

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

**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ MİKRO GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN
TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat KUTLUCA

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

HAZİRAN 2020

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

**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ MİKRO GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN
TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat KUTLUCA
(1178203107)**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

HAZİRAN 2020

Eşime,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında değerli fikirleriyle çalışmalarımın yol haritasını oluşturan ve akademik deneyimiyle çalışmalarımın sonuca ulaşmasını sağlayan danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Evren İŞEN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında verdikleri katkılardan dolayı Traçim Çimento San. ve Tic. A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili eşim Büşra KUTLUCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Murat KUTLUCA
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Taraması.....	6
2. ENERJİ KAYNAKLARI	17
2.1 Yenilenemez (Geleneksel) Enerji Kaynakları	17
2.2 Yenilenebilir (Alternatif) Enerji Kaynakları	20
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	27
3.1 Isıl Güneş Enerjisi Teknolojisi	27
3.2 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi.....	29
3.2.1 Dünyanın Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli	32
3.2.2 Ülkemizin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli	33
3.2.3 Kırklareli İlinin ve Vize İlçesinin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli	34
4. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ.....	39
4.1 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali.....	39
4.2 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali	40
4.3 Hibrit Bağlantılı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali	41
5. FV SİSTEMLERDE PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	43
5.1 Güneş Işınımı (Radyasyon)	43
5.2 Güneş Açıları	44
5.3 Güneş Takip Sistemleri	44
5.4 FV Teknolojilerine Bağlı Verim.....	45
5.5 FV Panel Sıcaklığı	47
5.6 FV Panel Kirliliği.....	48
5.7 Hava Kütlesi	49
5.8 Albedo	50
6. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SANTRAL EKİPMANLARI. 51	51
6.1 FV Panel.....	51
6.2 DA-DA Dönüştürücü (Şarj Kontrol Cihazı).....	54
6.3 Akü (Batarya)	57
6.4 DA-AA İnvertör (Evirici).....	59
6.5 DA ve AA Kablo	60
6.6 Sigorta, Parafudur ve Eş Potansiyel Topraklaması.....	61
7. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ANALİZİ	65
7.1 Benzetim Programı ile Mikro Güneş Enerji Santralinin İstatistiksel Analizi ..	66
7.2 SCADA Programı ile Mikro Güneş Enerji Santralinin Ölçümsel Analizi	81

7.3 Mikro Güneş Enerji Santralının Ölçümsel ve İstatistiksel Değerlendirmesi	86
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	103



KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CI	: Merkezi İnvertör
DA	: Doğru Akım
DMD	: Devlet Meteoroloji Dairesi
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EVA	: Etilen Vinil Asetat
FV	: Fotovoltaik
G	: Güneş Işınımı
GES	: Güneş Enerji Santrali
Iccc	: Şarj Kontrol Cihazının Şarj Akımı
Id	: Diyot Akımı
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
Iph	: Fotoakım
Isc	: FV Panelin Kısa Devre Akımı
Ioc	: FV Panelin Açık Devre Akımı
MGES	: Mikro Güneş Enerji Santrali
MGN	: Maksimum Güç Noktası
MGNI	: Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
Pmpp	: Maksimum Güç Noktası Gücü
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
SCADA	: Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
SÇK	: Standart Çalışma Koşulları
Sp	: FV Panel Sayısı
STK	: Standart Test Koşulları
T	: Derece Cinsinden Sıcaklık
Vd	: Diyot Gerilimi
Vpv	: FV Gerilimi
Vt	: Termal Gerilim

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1: FV panel arkasında oluşan sıcaklık değerleri.....	47
Çizelge 5.2: Bazı albedo değerleri [88]	50
Çizelge 6.1: Lityum-İyon ve Kurşun-Asit akülerin karşılaştırılması	58
Çizelge 6.2: Farklı kablo kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri	61
Çizelge 7.1: MGES’te kullanılan FV panelinin ısıl karakteristikleri	67
Çizelge 7.2: MGES enerji analizinin karşılaştırmalı sonuçları.....	87



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Enerji kaynaklarından elektrik enerji dönüşümü	2
Şekil 2.1: Enerji kaynakları	17
Şekil 2.2: Kömür enerji santrali [44]	18
Şekil 2.3: Petrol rafinerisi [44]	19
Şekil 2.4: Doğalgaz enerji santrali [44].....	19
Şekil 2.5: Nükleer santral [44].....	20
Şekil 2.6: Güneş enerji santrali	21
Şekil 2.7: Jeotermal kaynak yapısı [48]	22
Şekil 2.8: Biyokütle enerji döngüsü [48]	23
Şekil 2.9: Dalga enerjisi [50].....	24
Şekil 2.10: Hidroelektrik santrali [50]	24
Şekil 2.11: Rüzgar enerji santrali [52]	25
Şekil 3.1: Çanak FV sistemler	28
Şekil 3.2: Güneş bacaları [65]	28
Şekil 3.3: Parabolik sistemler	29
Şekil 3.4: FV hücre	30
Şekil 3.5: FV hücrenin elektriksel yapısı	30
Şekil 3.6: Seri bağlı 72 hücreli FV panel	31
Şekil 3.7: Dünyanın güneş enerji potansiyeli	32
Şekil 3.8: Türkiye'nin enerji potansiyeli [73]	34
Şekil 3.9: Kırklareli güneş radyasyon durumu [73].....	34
Şekil 3.10: Kırklareli'nin güneşlenme süresi (saat) [73]	35
Şekil 3.11: Kırklareli'nin radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) [73]	35
Şekil 3.12: Vize'nin güneşlenme süresi (saat) [73].....	36
Şekil 3.13: Vize'nin radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) [73]	36
Şekil 4.1: Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi [67]	40
Şekil 4.2: Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi [67]	41
Şekil 4.3: Hibrit bağlantılı yenilenebilir enerji sistemi [68].....	41
Şekil 5.1: Farklı türlerdeki güneş takip sistemleri	44
Şekil 5.2: FV hücre tasarımları	46
Şekil 6.1: FV sistem ve elemanları	51
Şekil 6.2: Kristal silisyum yapıdaki FV paneller [91]	52
Şekil 6.3: FV panel katmanları [92].....	52
Şekil 6.4: PWM şarj kontrol cihazı [93]	55
Şekil 6.5: MGNİ şarj kontrol cihazı.....	57
Şekil 6.6: FV sistem kurulumu akü kablo bağlantısı	58
Şekil 6.7: FV inverter yapıları: (a) merkezi inverter yapısı (CI), (b) string ve multistring inverter yapısı (MCI) ve (c) modül-entegre yapı (MIC, micro inverter).	59
Şekil 6.8: İnvvertör teknolojisine genel bir bakış.....	60

Şekil 6.9: Sigortalar.....	61
Şekil 6.10: FV parafudurlar	63
Şekil 6.11: A yöntemi eş potansiyel topraklama şeması	64
Şekil 7.1: Şebekeden bağımsız MGES elektrik projesine ait görsel	65
Şekil 7.2: Traçim çimento fabrikasındaki MGES konumu	66
Şekil 7.3: PVSQQL programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması.....	66
Şekil 7.4: PVSYST programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması.....	67
Şekil 7.5: PVSYST programında FV hücresindeki sıcaklığa ve ışıınıma bağılı akım-gerilim grafiğı.....	68
Şekil 7.6: PVSYST programında FV hücresindeki sıcaklığa ve ışıınıma bağılı güç-gerilim grafiğı.....	69
Şekil 7.7: PVSYST programında FV dizisinin kayıplarına bağılı akım-gerilim grafiğı.....	70
Şekil 7.8: PVSQQL programında sabit eksenli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli	71
Şekil 7.9: PVSQQL programında tek eksen hareketli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli	71
Şekil 7.10: PVSQQL programında çift eksen hareketli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli	72
Şekil 7.11: PVSYST programında sabit eksenli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli.....	72
Şekil 7.12: MGES'in yıllık güneş eğıim açısı ve güneş azimut açısı.....	73
Şekil 7.13: FV panel veriminin hücre sıcaklığına ve güneş ışıınımına göre değışimi	74
Şekil 7.14: MGES FV dizisine doğrudan, yansıyarak ve toplam gelen ışıınım miktarları.....	75
Şekil 7.15: PVSQQL programında MGES yıllık güneş enerji potansiyeli ve üretimi..	75
Şekil 7.16: PVSQQL programında MGES akü grubunun yıllık şarj ve deşarj değıerleri	76
Şekil 7.17: PVSYST programında MGES akülerinin şarj akımına bağılı şarj süresi	76
Şekil 7.18: PVSYST programında MGES akülerinin deşarj süresi	77
Şekil 7.19: PVSQQL programında MGES AA yük profili çalışma saatleri	77
Şekil 7.20: PVSQQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacı ve üretim miktarı.....	78
Şekil 7.21: PVSQQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacının karşılanabilirliğı ..	78
Şekil 7.22: MGES FV dizisinin akü kapasitesinden fazla elektrik üretimi	79
Şekil 7.23: PVSQQL programında MGES şematik gösterimi	80
Şekil 7.24: PVSQQL programında MGES yıllık ortalama sıcaklık ve rüzgar hızı	80
Şekil 7.25: PVSQQL programında MGES'in özet raporu	81
Şekil 7.26: SCADA programında gece (sol) ve gündüz (sağı) MGES arayüz görseli	82
Şekil 7.27: SCADA programında MGES enerji analizi görseli.....	83
Şekil 7.28: SCADA programında MGES güç analizi görseli.....	84
Şekil 7.29: MGES FV dizisinin sabit eksen güneş takip sistemi yapısının görünümü	85
Şekil 7.30: Tracim çimento fabrikasındaki MGES görselleri.....	85
Şekil 7.31: MGES FV dizisinin yüzeyindeki toz kaynaklı kirlilik durumu	86
Şekil 7.32: PVSQQL programında MGES enerji analizi görseli	87

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ MİKRO GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Alternatif enerji kaynaklarının kullanılmaya başlamasıyla elde edilecek avantajlardan bir kısmını sıraladığımızda; yerli kaynaklara öncelik verilmesi, dışarıdan alınan yakıtların azalması, yerli üretimle birlikte gerçekleşecek istihdamın artması aklımıza ilk gelenler olabilir. Bunlara ek olarak enerjideki ihtiyacı karşılanan sanayi sektörlerinin ekonomik bakımdan büyüme ve gelişmeye olanak sağlamasıyla ekonomik ve sosyal hayattaki istikrar ve refahın artması gibi kazanımların olduğu da söylenebilir.

Ülkemizin enerjide dışarıya olan bağımlılığını azaltmak, enerjide meydana gelebilecek talep artışını sorunsuz olarak karşılayabilmek, enerji kaynak çeşitlerini arttırmak ve arz güvenliğini oluşturmak amacıyla şeffaf, rekabetçi, çevresel sürdürülebilirliğe önem veren ve tüketicinin korunduğu bir enerji sektörü daima önceliği oluşturmalıdır. Ülkemiz coğrafi konumu bakımından alternatif enerji kaynaklarında özellikle güneş enerji potansiyeli açısından oldukça zengindir.

FV sistem teknolojilerinin sürekli gelişmesi, güneş enerjisinin daima bulunabilmesi, çevreye vereceği zararların yok denebilecek kadar az olması nedeniyle bu sisteme olan ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda FV sistemlerin performans tahmini, çalışma davranışları ve enerji üretim değerlerinin verimliliği için farklı benzetim programları geliştirilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında dünyada ve ülkemizde enerji kavramı ile ilgili genel bilgiler aktarıldıktan sonra Kırklareli ili Vize ilçesinde 960 Wp kurulu güce sahip, şebekeden bağımsız güneş enerjisi santralinin verileri ile FV sistemlerin performansı ve verimliliğini etkileyen faktörlerin sistemin performansına etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda öncelikli olarak performans, ısıtım tahmini ve kayıp parametrelerinin hesaplanması ve açıklaması yapılmıştır. Bu enerji santralinin PVSYSYST ve PVSQSQL programları ile benzetimi gerçekleştirilirken, benzetimde hangi parametrelerin kullanıldığından bahsederek mevcut değerlerle benzetim sonuçlarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Böylelikle Kırklareli’nde kurulumu yapılan ve işletme durumuna geçen Güneş Enerji Santrallerinin (GES) performansını ve verimini etkileyen faktörler incelenmiştir.

Yapılan çalışmada Kırklareli ili Vize ilçesi, Traçım Çimento fabrikasında kurulan şebekeden bağımsız mikro güneş enerji santralinin parametreleri benzetim çalışmasında kullanılmıştır. Benzetim çalışmasında kullanılan PVSYSYST ve PVSQSQL programlarından elde edilen veriler uygulama çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarının elde edildiği SCADA program verileri ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçların benzerlik gösterdiği görülmüştür. Böylece bu ve benzeri sistemler kurulmadan önce, bu gibi sistemlerin kurulacağı alanların analizi önceden yapılmış olacaktır.

ANALYSIS AND DESIGN OF OFF-GRID MICRO SOLAR POWER PLANT

SUMMARY

When we list some of the advantages that will be obtained with the introduction of alternative energy sources; The first thing that comes to our minds is to give priority to domestic resources, to decrease the fuels imported from abroad, to increase the employment to be realized with domestic production. In addition to these, it can be said that there are gains such as increasing the stability and prosperity in the economic and social life by allowing the industrial sectors that meet the energy needs to enable economic growth and development.

In order to reduce our country's dependence on foreign energy, to meet the demand increase in energy without any problems, to increase the types of energy resources and to create supply security, an energy sector that always cares about environmental sustainability and where the consumer is protected should always be a priority. Our country is very rich in alternative energy sources especially in terms of solar energy potential in terms of geographical location.

The interest in this system is gradually increasing due to the continuous development of PV system technologies, the availability of solar energy at all times, and the harm to the environment to be negligible. In this context, different simulation programs are developed for performance estimation, operating behavior and efficiency of energy production values of PV systems.

Within the scope of this thesis, after the general information about the concept of energy in the world and in our country is transferred, the data of the solar power plant with an installed power of 960 Wp in Kırklareli province Vize district and the effect of the factors affecting the performance and efficiency of the PV systems on the performance of the system were examined. In this context, performance, radiation estimation and loss parameters are calculated and explained. While simulating this power plant with PVSYST and PVSQLE programs, a comparison of the current values with the simulation results is given by mentioning which parameters are used in the simulation. Thus, the factors affecting the performance and efficiency of the Solar Power Plants (SPP), which were installed and put into operation in Kırklareli, were examined.

In the study conducted, the parameters of the micro-independent solar power plant installed in the Traçim Cement factory in Kırklareli province, Vize district were used in the simulation study. The data obtained from the PVSYST and PVSQLE programs used in the simulation study were compared with the application study. It was observed that the results obtained from the SCADA program data and simulation studies, where application results were obtained, were similar. Thus, before these and similar systems are installed, the analysis of the areas where such systems will be installed will be made in advance.

1. GİRİŞ

Enerjiye geçmişten günümüze doğru ihtiyaç duyulduğu gibi gelecekte de ihtiyaç duyulacağı muhakkaktır. Dünyamızın var oluşuyla birlikte ihtiyaç duyulan enerji artarak devam etmektedir. Enerjiye olan ihtiyaç, öncelikli olarak sanayi devriminin yaşandığı 19. yüzyılda son derece artmıştır. Bireyler enerji ihtiyacını geçmişte geleneksel (yenilenemeyen) enerji kaynaklarıyla elde etmiştir. Petrol, kömür, doğalgaz gibi bilinen bu enerji kaynaklarının kullanımının artması bu kaynakların giderek azalmasına sebep olmuştur. Bu sebeple alternatif (yenilenebilir) enerji kaynaklarına olan ilgi artmış ve giderek daha da artmaktadır [1].

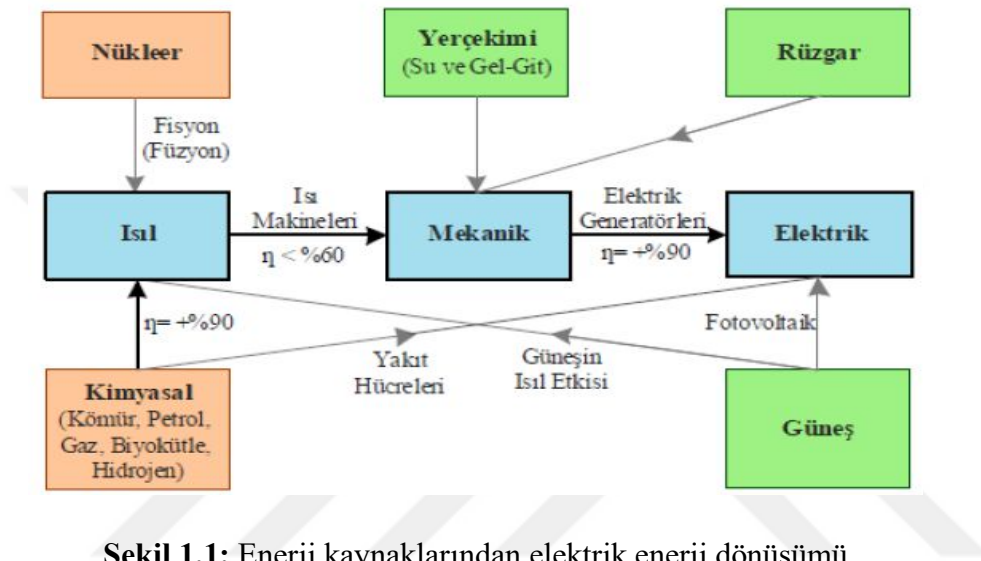
Alternatif enerji kaynaklarının temiz ve sürdürülebilir oluşu, yaşadığımız dünyada ekolojik açıdan oldukça önemlidir. Burada ayrıca alternatif enerji kaynaklarının çeşitlilik arz etmesi sadece bir bölgede üretim olmasının da önünü açmıştır. Örneğin bazı yerlerde enerji üretmek için rüzgâr, kullanılırken bazı bölgelerde güneş enerjisi kullanılmaktadır. Bu durum alternatif enerjinin en önemli üstünlüklerinden biridir [2].

Dünya nüfusunda meydana gelen artış, kentleşme, sanayileşme, teknolojinin gelişimiyle bireylerin kullandıkları araç-gereçlerin çeşitlilik kazanması enerjideki tüketimi de hızla arttırmaktadır. Araştırmacılar bu gelişmelerle birlikte enerji tüketiminin de her geçen yıl arttığını ve bu artışın da yılda ortalama % 4 - 5 olduğunu ifade etmektedir [3]. Enerjinin elde edilmesinde yaygın olarak kullandığımız petrol, kömür, doğalgaz gibi geleneksel yakıt kaynaklarının azalması bu alanda farklı çalışmaların yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu araştırmalarda elde edilen en önemli sonuç, insanların enerji tüketim hızının, geleneksel yakıtların meydana gelme hızından 300 bin kat daha fazla olduğudur. Bu bakımdan enerjiye ihtiyaç duyan ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir [3], [4].

Alternatif enerji; doğada devamlı olarak tekrarlanan olaylar neticesinde elde edilmektedir. Biyokütle (hayvan, odun ve bitki atıkları) dışında kalan güneş, hidrolik, jeotermal, rüzgâr, dalga ve hidrojen gibi kaynakları herhangi bir yakma olayı

olmadan doğrudan elektrik üretildiğinden bu kaynaklar çevre kirliliğine sebep olmayan enerji kaynaklarıdır.

Yukarıda ifade edildiği gibi enerji, insanlığın en temel ihtiyaçlarından biridir ve gelişen dünyamız da enerjiye olan ihtiyaç sürekli artmaktadır. Yeryüzünde nükleer, geleneksel (fosil yakıtlar), su ve gel-git, güneş ve rüzgâr gibi varlığını bildiğimiz enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu kaynaklardan elektrik enerjinin elde edilmesine ait blok şema Şekil 1.1’de gösterilmiştir [5].



Şekil 1.1: Enerji kaynaklarından elektrik enerji dönüşümü

Sanayi alanındaki gelişim, endüstriyel üretim ve gelişen teknolojiyle birlikte tüketilen enerjide sürekli artış görülmektedir. Bu bağlamda bir enerji krizinin yaşanma ihtimali giderek artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (UEA) yaptığı bir çalışmada dünyadaki enerji ihtiyacının 2030 yılında % 55 oranında artacağını ve bu artışın % 84'lük kısmının geleneksel yakıtlarla karşılanacağı belirtilmiştir. Geleneksel enerji kaynaklarının sürekli olarak tükenmesi ve yenilenmesinin uzun zaman alması, iklim değişikliğiyle ortaya çıkan enerji üretimindeki alternatif kaynakların önemini giderek arttırmaktadır [6].

Jeotermal, güneş, rüzgâr enerjisi alternatif enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilmektedir. Bu enerji kaynaklarının bir çeşidi olan güneş enerjisi, güneşte oluşan füzyon olayları neticesinde oluşmaktadır. Bu bakımdan güneşte meydana gelen füzyon olayları, ısıma olayını meydana getirir ve bu, güneş enerjisi olarak adlandırılır. Güneşte meydana gelen ışığın yaklaşık yarısı dünyanın yüzeyini saran atmosfer tabakasından geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte yeryüzündeki canlı hayatın devamı sağlanmış olur. Yeryüzünde meydana

gelen sıcaklık değişimleri sebebiyle rüzgâr ve okyanus hareketleri meydana gelmektedir. Güneşte oluşan enerji miktarı atmosferin dışında yaklaşık olarak 1370 W/m^2 , yeryüzünde bu enerji miktarı $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ 'dir. Buradan yeryüzünde erişilebilen enerji miktarının küçük bir kısmının bile tüketilen enerjiden oldukça fazla olduğu görülmektedir. Literatüre bakıldığında güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme çalışmalarının 1970 yılından sonra arttığı görülmektedir. Ekolojik açıdan çevre dostu bir kaynak olan güneş enerjisi sisteminin ya da farklı adıyla fotovoltaik (FV) sisteminin, teknolojik gelişmelerle birlikte birim alanda enerji üretimi artmış ve önceki yıllara göre enerji üretiminin birim maliyeti azalmıştır[7].

Güneş enerjisini tarihsel açıdan incelediğimizde ilk olarak Fransa'da 1860 yılında kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Jeotermal kaynaklar daha çok ısıtma amaçlı olarak kullanılmış ve yel değirmenleriyle beraber elektrik üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. Sonraki yıllarda ilk petrol kaynakları Amerika'da bulunmuştur. Bununla beraber benzin, fueloil vb. gibi yan kaynaklar elde edilmiş ve farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ise elektrik ilk olarak 1914 yılında İstanbul'da kullanılmaya başlanmıştır [8].

Ülkemiz konum itibarıyla alternatif enerji kaynakları bakımından birçok ülkeden oldukça avantajlı durumdadır. Devlet Meteoroloji Dairesinin (DMD) 1966 - 1982 yılları arasında yaptığı çalışmada "ülkemizin ışık miktarı ve güneş alma süresi" bilgileri sırasıyla günlük yaklaşık $3,6 \text{ kWh/m}^2$ yıllık toplam 1311 kWh/m^2 , güneş alma süresi günde yaklaşık 7,2 saatten yıllık toplam 2640 saat olarak belirlemiştir. DMD'nin bu çalışmasına göre, 2008 yılında ülkemizin güneş enerji haritası çıkarılmış ve bu haritada Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİEİ) web sayfasında yayınlanmıştır. Bu yıldan sonra yapılan ışık miktarı ve güneş alma süresi ölçümleri; günlük ışık miktarı yaklaşık $4,17 \text{ kWh/m}^2$ ve yıllık güneş alma süresi yaklaşık 2740 saat olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ülkemizin en az Aralık en çok Haziran ayında güneşten faydalanarak elektrik enerjisi üretebildiği açıklanmıştır. Literatürdeki araştırmalar incelendiğinde ülkemizin bölgesel farklılıkları bulunsa da güneş enerjisine ait yatırımların yapılabileceği 4600 km^2 'lik bir uygun bölgenin bulunduğu görülmektedir [9].

Çalışmalar incelendiğinde güneş enerjisinin değerlendirilmesinde iki temel metodun kullanıldığı görülmektedir. Bu metodlar teknoloji, yöntem ve malzeme açısından

farklılık göstermektedir. Bu bakımdan en temel ayrım güneş enerjisini ya ısıya ya da elektrik enerjisine dönüştürmesi olarak belirtilmektedir;

- FV Güneş Teknolojileri: FV hücreler yarı iletken malzemelerden oluşmakta ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedirler.
- Isıl Güneş Teknolojisi: Bu teknolojilerde güneş enerjisinden doğrudan ısı elde edildiği gibi sonrasında bu ısı elektrik enerjisinin üretiminde kullanılmaktadır [10].

FV sektör alanı % 25 oranında bir büyümeyi özellikle 2014 yılından sonra elde etmiştir. 2015 yılının başlarında güneş enerjisinden 50 GW seviyelerinde bir kapasite artışı meydana gelmiş ve bu küresel bakımdan toplam 227 GW seviyelerine ulaşmıştır. Bölgesel olarak ele alındığında FV kurulu gücün kapasite sıralaması Avrupa, Asya, Kuzey Amerika ve Afrika olarak belirtilmektedir. Diğer yandan dünya geneline bakıldığında en fazla FV sistem kapasitesi Almanya, Çin, ABD, Japonya ve İtalya gibi ülkelerde bulunmaktadır. 2015 verileri Almanya'nın kişi başına düşen FV sistem kapasitesinde ilk sırada yer aldığını göstermektedir. Bu bağlamda Japonya, Çin ve ABD'de ise önemli ölçüde FV kapasite artışından bahsetmek mümkündür. Güneş enerjisinden ısı elde etme durumu bakımından lider konumda bulunan Çin, ABD ve Almanya gibi ülkeleri Türkiye takip etmektedir [11].

1.1 Tezin Amacı

Alternatif enerji kaynaklarının kullanılmaya başlamasıyla elde edilecek avantajlardan bir kısmını sıraladığımızda; yerli kaynaklara öncelik verilmesi, dışarıdan alınan yakıtların azalması, yerli üretimle birlikte gerçekleşecek istihdamın artması aklımıza ilk gelenler olabilir. Bunlara ek olarak enerjideki ihtiyacı karşılanan sanayi sektörlerinin ekonomik bakımdan büyüme ve gelişmeye olanak sağlamasıyla ekonomik ve sosyal hayattaki istikrar ve refahın artması gibi kazanımların olduğu da söylenebilir.

Ülkemizin enerjide dışarıya olan bağımlılığını azaltmak, enerjide meydana gelebilecek talep artışını sorunsuz olarak karşılayabilmek, enerji kaynak çeşitlerini arttırmak ve arz güvenliğini oluşturmak amacıyla şeffaf, rekabetçi, çevresel sürdürülebilirliğe önem veren ve tüketicinin korunduğu bir enerji sektörü daima

önceliği oluşturmalıdır. Ülkemiz coğrafi konumu bakımından alternatif enerji kaynaklarında özellikle güneş enerji potansiyeli açısından oldukça zengindir.

FV sistem teknolojilerinin sürekli gelişmesi, güneş enerjisinin daima bulunabilmesi, çevreye vereceği zararların yok denebilecek kadar az olması nedeniyle bu sisteme olan ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda FV sistemlerin performans tahmini, çalışma davranışları ve enerji üretim değerlerinin verimliliği için farklı benzetim programları geliştirilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında dünyada ve ülkemizde enerji kavramı ile ilgili genel bilgiler aktarıldıktan sonra Kırklareli ili Vize ilçesinde 960 Wp kurulu güce sahip, şebekeden bağımsız güneş enerjisi santralının verileri ile FV sistemlerin performansı ve verimliliğini etkileyen faktörlerin incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikli olarak performans, ışıınım tahmini ve kayıp parametrelerinin hesaplanması ve açıklaması yapılmıştır. Bu enerji santralının PVSYST ve PVSQQL programları ile benzetimi gerçekleştirilirken, benzetimde hangi parametrelerin kullanıldığından bahsederek mevcut değerlerle benzetim sonuçlarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Böylelikle Kırklareli’nde kurulumu yapılan ve işletme durumuna geçen Güneş Enerji Santrallerinin (GES) performansını ve verimini etkileyen faktörler incelenmiştir.

Bu bakımdan tez çalışması 8 bölümde ele alınmıştır:

Birinci Bölüm: Bu bölümde enerji ve enerjinin geleceği hakkında bilgiler verildikten sonra tezin amacı ve literatür araştırmalarına değinilmiştir.

İkinci Bölüm: Bu bölümde enerji kaynaklarına değinilmiş, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları açıklanmıştır.

Üçüncü Bölüm: Bu bölümde güneş enerji teknolojisi, dünyada ve ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli ve Kırklareli’nin güneş enerjisi potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü Bölüm: Bu bölümde güneş enerjisi santrallerinden bahsedilmiş, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit enerji sistemleri açıklanmıştır.

Beşinci Bölüm: Bu bölümde güneş enerji sistemlerinin performansını etkileyen faktörler hakkında bilgiler verilmiştir.

Altıncı Bölüm: Bu bölümde şebekeden bağımsız olarak kullanılan güneş enerji santrallerindeki ekipmanlar incelenmiştir.

Yedinci Bölüm: Bu bölümde mikro güneş enerji santrali (MGES) için PVSYST ve PVSQI benzetim programları ile SCADA gerçek zamanlı izleme ve kontrol programı verileri değerlendirilmiştir. İstatistiksel ve ölçümsel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sekizinci Bölüm: Bu bölümde yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1.2 Literatür Taraması

Bu bölümde şebekeden bağımsız güneş enerji santrallerinin son on yıla ait literatür incelemesi verilmiştir. Yapılan çalışmalar yıllara (2010 - 2020) göre sıralanarak incelenmiştir. Literatürde dünya genelinde yapılan güneş enerji santrallerinin performans ya da kayıp parametrelerinin araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan benzetim programları karşılaştırılmış, FV sistem benzetiminin yüksek doğruluk oranıyla çalıştığı programlar değerlendirilmiş, önceki yıllarda yapılan benzer çalışmalar incelenmiş ve genel düzeyde FV sistemler hakkında açıklamalara yer verilmiştir. Ayrıca FV sisteminin benzetim programları vasıtasıyla modellenerek elde edilen benzetim sonuçlarının kullanıldığı veya üretim safhasında olan FV sistem verilerinin kullanılmasıyla performans değerlendirmelerinin yapıldığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada FV hücre yapısına ait yerleşim şemasının, büyük bir FV enerji santralinde üretilecek enerji üretiminde çok önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmaktadır. Yapılan çalışmada FV sistemler için PVSYST programı kullanılan tek ekseni takip edebilen basit düzeyli optimum bir şema önerilmektedir. Öncelikle güney-kuzey ve doğu-batı yönünde bulunan FV dizinin referans uzay bileşenleri, uygulamalı mühendislik deneyimleriyle belirlenmiştir. Daha sonra birim maliyetle güç üretme kapasitesi kullanılarak, FV dizi boşluklarıyla optimizasyon parametrelerinin belirlenmesinde iki kez eleme gerçekleştirilmektedir [12].

Kaynak [13]'de araştırmacılar, sınırlı bir alan içerisinde elektrik üretim kapasitesini en üst seviyeye çıkarmayı amaçlamışlardır. Güneş ışıınımı ve sıcaklık değişimi FV sistemlerin performansını belirleyen ana etkenlerdir. FV sistemin benzetimi bağımsız

bir sistemle yapılmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda çift eksenli takip sistemi bulunan 3 katmanlı bir FV sistemden maksimum üretim elde edilmiştir. Bu bağlamda maksimum enerji üretimi için alan gereksinimi % 58'e kadar düşürülmüştür.

Farklı bir çalışmada yerel hava koşullarına bağlı olarak 5,28 kW şebekeden bağımsız FV bir sistemin performansı ortaya koyulmaya çalışılmaktadır. Yerel hava koşulları etkisi günlük ve günlük baza bağlı DA performans oranına göre enerji verimi esas alınarak çalışılmıştır. Saatlik ortalama enerji veriminin artan FV panel yüzey sıcaklığı ile azaldığı görülmüştür. Günlük enerji verimi, FV panel yüzeyinde toz birikmesine neden olabilecek günlerde azaldığı tespit edilmiştir [14].

Kaynak [15]'da Karki ve arkadaşları PVSYST yazılımını kullanarak Berlin ve Katmandu'daki 60 kWp gücündeki FV sistemlerin karşılaştırmalı performans çalışmalarını sunmuşlardır. Bu çalışmada enerji üretimiyle birlikte farklı olası kayıp değerlerinden bahsedilmiştir.

