faktörü olarak da bu değeri 1,25 ile çarpmak gerekmektedir. Çünkü iletken malzemeler belirtilen akım taşıma kapasitelerinden sürekli olarak %80'den fazlasını taşımaya müsaade etmezler. Bunun yanında, ülkelerin kendi standartlarında belirttiği ilave emniyet faktörleri vardır. Ülkemizde henüz bu anlamda bir standart olmaması nedeni ile, Amerika da NEC (National Electrical Code) kurulum kılavuzunda FV sistemlerde, sistem akü arası veya aküsüz sistemlerde inverter arası, olağanüstü olabilecek güneşli günlerde, oluşabilecek ilave güç nedeni ile, bu değerin 1,25 ile tekrar çarpılmasını tavsiye etmektedir. Örneğin 40 Amperlik bir FV sisteminde kablo kesitinin belirlenmesi için tasarım yapılacak değer $40 \times 1,25 \times 1,25 = 62,5$ Amper olarak bulunmaktadır [105]. Doğru kablo boyutunu seçmede, ikinci önemli faktör gerilim düşümü etkisidir. Gerilim düşümü, kablo direnci ve uzunluğu nedeni ile gerilimin düşmesidir. İyi bir tasarımda,

gerilim düşümlerini minimuma indirecek, verimli bir FV sistem tasarımı yapılmalıdır. Gerilim düşümü aşağıdaki üç parametreye bağlıdır [106].

- ✓ Kablo kesiti
- ✓ Kablo uzunluğu
- ✓ Kablodaki akım akışı

Çeşitli standartlar dizayn sırasında % 1 ile % 5 arasındaki voltaj düşümlerine izin verirler. Fakat hedef % 1 gerilim kaybı ile verimli bir FV sistem tasarımıdır.

1.3.5. Aşırı Akım Koruması

Bütün elektrik devrelerinde, kablonun taşıyabileceği akımdan fazlasının yüklenmemesi için, iki tip koruyucu ekipman kullanılmaktadır. Bunlar; devre kesiciler ve sigortalardır.

Sistemde, sigortanın veya devre kesicinin, nominal akımını aştığında devre açılır ve akım akışı kesilir. Sistem tasarımı yapılırken bütün FV ekipmanlarının; inverter, aküler, şarj kontrol cihazları, güç kaynağı ile bağlantısını kesebilecek cihazlar kullanılmalıdır. Bu cihazlar, anahtar veya şalter olabilir, görünür ve kolay ulaşılabilir olmalı ve patlayıcı herhangi bir parça içermemelidir. Üzerlerinde açık ve kapalı pozisyonlarını gösterir olmalıdır [105].

1.3.6. Sistem Topraklama

Hatlardaki büyük dalgalanmalar, şimşek gibi doğa olayları, yüksek voltajlı hatlardaki, istenmeyen kontaklar yüzünden, meydana gelen değişimleri nedeniyle sistemlerde topraklama yapılmalıdır. Yani;

- ✓ Ortak bir referans noktası olan toprakla, sabit bir gerilim oluşturma
- ✓ Cihaz üzerindeki kaçak akımlar ve statik elektriğin toprağa aktarılması

gibi nedenlerden dolayı topraklama yapmak gerekmektedir. Sistem topraklaması ve cihaz topraklaması olmak üzere, iki tip topraklama vardır. Cihaz topraklaması, akım toprağa taşınırken, bir cihazın şasesine dokunduğumuzda, eğer topraklama yapılmamışsa, devre insan üzerinden tamamlanarak ve bir şok ile kendini göstermektedir [107].

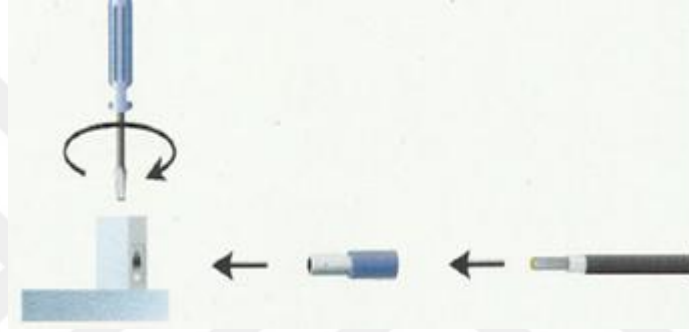
Sistem topraklaması, bazı standartlara göre, sistem voltajı 50 Voltun üzerinde olan, tüm sistemlerde zorunludur. Bir DC sistemde sistem topraklaması, negatif kablo hattını, bir noktadan toprağa bağlamak şeklinde ifade edilebilir. Topraklama hattında kablo kalınlığı, en az sistemde akım taşıyan, kablo kalınlığı kadar olmalıdır. FV sistemlerde eğer cihaz

toprak hattı yok ise, kablo kalınlığı en az FV kısa devre akımının % 125 fazlası alınarak, kablo seçimi yapılmalıdır [104].

1.3.7. Bağlantı Teknolojisi

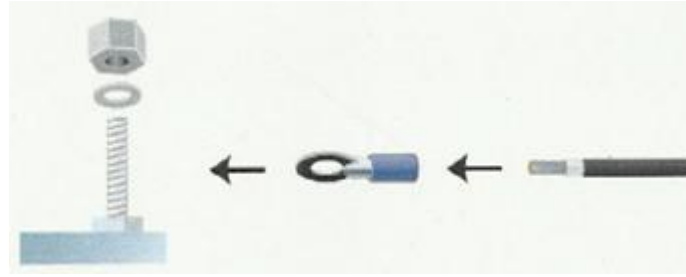
Modül hatları ve diğer DA kablolarının bağlantısı son derece dikkatli yapılmalıdır. Düşük kaliteli bağlantılar, ışık arklarının oluşmasına ve bununla birlikte yangın riskinin artmasına neden olabilir. Genel olarak aşağıdaki dört bağlantı türü kullanılır [41].

Vidalı kısıkaçlar; bağlantı yapmak için ince telli kabloların uçlarına kablo yüksükleri takılır.



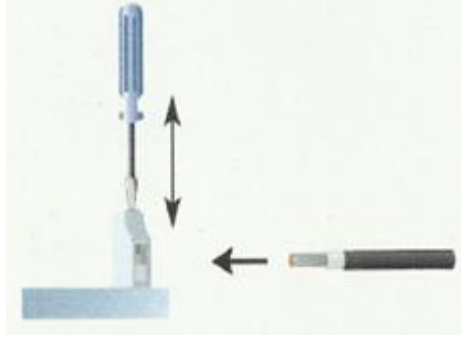
Şekil 1.37. Vidalı kısıkaç bağlantı

Vidalı bağlantılar; kablo dibi somun ile vida arasına sıkıştırılır



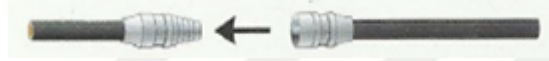
Şekil 1.38. Vidalı bağlantı

Yaylı kısıkaçlar; yaylı kısıkaçlı bağlantı kutularında kablonun yüksükleri olmadan güvenli bir şekilde sıkıştırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 1.39. Yaylı kısaç

Bağlantı Soketleri; montajı kolaylaştırmak için FV modül bağlantı hatları ve dokunulmaya karşı korumalı soket bağlantılarıyla birlikte temin edilmektedir.



Şekil 1.40. Bağlantı soketleri

1.3.8. Kurulum Malzemeleri

Kabloların döşenmesi uygun tespit elemanlarıyla yapılmalıdır. Dış mekanda kullanılan, örneğin kablo bağları gibi kurulum malzemelerinin hava koşullarına dayanıklı olması gerekmektedir. Aşağıda bazı tespit elemanlarının çeşitleri sıralanmıştır [41].

- Koruyucu kablolar
- Lamelli borular
- Kablo kanalları
- Kablo bağcıkları
- Kablo kelepçeleri
- Kablo kroşeleri

1.3.9. Doğru Akım Yük şalteri (DA Ana şalteri)

Arızalarda veya bakım ya da onarım çalışmaları yerine getirebilmek için inverter FV jeneratörden ayrılabilmelidir. Bunun için doğru akım yük şalteri kullanılmaktadır.

DA ana şalteri yükü kesebilecek özellikte olmalı ve FV jeneratörün maksimum açık devre gerilimi (-10°C 'de) ve maksimum jeneratör akımına göre seçilmelidir. Şalter seçiminde, şalterin mevcut doğru akımı kesebilecek özelliğe sahip olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 1.41. Doğru akım yük şalteri

1.3.10. Hat Koruma Şalterleri

Hat koruma şalterleri, tesisi aşırı yüklenme veya kısa devre meydana gelmesi halinde otomatik olarak elektrik şebekesinden ayırmaktadır. Bu şalterler hatları ve elektrik tesisatını hasar görmekten ve yüksek akımlar sonucu aşırı ısınmadan korumaktadır. Hat koruma şalterleri, tetikledikten sonra hata giderilmişse yeniden kapatılması mümkündür. Doğrudan besleme yapıldığında, hat koruma şalteri, şebeke besleme hattının kesitine ve inverter üreticisinin temin ettiği verilere göre seçilebilmektedir [41].



Şekil 1.42. Hat koruma şalteri

1.3.11. Kaçak Akım Koruma Şalteri

Kaçak akım koruma şalterleri, yalıtım hatalarında toprak veya beden teması sonucu kaçak akımların meydana gelmesinde tesisatı kesmek için kullanılmaktadır. Kaçak akım koruma şalteri, akım devresindeki gidiş ve geliş yönü tellerinde akan akımı

denetlenmektedir. İki akımın arasındaki fark 30 mA'den fazla olursa, RCD şalteri devreyi 0,2 saniye içinde ayırmaktadır [41].

1.3.12. Şarj Regülatörleri

Bir ada tesisindeki şarj regülatörünün ana görevi, aküleri aşırı yüklenmeden ve aşırı deşarjdan korumaktır. Her iki çalışma durumu bataryanın çalışma ömrünü oldukça kısaltabilmektedir. Sürekli aşırı yüklemeye maruz kaldığında sıvı elektrolitli bataryalarda ayrıca patlayıcı gaz oluşabilmektedir. Bataryaların giderleri bir ada tesisinin çalışma süresi boyunca çoklu değişimden kaynaklanan %35-50'lik bir faktördür. Sadece bilinçli bakım ve optimum çalışma sayesinde bir ada sisteminin ömrü ve ekonomikliğı yükseltilebilmektedir. Bunun için modern şarj regülatörlerinde aşağıdaki temel talepler olmalıdır; [41]

- Aşırı yükleme koruması
- Derin şarj koruması
- İstenmeyen şarjın önlenmesi
- Bataryaların optimum şarjı
- Şarj seviyesi göstergesi
- Kısa devre emniyeti



(a)



(b)

Şekil 1.43.a. Sezgisel göstergeli şarj regülatörü **b.** Uzak göstergeli akıllı şarj regülatörü

1.4. FV Sistem Tasarımında Kullanılan Simülasyon Programları

Piyasada FV sistemlerin tasarımı ve modellenmesinde kullanılan ücretli ve ücretsiz çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. [109]. Bu yazılımlar benzetişim kapasiteleri ve yetenekleri, maliyetleri, çalışma platformları, güncelleştirme imkanları, yazılım dilleri ve

raporlama yetenekleri gibi özellikleri ile birbirlerinden farklı özellikler gösterirler. Aşağıda, FV sistem benzetişiminde kullanılan ve Tablo 1.1 de verilen yazılımlar kısaca tanıtılmıştır.

Tablo 1.1. FV sistem kullanılan bazı yazılımlar.

Yazılım İsmi	Üretici Geliştiren Enstitü	Maliyet
RET Screen	Natural Resources KANADA	Eğitim Amaçlı
TRNSYS	Wilsconsin Üniversitesi ABD	Eğitim Amaçlı 2100dolar
HOMER	NREL. ABD	Ücretsiz
INSEL	Insel Company. ALMANYA	Tam- sürüm 1700 Avro Öğrenciler
FVF-Chart	University of Wisconsin Madison. ABD	\$400 Eğitim amaçlı 5600dolar
NREL Solar Advisar Model (SAM)	NREL. ABD	Ücretsiz
PV syst	University Tek makine için lisans 900 CHF	Tek makine için bir lisans 900 CHF
Solar DesignTool	Vendisen inc. Santa Cruz, ABD	Ücretsiz Versiyonu mevcut Profesyonel versiyonu aylık ücretsizdir
SolarPra	Laplace System Cc . Japonya	Eğitim amaçlı \$1900
PVDesignPro-G	Mau Goar Eneray Scfhre- Corooration. ABD	Solar Desigr Studio CDROM \$249
PV*SOL Enpert	Dr. Valenün Energe Goftvo'e Almanya	Eğitim amaçlı 2456 Avro

1.4.1. Renewable Energy Technologies Screen (RETScreen)

Kanada hükümetinden, endüstriden ve üniversitelerden çeşitli uzmanların oluşturduğu bir kadronun ürünü olan yazılımın 35 dilden fazla dil desteği mevcuttur ve ücretsizdir. Bu program finansal ulaşılabilirlik düzeyi, enerjinin korunumu, enerji üretimi ve etkin kullanım yöntemleri hakkında yardımcı olmaktadır [108]. Program mühendisler, mimarlar ve ekonomistler için temiz enerji projelerinin modellenmesinde ve analiz edilmesinde büyük kolaylıklar sağlamakta ve kullanıcılar için enerji analizi, maliyet analizi, emisyon analizi, finansal analiz ve duyarlılık/risk analizi içermektedir

1.4.2. TRaNsient SYstems Simulation (TRNSYS)

TRNSYS programı 1975'ten beri geliştirilen ticari bir programdır. Program matematik modeller oluşturmada, çok bölgeli bina modellerinin potansiyellerini belirlemede, komponent eklentileri yapmada ve diğer simülasyon programları ile birlikte çalışmada büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Program ücretli bir yazılımdır. TRNSYS kontrol şemalarının analizinde, güneş sistemleri tasarımında, termal performans bina etmede, HVAC (ısıtma havalandırma iklimlendirme) analizi ve boyutlandırmasında, çok bölgeli hava akışı gibi analizler yapmada büyük yararlar sağlamaktadır Programın özel kütüphanesinde yenilenebilir enerji tabanlı güç sistemlerini modellerken, FV sistemler, bataryalar, rüzgar türbinleri, gibi bileşenler barındırmaktadır [109].

1.4.3. HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)

HOMER programı şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız dağıtık tipteki enerji üretim sistemleri için geliştirilmiştir. HOMER'ın algoritmaları, teknoloji maliyetleri ve enerji kaynaklarına ulaşılabilirliği ve geniş teknoloji seçim imkanlarını içeren teknik ve ekonomik fizibilite değerlendirmelerini de hesaba katan optimizasyon ve duyarlılık analizi için geliştirilmiş bir programdır. HOMER uzak, şebekeden bağımsız ve dağıtık enerji üretimi için tasarım tercihlerini değerlendirmeyi basitleştirmektedir. FV, rüzgar türbinleri, akarsu HES, dizel, benzin, biogaz, mikro türbinler, çift yakıtlı jeneratörler ve yakıt hücrelerini içeren enerji kaynakları bu programla modellenebilir. Program ayrıca Hidrojen ve batarya grupları ile depolama özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır 109

1.4.4. PhotoVoltaic Design Program (PV DesignPro)

Bu program yıllık FV enerji sistem çalışmasının simülasyonu için tasarlanmış bir programdır. Simülasyon, iklim etkileri ve kullanıcının seçimleri baz alınarak yapılmaktadır [108].

Akü depolamalı şebekeden bağımsız sistemler için "PV-DesignPro-S", Akülü depolama sistemi olmayan şebeke bağlantılı sistemler için "PV-DesignPro-G" ve su pompalama sistemleri için "PV-DesignPro-P" versiyonları vardır. Program ücretlidir. PV-DesignPro acemi sistem tasarımcılar ile birlikte profesyonel FV sistem tasarımcıları ve araştırmacılar için çok kullanışlı bir programdır. Aylık güneş grafikleri, satın alınan enerji maliyeti, aylık batarya şarj durumları, yıllık performans tablosu ve FV" den elde edilen enerjinin satışı ile birlikte yıllık enerji maliyeti, bataryanın şarj durumu, yatay yüzeydeki

güneş ışıınımı, modüllerdeki güneş ışıınımı, panel verimliliği, panel göze sıcaklığı, anlık açılar, eğim ve azimut açısı, sistem maliyeti hesaplamaları yapılmaktadır [109].

1.4.5. INSEL (INtegrated Simulation Environment Language)

INSEL, yaygın amaçlar için grafiksel programlama dilidir. Meteorolojik veri, elektriksel ve termal enerji bileşenlerinin simülasyonu için güncel fonksiyonları olan bloklar sağlar ve simülasyon problemini somut bir şekilde çözmek için bu bloklar birbirlerine eklenebilmektedir. Program ücretli bir programdır. Veritabanında FV modüller, inverterler, termal kollektörler ve meteorolojik parametreler bulundurmaktadır. Program güneş ışıınım simülasyonu, FV ve güneş-ısı dönüşümü uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. FV sistemin özellikleri FV modül parametreleri, I-V eğrileri, bir veya iki eksenli takibin verimlilik karşılaştırılması, yıllık elde edilecek enerji çıktısı, modüllerin, güneş gözelerin performansı bu programla incelenebilmektedir [109].

1.4.6. PhotoVoltaic F-Chart (PV F-Chart)

Program günün her bir saati için aylık ortalama performans hesaplamasını bünyesinde bulundurmaktadır. Hesaplamalarda faydalanılan yöntemler güneş ışıınının özelliklerini kullanarak yükün ve ışıınının istatistiksel değişimini açıklamak için kullanmıştır. Şebeke bağlantılı sistemler, akülü depolama sistemleri ve şebekeden bağımsız sistemler modellenebilmektedir. Yazılımın hızlı simülasyon, her bir ay için saatlik yük profilleri, istatistiki yük değişimleri, alış satış maliyet farkları, gün içindeki alış satış oranları, nakit akışlı ömür ekonomileri ve aylık parametre değişimleri gibi özellikleri inceleyebilme imkanı mevcuttur [109].

1.4.7. National Renewable Energy Laboratory Solar Advisor Model (NREL SAM)

Birbirinden farklı solar teknolojilerin finansal ve maliyet varsayımlarını içeren analizler için tutarlı bir metodoloji kullanılmaktadır. Programın amacı yenilenebilir enerji endüstrisinde çalışan insanların karar verme süreçlerini hızlandırmaktır. SAM projelerin önceliklerini, yönünü ve solar Ar-Ge faaliyetleri desteklemek için gereken sürekli yatırımın geliştirilmesini pekiştirir. SAM yazılımı teknoloji ve maliyet kıyaslaması ve pazar penetrasyon analizi ile birlikte kullanılması tercih edilmektedir. Program ücretsizdir. SETP teknolojileri (stirling sistemler, parabolik, oluklu sistemleri, konsantre ve düz FV sistemler), SAM’ de sunulmuştur. Program çıktı olarak, indirgenmiş elektrik maliyetleri,

sistem işletme ve bakım maliyetleri, sistem enerji çıktıları, yıllık sistem verimliliği ve saatlik sistem üretimi sonuçları bu programla elde edilebilmektedir [109].

1.4.8. SolarDesignTool

SolarDesign Tool, şebeke bağlantılı solar elektrik sistemlerini online olarak tasarlama imkanı sunmaktadır. İki farklı yolla FV sistem tasarımını oluşturmaktadır. İlk yöntem kullanıcı için birkaç çeşit temel tasarım ve yer parametreleri sunmak, ikinci yöntem sistem kurucu kullanarak sistemi oluşturmaktır. İlk yöntemde kullanıcı birkaç çeşit önceden üretilmiş konfigürasyonları seçip, bunları karşılaştırarak ve bunlardan birini veya daha fazlasını projeye kaydetmektedir. İkinci yöntemde kullanıcı her bir dizilim konfigürasyonunu tanımlamaktadır. Programın ücretsiz versiyonu bulunmaktadır. Ayrıca uzmanlar için aylık ücretli versiyonu vardır. Sistem tasarımlarını, dizilim boyutlandırması, sistem karşılaştırması ve modül yerleşim tasarımı programda yapılabilir [109].

1.4.9. Solar Pro

Dört temel fonksiyon Solar Pro" nun temel parçaları şunlardır; gölgeleme, I-V eğrisi, güç ve finansal analiz. Herhangi bir nesneden kaynaklanan gölgeleme, optimal ayarlamalar ve buna uygun modül seçimi, gölgeleme fonksiyonlarından hesaplanabilmektedir. Herhangi bir şirketin herhangi bir ürünün elektriksel özelliklerini kullanarak sistem FV modüllerinin I-V eğrisini hızlı ve kesin bir şekilde çözümlemektedir. Program FV panellerin bulunduğu konumu ve atmosferik koşulları kullanarak üretilcek elektrik enerjisi miktarını hesaplamaktadır. Program ücretli bir programdır. Solar Pro hemen hemen tüm solar elektrik güç sistemlerinin modellenmesine uygundur [109].

1.4.10. PhotoVoltaic Design Program-Grid connected systems (PV DesignPro-G)

PV-DesignPro programının üç versiyonu bulunmaktadır. Akülü depolamalı şebekeden bağımsız sistemler için "PV-DesignPro-S", Akülü depolama sistemi olmayan şebeke bağlantılı sistemler için "PV-DesignPro-G" ve su pompalama sistemleri için "PV-DesignPro-P" versiyonları vardır. Program ücretlidir. PV-DesignPro kullanılarak elde edilen çıktılar şu şekildedir; aylık güneş grafikleri, aylık batarya şarj durumları, yıllık performans tablosu, satın alınan enerji maliyeti ve FV' den elde edilen enerjinin satışı ile birlikte yıllık enerji maliyeti, yılın her saatini kapsayan grafikler, bataryanın şarj durumu, batarya gerilimi, yatay yüzeydeki güneş ışıınımı, modüllerdeki güneş ışıınımı, yük ve destek

ünitesinin güçleri, panel verimliliği, panel göze sıcaklığı, anlık açılar, eğim ve azimut açısı, sistem maliyeti, destek enerji maliyeti, satın alınan ve satılan enerji maliyetini hesaba katarak kullanım süresi maliyeti ve sistemin tahmini ömrü bu programla tespit edilebilmektedir. [109]

1.4.11. PhotoVoltaic Solar Expert (PV*SOL Expert)

PV*SOL Expert çatıya paralel ve çatıya entegre sistemleri görselleştirmek ve üç boyutlu nesnelerden kaynaklanan gölgelenmeyi hesaplamak için yararlı bir programdır. 3 boyutlu 2000'e yakın modülü içermektedir. Gölgeleme yapabilecek üç boyutlu nesneler, yerde veya binalarda konumlandırılabilir. PV*SOL Expert nesneler tarafından yapılan gölgelenmenin ortalama frekansını hesaplar ve sonucu grafiksel formda göstermektedir. Program ücretli bir programdır. The PV*SOL Expert, nesnelerin üç boyutlu olarak gölgelenmesini hesaplayarak FV sistemlerin görselleştirilmesini gerçekleştirmektedir. Program her bir diziyi mekanik olarak yapılandırabilir. On dakika aralıklarla gölgelenmenin simülasyon çıktısını ve her bir modül için kesin gölgelenme oranını hesaba katarak simülasyondan elde edilen değerlerin çıktısını vermektedir [109].

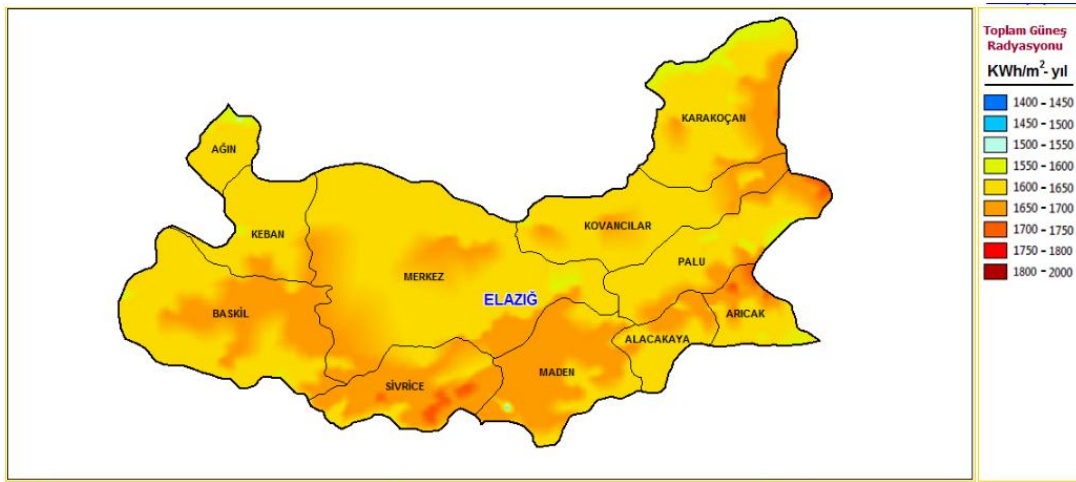
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Sistem Sahasının Belirlenmesi

2.1.1. Elazığ İli ve Santral Kurulacak Yer Hakkında Genel Bilgi

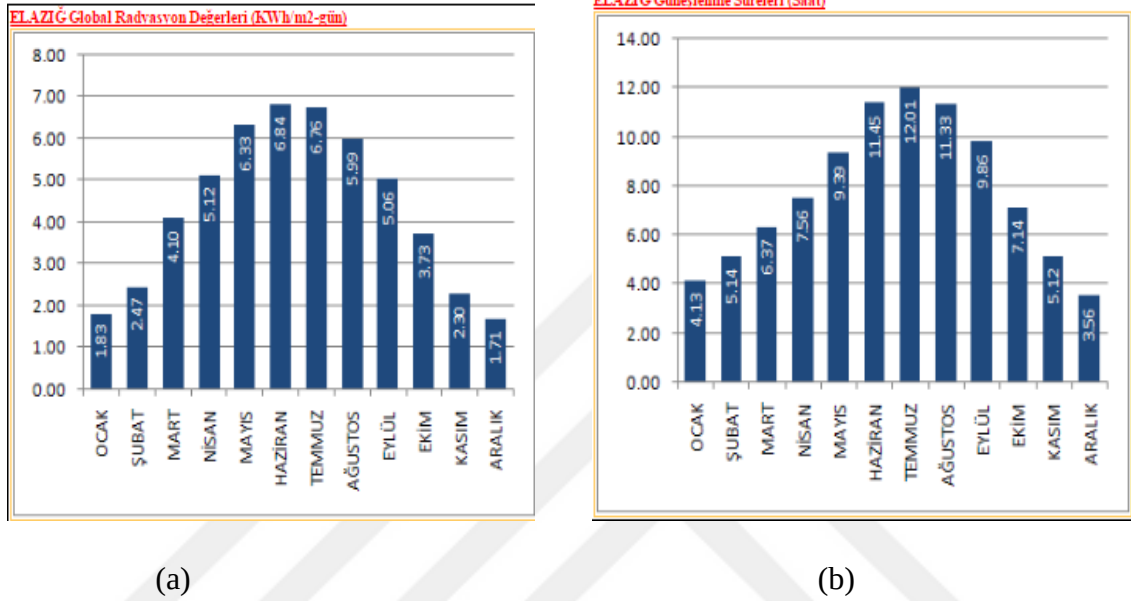
Bu tez kapsamında Elazığ ili Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi önündeki boş bir arazide GES'inin fizibilitesinin yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle arazi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken özellikler dikkate alınarak tesis kurulum yerinin özellikleri belirtilmiştir.

Elâzığ ilinin Türkiye içindeki konumuna göre Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneybatısında ve bölüm olarak Yukarı Fırat Bölümü'nde yer almaktadır. İlin kapladığı Toplam alanı 9153 km²'dir. 40° 21 ile 38° 30 doğu boylamları, 38° 17 ile 39° 11 kuzey enlemleri arasında yer alan bu il Türkiye topraklarının ortalama %1,2 kadarlık yerini kaplamaktadır. Kuşbakışı bakıldığında kabaca dikdörtgene ve Türkiye karasına etrafındaki sular sebebiyle çok benzemektedir. Elâzığ topraklarının doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 150 km, kuzey-güney yönündeki genişliği ise yaklaşık 65 km civarındadır ve ilin rakımı 1067 m'dir. Elâzığ ilinin sınırlarının 8.327 km²'si kara, 826 km²'si baraj ve doğal göldür. Elâzığ, karasal iklimin etkisindedir. Kış ayları sert ve soğuk yaz ayları ise kurak ve sıcak geçmektedir. Doğu Anadolu bölgesinin diğer illeri ile kıyaslandığında kış ayları diğer bölgelere göre çok daha yumuşak yani ılık geçmektedir. Özellikle son zamanlarda Elâzığ ili ve çevresine yapılan barajlar nedeniyle iklimde değişiklikler gözlenmiştir [110]. Elazığ iline ait güneş enerji potansiyel atlası Şekil 2.1.'deki gibidir.



Şekil 2.1. Elazığ ili güneş enerji potansiyel atlası

Buna göre Elazığ ilinin Toplam güneş radyasyonu ortalama 1600-1700 KW/m²-yıl değerindedir. Özellikle Maden ve Sivrice ilçelerinde toplam güneş radyasyonunun 1700 KW/m²-yıl değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca ay içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu ile bir günlük toplam güneşlenme süresinin grafikleri Şekil 2.2.a ve Şekil 2.2.b'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.2.a. Elazığ ili global radyasyon değeri **b.** Elazığ güneşlenme süreleri

Şekil 2.2 ve 2.2.b'de görüldüğü gibi özellikle yaz aylarında global radyasyon ve güneşlenme süreleri oldukça yüksektir. Ay içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu 6,84 KW/m²-yıl değeriyle Türkiye ortalamasında %4,11 fazladır. Ayrıca ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi 12,01 saat ile Türkiye ortalamasından %6,19 yüksek değerdedir.

2.1.1.2. Elazığ Elektrik Santralleri ve Teşvik Durumu

Elazığ'ın elektrik santrali kurulu gücü 2.238 MW'tır. Toplam 11 adet elektrik enerji santrali bulunan Elazığ'daki elektrik santralleri yıllık yaklaşık 8.060 GW elektrik üretimi yapmaktadır. Bu santrallerin tesis türü ve kurulu güce göre değerleri Tablo 2.1'deki gibi gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Elazığ’da kurulu elektrik santralleri

	Santral Adı	Tesis Türü	Kurulu Güç
1	Keban Barajı ve HES	Hidroelektrik	1330 MW
2	Beyhan Barajı ve HES	Hidroelektrik	582 MW
3	Tatar Barajı ve HES	Hidroelektrik	128 MW
4	Pembelik Barajı ve HES	Hidroelektrik	127 MW
5	Seyrantepe Barajı ve HES	Hidroelektrik	57 MW
6	Keban Deresi ve HES	Hidroelektrik	5,00 MW
7	Elazığ şeker Fabrikası Termik Santrali	Fuel oil	3,60 MW
8	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Biyogaz	2,83 MW
9	Hayran Enerji GES	Güneş	1,00 MW
10	Tahir Yüce GES	Güneş	0,85 MW
11	Sivrice Arıtma Güneş Enerji Santrali	Güneş	0,40 MW
	Yapım Aşamasındaki Santraller		
12	Çardaklı HES	Hidroelektrik	15 MW
13	Karabeyli GES	Güneş	7,00 MW
14	Eti Krom Proses Atık Isı Santrali	Atık Isı	5,50 MW
15	Hisar Regülatörü ve HES	Hidroelektrik	4,86 MW
16	Yasin Mobilya GES	Güneş	0,36 MW
17	Elazığ EMT Tarım GES	Güneş	0,14 MW
	Üretim Lisansı Alınan Bazı Elektrik Santralleri		
18	Beyhan 2 Barajı ve HES	Hidroelektrik	227 MW
19	Asunim Solentegre ve GES	Güneş	8,00 MW

Tesis kurulumunda en önemli ölçütlerden biri de tesis kurulacak ilin teşvik kapsamındaki iller arasında olup olmamasıdır. Elazığ ilinin ve Türkiye’deki diğer illerin teşvik haritası Şekil 2.3’teki gibidir.



Şekil 2.3. Ges teşvik haritası

TKDK'nın teşvik kapsamına aldığı 42 il içerisinde Elazığ ili de bulunmaktadır. Bu teşvik İPARD2 programında işletmelerin kendi elektrik enerji ihtiyacını karşılamak için % 70'lere kadar verilen hibeler son yıllarda ile ticari amaç için elektrik üretimi yaparak gelir elde etmek isteyen işletmeler ve yatırımcılar için de teşvikten sonra hibe programına alınmıştır. Böylece ticari amaçlı yatırım yapmak isteyen yatırımcılar için kurulum maliyeti azaltarak daha kısa zamanda kendini amorti edebilmektedir.

2.1.3. Saha Özellikleri

Tesis simülasyonu için kurulması planlanan yer, Elazığ-Malatya yolu üzerinde yeni kurulan Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi önünde 20 dönümlük bir arazidir. Toprak türü olarak söz konusu arazide genelde kumlu, kireçli ve killi toprak bulunmaktadır. Enerji alt yapı durumunda şehir şebekesine yakınlığında bir sıkıntısı bulunmamakla beraber yol üzerinde olması sebebiyle ve şehirlerarası çevre yolu üzerinde konumlandırılmış olması büyük bir avantajdır. Yerleşim alanına uzaklığı yaklaşık 15 km iken, arazide herhangi bir çalışma, harfiyat ve proje bulunmamaktadır. Şehir merkezine olan uzaklığı nedeniyle hava kirliliğinden olumsuz şekilde etkilenmemesi ve endüstri yoğunluğu azlığı arazi seçiminde avantaj sağlamaktadır.



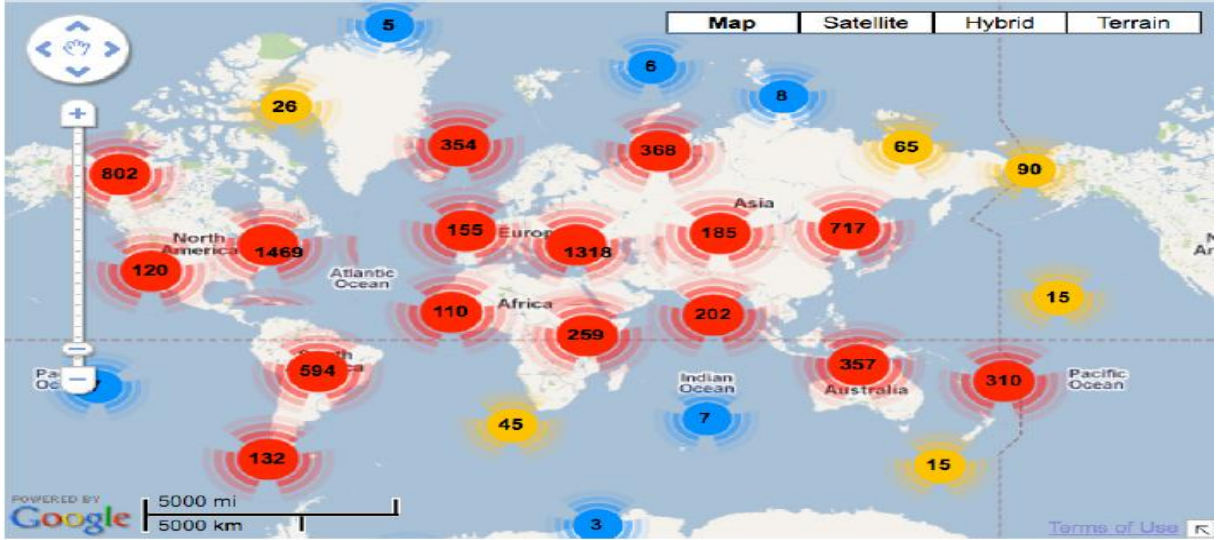
Şekil 2.4. Ges simülasyonu yapılan alan

2.2. PVsyst Programı ve Simülasyon Aşamaları

Bir GES'inin ekonomiklik analizi yapılırken en önemli parametrelerinden biri santralin yıllık enerji üretimidir. Yıllık enerjinin üretilmesi konusunda çalışılırken hassasiyetin oldukça yüksek değerde tutulması gerekmektedir. Dünya üzerinde çok yaygın olarak kullanılan, bütün finans kuruluşlarının da verilen muhasebe sonuçlarına kredi imkanı sunduğu veri bankasında güncel ve gerçek bilgileri kullanarak simülasyon gerçekleştiren PVsyst programı bu çalışmada kullanılmıştır.

İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen bu program ile şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız modellemeler yapılmaktadır. Program minimum %60 doluluk şarjda ve internet bağlantısının kesintisiz olduğu zamanlarda analiz yapabilmektedir. PVsyst gölgeleme parametreleri göstermek için birden fazla nesne önermektedir. En son sürümünde birden fazla FVsistemi aynı anda simüle etme özelliği de kazandırılmıştır. Ana menüsü üzerinde ön tasarım, proje tasarımı ve araçlar başlıkları altında 3 seçim bulunmaktadır. Ön tasarım; şebekeye bağlı-bağımsız sistemler ve sulama sistemleri için hızlı ve kolay modelleme menüsüdür. Bu menü, ön ekonomik değerlendirme yaparak sistem bileşenlerini, boyutlarını, aylık üretim ve performanslarını değerlendirmektedir. Proje tasarım bölümü ise, FV sistemin kurulacağı alanı ve doğru sistem bileşenleri seçmek için kullanılan, tasarlanacak sistemin saatlik değerlerini ve ayrıntılı simülasyonunu

içermektedir. Araçlar menüsü ise veri tabanındaki veri ve bileşenlerin yönetimi ile grafik görüntüleri ve tablolar içermektedir. PVsyst, 1,750 PV panel, 650 inverter, yaklaşık 100 güneş enerjisi ile çalışan su pompası ve onlarca batarya içermektedir. Sistemin kurulacağı alana ait güneş radyasyon değerlerini, gerçek ölçüm bilgilerinin saklandığı Meteonorm veri bankasından almaktadır. Dünya’da ve Türkiye’de bulunan meteonorm istasyonları Şekil 2.5. ve 2.6.’da gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Dünya’daki meteonorm istasyonları



Şekil 2.6. Türkiye’deki meteonorm istasyonları

2.2.1. Sistem Tasarımı

İlk olarak sistemin kurulacağı saha ve sahaya ait özellikler PVsyst programında belirlenmektedir. Seçilen güneş tarlasını PVsyst programı ile bölgeye ait bilgileri ve uydu

görüntüsü Şekil 2.7’de yer almaktadır. Ayrıca belirlenen arazi Google Maps veri tabanıyla belirlenerek mesafe ölçümü yapılmıştır (2.8).