Yapılan farklı bir çalışmada, Türkiye'de farklı bölgelerden 7 il seçilmiş ve buralarda farklı teknolojiler kullanılan FV sistemleri üzerine çalışma yapılmıştır. Şebekeden bağımsız olarak uygulama yapılan sistemlerin benzetimi yapılarak kullanıcılara maliyet analizleri sunulmuştur. Bu çalışmada öncelikle güneş radyasyon değerleri ve FV sistemler için gerekli bilgiler sunulmuştur. FV sistemlerin tasarımında bileşenler ve önem arz eden parametrelerin belirlenmesi tartışılmıştır. FV sistemlerin yük parametreleri ve sistem türleri açıklanmıştır. FV sistemlerin benzetimi için araştırmacıların da genel olarak kullandığı PVSYST programı tercih edilmiştir. Kullanılan sistemin tasarımı ve modelleme kademeleri çok karmaşıktır. Bu sebeple çok fazla parametre bulunmaktadır. Burada tasarımda çalışacak kişilerin yeterli bilgiye ve aynı zamanda bilgi birikimine sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır. Diğer yandan, seçilen bölgelerin iklim, enlem ve meteorolojik verileri FV sistemlerin modellenmesindeki etkileri önemlidir. Modül teknolojisinin seçiminde bölgelerdeki maliyete, sıcaklık değerlerine, kayıplara ve verimliliğe bağlılık olduğu sonucu vurgulanmıştır [16].

Kaynak [17]'de Baklouti ve arkadaşları FV sisteminin elektriksel verimini doğrudan, panellerdeki güneş enerjisiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Elektriksel verim; güneş ışınlarındaki değişimler, uyum, yerel radyasyon klimatolojisi, eğim açısı vb. gibi pek çok etkene bağlıdır. FV sistemlerin profesyonel bakımdan çalışması,

belirtilen bütün bu parametrelerin kullanıldığı ve dikkate alındığı bir yazılım programının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu çalışma, Tunus'ta gerçekleştirilmiş olup 2295 Wp kurulu güce sahiptir. Bu FV tesis PVSYST programıyla karakterize edilerek çalıştırılmıştır.

Kandasamy ve arkadaşları Tamil Nadu'nun güneyinde dört farklı coğrafik bölge için PVSYST programını kullanarak bölgedeki güneş potansiyelinin değerlendirmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu bölgeler sırasıyla Sivagangai, Tuticorin, Madhurai ve Sivakasi'dir. Burada 1000 kWp gücünde bir FV sistemin performansı değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesinde FV dizi verimliliği, enerji üretimi, performans oranı ve oluşabilecek diğer maliyet değerleri detaylı olarak tartışılmıştır [18].

Hindistan'da kurulu gücü 190 kWp olan şebeke bağlantılı FV sistemin performans analizi gerçekleştirilmiştir. FV tesisinin referans verimi, nihai verimi, performans oranı ve kapasite faktörünün değerlendirildiği çalışmada sistemin performansı, dünya çapında kurulan diğer FV sistemleri ile karşılaştırılabilir olarak bulunmuştur. Tahmini enerji veriminin, güneş santralinin ölçülen verimiyle yakın uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar, gerçek çalışma koşullarında güneş enerjisi santralinin uzun vadeli performansına ilişkin bir fikir vermektedir. Kaynak [19]'de Sharma ve arkadaşları Hindistan'nın Khatkar-Kalan bölgesinde kurulan 190 kWp FV sistemi detaylı olarak inceleyip sonuçları analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada PVSYST programından elde edilen benzetim sonuçlarıyla tesisten elde edilen uygulama sonuçları arasındaki veriler karşılaştırılmış ve performanslar sunulmuştur. Yıllık olarak değerlendirildiğinde 190 kWp gücünde FV tesisin sistem verimliliği, ortalama performans oranı ve kapasite faktörü sırasıyla % 8,3, % 9,27 ve % 74 olarak tespit edilmiştir [19].

Kaynak [20]'de Altuntop ve Erdemir, Türkiye'de yapılan güneş enerjisi çalışmalarını sunmuşlardır. Çalışmaya göre Türkiye'deki güneş enerjisinin kullanımı 2004 yılına kadar ısıtıcı uygulamalar alanındadır. 2004 yılından sonra kullanımı giderek artmış ve çoğunlukla elektrik üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda özellikle lisanssız olarak yapılan güneş enerji santralleri 0,5 MW güçten 1 MW güce çıkmıştır. Yenilenebilir enerji kanunu ile açıklanan fiyattan 10 yıllık satın alma garantisi verilmesi, güneş enerjisinden elektrik elde etme ilgisini arttırdığı belirtilmiştir.

Yapılan farklı bir çalışmada güneş enerjisiyle bir tesisin aydınlatmasını karşılamak amacıyla güneş enerjisinin nasıl kullanılabileceği hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. Sistemin tasarımında tesisin optimizasyonu için PVSYST programı kullanılmıştır. Burada FV panellerin yönü ve eğimi esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Önerilen FV sistem, 9,9 kWp nominal güçte olup 3 adet batarya, 3 adet inverter ve 66 adet FV modülden oluşmaktadır [21].

Suudi Arabistan elektrik ve su ısıtma için güneş, rüzgâr, jeotermal, gelgit ve biyokütle gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma King Faisal Üniversitesi'nde 2 kWp kurulu güçte sahip şebekeden bağımsız FV sisteminin tasarımını içermektedir ve önerilen sistemin enerji depolama tesisi ile teknik ve ekonomik analizi için bir yöntem sunulmuştur. FV sistemi mühendislik üzerine inşa edilmiş ve araştırmalar akademik amaçlar için kullanılmıştır. Tasarım, benzetim ve analiz, alanın coğrafyasını, çevreleyen ağaçları, binaları, güneş enerjisi kaynaklarını ve mevcut güneş teknolojilerini dikkate alan PVSYST programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yakındaki binalar ve ağaçlar nedeniyle gölgelendirmenin sistem performansı üzerinde sınırlı etkileri olduğu bulunmuştur. Ancak, çalışma, yaz aylarında güneş ışıınım değerinin yüksek olmasına rağmen, yüksek ortam sıcaklıklarının verilen sistem bileşenleri için genel sistem performansını büyük ölçüde engellediğini ve güneş pili verimliliğini % 16'ya kadar azalttığı vurgulanmıştır. Gölgeleme nedeniyle oluşan kayıplar, panel aralığına ve alan yerine bağlı olarak % 0,70 ila % 4,2 arasında değişmektedir [22].

Kaynak [23]'de Mambrini ve arkadaşları FV sistemlerdeki kayıpların en önemli faktörlerinden birini, düşük ışık düzeylerinde meydana gelen dönüşüm verimliliğinde keskin düşüş olarak belirtmektedir. Bu bağlamda modül verimliliğinin FV teknolojisine bağlı olduğunu ve genel itibarıyla ışığın 200 W/m^2 'nin altına düştüğünde etkili olduğu belirtilmiştir. Bu durum sabit test koşulları uygulanırken gözlenemez, çünkü ışığın düzeyi 1000 W/m^2 'ye sabitlenmektedir. Yapılan çalışma, bir kaç hafta süresince dış mekân parametreleri kullanılarak modüllere ait düşük ışık dönüşüm performansını hesaba dâhil eden bir yöntem sunmaktadır.

Yapılan farklı bir çalışmada Haiti'deki Port-Margot Okulu Solar Projesi için bir FV sistem tasarlanmıştır. Bu şebekeden bağımsız sistem FV panel, inverter, akü, sigorta, DC/AC bağlantı kesme ve transformatör gibi bileşenlerden oluşmaktadır. FV panel çatıya sığacak şekilde boyutlandırılması belirlenmiştir. Akü deposu ve inverter okul

binasına monte edilmek üzere seçilmiştir. Beklenen enerji üretimi NASA web sitesindeki veri dosyası ile karşılaştırılmıştır. Bu FV sistem, okulun elektrik yükünü azaltan, en etkili ve yenilenebilir teknolojiler olarak seçilmiştir [24].

2015 yılında Morshed ve arkadaşları 2 kWp kurulu güce sahip FV sistemi Bangladeş Dakka'da faaliyete geçirmiştir. MATLAB SolarMAT adlı programda benzetimini yaparak elde edilen sonuçları PVSYST ve HOMER programını kullanarak tasarlamıştır. SolarMAT ortamında tasarlanan güneş enerji sistemi diğer iki sisteme benzer sonuçlar üretmiştir. Bu yazılımlardan elde edilen istatistiksel sonuçlar uygulamada elde edilen ölçümsel sonuçlarla karşılaştırılmış ve kabule yakın değerlerin elde edildiği belirtilmiştir [25].

Yapılan farklı bir çalışmada Yadav ve arkadaşları, Hindistan'ın Hamirpur bölgesinde 1 kWp kurulu güce sahip FV sistemin benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Verimlilik oran değeri hesaplanmıştır. Sistemdeki kayıp değerlerin çıkarılmasıyla birlikte enerji üretimini % 72,4 olarak tahmin etmişlerdir [26].

Kaynak [27]'de Irwan PVSYST programını kullanmış ve şebekeden bağımsız FV sistemin değerlendirmesini sunmuştur. Yapılan araştırmada güvenilir ve etkin bir FV sistemi geliştirmek ve yıllık bazda enerji üretiminin tahmin edilmesi için PVSYST benzetim programı kullanılmıştır. FV modülü tarafından üretilmekte olan toplam enerji miktarı ve farklı güç kayıp değerleri belirlenerek en uygun FV sistemi yapılandırılmıştır. Diğer yandan, tüm sistemin içerisinde toplam enerji akışı hesaplanmıştır.

Yedi adet şebekeden bağımsız FV sistemden ölçülen veriler, yük tahmin hatasının tasarım, maliyet ve güvenilirliği nasıl etkilediğini incelemek için bir araştırma yapılmıştır. Her bir sistemi deterministik bir benzetim kullanarak yeniden tasarlamak için yük tahminlerine üç sezgisel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Yük tahmin hatası, güvenilirlik üzerinde doğrusal olmayan bir etkiye sahiptir, yüksek güvenilirlik yüksek maliyetle elde edilmektedir. Sıfır ortalama yük tahmin hatası olsa bile, bazı tasarım yaklaşımları düşük güvenilirliğe sahip sistemler üretmektedir. Sonuçlar, sistem tasarımında yük dağılımı ve zamansal özellikleri dikkate alma ihtiyacını vurgulamaktadır [28].

Yapılan farklı bir çalışmada Barua ve arkadaşları üniversite için FV çatı sistemleri tasarlamayı ve analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çatı FV sistemdeki projenin tasarımı

ve fizibilite çalışması ve coğrafi konumu NASA yüzey meteorolojisi verilerinden alınmış olup PVSYST programı kullanılarak incelenmiştir. Benzetimden elde edilen değerlerin analizleri, çalışmanın Pondicherry Üniversitesi'nde bir yılda tüketilen enerjinin yaklaşık % 11'inin yani yılda 590 MWh enerji kısmını karşılayabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu sistemle üretilen enerji sayesinde 42 tonluk karbondioksit tasarrufu sağlatılabilecektir [29].

Kaynak [30], 100 kWp kurulu güce sahip şebeke bağlantılı Si-poli FV sistemin benzetim performansını analiz etmektedir. Bu çalışma, bir eğitim kurumunun elektrik yükünü sağlamak için bir FV sistem kurmanın fizibilitesini değerlendirmek için yapılmıştır. Benzetim çalışması yapılan sistem 323 adet Si-poli FV modül içermektedir. Her FV modülün 310 Wp güç değeri vardır. Tüm FV modüller 17 dizi halinde düzenlenmiştir ve her bir FV dizi 19 adet FV modülden oluşur. Her biri 20 kW nominal güce sahip dört güneş inverteri bulunmaktadır. Benzetim, PVSYST programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için Meteonorm 7.1 veri tabanından gelen güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı hava durumu veri setleri kullanılmıştır. Benzetim sonuçları, FV sistemin performansını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Bu, FV dizinin etkin enerji çıktısının, performans oranının ve kurulu kWp başına diğer normalize edilmiş enerji üretimlerinin değerlendirilmesini içermektedir. 100 kWp kurulu güce sahip FV sistem, yılda 165,38 MWh enerji üretmektedir. Yıllık performans oranı % 80 civarındadır [30].

Kaynak [31] İtalya'nın güneyinde bulunan 960 kWp kurulu güce sahip FV sistemin performansı araştırılmıştır. Çalışmada FV sistemin uygulamadaki ölçümsel performansı, 2 benzetim programı olan PVSYST ve SAM kullanılarak elde edilen istatistiksel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. PVSYST ve SAM modellerinden elde edilen istatistiksel sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için ayrıntılı bir analiz çalışması yapılmıştır. İstatistiksel ve ölçümsel sonuçlar karşılaştırıldığında PVSYST yazılımının SAM yazılımından daha iyi sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Performans oranı ve kapasite faktörü 43 aylık periyotta incelenmiş ve sırasıyla % 84,4 ve % 15,6 olarak bulunmuştur [31].

Gelişmekte olan dünyadaki en büyük zorluklardan biri, şebeke büyümesinin oldukça pahalı olduğu kırsal bölgede yaşayan insanlara ekonomik ve güvenilir elektrik erişimi sağlanmasıdır. Şimdiye kadarki birçok şebeke dışı çalışma ev aydınlatmasına odaklanmıştır. En büyük zorluklardan bazıları satın alınabilirlikle ilgilidir ve

arızalanan ekipman veya hizmet için kullanıcının ödeme yapmaya devam edememesi nedeniyle sistemlerde sunulan hizmetin sürdürülebilirliği ortadan kalkmaktadır. En iyi programların başarısının anahtarının, kullanıcıların ekonomik beklentilerini iyileştirmenin araçları olduğu bildirilmiştir. Çalışmada Kenya'daki kırsal bir köy için temel aydınlatma ve cep telefonu şarj hizmetine ek olarak gelir getirici faaliyetler sağlayan bir güneş enerjisi merkezi tasarımı rapor edilmektedir. Enerji merkezi modelini, bugün Kenya'da mevcut ekipmanlarla uygun bir maliyetle, toplum için bir gelir kaynağı sunabilecek faaliyetlere destek sağlamak için kullanmanın mümkün olduğu belirlenmiştir [32].

Kaynak [33], PVSYST benzetim programını kullanarak 2018 yılında Irak'ta bir ilköğretim okulunun FV sisteminin analizi yapılmıştır. Bağdat'taki bu sistemde yılda yaklaşık 9,82 MWh enerji üretilmekte ve sistemin performans oranı % 82,5 olmaktadır. Elde edilen enerjinin % 62,7'si tüketilmektedir. Bu sistemin 10 yıl süreyle kullanılması durumunda 1 kWh'lık enerjinin 0,058 dolara mal olacağı ve bu bakımdan ekonomik olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda FV güç sisteminin şebekede bulunan azami yük durumunda pozitif etkilerinin olacağı ve şebeke sistemindeki yük talebinin karşılanmasında yardımcı olduğu belirtilmiştir.

Faysal ve arkadaşları 2018 yılında Bangladeş'te kırsal bir bölgede 30 MWp kurulu güce sahip FV sistemi tasarlamıştır. Çalışma, dünyada günlük açıdan yatay güneş ışınımı değerleri, geniş bir hava durumu veri tabanına ve çeşitli üreticilerin farklı alternatif enerji sistemlerine ait bileşen verilerine sahip olan RETscreen ve PVSYST programı kullanılarak yapılmıştır. Programlarda 30 MWp kurulu güce sahip FV sistemin ön pratik çalışmasıyla başlamıştır. FV sistemin ölçülendirilmesi için, verim faktörü ve PVSYST kullanılarak benzetim yapılmıştır. Çalışmada ayrıca kapasite faktörü ve performans oranı da incelenen diğer teknik performans kriterleridir [34].

Kaynak [35], 2018 yılında yapılmış ve tek eksenli FV takip sistemlerine ait enerji değişimlerinin etkisinin araştırılması üzerinedir. Bu bağlamda, 2030 yılında kullanılacak olan % 100 alternatif enerji kaynaklı sistemler için “tek eksenli izleme seçeneği” olan ve olmayan durumunda iki durum incelenmektedir. Her iki durumda da en uygun enerjiyi bulmak için, Enerji Sistemi modeli LUT tarafından hesaplanabilen yıllık maliyet toplamı simge durumunda küçültülmüştür. Diğer yandan, tek eksenli FV takip sistemlerine ait yıllık verimin tahmin edilmesi için PVSYST benzetim programı kullanılmıştır. Benzetimden elde edilen sonuçlara göre

verim yaklaşık % 4 olarak belirtilmiştir. Her iki durumda da görülen FV ve rüzgar enerjisinin gelecekte yeni nesil teknolojilerle kullanılacağını göstermektedir. Ayrıca çalışmada FV sistemlerin küresel üretimdeki payının % 47'den % 59'a yükseleceği ve toplam enerjinin % 20'sinin de tek eksenli FV takip sistemiyle üretileceği belirtilmektedir. Küresel anlamda ortalama enerji maliyetinin % 6 azalacağı ve 1 MWh enerjinin 54,8 € 'dan 51,4 € düşmesi beklenmektedir.

2018 yılında yapılan bir çalışmada Hindistan'ın 2022 yılına kadar 175 GW'lık alternatif enerji kapasiteli şebeke kurmayı hedeflediği belirtilerek bunun 100 GW'lık kısmının da güneş enerjisiyle elde etmeyi düşündüğü belirtilmektedir. Burada 40 GW'lık gibi büyük ve önemli bir kısmı şebeke bağlantılı çatı tipi FV tarafından sağlanacaktır. Bu araştırmada Nagar-Nigam Kota-Rajasthan için çatı tipi FV sistemi değerlendirilmektedir. Tesis edilen sahanın enlem ve boylamları sırasıyla 25 ° 11' 33 "K ve 75 ° 48' 55" D' dir. 100 kW kurulu güce sahip bir çatı tipi FV santralinin PVSYST programıyla belirlenen yıllık enerji üretim değeri ise 167822 kWh 'dir [36].

Kaynak [37]'de 10 kWp kurulu güce sahip çatıya monte edilen FV sistemin performans değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Açık alanlarda kurulan FV sistemlerden farklı olarak yapısında kristal silikon teknolojisi bulunan FV modülü kullanılmıştır. Sistem Hindistan'da Peters Engineering College eğitim kurumunun çatısında boş bulunan kısımlarına kurulmuştur. Benzetim programından elde edilen sonuçlar çatıya monte edilen FV enerji sistemine ait kapasite faktörünü % 17,5 olarak göstermekte bu durum sistemin iyi çalıştığını göstermektedir. Enerji üretim değerlerine bakıldığında Temmuz ayında minimum 1095 kWh, Mart ayında maksimum 1450 kWh ve yıl sonunda toplam 15371 kWh olarak tespit edildiği vurgulanmıştır.

Farklı bir çalışmada çeşitli türlerdeki piller (kurşun-asit piller ve lityum-iyon piller) HOMER programında şebeke dışı FV sistemin farklı bileşenlerinin en uygun boyutu tespit edilmektedir. Önerilen model, çeşitli tipte aküler için uygunluk kriterleri ve net mevcut maliyet açısından bir köy evi için şebekeden bağımsız FV sistemin en uygun boyutunu göstermektedir. Gözlemlenen şebekeden bağımsız sistem FV modül, dönüştürücü, pil ve yükten oluşup HOMER programında modellenmiştir. Yük, köy evi için günlük yük diyagramı ile modellenmiştir. Kurşun-asit ve lityum-iyon piller

için, beş farklı senaryo (fiyat ve kullanım süresi açısından) için şebekeden bağımsız bir FV sistemin farklı bileşenlerine ait optimum boyut elde edilmiştir [38].

2019 yılında Kumar ve arkadaşları kuzey Hindistan'daki Chandigarh yerleşkesinde 200 kWp kurulu güce sahip çatıya monte kristal silikon teknolojili FV sistemin verimini, ömrünü ve enerji kaybını araştırmışlardır. Benzetim programı PVSYST, enerji kaybını ve üretimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Verim, performans oranı ve kapasite faktörünü değerlendirmek amacıyla enerji üretimiyle birlikte farklı girdi parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Enerjideki kayıpların ayrıntılı bir değerlendirmesi için, 3 basamaklı bir öneri kullanılmaktadır. Birinci basamak FV panel dizisine ulaşan güneş ışığı, güneş ışığının doğru akım elektrik enerjisine dönüşümü ve doğru akımın alternatif akıma dönüşümünü, ikinci basamakta güneş ışığının doğru akım elektrik enerjisine dönüşümü PVSYST benzetim modellemesiyle tahmin edilmektedir. Son basamakta ise kristalin FV sistemlerde meydana gelen bozulma oranı FV modüllerde kullanılan güvenilirlik raporu All-India verilerine dayanarak değerlendirilmektedir [39].

Batman'da belirlenen bir eğitim kurumunun çatısına uygulanması düşünülen yerin, coğrafik konumu PVSYST programında belirlenmiş ve bu bölgenin meteorolojik bilgileri, benzetim programının sunduğu Meteororm 7.2 veri tabanından alınarak belirlenmiştir. Çalışmada benzetimden elde edilen meteorolojik verilerle Yenilenebilir Enerji Genel Merkezinden alınan bilgiler arasında belirgin bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Uygulaması düşünülen bu FV sisteminin gerçekleştirilmesi sırasında ne gibi bir sonuçla karşılaşılacağı ise PVSYST benzetim programı tarafından değerlendirilmektedir. Diğer yandan bir yılda üretilen 35,31 MWh enerjinin şebekeye satılması planlanarak okul için gelir elde edilebileceği planlanmıştır. Bu çalışma göstermektedir ki FV sistemden elektrik enerjisi üretimi Batman ili için iyi bir seçenektir. Böylece uygulaması düşünülen projelerde ilgili yerlerin enerji ihtiyaçları planlanarak, FV sistemin bu ihtiyacı ne kadar karşıladığı belirlenebilir ve maliyetleri analiz edilebilir [40].

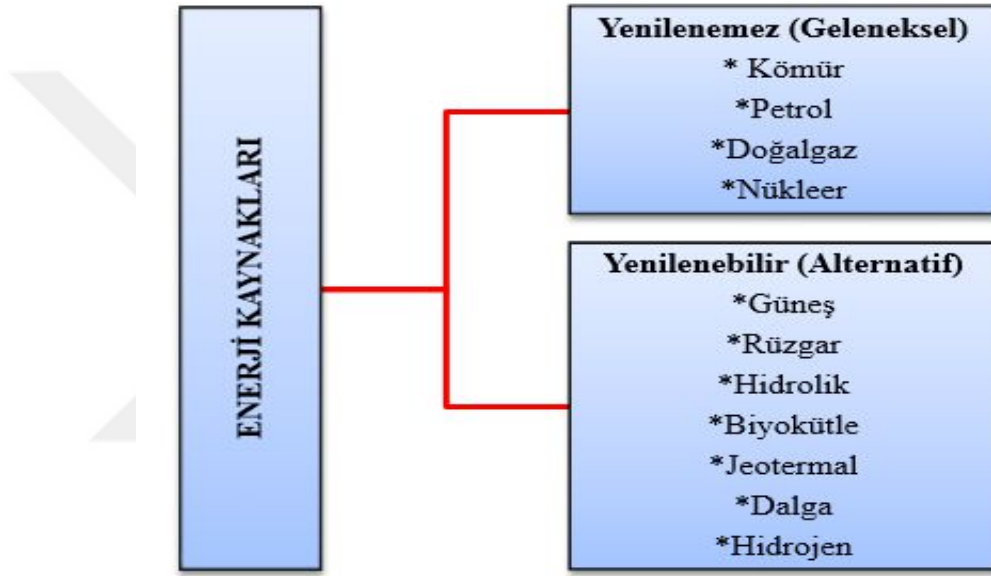
Kaynak [41], iklim değişikliği ve Kyoto protokolü sözleşmeleri gereğince, havada meydana gelen kirliliğin en aza indirebilmesinde elektrik üretimi için planlama yapmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla bir matematiksel model önermiştir. Bu önerisiyle 2018 - 2035 yıllarını kapsayan 18 yıllık bir enerji üretim planlaması oluşturmuştur. Modelin çözümü sonrasında Türkiye'de alternatif enerji kaynaklarının

kullanım oranının % 77 oranında artabileceğini tespit etmektedir. Ayrıca yüksek talep enerjisi senaryosuna göre rüzgâr enerjisinin % 19,1, güneş enerjisini % 24,7, biyokütle enerjisinin % 12,3 ve hidrolik enerjinin % 18,5 oranında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Güneş enerjisi değerlendirilmesi ve FV sistem tasarımı için çok sayıda yazılım paketi mevcuttur. Ancak, bunların birkaçı kentsel uygulamalar için uygundur. 2010 yılında yapılan bir çalışmada Ecotect 2010 ve PVsyst 5.05 olarak bilinen iki program kullanılarak konuma özel tasarlanmış bir güneş enerji sisteminin istatistiksel karşılaştırması yapılmıştır. Bu yazılım paketlerinin özelliklerine ve ayrıcalıklarına göre doğru kullanımı için sonuçlar çıkarılmıştır. Ayrıca, hesaplamalar aynı konum için HOMER yazılım paketi ile tekrarlanmıştır. Sonuçlar, genel amaçlı bir güneş yazılım programının konuma özel kentsel bir uygulama için istatistiksel olarak kullanılmaması gerektiğini göstermektedir [42].

2. ENERJİ KAYNAKLARI

Dünyada bulunan enerji kaynaklarını, meydana geliş durumlarına bağlı olarak yenilenebilir (Alternatif) ve yenilenemez (Geleneksel) enerji kaynakları olarak iki kısımda inceleyebilmekteyiz. Şekil 2.1’de farklı türdeki enerji kaynakları gösterilmektedir [7].



Şekil 2.1: Enerji kaynakları

2.1 Yenilenemez (Geleneksel) Enerji Kaynakları

Yenilenemez ya da geleneksel enerji başka bir ifadeyle tükenebilir enerji olarak da bilinmektedir. Bu bakımdan, enerjinin elde edilmesi için tükenebilir yakıtların kullanıldığı görülmektedir. Diğer yandan bu kaynakların genelde kullanımı zararlıdır. Bu yakıtlardan enerji elde edebilmek için bu yakıtların yakılması gerekmektedir. Bu anlamda yanan yakıtlar, doğaya zararlı gaz ve atık salmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları aşağıda kısaca anlatılmıştır [7], [43];

Kömür:

Literatüre bakıldığında kömür en eski enerji kaynağı olarak söylenebilir. Kömür kullanımı özellikle buharlı makinaların icadıyla ciddi oranda artış göstermektedir. Kömür ilk olarak, 1860'lı yıllarda enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kömür maddesinden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla termik santraller kurulmuştur. Bu bağlamda kömürün ülkemizde bulunan enerji kaynakları arasında en yoğun kullanıma sahip olduğu söylenebilir. Şekil 2.2'de kömürden elektrik elde edilen bir enerji santrali gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Kömür enerji santrali [44]

Petrol:

Dünyada 1900'lü yılların başlarında petrol üretimi başlamıştır. O yıldan başlayarak günümüze kadar petrol kullanımı artmış ve buna bağlı olarak petrol üretiminde doğru orantılı olarak artmıştır. Halen enerji üretiminde petrol en önemli enerji kaynağıdır. Uygulamalarda elektrik üretimi ham petrolün yakılmasıyla elde edilmektedir. Jeneratörler, otomobil türü vasıtalar gibi pek çok motorlu araçta petrol enerji üretmek için kullanılmaktadır. Şekil 2.3'de bir petrol rafinerisi görülmektedir.

Diğer yandan araştırmacılar, yenilenemez enerji kaynakları arasında bulunan petrolün yeryüzünde yaklaşık 50 yıl daha kullanılabileceğini belirtmektedir. Literatür petrolü fosil yakıtlar arasında göstermektedir. Yani bitki ve hayvanların zaman içerisinde fosilleşmesiyle meydana gelmektedir.



Şekil 2.3: Petrol rafinerisi [44]

Doğalgaz:

Yenilenemez enerji kaynakları arasında doğalgaz çok önemli bir yere sahiptir. Hatta bu durum ülkemiz açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda ülkemizin elektrik üretiminde doğalgazı çok yoğun bir şekilde kullandığı söylenebilir. Şekil 2.4’de doğalgazdan elektrik üretilen bir doğalgaz enerji santrali görülmektedir.

Literatürde 1950’li yıllarda doğalgazın enerji kaynağı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda araştırmacılar yıllık tüketilen doğalgaz miktarından yola çıkarak dünyanın 120 yıl daha kullanabileceği doğalgaz rezervinin bulunduğunu belirtmektedir.



Şekil 2.4: Doğalgaz enerji santrali [44]

Nükleer:

Yenilenemez enerji kaynakları arasında nükleer enerjide bulunmaktadır. Fosil yakıtlar arasında değildir. Dünyada 1950’li yıllarda ilk nükleer santral faaliyete geçirilmiştir. O yıllarda verimliliği fark edilen nükleer enerji takip eden yıllarda kullanımını arttırmış ve nükleer enerji santralleride artmıştır. Verimlilik açısından bakıldığında 200000 ton kömürden elde edilen enerjiyle 1 ton uranyumdan elde edilen enerji miktarı aynıdır. Bu üstünlüğünün yanında en büyük olumsuz yanı kullanılan yakıt türünün radyoaktif olmasıdır. Yakıtın radyoaktif olması durumu, olası bir kazada pek çok olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ekolojik hayat ve canlı yaşamında çok büyük ve kalıcı hasarlar oluşturabilmektedir. Şekil 2.5’de bir nükleer santral görülmektedir.



Şekil 2.5: Nükleer santral [44]

2.2 Yenilenebilir (Alternatif) Enerji Kaynakları

Kaynak [44]’e göre, yenilenebilir ya da alternatif enerji, ‘enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı’ olarak tanımlanmaktadır.

Başka bir kaynakta [45] yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer enerji türlerindeki gibi (petrol, kömür, doğalgaz vb.) tükenme ihtimalleri yoktur denilmektedir ve bu bakımdan sonsuzdurlar. Bu enerji türüne “torunlarımıza kalacak enerji” de diyebiliriz. Diğer yandan alternatif enerji kaynaklarının diğer fosil yakıtlara göre üstünlüğü, doğaya ve canlılara zarar vermemesi ve çevreyi kirletmemesidir. Bunun yanı sıra bazı sakıncalarıda bulunmaktadır. Bu bakımdan yoğun bir enerji şeklinde

olmamaları sebebiyle geniş alanlardan toplanması gereklidir ve coğrafi bakımdan her yerde bulunmamaktadırlar. Ayrıca çok pahalı bir teknoloji olmaları hızlı bir şekilde gelişimlerini engellemektedir. Diğer yandan halihazırda mevcut bulunan güç elektroniği teknolojileri sistem değişimlerine yavaş cevap vermektedir.

Fosil yakıtlarla elde edilen enerji kullanımı bazı olumsuzlukları barındırmaktadır: Bunlar yüksek ithalat giderleri, yakıt konusunda dışa bağımlılık ve çevre sorunlarıdır. Dünyada bulunan fosil yakıt rezervleri hızla tükenmekte ve bu durum alternatif enerji kaynaklarının önemini giderek artırmaktadır. Alternatif enerji kaynakları, sürekli ve sürdürülebilir olmasının yanı sıra dünyanın her yerinde bulunabilmesi bakımından büyük önem arz etmektedir. Diğer yandan ekolojik etkileri, geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha azdır. Alternatif enerji kaynaklarındaki kullanım, sorunların çözülmesi ve teknolojik gelişmelerle birlikte 21. Yüzyılda kullanılan en önemli enerji kaynakları arasında yer alacak ve kullanım giderek artacaktır. [46].

Alternatif enerji kaynakları şu şekilde sıralanabilir: Rüzgar enerjisi, Güneş enerjisi, Jeotermal enerji, Okyanus enerjisi, Biyokütle enerjisi, Hidrojen enerjisi [43].

Güneş:

Kaynak [46]'ye göre, güneşten gelen ve atmosferin dışındaki şiddeti sabit (1370 W/m^2) olan ve dünya yüzeyindeki etkisi $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişebilen alternatif enerji kaynağına güneş enerjisi denilmektedir. Şekil 2.6'da ülkemizde (Kütahya) kurulu bir güneş enerji santrali görülmektedir.

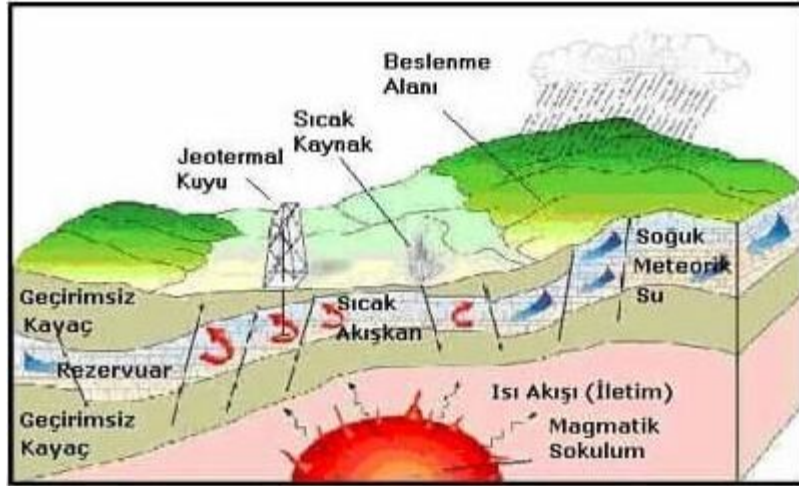


Şekil 2.6: Güneş enerji santrali

Elektrik üretimi, ısıtma, ısınma ve soğutmada kontrollü olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda ülkemizin bir yıllık güneşlenme süresinin ortalama 2640 saat olduğu bilinmektedir. En yüksek güneşlenme süresi 362 saat olarak Temmuz ayında, en düşük güneşlenme süresi 98 saat ile Aralık ayında tespit edilmiştir.

Jeotermal:

Kaynak [47]'ye, yerküre yüzeyinde yerkabuğunun ince olduğu yerlerden yeryüzüne çıkan gayzerlere ve sıcak sulara dayalı bir enerji türüne jeotermal enerji denir. Yaklaşık 1500 – 10000 m aralığındaki derinliklerde bulunan magmanın yeraltındaki suları ısıtmasından meydana gelmektedir. Elektrik üretmek için gereken sıcaklık derecesi nadir yerlerde bulunmasına rağmen, ısıtma amaçlı olarak kullanılan pek çok uygulama bulunmaktadır. Kullanım süresi çok kısa ve güvenilir bir kaynaktır. Dünya geneli incelendiğinde toplam 6000 MW kurulu kapasiteye sahip santraller bulunduğu görülmektedir. Bu gücün 2500 MW'lık kısmı ABD'de bulunmaktadır kurulu gücün 2030'da 49000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir. Şekil 2.7'de bir jeotermal kaynak yapısı görülmektedir.



Şekil 2.7: Jeotermal kaynak yapısı [48]

Biyokütle:

Biyokütle enerjisi, fotosentez yoluyla bitkilerin güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmesi ve depolamasıyla oluşan biyolojik kütlelerdir ve buna bağlı meydana gelen organik madde kaynakları olarak ifade edilmektedir. Karbon içermekte olan tüm organik maddelerle oksijen reaksiyona girdiğinde ısı meydana gelmektedir [48]. Şekil 2.8'de bir biyokütle enerji döngüsü görülmektedir.



Dalga:

Şenpınar'ın (2006) ifadesine göre, okyanus dalgalarının kirletici etkisi yoktur ve çok büyük bir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Ancak araştırmacıların uzun yıllar bu enerji kaynağını ihmal ettiği görülmektedir. Bu alanda ilk çalışma 1970'li yıllarda Japonya'da yapılmış ve birkaç araştırma projesi geliştirilmiştir [49].

2007 yılında yapılan bir çalışmaya göre dünyanın yüzeyinde meydana gelen farklı ısınmalar neticesinde deniz yüzeyinde rüzgar ve dalga oluşmaktadır. Meydana gelen dalgaların meydana getirdiği enerji miktarının halihazırda bulunan diğer alternatif enerji kaynaklarından 10 - 15 kat daha fazla olduğu ifade edilmektedir. Kullanılabilirliği arttırılabildiği takdirde hem bol ve hem de pek çok ülkenin elde edebileceği kadar fazladır. Dalga enerjisinin çok önemli ve pozitif etkileri bulunmaktadır. Elde edilebilecek enerji kaynağının bol ve sonsuz olması, geleneksel yakıtlara bağımlılığı, asit yağmurlarını, küresel ısınmayı, oluşabilecek kirliliği azaltması, yeni iş sahaları açması, denizde yapılacak farklı çalışmalarda gelişen teknolojinin kullanımına imkan tanınması, elektrik şebekelerinin olmadığı uzak noktalara elektrik sağlaması, tuzlu suyun tatlı suya çevrilip ihtiyaç bulunan bölgeye pompalanması, kıyıların korunması ve deniz dibi zenginliklerinin yüzeye çıkarılması gibi farklı alanlara yeni bir çözüm sunmaktadır. Diğer yandan deniz dalgalarının kullanılmasında birtakım sakıncalar da bulunmaktadır. Bunlar arasında balık avlanma sahaları, su altı kabloları, her dalga boyutunun kullanılması için bir tasarımın oluşturulamaması, askeri tatbikatlar, gemi rotalarının geçtiği yollar gibi

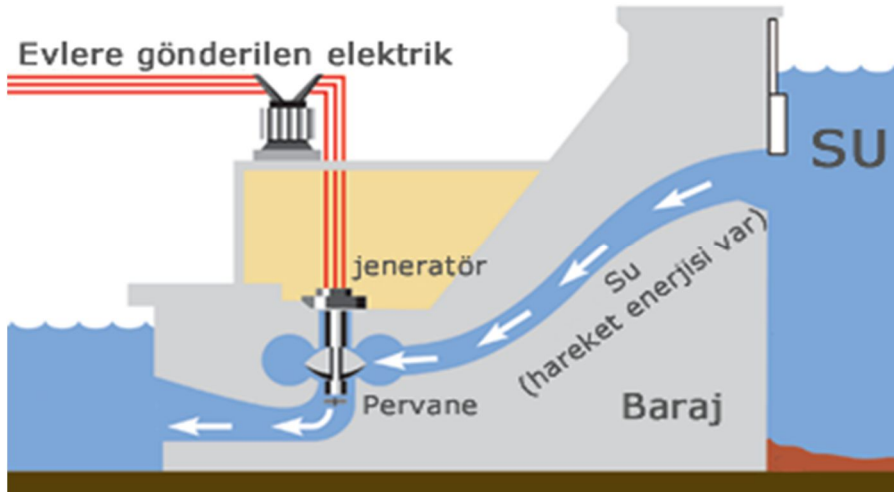
kısıtlamalar yer almaktadır [43]. Şekil 2.9’da dalga enerjisinin elde edildiği bir santral prototipi verilmiştir.



Şekil 2.9: Dalga enerjisi [50]

Hidroelektrik:

Barajlarda toplanan suyun, elektrik üretmek için kullanılan santralleri çalıştırmasıyla meydana gelen enerjiye hidroelektrik enerji denilmektedir. Şekil 2.10’da bir hidroelektrik santrali görülmektedir.



Şekil 2.10: Hidroelektrik santrali [50]

Alternatif enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır. Genel anlamda nehirlerle karışan eriyen kar ya da yağmur suyu, su enerjisine nehirler önüne kurulan barajlar yardımıyla dönüştürülmektedir. Su toplama havzalarından bırakılan su, dik borular yardımıyla hızla aşağıya akar ve jeneratör türbinlerini döndürür, bu türbinlere bağlı bulunan jeneratörler de elektrik üretmeye başlar. Bu bağlamda hidrolik enerji

düşük maliyetli ve temiz bir alternatif enerji kaynağı olması sebebiyle fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve sera gazı salınımını azaltıcı etkiye sahiptir. Ülkemizin teorik olarak hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh, teknik ya da uygulamalı olarak değerlendirilen enerji potansiyelin 216 milyar kWh'tır. Ekonomik enerji potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. Hidroelektrik enerji dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde elektrik üretiminde en fazla katkıyı yapan, en yaygın kullanım alanına sahip alternatif enerji kaynaklarından biridir.

Rüzgar:

Özerdem'in (2003) beyanına göre, ülkemizde enerjiye olan ihtiyacın güvenli bir şekilde karşılanması amacıyla pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de dışa bağımlı olmayan temiz ve güvenilir enerjiye ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bağlamda alternatif enerjiye verilen önemin arttığı söylenebilir. Alternatif enerji kaynakları arasında teknolojisi hızla gelişen ve buna bağlı olarak kullanımı giderek yaygınlaşan enerji rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisinin hızlı bir şekilde gelişmesinin sebebi, doğada bol ve serbest bir halde bulunması ve dışa bağımlılığı olmayan temiz bir enerji kaynağı olmasıdır [50].

Literatürde rüzgar enerjisi, 4000 yıl kadar önce mısır ve buğday öğütmekte, yelkenlileri hareket ettirmekte ve sulamada kullanılmaktaydı. Bugünlerde ise rüzgar enerjisiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir. Elektrik üretimi esnasında atmosferde kirliliğe neden olmaması sebebiyle 'temiz enerji kaynağı' olarak ifade edilmektedir [51]. Şekil 2.11'de bir rüzgar enerji santral görüntüsü verilmiştir. Rüzgar enerji santralleri rüzgar hızı yüksek olduğu için ülkemizde kıyı kesimlerine kurulmaktadır.



Şekil 2.11: Rüzgar enerji santrali [52]

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

ABD’de 1900’lü yıllardan başlayarak, ısınma için güneş enerjisi kullanımı başlamış ve hızla talep artmıştır. İkinci Dünya Savaşıyla birlikte ise gaz ve elektrik dağıtım sistemlerinin kullanımının artması ve ucuzlaması nedeniyle, bu talep giderek azalmıştır. Bu bağlamda diğer yenilenebilir enerjinin diğer türleri gibi, yeterli fosil kaynaklara sahip olmayan ülkelerde talep güneş enerjisine kaymıştır. Enerjide, 1970’li yıllarda gerçekleşen fiyat artışları, tekrar güneş vb gibi farklı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar ve çalışmalar artmıştır. Ancak 1980’li yıllarda başlayan petrol kaynaklı ürünlerin bolluğu nedeniyle enerji rakamları tekrar düşmüştür. Böylece yenilenebilir enerji tekrar ikinci plana atılmıştır. 2000’li yılların başlarında tekrar yükselişe geçen fosil kaynaklı enerji fiyatları nedeniyle ülkeler bu kez daha uzun süreli yatırımlar yaparak ve emin adımlarla ilerleyerek yenilenebilir enerjiyi gündeme taşımıştır. Bu bağlamda Avrupa Birliği’nin temiz enerji hedefleri ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası düzenlemeler de destek niteliğindedir [52].

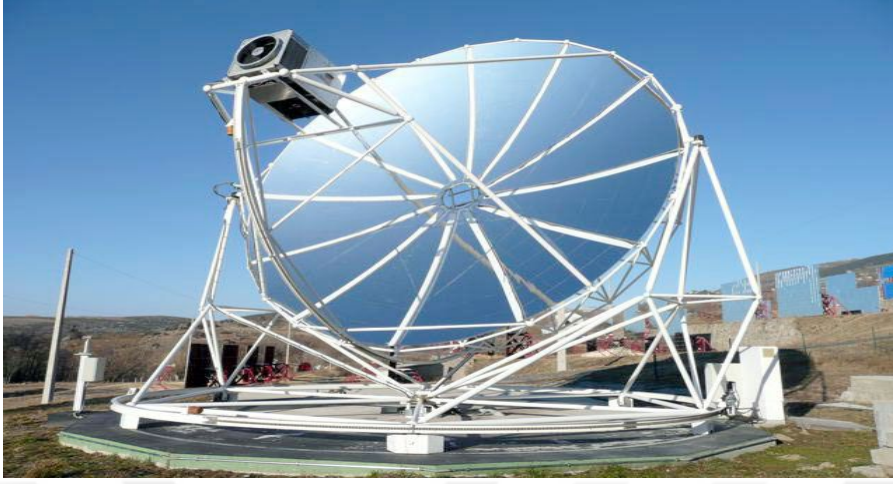
Güneş enerji sistemlerinde, güneşten dünya yüzeyine gelen ışıklardan farklı teknolojiler kullanılarak enerji elde edilmektedir. Diğer bir ifadeyle güneş ışınlarının farklı aşamalardan ve süreçlerden geçirilerek hizmete sunulmasıdır. Bu bağlamda güneş enerji kaynaklarını temel bakımdan elektrik ve ısı amaçlı olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz.

3.1 Isıl Güneş Enerjisi Teknolojisi

Bu sistemlerin yapısal bakımdan konvansiyonel elektrik üretim sistemlerine benzer bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bir sıvının ısıtılmasıyla meydana gelen buhardan ve/veya basınçtan faydalanılarak elektromekanik sistemlerde hareket sağlanmakta ve elektrik üretilmektedir. Diğer teknolojilerden ayıran fark, fosil yakıt yerine doğrudan güneşin kullanılmasıdır.

Çanak Sistemleri: Bu sistemlerde, uydu antenine benzeyen parabolik aynalar yardımıyla güneşten gelen ışınlar bir odak noktasında toplanmakta, sıvı ısıtılmakta ve

hareket enerjisi yardımıyla elektrik üretilmektedir (Şekil 3.1). Bu sistemler, parabolik ve FV sistemler kadar kullanılmamaktadır [53].



Şekil 3.1: Çanak FV sistemler

Tek tek odaklanan ve heliostat olarak bilinen aynalardan meydana gelen bir alan, güneş ışınlarını alıcı denem ve bir kule üzerine monte edilen eşanjöre yoğunlaştırarak yansıtır. İçerisinde sıvı bulunduran eşanjör, güneş ışınlarını soğurarak mekanik sistemlere pompalar ve elektrik üretimini gerçekleştirir [54].

Güneş Bacaları: Bu sistemler (Şekil 3.2), güneş ışınlarının ısı enerjisi neticesinde meydana gelen hava hareketlerinden faydalanarak elektrik üretmektedir. Güneş ışınlarını üzerine çeken şeffaf malzemeler içerisindeki materyaller, hava akışını sağlar ve baca içindeki türbinin döndürülmesiyle elektrik üretimi gerçekleşir [55].



Şekil 3.2: Güneş bacaları [65]

Parabolik Sistemler: Bu sistemler yoğunlaştırıcı termal teknolojilerin en yaygını olan parabolik teknolojilerdir (Şekil 3.3). Parabolik aynaların tam odak noktalarından geçen ve parabolik sistem boyunca uzanan soğurucu boruların içerisinde bulunan sıvı ısınmaktadır. Bu ısı enerjisiyle oluşan buhar basıncı vasıtasıyla türbinler harekete geçer ve elektrik üretirler [56].



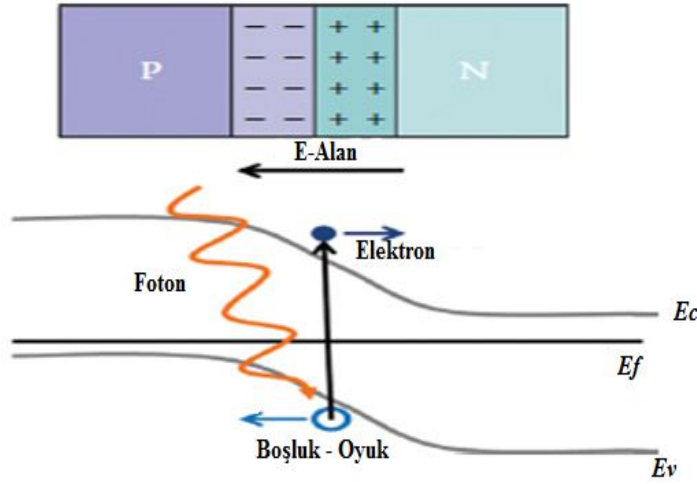
Şekil 3.3: Parabolik sistemler

3.2 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi

Güneş enerjisinin oldukça bol, nispeten güvenilir ve coğrafi bir bölge ile sınırlı olmaması, onu en önemli alternatif enerji kaynaklarından biri haline getirmektedir. Bu durum onu gelecekteki güç şebekelerinin en önemli güç kaynağı haline getireceği gözlemlenmektedir.

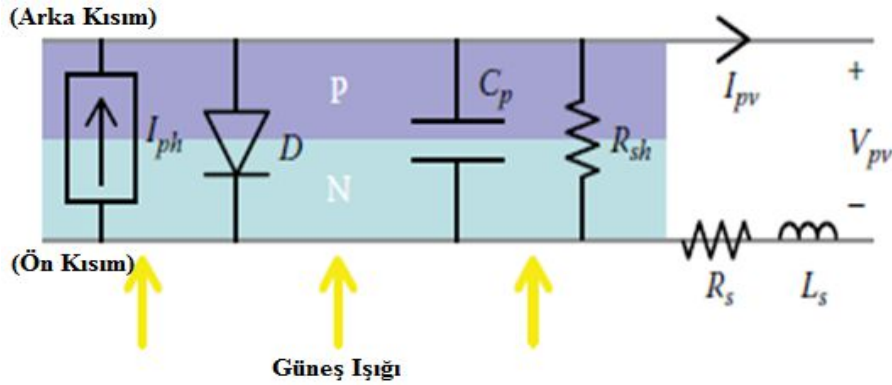
Güneş teknolojisinin gün geçtikçe düşen maliyeti, güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin yüksek penetrasyonu tüm enerji sistemlerine teknik zorluklar getirmektedir. Bu konulara tam anlamıyla cevap verebilmek için güneş enerjisinin teknolojik özellikleri daha detaylı olarak araştırılmalıdır. Bu nedenle, güneş enerjisi teknolojisinin temelleri bu bölümde anlatılacaktır [57].

Bir FV hücresi esasen fotonlardan elektrik enerjisi elde etmek için enerjiyi toplayan geniş alanlı bir p-n yarı iletken birleşimidir. Şekil 3.4’de bir FV hücresinin genel yapısı görülmektedir. Yarı iletken birleşme tarafından üretilen akım ve gerilim, FV hücresinin DC gücü üretmesini sağlar [58].



Şekil 3.4: FV hücre

Bir FV hücresinin temel yapısı, temel elektrik bileşenleri olarak modellenilebilir. Şekil 3.5, yarı iletken p-n birleşimini ve bir FV hücresini oluşturan çeşitli bileşenleri göstermektedir [59].



Şekil 3.5: FV hücrenin elektriksel yapısı

Bir FV hücresinin çalışmasını ve güç üretimini etkileyen birçok çevresel faktör bulunmaktadır. Bunlardan G : W/m^2 , cinsinden güneş ışıınımı ve T : $^{\circ}\text{C}$, derece cinsinden ölçülen sıcaklık iki en önemli faktördür. Bu faktörlere bağlı olarak diyotta oluşan fotoakım I_{ph} ;

$$I_{ph}(G, T) = [I_{scn} + K_i(T - T_n)] \frac{G}{G_n} \quad (3.1)$$

Ayrıca diodun akım (I_d) ve gerilimi (V_d);

$$I_d(T, V_d) = I_s(T) \left[\exp \left(\frac{V_d}{a V_t(T)} \right) - 1 \right]$$

(3.2)

Diyodun doyma akımı sıcaklığa bağlıdır ve matematiksel ifadesi;

$$I_s(T) = \frac{I_{scn} + K_i(T - T_n)}{\exp \left(\frac{V_{ocn} + K_v(T - T_n)}{a V_t(T)} \right) - 1} \quad (3.3)$$

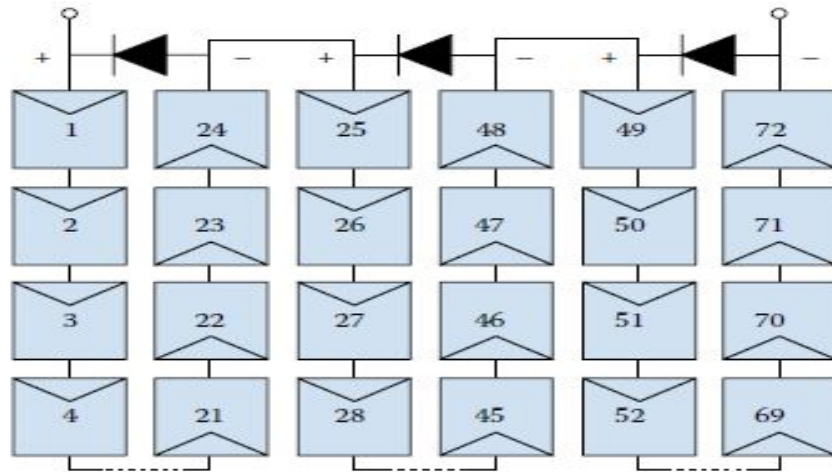
Burada unutulmamalıdır ki diyot gerilimi V_d ile FV gerilimi V_{pv} ideal model için aynıdır. Ayrıca termal gerilim V_t , T sıcaklığına bağlıdır ve matematiksel ifadesi;

$$V_t(T) = \frac{kT}{q} N_s \quad (3.4)$$

Kirşof kanunlarını kullanarak, ideal FV model için, FV akımı I_{pv} ve FV gerilimi V_{pv} arasındaki bağıntı;

$$I_{pv} = I_{ph}(G, T) - I_d(T, V_{pv}) \quad (3.5)$$

FV hücrelerini kullanan pek çok uygulamada, yüksek güç elde etmek için bir hücre değil bir çok hücre birleştirilir. FV hücreleri seri, paralel veya her iki kombinasyon bir arada bağlanabilir. Bir FV silikon hücresi, hücre yüzey alanına bağlı olarak yaklaşık 0,5 V'luk bir gerilim üretir. Standart bir FV paneli genellikle seri bağlı 72 adet hücreden oluşur ve gerilim toplamı 30 - 60 V aralığındadır. Seri halde 72 hücreye sahip bir FV panelin bağlantı konfigürasyonu Şekil 3.6'da gösterilmektedir [60].

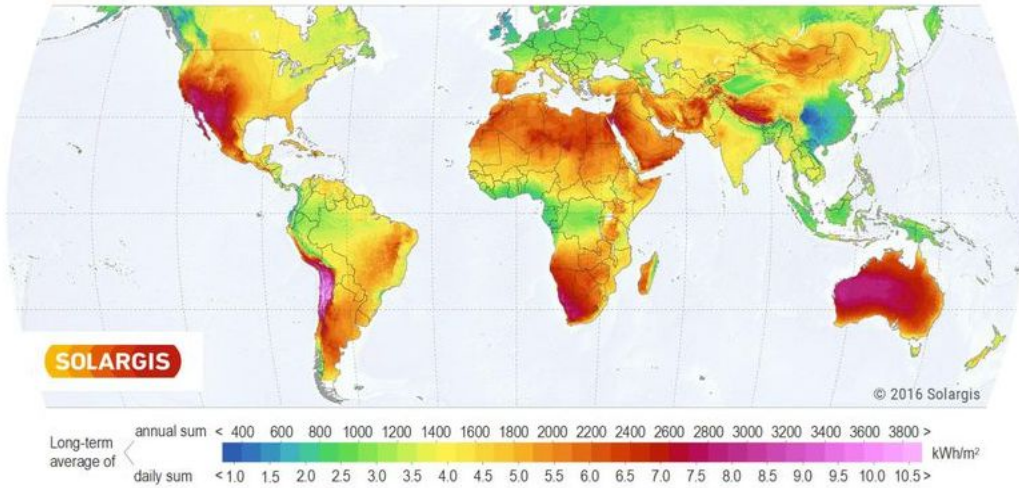


Şekil 3.6: Seri bağlı 72 hücreli FV panel

FV hücreler seri dizi ve dize halinde bağlanır. Aşağı doğru inen ve yedeklenen her bir seri bağlantıya bir alt dize denir. Şekil 3.6, her bir alt dizinin uçlarına bağlanan bir diyot ile üç alt diziyi göstermektedir. Bu diyot; dizideki FV hücrelerinde kısmi gölgelenme, kalıcı bozulma veya alt dizideki bir bağlantı sorunu vb. gibi bir sorun olursa, alt dizinin etrafında ek bir akım yoluna izin veren bir bypass diyotu olarak çalışır. FV panellerin yaklaşık 25 yıl kullanım süresi bulunmaktadır. Çıkış gücü bu süreye oranla yılda yaklaşık % 0,5 - 1 arasında bir kayıp göstermektedir [61].

3.2.1 Dünyanın Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş enerjisi ile dünyadaki hemen hemen tüm ülkelerin az veya çok elektrik üretimi yaptığı söylenebilir. Ancak resmi verilerde ulusların elektrik şebeke sistemlerine bağlı olmayan şebekeden bağımsız(Off-Grid) güneş enerji santralleri genel anlamda istatistiklerin dışında bırakılmaktadır. Dünya üzerinde şebeke bağlantılı(On-Grid) güneş enerji santrallerinin ülkelerdeki dağılımına bakıldığında en büyük paya 78 GW'ı aşan kurulu gücüyle Çin sahiptir. Bu ülkeyi sırasıyla Japonya, Almanya, ABD, İtalya, Birleşik Krallık (İngiltere ile Krallığa bağlı diğer ülkeler) ve Hindistan takip etmektedir. Bu bağlamda dünyanın güneş enerji potansiyeli incelendiğinde Şekil 3.7'de ortaya çıkmaktadır [62].



Şekil 3.7: Dünyanın güneş enerji potansiyeli

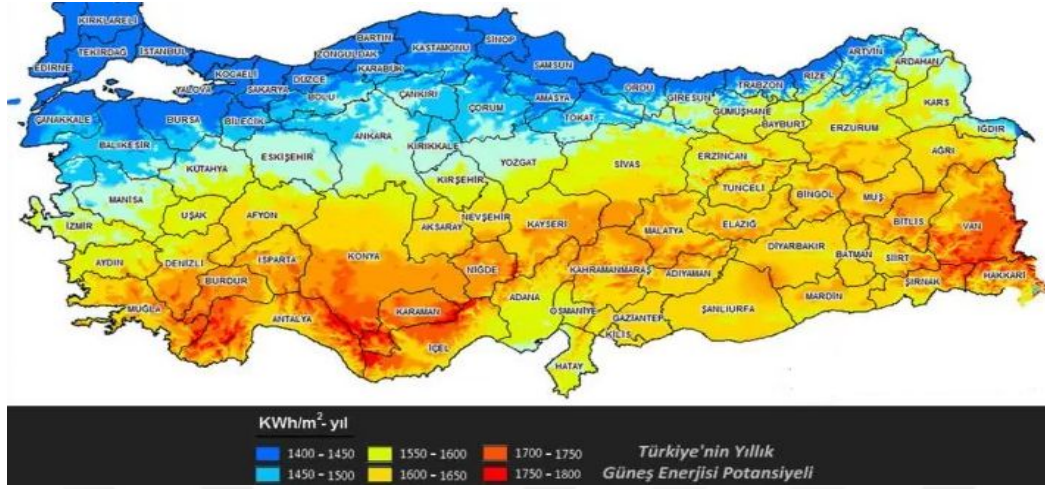
Enerji kaynaklarının kullanımında zamana bağlı olarak değişimler yaşandığı gözlemlenmektedir. I. Dünya Savaşı döneminde en çok kömür enerjisi enerji kaynağı olarak kullanılmaktayken daha sonra yerini petrol ve doğalgaza bırakmıştır. Bu durum bir değişimin göstergesidir. Değişimin kaçınılmaz olduğu bu dönemlerde

enerji kaynaklarında değişmesi normal bir süreçtir. Enerji kaynakları her ülkenin vazgeçilmez unsurları arasındadır ve ülkeler enerji kaynaklarına sahip olmak için daha fazla para harcamaktadır. Bu bakımdan güneş enerjisinin önemli bir potansiyeli bulunmakta ve enerji ihtiyacının karşılanmasında çok etkili olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum güneş enerjisine verilmesi gereken değeri göstermektedir. Dünya üzerinde geleneksel yakıtların ekolojiye verdiği zararlar göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların günden güne arttığı görülecektir. 2015 yılında dünyada yenilebilir enerji kaynaklarına 286 milyar dolar yatırım yapılarak bir rekor kırılmıştır. Küresel Durum Raporu'na göre ABD'nin San Diego şehrinde yapılan 2015 yılındaki yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarıyla; güneş, rüzgâr ve su enerjisinden üretilen enerji bir önceki yıla göre rekor artış yakalanmıştır. Bu raporda toplam 147 gigavatlık güneş enerji santrali kurulduğu ve yenilenebilir enerji yatırımlarının rekor düzeye çıktığı belirtilmektedir. Rapora göre yenilenebilir enerji kaynaklarına en çok yatırım yapan ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Japonya, Almanya, İngiltere ve Hindistan gibi ülkeler yer almaktadır. Danimarka, Almanya ve İspanya gibi ülkeler kişi başına düşen yenilenebilir enerji yatırımlarını en fazla arttıran ülkeler arasından ilk üç sırayı almaktadır. Sanayisi gelişmiş ve enerji ihtiyacı çok fazla olan Almanya, elektrik ihtiyacının % 33'ünü yenilebilir enerji kaynakları içinde bulunan güneş enerjisinden elde ettiği belirlenmiştir. Almanya, elektrik ihtiyacının % 80'ini 2050'ye kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük payı güneş enerjisi almaktadır [63].

3.2.2 Ülkemizin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli

Kaynak [46], güneş enerjisini; güneşten yeryüzüne gelen, atmosfer dışındaki ışıyım şiddeti sabit 1370 W/m^2 ve ayrıca yeryüzünde ışıyım şiddeti değişken $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ değerler arasında ölçülebilen yenilenebilir enerji kaynağı olarak belirtmektedir. Ülkemizin yıllık güneşlenme süresi yıllık ortalama 2640 saat, maksimum güneşlenme Temmuz ayında ve süresi 362 saat, minimum güneşlenme Aralık ayı ve süresi 98 saat olarak belirtilmiştir. Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir ülke olduğu, yıllık ortalama güneş enerji miktarının 1315 kWh/m^2 olduğu belirtilmektedir. Türkiye'nin tüm yüzeyine gelen enerji miktarının ise $1012 - 1046$

kWh arasında olduğu ifade edilmektedir. Ülkemizin güneş enerjine ait güneş potansiyel atlası Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Türkiye'nin enerji potansiyeli [73]

3.2.3 Kırklareli İlinin ve Vize İlçesinin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli

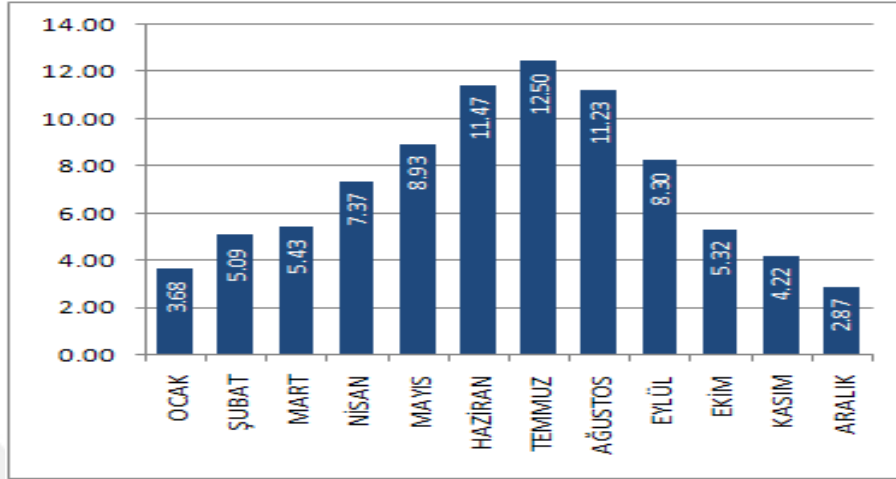
Kırklareli ilinin Enlem ve Boylamı 41° 44' 08.0"K - 27° 13' 28.2"D olarak bilinmektedir. Şekil 3.9'da Kırklareli ilinin toplam güneş radyasyonu verilmiştir. Güneşlenme süreleri grafiğine bakıldığında ise en fazla güneşlenme süresinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.10) [64].



Şekil 3.9: Kırklareli güneş radyasyon durumu [73]

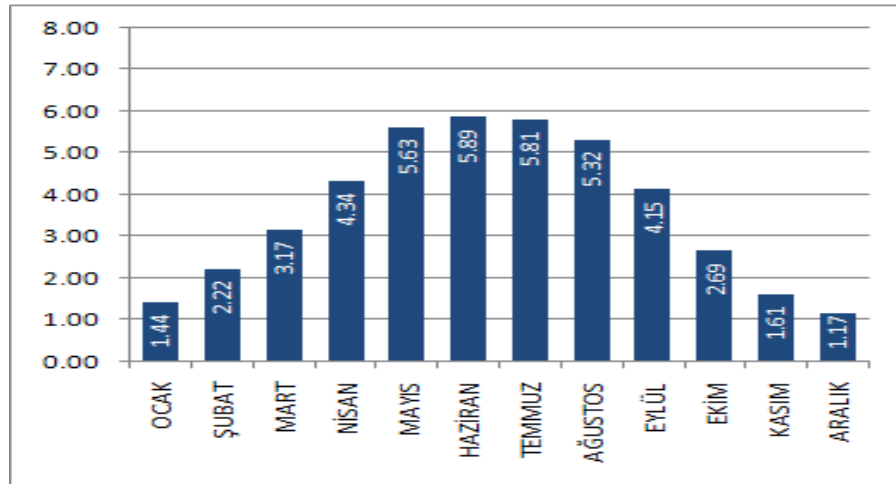
Güneşlenme süreleri incelendiğinde, Kırklareli ilinin ortalama güneşlenme süresinin 12,5 saat ile en fazla Temmuz ayında, en az ise 2,87 saat ile Aralık ayında

gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,2 saattir [64]. Güneşlenme süreleri grafiğine bakıldığında en fazla güneşlenme süresinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştiği, en az güneşlenme süresinin Aralık, Ocak ve Kasım aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.10) [64].