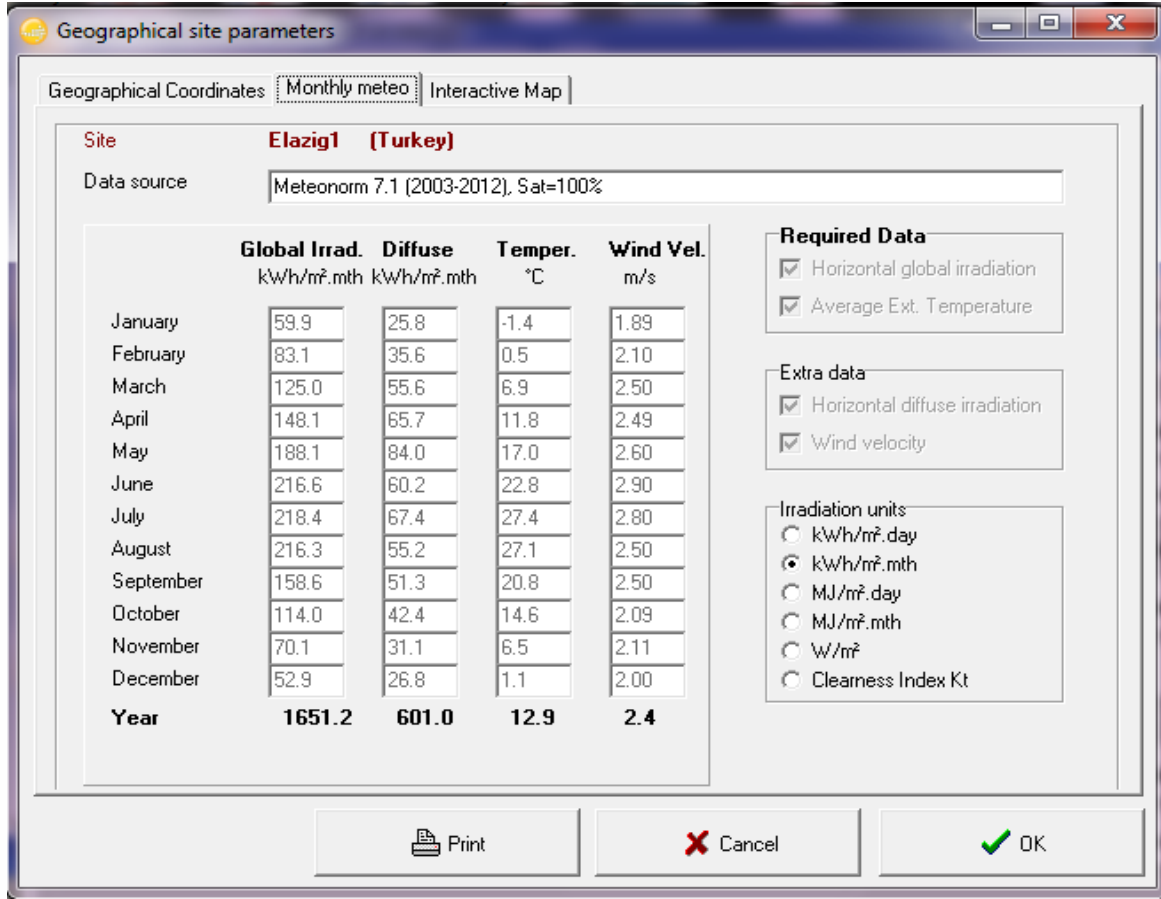
Şekil 2.7. Seçilen bölgenin PVsyst programında uydu görüntüsü



Şekil 2.8. Güneş tarlasının sınır alanı görünümü

Simülasyonu yapılacak güneş tarlası 38.62,39.1 koordinatlarında 1081 m deniz seviyesinden yüksektir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi sistemin kurulması planlanan arazi 20 dönümlük (200x100) olup Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi Kampüsü içerisinde yer almaktadır.

Bu çalışmada, tesisin kurulacağı alan seçiminin ardından PVsyst programında bölgeye ait ışınlam değerleriyle güneş enerji Potansiyel Atlası (GEPA) yer alan ışınlam ve diğer meteorolojik değeri karşılaştırılarak, seçilen bölgenin uygunluğunun sağlanması yapılmıştır.



Şekil 2.9. Aylara göre ışınlm, sıcaklık ve rüzgar değeri

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi aylara göre ışınlm değeri toplamı 1651,2 kWh/m².yıl değerindedir. Elazığ iline ait GEPA’na bakıldığında bu ışınlm değeri Elazığ genelinde 1600-6500 kWh/m².yıl iken bazı kısımlarında 1650-17002 kWh/m².yıl değerindedir. Seçtiğimiz bölge Elazığ ortalamasının üzerinde bir ışınlm değerine sahiptir. Sistemde rüzgar değeri 2,3 m/s değeriyle fazla rüzgarlı olmasa da sistem performansını da olumsuz etkileyecek kadar düşük bir yer değildir. Fakat özellikle bu rüzgar değeri 5 m/s veya 6 m/s değerlerinde olsaydı sistemde daha fazla verim elde edebileceğini söylemek doğru olabilirdi.

Pürüzlü bir yüzeyden yansıyan ışığın bu yüzeye düşen ışığa oranına albedo denilmektedir. Bu terim, özellikle ay ve gezegenlerden yansıyan ışık kastedilerek kullanılmaktadır. Karla kaplı yüzeyler için albedo değeri 0,80 e kadar çıkmaktadır. Fakat dik yüzeyler hariç simülasyonda düşük bir etkiye sahiptir. Sistemde yüzeyin yansıtma oranı yani albedo değeri yaygın olarak 0,2 seçilmektedir. Sistemde mutlak voltaj sınırı için en düşük sıcaklık -10°C, kış aylarındaki maksimum voltaj gerilimindeki tasarımın en

yüksek sıcaklığı 20°C, 1000 W/m altında normal çalışma sıcaklığı 50°C ve yaz aylarında maksimum voltaj geriliminin en yüksek sıcaklık 60°C olarak belirlenmiştir.

Lower temperature for Absolute Voltage limit: -10 °C ☒ Default

Winter operating temperature for VmppMax design: 20 °C ☒

Usual operating temperature under 1000 W/m: 50 °C ☒

Summer operating temperature for VmppMin design: 60 °C ☒

Limit overload loss for design: 3.0 % ☒

Albedo values ?

Monthly values

Jan.	0.20	July	0.20
Feb.	0.20	Aug.	0.20
Mar.	0.20	Sep.	0.20
Apr.	0.20	Oct.	0.20
May	0.20	Nov.	0.20
June	0.20	Dec.	0.20

Set a common value

Common value: 0.20

(Default: albedo = 0.2)

☒ Set

Usual values for albedo

Urban situation	0.14 - 0.22
Grass	0.15 - 0.25
Fresh Grass	0.26
Fresh snow	0.82
Wet snow	0.55 - 0.75
Dry asphalt	0.09 - 0.15
Wet asphalt	0.18
Concrete	0.25 - 0.35
Red tiles	0.33
Aluminium	0.85
New galvanised steel	0.35
Very dirty galvanised steel	0.08

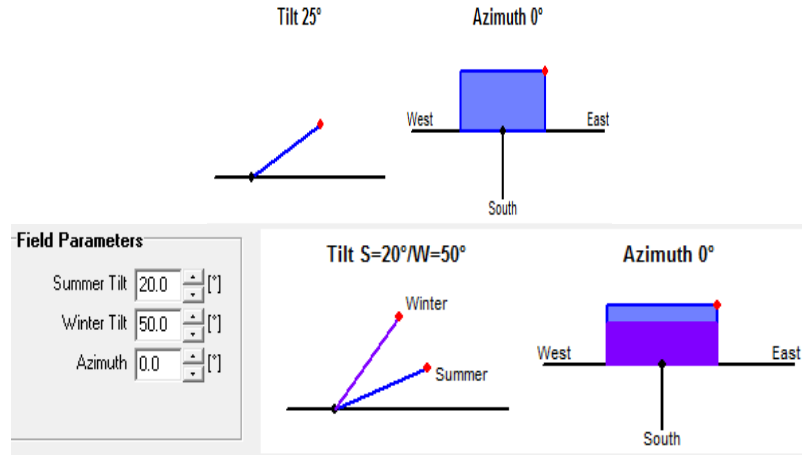
Şekil 2.10. Albedo ve tasarım parametreleri

2.2.1.2. Panellerin Yönelimi

Tasarım parametreleri ve alan seçiminin yapılmasının ardından en önemli seçim panellerin yönlendirilmesidir. Panellerin konumlandırılması ve açısı arazinin tipine, seçilen bölgenin özelliklerine ve maliyet esasına göre çeşitlilik göstermektedir. PVsyst programında bununla ilgili birçok seçim vardır.

2.2.1.2.1. Sabit Eğimli Yüzey

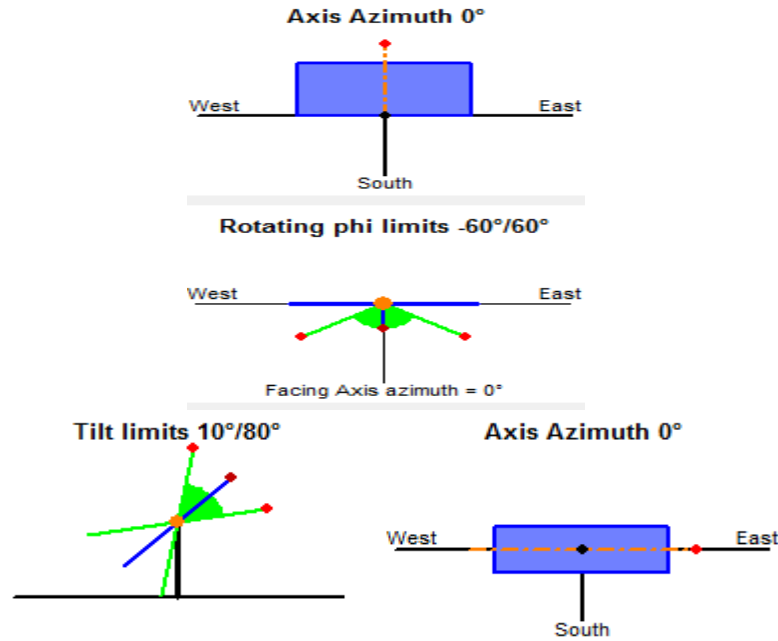
Panelin eğim açısı ile kuzey açıklık açısı (azimuth açısı) sabittir. Program, panellerin sabit konumlu olduğu durumda, eğim açısı ile kuzey açıklık açısının yaz ve kış mevsimleri için ayrı ayrı ayarlandığı yönlendirme seçeneği sunmaktadır.



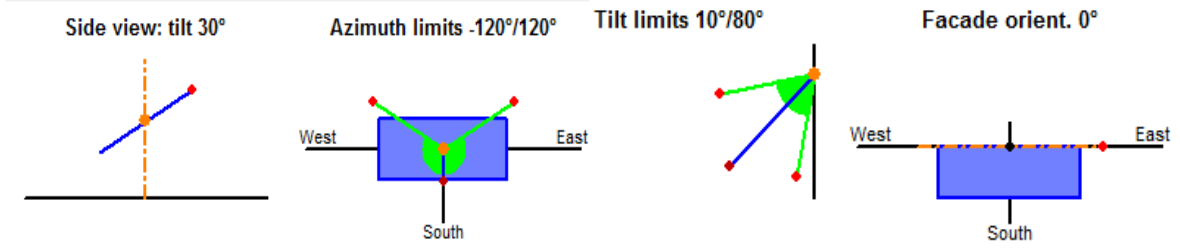
Şekil 2.11. Sabit eğimli yüzey seçimi

2.2.1.2.2. Panellerin İki Eksende İzlemesi

Panelleri iki yönde hareket ettiren izleme sisteminin olduğu durumda, izleme sisteminin mekanik olarak taranacak açı sınırları belirtilmektedir. Programda sınırlar, eğim açısı için 10^0 - 80^0 aralığında, kuzey açıklık açısı için $\pm 80^0$ aralığı arası seçilebilmektedir. Ayrıca diğer bir seçimde dikey eksenli takip mekanizmasıyla kollektörler dikey bir eksen tarafında dönen bir destek üzerinde, sabit bir eğimle monte edilmiştir.



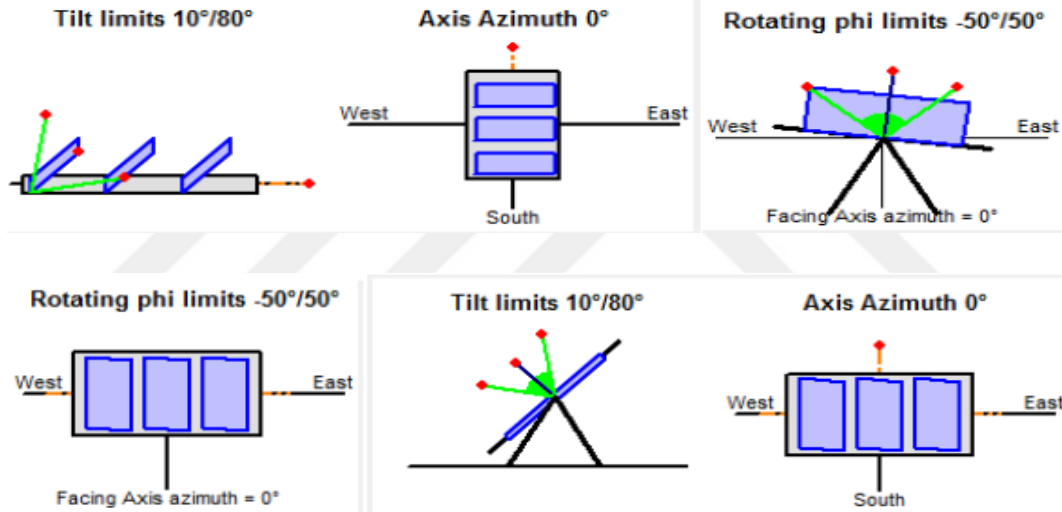
Şekil 2.12. İki eksende izlenilen paneller



Şekil 2.12. İki eksenli izlenilen paneller

2.2.1.2.3. Panelleri Gruplayarak İki Eksenli İzleme

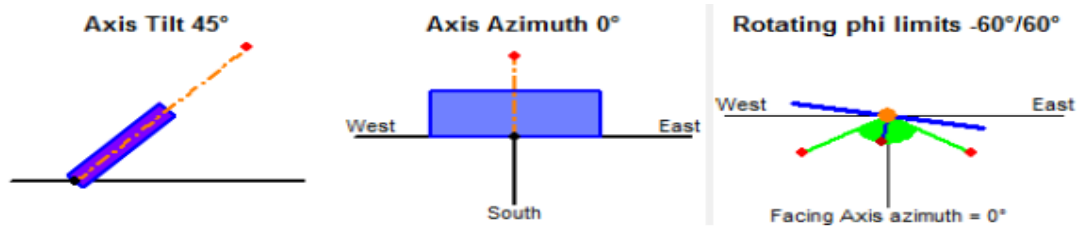
Paneller bir çerçeve içinde dönecek şekilde yerleştirilir. İki şekli vardır: ilkinde çerçeve kuzey güney yönünde, diğerinde ise çerçeve doğu batı yönünde yönlendirilmektedir. Güneşin azimut açısına göre takip yapılmaktadır.



Şekil 2.13. Panellerin gruplandırılarak 2 eksenli izlenmesi

2.2.1.2.4. Tek Eksenli İzleme

Panelleri Sabit Eğimli Konumlandırıp, Azimut Açısı değiştirilerek izleme.



Şekil 2.14. Panellerin tek eksenli izlenmesi

Bu çalışmada FV sistem tasarımlarında sabit eğimli yüzey seçilmiştir. Panel açısı 25° olarak seçilip azimuth açısı 0° yani güneye yönlendirilmiştir. Panel açısının optimizasyonu yapılmıştır. Genellikle literatürlere bakıldığında 30° 'lık bir değer optimum açı olduğu tespit edilmiştir. Fakat bu değer sınırsız aralıklar için uygun bir değerdir. 25° ve 30° için verimlilik sonuçları aşağıda Şekil 2.15 ve Şekil 2.16 gösterilerek en uygun açının 25° olduğuna karar verilmiştir.

Main results	
System Production	1757 MWh/yr
Specific prod.	1551 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.830

Şekil 2.15. 25° için sistem analiz sonuçları

Main results	
System Production	1751 MWh/yr
Specific prod.	1546 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.823

Şekil 2.16. 30° için sistem analiz sonuçları

Şekil 2.15. ve 2.16'da görüldüğü gibi panel açısının 25° olması durumunda yılda 1757 MWh/yıl üretim yapmakta iken 30° olduğunda 1751 MWh/yıl üretim yapmakta ve sistem performans oranı 0,007 daha fazla olmaktadır. 25° ile fazladan üretilen 6 MW ekonomiklik açısından da yıllık 1000 \$ fazla gelir getirmektedir.

2.2.2. Sistem İçin Gerekli Tasarım Parametrelerinin Seçimi

Simülasyonu yapılacak projenin detaylarının belirlendiği, sistemin ana kilit noktası olan bu kısım özellikle dikkat edilmesi gereken ve sürekli deneme yanılma yoluyla en iyi ekipman seçilmesini sağlayan kısımdır. Tasarlanması planlanan sistem gücü 1MW olarak belirlenmiştir. Bunun için özellikle panel ve inverter seçimine dikkat edilmesi gerekmektedir. Tezin daha önceki bölümlerinde sistem ekipmanlarının görevi ve uygunluğun belirtilmiştir.

2.2.2.1. Panel Seçimi

Öncelikle panel seçilirken dikkat edilmesi gereken kurulu arazi gücüne uygun güçte bir panel seçilmesidir. Bu çalışmada 260 Wp JinkoSolar JKM260PP-60 markasına ait polikristal marka modül seçilmiştir. PVsyst programının veri bankasında hemen hemen bütün firmalara ait ve o firmanın bütün güce sahip panelleri yer almaktadır. Jinko seçilmesinin nedeni sıcaklığa bağlı güç kaybının düşük olmasıdır. Şekil 2.17'de panel firmasına ait katalog değerleri ve özellikleri gösterilmektedir.

TEKNİK ÖZELLİKLER

Modül Tipi	JKM255P		JKM260P		JKM265P		JKM270P		JKM275P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maksimum güç çıkışı (Pmax)	255Wp	189Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp	270Wp	201Wp	275Wp	205Wp
Voltaj (Vmp)	30.8V	28.6V	30.9V	28.7V	31.2V	29.0V	31.4V	29.3V	31.6V	29.6V
Akım (Imp)	8.28A	6.60A	8.42A	6.71A	8.50A	6.78A	8.60A	6.85A	8.70A	6.93A
Açık devre gerilimi (Voc)	37.8V	35.0V	37.9V	35.1V	38.2V	35.4V	38.4V	35.6V	38.5V	36.0V
Kısa devre akımı (Isc)	8.96A	7.21A	9.10A	7.32A	9.19A	7.39A	9.28A	7.45A	9.40A	7.54A
Modül verimi (%)	15.58%		15.89%		16.19%		16.50%		16.80%	
Nominal çalışma hücre sıcaklığı aralığı(°C)					-40°C~+85°C					
Maksimum sistem voltajı (Vdc)					1000VDC (IEC)					
Maksimum seri sigorta oranı (A)					15A					
Pozitif Enerji toleransı					0~+3%					
Pmax sıcaklık katsayısı					-0.40%/°C					
Voc sıcaklık katsayısı					-0.29%/°C					
Isc sıcaklık katsayısı					0.05%/°C					
Nominal çalışma hücre sıcaklığı (NOCT)					45±2°C					

STC:  1000W²/m Işıma

 25°C hücre sıcaklığı

 AM=1.5

NOCT:  800W²/m Işıma

 20°C ortam sıcaklığı

 AM=1.5

 1m/s rüzgar hızı

Şekil 2.17. Panel teknik özellikleri

STC(standart test koşulları): Akım - Gerilim eğrilerinin ölçümlerinin, hücre veya panele dikey 1.000 W / m² ışıma değerinde, 25°C solar hücre sıcaklığı derecesinde ve AM 1,5 güneş spektrumunda yapılması.