Şekil 3.10: Kırklareli'nin güneşlenme süresi (saat) [73]

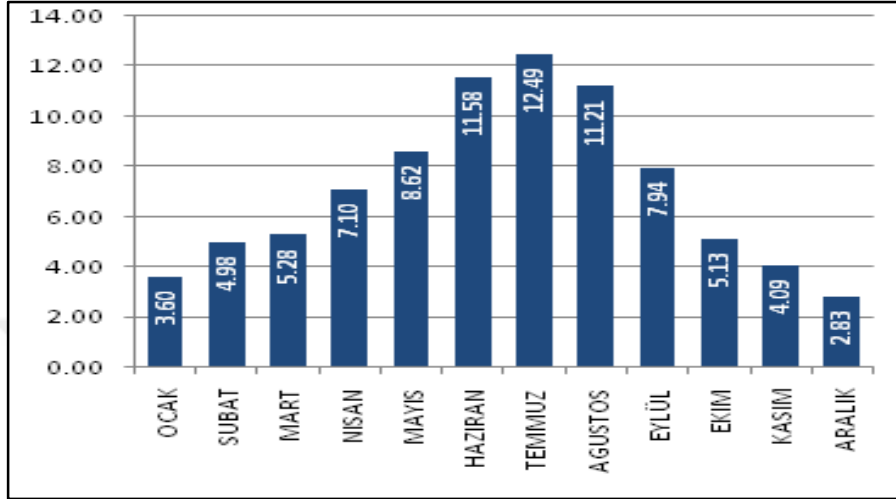
Kırklareli ili yıllık güneş radyasyonunun aylara göre dağılımına bakıldığında en az güneş ışınımının Aralık, Ocak ve Kasım aylarında en fazla güneş ışınımının Haziran, Temmuz, Mayıs aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.11) [64].



Şekil 3.11: Kırklareli'nin radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [73]

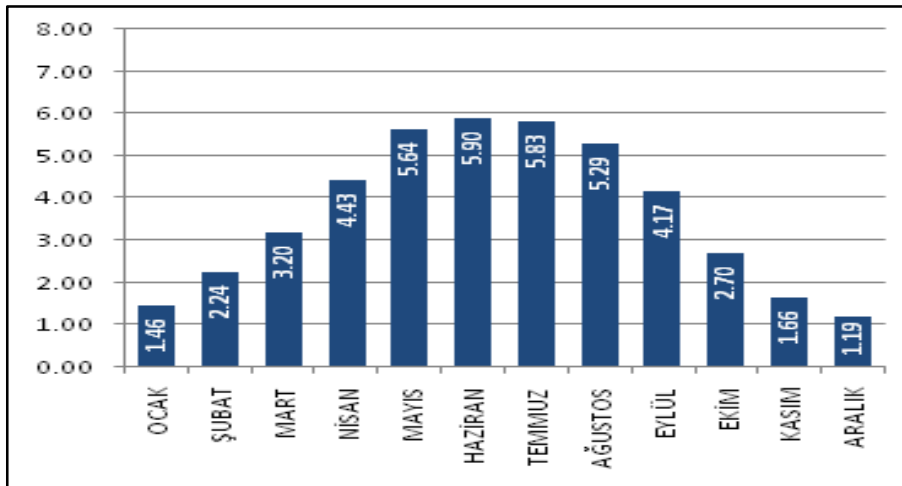
Kırklareli ilinin Haziran ayındaki radyasyon değerinin Temmuz ayındaki radyasyon değerinden yüksek olmasına rağmen Haziran ayındaki güneşlenme süresinin Temmuz ayındaki güneşlenme süresinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda güneşlenme süresinin radyasyon değerini doğrudan etkilemediği tespit edilmiştir. Vize ilçesi için güneşlenme süreleri incelendiğinde, ortalama güneşlenme

süresinin 12,49 saat ile en fazla Temmuz ayında, en az ise 2,83 saat ile Aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir. En az güneşlenme süresinin Aralık, Ocak ve Kasım aylarında, en fazla güneşlenme süresinin Temmuz, Haziran ve Ağustos aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,07 saattir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Vize'nin güneşlenme süresi (saat) [73]

Vize ilçesinin yıllık güneş radyasyonunun aylara göre dağılımına bakıldığında en az güneş ışıının Aralık, Ocak ve Kasım aylarında en fazla güneş ışıının Haziran, Temmuz, Mayıs aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.13) [64].



Şekil 3.13: Vize'nin radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [73]

Vize İlçesinin Haziran ayındaki radyasyon değerinin Temmuz ayındaki radyasyon değeriinden yüksek olmasına rağmen Haziran ayındaki güneşlenme süresinin Temmuz ayındaki güneşlenme süresinden düşük olduğu tespit edilmiştir.



4. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ

FV enerji sistemleri bağlantı şekillerine göre şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlantılı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

4.1 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali

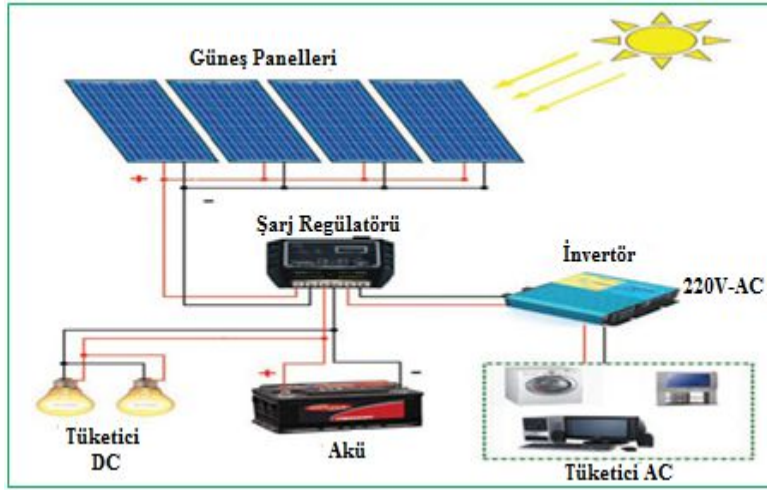
Şebekeden bağımsız olarak dizayn edilen FV sistemler;

- Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde,
- Elektrik şebeke iletim hattının ekonomik olmadığı yerlerde,
- Elektrik şebekesinde enerjinin uzun süreli ve sıklıkla kesildiği yerlerde,

elektrik enerjisinin sağlanması için tercih edilmektedir.

Bu sistemler genel itibariyle meskenlerdeki elektrik kullanımında, yol kenarlarında bulunan aydınlatmalarda, yangın gözetleme kulelerinde, hava gözlem ve deprem istasyonlarında, bot ve yat gibi deniz taşıtlarının elektrik ihtiyacını karşılanması amacıyla kullanılmaktadır [65].

Şebekeden bağımsız FV sistemleri (Şekil 4.1); güneş paneli, akü, şarj kontrol cihazı ve inverter gibi cihazlardan oluşmaktadır. Bu sistemlerde gündüz saatlerinde paneller üzerine gelen güneş ışınım miktarı, panellerin uçlarında elektrik enerjisi üretmektedir. Burada elde edilen elektrik enerjisi akü grubuna şarj kontrol cihazlarıyla depo edilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. Enerji miktarı akü ve/veya akü gruplarında depo edilerek saklanmaktadır. Depo edilen bu enerji miktarı dönüştürülerek kullanılmaktadır. Akülerdeki DA gerilim, AA gerilimle çalışan cihazlar için AA'ya inverterler yardımıyla dönüştürülür (220 V, 50 Hz). Böylece AA gerilimle çalışacak olan makineler aktif olarak kullanılmış olur. Burada sistemin tasarımı yapılırken günlük talep edilen enerji, güneş ışınım miktarı, kullanımın olacağı ay, çevre koşulları ve ortam sıcaklığı göz önüne alınmalıdır [66].



Şekil 4.1: Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi [67]

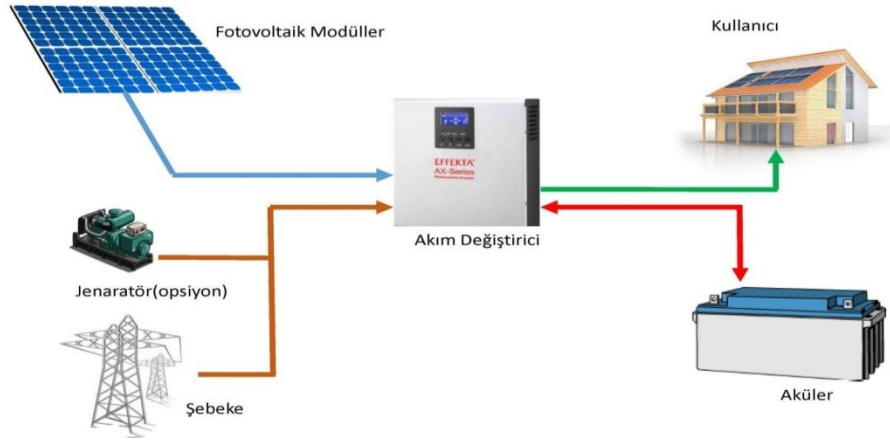
4.2 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali

Şebeke bağlantılı FV sistemler [67] iki farklı şekilde tasarlanabilmektedir. Bu sistemlerde üretilen doğru akım, inverterler yardımıyla alternatif akıma dönüştürülür ve doğrudan elektrik şebekesine aktarılabilir (Şekil 4.2), ya da inverterlerden sonra kullanılabilecek çift yönlü sayaçlar yardımıyla hem farklı yükler beslenebilir hem de üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılabilir. Bu sistemin en önemli üstünlüğü arasında akü veya batarya grubuna ihtiyaç duymaması sayılabilir [65].

Şebeke bağlantılı FV sistemlerin kurulum maliyeti, akü veya batarya grubuna ihtiyaç duymadığı için önemli oranda azalmaktadır. Bu bağlamda şebeke bağlantılı FV sistemlerin amortisman süreleri şebekeden bağımsız FV sistemlerin amortisman sürelerinden çok daha kısa olmaktadır.

Bu tür enerji sistemlerinde iletim hatları kısa olmakta ve batarya olmadığından daha az enerji çevrimi olmaktadır. Bu bakımdan enerji kayıpları da azalmaktadır.

Şebekeye bağlantılı bir dönüştürücünün şebekeye aktardığı güç miktarı öncelikle yerelde kullanılan yükler tarafından kullanılmaktadır. Geri kalan güç miktarı ise elektrik şebeke sistemine verilerek daha farklı noktalarda bulunan yükler tarafından kullanılmaktadır. Genel itibariyle 5 kW altında bulunan güçlerde tek-fazlı şebeke bağlantılı dönüştürücüler, daha yüksek güç değerlerinde ise 3-fazlı şebeke bağlantılı dönüştürücüler tercih edilmektedir [67].



Şekil 4.2: Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi [67]

4.3 Hibrit Bağlantılı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali

Hibrit FV sistemlerde (Şekil 4.3), birden fazla enerji kaynağı kullanılabilir. Bu sistemlerle, mevsimlere bağlı kalmadan bir yıl süresince enerji üretilmesi hedeflenmektedir. Böylece rüzgar ve güneş enerji santrallerinden oluşan yenilenebilir bir enerji santralinde, enerji üretiminde mevsimlere göre oluşan dalgalanmalar meydana gelmeyecektir [68].



Şekil 4.3: Hibrit bağlantılı yenilenebilir enerji sistemi [68]

Temel anlamda, en yüksek enerji yaz mevsiminde güneşten, kış mevsiminde ise rüzgardan alınmaktadır. Ayrıca, hibrit yenilenebilir enerji santrallerinde, rüzgar enerji santraliyle güneş enerji santrali aynı altyapıyı ve şebeke bağlantılarını kullanacağından, kurulum aşamasında meydana gelecek maliyetlerin büyük ölçüde azalacağı belirtilmektedir [68].

5. FV SİSTEMLERDE PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Sistemlerden beklenen, kullanıcıların konforunu artıracak seviyede olması ve süreklilik sağlayacak şekilde olmasıdır [68]. Bu durumdaki tüm teknolojilerin dış ve iç ortamlarda çalışırken performansları çok önemlidir. Bu sebepten dolayı sistemlerden beklenen pek çok performans gereksinimi bulunmaktadır. Bunlar; şehir planlama ile tasarım açısından gereklilikler, iklim koşullarına karşı gereklilikler, muhafaza açısından gereklilikler ve strüktürel açıdan gereklilikler olarak özetlenebilir [69].

FV sistemler tasarlanırken maksimum güç ve yüksek verim kriterleri esas alınmaktadır. Bu sistemlerin arızasız olarak çalışması amacıyla üreticilerin belirlediği genel garanti süresi ortalama 25 yıl olarak belirlenmiştir [70]. Diğer yandan durum böyle gerçekleşse bile FV sistemlerin çıkış gücü her geçen yılla birlikte doğrusal olarak azaldığı belirtilmektedir [70]. FV sistemlerin performansını etkileyen faktörler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

5.1 Güneş Işınımı (Radyasyon)

Dünya yüzeyinin şekli geoit biçimde olması sebebiyle güneş ışınlarının dünya yüzeyine düşme açısı her yerde farklılık göstermektedir. Bu nedenle FV sistemlerin tasarımı yapılırken FV sistem yerleşimi yapılacak bölgenin yıllık güneş ışınım miktarı dikkate alınır ve FV sistemden elde edilecek enerji miktarı istatistiksel benzetim programları ile hesaplanır.

Bu açıdan incelendiğinde ülkemizin güneşlenme durumu en yüksek olan bölgenin Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu ve yılda yaklaşık 1460 kWh/m² ile birinci sırada olduğu görülmektedir. Akdeniz Bölgesi ise yılda ortalama 1390 kWh/m² ile ikinci sırada bulunmaktadır (Şekil 3.8). Diğer yandan ülkemizde en düşük güneşlenme süresi Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Ancak bu değer bile yılda ortalama 1120 kWh/m² ile dünyadaki güneşlenme süreleri açısından önemli bir yerdedir [71].

5.2 Güneş Açıları

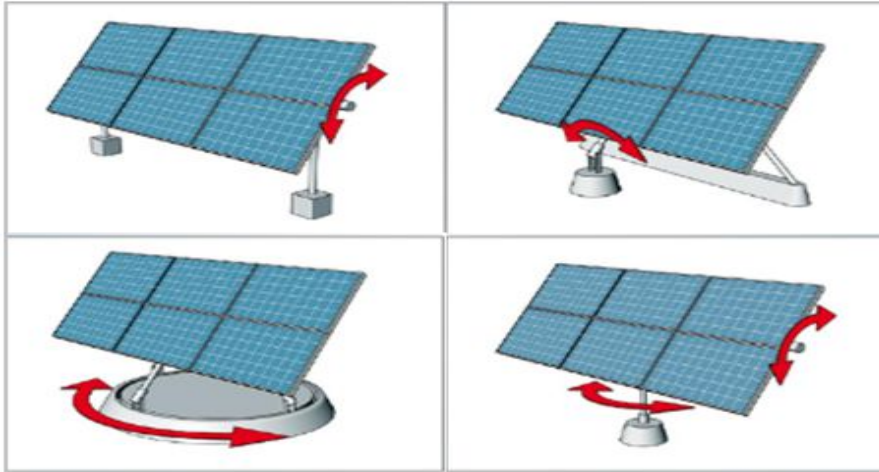
FV sistemlerde elde edebilecek enerji değerleri; sistem yerleşiminin yapılacağı yerin enlem değerine ve FV panellere ait yüzey yerleşimindeki eğim açısına göre farklılık göstermektedir. Bu bakımdan FV panellerin yerleştirilmesi gereken yön güney yönüdür. Ancak performans düşüklüğü söz konusu olduğunda Güney-Doğu ve Güney-Batı yönlerinde yerleşimlerin yapıldığı görülmektedir.

Türkiye’de yaz ve kış aylarındaki güneşlenme ortalamasına bağlı olarak FV panellerin en uygun yerleşim açısı genelde 30 ° olarak belirlenmiştir [8].

Ayrıca farklı yön ve açılarda uygulama yapılan FV sistemlerin performans etkisi, kullanılan modüllerin türüne göre farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda incelendiğinde ülkemiz şartlarında yapılan 10 - 30 derece arasındaki uygulamaların yıllık performansa etkisi % 15 olarak belirlenmiştir [68].

5.3 Güneş Takip Sistemleri

FV sistemlerin çıkış gücü, paneller üzerine düşen ışık miktarına göre doğru orantılı olarak değişmektedir [72]. Bu sistemler güneşe göre hareket ettirilerek ve/veya güneşe yönelimleri sağlanarak enerji üretim değerleri maksimum seviyeye çıkarılabilmektedir [73].



Şekil 5.1: Farklı türlerdeki güneş takip sistemleri

Bu sistemlerde kullanılan aktuatörler, izleyiciyi güneşe dik olarak sabit tutabilen bir çift LDR katıyla denetlenebilmektedir. Şekil 5.1’de temel bir güneş izleyici sistem gösterimi verilmektedir [74].

Bu panelleri üzerine düşen güneş ışığına göre hareket ettiren sistemlere “izleyici sistemler” adı verilmektedir. Sadece tek ekseninde (örn. doğu-batı) panellerin hareket ettirilmesi amacıyla kullanılan izleyicilerin en önemli problemi rüzgârlı ve soğuk günlerde sistemin çalışmasını sağlayacak yeterli miktarda ısı enerjisinin olmamasıdır.

Günümüzdeki uygulamalar incelendiğinde panellerin hareket ettirilmesi için elektrik şebekelerine bağlı lineer aktuatörlerin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca iki aktuatörlü uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan biri panelleri doğu-batı, diğeri ise kuzey-güney yönünde hareket ettirebilmektedir [73].

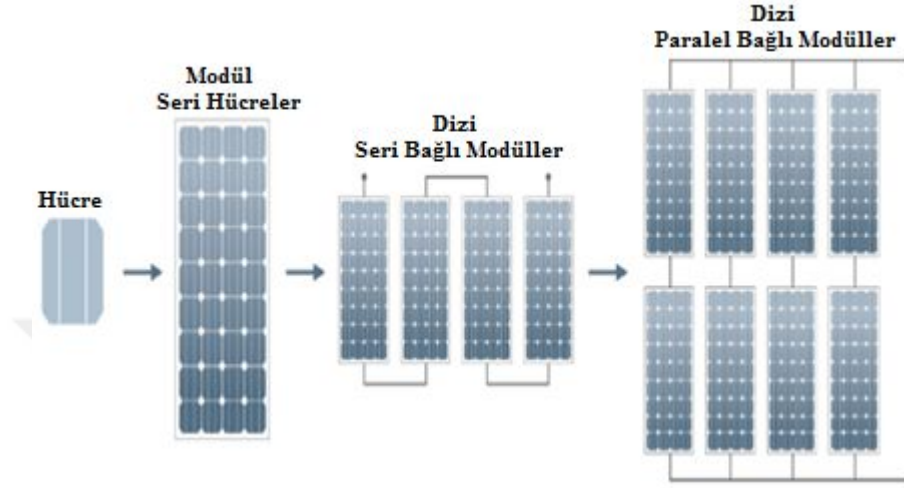
5.4 FV Teknolojilerine Bağlı Verim

FV modüller (Şekil 5.2), güneş ışınlarını direk olarak elektriğe dönüştüren, hareketli mekanik parçaları olmayan, kullanım süreleri uzun ve bakımları kolay olan elektronik sistemlerdir. FV modüllerin yapısında yarı iletken maddeler kullanılmaktadır ve bu maddeler yardımıyla güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu bakımdan FV modüllerin yarı iletken bir diyot olarak çalıştığı söylenebilir. Bu bağlamda güneş ışığındaki enerji iç fotoelektrik reaksiyonu neticesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüşmektedir [75].

FV hücreler, yapısal durumlarına bağlı olarak % 5 - 20 arasında bir verimle çalışmaktadırlar. FV hücrelerin genellikle yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde yapılmaktadır. FV hücrelerin yüzey alanı 60 - 160 cm² arasında olmaktadır. Genel olarak ortalama 100 cm² olduğu söylenebilir. Hücreler genel itibarıyla 0,2 - 0,4 mm arasında bir kalınlığa sahiptir. Panel çıkışında elde edilen gücün artırılması için çok sayıda FV hücre, birbirine seri veya paralel bağlanmaktadır. Bağlantıları yapılan hücreler bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya ‘FV modül’ adı verilmektedir (Şekil 5.2). İstenilen güç değerine bağlı olarak FV modüller birbirine seri veya paralel bağlanır ve güçleri birkaç watt değerinden megawatt değerlerine kadar FV sistemler oluşturulur (Şekil 5.2) [75].

FV hücre ve modüllerin verimleri denildiğinde iki farklı durum ve anlam ortaya çıkmaktadır. Burada sadece bir FV hücreye ait verim değeri, bir FV modül veriminden daha yüksektir [76]. Güneş enerji miktarı ne olursa olsun FV hücrenin yapısal durumuna göre % 5 - 20 arasında bir enerji dönüşümü sağlanmaktadır. Uygulamalarda verim değeri % 10 seviyesinin altında olan güneş hücreleri, verimli

ve ekonomik olarak değerlendirilmemektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde yarı iletken maddelerden meydana gelen FV hücrelere ait verim değerleri; laboratuvar ortamlarında % 10 - 30 arasında, uygulamada ise % 5 - 20 arasında değişmektedir. Bu bakımdan uygulamalarda verimi % 15 olan FV sistemler iyi düzeyde olarak değerlendirilmektedir [75].



Şekil 5.2: FV hücre tasarımları

Bir hücrenin verim değeri yüksek olan modüllerde birim alan başına çıkışta elde edilen güç değeri fazla olduğundan, bu yapıdaki hücreler yüzey alanı küçük olan uygulamalarda kullanılmaktadır.

Hücre verimliliği ile modül verimliliği ifadelerinin farklı olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan incelendiğinde tek kristalli silikon yapıdaki bir FV hücrenin verimi % 24 iken, aynı hücrelerin birleşimiyle meydana gelen modülün verimi % 13 - 17 arasında değişmektedir.

Çok kristalli silikon yapıdaki bir FV hücrenin verimi % 18 iken, bu hücrelerin birleşimiyle meydana gelen modülde verim % 11 - 15 arasında değişmektedir. Amorf silikon yapıdaki hücrenin verimi % 11 - 12 iken, bu hücrelerin birleşimiyle meydana gelen modül verimi % 5 - 8 arasındadır.

Bu durum, modüllerin verim hesabı yapılırken tüm panel yüzeyinin dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle düzlem paneller yüzeyinde, FV hücreler arasında kullanılmayan boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklar elektriksel olarak faydasızdır ve verim hesaplamasında verimi azaltıcı etkide bulunmaktadır [75].

5.5 FV Panel Sıcaklığı

Modüllerdeki sıcaklık arttıkça FV sistemin performansı azalmaktadır. FV sistemler güneşteki enerjinin ancak % 5 - 25'ini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Elektrik enerjisine dönüştürme oranının az olması ve/veya güneş enerjisindeki fazla, modüllerde ısınma problemi oluşturmaktadır [77]. Bu sıcaklıklarda kristal silisyum yapıdaki hücreler, amorf silisyum yapıdaki hücrelere göre daha fazla etkilenebilir. Bu nedenle verimlilik açısından diğerine göre daha fazla performans eksikliği göstermektedirler [78].

Güneş ışığı yoğunluğuna göre dış ortam ve FV panel arasındaki sıcaklık farkı değişmektedir. Bazen bu durum 400 °C üzerine çıkmaktadır. Yaz mevsimindeki dış ortam sıcaklığı yüksek olduğundan FV sistemlerin sıcaklığı da 70 - 750 °C arasında değişmektedir [77].

Araştırmalarda 250 °C'deki modülün, sıcaklıkta meydana gelen her 10 °C artışta % 0.4 - 0.5 arasında bir enerji düşüşü olduğu belirtilmektedir [78]. FV panellerde meydana gelen sıcaklık, panellerin soğutulması ve havalandırmasıyla doğrudan ilişkilidir. Burada FV panellerin arka kısmında havalandırma durumu olmayacak şekilde montaj yapıldığında, arka kısımda meydana gelecek sıcaklık artışı sebebiyle sistem performansı düşecektir. Bu bakımdan montaj yapılırken yüzey ile FV paneller arasında bir hava boşluğu bırakılarak doğal bir havalandırma sağlanmalı ve istenmeyen sıcaklık etkileri en aza indirilmelidir.

Çizelge 5.1'de kristal silikon yapıdaki modüllerden oluşan bir FV panelin çatı ve cephe sistemleriyle bağlantılarında, arkasında havalandırma bırakılıp bırakılmamasına bağlı olarak meydana gelen güç kayıplarına ait bazı değerler verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere FV panellerin arkasında havalandırma bırakılması halinde sıcaklık 290 °C iken, havalandırma yapılmaması durumunda 430 °C'ye kadar yükselmektedir [77].

Çizelge 5.1: FV panel arkasında oluşan sıcaklık değerleri

Havalandırma Durumu	Çatı	Cephe
İyi Havalandırma	% 2.1 (290 °C)	% 3.9 (350 °C)
Zayıf Havalandırma	% 2.6 (320 °C)	% 4.8 (390 °C)
Havalandırma Olmadan	% 5.4 (430 °C)	% 8.9 (550 °C)

5.6 FV Panel Kirliliği

Araştırmalarda apı 500 µm'den küçük olan katı parçacıklara “toz” denilmektedir [79]. Çevremizde yaşayan canlılar sebebiyle meydana gelebilen tozlar, rüzgar yardımıyla atmosfere ulaşmaktadır. Atmosfere taşınan bu tozlar yine rüzgar ya da yağmur gibi sebeplerle FV paneller üzerine düşmektedirler [80], [81].

FV panellerin üzerine toplanan bu tozların olumsuz etkilerine yönelik pek çok çalışmanın yapıldığı görölmektedir. Bu çalışmaların yanında, güneş panellerinin üzerindeki tozun etkisi, biriken tozların azaltılabilmesi ve temizleme yöntemleri üzerine çalışmalar da bulunmaktadır [82]. Tozlar, FV sistemler tarafından üretilen enerji miktarının büyük oranda azalmasına sebep olan çevresel bir faktördür [83]. FV panellerin üzerinde toz ve/veya farklı kirleticilerin birikmesiyle meydana gelen tozlanma sebebiyle paneller üzerinde bir ince kir tabakası oluşturmaktadır. Bu durum panel üzerine düşen güneş ışıının miktarını azaltmaktadır [84]. Işınımın meydana gelen bu azalma, cam üzerinde toplanan bu tozun paneller tarafından alınan güneş ışığını soğurmadan dağıtması sonucu oluşmaktadır [85]. Kirli paneller için geçirgenlik ve yansıma, bir hücrenin üzerindeki toz birikmesine ve toz yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda panellerin kısa devre akımı etkilenmektedir. Benzer şekilde ışığın gelme açısının 0 ° olması, temiz bir panelde kayıpların az olmasına, kirli bir panel için tozdan dolayı kayıpların artmasına sebep olmaktadır [86]. FV paneller üzerinde toplanan tozlar, FV sistemin verimini önemli oranda etkilemektedir. Bu duruma en iyi örnek İngiltere'dir. Dünyanın en tozsuz yerlerinden biri sayılan İngiltere'de, FV panellerin bir ay gibi bir zaman temizlenmemesi durumunda, toz etkisinin güneş ışıınının % 5 - 6 oranında etkilediği belirtilmektedir. Tozların birikme olayı, bazı evre ve hava koşullarının bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Meydana gelen kirlenme, rüzgar gibi nedenlerle tozların kalkıp atmosfer tabakasına doğru hareket etmesiyle oluşmaktadır. Tozların atmosfer tabakasından tekrar yeryüzüne gelmesi yine çevresel koşullar, hava koşulları, tozun kimyasal özellikleri, boyutu, şekli ve ağırlığı gibi sebeplerle olmaktadır. Bunların yanında ayrıca rüzgar hızı, eğim açısı, nem, yüzey kalitesi gibi sebepler de tozların yerleşmesini etkilemektedir. Sebepler arasında FV sistemin kurulduğu saha özellikleri, mevsimsel etki, rüzgar, nem, FV panellerin eğim açısı, yağış, sıcaklık, cam karakteristiği yer almaktadır [83].

5.7 Hava Kütlesi

Güneşin bir saniye süresince güneş sistemine verdiği enerji miktarı çok büyüktür. Atmosfer tabakası bunun büyük bir kısmını tutmakta ve sadece bunun küçük bir bölümünü yeryüzüne ulaştırmaktadır. Güneş ışıınımı atmosfer tabakasını geçerken bazı değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin bağlı olduğu pek çok etken bulunmaktadır ancak en önemli etken, güneş ışıınının atmosferde kat ettiği mesafenin uzunluğudur. Genellikle güneş ışıınım değerleri araştırılırken atmosfer tabakası dışında bir nokta seçilmektedir. Bu noktaya hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilmektedir. Havakürenin dışında birim yüzeye ulaşan toplam güç, tüm spektrumdan geçtiğinde 13267 W/m^2 'dir. Bu değere "güneş değişmezi" denilmektedir. Burada güneş ışıınımlarının havaküreyi geçme sırasında spektrumları büyük ölçüde değişikliğe uğramaktadır. Bulutsuz ve güneşli bir hava olması durumunda dahi güneş ışıınımları havaküreyi geçmesi sırasında oksijen, ozon, azot, su buharı, metan, karbondioksit gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine takılmaktadır. Böylece yeryüzüne ancak havakürenin dışındaki güneş enerjisinin % 70'i ulaşmaktadır [87].

Deniz seviyesinde açık havadaki optiksel hava-kütle; güneş ışıınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Bu bağlamda güneş tam tepe noktasında olduğunda meydana gelen bu değere hava-kütle (air mass) denilmektedir. Hava-kütle katsayısı, standart olarak kullanılan koşullar altında FV sistemlerin performansını benzetimini gerçekleştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle Air-Mass "AM" sözdizimi ile birlikte ve ardından bir sayı kullanılmaktadır. "AM 1.5" ifadesi karasal güç üreten panelleri ifade ederken tüm dünyada kullanılan bir terim olarak karşımıza çıkmaktadır [87].

Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışıınımlarının değeri, doğrudan güneşten gelen ve havakürede takıldıktan sonra difüzyona tabi tutulan ışıınımların toplamı olarak ifade edilmektedir. Mevsimsel durumlara bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışıınım miktarının, saçılmış ışıınıma oranı değişebilmektedir. Diğer bir ifadeyle bulutsuz güneşli bir havada güneş enerjisinin önemli bir bölümü doğrudan güneş ışıınımlarından oluşurken, bulutlu bir havada güneş ışıınımlarının büyük bir bölümü saçılmış ışıınımlardan oluşmaktadır. Yayılmış ve doğrudan gelen ışıınının toplamına

“küresel ısınım” denilmektedir. FV sistemlerin belirlenmesinde güneş ışınlamalarının miktarı oldukça önemlidir [87].

5.8 Albedo

Albedo veya yansıtabilirlik (Latince albus = beyaz), yüzeylerin yansıtma düzeyini ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle albedo, bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerji miktarını yansıtma kapasitesidir. Genel itibarıyla güneş ışığı miktarını yansıtma seviyesi olarak belirtilmektedir. Albedo, cismin yüzeyine, rengine ve yüzey alanına bağlı olarak değişebilmektedir. Uzaydan dünya yüzeyine bakıldığında, bulutlar parlak, okyanus yüzeyi ise koyu olarak gözükmemektedir. Bu açıdan bakıldığında bulutların üzerine düşen ışık miktarının büyük bir kısmı yansımaktadır yani albedo düzeyleri oldukça yüksektir. Diğer yandan deniz yüzeyleri üzerine düşen ışık miktarının büyük bir bölümünü hapsedmektedir yani albedo düzeyleri oldukça düşüktür [88].

Kum ve kar maddeleri dünya yüzeyinde yüksek düzeyde albedo değerine sahip olan cisimlerin arasında sayılmaktadır. Ormanlık alanlar ve/veya yeni sürülmüş nemli topraklarda düşük düzeyde albedo değerine sahiptir [88]. Bazı yüzeylere ait albedo değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Burada karla kaplı olan yüzeylerde albedo değerleri 0,90’a kadar çıkmaktadır. Ayrıca belirtilmelidir ki yapılan araştırmalar en iyi albedo değerlerinin doğrudan ölçülerek elde edildiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında albedo değeri olarak sıklıkla kullanılan değerin 0,20 olduğu görülmektedir [88].

Çizelge 5.2: Bazı albedo değerleri [88]

Madde	Albedo
Temiz Kar	0,8-0,9
Eski Kar	0,45-0,9
Bulut	0,6-0,9
Çöl	0,3
Tarla (Arazi)	0,26
Çimen	0,18-0,23
Orman	0,05-0,18
Asfalt	0,15

6. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SANTRAL EKİPMANLARI

Güneş, geleneksel enerji kaynaklarına göre daha az çevreyi kirletmesinden ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olması sebebiyle yenilenebilir veya alternatif enerji kaynakları arasında sayılmaktadır. Güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında kullanılan yarıiletken malzemelere FV malzemeler ya da güneş pilleri denilmektedir. FV paneller, inverter, akü, akü şarj kontrolörleri gibi farklı bileşenlerle birlikte kullanılarak FV sistemler oluşturmaktadır [89].

FV sistemler, ihtiyaca göre farklı tasarım modelleri ve ürünlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Genel itibariyle sistem; FV panel, inverter, şarj regülatörü ve akü grubundan oluşmaktadır. Şekil 6.1’de bir FV sistem ve elemanları görülmektedir [90].



Şekil 6.1: FV sistem ve elemanları

6.1 FV Panel

FV panel, güneş enerjisini doğru akıma (DA) dönüştüren FV hücrelerin paralel ve/veya seri bağlanmasıyla oluşan dizilerden meydana gelmektedir. FV panellerde kullanılan yarı iletkenlerin işlenme şekline ve türüne göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [89].

- Kristal Silisyum Yapıdaki FV Paneller (Şekil 6.2)

✚ Monokristal Silisyum Yapılı FV Paneller

✚ Polikristal Silisyum Yapılı FV Paneller

Dilim (wafer) Tabanlı Kristal Si Güneş Gözeleri



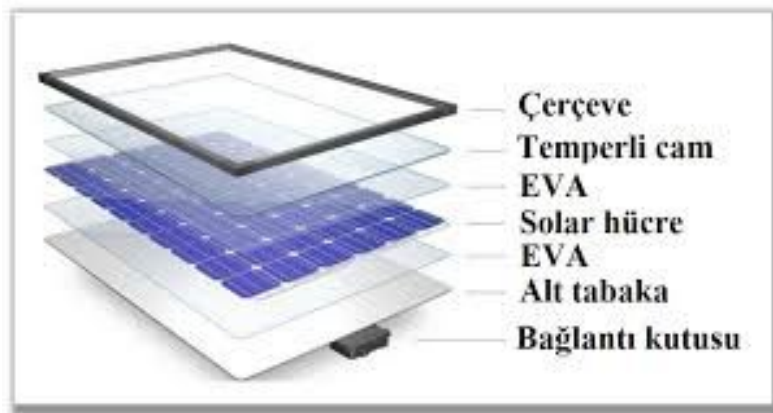
Şekil 6.2: Kristal silisyum yapıdaki FV paneller [91]

Kristal FV hücrelerdeki en önemli element silisyumdur. Silisyumun oksijenden sonra doğada en çok bulunan ikinci element olduğu bilinmektedir. Ancak doğada saf halde bulunmazlar, oksijen elementiyle bileşik halde kuvars veya kum form’da bulunmaktadır.

- İnce Film Yapıdaki FV Paneller (Şekil 6.3)

✚ Amorf Silisyum Yapılı FV Paneller

✚ Bakır İndiyum Diselenit Yapılı FV Paneller



Şekil 6.3: FV panel katmanları [92]

İnce film yapıdaki FV paneller indiyum, bakır ve selenyum yarı iletkenlerin çift cam arasında ince bir film tabakası şeklinde yerleştirilmesiyle elde edilir.

FV panel katmanları [92]:

Çerçeve: Alüminyum yapıdadır. FV panellerin montajı sırasında kolaylık sağlanması, kenarlardan gelecek darbelere karşın panelin korunması ve panellerin fiziksel direncinin artırılması amacıyla alüminyum çerçeve kullanılmaktadır.

Temperli Cam: Panel camları dışarıdan gelen etkilere karşı panel bileşenlerini koruyacak şekilde, olumsuz hava koşulların ve güneş ışınımını geri yansıtma oranı düşük olacak şekilde optimum verim için temperli camlar kullanılmaktadır.

EVA (Etilen Vinil Asetat): Özel bir yöntemle güneş panelleri için üretilen polimer bir film tabakasıdır. Panel hücrelerinde meydana gelebilecek güç kayıplarını azaltmak ve iyi bir yüzey kaplama işlemi yapmak amacıyla kapsülasyon işlemi gerekmektedir. Bu sebeple FV panellerin en hassas bölümlerinde performansın ve dayanıklılığın yüksek ve uzun süreli olması için EVA kullanılmaktadır. Böylece FV panellerin içerisine mikro toz ve su sızması ve kirlenmenin önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Darbe ve titreşimlerin etkisini azaltarak FV hücreleri korur FV modüllerin dayanıklılığını ve veriminin arttırmaktadır. EVA, film hücrelerinin alt ve üst yüzeylerini kaplayacak biçimde yerleştirilmektedir.

Solar Hücre: Bu hücreler bilindiği üzere bir yarı iletken düzeneden meydana gelmektedir. Çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardan oluşan N tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları boşluklardan oluşan P tipi yarı iletkenlerin yan yana getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Fotonlar bu P ve N tipi yarı iletkenlerin birleşme noktasına düşürüldüğünde dış devreden bir akım akışı oluşmaktadır. Meydana gelen bu akım neticesinde solar hücreler bir güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Alt tabaka (Tedlar film): Bu tabaka panel hücrelerinin yalıtkanlığını sağlayarak dış ortamdaki olumsuz etkilenmeleri engellemektedir.

Bağlantı kutusu: FV dizilerden gelen bağlantıları birleştirmek amacıyla bağlantı kutusu kullanılmaktadır. Panel içerisindeki hücrelerin elektrik akımları ve bağlantı kutusu FV diziler aracılığıyla birleştirilir. Böylece panel bir güç kaynağı gibi çalışmaya başlamaktadır.

Panellerin verimliliği panellerde kullanılan malzemelerin türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Güneş panellerinin performansları hakkında bilgi alabilmek için akım-gerilim eğrisi kullanılmaktadır. Güç-gerilim grafiğinden maksimum güç noktası (MGN) çıkartılmaktadır. MGN değeri, panel verimliliğini bulmada kullanılmakta ve panellerin verimliliği, bu değerin gelen ışınım miktarına oranı ile bulunmaktadır.

6.2 DA-DA Dönüştürücü (Şarj Kontrol Cihazı)

Şarj kontrol cihazları (şarj regülatörü), FV panel ve akü arasında bulunan, akü grubunun verimli bir şekilde şarj edilmesini ve akü grubundan FV panellere gelebilecek ters akımların önlenmesini sağlayan şebekeden ayrı FV sistemler için oldukça önemli bir devre elemanıdır. Bu cihazların devrelerinde bulunan kontrollü yarı iletkenler anahtarlama görevi yapmaktadır [93].

Şarj kontrol cihazları, FV panel modülleriyle akü grubu arasında bulunduğu aslı görevi bu iki sistemin bileşenlerinin birbirine zarar vermesini engellemektir. Bu bağlamda cihaz içerisindeki devre ile FV panellerin toplam çıkış gerilimi toplam akü geriliminin üzerine çıktığı an sistem şarj konumuna geçmektedir. Bu durumda kontrol cihazı FV panellerden akülere akım akmasına izin vermektedir. Ancak FV panellerindeki çıkış gerilimi akü gerilimi değerinin altına düştüğü an akü grubundan FV panellere gelebilecek akım akışına izin vermemektedir [93].

Şarj kontrol cihazları bir nevi DA-DA düzenleyici devredir. Bu bağlamda FV panellerinden sabit olarak elde edilemeyen gerilim ve akım değerlerini sabitleyerek akü grubunun daha verimli şarj edilmesini sağlar. Genel olarak 12 V gerilime sahip akü grubunun tam olarak şarj edilebilmesi için 14 – 14,5 V civarında gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. FV panelden gelen 18 - 20 V düzeylerindeki gerilim eğer düzenlenmezse akü grubu aşırı şarj nedeniyle zarar görmektedir. Kontrol cihazları da bu yüksek gerilimi akü grubunun şarj seviyesine indirgemektedir [93].

Şarj kontrol cihazları [93],

- Akü grubundan FV panellere ters akım akmasını önleyerek FV panelleri korumaktadır.

- Akü grubu FV paneller tarafından tam olarak şarj edildiğinde, şarj kontrol cihazları FV panellerden gelen gücü keserek akü grubunun aşırı şarj olmasını engellemektedir.
- FV panellerde üretilen ve sabit olmayan gerilim ve akımı sabitleyerek akü grubunu şarj etmektedir. Bu da akülerin uzun ömürlü olmalarını ve verimli olarak çalışmalarını sağlamaktadır.
- Ayrıca akü grubunun aşırı deşarjını da önlemektedir.

Şarj kontrol cihazları, FV panellerden elde edilen gerilim değerini istenilen gerilim değerlerine çevirdiği bilinmektedir. Başlıca görevleri arasında akü grubunu şarj etmek ve yüksek deşarjdan koruma bulunmaktadır. Burada aşırı şarj durumu elektroliti kaynatmakta ve akülerde hasar oluşturmaktadır. Şarj kontrol cihazlarının elektronik devreleri çok hassastır ve bozulması durumunda akü grubunun değişmesini gerektirebilir [68], [94].

Bu cihazlar genel itibariyle şebekeden bağımsız olarak çalışması istenen sistemlerde kullanılmaktadır ve bu ürünlerin seçiminde verim değerleri dikkate alınmaktadır [95].

Şarj kontrol cihazları iki grupta incelenmektedir. Bunlardan ilki darbe genişlik modülasyonu (PWM) şarj kontrol cihazlarıdır [95]. Bu cihazlar şebekeden bağımsız FV sistemlerde şarj kontrolü cihazı olarak kullanılmaktadırlar. Cihaz üzerinde bulunan LED'ler ve LCD ekran sayesinde akü grubunun şarj durumu görülmektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: PWM şarj kontrol cihazı [93]

PWM şarj kontrol cihazları, 12 - 24 V gerilime sahip aküleri veya akü gruplarını şarj edebilmektedir. Akü ve/veya akü grubu tam şarj durumuna ulaştığında güç aktarımı yapılırken güç miktarı yavaş yavaş azaltılmaktadır. PWM akünün zarar görmesini engellerken ömrünü daha da uzatmaktadır [9], [96]. Bu cihazların verimi maksimum güç noktası izleyici (MGNI) şarj kontrol cihazlarına göre daha düşüktür [95].

FV enerji sektöründe fiyatının uygun olması bakımından en çok tercih edilen şarj kontrol cihazı PWM şarj kontrol cihazıdır. Küçük şebekeden bağımsız(off-grid) uygulamalar için çok ideal bir sistem olmasına karşın daha büyük sistemlerde de genellikle MGNI şarj kontrol cihazları tercih edilmektedir.

Bir diğer şarj kontrol cihazı grubu ise maksimum güç noktası izleyicili (MGNI) şarj kontrol cihazlarıdır [95]. Sistemlerin her koşulda maksimum güç üretmesini sağlayacak şekilde çalışmasını sağlayan ve DA-DA dönüştürücülerinde kullanılan MGNI'dir [97]. MGNI şarj kontrol cihazları tam yükte % 98 verimle çalışmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan akü ve/veya akü grubunun özelliklerine göre en verimli şarjı sağladığından akünün kullanım süresini % 50 oranında arttırmaktadır. Bu nedenle sistem ömrü uzamakta ve sistem maliyetleri düşmektedir [95].

FV panellerden elde edilen enerjiyi sistemin çalışmasına en uygun akım ve gerilim değerine dönüştürerek akü grubunu şarj etmektedir. Bu cihazların gerilim değeri belli bir seviyeye geldiğinde akü grubunun gerilimini takip ederek panellerden akülere akım akışına izin vermekte ya da şarj durumunu kesmektedir [93].

MGNI şarj kontrol cihazları, PWM şarj kontrol cihazına göre daha maliyetli olmasına rağmen sistemlere sağladığı önemli faydalar neticesinde maliyet önemsiz kalmaktadır. Bu sebeple genel olarak 5 kW ve üstü şebekeden bağımsız uygulamalarda MGNI şarj kontrol cihazı tercih edilmektedir [93].

Şarj kontrol cihazları tercih edilirken FV panellerin toplam çıkış gerilimi ve kısa devre akım değerine ve akü grubunun toplam gerilim değerine bakılmaktadır [93]. FV panellerin toplam kısa devre akımı bazı durumlarda ışıınım miktarı ve sıcaklık artışı sebebiyle yükseleceğinden toplam panel çıkış akımının 1,25 katı şarj kontrol cihazının şarj akımı kapasitesini oluşturur. Bu durum aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilmektedir [93]:



Şekil 6.5: MGNİ şarj kontrol cihazı

$$\frac{I_{scc} S_p 1.25}{2} \leq I_{ccc} \quad (6.1)$$

Burada,

I_{scc} : FV panelin kısa devre akımı (A)

S_p : FV panel sayısı

I_{ccc} : Şarj kontrol cihazının şarj akımı

Denklem 6.1’de payın 2’ye bölünmesinin sebebi şebekeden bağımsız FV sistemlerde FV paneller 2 dizi olacak şekilde bağlanmaktadır. Örneğin, 36 FV panelden meydana gelen bir sistem 18 FV panel olarak iki diziye bölünmektedir. Bu 18 FV panel birbiriyle paralel bağlandıktan sonra diğer 18 FV panel dizisiyle seri bağlanarak sistemsel bağlantı tamamlanmaktadır. Burada paralel bağlantının akımı arttırdığı bilinmektedir. Yani modül üzerindeki maksimum akım, 18 FV panelin birbiriyle paralel bağlanması ve her FV panelin ürettiği akımın toplanmasıyla oluşmaktadır. Bu sebeple toplam FV panel adedi denklemde ikiye bölünmektedir [93].

6.3 Akü (Batarya)

Aküler, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolayan ve kullanım sırasında tekrar elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır.

FV sistemlerde kullanılan akülerden, hızlı şarj, yüksek şarj deşarj verimi, düşük maliyet, derin boşalma ve uzun ömür beklenilmektedir [70]. FV enerji sistemlerinde, lityum iyon, kuru, jel ve OPzS akü çeşitleri kullanılmaktadır [93].

Lityum-İyon Aküler : Lityum-iyon aküler, deşarj edildikten sonra tekrar şarj edilerek kullanılabilen cihazlardır. Bu akülerin yapısı kapalı olarak tasarlanmış ve bakım gerektirmeyecek şekildedir. Çabuk şarj olma kabiliyetine sahip uzun ömürlü olan bu aküler, yüksek enerji verimine sahiptirler. Bu akülerin en büyük sakıncaları arasında yüksek sıcaklıklarda bozunmalar, yüksek fiyatlı oluşu ve koruyucu devrelere gerek duyması sayılabilir.

Kuru Aküler : Bu aküler kapalı olarak tasarlandığından bakım gerektirmemektedirler. Dikey ya da yatay pozisyonlarda kullanılabilirler.

Jel Aküler : Bu aküler, düşük ortam sıcaklıklarına bağlı olarak daha uzun kullanım ömürlü ve daha iyi bir performans sağlayan silikon jel teknolojileriyle üretilmektedir. Diğer türlerde olduğu gibi bu aküde kapalı bir kutu şeklinde dizayn edilmekte ve bakım gerektirmemektedir.

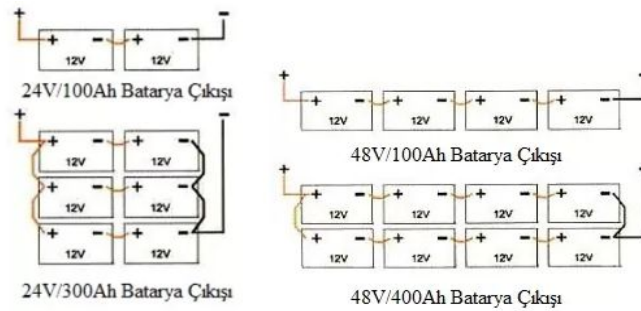
OPzS Aküler : Bu aküler, sistemlere kesintisiz enerji kaynağı olmak üzere hazırlanmış ve üretilmiş sabit tesis aküleridir. OPzS aküleri, az bakım gerektirir ve enerji maliyetleri düşüktür.

Lityum-iyon ve kurşun-asit akülerin karşılaştırılması Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: Lityum-İyon ve Kurşun-Asit akülerin karşılaştırılması

Aküler	Döngü	Özellik
Lityum-İyon	2000 - 4000	Güvenirlik, Yüksek döngü, Yüksek performans, hafif
Kurşun-Asit	500 - 2500	Şarj/Deşarj hızı, Derin döngü, Düşük maliyet

Akü ve/veya akü grupları, güneş ışığından uzak serin bir ortama yerleştirilmeleri gereklidir. Aralarında belli bir mesafe bulunmalıdır (Şekil 6.6) [93].

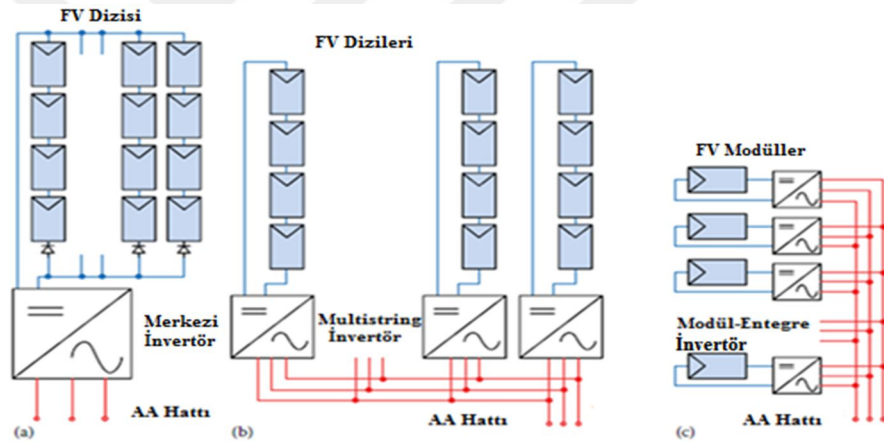


Şekil 6.6: FV sistem kurulumu akü kablo bağlantısı

Ayrıca aküler nemli ve sulu ortamlardan da uzak tutulmalıdır. Kablolama işlevi ise yine kullanılan inverterin çalışma gerilimine bağlıdır. Örneğin 4 adet 12 V 200 Ah akü, çalışma gerilimi 48 V olan 5.000 VA'lık bir inverter için seri olarak bağlanmalıdır. Bu şekilde 48V 200 Ah çıkışa sahip bir akü grubu elde edilmiş olur [93].

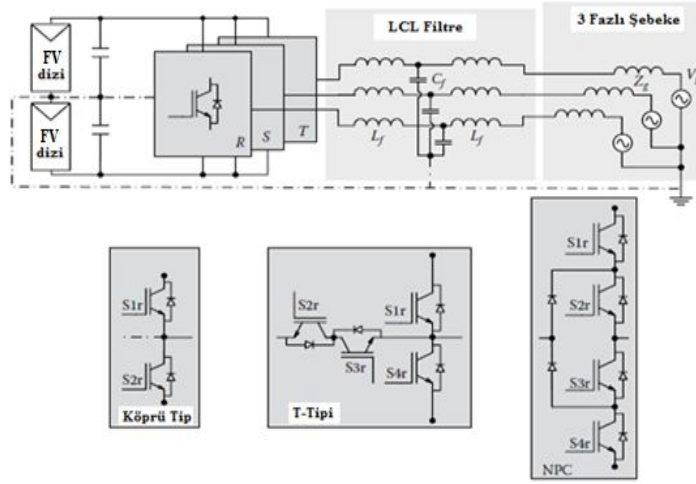
6.4 DA-AA İnvterör (Evirici)

FV sistemlerin şebekeye bağlantısında kullanılan inverterler güneş enerjisinin enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. FV inverterler, FV sistemler tarafından üretilen DA enerjisini, elektrik şebekelerine bağlantısında gereken alternatif akım (AA) enerjisine dönüştürür [98]. FV inverterler hakkında, FV tesisin büyüklüğüne bağlı olarak, üç farklı sınıflandırmadan bahsedilmektedir. Şekil 6.7'de şebekeye bağlı FV sistemlerin inverter yapıları görülmektedir.



Şekil 6.7: FV inverter yapıları: (a) merkezi inverter yapısı (CI), (b) string ve multistring inverter yapısı (MCI) ve (c) modül-entegre yapı (MIC, micro inverter).

AA sistemlerinde, klasik yarım köprü ve H köprüsü teknolojilerinin yanı sıra, literatürde son 10 yılda önerilen birçok farklı inverter teknolojisinin kullanıldığı görülmektedir. Bu teknolojilerin bazıları şimdilerde endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 6.8'de standart üç-fazlı inverter teknolojisi görülmektedir [99]. Standart tek-fazlı inverter teknolojileri modifiye sinüs ve tam sinüs olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir. Modifiye sinüs çıkışlı inverterlerin maliyetleri tam sinüs çıkışlı inverterlere göre düşük olup dalga formu tam sinüs değildir. Bu bağlamda elektronik hassas cihazlarda modifiye sinüs inverter kullanılmamalıdır.



Şekil 6.8: İnvörtör teknolojisine genel bir bakış

İnvörtörler, doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik cihazlar olarak bilinmektedir. Kapasitelerine göre belirli DA gerilim aralıklarına göre çalışmaktadırlar. Bu gerilim değerlerine göre de akü bağlantısı ve bu aküleri şarj etmek için de panel kablo bağlantıları ayarlanır. Off-grid inverterler piyasada 1000 VA – 5000 VA arasındadır. İnvörtörler birbirleriyle paralel bağlanarak gücü arttırılabilir. Örneğin iki adet 5000 VA inverteri paralel bağlarsa 10000 VA'lık bir inverter kapasitesi elde edilmiş olur [93].

6.5 DA ve AA Kablo

FV sistem kurulumlarında kablo tasarımı oldukça önemlidir AC ve DC kabloların seçimi yapılırken üretici firmaların kablolarının teknik özelliklerine bakılması faydalı olacaktır. Kablo iletkeninin cinsine bağlı olarak kablo kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri kablo uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Kablonun seçimi gerek akü ve gerekse de panel bağlantılarında çok önemlidir. Her çeşit kablonun belli bir mesafe için standart akım taşıma kapasitesi bulunmaktadır. FV panel bağlantıları solar kablo adı verilen izoleli, oksitlenmeye ve güneş ışınlarına karşı dayanıklı bir kablo ile yapılmaktadır.

Bu kablolar genel olarak 6 mm² kesite sahiptir. Bu durum 57 A'lık bir akım taşıma kapasitesinin olduğunu göstermektedir. Çizelge 6.2'de farklı uzunluklardaki kablo kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri verilmiştir. Kablo seçim tablosu [93];

Çizelge 6.2: Farklı kablo kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri

Kablo Uzunluğu (m)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-9
Amper (A)	Kablo Kesiti (mm ²)							
0-20	2.5	6	6	6	10	10	10	10
21-36	6	6	10	10	20	20	20	35
37-50	6	6	10	10	20	20	20	35
51-65	10	10	20	35	35	35	35	35
66-85	20	20	35	35	35	35	35	35
86-105	20	20	35	35	35	35	35	35
106-125	35	35	35	35	35	35	35	35
125-150	35	35	35	35	35	35	35	35
151-200	35	35	50	50	50	50	50	50

6.6 Sigorta, Parafudur ve Eş Potansiyel Topraklaması

➤ Sigorta [100]

FV sistemler DA gerilim üretmeleri sebebiyle, bu sistemlerde koruma elamanı olarak kullanılan sigortalar çok önemli bir rol oynamaktadır. Sistemlere koruma elamanı olarak ya sigortalar ya da devre kesiciler eklenmektedir. FV sistemlerde kullanılan sigortalar, yine FV sistemlerde kullanılmak üzere özel olarak imal edilen DA sigortalarıdır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: Sigortalar

AA uygulamaları DA uygulamalarından çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple pek çok kullanıcı DA sigortaları hakkında çok fazla bilgiye sahip değildir. Diğer yandan FV panellerin 120, 150, 200, 600, 1000 ve hatta 1500 volt DA güç ürettikleri bilinmemekte ve dolayısıyla DA'da, AA sigorta ve kesicileri kullanılarak

hasar ve yaralanmalara neden olurlar. Burada güneş panelleri, inverter, şarj cihazı, akü vb. ekipmanlar yanlış sigorta seçiminden dolayı aşırı akıma maruz kalabilmektedir. Bunun yanı sıra bilinmelidir ki FV sistemlerde en yaygın sorun, AA sigortalarının aşırı akım koşulları altında devreyi güvenli bir şekilde açmamaktadır.

Paralel biçimde bağlanmış FV dizilerde, FV panellerinin ters akımlarda aşırı ısınmasına ve kablo yalıtımının zarar görmesine neden olabilecek bir seviyeye ulaşabilmektedir. FV dizisinde ekipmanların ve kabloların aşırı akımlardan korunmasını sağlamak için her FV paneli dizisinin (+) ve (-) kutuplarına DA sigorta veya DA devre kesici takılmalıdır. Burada öncelikle her dizinin I_{sc} değerinin 1.25 katı akım üretebileceği bilinmelidir. FV sistemlerde bir sigortanın değerinin belirlenmesinde FV panellerinin kısa devre akımı (I_{sc}), FV panel adedi ve bu FV panellerin nasıl bağlandığı (seri, paralel) bilinmesi gereklidir. FV panellerinde sigorta seçimi yapılırken panelin I_{sc} değerinin 1,25 ila 1,56 katı alınarak DA sigorta değeri hesaplanmaktadır. Aşağıda verilen örnek hesaplama sigorta seçimini anlatmaktadır:

- Seri bağlanan panellerde gerilim değeri toplanarak artmakta ve akım değeri aynı kalmaktadır. Örneğin, her biri 24 volt ve 8A üreten seri bağlı dört adet 250Wp FV panel, çıkışta toplam 96 volt ve 8 amper üretir. FV panelin kısa devre akımını 1.25 güvenlik katsayısı ile çarptığımızda seçilecek olan sigorta değeri belirlenir ($8 \times 1,25 = 10A$).
- Paralel bir bağlantıda, sigorta değeri; FV panel adedi (dizi sayısı) $\times I_{sc} \times 1.25$ şeklinde hesaplanmaktadır ($4 \times 8 \times 1,25 = 40A$)
- Şarj kontrol cihazları ile akü arasına koyulması gereken sigortanın değerini belirlemek için, şarj kontrol cihazlarındaki amper değerine bakılması yeterlidir. Örneğin, 40 A'lık bir şarj kontrol cihazı bulunuyorsa, 40 A değerinde sigorta kullanmak yeterli olmaktadır.

➤ Parafudur [101]

Parafudur güvenlik olarak tanımlanabilir. Parafudurlar kullanım ömrünün sonuna geldiğinde pano içerisindeki cihazlara zarar vermeyecek durumdadır. Yıllar sonra veya yüzlerce deşarjdan sonra bile korumaya devam eder. Bu bakımdan üreticiler parafudurları 'ömür sonu kısa devre değeri' ile tanımlamaktadır. Şekil 6.10'da FV parafudurlar görülmektedir.



Şekil 6.10: FV parafudurlar

Tipik açıdan bu parafudurlar varistör teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Koruma işlemi kesici veya sigorta ile birlikte yapmaktadır. Bu konu FV sistemlerde DA tarafında iki önemli sebepten dolayı öncelikli hale gelmektedir. Burada kısa devre değeri anma akımına yakın değerdedir ve DA tarafındaki yüksek gerilimler nedeniyle koordineli çalışan ve uygun kısa devre kesme cihazlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Şimdiye kadar FV sistemlerde kullanılan parafudurların güvenlik koruması için tek teknik referans olan UTE C 15-712 kullanılmaktaydı. 2011 yılında UTE(1) C 61-740-51 (takiben EN50539-11) güvenlik yönergesi yürürlüğe girmiştir. Bu yönerge FV enerji tesislerine özgü ‘darbe gerilimi koruması kriterlerini’ dünyaya sunan ilk yönerge olmaktadır. Bu yeni standart FV sistemlerde kullanılan parafudurların yüksek gerilim ve DC çalışmadaki düşük kısa devre akımlarını, test ve güvenlik kriterlerini göz önünde bulundurarak tanımlamaktadır. FV parafudurların kullanım süreleri sonunda, çalışma veriminin sona erdiği ve sistem güvenliğini tehlikeye soktuğu durum bazı prensipler tanımlanmıştır. UTE standardına uygunluk için:

- Ürün üzerinde ‘FV’ sembolü bulunmalı
- U_{cpv} gerilimi, (FV çalışma şartlarında maksimum sürekli gerilim)
- Deşarj anma akımı (I_n)
- Parafudurların Tip 1 ya da Tip 2 olmasına bağlı olarak, maksimum deşarj akımı (I_{max}) veya darbe akım (I_{imp})
- Gerilim koruma sınıfı (U_p)
- DA kısa devre dayanma akımı (I_{scwpv})

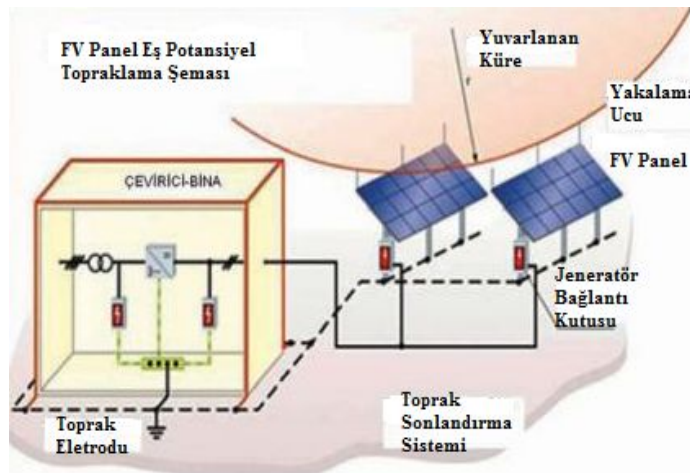
parafudur üreticileri yukarıdaki bilgileri sağlamak zorundadır.

- Eş Potansiyel Topraklaması [102]

FV sistemlerde dörtlü korumanın önemi oldukça fazladır. ‘Pasif Yakalama Uçları tasarımı’ ve ‘Alçak Gerilim (AG) Parafudur’ tasarımıyla birlikte en önemli ikili, topraklama ve epotansiyel sistemlerdir. Bu baēlamda temel topraklama, fonksiyon topraklama, işletme ve koruma topraklaması FV sistemlerde adım adım uygulanmaktadır. Burada en önemli olan mesele yapılan tüm farklı topraklamaların uygulama sonunda e deēer dirence sahip olma durumudur. Aksi halde kurulan tesisinin yıllar içerisinde oluşabilecek hata akımlarından ve ani gerilim darbelerinden korunması zor olmaktadır.

Topraklama sorunu kesinlikle teknik hesaplarla yapılmalı ve uygulanmalıdır. Burada belirtilmelidir ki ‘Toprak zgl direnç deēeri, ‘tesis dışındaki alanların özgül direnç deēerleri’ ve mevcut yapılan topraklama deēerleri ölçülmeden uygulama ve tasarım yapılması doēru sonuçlar vermeyebilir.

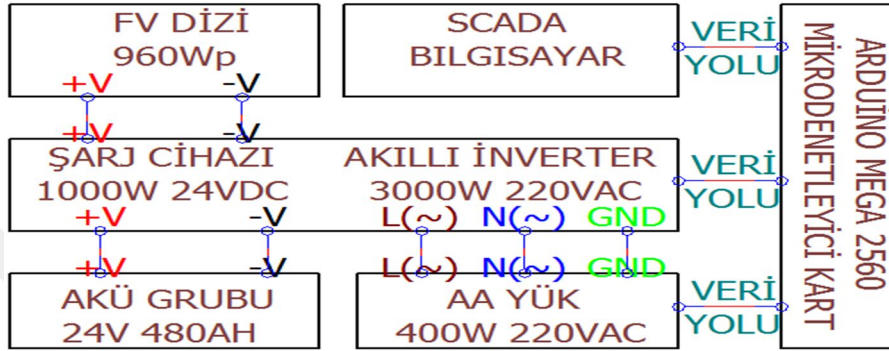
Yıldırımdan korunma sistemlerinde pasif yakalama uçları tercih edilmeli ve e potansiyele alınmalıdır. Burada trafo koruma ve işletme uygulamaları ve direnç deēerleri standartlarca belirlenmiştir. Uzun yıllar göz önüne alındıēında tüm topraklama direnç deēerinin 1 ohm seviyesinin altında olması, korozyon bandı kullanılması son derece önemlidir. Saha daēıtım panoları ve toplama panolarının topraklamaları kesinlikle farklı yapılmamalı ve e potansiyele alınmalıdır. Şekil 6.11’de A yöntemi e potansiyel topraklama şeması görülmektedir.