NOCT(Nominal test koşulları): U Akım - Gerilim eğrilerinin ölçümlerinin, hücre veya panele dikey 800 W / m²; 600 W / m²; 400 W / m² ve 200 W / m² ışıma değerlerinde, 20°C çevre sıcaklığı derecesinde, 1m/s rüzgar hızında ve AM 1,5 güneş spektrumunda yapılması.

Son zamanlarda polikristal panellerden elde edilen verim giderek artmaktadır. Ayrıca polikristal paneller daha fazla üretilmeye başlanmıştır. Daha önceki bölümlerde monokristallerin verim olarak multikristal (polikristal) daha yüksek sonuçlar verdiği görülmeye rağmen fiyat olarak çok yüksek olması firmaların polikristal özelliklerini iyileştirmeye yönlendirmiştir. İnce film panellerin özellikle sıcaklık arttıkça ve gölgelenme oranı yüksekse diğer panellere göre daha az verim düşümü görülmektedir. Fakat Türkiye'deki ortalama sıcaklık 40°C civarındadır ve bu değer 55°C -60°C değerlerine

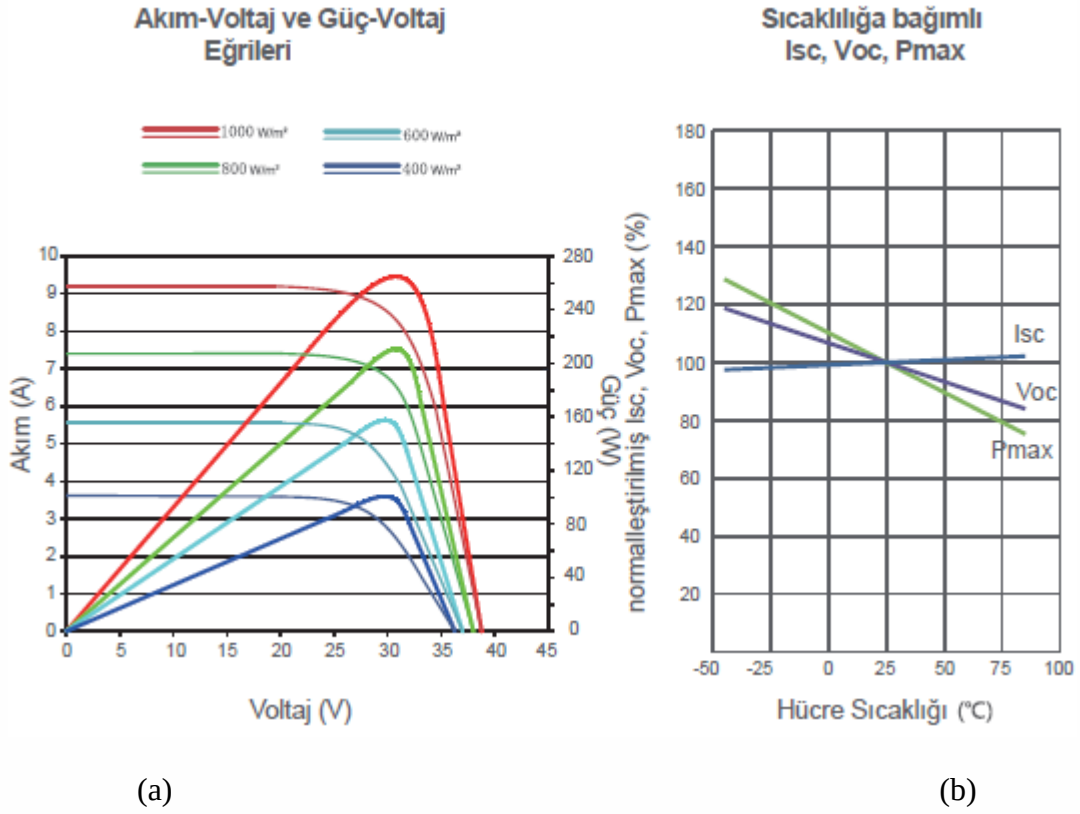
ulaşmamaktadır. Ekonomik anlamda pahalı olan bu filmin Türkiye’de sıcaklık nedeniyle kullanılması gereksizdir. İleri bölümlerde de görüldüğü gibi gölgelenme konusunda da sistem tasarımı yaparken bataryalar arası optimum mesafe belirlendiği için ince film kullanılmasına gerek görülmemiştir.

Şekil 2.17’de panele ait normal operasyon ve standart test koşullarındaki özellikleri firma katalogunda gösterilmiştir. Burada panelin nominal çalışma hücre sıcaklığı 45⁰C’dir. Bu çalışma sıcaklığında 45⁰C’nin üzerindeki her 1⁰C için panelde 0,40 kayıp meydana gelmektedir. Panelin maksimum güç üretimi standart koşullarda 260 Wp iken, nominal test koşullarında 193 Wp değerindedir. Diğer panellerde yapılan kıyaslamalar neticesinde JİNKO260P paneline karar verilmiştir. Panelin teknik özellikleri Şekil 2.18’de gösterilmektedir.

Mekanik özellikler	
Hücre Tipi	Monokristalin 156×156mm (6 inç)
Hücre sayısı	60 (6×10)
Boyutlar	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inç)
Ağırlık	19.0kg (41.9 lbs.)
Ön cam	3,2mm et kalınlık, yüksek transmisyon dereceli, düşük demir ihtivası eden temperlenmiş cam
Çerçeve	Eloksallı Alüminyum
Bağlantı kutusu	Koruma Sınıfı IP67
Çıkış kablosu	TÜV 1 x 4.0mm ² , Uzunluk: 1200mm, Konnektör: MC4

Şekil 2.18. Panel Mekanik Özellikleri

Panele ait özelliklerin çalışma şartlarına ait özellikleri grafiksel gösterimi Şekil 2.19’daki gibidir.



Şekil 2.19. a. Panelin akım-voltaj ve güç voltaj eğrisi **b.** Panelin sıcaklığa bağlı değişimleri

Şekil 2.19.a'daki akım-voltaj grafiğinin kesiştiği nokta güç değerini vermektedir. Yani akım 9A iken voltaj 30 V ise güç yaklaşık olarak 270 W değerindedir. Bu değer $Akım \times Voltaj = Güç$ formülüne göre de sağlamasının doğru olduğunu göstermektedir. Şekil2.19.b.'deki grafikte sıcaklığa bağlı panel performansı hakkında bilgi vermektedir. Sıcaklık 25°C olduğunda bütün değerler optimum olmuştur.

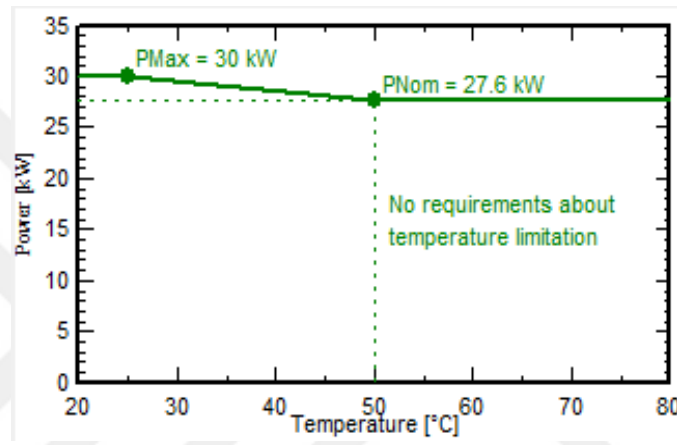
Isc (Kısa devre akımı): Hücrenin veya panelin artı ve eksi güç çıkışlarının yüksüz olarak direkt kısa devre edilmeleri durumunda akan akım değeridir. Sıcaklık arttıkça kısa devre akım değeri de artmaktadır.

Voc (Açık devre gerilimi): Bu gerilim, hücre veya panelin standart test koşulları altında artı ve eksi çıkış uçları arasında herhangi bir yük yokken, yani herhangi bir akım akmazken ki ölçülen açık devre gerilimidir. Sıcaklığın 25°C değerinin üzerine çıkması durumunda açık devre gerilimi düşmektedir.

P_{max}(Panelin ürettiği güç): Sıcaklığın 25°C'nin üzerine çıkması durumunda Güç değeri düşmektedir. Fakat akım az miktarda da olsa artıp gerilim azaldığı ve güç de akım ve gerilim değerinin çarpımına eşit olduğu için güç düşümü daha fazla olmaktadır.

2.2.2.2. İnverter Seçimi

Sistem içinde kullanılması tasarlanan inverter seçilirken program 2 seçenek sunmaktadır. İnverter tipinin string yada merkezi olması konusunda karar verilmesi gerekmektedir. Merkezi inverter daha az kayıp ve daha fazla üretim sağlamasına rağmen sistemde hata olması durumunda bölgenin tamamı kaybedilmektedir. String inverterde sistemdeki herhangi bir arıza veya yanlışlık durumunda lokal bölgede kayıp oluşmaktadır. Bu nedenle string seçim yapılarak Power-One marka 28kW gücünde inverter seçilmiştir. Şekil 2.20’de inverterin çalışma sıcaklığına bağlı ürettiği güç gösterilmiştir.



Şekil 2.20. İnverter çalışma sıcaklığı ve güç grafiği

Şekil 2.20’de görüldüğü gibi çalışma sıcaklığı 25°C’de 30 kW güç üretirken sıcaklık arttıkça buna bağlı verim düşerek ve 50°C’den itibaren artık 27,6 kW enerji üretebilmektedir.

Sistem tasarımı için panel ve inverter tipi, gücü ve markasının seçilmesinin ardından sistem kurulumu gerçekleştirilerek inverter ve panelin birbiriyle uyumlu çalışması sağlanır. Bunun için PVsyst programında şekil 2.21’de görüldüğü gibi seçilecek ekipman sayısı ve meydana gelebilecek güç tasarımı yapılmıştır.

Grid system definition, Variant "New simulation variant"

Global System configuration
 1 Number of kinds of sub-arrays
 ? Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	4356	Nominal PV Power	1133 kWp
Module area	7130 m ²	Maximum PV Power	1101 kWdc
Nb. of inverters	33	Nominal AC Power	911 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation
 Name PV Array
 Orient. Fixed Tilted Plane
 Tilt 25°
 Azimuth 0°

Presizing Help
☐ No Sizing
 Enter planned power 1132.6 kWp
☐ ... or available area 7130 m²

Select the PV module
 Available Now Sort modules ☒ Power ☐ Technology
 Jinkosolar 260 Wp 26V Si-poly JKM 260PP-60 Since 2013 Manufacturer 2C Open
 Sizing voltages : Vmpp (60°C) 26.1 V
 Voc (-10°C) 42.6 V
☐ Use Optimizer

Select the inverter
 Available Now Sort inverters by: ☐ Power ☐ Voltage (max)
 Power-One 28 kW 175 - 800 V TL 50 Hz TRIO-27 6-TL-OUTD-S2X-400 Since 2012 Open
 Nb. of inverters 33 Operating Voltage: 175-800 V Global Inverter's power 911 kWac
☐ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 1000 V **Inverter with 2 MPPT**

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series 22 between 7 and 23
 Nbre strings 198
 Overload loss 0.2 %
 Pnom ratio 1.24 Show sizing
 Nb. modules 4356 Area 7130 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 574 V
 Vmpp (20°C) 693 V
 Voc (-10°C) 938 V
 Plane irradiance 1000 W/m²
 Imp (STC) 1681 A
 Isc (STC) 1805 A
 Isc (at STC) 1778 A

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant)
☐ Max. in data
☒ STC
 Max. operating power 1015 kW at 1000 W/m² and 50°C
Array nom. Power (STC) 1133 kWp

System summary Cancel OK

Şekil 2.21. Sistem seçimi ve teknik bilgileri

Sistemde 22 adet panel seçilmiştir ve zaten teknik bilgi ekranında “design the array” bölümünde de görüldüğü gibi en fazla 7 ile 23 adet panel birbirine seri bağlanabilmektedir, modül sayısını artırmak her zaman avantaj olmaktadır. Bu nedenle seçilebilecek en yüksek

seri bağı panel sayısına karar verilmiştir. Az sayıda panel bağlanması halinde, akşam saatlerinde yani güneş ışığının az düştüğü zamanlarda voltajın daha az gelmesi anlamına gelmektedir. Voltajın az olması da inverterin çalışma aralığı dışında kalması demektir. 22 adet panel bir dizide seri olarak bağlanarak toplamda 198 dizi oluşturulmuştur. 1 MW'lık tesis için toplamda 33adet yaklaşık 30 W gücünde inverter bağlanarak teoride 990 W'lık güç elde edilmektedir bu değer tasarlanması planlanan tesis için yeterli ve gerekli inverter sayısı ve gücüdür.

Şekil 2.21'de yer alan veriler incelenirse; sistem verimi %24'tür ve bu değer yüksek olması büyük avantajdır. Yapılan optimizasyonlarla uygun panel ve inverter uyumu sonucunda seçilebilecek en yüksek verim değeri elde edilmiştir. Sistemde toplam 4356 adet panel kullanılarak kapladığı alan 7130 m² olarak tespit edilmiştir. Sistem yalnız panel inverter seçimiyle 1133 kWp enerji üretmiştir. Sistemde fazla ve az yükleme durumunda simülasyon ekranında sağ alt köşede mavi alanda kırmızı yazı renginde uyarı vermektedir, Şekil 2.21'de yer alan ekran resminde böyle bir uyarının olmaması sistemde herhangi bir sıkıntının olmadığını göstermektedir. V_{mpp}, yani maksimum güç voltajı Standart Test Koşulları altında maksimum enerji verimi sağlanan voltaj seviyesini ifade etmektedir. Bu değer programda “operating conditions” bölümünde 60°C'de V_{mpp} 574V, 20°C'de 693 V olarak gösterilmektedir. Bu değer doğruluğunun göstergesi olarak “operating voltage” değerini sistem 175-800 V olarak belirlemiştir. Şekil 2.21'de görüldüğü gibi bulduğumuz maksimum güç voltaj değerleri bu değerler arasındadır ve sistemde herhangi bir sorun çıkmamaktadır. Sistem açık devre gerilimi(V_{oc}) değeri -10°C'de 981 V değeri bulunmuştur. Bulunan bu değer 1000V'un altında olması sistem doğruluğunun kanıtıdır. Çünkü 1000 V'un üzerinde bir değer çıksaydı sistem açık devre geriliminden dolayı fazla potansiyel fark sebebiyle modülün yanmasına sebep olabilirdi.

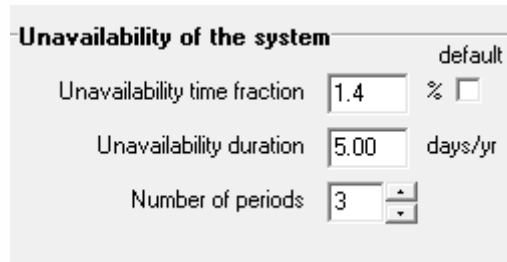
2.2.3. Sistem Kayıplarının Belirlenmesi

Yapılan analizin ekipmanlarının seçiminin ardından, bir sonraki aşama sistem kayıplarının belirlenmesidir. Öncelikle sistem tasarımında ve verim için önemli olan soğutma ve havalandırma seçimidir. Tasarlanan sistem açık arazide ve yere konumlandırıldığı için doğal havalandırma seçilmiştir. Bunun için sistemde bir kayıp girdisi yapılmasına gerek kalmamaktadır. Ardından sistemde olması muhtemel kablo kayıpları toplamda %3,5, bunun %2,5'luk kısmını AC ve DC kayıpları, geri kalan %1'lik kısmını da trafo kaybı oluşturmaktadır. Tasarlanan sistemin açık havada olması toz partikül

oranının da belirlenmesini gerektirmektedir. Belirlenen alan şehir merkezi dışında olduğu için bu değer %1 olarak belirlenmiştir. Şehir merkezi olması halinde %2, sanayi bölgesinde ve şehir merkezinde olması durumunda %3 gibi değerler vermek mümkündür.

Sistem kurulduğu anda inverterler modüllerden aldığı enerjiyi çalıştıran elemanlar değildir. İnverterlerin kendi içinde enerji ihtiyaçları bulunmaktadır ve buna gece çalışma sıcaklığı da denilmektedir. Yani gece çalışırken inverter ne tüketiyor sorusunun cevabıdır. Seçilen Power-One marka 28 kW gücünde inverterin 8W değerinde bir kaybı olmaktadır. Sistemde 33 adet inverter için 264 W'lık gece çalışma kaybı meydana gelmektedir.

Tasarlanan yerin şartlarının da göz önünde bulundurulmasıyla bakım şebeke kesintisi için sisteme yılda kaç defa ve ne kadar süre bakım yapıldığı için kesintinin olacağı konusunda sistem kaybının girilmesi gerekmektedir. Bunun için bakım dışında şebeke kesintilerini de göz önünde bulundurarak yılda 5 defa 3'er günlük sistem bakım onarım ve şebeke kesintisi kaybı programa eklenmiştir.



Unavailability of the system

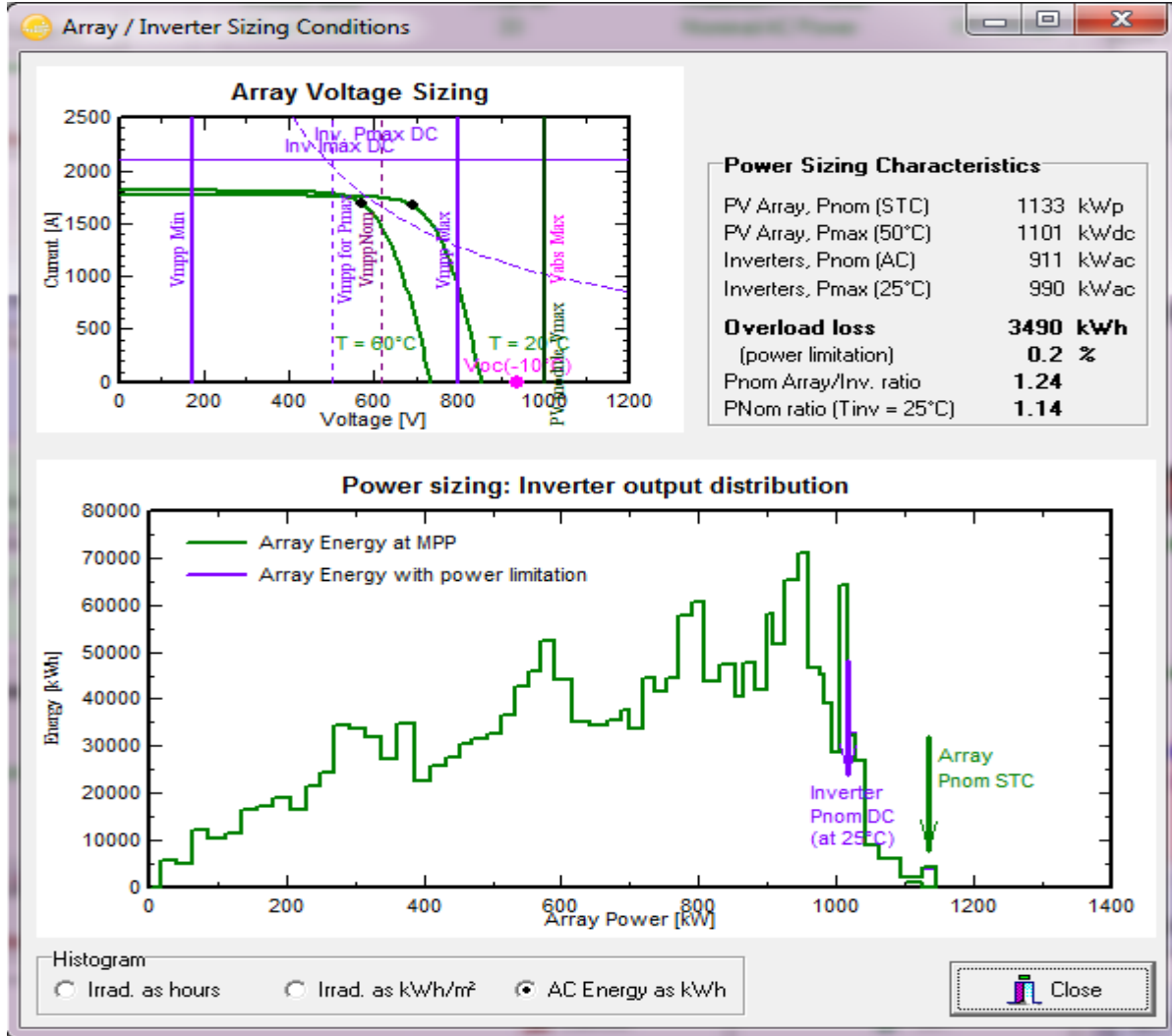
Unavailability time fraction: 1.4 % ☐ default

Unavailability duration: 5.00 days/yr

Number of periods: 3

Şekil 2.22. Sistem bakım onarım kaybı değerleri

Yapılan panel ve inverter yüklemesi sonucunda boyutlandırma koşullarına göre inverter ve panel uyum grafiği şekil 2.23'teki gibidir.

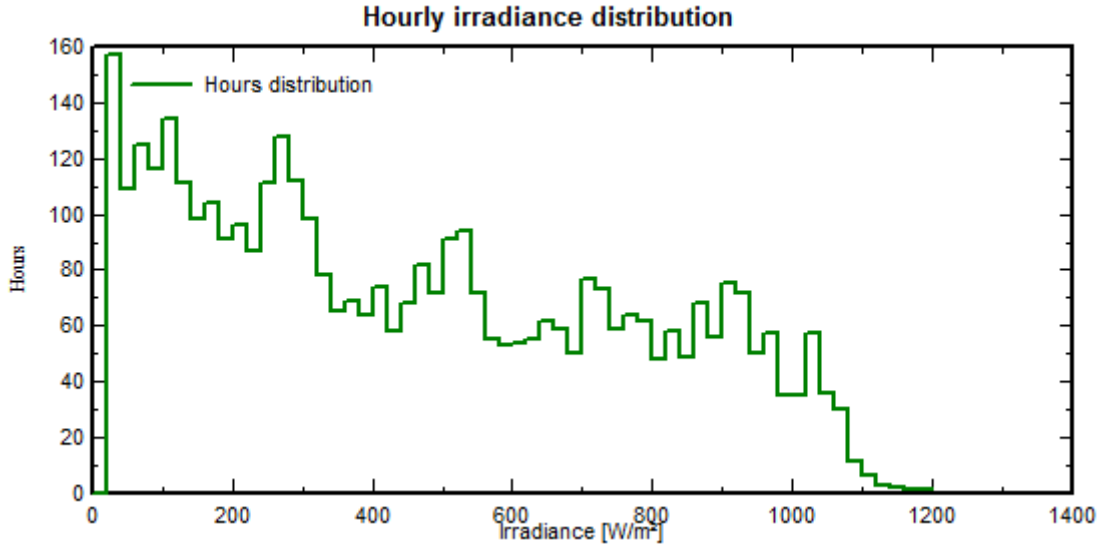


Şekil 2.23. İnverter ve panel uyum grafiği

Şekil 2.23'te görüldüğü gibi "power sizing characteristics" başlığı altında sistemdeki panel standart test koşullarında nominal güç olarak 1133 kWp yüklendiği fakat 50°C sıcaklıkta bu değer en fazla üretebildiği güç 1101 kWp olmaktadır. Aynı şekilde inverter çıkışında ve 50°C sıcaklıkta 911 kW AC akım üretmekteyken 25°C sıcaklıkta bu değer 990 kW AC akıma ulaşmaktadır. Grafiğe bakıldığında akım sabit kalmasına rağmen voltajın düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni sıcaklıktır. Sıcaklık 60°C olduğunda gerilim 700 V ile 800 V arasına sıkışmasına rağmen 20°C'de gerilim değeri daha yükselerek 800 V ile 1000 V arasına sıkışmaktadır.

İnverter çıkışındaki güç dağılımı grafiğinde de daha önce sistem tasarım giriş ekranında da belirtildiği gibi 1000 kW'lık bir limit değeri vardır. Yeşil çizgiler farklı zaman aralıklarında elde edilen farklı güçlerin en yüksek olduğu anlar tespit edilerek,

mikro denetleyici ve algoritmalar sayesinde değerleri dizi haline getirmektedir. Mor renkteki çizgi 1000 kW'ta limit koyulduğunu ve bu değerden sonra verim düşümüne uğradığını göstermektedir. Şekil 2.24'te radyasyonun metrekareye göre saatlik ışıınım dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.24. Saatlik ışıınım dağılımı

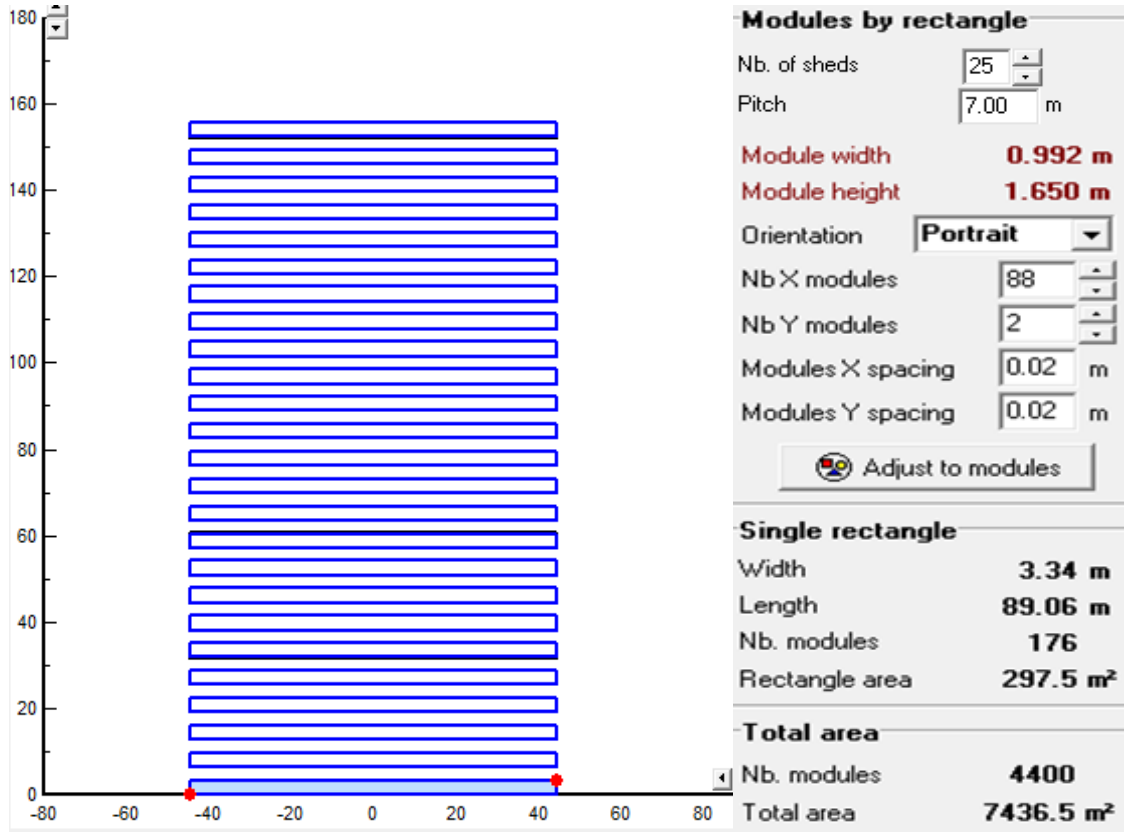
Şekil 2.24'te saatlik ışıınım dağılımına bakıldığında 0-50 W/m² ışıınım dağılımı, yılda yaklaşık 158 saat iken ardından 100 W/m² ve 300 W/m² ışıınım şiddetleri sırasıyla yaklaşık 135 ve 130 saatlik radyasyon oluşturmuştur. 1000 W/m² den sonra yılda çok az bir süre bu ışıınım dağılımı görülmüştür. Özetle yüksek radyasyonun geldiği sürenin daha düşük olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

2.2.4. Saha Yerleşim ve Tasarımı

Saha belirlenip, güneşlenme değerleri tespit edilip uygunluğunun kesinleşmesi ve sistem ekipmanlarının seçilmesinin ardından, sistemde herhangi bir hata meydana gelmiyorsa seçilen panellerin dizilimi bütün bu aşamalardan sonra en önemli kısımdır. Sistem veriminde en önemli parametrelerden birinin de gölgelenme olduğu daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Panel ve azimuth açısının netleştirilmesi, panel yerleşimiyle doğru orantılıdır. Panel açısının 25⁰ olması, bataryalar arası mesafenin iyi ayarlanmasını gerektirmektedir.

Tasarım başında güce göre 4356 adet panel belirlenmiştir. Bu paneller dikey olarak masa üzerine dizilmektedir. Dar alanlarda gölgelenmenin fazla olacağı durumlarda mecburen yatay dizilim tasarımı yapılmaktadır. Yatay dizilimle verim her ne kadar artsa da

konstrüksiyon maliyeti oldukça fazladır. Bu tezde 20 dönümlük arazi kullanılmıştır. Genellikle tasarımı gerçekleşen saha örneklerine de bakıldığında en az 20 dönümlük arazi zorunluluğu olduğu için gölgelenme konusunda herhangi bir sıkıntı görülmemektedir. Şekil 2.25.'te saha yerleşim değerleri görülmektedir.



Şekil 2.25. Saha yerleşim özellikleri

Şekil 2.25'te görüldüğü gibi 100x200m alanına sahip 1MW gücündeki güneş tarlasında toplam 25 sıra, her sırada dikey yani y yönünde 2 panel , x yönünde 88 panel mevcuttur. Her sırada 176 panel yerleştirilmiştir. Seçilen panelin genişliği 0,992 m, uzunluğu 1650 m'dir. Bir sırada oluşturulan dikdörtgen uzunluğu 89,06 m yükseklik 3.34 m, toplam alan 297,5m² olarak gösterilmiş ve bunun gibi 25 adet sıra mevcuttur. Panel sayısı bu dizilime göre 4400 çıksa da tasarım yapıldıktan sonra fazla panelleri sil sekmesi tıklanınca sistem hesaplandığı panel sayısı olan 4356 değerini tekrar almaktadır. Panellerin kapladığı toplam alan 7436,5 m²'dir.

2.2.5. Gölgeleme Analizi ve Sonuçlar

Başından beri sırasıyla takip eden simülasyon aşamalarından, saha yerleşiminden sonra gölgeleme analizi için sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 2.26'da ışınlanmaya ait doğrusal gölgeleme tablosu verilmiştir.

Shading factor table (linear), for the beam component

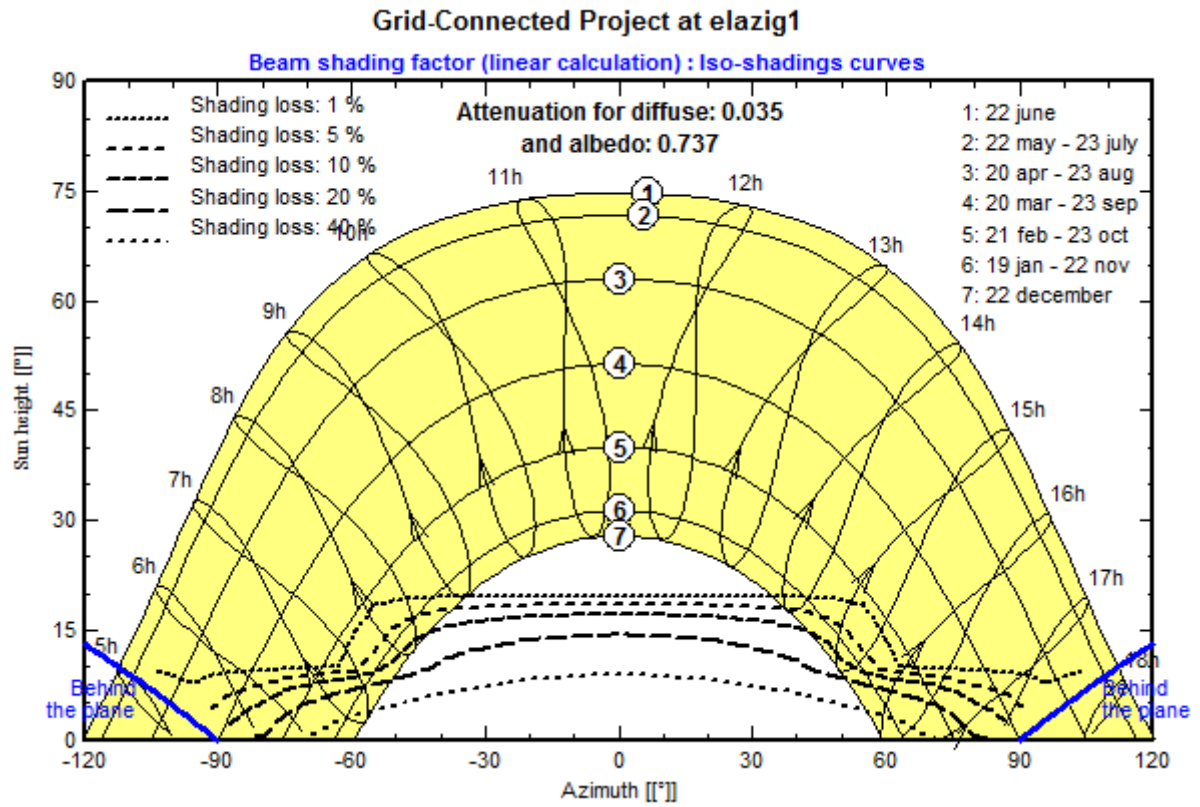
Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
Height																			
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	Behind	Behind	Behind	0.000	0.000	0.000	0.009	0.222	0.322	0.357	0.322	0.222	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	Behind	Behind
2°	Behind	Behind	Behind	Behind	0.000	0.204	0.597	0.722	0.781	0.811	0.781	0.722	0.597	0.204	0.000	Behind	Behind	Behind	Behind

Shading factor for diffuse: 0.035 and for albedo: 0.737

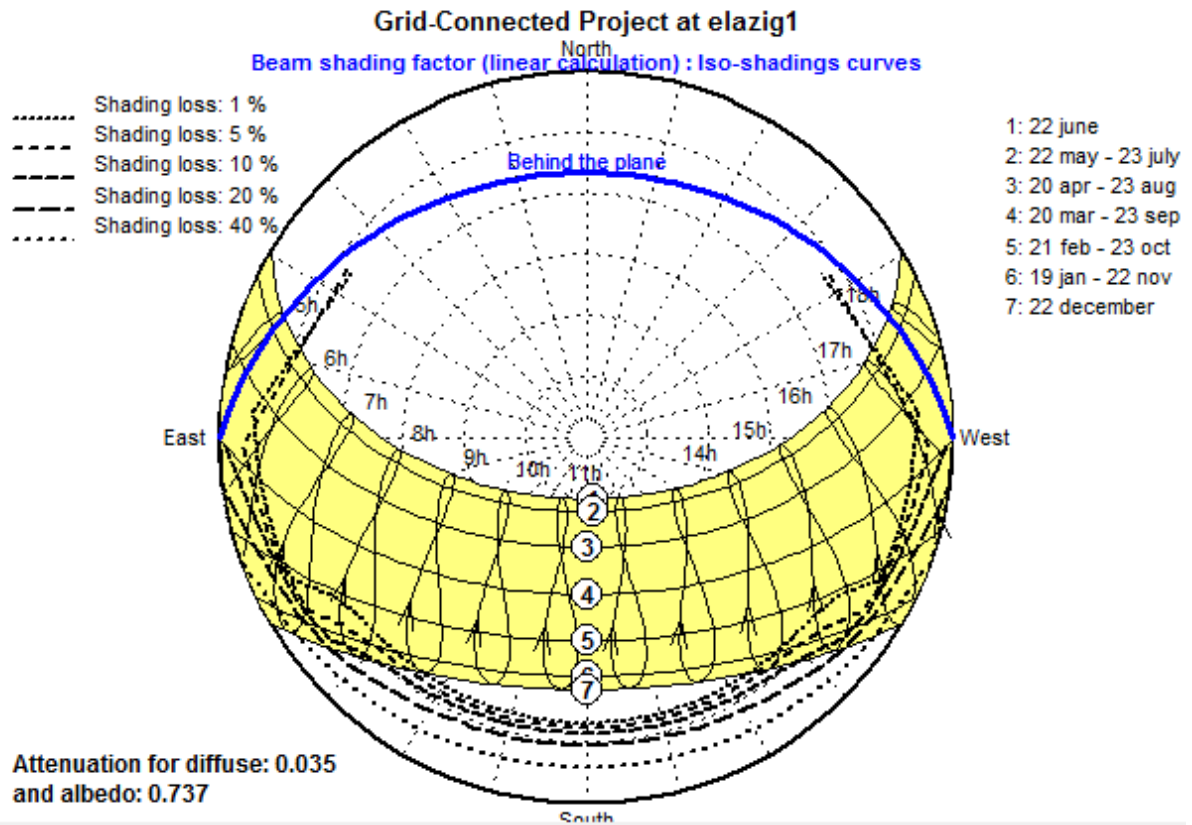
Şekil 2.26. Işınlamaya ait doğrusal gölgeleme değerleri

Güneşin geliş açısına göre gölgeleme değeri şekil 2.26'da görülmektedir. Tasarlanan sistem 0° azimuth açısına sahip olduğu için bu sütundaki gölgeleme değerleri, güneşin geliş açısının 10° olması durumunda gölgeleme %35, 2° olduğunda ise %81 olduğu görülmüştür. Güneşin zaten 10° ile gelmesi batmak üzere olduğunu hatta 2° olduğunda artık battığı düşünülecek olursa çıkan bu sonuç oldukça doğrudur. Dağılan gölgeleme faktörü 0,035 ve gölgelemedeki yansıtma faktörü 0,737 olarak bulunmuştur.

Gölgelemeyle ilgili saatlik bilgi alınması için, düzlemsel ve polar koordinatlardaki horizon grafiği Şekil 2.27 ve 2.28'de gösterilmektedir.



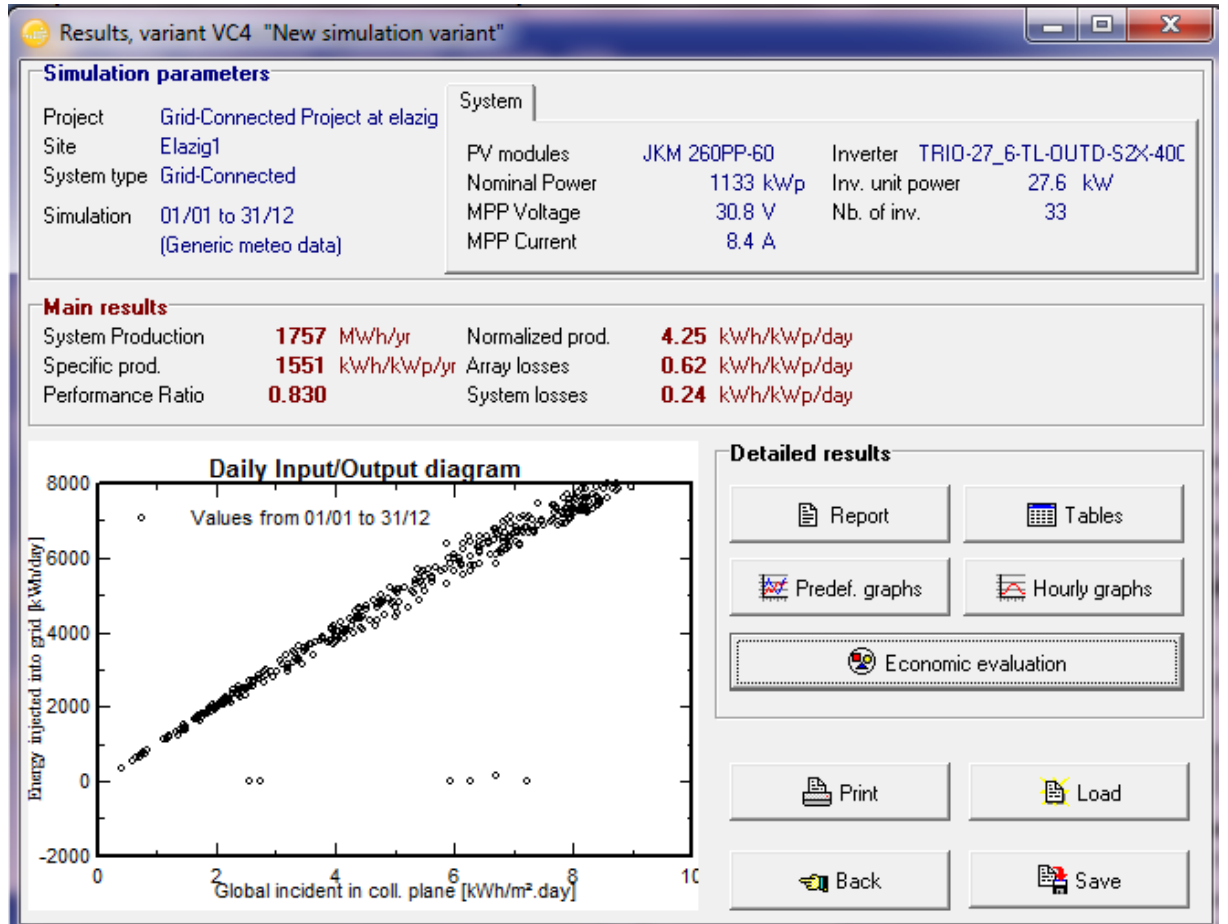
Şekil 2.27. Düzlemsel koordinat horizon diyagramı



Şekil 2.28. Polar koordinat horizon diyagramı

Yukarıdaki Şekil 2.27 ve Şekil 2.28’de yer alan diyagramda 0^0 azimuta karşılık gelen saatlik gölgelenme değerleri görülmektedir. 1 numaralı kısım yaz günlerinden 22 Haziran tarihini göstermektedir. Sırasıyla aşağıya doğru inildikçe kış aylarına yaklaşıldığı, 7 numaralı kısmın kış ayı olduğu görülmüştür. 1 numaralı egride saat 11.00 ile 12.00 arasında Güneşin en dik geldiği açı tespit edilmiş ve bu açı yaklaşık olarak 74^0 ’ye denk gelmektedir. Kışın ise güneşin geliş açısı 30^0 ’ye kadar düştüğü için gölgelenme çizgisinin altında kalan doğrular nedeniyle panellerin gölgeye maruz kaldığı görülmüştür.

Tasarım kısmının tamamlanmasıyla sistem simülasyonu başlatılmaktadır. Simülasyon tamamlandıktan sonra, Şekil 2.29’daki gibi sonuç ekranıyla karşılaşılmaktadır.



Şekil 2.29. Simülasyon sonuç ekranı

Şekil 2.29’daki gibi ekranda çıkan grafiğin çok fazla parabolik ve dağılımın olabildiğince dağınık olmaması gerekmektedir. Elde edilen grafik sonucun doğruluğunun ispatıdır. Grafikteki her bir nokta bir günü göstermektedir ve şebekeye aktarılan günlük enerji miktarının 6000 kWh/day-8000 kWh/gün değerleri arasında yoğun olduğu

görülmüştür. Sistemde 1kWp tesis kurularak yılda 1551 kWh/kWp/yıl üretim başarısı sağlamaktadır. Yıllık üretim 1757 MWh/yıl sistem performansı %83 olarak bulunmuştur. Sistem performans oranı arttıkça spesifik üretim artmaktadır.

2.2.6. Maliyet Değerleri

Tasarlanan projenin son basamağı olan teknoekonomik analiz, PVsyst programında gerekli verilerin tanımlanmasıyla yapılmıştır. Sisteme tanımlanan maliyet değerleri aşağıda şekil 2.30'daki gibidir.

Economic evaluation

Project and Simulation variant

Project: Grid-Connected Project at elazig1
Simulation: New simulation variant
PV Array, Pnom = 1133 kWp System: Grid-Connected System
PV module: JKM 260PP-60 Inverter: TRI0-27_6-TL-OUTD-SZX-400

Values

☒ Global ☐ By Wp
☐ By piece ☐ By m²

Investment

PV modules	4356 units of 260 Wp	509708	€	☐	
Supports / Integration		89564	€		
Inverters	33 units of 27.6 kW	77000	€	☐	
Settings, wiring, ...		150000	€		
Others, miscellaneous...	Details	65000	€		
Substitution underworth		0	€		
Gross investment, (excl. taxes)		891272	€		

Financing

Taxes	18.00 %	160429	€
Subsidies	-	280407	€
Net investment		771294	€
Annuities		61891	€ / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		27500	€ / yr
Total yearly cost		89391	€ / yr

Loan

Duration: 20 Years
Rate: 5.0 %
Ann. factor 8.02 %cap./yr

Currency

Europa - EU

Energy cost

Produced Energy	1757	MWh / year
Yearly cost	89391	€ / year
Energy cost	0.05	€ / kWh

Buttons: Carbon Balance, Financial Balance, Print, Cancel, OK

Şekil 2.30. Sistem maliyet değerleri

Tasarımı yapılan projedeki PVsyst ekonomi ekranı Şekil 2.30'daki gibidir. Belirlenen modül fiyatı 25 Haziran 2016 tarihindeki yönetmelik dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kullanılan 260W Jinko panelin fiyatı 0,50 \$'dır. 4356 panel kullanılması durumunda ve Dolar Euro palitesi 0.90 olarak alındığında toplam panel fiyatı 509708 € olmuştur.

Konstrüksiyon maliyeti olarak 1 MW'lık tasarımda 90 ton konstrüksiyon gerekmektedir. Bunun içinde özellikle panel montajındaki malzemeler, masalar, masa ayakları, tel ve çit v.b. yer almaktadır. Kilosu 3,3 ₺'den yapılan bu konstrüksiyon maliyeti 89564 € karşılık gelmektedir.

Kullanılan string inverter olarak Power-one Trio serisi olan 28 kW gücünde ürün seçilmiştir. 60 kWp değeri 5000 € olan bu inverterden 33 adetinin fiyatı 77000 € olarak hesaplanmıştır.

Kurulum, kablolama, inşaat lisans bedeli, elektriksel gider ve beklenmeyen giderler olarak yaklaşık toplam 150000 € belirlenmiştir.

Sigorta ve çalışan bedeli 65000 € olarak belirlenmiştir ve arazi bedeli olarak herhangi bir gider belirtilmemiştir, çünkü arazi kamuya ait bir arazidir. Toplam maliyete %18 KDV uygulanıp, Elazığ ili için %32,5 olan teşvik oranından da faydalanılması halinde 771297 € net yatırım bedeli meydana gelmiştir. Sistemdeki yıllık bakım onarım masrafı olarak 27500 € belirlenerek bunun kapsadığı masraflar, yıllık personel gideri 15000 €, bakım onarım gideri 5000 € ve diğer giderler (öngörülmez masraflar) olarak 7000 € gider kalemleri hesaplanmıştır. 20 yıllık %5 oranında sıfır faizli ödeme yapılmıştır. Elektrik satış fiyatı yani şebekeye satış bedeli olarak herhangi bir yerli ürün kullanımı olmadığı için 0.12 kWh/€ değeri kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR

Enerjide dışa bağımlılığı günden güne artan Türkiye için, yükselen enerji talebi gerçeği ile birlikte FV güç sistemleri gibi enerji kaynağı temiz ve sonsuz olan bir teknolojiden nasıl kazanımlar elde edebileceği, bu kazanımları nasıl ve ne ölçüde maksimize edebileceği de bu tez kapsamında araştırılmıştır. Güneş tarlası olarak seçilen Elazığ ili Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi Kampüsü önündeki 20 dönümlük boş alanda 1 MW güce sahip sistem tasarımı ve PVSyst programıyla bu tasarımın simülasyonu gerçekleştirilerek maliyet analizi yapılmıştır. Programda tanımlanması gereken parametreler tanımlandıktan sonra simülasyon sonucu Şekil 2.31.'de rapor halinde sunulmuştur.



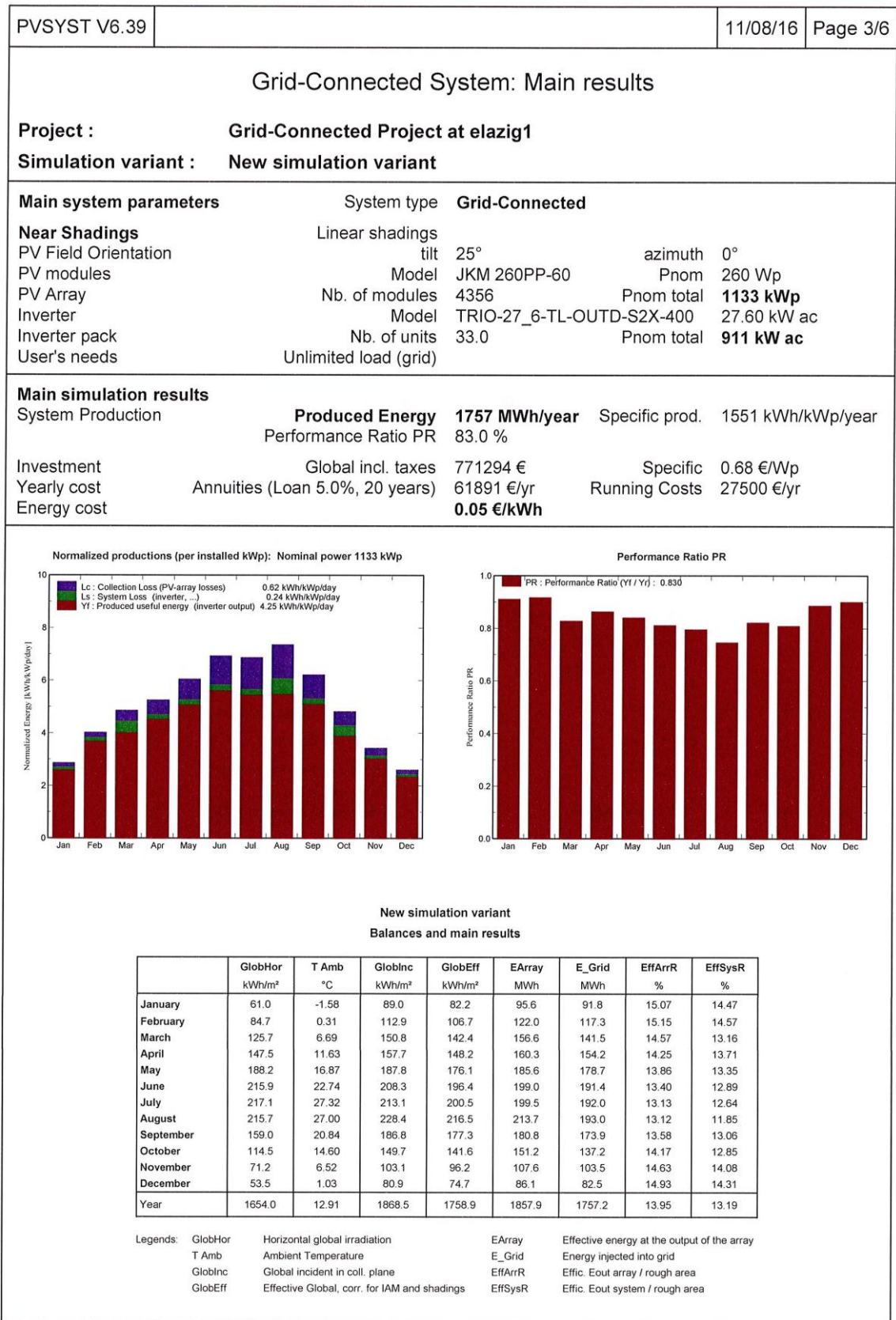
PVSYST V6.39				11/08/16	Page 1/6
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project :		Grid-Connected Project at elazig1			
Geographical Site		Elazig1		Country	Turkey
Situation		Latitude	38.6°N	Longitude	39.1°E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	1080 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:		Elâzig	Synthetic - Meteonorm 7.1 (2003-2012), Sat=100%		
Simulation variant :		New simulation variant			
		Simulation date	09/08/16 22h49		
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	25°	Azimuth	0°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Erbs, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		Linear shadings			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-poly	Model	JKM 260PP-60	
Original PVsyst database		Manufacturer	Jinkosolar		
Number of PV modules		In series	22 modules	In parallel	198 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	4356	Unit Nom. Power	260 Wp
Array global power		Nominal (STC)	1133 kWp	At operating cond.	1015 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	604 V	I mpp	1681 A
Total area		Module area	7130 m²	Cell area	6360 m²
Inverter					
		Model	TRIO-27_6-TL-OUTD-S2X-400		
		Manufacturer	Power-One		
Characteristics		Operating Voltage	175-800 V	Unit Nom. Power	27.6 kWac
				Max. power (=>25°C)	30.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	33 units	Total Power	911 kWac
PV Array loss factors					
Array Soiling Losses				Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor		Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	6.1 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
System loss factors					
AC wire loss inverter to transfo		Inverter voltage	400 Vac tri		
		Wires: 3x1200.0 mm²	92 m	Loss Fraction	1.0 % at STC
External transformer		Iron loss (24H connexion)	1106 W	Loss Fraction	0.1 % at STC
		Resistive/Inductive losses	1.4 mOhm	Loss Fraction	1.0 % at STC
Unavailability of the system		5.0 days, 3 periods		Time fraction	1.4 %
User's needs :		Unlimited load (grid)			
Auxiliaries loss		Constant (fans)	0 W	... from Poper thresh.	0.0 kW
		Night consumption	264 W		

PVsyst Student License for

Şekil 3.1. Sistem simülasyon parametreleri

Sistemde yer alan simülasyon parametreleri daha genel bir ifadeyle sistemin tanıtıldığı bu raporda önceki bölümlerde seçilen ekipmanlar rapor halinde sunulmuştur (Şekil 3.1). Türkiye’de 38,6-39,1 koordinatlarına sahip 1080 m deniz seviyesinden yüksekte ve 0,20 albedo değerine sahip bölge seçilmiştir. Meteorolijik bilgiler Meteoronorm’dan alınarak bir yıllık güneşlenme değerleri kullanılmıştır. Jinko JKM 260PP-60 model panelden toplamda 4356 adet panel kullanılmış 1133 kWp enerji üretilerek toplam panel alanının 7130m² olduğu gösterilmiştir. Power-one TRIO-27.6 S2X-400 modelindeki string inverterden 33 adet kullanılarak toplamda 911 kWac enerji dönüşümü yapılabilmektedir. Programdaki kablo, soğutma, kirlilik faktörü, bakım onarımdan kaynaklanan ve gece çalışma kayıpları gösterilmiştir.

Sistemdeki ana sonuçlar Şekil 3.2’deki gibi rapor halinde elde edilmiştir.



Şekil 3.2. PVsyst ana sonuçlar

Şekilde 3.2’de yer alan ilk sütun grafiği kayıpları göstermektedir. Koyu siyah sütunu üretimi gösterirken açık gri tondaki sütun inverter kaybını gri tondaki sütun ise modül kaybını göstermektedir. Panel yüzeyindeki ve inverter kaybının en yoğun olduğu ay Ağustos ayı olmasına rağmen en fazla üretimin olduğu aylardan biridir. Kaybın fazla olmasının tek sebebi sıcaklığın fazla olmasıdır. Bu kuramın tam tersi olan kış aylarından örneğin ocak ayında sıcaklığın düşük olması nedeniyle inverter ve panel kaybı düşüktür, bununla beraber üretim oranında daha düşük seviyededir. Bu şeklin yanındaki sütun grafiğinde ise tamamen performans oranı gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde özellikle yaz aylarında performansının düştüğü kış aylarında ise sıcaklığa bağlı olarak performansın arttığı tespit edilmiştir.

Ana sonuçların yer aldığı bilanço tablosu incelendiğinde;

“Global Horizon” sütununda yataya gelen ışınlam değerlerini vermektedir. En yüksek ışınlam değeri $217,1 \text{ kWh/m}^2$ ’ dir. Temmuz ayında iken en düşük ışınlam değeri $53,5 \text{ kWh/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Ocak ayında, Temmuz ayından %75,35 daha düşük ışınlam değeri elde edilmiştir.

“TA_{mb}” sütunu kuru termometre sıcaklık değerinin yıl içindeki ortalamasını vermektedir. En yüksek sıcaklık ortalama değeri Temmuz ayında $27,32^{\circ}\text{C}$ iken en düşük sıcaklık ortalaması Ocak ayında $-1,58$ değerindedir.

“Glob_{inc}” Toplayıcı Düzlemdeki genel ışınlama değerini göstermektedir. Bu değer Ağustos ayında $228,4 \text{ kWh/m}^2$. Bu değer en fazla Ağustos ayında $228,4 \text{ kWh/m}^2$ değerinde görülmesinin nedeni güneşin geliş açısının daha düşük olması ve toplayıcı açısına olan uygunluğundan kaynaklanmaktadır.

“Glob_{Eff}” Etkilenen(kirlenme, gölgelenme, optik kayıp) toplayıcı etkili genel ışınlama değeridir. Bu değer de tıpkı Glob_{inc} parametresinde olduğu gibi Ağustos ayında en yüksek değere ulaşmıştır.

“EArray” FV dizisi tarafından üretilen enerjiyi göstermektedir (inverter girişi). Aylık üretim bazında en fazla üretimin Ağustos ayında $213,7 \text{ MWh}$ olduğu görülmektedir.

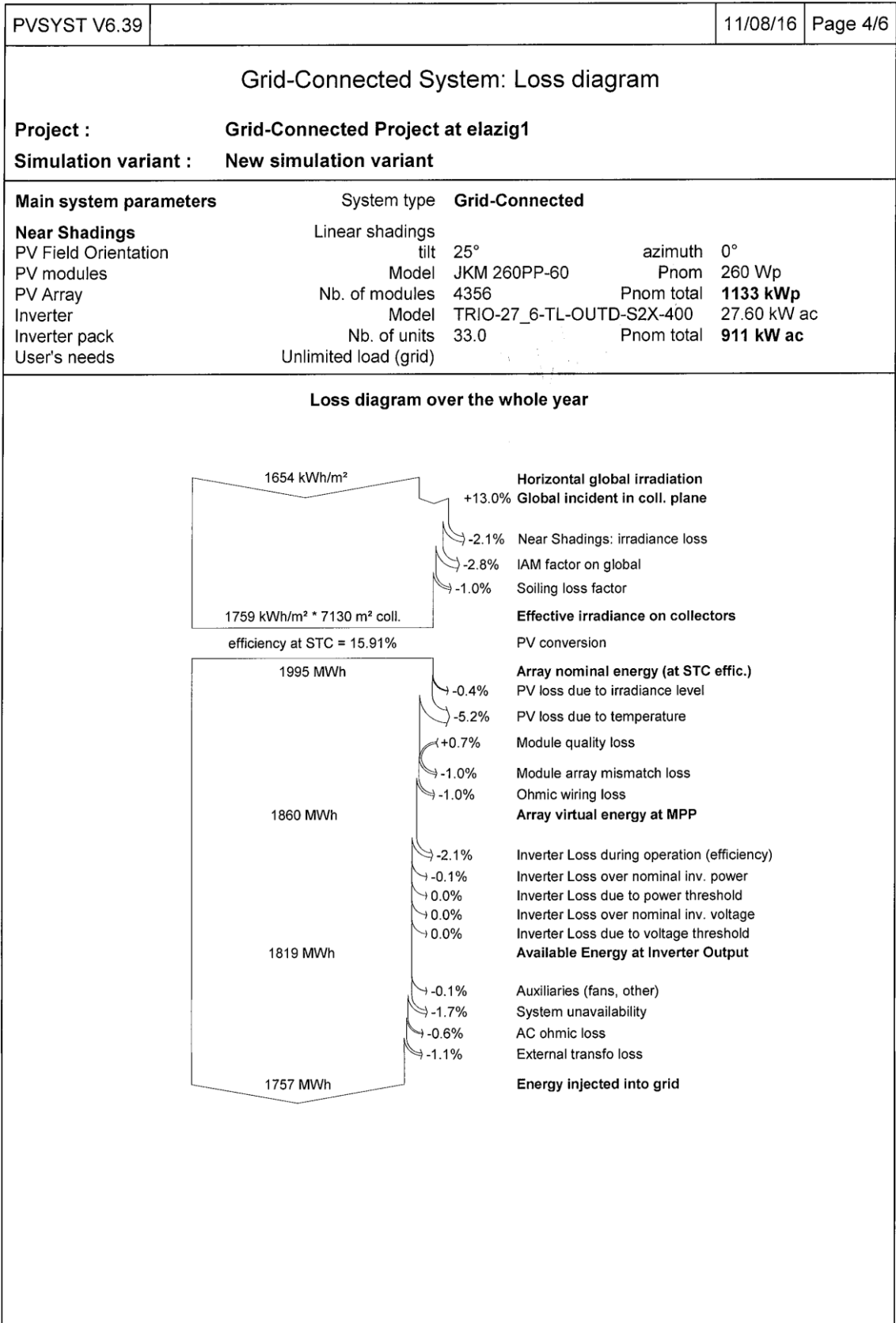
“E_Grid” şebekeye gönderilen inverter ve kablo kaybindan sonra elde edilen enerjiyi vermektedir. Bu değer de dizi tarafından üretilen enerjiye doğru orantılıdır. Bu değer en yüksek Ağustos ayında $193,0 \text{ MWh}$ olarak tespit edilmiştir.

“EffArrR” sütunundaki veriler toplayıcı toplam alanındaki dizi verimliliğini göstermektedir. Bu değer sıcaklıktan etkilenen değer olduğu için kış aylarında daha yüksek seviyelerdedir. Bu simülasyonda özellikle Şubat ayında %15,15 değeriyle en yüksek değeri elde etmiştir. En düşük değerini Ağustos ayında %13,12 olarak tespit edilmiştir.

“EFFSysR” sütununda ise toplayıcı alan üzerindeki ışınlama ile ilgili sistem verimliliği gösterilmektedir. Bu sütun sonuçlar açısından EffArrR sütunuyla paralellik göstermiştir. En yüksek verim yüzdesi EffArrR sütununda olduğu gibi en yüksek verim yüzdesi Şubat ayında elde edilmiştir.

Kullanılan PVsyst programı ile sistemin yıllık üretim değeri ve kayıplar rapor halinde Şekil 3.3’te gösterilmiştir.





PVsyst Student License for

Şekil 3.3. Sistem üretim ve kayıp raporu

Sistem için geliştirilen simülasyon raporundaki kayıp diyagramında, öncelikle yatay düzleme gelen (panel açısı 0^0) ışıınım miktarı, üretim ve sistem performans öngörüsü açısından oldukça önemlidir. Söz konusu değer meteorolojik veriler ışığında olduğu için, simülasyon programının güncellenmesiyle zamanla değişebilmektedir. Belirlenen güneş tarlasında PVsyst programı tarafından hesaplanan yatay düzleme gelen ışıınım miktarı 1654 kWh/m^2 olarak raporda belirtilmiştir.

Güneş panel yüzeyine gelen ışıınım miktarı, panelin eğimine göre sistem kayıp ve kazanımlarını belirtmektedir. Güneş panelleri belirli açılarla yerleştirildikleri için, yataya gelen ışıınım miktarı açılara göre ışıınım açısından bir kazanıma ya da kayba uğramaktadır. Bu çalışmada panel açısı 25^0 olarak belirlendiği için sisteme %13 verim kazandırmıştır. Rapor genel olarak incelendiğinde en fazla kazanımın panel açısından kaynaklandığı görülmektedir.

Gölgelenme kayıpları, FV sistem tasarımının ardından yakın ve uzak gölgelenme oranını belirtmektedir. PVsyst programı ile simülasyonu yapılan sistemin gölgelenme kaybı % 2,1 oranında gösterilmektedir.

İşıınımın performansa olan negatif etkisi, yani tasarlanan şartlarda güneşin dünya üzerindeki bütün nesnelere olan kaybı % 2,8 oranındadır. Söz konusu değer, yeni tasarlanan bir panelin henüz sistem çalışmadan, güneş etkisinden kaynaklanan ilk kaybı olarak tanımlanabilmektedir.

Tasarlanan bölgenin ortam koşulları hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olan kirlenme faktörü, panel verimini olumsuz etkilemektedir. Bu değer simülasyonu yapılan bölgenin şehir merkezi dışında olması sebebiyle %1 olarak belirtilmiştir.

Panel Yüzeylerindeki Verimli İşıınım, optik kayıplar sonrası güneş panel yüzeylerine gelen toplam verimli ışıınımı göstermektedir. Söz konusu ışıınım değeri gerekli kayıp ve kazançların hesaplanmasının ardından 1759 kWh/m^2 olarak belirtilmiştir.

Sistemdeki ışıınım kaynaklı kayıp ve kazançların ardından, oluşan ışıınım değerine göre üretilen güç değeri gösterilmektedir. 1759 kWh/m^2 ışıınım elde edilmesiyle 1995 MWh 'lik enerji üretimi oluşmaktadır. Söz konusu üretim miktarı, sistem kayıp ve kazançlarıyla farklı değerler almaktadır.

FV sistem verimi bu aşamalar sonucunda % 15,91 olarak belirtilmektedir.

Modül kayıplarıyla devam eden raporda, panelin güneş ışınımından dolayı yıllık kaybettiği performansı % 0,4 olarak hesaplanmıştır.

Bir dizideki gerilim değeri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. İnverterlerin çalışmaya başlamaları için gerekli gerilim değeri, inverter tipine bağlı olarak değişmektedir. Bir dizideki gerilim değeri de sıcaklıkla orantılıdır. Sistemin devreye girme zamanı seçilen bölgeye ve invertere bağlı olmak üzere özellikle sabahları farklılık gösterebilmektedir. Sistemdeki sıcaklık kayıpları, FV sistemin devreye girmesi için meydana gelen zaman farklılıkları sonucunda oluşmaktadır. Tasarlanan sistemdeki sıcaklık kaybı % 5,2 değerindedir.

Panel Verim Kaybı, proje için seçilen güneş panelinin karakteristik bir özelliği olarak zamanla veriminde gerçekleşen kayıpları belirtmektedir. Sunulan raporda % 0,7 değerini almaktadır.

Dizi uyumsuzluk kayıpları, bir dizideki tüm güneş panelleri eşit akım ve gerilim değerlerinde çalışmamaktadır. Bir dizinin akım değerini, o dizi içerisindeki en düşük akım değerine sahip olan güneş paneli belirlemektedir. Böyle bir durumda söz konusu akım değerinden daha yüksek akımda çalışan güneş panellerinin sebep olduğu potansiyel bir üretim kaybı söz konusu olmaktadır. Söz konusu kayıp değeri % 1 olarak belirlenmiştir.

DC Kablolama Kayıpları, projede DC taraftaki kablolama kaynaklı kayıpları yüzdesel olarak ifade etmektedir. Bu değer DC kablo uzunluklarına ve kesitlerine göre değişmektedir. Türkiye’de gerçekleştirilen projelerde genel olarak maksimum DC kayıp oranları %1 olacak şekilde tasarlanmaktadır.

Maksimum güç noktasındaki (MPP) Görünür Dizi Enerjisi, raporun üst kısmında açıklanan güneş paneli ile ilgili kayıplar yansıtıldıktan sonra üretilebilecek potansiyel elektrik enerjisini göstermektedir. Diyagram içerisinde, güneş paneli, bölgesel ve iklimsel kayıplar, DC kablolama gibi kayıplar belirtilmiş ve sonraki aşamalarda inverter ile alakalı kayıplar belirtilmiştir. Söz konusu değer 1860 MWh olarak görülmektedir.

İnverter işletme kayıpları, inverter verimi dolayısıyla kaybedilecek enerji oranını göstermektedir. Sistemdeki inverterin doğru akımı alternatif akıma çevirme yeteneğine göre, dolayısıyla genel olarak inverter verimine göre üretilemeyecek elektrik enerjisini ifade eden bu kayıp % 2,1 değerindedir.

İnverter aşırı yükleme kayıpları, inverterlerin toplam AC kapasitesinden daha yüksek bir güçte DC güç kapasitesine maruz bırakılması, belli zamanlarda potansiyel üretilebilecek enerjinin kayba dönüşmesine neden olmaktadır. Sistem tasarımına göre değişen bu oran, böyle zamanlarda gerçekleşecek olan kayıpları temsil ederek % 0,1 değerini almaktadır.

İnverter güç eşiği kayıpları, inverterin teknik özellikleri dahilinde belirtilen güç eşiği dolayısıyla inverter kaynaklı kayıpları ifade etmektedir.

İnverter aşırı anma gerilimi kayıpları, inverter karakterine göre değişen inverter nominal gerilim değerleri ile ilgili kaybı ifade etmektedir. Sıcaklıkla değişiklik gösteren bir dizideki gerilim değeri, inverter veri kataloglarında da belirtilen inverter nominal gerilim değerlerinden belli zamanlarda düşük ya da yüksek olabilir. Bu zamanlarda meydana gelebilecek enerji kayıpları bu sekmede gösterilmektedir.

İnverter Gerilim Eşiği Kayıpları, inverterin teknik özellikleri dahilinde belirtilen gerilim eşiğini, dolayısıyla evirici kaynaklı kayıpları göstermektedir.

Genelde simülasyon raporu kapsamında inverter ile ilgili kayıplar içerisinde verim nedeni kayıp ve aşırı yükleme kaynaklı kayıplar dışında, diğer sekmelerdeki kayıplar oldukça önemsizdir ve genelde %0 olarak belirtilmektedir.

İnverter çıkışında elde edilebilir enerji, inverter kaynaklı kayıpların hesaplanması sonrası inverter çıkışında üretilebilecek potansiyel elektrik enerjisiyi ifade etmektedir. Söz konusu değer simülasyon raporunda 1819 MWh olarak belirtilmiştir.

PVsyst ile simülasyonu yapılan sisteme ait yardımcı ihtiyaç kaybı % 0,1 değerindedir.

Tasarlanan sistemdeki kesintiler veya yılda birkaç periyotla devam eden bakımlar sonucunda tesis kesinti kaybına uğramaktadır. Söz konusu verim kaybı % 0,1 değerini almaktadır.

AC kablolama kayıpları, inverter sonrası AC kablolar kaynaklı kayıplar yüzdesel olarak ifade etmektedir. AC kabloların uzunluk ve kesitlerine göre değişiklik gösteren bu değer % 0.6 olarak belirtilmiştir.

Harici Trafo Kayıpları, trafo işletmesi kaynaklı kayıpları ifade etmektedir. Trafonun kendi öz tüketiminden ve yıl içerisindeki verimi sonucunda oluşan bu kayıp % 1,1 değerindedir.

Tasarlanan sistemde kayıp ve kazanç şemasının son sekmesinde 1757 MWh elektrik üretiminin olabileceği gösterilmektedir.

PVsyst programı ile simülasyon yapılan son aşamayla ilgili maliyet analizi bu tez kapsamında 2.2.6. bölümünde yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları rapor olarak Şekil 3.4'te belirtilmiştir.



PVSYST V6.39		11/08/16	Page 5/6
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :		Grid-Connected Project at elazig1	
Simulation variant :		New simulation variant	
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
Near Shadings	Linear shadings		
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	JKM 260PP-60	Pnom 260 Wp
PV Array	Nb. of modules	4356	Pnom total 1133 kWp
Inverter	Model	TRIO-27_6-TL-OUTD-S2X-400	27.60 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	33.0	Pnom total 911 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 260 Wp)	4356 units	117 € / unit	509708 €
Supports / Integration		21 € / module	89564 €
Inverters (Pnom = 27.6 kW ac)	33 units	2333 € / unit	77000 €
Settings, wiring, ...			150000 €
sigorta			30000 €
Transport and assembly			5000 €
Engineering			30000 €
Substitution underworth			0 €
Gross investment (without taxes)			891272 €
Financing			
Gross investment (without taxes)			891272 €
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		160429 €
Gross investment (including VAT)			1051701 €
Subsidies			-280407 €
Net investment (all taxes included)			771294 €
Annuities	(Loan 5.0 % over 20 years)		61891 €/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			27500 €/year
Total yearly cost			89391 €/year
Energy cost			
Produced Energy			1757 MWh / year
Cost of produced energy			0.05 € / kWh

PVsynt Student License for

Şekil 3.4. Maliyet raporu

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : **Grid-Connected Project at elazig1**

Simulation variant : **New simulation variant**

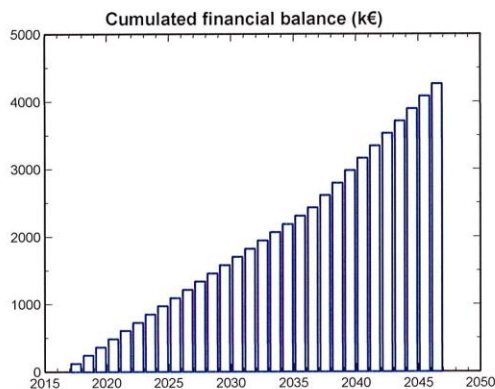
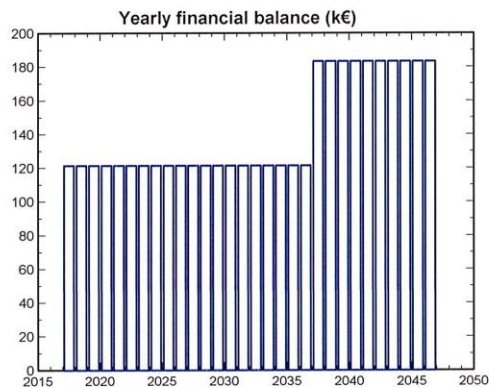
Main system parameters		System type	Grid-Connected	
Near Shadings		Linear shadings		
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	JKM 260PP-60	Pnom	260 Wp
PV Array	Nb. of modules	4356	Pnom total	1133 kWp
Inverter	Model	TRIO-27_6-TL-OUTD-S2X-400		27.60 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	33.0	Pnom total	911 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff	0.12 €/kWh	Warranty over	20 years
Annual connexion tax	0 €		

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation	0.0 % / year
Annual production reduction	0.0 % / year
Feed-in tariff Warranty over	20 years
Tariff reduction after contractual warranty	0 %
Loan duration (payment of annuities)	20 years



Long term economic balance

Year	Loan 5.0 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2017	61891	27500	210859	121468	121468
2018	61891	27500	210859	121468	242936
2019	61891	27500	210859	121468	364404
2020	61891	27500	210859	121468	485872
2021	61891	27500	210859	121468	607340
2022	61891	27500	210859	121468	728808
2023	61891	27500	210859	121468	850276
2024	61891	27500	210859	121468	971744
2025	61891	27500	210859	121468	1093212
2026	61891	27500	210859	121468	1214680
2027	61891	27500	210859	121468	1336148
2028	61891	27500	210859	121468	1457616
2029	61891	27500	210859	121468	1579084
2030	61891	27500	210859	121468	1700552
2031	61891	27500	210859	121468	1822020
2032	61891	27500	210859	121468	1943488
2033	61891	27500	210859	121468	2064956
2034	61891	27500	210859	121468	2186424
2035	61891	27500	210859	121468	2307892
2036	61891	27500	210859	121468	2429360
2037	0	27500	210859	183359	2612719
2038	0	27500	210859	183359	2796077
2039	0	27500	210859	183359	2979436
2040	0	27500	210859	183359	3162795
2041	0	27500	210859	183359	3346153
2042	0	27500	210859	183359	3529512
2043	0	27500	210859	183359	3712871
2044	0	27500	210859	183359	3896229
2045	0	27500	210859	183359	4079588
2046	0	27500	210859	183359	4262946

PVsyst Student License for

Şekil 3.5. Geri dönüşüm süresi

Maliyet hesaplaması yapılan tesise ait bilanço şekil 3.5’te belirtilmektedir. Raporun üst kısmında sisteme ait teknik veriler gösterilmiştir. “feed-in tariff” değeri şebekeye satılan kWh değeridir. Yani saatte 1 kW üretilen elektrik şehir şebekesine 0,12 €’ya satılmaktadır. Tasarlanan tesis 20 yıllık kredi süresine ve %0 oranında faiz oranına sahiptir. Sistem garantisi 20 yıl olarak belirlenmiştir.

Tesis için 20 yıl, %5 oranında ödenen kredinin yıllık ödemesi PVsyst programı tarafından 61891 € olarak hesaplanmıştır. Yıllık sabit işletme masrafı her yıl 27500 € olarak daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Şehir şebekesine kWh fiyatı 1,2 €’ya satılan enerjiden elde edilen gelir 210859 € olarak tesise gelir sağlamaktadır. Tesis için ödenen kredi ve yıllık işletme masrafının tesis gelirinden çıkarılmasıyla yıllık gelir bilanço değeri oluşmaktadır. Kümülatif bilanço sütununda, 2023 yılında 850276 € kazancıyla 771294 € olan maliyet değeri 6 yılda amortisman süresine ulaşmıştır.

Yıllık finans bilanço grafiğinde (Şekil 3.5), 20 yıl süreli kredi çekilmesi nedeniyle 2037 yılına kadar sabit devam eden finans eğrisi 2037 yılından sonra artmıştır. Kümülatif bilanço grafiğinde tesis zarar etmediği için doğrusal bir artış görülmüştür.

4. ÖNERİLER

FV sistem projelerinin tasarım aşamalarının karmaşık olması, çok sayıda parametre içermesi ve tasarımı gerçekleştirecek kişilerin bu konuyla ilgili her alanda yeterli bilgi ve donanımına sahip olmaması nedeniyle bu konuda simülasyon destekli çalışma yapılmalıdır. Dolayısıyla günümüzde kullanılan FV simülasyon programları ve sistem üretim öngörülerinin doğru kullanımı ile yüksek kurulum maliyeti gerektiren FV sistem projelerinin uygulanmasındaki hata oranı azaltılmalıdır.

Doğru şekilde yapılan tasarımlar ile yatırımcılara planlamaları konusunda da optimum destek sağlanmış olacaktır. Bu yüzden üretim ve performans öngörülerinin tutarlı olması, simülasyon programı yazılımını, tasarımda kullanılacak parametrelerin doğru seçimine, hem elektriksel hem de makina ile ilgili sistem bileşenlerinin mühendislik hesaplamalarının doğru yapılmasına ve programda doğru tanımlanmış olmasına büyük ölçüde bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan simülasyon programı, elde edilen sonuçların doğruluğunu teyit edecek şekilde geliştirildiğinden çalışma sonuçlarının doğruluğu program ile onaylanmıştır. Buna ilaveten tez sonrası yapılacak çalışmalarda farklı simülasyon programlarıyla sonuçların karşılaştırılarak duyarlılığının tespit edilmesi düşünülmektedir.

Bu çalışmada bir FV güç santralinin tasarımı için kullanılan PVsyst programının sistem modellemesinde, sistemin giriş ve çıkış parametrelerini değerlendirmede çok fazla çizelge ve grafik sunması, kullanıcıya çok yönlü değerlendirme yapma imkanı sunmaktadır. Ancak tasarlanan sistemin maliyet detaylarının elde edilmesinde, yıpranma paylarının kişiye bağlı olarak sisteme aktarılması sebebiyle amortisman süresi programda geliştirilmelidir.

Türkiye'nin enerji verimliliği stratejisi çerçevesinde belirlediği amaçlar doğrultusunda enerji verimliliğinin artırılması ve enerji yoğunluğunun azaltılması hususunda FV güç sistemlerinin yaygınlaştırılması, istenilen hedeflere ulaşmada olumlu bir etki yaratacağı düşünülmektedir.

Dünyada FV sistem tasarımında kullanılan çok çeşitli programlar bulunmaktadır. Bu programlar genellikle hükümetlerin ve üniversitelerin öncülüğünde yapılmaktadır. Böyle bir programın ülkemizde yazılması GES'e olan ilgiyi artıracak, yurt dışından satın alınan

programa göre fiyatının uygun olabileceği, teknik destek ve program dili konusunda daha verimli çalışılacağı, yerli sermayeye yatırımın artacağı düşünülmektedir.

Son olarak FV sistem maliyet hesaplamalarının yüksek yatırım bedelli olması sebebiyle ilgili bakanlıklardan alınacak destek katkı paylarının ve teşvik oranlarının artırılması GES projelerinin çekiciliğini artıracacağı için bu konu üzerinde daha fazla durularak gerekli çalışmalar yapılmalıdır..



KAYNAKLAR

- [1]. **Dobrzanski, L.A.**, (2010). “Application of crystalline silicon solar cells in photovoltaic modules”, **Archives of Materials Science and Engineering**, Poland, 96-103.
- [2]. **Becker, C.**, (2013). “Polycrystalline silicon thin film solar cells: Status and perspectives”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 112-123
- [3]. **Dobrzanski, L.A.**, (2009) “Formation of photovoltaic modules based on polycrystalline solar cells”, **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, 37(2): 607-615.
- [4]. **Dobrzanski, L. A.**, (2013) “Electrical properties mono- and polycrystalline silicon solar cells”, **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Poland, 67-74.
- [5]. **Powalla, M.**, (2007) “Thin-film solar cells based on the polycrystalline compound semiconductors CIS and CdTe” **Hindawi Publishing Corporation Advances in OptoElectronics**, Italy, Article ID 97545, 1-6.
- [6]. **Turhan, S.**, (2012) “FV sistemlerde performans değerlendirmesi”, **6. Ulusal atı & Cephe Sempozyumu**, Bursa).
- [7]. **Lalwani, M., Kothari, D.P., Singh M.**, (2010) Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares, International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul, vol.1, no.3.
- [8]. **Canan, F.**, (2003) Mimaride FV Panel Uygulamaları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2003, Kayseri, Bildiriler Kitabı, no.330, s. 43-52.
- [9]. **Orgıll JF, Hollands KGT.** (1997). Correlation Equation For Hourly Diffuse Radiation on a Horizontal Surface, Solar Energy, s. 19.
- [10]. **Deniz, E.**, (2012) Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, İzmir, 2013.
- [11]. **Aslanoğlu S., Köksal M.**, (2012) Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi ve Uzun Dönem Tahmini, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi vol.1, s.19-29, 2012.
- [12]. **Varınca K., Varank G.** (2005) Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 2005.

- [13]. **Peippo K, Lund PD.** (1994), Optimal sizing of grid-connected PV-systems for different climates and array orientations: a simulation study, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 35 (1994) 445-451
- [14]. **Agha KR, Sbit MN,** (2000) , On the sizing parameters for stand-alone solar-energy systems, *Applied Energy* 65 (2000) 73–84
- [15]. **Kaushika ND, Gautam NK., Kaushik K.,** (2005), Simulation model for sizing of stand-alone solar PV system with interconnected array, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 85: 499–519
- [16]. **Ashok S.** (2007) Optimised model for community-based hybrid energy system, *Renewable Energy* 32: 1155–1164
- [17]. **Benatiallah A., Mostefaoui R.,** (2007). A simulation model for sizing PV installations, *Desalination* 209: 97–101.
- [18]. **Posadillo R., Luque R.,** (2008). A sizing method for stand-alone PV installations with variable demand, *Renewable Energy* 33: 1049–1055
- [19]. **Cabral C., Filho D.,** (2010)., A stochastic method for stand-alone photovoltaic system sizing, *Solar Energy* 84: 1628–1636
- [20]. **Chikh M, Mahrane A, Bouachri F.** (2011), PVSST 1.0 sizing and simulation tool for PV systems, *Energy Procedia* 6: 75–84
- [21]. **Skunpong R., Plangklang B.,** (2011), A practical method for quickly FV sizing, 2nd International Science, Social-Science, Engineering and Energy Conference, *Procedia Engineering* 8: 120–127
- [22]. **Jakhrani A, Othman A.,** (2012), A novel analytical model for optimal sizing of standalone photovoltaic systems, *Energy* 46 (2012) 675e682
- [23]. **Kazem H. A., Khatib T., Sopian K.,** (2013), Sizing of a standalone photovoltaic/ battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman Elsevier - *Energy and Buildings* 61 (2013) 108–115
- [24]. **Rezk H, El-Sayed M.** (2013) Sizing of a stand alone concentrated photovoltaic system in Egyptian site, *Electrical Power and Energy Systems* 45 (2013) 325–330
- [25]. **Oktik, S.,** (2001). Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Ankara Temiz enerji Vakfı Yayınları, 40s.
- [26]. **Gümgüm, B.,** (1996). Güneş Enerjisi, <http://www.dicle.edu.tr/merkez/dugem/turkce/faaliyet.html>.
- [27]. **Kavcar, N.** (2001). Uygulamalı Fizik II Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, 130s.,

- [28]. http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/alt_ener_kay_ders_notlari.pdf, alındığı tarih 13.02.2010
- [29]. **Borand B.** (1997). Mevcut Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak için iyileştirme önerileri; Yüksek Lisans Tezi; İ.T.U. Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [30]. **Küpeli AÖ.** (2005) Osmangazi Üniversitesi, Güneş Pilleri Ve Verimleri, Yüksek Lisans Tezi Temmuz: 52.
- [31]. **Engin R.** (1995), Güneş pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fizik Bölümü Yayınları no:3 s:151 1995 van)
- [32]. **Tunç Ş.** (2009). Güneş enerjisi ile elektrik üretimi saha ve potansiyel belirleme, Ankara
- [33]. **Ültanır, MÖ.,** (1996). Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik Dergisi, 340, s.50-56.
- [34]. **Kaya A.** (2004) Güneş enerjisiyle ısıtma soğutmanın ticari uygulamaları. İş Enerji. s:3
- [35]. **Güçlüer D.** (2010) Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniv Fen Bil Enstitüsü, İstanbul
- [36]. **Güçlüer, D. Durak, M.,** (2009) “Plataforma Solar De Almeria Teknik Gezisi notları”,4-10 Mayıs 2009 Almeria]
- [37]. http://www.eie.gov.tr/teknoloji/CSP_gun_enj_sant.aspx
- [38]. **Durak M.** (2009) 1.Türkiye Güneş Enerjisi Kursu, TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara
- [39]. <https://fiziginsahi.files.wordpress.com/2012/02/solarone.jpg>
- [40]. <http://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm> Solar Photovoltaic Technologies
- [41]. Çataklı M, (2012) “Fotovoltaik Sistemler” İstanbul
- [42]. http://www.solar-santral.com/menu_detay.asp?id=661
- [43]. Kloster Benz (2009), Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sempozyumu, volker Quaschnig, Ostbayersches Technologie, regensburg (yayıncı)
- [44]. **Buldum, B., Külekçi M.,** (2008). “Mersin ilinin Güneş enerjisi potansiyeli ve mevcut durumu”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES, İstanbul, 385-394
- [45]. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [46]. **Yılmaz, A. (2016).** Türkiye Güneş Enerjisi İstatistikleri. <http://www.enerjiatlası.com/haber/turkiye-Güneş-enerjisi-istatistikleri>], Erişim Tarihi: 10.07.2016.

- [47]. http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369#.V4kNg_mLTIU
- [48]. <http://enerjienstitusu.com/2016/07/08/yenilenebilir-enerji-uretimi-devlet-destegiyle-uce-katlandi/>.
- [49]. <http://enerjienstitusu.com/elektrik-tuketim-istatistikleri/>
- [50]. **Yalçın AF.** (2014) İstanbul Teknik Üniversitesi, Güneş Enerjisiyle Elektrik Üreten Güneş Takipli Dikey Perde Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.:31
- [51]. www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf Erişim Tarihi: 12.04.2014.
- [52]. **Fraas, L., Partain, L.** (2010). Solar Cells And Their Applications, Second Edition, A John Wiley & Sons, Inc. Publication, Hoboken, New Jersey.
- [53]. **Tull, B.** (2001). Photovoltaic Cells: Science and Materials.
- [54]. **Lechner, N.** (2009). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley & Sons.
- [55]. http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_time_2000.html
- [56]. **Altın, M.** (2005) Research On The Architectural Use Of Photovoltaic(PV) Components in Turkey From The Viewpoint Of Building Shape; Doktora Tezi ; Dokuz Eylül Üniversitesi
- [57]. **Prasad, D., Snow, M.** (2005) Designing With Solar Power ;Images Publishing
- [58]. **Thomas, R., Fordham, M., and Fordham, P.** 2001; Photovoltaics and Architecture ; Spon Pres
- [59]. **Acarman, T.** (1996). Güneş Pillerinden Şebekeye Enerji Aktarılmasının Analizi ve Tasarımı; Yüksek Lisans Tezi ; Đ.T.U. Elektrik Mühendisliği Fakültesi,
- [60]. **Okyay, Y.** (2006) Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel İncelenmesi Ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, s:24-25
- [61]. **Celebi, G.** (2002) Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri; Gazi Univ. Muh. Mim. Fak. Der. Cilt 17, No 3
- [62]. **Boyle, G.,** (2004) Renewableenergy: Powerfor a sustainable future,1sted., Oxford University Pres, New York.
- [63]. **Markvart, T., Castener, L.** (2003). Practical Handbook of Photovoltaics : Fundamentals and Applications ;Elsevier
- [64]. **DOE;** 2005 ; “ PV Basics”, Energy Efficiency and Renewable Energy, Solar Energy Technologies].

- [65]. **Sakınç, E.** 2006; Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etkin Sistemlerin Tasarım Ögesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım ; Doktora Tezi ; Y.T.Ü Mimarlık Fakültesi
- [66]. **Gemicioğlu AG.** (2011) Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından PV Sistemlerin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, , İTÜ Haziran 2011, İstanbul, s:56
- [67]. http://www.eere.energy.gov/solar/PV_basics.html, alındığı tarih 02.01.2011.
- [68]. **The German Solar Enegy Society** (2008). Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Installers, Architects and Engineers, London; Sterling, VA: Earthscan.
- [69]. **Markwart, T.** 1994; Solar Electiricity; John Wiley&Sons
- [70]. **Çıtıroğlu A.** (2000) “Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi”, Mühendis Makine Dergisi, Haziran Sayısı, İstanbul
- [71]. **Markvart T., Castener, L.** (2003). Practical Handbook of Photovoltaics : Fundamentals and Aplications ;Elsevier
- [72]. **Simon Roberts & Nicolò Guariento** ; 2009 ; Building integrated photovoltaics : a handbook
- [73]. <http://ar.aliexpress.com/w/wholesale-circular-solar-panel.html>
- [74]. **Prasad, Deo, Snow, Mark** (2005). Designing With Solar Power ;Images Publishing
- [75]. **Parida, B., Iniyen, S., Goic, R.** (2011). A Review Of Solar Photovoltaic Technologies, Elsevier Press, (pp. 1625–1636), New York.].
- [76]. **Prasad DS,** 2005; Designing With Solar Power ;Images Publishing
- [77]. **Bubenzer A. Luther J.** (2003). Photovoltaics Guide Book for Decision Makers; Springer
- [78]. http://www.universalgreenergy.com/Fotovoltaik_teknolojileri.html Erişim Tarihi: 04.01.2015
- [79]. <http://www.cleantechinvestor.com/portal/solarpowercomment/10005-solar-buffett-backs-thin-film.html>> Erişim Tarihi: 18.01.2014.
- [80]. <http://ipsfzc.com/solarpower.html> Erişim Tarihi: 25.02.2014.
- [81]. <http://gunam.metu.edu.tr/index.php/solar-technology/pv-cell-types>Erişim Tarihi: 25.02.2014.].
- [82]. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/boya-ile-duyarli-hale-getirilmis-Güneş-pilleri-nasil-calisir/9008#ad-image-3>> Erişim Tarihi: 26.02.2014

- [83]. **Avrutin, V., Izyumskaya, N., Morkoç, H.** (2014). Amorphous and micromorph Si solar cells: current status and Outlook, TUBiTAK, Turkish Journal of Physics, doi:10.3906/fiz-1406-14.].
- [84]. **Prasad, Deo, Snow, Mark** (2005) ; Designing With Solar Power ;Images Publishing]
- [85]. **Woodhouse, M., & Goodrich, A.** (2014). Manufacturing Cost Analysis Relevant to Single- and Dual-Junction Photovoltaic Cells Fabricated with III-Vs and III-Vs Grown on Czochralski Silicon. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [86]. http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
- [87]. **Akyol ŞM, Kılıç M,** (2007), "Konutların elektrik talebinin Güneş Pilleri ile Karşılanması ve Ekonomik Yönden Jeneratörlerle Karşılaştırılması", MMO Kayseri Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları sempozyumu
- [88]. **NREL/DOE** (1994). Sunspace Basics, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, November.
- [89]. **Roberts S, Guariento, N.** (2009). Building integrated photovoltaics / a handbook, Birkhauser Press, Berlin, Germany.
- [90]. **Demirci, F.,** (1996) Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışmasını Etkileyen Dış Faktörlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 58s.
- [91]. <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature> > Erişim Tarihi: 25.09.2014].
- [92]. **Thomas, R., Fordham, M.,** (2001). Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London and Newyork.
- [93]. [http://www.energydesignresources.com/media/1756/EDR_DesignBriefs_integ photovoltaics .pdf](http://www.energydesignresources.com/media/1756/EDR_DesignBriefs_integ%20photovoltaics.pdf) Erişim Tarihi: 03.05.2014..
- [94]. **Kiss, G., Kinkead, J.,** (1993). Building Integrated Photovoltaics, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado.
- [95]. **Lechner, N.** (2009). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley & Sons.
- [96]. **Prasad, D.K., Snow, M.** (2005). Designing With Solar Power, A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Australia, Images Publishing.
- [97]. <http://www.solaredge.com/articles/pv-system-shading> > Erişim Tarihi: 25.09.2014.
- [98]. **Solar Energy International** (2008), "Photovoltaics Design and Installation Manual"

- [99]. **Eilfert, P. ve Kiss, G. J.** (2000). Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures, A Source Book for Architects, U.S. Department of Energy.
- [100]. **Prasad, D.K., Snow, M.** (2005). Designing With Solar Power , A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Australia, Images Publishing..
- [101]. <http://www.ipceagle.com/products/solar-panel-pure-water-cleaning-system#.VSYqdfmsWQo> > Erişim Tarihi: 05.01.2014.
- [102]. **Sandia National Laboratories,(1995),**"Stand Alone Photovoltaic Systems A Handbook of Recommended Design Practices "
- [103]. **Batterie V** (1986). Bleiakкумулятоren. VDI-Yayınevi Düsseldorf, 11.Baskı
- [104]. **Aydöner D.** (2010) Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Binaya Entegre FV Sistem Tasarımı Ve Kurulumu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- [105]. **Wiles J.,** (2005), "Photovoltaic Power Systems And the 2005 National electrical Code: Suggested practices"
- [106]. **Sclater N., Traister J.E.** (2003),"Handbook of Electrical Design Details".
- [107]. **Eiffert P. And KISS G.** (2000), "Building-Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures", NREL/BK/-520-25272-
- [108]. **Kıyançıcek E.** (2013). FV Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi Elektrik Elektronik Mühendisliği. Selçuk Üniv Kasım – 2013 Konya. Syf 69
- [109]. **Lalwani M, Kothari DP.** (2010). Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares **International Journal Of Applied Engineering Research**, Volume 1, No 3, 2010
- [110]. **Temel Britannica. "Elazığ".** (İstanbul Bas.). Ana Yayıncılık A.Ş. Ocak 1993: 97. ISBN 975-7760-02-01. Hürriyet.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Benan MUTLUAY

Doğum Yeri : Elazığ

E-posta : benan.8488@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

2014- Yüksek Lisans Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği

Enerji Ana Bilim Dalı

2009-2013 Lisans Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Makina Mühendisliği

2007-2009 Önlisans Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

İstatistik bölümü

1995-2005 İlköğretim-Lise Elazığ Doğa Koleji