Şekil 6.11: A yöntemi e potansiyel topraklama eması

7. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ANALİZİ

Bu çalışmada 3 adet 320 Wp Gazioğlu GSE 320 MP tek kristalli FV panel birbirine paralel bağlanarak FV dizisi oluşturulmuştur. Şebekeden bağımsız MGES elektrik projesine ait görsel Şekil 7.1’de verilmiştir.

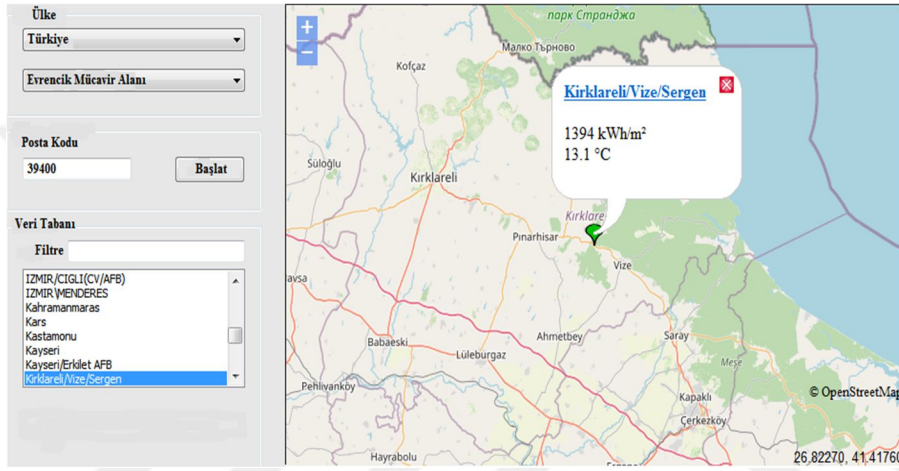


Şekil 7.1: Şebekeden bağımsız MGES elektrik projesine ait görsel

Kablolama işlemi $2 \times 6 \text{ mm}^2$ nyaf kablo ile yapılmış ve Voltronics VM 3000-24 akıllı inverter içerisinde bulunan 1000 Wp DA-DA MGNİ şarj kontrol cihazına aktarılmıştır. FV dizisi ile MGNİ şarj kontrol cihazına arasında 40 A çift kutuplu sigorta kullanılarak aşırı akıma karşı sistem korunmuştur. MGNİ şarj kontrol cihazı FV dizisinde üretilen enerjinin gerilim ve akımını optimum seviyede düzenleyerek akü grubunu şarj etmiştir. Sonnenschein A412/120A 8 adet 12 V - 120 Ah jel akü 4’lü paralel ve 2’li seri kablo bağlantıları yapıp 24 V - 480 Ah kapasiteli akü grubu elde edilmiştir. Şarj ve deşarj işlemleri için akıllı inverter ile akü grubu arasında $2 \times 35 \text{ mm}^2$ nyaf kablo kullanılmıştır. Akıllı inverterin FV dizisi haricinde akü şarjı için kullanılabilen şebeke beslemesi, mikro güneş enerji santrali (MGES) projesi kapsamında olmadığı için kullanılmamıştır. 3000 Wp akıllı inverter ile 400 W nominal güce sahip AA yük profili arasında $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ nyaf kablo ile bağlantı yapılmış ve 16 A çift kutuplu sigorta kullanılarak aşırı akıma karşı sistem korunmuştur. Akıllı inverter ile arduino mega 2560 geliştirme kartı arasında haberleşme yapılarak ve arduino mega 2560 geliştirme kartı ile bilgisayarda bulunan SCADA programı arasında haberleşme yapılarak MGES ölçümleri gerçek zamanlı olarak izlenmiş, kayıt altına alınmış ve AA yükün kontrolü sağlanmıştır.

7.1 Benzetim Programı ile Mikro Güneş Enerji Santralinin İstatistiksel Analizi

Yapılan çalışma, Şekil 7.2’de konumu görülen Kırklareli ili Vize ilçesinde bulunan Traçim çimento fabrikasında gerçekleştirilmiştir. 960 Wp kurulu güce sahip MGES, istatistiksel olarak, PVSQQL ve PVSYST benzetim programları ile tasarlanmış ve güneş enerji potansiyeli, elektrik üretimi, elektrik kayıpları ve elektrik tüketimi incelenmiştir. 960 Wp kurulu güce sahip şebekeden bağımsız MGES, 41 ° 37 ' 45 “ K enlem ve 27 ° 41 ' 05 “ D boylamda konumlandırılmıştır. PVSQQL programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2: Traçim çimento fabrikasındaki MGES konumu

LOKASYON	kwh/m ² -yıl	[°C]	ENLEM [°]	BOYLAM[°]
Izmir	1498	17.7	38.43	27.17
IZMIR/CIGLI(CV/AFB)	1496	17.9	38.50	27.01
IZMIR\MENDERES	1501	17.6	38.26	27.15
Kahramanmaraş	1567	16.5	37.60	36.93
Kars	1548	4.7	40.60	43.08
Kastamonu	1180	9.7	41.37	33.77
Kayseri	1412	10.3	38.78	35.48
Kayseri/Erkilet AFB	1412	10.5	38.82	35.43
Kırklareli/Vize/Sergen	1394	13.1	41.63	27.69
Konya	1570	11.6	37.98	32.56
Malatya	1559	13.5	38.43	38.08
Mersin	1684	18.5	36.82	34.60
MERZIFON (TUR-AFB)	1268	10.8	40.85	35.58
Mugla	1534	14.9	37.20	28.35
MURTED (TUR-AFB)	1406	11.6	40.08	32.56

Şekil 7.3: PVSQQL programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması

Meteonorm veri tabanından alınan verilere göre MGES’in yıllık sıcaklık ortalaması 13,1 °C ve yıllık güneş enerji potansiyeli 1394 kWh/m².yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler istatistiksel olarak belirlenmiştir. PVSYST programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması Şekil 7.4’de verilmiştir.

	Genel Isınım	Difüz Isınım	Sıcaklık	Rüzgar Hızı
	kWh/m ² .mth	kWh/m ² .mth	°C	m/s
Ocak	48.5	27.3	3.0	1.80
Şubat	59.8	33.7	4.4	2.00
Mart	95.0	51.5	8.6	2.01
Nisan	146.2	71.7	12.5	1.61
Mavis	172.5	80.8	18.3	1.50
Haziran	182.6	81.5	22.3	1.60
Temmuz	196.6	80.6	25.5	1.90
Ağustos	169.8	74.1	25.5	1.90
Eylül	130.1	55.6	19.7	1.71
Ekim	86.8	46.0	15.0	1.70
Kasım	55.1	30.7	9.4	1.50
Aralık	46.1	23.6	4.6	1.90
Yıllık	1389.2	657.2	14.1	1.8

Şekil 7.4: PVSYST programı yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve sıcaklık ortalaması

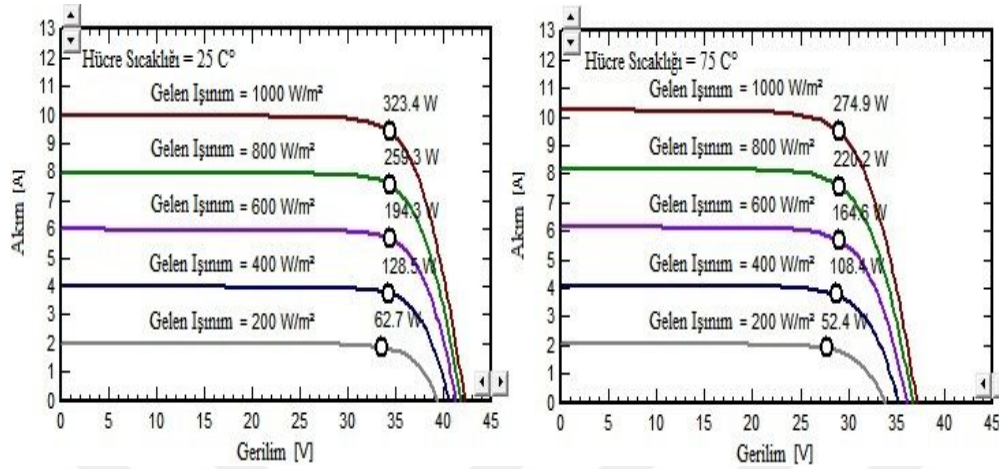
PVSQL programında MGES koordinatlarındaki güneş enerji potansiyeli 1394 kwh/m².yıl iken PVSYST programında MGES koordinatlarındaki güneş enerji potansiyelinin 1389 kwh/m².yıl olduğu tespit edilmiştir. PVSQL programında MGES koordinatlarındaki yıllık sıcaklık ortalaması 13.1 °C iken PVSYST programında MGES koordinatlarındaki yıllık sıcaklık ortalamasının 14.1 °C olduğu tespit edilmiştir. FV panellerin üzerine güneş ışıını düşmesi ile birlikte elektrik enerjisi üretimi başlamaktadır. Ancak güneşten gelen fotonların yansıması sonucu enerjinin bir kısmının tutulamamasından ve fotoelektrik olayı esnasında enerjinin bir kısmının ısıya çevrilmesinden dolayı güneş ışıınına ait potansiyel enerjisinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülememektedir. Bu bağlamda FV panellerin verimlerinin günümüz teknolojisi ile değerlendirildiğinde % 100 olması mümkün olmamaktadır. MGES'te kullanılan FV paneli ısı karakteristikleri Çizelge 7.1'de görülmektedir.

Çizelge 7.1: MGES'te kullanılan FV panelinin ısı karakteristikleri

Parametreler	Değerler
<i>SÇK</i>	46 °C
<i>I_{sc}</i> sıcaklık katsayısı	0.05 % / K
<i>I_{oc}</i> sıcaklık katsayısı	-0.29 % / K
<i>P_{mpp}</i> sıcaklık katsayısı	-0.39 % / K

FV paneli hücrelerinin ısınması ile akım artarken, gerilim değeri düşmektedir. Gerilim değerindeki azalma miktarının akım değerinin artma miktarına göre fazla olması nedeniyle üretilen güçte azalma olmaktadır. Bu bakımdan FV panelde FV hücre

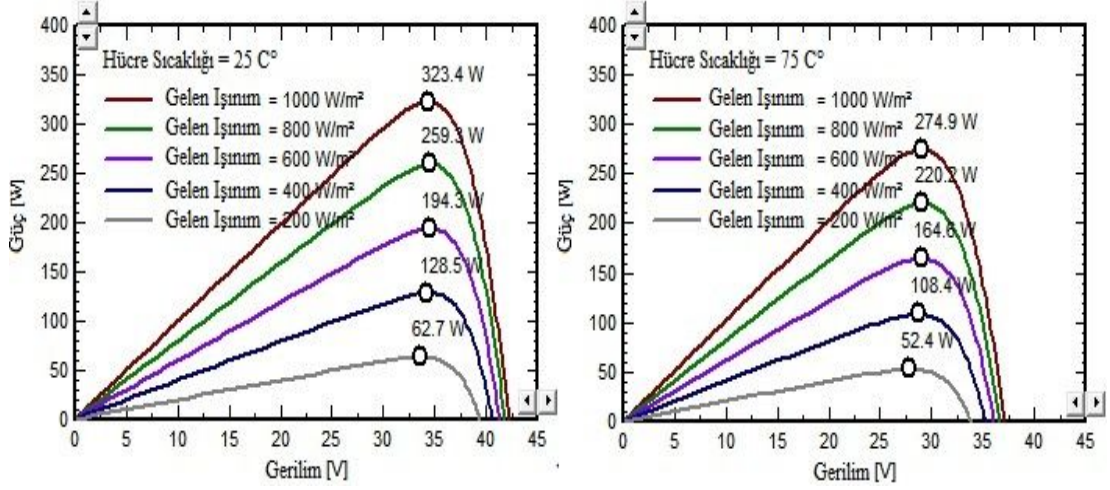
sıcaklığına bağlı olarak verim kaybı oluşmaktadır. MGES’te kullanılan tek kristalli FV panellerin, FV hücre sıcaklığı artışına bağlı olarak FV panelin akım miktarındaki artma, gerilim ve güç miktarındaki azalma Şekil 7.5’de verilmiştir.



Şekil 7.5: PVSYST programında FV hücresindeki sıcaklığa ve ışıma bağlı akım-gerilim grafiği

Bu çalışmada MGES’te kullanılan tek kristalli FV paneller, farklı FV panel teknolojilerine göre FV hücre sıcaklığının artışına bağlı FV panel güç kaybı daha az olduğu için tercih edilmiştir. MGES’de kullanılan tek kristalli FV panellerin Şekil 7.6’da görülen 25 °C ve 75 °C’deki farklı ışıma miktarına bağlı akım-gerilim grafiğine bakıldığında ışıma değeri sabit tutularak 75 °C sıcaklıktaki FV panelin çıkış gücünün 25 °C sıcaklıktaki FV panelin çıkış gücüne oranı hesaplanarak FV panelin farklı ışımlara göre FV panel sıcaklığına bağlı çıkış gücündeki kayıpları hesaplanmıştır.

1000 W/m² güneş ışımasında FV panel sıcaklığı 25 °C’den 75 °C’ye yükseldiğinde güç üretiminde % 15 güç kaybı, 800 W/m² güneş ışımasında FV panel sıcaklığı 25 °C’den 75 °C’ye yükseldiğinde güç üretiminde % 15,08 güç kaybı, 600 W/m² güneş ışımasında FV panel sıcaklığı 25 °C’den 75 °C’ye yükseldiğinde güç üretiminde % 15,29 güç kaybı, 400 W/m² güneş ışımasında FV panel sıcaklığı 25 °C’den 75 °C’ye yükseldiğinde güç üretiminde % 15,65 güç kaybı, 200 W/m² güneş ışımasında FV panel sıcaklığı 25 °C’den 75 °C’ye yükseldiğinde güç üretiminde % 16,43 güç kaybı olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Sabit güneş ışıması altında FV panel sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak güç üretimi azalırken gerilim düşümünün akım düşümünden fazla olduğu tespit edilmiştir.



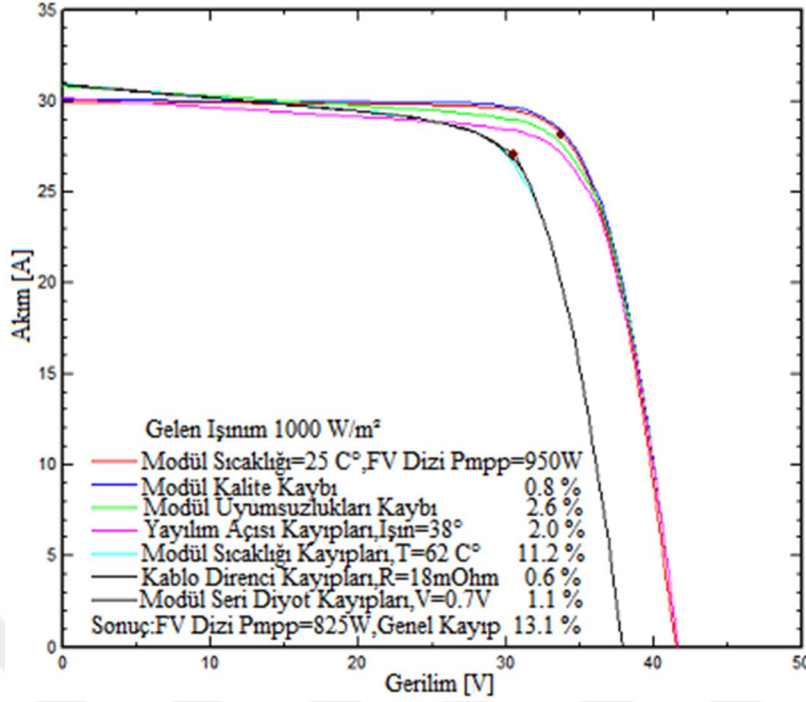
Şekil 7.6: PVSYST programında FV hücresindeki sıcaklığa ve ışınmaya bağlı güç-gerilim grafiği

Ayrıca 320 Wp tek kristalli FV panelin 25 °C hücre sıcaklığında bulutlu kapalı bir günde 200 W/m² güneş ışınmayı ile 62,7 W güç ürettiği, 25 °C hücre sıcaklığında güneşli açık bir günde 1.000 W/m² güneş ışınmayı ile 323,4 W güç ürettiği istatistiksel olarak belirlenmiştir. 25 °C hücre sıcaklığında hava durumuna bağlı bulutlu kapalı bir günde, güneşli açık bir güne göre % 80.62 güç kaybı olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Ayrıca 320 Wp tek kristalli FV panelin 75 °C hücre sıcaklığında 200 W/m² güneş ışınmayı ile 52,4 W güç ürettiği, 75 C° hücre sıcaklığında 1.000 W/m² güneş ışınmayı ile 274,9 W güç ürettiği istatistiksel olarak belirlenmiştir. 75 C° hücre sıcaklığında hava durumuna bağlı bulutlu bir günde, güneşli bir güne göre % 80,94 güç kaybı olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir.

FV panelin farklı güneş ışınmayı ve farklı sıcaklık altında karşılaştırması yapıldığında güneş ışınmayı azalmasının ve hücre sıcaklığı artışının çıkış gücünü doğrudan azalttığı tespit edilmiştir. FV panelin çıkış güç kaybını minimize etmek için düşük sıcaklıklarda ve yüksek güneş ışınmayında çalışılması gerektiği tespit edilmiştir.

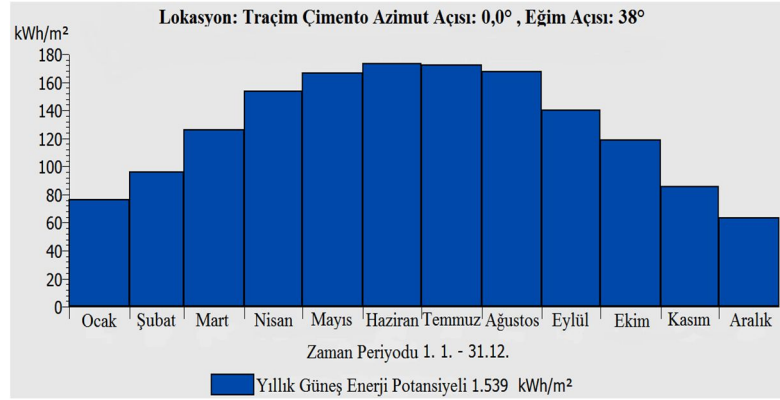
PVSYST programında FV dizisinin kayıplarına bağlı akım-gerilimi grafiği Şekil 7.7’de verilmiştir. Şekil 7.7 incelendiğinde standart test koşulları altında 950 Wp üretebilen FV dizisinin kayıplara bağlı olarak 825 Wp üretebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.7: PVSYST programında FV dizisinin kayıplarına bağlı akım-gerilim grafiği

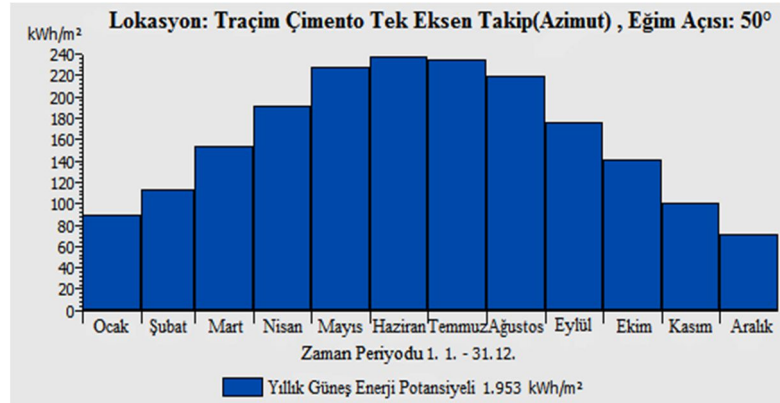
1.000 W/m² güneş ışınımı altında, FV hücre sıcaklığı 25 C° iken bir FV panelin, katalog verilerine göre ideal şartlar altında maksimum 320 W güç üretebildiği PVSYST programında belirlenmiştir. Fakat bazı kayıplar nedeniyle PVSYST programına göre üç panelden oluşan FV dizisinin pratikte maksimum güç olarak 825 W üretilbildiği istatistiksel olarak belirlenmiştir. FV dizisinde üretilen güçte toplamda % 13,1 azalmaya sebep olan parametrelerden FV hücre kalitesinin etkisi % 0,8, FV hücre uyumsuzluklarının etkisi % 2,6, güneş ışınımı yayılım açısının etkisi % 2,0, FV hücre sıcaklığının etkisi % 11,2, FV panelleri arasındaki kablo direncinin etkisi % 0,6, FV panelleri içerisine seri bağlanan diyotların etkisi % 1,1 olarak tespit edilmiştir. FV dizide üretilen güçte kayıplara sebep olan parametrelerin etkisi sonucu oluşan güç eğrisi Şekil 7.7’de gösterilmiştir. FV dizisinde üretilen gücün azalmasında en önemli parametre FV hücre sıcaklığının yükselmesidir. Sabit eksenli güneş takip sistemine göre PVSQQL programında güneş enerji potansiyeli Şekil 7.8’de gösterilmiştir. MGES’in sabit eksenli güneş takip sisteminde yıllık 1539 kWh/m² maksimum enerji potansiyeline sahip olabilmesi için FV dizisinin 0 ° sabit azimut açısı ve 38 ° sabit eğim açısı ile güneş ışınımını alması gerektiği PVSQQL programı ile belirlenmiştir.

Şekil 7.8 incelendiğinde MGES'in enerji potansiyelinin sabit eksenli güneş takip sistemine göre Aralık ayında 63 kWh/m^2 ile minimum, Haziran ayında 173 kWh/m^2 ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 7.8: PVSQQL programında sabit eksenli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli

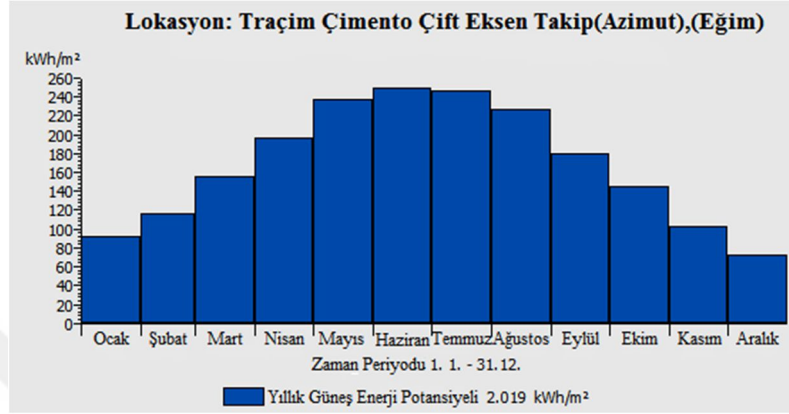
PVSQQL programında tek eksen hareketli güneş takip sistemine göre istatistiksel güneş enerji potansiyeli Şekil 7.9'da verilmiştir. Şekil 7.9 incelendiğinde MGES'in enerji potansiyelinin tek eksen hareketli güneş takip sistemine göre Aralık ayında 71 kWh/m^2 ile minimum, Haziran ayında 237 kWh/m^2 ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 7.9: PVSQQL programında tek eksen hareketli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli

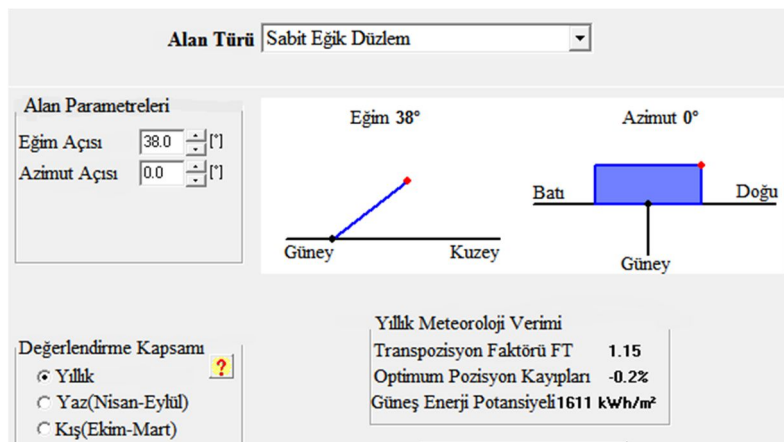
MGES tek eksen hareketli güneş takip sisteminde yıllık 1953 kWh/m^2 maksimum enerji potansiyeline sahip olabilmesi için FV dizisinin yıllık değişken azimut açısı ve 50° sabit eğim açısı ile güneş ışıınımını alması gerektiği PVSQQL programı ile belirlenmiştir.

PVSQL programında çift eksen hareketli güneş takip sistemine göre istatistiksel güneş enerji potansiyeli Şekil 7.10'da verilmiştir. Şekil 7.10 incelendiğinde MGES'in enerji potansiyelinin çift eksen hareketli güneş takip sistemine göre Aralık ayında 73 kWh/m² ile minimum, Haziran ayında 249 kWh/m² ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 7.10: PVSQL programında çift eksen hareketli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli

MGES çift eksen hareketli güneş takip sisteminde yıllık 2019 kWh/m² maksimum enerji potansiyeline sahip olabilmesi için FV dizisinin değişken azimet açısı ve değişken eğim açısı ile güneş ışıınımı alması gerektiği PVSQL programı ile belirlenmiştir. Hareketli güneş takip sistemlerinin ilave yatırım maliyeti ve ihtiyaç duyduğu enerji tüketimi nedeniyle, sabit eksenli güneş takip sistemi MGES uygulamasında tercih edilmiştir. PVSYSY programında sabit eksenli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.11: PVSYSY programında sabit eksenli güneş takip sisteminin istatistiksel güneş enerji potansiyeli

MGES'in sabit eksenli güneş takip sisteminde yıllık 1611 kWh/m^2 maksimum enerji potansiyeline ulaşabilmesi için FV dizisinin 0° sabit azimut açısı ve 38° sabit eğim açısı ile güneş ışınlamını alması gerektiği PVSYST programı ile belirlenmiştir.

MGES'in yıllık güneş eğim açısı ve güneş azimut açısı Şekil 7.12'de verilmiştir.

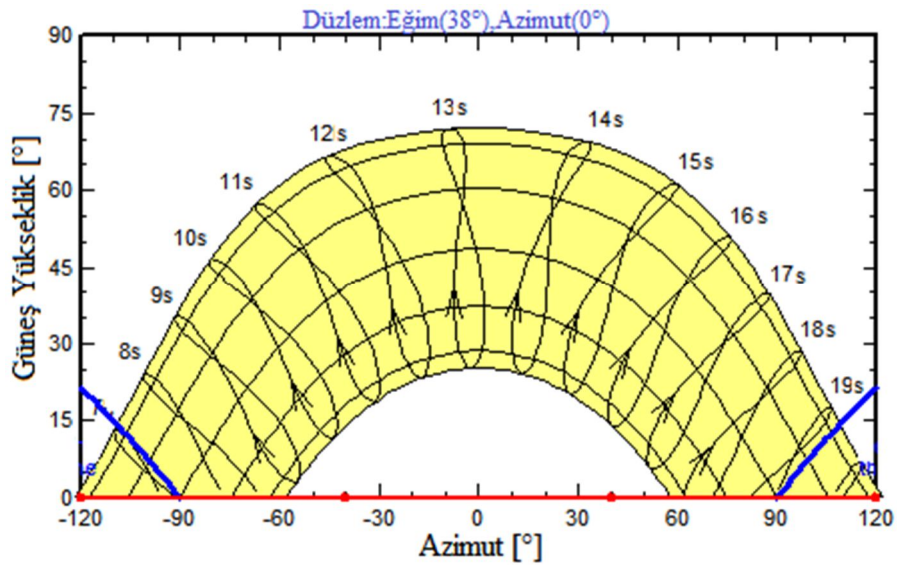
Sabit eksenli güneş takip sisteminde MGES'in yıllık güneş eğim açısı;

- 21 aralık tarihinde 0° ile $+26,5^\circ$ arasında,
- 21 haziran tarihinde 0° ile $+73,5^\circ$ arasında,
- 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde ise 0° ile $+50^\circ$ arasında değişmektedir.

Sabit eksenli güneş takip sisteminde FV dizinin eğim açısı $+38^\circ$ olduğunda güneş enerji potansiyeli yıllık bazda maksimum değerine ulaşır.

MGES uygulaması kapsamında tek eksen hareketli güneş takip sistemi kullanılsaydı FV dizisinin doğu batı ekseninde -120° ile $+120^\circ$ arasında güneş azimut açısı taraması veya kuzey güney ekseninde 0° ile $+73,5^\circ$ arasında güneş eğim açısı taraması gerekmektedir.

MGES uygulaması kapsamında çift eksen hareketli güneş takip sistemi kullanılsaydı Şekil 7.12'de görüldüğü gibi doğu-batı ekseninde -120° ile $+120^\circ$ arasında güneş azimut açısı taraması ve kuzey güney ekseninde 0° ile $+73,5^\circ$ arasında güneş eğim açısı taraması gerekmektedir.



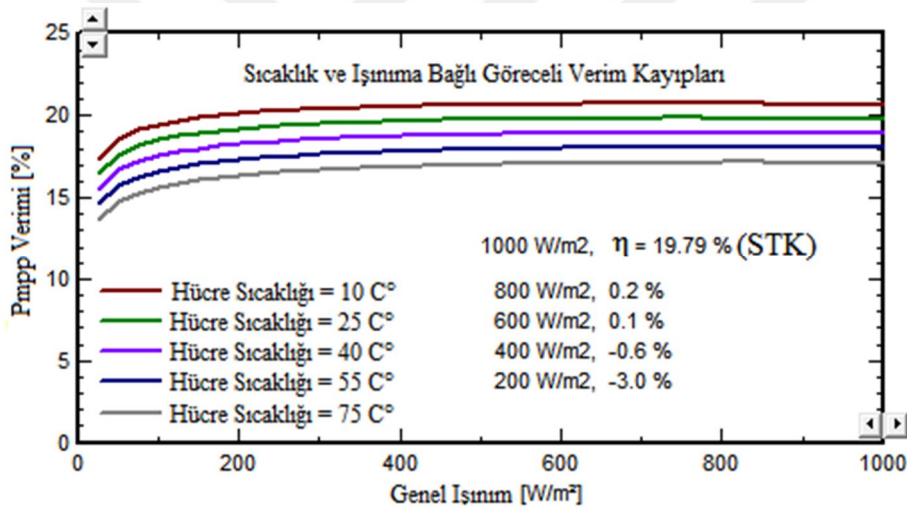
Şekil 7.12: MGES'in yıllık güneş eğim açısı ve güneş azimut açısı

Sabit eksenli güneş takip sisteminde MGES yıllık güneş azimut açısı;

- 21 aralık tarihinde -60° ile $+60^\circ$ arasında,
- 21 haziran tarihinde -120° ile 120° arasında,
- 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde ise -90° ile $+90^\circ$ arasında değişmektedir.

Sabit eksenli güneş takip sisteminde güneş azimut açısı -90° ile $+90^\circ$ arasında iken güneş enerji potansiyeli yıllık bazda maksimum değerine ulaşmıştır. Sabit eksenli FV dizisi yapısı gereği 180° açığı tarayabildiği için -90° ile $+90^\circ$ dışındaki güneş azimut açılarını tarayamamaktadır. Bundan dolayı MGES FV dizisi yıllık bazda güneş ışınlamından tam olarak yararlanamamıştır.

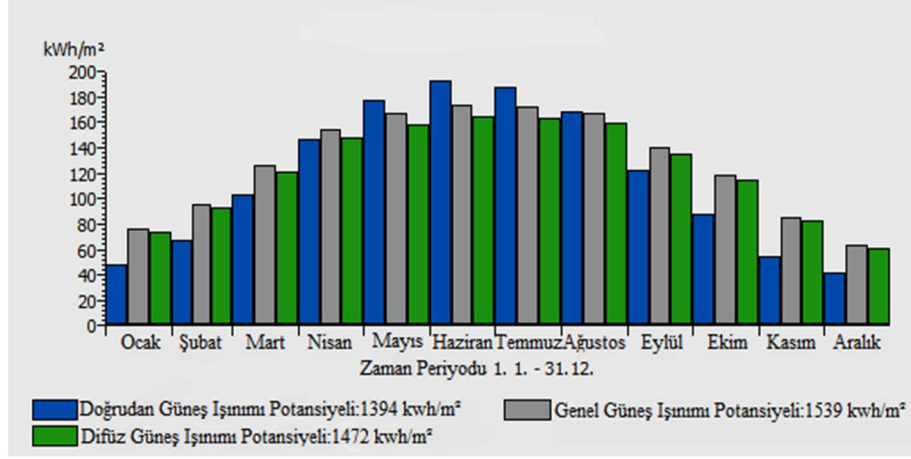
MGES FV panel veriminin, FV hücre sıcaklığına ve güneş ışınlamına göre değişimi Şekil 7.13’de verilmiştir.



Şekil 7.13: FV panel veriminin hücre sıcaklığına ve güneş ışınlamına göre değişimi

MGES’te kullanılan 320 Wp tek kristalli FV panelin farklı güneş ışınlamı değerlerindeki veriminin, FV hücre sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığı Şekil 7.13’de görülmektedir.

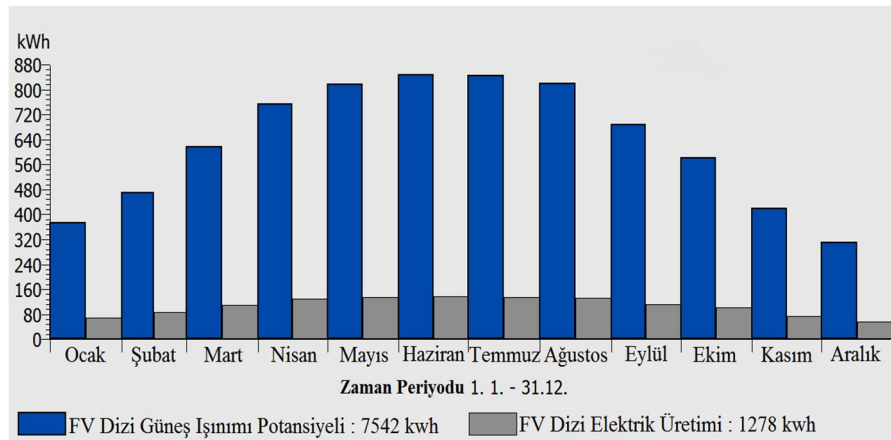
FV hücre standart test koşullarında 200 W/m^2 güneş ışınlamı altında FV panel verimi % 16,79, 400 W/m^2 güneş ışınlamı altında FV panel verimi % 19,19, 600 W/m^2 güneş ışınlamı altında FV panel verimi % 19,89, 800 W/m^2 güneş ışınlamı altında FV panel verimi % 19,99 ve 1.000 W/m^2 güneş ışınlamı altında FV panel verimi % 19,79 olarak tespit edilmiştir. MGES FV dizisine doğrudan, yansiyarak ve toplam gelen ışınlam miktarları Şekil 7.14’de verilmiştir.



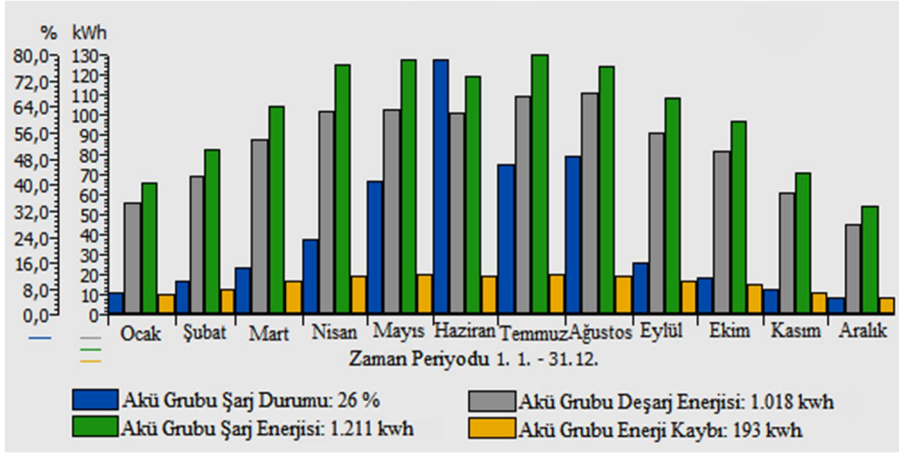
Şekil 7.14: MGES FV dizisine doğrudan, yansiyarak ve toplam gelen ışınım miktarları

Şekil 7.14’de FV dizisine yıllık doğrudan 1394 kWh/m², yansiyarak 1472 kWh/m² ve toplamda 1539 kWh/m² güneş ışınımı geldiği görülmektedir. FV dizisine doğrudan, yansiyarak ve toplamda gelen ışınım miktarları Aralık ayında minimum, Haziran ayında maksimum seviyeye ulaşmıştır.

PVSQL programında MGES yıllık güneş enerji potansiyeli ve enerji üretimi Şekil 7.15’de verilmiştir. PVSQL programında MGES benzetimi yapıldığında tek kristalli FV panellerinin yıllık 7542 kWh güneş ışınımı enerjisine maruz kaldığı fakat 1278 kWh güneş ışınımı potansiyelini elektrik enerjisine çevirebildiği istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda tek kristalli FV dizisinin elektrik üretim verimi % 16,94’tür. PVSQL programında MGES akü grubunun yıllık şarj ve deşarj enerji değerleri Şekil 7.16’da verilmiştir.



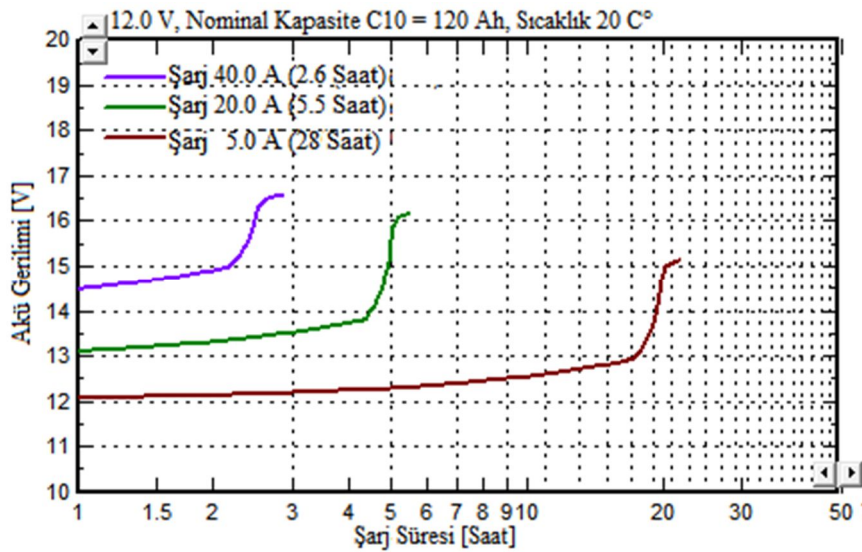
Şekil 7.15: PVSQL programında MGES yıllık güneş enerji potansiyeli ve üretimi



Şekil 7.16: PVSQ L programında MGES akü grubunun yıllık şarj ve deşarj değ erleri

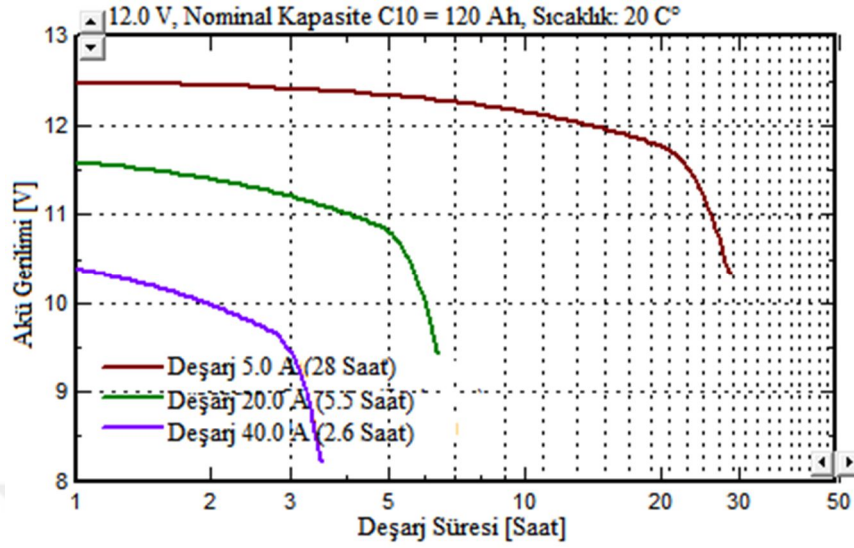
FV dizisinden üretilen 1.278 kWh enerji ile akü grubu şarj edilmiştir. PVSQ L programında istatistiksel olarak MGES akü grubu yıllık 1211 kWh enerji ile şarj olmuştur. 1018 kWh enerji ile deşarj olarak AA yük profili beslenmiştir. 193 kWh enerji ise şarj-deşarj işle mi esnasında kaybedilmiştir. Akü grubunun şarj ve deşarj edilmesine göre yıllık ortalama akü kapasitesinin % 26 oldu ğ u istatistiksel olarak belirlenmiştir. PVSYST programında MGES akülerinin şarj akımına ba ğ lı şarj süresi grafi ğ i Şekil 7.17’de verilmiştir.

MGES FV dizisine düş en ışı nım miktarına ba ğ lı olarak üretilen akımın 0 - 40 A aralı ğ ında anlık olarak de ğ iş mesinden dolayı, jel aküler 20 C° sabit sıcaklık altında sabit 5 A, 20 A ve 40 A ile şarj edildi ğ inde jel akülerin şarj sürelerinin 28 saat, 5,5 saat ve 2,6 saat oldu ğ u istatistiksel olarak belirlenmiştir.



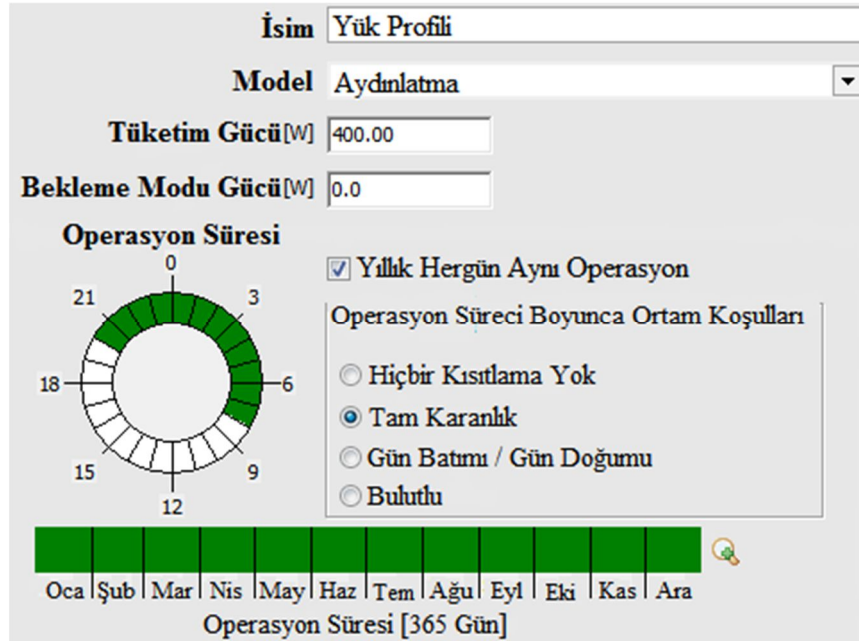
Şekil 7.17: PVSYST programında MGES akülerinin şarj akımına ba ğ lı şarj süresi

PVSYST programında MGES akülerinin deşarj akımına bağı deşarj süresi grafiğı Şekil 7.18’de verilmiştir.



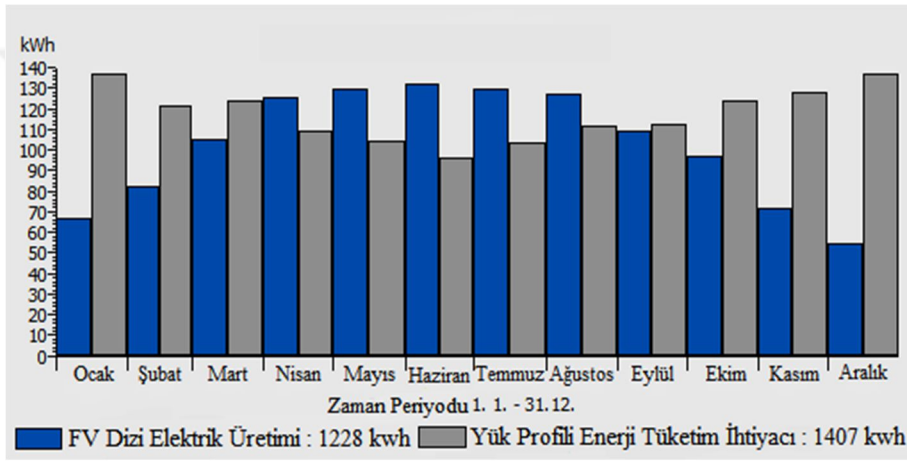
Şekil 7.18: PVSYST programında MGES akülerinin deşarj süresi

MGES AA yük profili nominal 400 W güç tüketmektedir. Yükü akıllı inverter üzerinden besleyebilmek için akü grubundan çekilen akım ortalama 20 A olarak belirlenmiştir. Jel aküler 20 C° sabit sıcaklık altında sabit 5 A, 20 A ve 40 A ile deşarj edildiğinde jel akülerin deşarj sürelerinin 28 saat, 5,5 saat ve 2,6 saat olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. PVSQQL programında MGES AA yük profili çalışma saatleri Şekil 7.19’da verilmiştir.



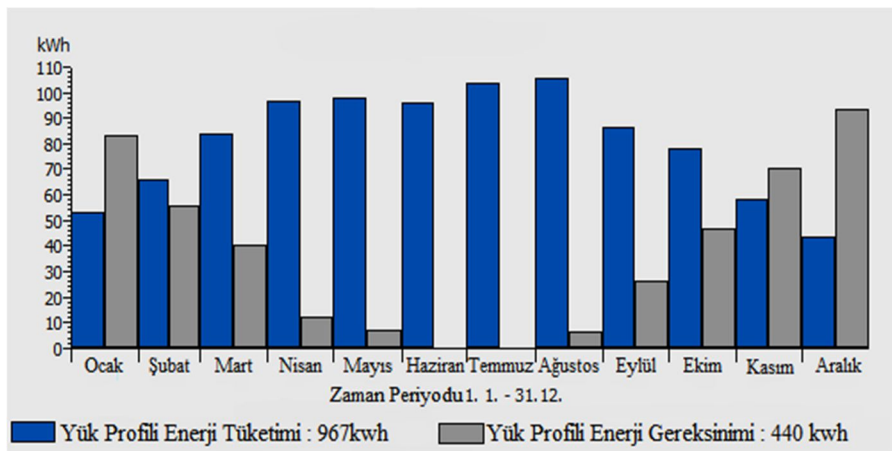
Şekil 7.19: PVSQQL programında MGES AA yük profili çalışma saatleri

Yıllık bazda her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında aydınlatma amaçlı enerjilendirilen 400 W nominal güce sahip halojen projektör, akü kapasitesinin minimum ve maksimum eşik değerlerine bağlı çalışacak şekilde yapılandırılarak yük profili oluşturulmuştur. PVSQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacı ve tüketilen enerji miktarı Şekil 7.20’de verilmiştir. 400 W nominal güce sahip halojen projektör yükünün her gün 20:00 ile 08:00 zaman aralığında çalıştırılabilmesi için gerekli olan yıllık enerji miktarı 1407 kWh olmasına rağmen FV dizide üretilen enerji miktarı 1228 kWh olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Yıllık bazda yükün ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyacı FV dizide üretilen enerjiden fazla olduğu için sistemde arz talep dengesizliği oluşmuştur.



Şekil 7.20: PVSQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacı ve üretim miktarı

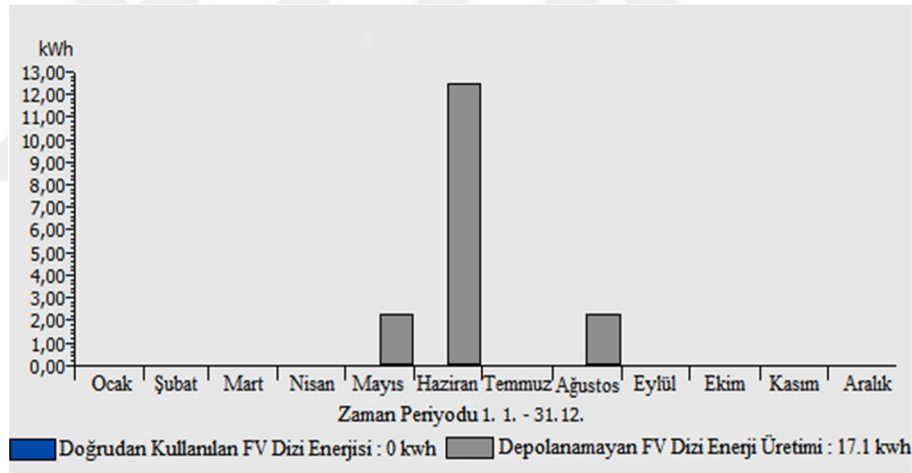
PVSQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacının karşılanabilirliği Şekil 7.21’de verilmiştir.



Şekil 7.21: PVSQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacının karşılanabilirliği

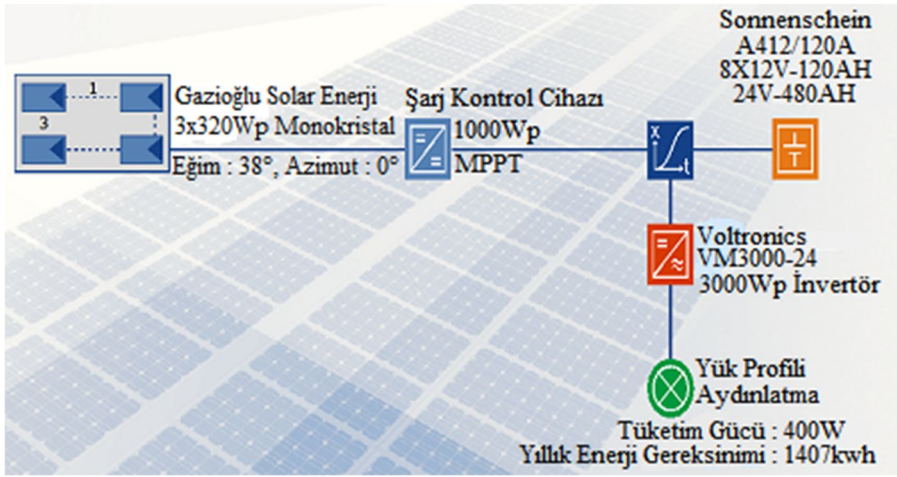
400 W nominal güce sahip halojen projektör yükünün her gün 20:00 ile 08:00 zaman aralığında çalıştırılabilmesi için gerekli olan yıllık enerji miktarı 1407 kWh olmasına rağmen akü grubunda depolanan enerji 1228 kWh olarak tespit edilmiştir. Bu durumda akü grubunda depolanan enerjinin 967 kWh kısmı AA yük profiline aktarılabilmektedir. 261 kWh enerji DA-AA elektrik sinyal dönüşümü esnasında kaybedilmiştir.

MGES FV dizisinin akü kapasitesinden fazla elektrik üretimi Şekil 7.22’de verilmiştir. 960 Wp FV dizisinden üretilen elektrik enerjisi Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında 24 V 480 Ah akü grubunu % 100 doldurduğu için kullanılmayan enerji üretiminin 17,1 kWh olduğu belirlenmiştir. AA yük profilinin enerji tüketim saatleri 20:00 ile 08:00 arasında olduğu için FV dizisinde üretilen enerjinin akü grubunu şarj etmeden doğrudan AA yük profilini beslediği bir durum yoktur. Bu bağlamda güneş dizisinden üretilen enerjinin doğrudan tüketiminin 0 kWh olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir.



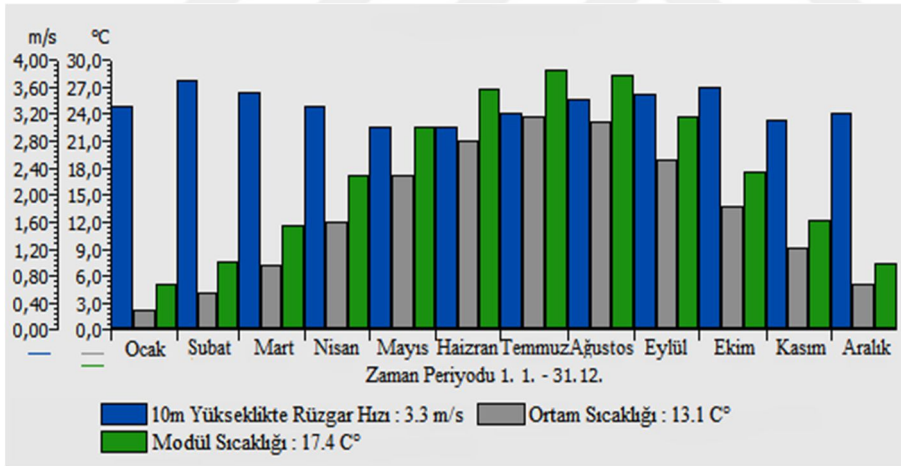
Şekil 7.22: MGES FV dizisinin akü kapasitesinden fazla elektrik üretimi

PVSQL programında MGES şematik gösterimi Şekil 7.23’de verilmiştir. Burada 3 adet 320 Wp tek kristalli FV panelden oluşan FV dizisinin sabit eksenli güneş takip sistemine göre kurulumu yapılmış ve MGNİ şarj kontrol cihazı üzerinden 24 V 480 Ah akü grubuna elektriksel bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Akü grubunda depolanan enerji, akıllı inverter üzerinden 400 W nominal güce sahip AA yük profiline aktarılmıştır. Yükün yıllık her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında çalışması durumunda 1407 kWh enerji tüketmesi gerektiği istatistiksel olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.23: PVSQL programında MGES şematik gösterimi

PVSQL programında MGES yıllık ortalama sıcaklığı ve ortalama rüzgar hızı Şekil 7.24’de verilmiştir. MGES konumunda yıllık dış ortam sıcaklığı ortalama 13,1 °C iken FV hücrelerin yıllık ortalama sıcaklığı 17,4 °C olarak belirlenmiştir. MGES konumundan 10 m yükseklikteki rüzgar hızının yıllık ortalama 3,3 m/sn olduğu istatistiksel olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.24: PVSQL programında MGES yıllık ortalama sıcaklık ve rüzgar hızı

PVSQL programında MGES’in özet raporu Şekil 7.25’de verilmiştir. 960 Wp kurulu güce sahip MGES 4,9 m² alanda güneş ışıınım enerjisi yıllık 7541,6 kWh olup bu enerjinin FV dizisinden yıllık 1278,3 kWh kısmı ancak elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Yıllık şarj kontrol cihazında dönüştürülen enerji miktarı 1227,6 kWh olup 51 kWh enerji sistemde kaybedilmiştir. Akü grubunda depolanan enerjinin yıllık 967 kWh kısmı ise AA yüke aktarılmış olup 260 kWh enerji sistemde kaybedilmiştir. AA yük profilinin MGES uygulamasına göre talep ettiği yıllık enerji

tüketim miktarının 1407,2 kWh olması nedeniyle AA yük profiline yıllık bazda 440 kWh enerji aktarılamamıştır. Bu bağlamda FV diziden yük profiline aktarılan enerjinin, yük profili enerji tüketim gereksinimini karşılama oranının % 68,7 olduğu tespit edilmiştir. FV diziden yük profiline aktarılan enerji miktarının, FV dizisinin STK verimine sahip güneş enerji potansiyeline oranının % 65,5 olduğu tespit edilmiştir. MGES konumu ve ortam koşullarına bağlı olarak 0,96 kWp kurulu güç ile FV dizisinin yıllık özel veriminin 1,007 kWh/kWp olduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretildiği için yıllık bazda 594 kg karbondioksitin atmosfere salınımı engellenmiştir. MGES uygulaması kapsamında kullanılan FV panellerin, jel akülerin, AA ve DA kabloların, akıllı inverterin ve AA yük profilinin verimlerine bağlı olarak sistem veriminin % 12,8 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7.7’de belirtilen kayıplarından dolayı STK altında FV dizisi veriminin % 16,9 olduğu tespit edilmiştir.

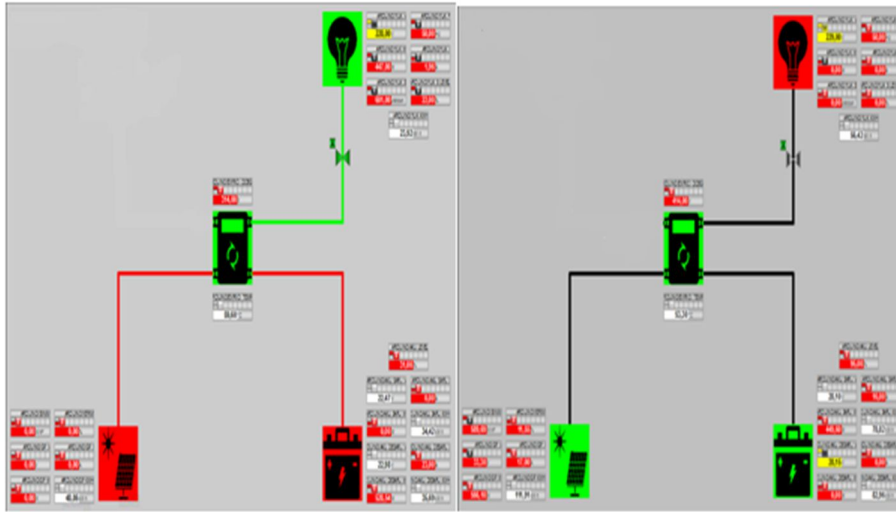
Lokasyon : Kırklareli/Vize/Sergen/Mücavir Alanı	
Veri tabanı İklim Kayıtları: Traçim Çimento San. ve Tic. A.Ş.	
FV Dizi Kurulu Gücü :	960,0 Wp
FV Dizi Yüzey Alanı :	4,90 m ²
FV Dizi Güneş Işınımı Potansiyeli :	
FV Dizi Elektrik Üretimi :	
Şarj Kontrol Cihazında Dönüştürülen Elektrik Enerjisi :	7.541,6 kWh
Yük Profili Enerji Tüketim Gereksinimi :	1.278,3 kWh
Yük Profiline Aktarılan Enerji :	1.227,6 kWh
Yük Profiline Aktarılamayan Enerji :	1.407,2 kWh
	967,15 kWh
	440,0 kWh
Güneş Fraksiyonu :	
Performans Oranı :	
Yıllık Özel Verim :	68,7 %
Yıllık Önlenebilir Karbondioksit Miktarı :	65,5 %
Sistem Verimi :	1.007,5 kWh/kWp
FV Dizi Verimi :	594 kg/a
	12,8 %
	16,9 %

Şekil 7.25: PVSQ programında MGES’in özet raporu

7.2 SCADA Programı ile Mikro Güneş Enerji Santralinin Ölçümsel Analizi

MGES uygulaması kapsamında 20.02.2020 tarihinde 12:15:00 itibari ile kurulan sistemden ölçümler 1 sn periyotlarda SCADA programına alınmaya başlanmıştır. Güneş ışınımı ve FV dizisinin gerilim, akım, güç, enerji ve verim ölçümleri yapılarak 1 sn periyotlarda veri kaydı yapılmıştır. Akü grubuna ait şarj akımı, şarj gerilimi, şarj gücü, şarj enerjisi, deşarj akımı, deşarj gerilimi, deşarj gücü, deşarj enerjisi ve akü kapasitesi ölçümleri yapılarak 1 sn periyotlarda veriler kaydedilmiştir. Yük profiline ait gerilim, frekans, akım, aktif güç, görünür güç, güç yüzdesi ve enerji ölçümleri

yapılarak 1 sn periyotlarda veri kayıtları tutulmuştur. Yük profilinin her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında çalışabilmesi için arduino mega 2560 geliştirme kartına bağlı röle, SCADA programı ile kontrol edilmiştir. Akü gerilimi 21 V iken akü kapasitesi % 0, akü gerilimi 27,24 V iken akü kapasitesi % 100 olmaktadır. İnvertörün çalışabilmesi için gerekli olan gerilimi karşılayabilmek için akü düşük eşik gerilimi 21,5 V olarak seçilmiş ve akü kapasitesi % 8'e düştüğünde otomatik olarak her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında röle çıkışı pasif hale getirilerek yük profiline yönlendirilen enerji akışı kesilmiştir. Akü yüksek eşik gerilimi 25 V olarak seçilmiş ve akü kapasitesi % 64'e çıktığında her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında röle çıkışı aktif hale getirilerek yük profiline yönlendirilen enerji akışı başlatılmıştır. Şayet gün içerisinde akü kapasitesi % 8'den % 64'e yükselmemişse AA yük profili olan halojen projektöre enerji verilmemiştir. SCADA programında gece(sol) ve gündüz(sağ) MGES arayüz görseli Şekil 7.26'da gösterilmiştir.



Şekil 7.26: SCADA programında gece (sol) ve gündüz (sağ) MGES arayüz görseli

Voltronics firmasına ait VM 3000-24 akıllı inverter cihazı ile arduino mega 2560 geliştirme kartı arasında birinci modbus rtu haberleşme protokolü kullanılarak MGES'e ait FV dizinin, akü grubunun, yük profilinin değerleri akıllı inverterden alınarak geliştirme kartının içerisinde tanımlanan değişkenlere atanmıştır. Bilgisayara kurulan Kepware programı ile geliştirme kartı arasında ikinci modbus rtu haberleşme protokolü kullanılarak geliştirme kartında tanımlanan değişkenlerin değerleri alınıp Kepware programına aktarılmıştır. SCADA programı ile Kepware programı arasında modbus rtu-opc protokol dönüşümü yapılarak akıllı inverter cihazından gelen veriler Şekil 7.26'da gösterilen SCADA program arayüzüne

aktarılmıştır. SCADA programı üzerinde kurgulanan senaryoya göre akü kapasitesinin durumuna bağlı olarak her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında aydınlatma amaçlı kullanılan 400 W AA güce sahip yükün çalıştırılabilmesi için geliştirme kartına bağlı röle kontrol edilmiştir. MGES uygulaması kapsamında şebekeden, jeneratörden ve UPS cihazından faydalanılmamıştır.

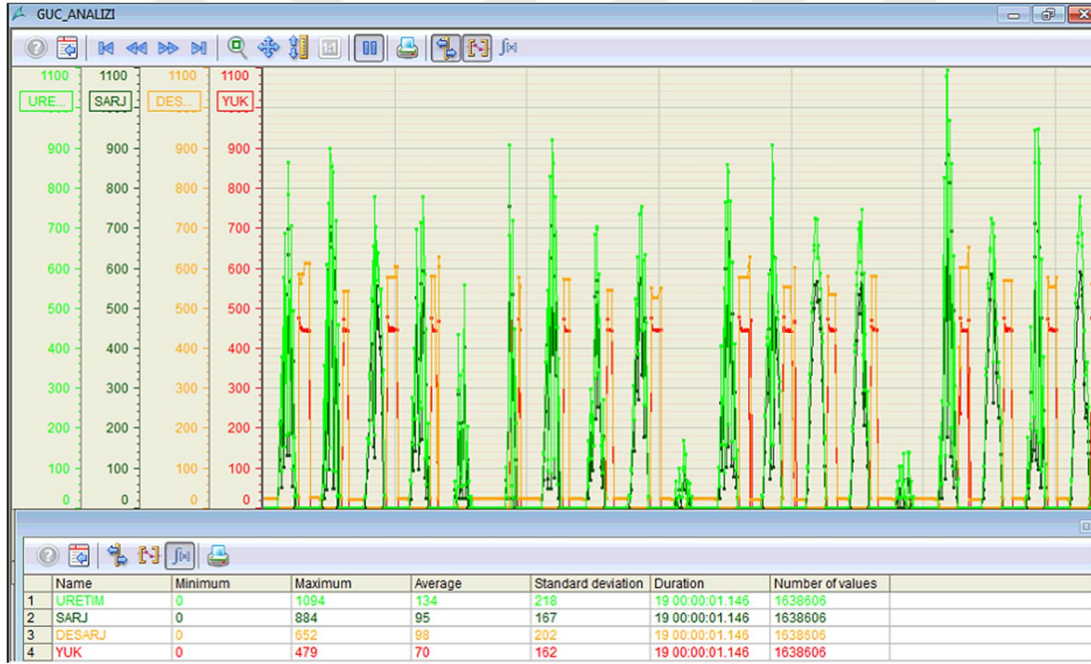
SCADA programında MGES enerji analizi görseli Şekil 7.27’de verilmiştir.



Şekil 7.27: SCADA programında MGES enerji analizi görseli

MGES uygulaması kapsamında şebeke bağlantısı kullanılmadığı için şebeke gerilimi 0 V, şebeke frekansı 0 Hz olarak ölçülmüştür. 1 sn periyotlarda veri kayıtları tutulmuştur. 01.03.2020 00:00:00 ile 01.04.2020 00:00:00 tarihleri arasında FV dizisinden üretilen enerji miktarının 92,75 kWh, akü grubuna verilen şarj enerjisinin 65,21 kWh, akü grubunun şarj işlemi esnasında sistemde kaybedilen enerjinin 27,54 kWh, akü grubundan alınan deşarj enerjisinin 60 kWh, AA yük profilinde tüketilen enerji miktarının 57 kWh ve akü grubunun deşarj işlemi esnasında sistemde kaybedilen enerjinin 3 kWh olduğu tespit edilmiştir. Sistemdeki enerji kaybının en büyük sebebi inverterin çalışabilmesi için gerekli olan akü gerilimi seviyesidir. Gün boyu bulutlu olan 05.03.2020, 10.03.2020 ve 15.03.2020 tarihlerinde akü gerilimi düşük eşik geriliminden maksimum eşik gerilimine çıkamadığı için yük profiline enerji aktarılamamıştır. FV dizisinden üretilen enerji miktarının % 100 olduğu kabul edilerek yük profiline aktarılıp tüketilen enerji miktarının % 61,45 olduğu

belirlenmiştir. SCADA programında MGES'in güç analizi görseli Şekil 7.28'de verilmiştir. 01.03.2020 00:00:00 ile 20.03.2020 00:00:00 tarihleri arasında 1.638.606 adet ölçüm alınarak FV dizisinde üretilen güç miktarının minimum 0 W, maksimum 1.094 W ve aritmetiksel ortalamasının 134 W olduğu tespit edilmiştir. Güneş ışınımına ve hava durumuna bağlı olarak gündüz FV dizisinde üretilen enerjide anlık olarak değişiklik meydana gelmektedir. Gün doğumu ve gün batımı saatlerinde FV dizisinde üretilen güç minimum iken öğlen saatlerinde maksimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. Aynı zaman aralığında akü grubunun şarj güç miktarının minimum 0 W, maksimum 884 W ve aritmetiksel ortalamasının 95 W olduğu tespit edilmiştir. FV dizide üretilen güç akü grubuna MGNİ şarj kontrol cihazı üzerinden kablo ile aktarılmıştır. Kablo kayıpları ve MGNİ şarj kontrol cihazı kayıplarından kaynaklı üretilen gücün tamamı akü grubuna aktarılamamıştır.



Şekil 7.28: SCADA programında MGES güç analizi görseli

20.02.2020 12:15:00 ile 10.03.2020 12:15:00 tarihleri arasında 1.638.606 adet ölçüm alınarak akü grubunun deşarj güç miktarının minimum 0 W, maksimum 652 W ve aritmetiksel ortalamasının 98 W olduğu tespit edilmiştir. Akü grubunda bulunan güç AA yüke saf sinüs inverter üzerinden aktarılmıştır. Kablo kayıpları ve saf sinüs inverterin kayıplarından kaynaklı halojen projektörün nominal gücünden daha fazla güç çekilmiştir. Aynı ölçüm zamanında yük profilinin tükettiği güç miktarının minimum 0 W, maksimum 479 W ve aritmetiksel ortalamasının 70 W olduğu tespit

edilmiştir. AA yükün nominal gücü 400 W olmasına rağmen ölçümlerde ortalama 450 W güç tükettiği tespit edilmiştir. MGES FV dizisinin sabit eksen güneş takip sistemi yapısının görünümü Şekil 7.29’da verilmiştir. Güneş ışınlımına bağlı olarak FV hücrelerinde elektrik enerjisi üretilirken gerçekleşen fotoelektrik olay sonucu ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Isı enerjisinden kaynaklı FV hücrelerde oluşan sıcaklığı minimize etmek için serbest hava sirkülasyonu kullanılarak FV panellerin soğutması yapılmıştır.



Şekil 7.29: MGES FV dizisinin sabit eksen güneş takip sistemi yapısının görünümü

Tracim çimento fabrikasındaki MGES’e ait akülerin, bilgisayarın, akıllı inverterin, geliştirme kartının ve elektriksel koruma ekipmanlarının içerisinde bulunduğu elektrik panosu, tek kristalli FV panelleri ve aydınlatma amaçlı kullanılan halojen projektör Şekil 7.30’da verilmiştir.



Şekil 7.30: Tracim çimento fabrikasındaki MGES görselleri

MGES uygulaması kapsamında kurulumu yapılan FV dizinin 20.02.2020 tarihindeki temiz hali ve 27.03.2020 tarihindeki kirli hali Şekil 7.31’de verilmiştir. 36 günlük süre içerisinde olumsuz hava koşullarına bağlı olarak yağmur ve rüzgarın etkisiyle FV dizinin yüzeyinde toz kaynaklı kirlilik oluşmuştur. FV dizi yüzeyinde oluşan toz katmanı FV dizinin enerji üretimini önemli ölçüde azaltmıştır. FV dizinin periyodik olarak 1 hafta süreyle uygun solüsyon kullanılarak temizlendiği durumlarda FV dizisinin enerji üretiminde önemli oranda düşüş olmadığı tespit edilmiştir.



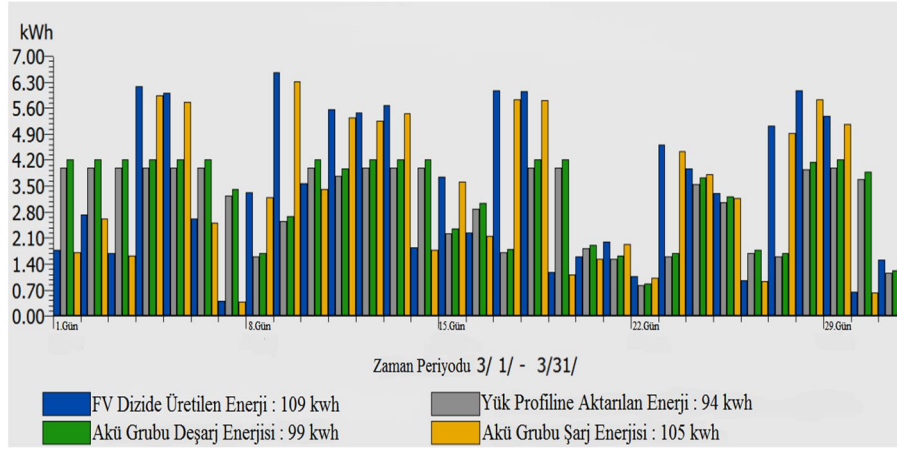
Şekil 7.31: MGES FV dizisinin yüzeyindeki toz kaynaklı kirlilik durumu

7.3 Mikro Güneş Enerji Santralinin Ölçümsel ve İstatistiksel Değerlendirmesi

01.03.2020 00:00:00 ile 01.04.2020 00:00:00 tarihleri arasında SCADA programındaki uygulamalı ölçüm sonuçları ile PVSQQL programındaki istatistiksel benzetim sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmeye alınmıştır. SCADA ve PVSQQL programlarının mart ayına ait MGES enerji analizi görselleri Şekil 7.27 ve Şekil 7.32’de verilmiştir. MGES enerji analizinin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 7.2’de görülmektedir.

PVSQQL programında mart ayına ait FV dizisinden üretilen enerji miktarının 109 kWh, akü grubunda şarj edilen enerji miktarının 105 kWh, akü grubundan deşarj edilen enerji miktarının 99 kWh ve AA yük profilinde tüketilen enerji miktarının 94 kWh olduğu tespit edilmiştir.

SCADA programında mart ayına ait FV dizisinden üretilen enerji miktarının 92,75 kWh, akü grubunda şarj edilen enerji miktarının 65,21 kWh, akü grubundan deşarj edilen enerji miktarının 68,2 kWh ve AA yük profilinde tüketilen enerji miktarının 46,85 kWh olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.32: PVSQQL programında MGES enerji analizi görseli

Çizelge 7.2: MGES enerji analizinin karşılaştırmalı sonuçları

ENERJİ DEĞERLERİ	SCADA	PVSQQL	FARK
FV Üretim	92,75 kWh	109 kWh	16,25 kWh
Akü Grubu Şarj	65,21 kWh	105 kWh	39,79 kWh
Akü Grubu Deşarj	68,2 kWh	99 kWh	30,80 kWh
Yük Tüketim	46,85 kWh	94 kWh	47,15 kWh

MGES'e ait uygulama ve benzetim sonuçlarına bakıldığında FV diziden üretilen elektrik enerjisinde, akü grubunun şarj enerjisinde, akü grubunun deşarj enerjisinde ve yük profilinin tüketmiş olduğu elektrik enerjisinde farklılık oluşmasına neden olan etmenler şu şekilde sıralanabilir.

1. Fotovoltaik enerji üretiminde PVSQQL benzetim programı veri tabanı yılların ortalamasına göre tahmini hesaplama yapmaktadır. SCADA programı gerçek ölçüm değerlerine göre hesaplama yapmaktadır.
2. FV dizide enerji üretilirken FV dizi yüzeyinde uygun solüsyonla temizlik yapılmadığı için toz kaynaklı kirliliğin üretilen enerjiyi azalttığı tespit edilmiştir.
3. Akü grubu şarj olurken DA-DA çevrimi esnasında MGNİ şarj kontrol cihazı üretici firma etiketinde belirtilenden daha fazla enerji tükettiği tespit edilmiştir.
4. Akü grubundaki akülerin üretici firma etiketinde belirtilen şarj ve deşarj sürelerinden daha kısa sürede akülerin şarj ve deşarj olduğu bundan dolayı akülerin üretici firma etiketinde belirtilen kapasitesinin altında kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

5. Akü grubunun kapasitesindeki düşüşe bağlı olarak akülerin beklenenden daha kısa sürede şarj olması sebebiyle FV dizinin üretmiş olduğu enerjiden akü grubunun tam olarak faydalanamadığı tespit edilmiştir.
6. Akü grubunun kapasitesindeki düşüşe bağlı olarak beklenenden daha kısa sürede akülerin deşarj olması sebebiyle yük profiline aktarılan enerji miktarının beklenenden daha az olduğu tespit edilmiştir.
7. Akü grubu deşarj olurken DA-AA çevrimi esnasında saf sinüs inverterin üretici firma etiketinde belirtilenden daha fazla enerji tükettiği tespit edilmiştir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırklareli ili Vize ilçesinde bulunan Traçim çimento fabrikasında yapılan “Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Analizi” isimli çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir. 960 Wp kurulu güce sahip MGES, istatistiksel olarak, PVSQQL benzetim programı ile tasarlanmış ve güneş enerji potansiyeli, elektrik üretimi, elektrik kayıpları ve elektrik tüketimi incelenmiş ve ayrıca SCADA programının ölçümsel sonuçlarıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. PVSQQL ve PVSYST benzetim programları farklı veri tabanlarına ait istatistiksel verilerin güvenilirliğini teyit edebilmek için karşılaştırılmıştır.

1. PVSYST’ye göre FV dizisinde üretilen gücün azalmasında en önemli parametre FV hücre sıcaklığının yükselmesidir.
2. MGES FV dizisinde aynı şartlar altında çift eksenli güneş takip sistemi 2019 kWh/m² ile yüksek güneş enerji potansiyeline, tek eksenli güneş takip sistemi 1953 kWh/m² ile normal güneş enerji potansiyeline, sabit eksenli güneş takip sistemi 1539 kWh/m² ile düşük güneş enerji potansiyeline sahip olduğu PVSQQL programı ile istatistiksel olarak belirlenmiştir.
3. Sabit eksenli güneş takip sisteminde güneş azimut açısı -90 ° ile +90 ° arasında iken güneş enerji potansiyeli yıllık bazda maksimum değerine ulaşmıştır. Sabit eksenli FV dizisi yapısı gereği 180 ° açığı tarayabildiği için -90 ° ile +90 ° dışındaki güneş azimut açılarını tarayamamaktadır. Bu sebeple FV dizisi yıllık bazda güneş ışınlamından tam olarak yararlanamamıştır.
4. Tek kristalli FV panelinin STK verimi % 19,51 iken FV dizisinin PVSQQL programında istatistiksel olarak elektrik üretim veriminin % 16,94 olmasında FV hücre kalitesi, FV hücre uyumsuzlukları, güneş ışınlamı yayılım açısı, FV hücre sıcaklığı, FV panelleri arasındaki kablo direnci, FV panelleri içerisine seri bağlanan diyotların etkili olduğu tespit edilmiştir.

5. PVSQQL programında MGES akü grubunun yıllık şarj vedeşarj durumlarına bakıldığında yıllık ortalama akü kapasitesinin % 26 olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir.
6. PVSYST programında MGES akülerinin 5 A, 20 A ve 40 A ile şarj vedeşarj edildiğinde akülerin şarj vedeşarj sürelerinin sırasıyla 28 saat, 5,5 saat ve 2,6 saat olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir.
7. PVSQQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacı ve tüketilen enerji miktarının belirlenmesinde arz talep dengesini kurabilmek için sisteme bağlanması gereken AA yükünün nominal gücünün istatistiksel olarak 349 W olduğu hesaplanmıştır.
8. PVSQQL programında MGES yıllık enerji ihtiyacının karşılanabilirliği durumuna bakıldığında yıllık bazda üretilen enerji ile tüketilen enerji arasında 440 kWh enerji farkı olduğu için arz talebi karşılayamamıştır.
9. PVSQQL programında MGES yıllık ortalama sıcaklığı ve ortalama rüzgar hızı değerlendirildiğinde ortam sıcaklığının düşük olması rüzgar hızı ile beraber FV hücrelerinin soğutulmasında etkili olduğu ve FV panellerinin verimini yükselttiği söylenebilir.

Bu bağlamda, Traçım çimento fabrikasında kurulan koordinatları 41 ° 37 ' 45 “K enleme 27 ° 41 ' 05 “ D boylama sahip 960 Wp kurulu güce sahip MGES 4,9 m² alanda güneş ışınlm enerjisi yıllık 7541 kWh olup bu enerjinin FV dizisinden yıllık 1278 kWh kısmı ancak elektrik enerjisine dönüştürülebilmiştir. Yıllık akü grubunda depolanan enerji miktarı 1227 kWh olup 51 kWh enerji sistemde kaybedilmiştir. Akü grubunda depolanan enerjinin yıllık 967 kWh kısmı ise AA yüke aktarılmış olup 260 kWh enerji sistemde kaybedilmiştir. Yıllık her gün 20:00 ile 08:00 saatleri arasında çalışması gereken 400 W nominal güce sahip AA yük profilinin tüketim enerjisi ihtiyacı 1407 kWh olup bu enerjinin 967 kWh kısmı ancak sistemden karşılanabilmiştir. Üretilen enerjinin tüketilen enerjiyi karşılama oranı % 68,72 olarak belirlenmiştir. Üretilen elektrik enerjisi geleneksel yöntemlerle elde edilseydi yıllık 594 kg karbondioksit atmosfere salınacaktı. Yenilenebilir güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretildiği için yıllık bazda 594 kg karbondioksitin atmosfere salınımı engellenmiştir. Tek kristalli FV panellerden oluşan FV dizinin veriminin % 16,9 olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. FV panel üretici firmalar daha yüksek

verimli paneller geliřtirdikçe FV dizinin verimi de dođrudan yůkselecektir. MGES kapsamında AA yůkűn çalıřabilmesine sadece 20:00 ile 08:00 saatleri arasında izin verildiđi için gűndűz ۆretilen enerjiden AA yůk profili dođrudan faydalanamamıřtır. MGES performans oranının % 65,5 ve sistem veriminin % 12,8 olduđu PVSQQL programı ile istatistiksel olarak belirlenmiřtir. SCADA programından elde edilen ۆlűm sonuçları ile PVSQQL programından elde edilen istatistiksel sonuçların benzerlik gۆsterdiđi tespit edilmiřtir. MGES uygulaması kapsamında yıllık ۆlűmlerin tamamlanarak istatistiksel veriler ile karřılařtırılması ve sonuçlara gۆre deđerlerlendirmelerin yapılabilmesi hedeflenmiřtir.



KAYNAKLAR

- [1] **G. K. Singh**, “Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review,” *Energy*, vol. 53, pp. 1-13, 2013.
- [2] **D. Mulvaney**, *Solar power: Innovation, sustainability, and environmental justice*: University of California Press, 2019.
- [3] **İ. Aydın**, “Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi,” *Doğu Coğrafya Dergisi*, vol. 18, pp. 29-50, 2013.
- [4] **E. Koç and M. C. Şenel**, “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, vol. 54, pp. 32-44, 2013.
- [5] **D. Infield and L. Freris**, *Renewable energy in power systems*: John Wiley & Sons, 2020.
- [6] **A. Goldthau**, “Rhetoric versus reality: Russian threats to European energy supply,” *Energy Policy*, vol. 36, pp. 686-692, 2008.
- [7] **A. U. Bozkurt**, “Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi,” DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [8] **K. W. Böer**, *Advances in solar energy: an annual review of research and development* vol. 6: Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] **A. Bedeloğlu, A. Demir, and Y. Bozkurt**, “Fotovoltaik teknolojisi: Türkiye ve dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller,” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 4, pp. 43-58, 2010.
- [10] **F. Canka Kılıç**, “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri,” *Engineer & The Machinery Magazine*, 2015.
- [11] **W. H. Organization**, *Global status report on alcohol and health 2018*: World Health Organization, 2019.
- [12] **S. Jianping**, “An optimum layout scheme for photovoltaic cell arrays using PVSYST,” in *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 2011, pp. 243-245.

- [13] **J. K. Chacko and K. Thomas**, “Analysis of different solar panel arrangements using PVSYST,” 2011.
- [14] **S. Rehman and I. El-Amin**, “Performance evaluation of an off-grid photovoltaic system in Saudi Arabia,” *Energy*, vol. 46, pp. 451-458, 2012.
- [15] **P. Karki, B. Adhikary, and K. Sherpa**, “Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst,” in *2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, 2012, pp. 196-199.
- [16] **E. Keskin**, “Türkiye iklim koşullarında fotovoltaiik güç sistemlerinin tasarım ve maliyet analizi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [17] **I. Baklouti, Z. Driss, and M. S. Abid**, “Estimation of solar radiation on horizontal and inclined surfaces in Sfax, TUNISIA,” in *2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology*, 2012, pp. 131-140.
- [18] **C. Kandasamy, P. Prabu, and K. Niruba**, “Solar potential assessment using PVSYST software,” in *2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE)*, 2013, pp. 667-672.
- [19] **V. Sharma and S. Chandel**, “Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India,” *Energy*, vol. 55, pp. 476-485, 2013.
- [20] **N. Altuntop and D. Erderiir**, “Dünyada Ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Ile Ilgili Gelişmeler,” *Engineer & the Machinery Magazine*, 2013.
- [21] **C. Meriem, B. Boumdienne, C. Asma, B. M. Mohamed, and S. Aicha**, “Study of a photovoltaic system connected to the network and simulated by the code PVSYST,” in *2014 North African Workshop on Dielectric Materials for Photovoltaic Systems (NAWDMPV)*, 2014, pp. 1-5.
- [22] **M. Bouzguenda, A. Al Omair, A. Al Naeem, M. Al-Muthaffar, and O. B. Wazir**, “Design of an off-grid 2 kW solar PV system,” in *2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 2014, pp. 1-6.

- [23] **T. Mambrini, A. Migan, C. Longeaud, L. Prieur, and V. Radivoniuk,** “Outdoor characterizations to evaluate the low-light effect on photovoltaic modules yield,” in *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2014, pp. 1358-1361.
- [24] **W. Feng and Z. M. Slameh,** “Off-grid photovoltaic system design for haiti school project,” *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 2, p. 24, 2014.
- [25] **M. S. Morshed, S. M. Ankon, M. T. H. Chowdhury, and M. A. Rahman,** “Designing of a 2kW stand-alone PV system in Bangladesh using PVsyst, Homer and SolarMAT,” in *2015 3rd International Conference on Green Energy and Technology (ICGET)*, 2015, pp. 1-6.
- [26] **P. Yadav, N. Kumar, and S. Chandel,** “Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst,” in *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 2015, pp. 0358-0363.
- [27] **I. Safwati,** “Stand-alone photovoltaic (SAPV) system assessment using PVSYST software,” *Energy Procedia*, vol. 79, pp. 596-603, 2015.
- [28] **H. Louie and P. Dauenhauer,** “Effects of load estimation error on small-scale off-grid photovoltaic system design, cost and reliability,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 34, pp. 30-43, 2016.
- [29] **S. Barua, R. A. Prasath, and D. Boruah,** “Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVsyst Software,” *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, vol. 5, pp. 76-83, 2017.
- [30] **N. M. Kumar, M. R. Kumar, P. R. Rejoice, and M. Mathew,** “Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool,” *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 180-189, 2017.
- [31] **M. Malvoni, A. Leggieri, G. Maggiotto, P. Congedo, and M. De Giorgi,** “Long term performance, losses and efficiency analysis of a 960 kWp

- photovoltaic system in the Mediterranean climate,” *Energy conversion and management*, vol. 145, pp. 169-181, 2017.
- [32] **O. Roche and R. E. Blanchard**, “Design of a solar energy centre for providing lighting and income-generating activities for off-grid rural communities in Kenya,” *Renewable Energy*, vol. 118, pp. 685-694, 2018.
- [33] **A. Al-Khazzar**, “A Theoretical Detailed Analysis for a Proposed 5kW PV Grid-Connected System Installed in Iraq Using PVsyst Tool,” *Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment*, vol. 9, pp. 105-113, 2018.
- [34] **A. Faysal, M. R. Islam, M. M. Uddin, and M. R. Raihan**, “Potentiality of Grid Connected Photovoltaic System for The Rural Area of Bangladesh,” in *2018 International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE)*, 2018, pp. 1-4.
- [35] **S. Afanasyeva, D. Bogdanov, and C. Breyer**, “Relevance of PV with single-axis tracking for energy scenarios,” *Solar Energy*, vol. 173, pp. 173-191, 2018.
- [36] **G. Saxena and L. Gidwani**, “Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan,” in *2018 3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, 2018, pp. 45-49.
- [37] **C. V. Ganesh, J. Kanchikere, M. Krishna, and T. Sreenivasulu**, “Investigations On The Performance Of Roof Mount Photovoltaic System-A Simulated Approach.”
- [38] **R. Raff, V. Golub, and J. Perko**, “Comparative Analysis of an Off-grid PV System for Different Types of Batteries,” *International journal of electrical and computer engineering systems*, vol. 9, pp. 11-19, 2018.
- [39] **N. M. Kumar, R. P. Gupta, M. Mathew, A. Jayakumar, and N. K. Singh**, “Performance, energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 13, p. 100409, 2019.

- [40] **E. Akcan, M. Kuncan, and M. R. Minaz**, “PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, pp. 248-261, 2020.
- [41] **C. Incekara**, “Use of an optimization model for optimization of Turkey’s energy management by inclusion of renewable energy sources,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, pp. 6617-6628, 2019.
- [42] **A. Gharakhani Siraki and P. Pillay**, “Comparison of PV system design software packages for urban applications,” in *Word Energy Congress Montreal*, 2010.
- [43] **Ö. Çelebi**, “Endüstriyel Çati Uygulamalı Bir Güneş Enerji Santralinin Teorik Ve Gerçek Zamanlı Enerji Üretim Değerlerinin İncelenmesi Ve Ekonomik Analizi,” Yüksek Lisans Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2019.
- [44] **M. Akaydın**, “Akdeniz Üniversitesi Sıfır Emisyon Kampus Stratejisi,” ed, 2005.
- [45] **V. Altın**, “Enerji,” *Bilim Teknik Dergisi ücretsiz eki-Yeni Ufuklara*, pp. 2-23, 2002.
- [46] **H. Kumbur, Z. Özer, H. D. Özsoy, and E. D. Avcı**, “Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması,” *Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, pp. 19-21, 2005.
- [47] **G. Yalçinkaya**, “Ülke imajı ve ülke imajının müşteri tercihleri üzerine etkisi: Türkiye değerlendirmesi,” DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [48] **Epsilon**, *Biyokütle enerji sistemleri*. 2020 Available: <http://www.epsilon-ndt.com/urunler/1109/biyokutle-enerji-sistemleri/1281/biyokutle-enerji-sistemleri.aspx>
- [49] **A. Şenpınar**, “Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması,” *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, vol. 4, pp. 36-41.

- [50] **B. Özerdem**, “Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Gelişimi ve Geleceği, Mühendis ve Makine Dergisi-Sayı 526,” ed, 2003.
- [51] **Z. Peker**, “Rüzgâr Enerjisinin Çevresel Etkileri ve Bu Etkilerin Azaltılmasında Planlamanın Rolü,” *Mühendis ve Makine Dergisi Haziran*, 2002.
- [52] **Estif**. (15.03.2020, 15.03). *Solar Heat Markets in Europe 2018 – report*. Available: <http://solarheateurope.eu/publications/market-statistics/solar-heat-markets-in-europe/>
- [53] **K. Blog**. (29.03.2020, 29.03). *Yoğunlaştırılmış solar enerji sistemleri güneş depoluyor*. Available: <https://www.kilsanblog.com/yesil-cevreci-ekolojik/yogunlastirilmis-solar-enerji-sistemleri-gunes-depoluyor/>
- [54] **M. K. Ajansi**, “Yılı MEVKA Teknik Destek Programı,” *Referans No: TR52-11-TD-126, Konya*, 2011.
- [55] **A. M. Nugroho and M. H. Ahmad**, *Possibility to use solar induced ventilation strategies in tropical conditions by computational fluid dynamic simulation*: Universiti Teknologi Malaysia, 2005.
- [56] **L. Enerji**. (29.03.2020). *Parabolik Oluklu Güneş Enerji Kollektörleri*. Available: <https://www.limitsizenerji.com/parabolik-oluk-kollektorler/>
- [57] **M. P. Kazmierkowski**, “Renewable Energy Devices and Systems with Simulations in MATLAB and ANSYS [Book News],” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 12, pp. 80-83, 2018.
- [58] **K. A. Kim, C. Xu, L. Jin, and P. T. Krein**, “A dynamic photovoltaic model incorporating capacitive and reverse-bias characteristics,” *IEEE Journal of photovoltaics*, vol. 3, pp. 1334-1341, 2013.
- [59] **M. C. Di Piazza and G. Vitale**, *Photovoltaic sources: modeling and emulation*: Springer Science & Business Media, 2012.
- [60] **K. A. Kim and P. T. Krein**, “Reexamination of photovoltaic hot spotting to show inadequacy of the bypass diode,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 5, pp. 1435-1441, 2015.

- [61] **M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. Ruppert Filho**, “Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays,” *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 24, pp. 1198-1208, 2009.
- [62] **K. B. Varınca and M. T. Gönüllü**, “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma,” *Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, pp. 21-23, 2006.
- [63] **L. A. Kristoferson and V. Bokalders**, *Renewable energy technologies: their applications in developing countries*: Elsevier, 2013.
- [64] **YEGM.** (29.03.2020, 29.03). *Kırklareli'nin güneş enerji potansiyeli*. Available: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/39.aspx>
- [65] **M. H. Karabul and F. A. Dali**, “Türkiye’de Fotovoltaik ve Rüzgar Uygulamalarının Ülke Verileri ve Mevcut Teknolojiler Kapsamında İstatistiksel Olarak Analizi.”
- [66] **S. Çalıköğlü, E. Özdemir, and M. Uçar**, “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri, 4,” *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu EVK 2011*, pp. 275-279, 2011.
- [67] **Arıcı, Nursal, and Aslı Iskender**. “Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları ve Çözümleri.” *Politeknik Dergisi* 23.1: 215-222.
- [68] **S. Turhan and İ. Çetiner**, “Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi, 6,” *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, pp. 12-13, 2012.
- [69] **F. Sick and T. Erge**, *Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers*: Earthscan, 1996.
- [70] **M. Boztepe**, “Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler,” *IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri*, pp. 19-20, 2017.
- [71] **H. Tyagi, P. R. Chakraborty, S. Powar, and A. K. Agarwal**, *Solar Energy: Systems, Challenges, and Opportunities*: Springer Nature, 2019.
- [72] **A. Kulaksız**, “Güneş Panelinden Sağlanan Elektrik Enerjisinin Güç Elektroniği Sistemleriyle Kontrolü,” *Konya-2001*, 2001.

- [73] **M. Muntasser, M. Bara, H. Quadri, R. El-Tarabelsi, and I. La-Azebi,** “Photovoltaic marketing in developing countries,” *Applied energy*, vol. 65, pp. 67-72, 2000.
- [74] **K. Çilli.** (02.04.2020, 02.04). *Güneş takip sistemleri üretim karşılaştırma*. Available: <http://www.keremcilli.com/gunes-takip-sistemleri-uretim-karsilastirma/>
- [75] **H. H. Öztürk,** “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler,” *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, vol. 1, pp. 1-14, 2017.
- [76] **G. Şenay,** “Çok Eklemlili Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli İle Verim Optimizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ..., 2011.
- [77] **S. Roberts and N. Guariento,** *Building integrated photovoltaics: a handbook*: Walter de Gruyter, 2009.
- [78] **R. Thomas,** *Photovoltaics and architecture*: Taylor & Francis, 2003.
- [79] **S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani,** “Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 16, pp. 2920-2925, 2012.
- [80] **J. G. Calvert,** “Glossary of atmospheric chemistry terms (Recommendations 1990),” *Pure and applied chemistry*, vol. 62, pp. 2167-2219, 1990.
- [81] **D. Goossens and E. Van Kerschaever,** “Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance,” *Solar Energy*, vol. 66, pp. 277-289, 1999.
- [82] **A. Gholami, I. Khazaei, S. Eslami, M. Zandi, and E. Akrami,** “Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance,” *Solar Energy*, vol. 159, pp. 346-352, 2018.
- [83] **M. Mani and R. Pillai,** “Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 14, pp. 3124-3131, 2010.

- [84] **I. Καλδέλλης and M. Καυάλη**, “Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements,” 2015.
- [85] **R. Appels, B. Lefevre, B. Herteleer, H. Goverde, A. Beerten, R. Paesen, et al.**, “Effect of soiling on photovoltaic modules,” *Solar energy*, vol. 96, pp. 283-291, 2013.
- [86] **K. Vidyanandan**, “An overview of factors affecting the performance of solar PV systems,” *Energy Scan*, vol. 27, pp. 2-8, 2017.
- [87] **M. Yılmaz**, “Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi,” 2013.
- [88] **Wikipedi.** (29.03.2020, 29.03). *Yansıtabilirlik*. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yans%C4%B1tabilirlik>
- [89] **E. M. Bahar**, “Şebeke Bağlantılı Veya Bağlantısız Çalışabilen Pv Sistemin Tasarımı Ve Tekno-Ekonomik Analizi,” Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 2019.
- [90] **M. Beyinler.** (2020, 12.04.2020). *Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Elemanları*. Available: <https://www.muhandisbeyinler.net/fotovoltaik-pv-solar-sistem-ve-elemanlari/>
- [91] **H. Taylan.** (2020). *Güneş panelleri .1.* Available: <https://www.slideshare.net/HabipTaylan/gne-panelleri-1>
- [92] **D. 2**, “Hibrit Sistem & Güneş Paneli,” In *Esm 413 Enerji Sistemleri Laboratuvarı-2*, ed. Yalova: Yalova Üniversitesi, 2020.
- [93] **E. Leblebicioğlu.** (2020). *Şarj Kontrol Cihazı Nedir ? Nasıl Seçilir ?* Available: <https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasil-secilir/>
- [94] **M. Öztürk, N. Özek, H. Batur, and M. Koç**, “Fotovoltaik (Pv) Sistemlerin Ve Fotovoltaik-Termal (Pv-T) Kolektörlerin Termodinamik Değerlendirmesi,” *Engineer & the Machinery Magazine*, 2011.
- [95] **E. Kıyanççek**, “Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için pvs2 paket programının gerçekleştirilmesi,” Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

- [96] **F. Kantaroğlu**, “Fotovoltaik Sistemler,” *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği. TTMD*, 2010.
- [97] **P. A. Kıyga**, “Fotovoltaik güç sistemli su pompalarının dizayn esaslarının araştırılması,” Namık Kemal Üniversitesi, 2013.
- [98] **B.-I. Craciun, D. Sera, E. A. Man, T. Kerekes, V. A. Muresan, and R. Teodorescu**, “Improved voltage regulation strategies by PV inverters in LV rural networks,” in *2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 2012, pp. 775-781.
- [99] **T. Kerekes, R. Teodorescu, M. Liserre, C. Klumpner, and M. Sumner**, “Evaluation of three-phase transformerless photovoltaic inverter topologies,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, pp. 2202-2211, 2009.
- [100] **Elektrikde.** (2020). *Solar Sistemlerde DC Sigorta Kullanımı Ve Hesaplanması*. Available: <https://www.elektrikde.com/solar-sistemlerde-dc-sigorta-kullanimi-ve-hesaplanmasi/>
- [101] **V. C. Akkaş.** (2020). *Güneş enerji sistemlerinde parafudurlar*. Available: <https://vcantugakkas.wordpress.com/2018/02/27/gunes-enerji-sistemlerinde-parafudurlar/>
- [102] **Yilkomer.** (2015). *Solar Sistemlerde Topraklama Ve Eşpotansiyel Kavramı*. Available: <https://www.yilkomer.com/solar-sistemlerde-topraklama-ve-espotansiyel-kavrami/>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Murat Kutluca
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırıkkale 25.11.1992
E-Posta : muratkutluca20@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü