



T.C.

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ KURULUMU, BİLEŞENLERİ VE
ÜRETİM İSTATİSTİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞREF YALAV

HAZİRAN

ESREF YALAV

YENİLENEBİLİR ENERJİ
VE UYGULAMALARI
ANABİLİMDALİ

HAZİRAN 2024

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ KURULUMU, BİLEŞENLERİ VE
ÜRETİM İSTATİSTİKLERİ**

Eşref YALAV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Meryem EVECEN**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2024

TEZ KABUL VE ONAY SAYFASI

Eşref YALAV tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santralleri Kurulumu, Bileşenleri ve Üretim İstatistikleri” adlı bitirme projesi aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Meryem EVECEN

Fizik Ana Bilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN

Mekatronik Müh. Ana Bilim Dalı, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞEN KURT

Elektrik-Elektronik Müh. Ana Bilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Eşref YALAV

27/06/2024

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN KURULUMU, BİLEŞENLERİ VE ÜRETİM İSTATİSTİKLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Eşref YALAV

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2024

ÖZET

Dünyada enerji ihtiyacı her geçen gün daha fazla artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için birçok yöntem ve teknoloji kullanılarak enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Ülkeler, enerji politikalarına ve sahip olduğu kaynaklara göre bu yöntemleri kullanarak enerji arzına katkıda bulunmaktadır. Enerji üretiminde fosil yakıtlar kullanılarak enerji elde etme yöntemi yanında yenilenebilir kaynaklar kullanılarak da enerji elde edilmektedir. Ayrıca son yıllarda da yenilenebilir kaynaklardan enerji elde edimi giderek yaygınlaşmaktadır. Bu artış miktarının önemli bir kısmını Güneş Enerji Santralleri oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında güneş enerji santrallerini oluşturan bileşenler, bu bileşenlerin özellikleri ve görevleri, güneş enerji santrallerinin kurulumu için gerekli hesaplamalar açıklanmıştır. Ayrıca bir fotovoltaik sistemin verini etkileyen faktörler incelenmiş ve bu faktörlerden biri olan güneş takip sistemleri üzerinde çalışılmıştır. Kayseri ilinde kurulu olan 1 MW gücüne sahip sabit açılı bir fotovoltaik sistem incelenmiş gerçek yıllık üretim değerleri çıkarılmıştır. PVSYST Programı kullanılarak bu santralin modellenmesi yapılarak tek eksenli güneş takip sistem, çift eksenli güneş takip sistem, çift yüzeyli panellerle oluşturulmuş modeller ile yeniden tasarlanmış ve üretim istatistikleri çıkarılmış, gerçek üretim değerleri ile beraber simülasyon sonucu oluşan sonuçlar incelenmiştir.

Sayfa Adedi : 110
Anahtar Kelimeler : Güneş takip sistemi, fotovoltaik modül
Danışman : Prof. Dr. Meryem EVECEN

INSTALLATION, COMPONENTS AND PRODUCTION STATISTICS OF SOLAR
POWER PLANTS (M. Sc. Thesis)

Eşref YALAV

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2024

ABSTRACT

The need for energy in the world is increasing day by day, and energy production is carried out using many methods and technologies to meet this need. Countries contribute to the energy supply by using these methods according to their energy policies and the resources they have. In addition to the method of obtaining energy by using fossil fuels in energy production, energy is also obtained by using renewable resources. In addition, obtaining energy from renewable sources has become increasingly common in recent years. Solar Energy Power Plants constitute a significant part of this increase. In this thesis study, the components that make up solar power plants, the features and functions of these components, and the necessary calculations for the installation of solar power plants are explained. In addition, the factors affecting the data of a photovoltaic system were examined and one of these factors, solar tracking systems, was studied. A fixed angle photovoltaic system with 1 MW power installed in Kayseri province was examined and actual annual production values were calculated. Using the PVSYST Program, this power plant was modeled and redesigned with single-axis solar tracking system, dual-axis solar tracking system, and bi-surface panel models, production statistics were obtained, and the results obtained as a result of the simulation were examined together with the real production values.

PageNumber : 110
KeyWords : Solar tracking system, Photovoltaic module
Supervisor : Prof. Dr. Meryem EVEÇEN

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu bana veren, çalışmalarım boyunca destekleyen, yönlendiren ve yazımı sırasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Meryem EVECEN hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez dönemi boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Eşref YALAV



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	2
3.GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEMELLERİ	8
3.1.Güneş Enerjisi Potansiyelimiz	8
3.1.1.Isıl güneş enerjisi teknolojileri	11
3.1.2.Fotovoltaik sistemler	12
3.1.3.Fotovoltaik sistem çeşitleri	13
4.FOTOVOLTAİK SİSTEM DONANIMLARI	17
4.1. Güneş Panelleri	17
4.1.1.Monokristal paneller.....	18
4.1.2.Polikristal paneller	19
4.1.3.İnce film paneller.....	20
4.1.4.İnorganik güneş pilleri.....	21
4.1.5.İki katmanlı inorganik güneş pilleri	21
4.1.6.Amorf silisyum güneş pilleri	21
4.1.7.İnce film kalgonit güneş pilleri.....	22
4.1.8.Kadmiyum tellürid güneş pilleri.....	22

4.1.9.Bakır-indiyum-diselenid güneş pilleri	23
4.1.10.Bakır indiyum galyum diselenid güneş pilleri.....	23
4.1.11.Fleksibil CIGS güneş pilleri	24
4.1.12.Çok eklemli güneş pilleri.....	24
4.1.13.Nanofotovoltaik güneş pilleri	24
4.1.14.Kuantum noktalı güneş pilleri	26
4.1.15.Boya duyarlı güneş pilleri	26
4.2.Eviriciler.....	27
4.3.Trafo	31
4.4.Kablolar.....	33
4.5.AC DC panolar.....	35
4.6.AC DC Sigortalar	36
4.7.Artık Akım Anahtarları	37
4.8.Parafudrlar.....	38
4.9.Paratoner	39
4.10.Çift Yönlü Sayaç	39
5.ÖRNEK HESAPLAMALAR	41
5.1.Panel Seçimi ve Hesabı	41
5.2.Panellerin Seçimi	43
5.3.Panel Seçimi ve Hesabı.....	44
5.4.Evirici Seçimi.....	48
5.5.Kablolama	50
5.6.AC Kayıp Güç ve Gerilim Düşümü Hesabı	54
5.6.1.Ana toplama panosu verileri.....	54
5.6.2.Trafo ana pano arası güç kaybı.....	55
5.6.3.Trafo ana pano arası gerilim düşümü hesabı	55
5.6.4.Trafo ana pano arası akım taşıma kapasitesi	57

5.6.5.Yüksek gerilim tarafı İçin AC kablo hesabı	57
5.6.6.Akım taşıma kontrolü	58
5.6.7.Trafo seçimi ve hesabı.....	59
5.7.Topraklama Hesabı	59
6.FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	63
6.1.Rüzgarın Enerji Üretimi Üzerine Etkisi	64
6.2. Panel Yüzey Sıcaklığına Etki Eden Durumlar ve Yüzey Sıcaklığının Etkileri	65
6.3. Hava Kirliliği ve Panel Yüzey Kirliliği	65
6.4. Güneş Radyasyonunun Enerji Üretimine Etkisi	65
6.5. Güneş Takip Sistemleri	66
6.5.1.Tek eksenli güneş takip sistemleri.....	66
6.5.2.Çift eksenli güneş takip sistemleri.....	68
7.MATERYAL VE METOD.....	69
7.1. PVsyst Simülasyon Programı.....	69
8.BULGULAR.....	70
8.1.Kayseri İli İklimsel Özellikleri.....	70
8.2.Kayseri İli Güneşlenme Potansiyelleri.....	71
8.3.Kayseri İlinde Bulunan Santralin Üretim Verileri	73
8.4.Kurulu Sistemin PVsyst Programı ile Modellemesi ve Simülasyonu.....	76
8.5.Çift Yüzeyli Panel ile Modellenmiş Sistem	81
8.6.Doğu Batı Yönde Uzanan Tek Eksene Sahip Takipçili Sistem	85
8.7.Tek Eğik Eksen Takipçili Sistem	87
8.8.Çift Eksenli Takipçi Sistemi	90
9.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	94
9.1.Sonuç.....	94
9.2.Öneriler	99
KAYNAKLAR	100

EKLER.....	105
Ek-1 Solar Kablo Düzeltme Faktörleri ve Örnek Kablo Katalog Değerleri	106
ÖZGEÇMİŞ	110



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1.Yenilenebilir enerjinin üretimdeki payları	8
Şekil 3.2.Türkiye güneş enerji potansiyeli	9
Şekil 3.3.Türkiye aylık ortalama radyasyon değeri	10
Şekil 3.4.Güneş paneli katmanları	13
Şekil 3.5.On grid sistem şeması	14
Şekil 3.6.Off grid sistem şeması	15
Şekil 3.7.Hibrit fotovoltaiik sistem.....	16
Şekil 5.1.Panel Aralığı ve Gölgeleme açısı	42
Şekil 5.2.Toplama panosu.....	55
Şekil 5.3.Kablo döşeme özelliklerinin projede belirtilmesi.....	56
Şekil 5.4.Topraklama Planı Sistem Özeti	60
Şekil 5.5.Topraklama şeması	62
Şekil 6.1.Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı kurulu güçleri	64
Şekil 8.1.Kayseri ili güneşlenme potansiyeli	71
Şekil 8.2.Kayseri ili ortalama global güneş radyasyonu	72
Şekil 8.3.Kayseri ili güneş radyasyonu ve güneşlenme süreleri	72
Şekil 8.4.Evirici string bağlantısı.....	73
Şekil 8.5.Evirici etiket verileri	74
Şekil 8.6.Panel etiket verisi.....	74
Şekil 8.7.Santralin gerçek yıllık üretim grafiği.....	75
Şekil 8.8.PVsyst programına santralin konumunun girilmesi	76
Şekil 8.9.Panel yerleşimi 3B tasarımı	79
Şekil 8.10.Performans oranı ve normalize üretim tabloları	81
Şekil 8.11.PVsyst Simülasyon aylık üretim grafiği	81

Şekil 8.12.Panel yerleşimi 3B tasarımı	83
Şekil 8.13.Performans oranı ve normalize üretim tabloları	84
Şekil 8.14.Çift yüzeyli panel aylık üretim grafiği.....	85
Şekil 8.15.Panel yerleşimi 3B tasarımı	86
Şekil 8.16.Performans oranı ve normalize üretim tabloları	87
Şekil 8.17.D-B eksen yönlü takipçili aylık üretim grafiği	87
Şekil 8.18.Panel yerleşimi 3B tasarımı	88
Şekil 8.19.Performans oranı ve normalize üretim tabloları	89
Şekil 8.20.Eğik eksen takipçili aylık üretim grafiği	90
Şekil 8.21.Panel yerleşimi 3B tasarımı	91
Şekil 8.22.Performans oranı ve normalize üretim tabloları	92
Şekil 8.23.Çift eksen takipçili aylık üretim grafiği.....	92
Şekil 9.1.Tüm sistemlerin yıllık üretim verileri grafiği	95
Şekil 9.2.Tüm sistemlerin performans oranları grafiği	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1.Solar flex kablo akım taşıma kapasitesi	52
Çizelge 5.2.Solar kablo sıcaklık faktörleri	53
Çizelge 5.3.Dizi kablo tayin tablosu	54
Çizelge 5.4.Örnek Kablo Katalog Değerleri.....	58
Çizelge 5.5.Toprak özgül dirençleri.....	61
Çizelge 8.1.Santralin gerçek yıllık üretim verisi	75
Çizelge 9.1.Sistemin farklı açılı değerlerinde üretim verileri	96
Çizelge 9.2.Üretim verisi çizelgesi	97

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1.Trafo kabini ve trafo	31
Resim 4.2.Yağlı tip trafolar	32
Resim 4.3.Hermatic tip trafo	32
Resim 4.4.Kuru tip trafo	33
Resim 4.5.AC kablolar	34
Resim 4.6.Topraklama Kablosu.....	34
Resim 4.7.Verit iletim kablosu	35
Resim 4.8.Sigortalar	37
Resim 4.9.Artık akım anahtarı	38
Resim 4.10.Parafudr Röle	39
Resim 5.1.Panel Yerlerinin Hazırlanması.....	45
Resim 5.2.Panel gücü ve çıkış parametreleri görsel örneği	45
Resim 5.3.Eviriciler	47
Resim 5.4.Evirici parametre değerleri görsel örneği	47
Resim 5.5.DC Kablolama	50
Resim 5.6.DC Kablolar.....	52
Resim 6.1.Yatay eksenli güneş takip sistemli panel	67
Resim 6.2.Dikey tek eksenli güneş takip sistemli panel	68
Resim 6.3.Çift eksenli güneş takip sistemli panel	68
Resim 8.1.Kayseri ili resmi meteorolojik istatistikleri ekran görüntüsü	70
Resim 8.2.Santralin görüntüsü.....	76
Resim 8.3.Meteorolojik veriler	77
Resim 8.4.PVsyst yönlendirme verilerinin eklenmesi	77

Resim 8.5.PVsyst programı sistem ekran görüntüsü	78
Resim 8.6.Ufuk tanımlamasının görüntüsü	78
Resim 8.7.Proje sayfası ekran görüntüsü	79
Resim 8.8.Simülasyon sonucu üretim değerleri ekran görüntüsü.....	80
Resim 8.9.Dikey çift yüzeyli panellerle yapılmış fotovoltaik sistem	82
Resim 8.10.PVsyst programı sistem ekranı	83
Resim 8.11.Çift yüzeyli panel ile kurulan sistemin üretim verileri ekran görüntüsü	84
Resim 8.12.Doğu batı eksen yönlü kurulan sistemin üretim verileri ekran görüntüsü.....	86
Resim 8.13.Tek eğik eksen takipçili sistem aylık üretim verileri ekran görüntüsü	89
Resim 8.14.Çift eksen takipçili sistem aylık üretim verileri ekran görüntüsü.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
CdTe	Kadmiyum telür
CIGS	Bakır indiyum galyum diselenid
CIS	Bakır indiyum diselenid
DMİ	Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
PV	Fotovoltaik
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası
GES	Güneş enerji santrali
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt saat
KWh	Kilowatt saat
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
MGM	Meteoroloji genel müdürlüğü
MGNT	Maksimum güç noktası takibi
RTU	Remote Terminal Unit (Uzak Terminal Birimi)
STC	Standart Test Koşulları

TEİAŞ

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

W/m²

Metrekareye düşen güç



1. GİRİŞ

Enerji, fizikte, iş yapabilme yeteneği anlamına gelmektedir. İnsanlık tarihinden daha eski dönemlere kadar uzanan enerji, zaman içinde sayısal olarak açıklanabilir hale gelerek su veya hava gibi insanın en temel gereksinimlerinden biri olmuştur. Dünya için en büyük sorunların başında enerji ihtiyaçlarının karşılanması gelmektedir. Bir ülkenin enerji kaynaklarının sayısı ne kadar fazla ise o ülkenin ekonomik gücünde o kadar fazladır. Bu sebepten dolayı ülkelerin enerji miktarlarının birbirlerinden farklı olması sonucunda ülkeler, günümüz şartlarında kendi gereksinimleri doğrultusunda yer altı kaynaklarından ve özellikle fosil yakıtlardan yararlanmaktadır.

Fosil yakıtlar içerisindeki karbon, havadaki oksijen ile birleşerek tam yanma durumunda CO_2 veya yarım yanma durumunda CO gazlarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu yanma ürünleri atmosferde birikmektedir. Atmosfer içerisinde biriken bu gazlar, sera etkisi oluşturmakta ve canlı hayatını olumsuz etkilemektedir.

Yenilenebilir enerji, tükenmeyen, kendini yenileyebilen ve doğada her zaman bulunan enerji demektir. Yenilebilir enerji kaynaklarının yok olması gibi bir durumun olağanüstü şartlar oluşmadıkça söz konusu olması pek mümkün değildir. Güneş, rüzgâr, dalga, biyokütle, jeotermal, hidrolik ve hidrojen gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Güneş enerjisinden faydalanma eylemi oldukça eski dönemlerden beri vardır. İnsanoğlu önceleri güneş enerjisini ısınma amaçlı olarak kullanmıştır, ancak günümüzde güneş enerjisinden hem ısı hem de elektrik üretimi söz konusudur. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere fotovoltaik sistemler denilmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, Türkiye'de her yıl metrekare başına 1100 KWh'lik güneş enerjisi potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir (Altın, 2004). Bu potansiyele bağlı olarak ülkemizde lisanslı ve lisanssız fotovoltaik sistemlerin sayısı sürekli artmaktadır. Bu tez çalışmasında da güneş enerji santrallerini oluşturan bileşenler, bu bileşenlerin özellikleri ve görevleri, güneş enerji santrallerinin kurulumu için gerekli hesaplamalar ve verimi etkileyen etmenler açıklanmıştır. Ayrıca Kayseri ilinde kurulu olan 1 MW gücüne sahip sabit açılı bir fotovoltaik sistem modellemesi yapılarak incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tezin bu bölümünde güneş enerji santrallerinin kurulumu, bileşenleri ve verimliliği ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve burada sunulmuştur. Güneş enerji santrallerinin temel özellikleri, verimliliğini etkileyen faktörler ve verimlerinin artırılması için yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Nakir'in yaptığı çalışmada sabit açılı bir fotovoltaik sistemin veriminin artırılması çalışmasını yapmış (Nakir, 2007). Bu çalışmada verim artışını gerçekleştirmek için Maksimum Güç Takip Sistemi ve LDR kullanılarak bir fotometri tasarlanmış, mikrodenetleyici ve iki ekseninde güneşi takip eden bir güneş takip sistemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bir yıllık veriler HOMER programı yardımı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada Güneş Takip Sistemi (GTS)'li sistemin % 37 daha fazla ışınlam aldığı tespit edilmiştir (Nakir, 2007).

Bilgin'in yaptığı çalışmada güneş takibi yapan kapalı çevrim sistemine sahip bir çalışma yapılmıştır (Bilgin, 2006). Gün doğumundan gün batımına kadar olan takip açısı 140 derece civarındadır. Sistemde üç adet sensör kullanılmıştır bunlardan iki tanesi fotovoltaik hücre diğeri foto dirençtir.

Foto direnç tam karanlık durumunda sistemi başlangıç konumu olan doğuya dönmesini sağlamaktadır (Bilgin, 2006). Tasarımda sensörler 90 derecelik açıyla içe dönük olarak yerleştirilmiş ve GTS'nin hassasiyeti iki sensör panelin akımlarının farkına bağlı olmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda bir eksenli takip % 31 civarında enerji verimi kazancı sağlarken, iki eksenli takip % 34 - % 37 civarı verim kazancı sağladığını tespit etmiştir (Bilgin, 2006).

Gezgin, tez çalışmasında güneş panellerinin verimliliklerinin artırılması amacıyla güneş takip sistemlerinin ve panel yüzey kirliliğinin sistemin verimine etkilerini araştırmıştır (Gezgin, 2023). Çalışmada iki adet hesaplamalı ve sensörlü olarak çalışabilen, tek ekseninde doğu batı yönünde hareket eden bir sistem ile sabit bir sistem bilgisayar destekli tasarım işlemleri ile tasarlanmıştır. Bütün panellerden beş dakikada bir alınan veriler kaydedilmiştir ve verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Panel yüzey kirliliğinden bağımsız yapılan karşılaştırmalarda; hesaplamalı tip güneş takip sistemine sahip panellerin sabit açılı panellere göre % 49,7 daha verimli olduğu, sensörlü tip güneş takip sistemine sahip panellerin hesaplamalı tip güneş takip sistemine sahip panellere oranla % 1,7 oranında daha verimli olduğu görülmüştür (Gezgin, 2023).

Atalay yaptığı çalışmada, iki eksenli güneş takip mekanizmasına sahip olan 1 KW kurulu güç değerine sahip bir fotovoltaiik sistemi bilgisayar ortamında modellemiş ve İzmir ili koşulları için Matlab-Simulink yardımı ile simüle etmiştir. Elde edilen veriler halihazırda kurulu olan eş bir sistemle karşılaştırılmıştır (Atalay, 2016).

Nisan ayına ait veriler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada modellemesi yapılan bu sistem hem gerçek zamanlı ölçüm verileri hem de PVGIS verileri ile simüle edilerek sonuçlar karşılaştırılmış ayrıca kurulu olan eş sistemin verileri de bu çalışmada incelenmiş karşılaştırılan sonuçların benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca iki eksenli güneş takibi yapabilen sistem ile sabit bir sistem performansları karşılaştırılmış ve güneş takibi yapabilen sistemin %29 daha fazla performanslı olduğu bulunmuştur (Atalay, 2016).

Beyoğlu yaptığı çalışmada, Balıkesir ilinde maksimum güç takip sistemine sahip sabit fotovoltaiik sistem ile iki eksenli fotovoltaiik sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı maksimum güç takip noktası modülü kullanıldığı durumda alınan ölçümler sonuçları incelendiğinde, çift eksenli güneş takip sistemine sahip olan sistemin sabit panelli sisteme göre % 39 daha yüksek verim sağladığı görülmüştür (Beyoğlu, 2011).

Tırmıkçı çalışmasında, Sakarya ili için en uygun eğim açısı konumlandırılmış sabit bir fotovoltaiik sistem ile iki eksenli güneş takip sistemli bir fotovoltaiik sistem karşılaştırılmıştır. En uygun yıllık eğim açısı toplam güneş ışıınımı ve eğim açısı ilişkisi ile belirlenmiştir. Güneş ışıınımının ölçümü yapılmayan dağınık güneş ışıınımı bileşeninin tahmini amacıyla regresyon analizi yöntemi ile mevcut olan denklemlerden yararlanılarak, MATLAB programı yardımıyla yeni dağınık güneş ışıınımı denklemleri geliştirilmektedir (Tırmıkçı, 2018). Çalışmada, en uygun yıllık eğim açısıyla konumlandırılmış sabit sistem ile iki eksenli güneş takibi yapan sistemin verileri altı ay boyunca izlenmiş ve güneş takibi yapan sistemin her durum da daha verimli çalıştığı görülmüştür. Maliyet açısından yapılan araştırmada güneş takibi yapan sistemin sabit açılı sisteme göre 2,7 kat daha pahalı olduğu görülmüştür (Tırmıkçı, 2018).

Menak yaptığı çalışmada, iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit açılı sistem tasarımı yapmış ve deneysel olarak test etmiştir. İki eksenli güneş takip sistemi, tek eksenle de takip yapabilecek şekilde tasarlanmıştır, sabit sistemde eğim açısı 30 derece yapılmıştır (Menak, 2018). Tasarlanan bu sistemlerin matematiksel modelleri çıkarılarak Matlab/Simulink programı yardımıyla modellenmiş daha sonra benzetim ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ile benzetim verilerinin karşılaştırılabilmesi için 30 dakika aralıklarla gelen güneş ışıınım şiddeti, panellerin yüzey sıcaklıkları ve çıkış güçleri ölçülmüştür. Yapılan hesaplamaların doğrulanabilmesi için iki farklı günde ölçümler alınmıştır (Menak, 2018).

Birinci gün güneye bakacak şekilde yan yana yerleştirilmiş sabit eğim açılı doğu batı yönünde tek eksenle güneş takibi yapan hareketli sistem, ikinci gün ise aynı şekilde hareketli sistemin gün boyunca ürettikleri enerji miktarları ölçülerek karşılaştırmalar yapılmış ve verimleri hesaplanmıştır (Menak, 2018).

Yılmaz çalışmasında, sabit bir fotovoltaik sistem ve iki eksenli güneş takibi yapan bir fotovoltaik sistem tasarlamıştır. Bu sistemlerin verimlerini tam olarak karşılaştırmak için iki sistem de aynı yere monte edilmiş, aynı tür panel, şarj regülatörü, ölçü aleti ve akü kullanılmıştır. Yıllık ortalama iki eksenle güneş takibi yapan sistemin verimi, sabit sisteme göre % 31 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Mevsimsel olarak incelendiğinde bu verim farkının kış döneminde % 70, yaz döneminde % 11 olduğu görülmüştür (Yılmaz, 2013).

Aydın çalışmasında, 70 W'lık kuzey yönünde 45 derece sabit açıyla konumlandırılmış güneş paneli ölçümleri ile güneş açılarına göre konum takibi yapan ve yine 70 W'lık panelin çıkış güçleri bulunarak verim hesabı karşılaştırılması yapılmıştır. Hareketli sistem gün boyunca güneşin hareketini takip eden, hem doğu-batı yönünde hem de kuzey-güney yönünde olmak üzere çift eksenle hareket edebilen bir panel sistemidir (Aydın, 2016).

Yapılan çalışmada bulunan elektronik kart, taşınabilir sistemin bulunduğu yerin konum bilgileri doğrultusunda sisteme uygun duruma yönelmesini sağlamaktadır. Sistem gün boyunca güneş ışığının değişen geliş açılarına bağlı olarak paneli optimum şekilde hareket ettirmektedir. Tasarlanan bu sistem gün içinde güneş ışınlarının geliş açılarının değerlerine

bağlı olarak üst motorlarla dikey yönde hareketler yaparak açısını ayarlarken, doğu-batı motorlarıyla da batıya doğru belirlenmiş zaman aralıklarıyla hareket etmektedir (Aydın, 2016).

Yapılan karşılaştırma ve sistem analizi, 7, 12 ve 20 Mayıs tarihlerinde alınan sonuçlar doğrultusunda yapılmıştır. Belirtilen bu günlerde panellerin verimliliği sabit sistem için sırasıyla yaklaşık % 20, % 38 ve % 22 iken aynı zaman diliminde hareketli sistem için % 26, % 60 ve % 55 olarak elde edilmiştir (Aydın, 2016).

Çalışma sonucunda hareketli sistemin sabit sisteme göre daha maliyetli olduğu belirtilmiş fakat güç açısından karşılaştırıldığında hareketli sistemin sabit sisteme göre ortalama % 47 daha verimli olduğu görülmüş. Güç ve maliyet birlikte düşünüldüğünde, hareketli sistemi kullanmanın daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Aydın, 2016).

Varış yaptığı çalışmada, sabit eksen sistem fotovoltaik sistem ile iki eksenli güneş takibi yapan fotovoltaik sistemin güç ve verim yönünden karşılaştırmasını yapmıştır. 5,2 kWp gücündeki bu sistemlerin aylara göre enerji üretim değerleri PVSOL ve PVGIS simülasyon programları kullanılarak hesap edilmiştir. Bu sistemlerin enerji üretim değerleri kıyaslandığında; çift eksenli güneş takip sisteminin sabit eksenli güneş enerji sistemine göre yıllık % 32 daha fazla üretim yaptığı görülmüştür (Varış, 2017).

Uygulaması İstanbul ilinde bir sosyal tesise yapılan 5,2 kWp gücündeki çift eksenli güneş takip sisteminden elde edilen temmuz, ağustos, eylül ayına ait veriler incelenmiş ve karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Bu tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması hususunda konum bilgisi ve tesise ait elektrik tüketim değerlerine ait veriler incelenerek kullanılan PVGIS ve PVSOL simülasyon programları aracılığı ile en uygun performans ve maliyetler konusunun gözetilmesi ile sistemin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Varış, 2017).

Emikönel çalışmasında, güneş panellerinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla maksimum güç noktası takibi yöntemlerinden gözle ve uygula (P and O) ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak MATLAB/Simulink programı yardımıyla modellemeler yapmıştır. Burada amaç, ışıınım ve sıcaklık seviyelerindeki değişikliklere karşı daha yüksek hassasiyet ve en hızlı sistem tepkilerini elde etmektir. Bu nedenle, farklı

maksimum güç noktası tespiti yöntemleri test edilmiş ve karşılaştırılmıştır (Emikönel, 2022).

Çalışmasında iki paralel beş seri bağlı olan fotovoltaik panellerin maksimum güç noktası tespiti ve bu noktanın takip edilmesi amacıyla öncelikle “gözle ve uygula” algoritması kullanılmış ve MATLAB- Simulink programıyla tasarımı oluşturulmuştur. Bu noktada farklı ışıma değerleri için çıkış gerilimleri tespit edilmiştir. Daha sonra ikinci yöntem olarak bulanık mantık kullanılarak modelin tasarımı yapılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi için yine “gözle ve uygula” algoritmasında kullanılan ışıma değerleri kullanılmış ve bu ışıma değerleri için çıkış gerilim değerleri tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan iki yönteminde benzer verimlilikte çalıştığı tespit edilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisi ile “gözle ve uygula” algoritması karşılaştırıldığında bulanık mantık denetleyicisinde daha hızlı bir cevap elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca bulanık mantık denetleyicisinin öğrenim tabanlı olması sebebiyle farklı sistemlere de uygulanabilir olmasının bu yöntemin bir avantajı olduğu sonucuna varılmıştır (Emikönel, 2022).

Shakarjı yaptığı çalışmada, iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Tasarlanan iki eksenli güneş takip sisteminde dört adet ışık sensörü (LDR LM393), iki adet servo motor ve Raspberry PI 3 b+ kullanılmıştır. Tasarlanan güneş takip sisteminde paneller bir mikrodenetleyici tarafından komuta edilmiştir (Shakarjı, 2020).

Yapılan çalışmada; güneş paneli sabit durumdayken, güneşten günün kısa bir süresi içinde güneşten tam enerji aldığını görmüştür. Bununla beraber dinamik güneş paneli sistemlerinden elde edilen enerji miktarı statik sistemlere göre daha verimli olduğunu görmüştür (Shakarjı, 2020). Ayrıca sistemin geleneksel sensör güneş takip sistemlerine göre, güneş açısını daha kolay takip edebildiği, hassasiyet ve hata oranlarını azalttığı gibi sonuçlara ulaşmışlardır (Shakarjı, 2020).

Arslan yaptığı çalışmada, Kayseri ve Uşak illerinde bulunan iki adet çatı üstü bir adet arazi tipi olmak üzere üç fotovoltaik santral PVGIS, PVsol ve PVsyst simülasyon programları ile simüle edilerek oluşturulan simülasyon verilerini gerçek değerler ile karşılaştırıp programların doğruluk oranlarını incelemiştir (Arslan, 2022).

Simülasyon raporlarının sonuçlarına göre santral sistem performans oranında gerçek değerlere en yakın sonuçların % 3,83 hata oranıyla PVsyst simülasyon programında bulunan Meteonorm veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonucu olduğunu görmüştür (Arslan, 2022).

Benzer şekilde literatürde Güneş enerji santrallerinin temel özellikleri, verimliliğini etkileyen faktörler ve verimlerinin artırılması için yapılan çok sayıda çalışmalar mevcuttur (Dal, 2021; Yılmaz, 2017; Yücel, Kılıçarslan, Yıldırım, 2018; Demirtaş, 2006; Boyacı ve Kocaman, 2018; Artan, 2020; Tamoor ve ark., 2022; Çınaroğlu ve Nalbantoğlu, 2021). Etcı ve Bilhan tarafından PVSyst yazılım program ile sabit eksenli veya çift eksenli güneş takip sistemi kullanarak Konya ilindeki güneş enerji potansiyeli ile ilgili analiz çalışması yapılmıştır (Etcı ve Bilhan, 2021). Ceylan ve Taşdelen tarafından Isparta ili için fotovoltaiik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğu çalışılmıştır (Ceylan ve Taşdelen, 2018). Zengin ve arkadaşları Gaziantep, Konya ve Hatay'ın güneş enerjisi potansiyellerinin karşılaştırmalı analizini çalışmışlardır. Verimlilikle ilgili yine benzer çalışmalar yapılmıştır (Zengin ve ark., 2024; Fernández-Ahumada, Casares, Ramírez-Faz, López-Luque, 2017; Abdelghani-Idrissi ve ark., 2017; Sidek ve ark., 2017; Eldin, Abd-Elhady, Kandil, 2016). Benzer şekilde Çınaroğlu ve Önal, PVsyst yazılımı kullanılarak performans analizi ile ilgili çalışma yapmışlardır (Çınaroğlu ve Önal, 2022).

Gerçekleştirdiğimiz bu tez çalışmasında da sözü edilen Kayseri ilinde bulunan arazi tipi fotovoltaiik santralin gerçekleştirdiği bir yıllık üretim verilerini (Arslan, 2022) kullandık. Santralin gerçek üretim değerleri ile PVsyst programı ile gerçekleştirdiğimiz modelinin üretim verilerini karşılaştırdık. Ayrıca Kayseri'de bulunan bu santral PVsyst programı ile çift yüzeyli panel kullanılarak, tek eksen ve çift eksen güneş takibi yapan sistem olmak üzere yeniden tasarlandı ve üretim verileri analiz edildi.

3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEMELLERİ

Birçok devlet fosil kaynakların çevreye verdiği olumsuz etkileri azaltmak için yenilenebilir enerjiye geçiş çalışmaları yapmaktadır. Güneş büyük bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu nedenle güneş enerjisinden ısı ve elektrik elde etmek amacıyla birçok araştırma yapılmakta ve kullanımı her yıl daha fazla artmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanma açısından yapılan çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hızlanmıştır. Bu yıllarda güneş enerji sistemleri teknolojik olarak ilerlemiş ve maliyet açısından azalma göstermiştir. Güneş enerjisi temiz bir enerji çeşidi olarak kabul edilmiştir. Temiz bir enerji kaynağı olması ve işletmeye geçildikten sonra düşük maliyetle çalışması güneş enerjisinin önemini arttırmaktadır. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi TEİAŞ verilerine göre Güneş enerjisi ve diğer Yenilenebilir Enerjilerin üretimdeki payları %49 oranındadır (İnternet 5).



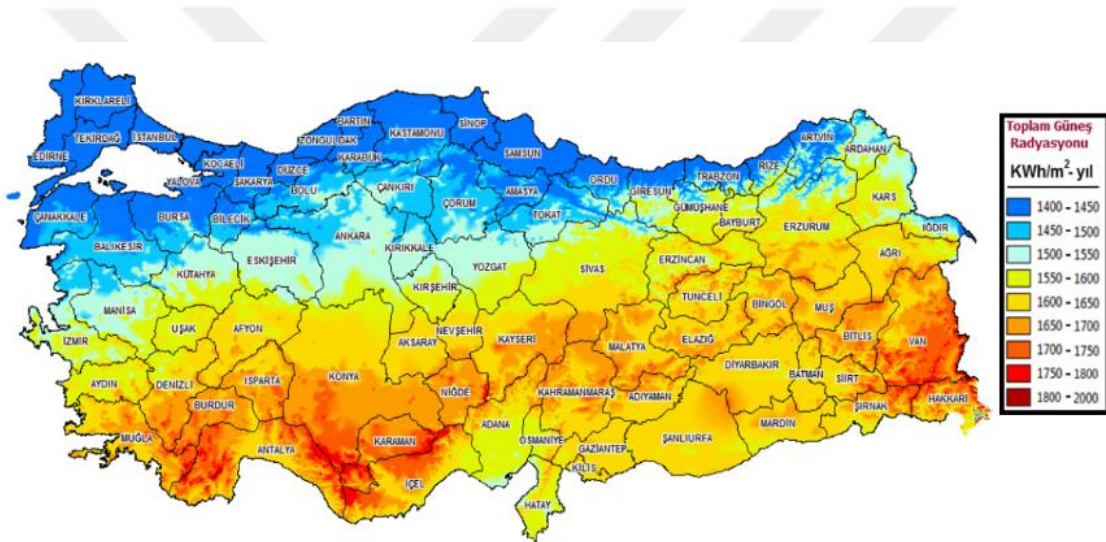
Şekil 3. 1. Yenilenebilir enerjinin üretimdeki payları (İnternet 6)

3.1. Güneş Enerjisi Potansiyelimiz

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon reaksiyonu ile oluşan ışıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç yayını yapan, tükenmeyen yenilenebilir bir

enerji kaynağıdır. Güneşten yayılan bu enerjinin oldukça düşük bir miktarı Dünyaya ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1367 W güç düşmektedir. Gelen bu ışımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışınlardan oluşan bir kısmı atmosfer tarafından emilirken diğer kısmı ise yansımaktadır (Güneş, 2021; Demiryürek, 2018).

Ülkemiz, coğrafi olarak önemli bir konumdadır ve oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (TETKB) tarafından yayımlanan GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımına aşağıda yer verilmiştir.

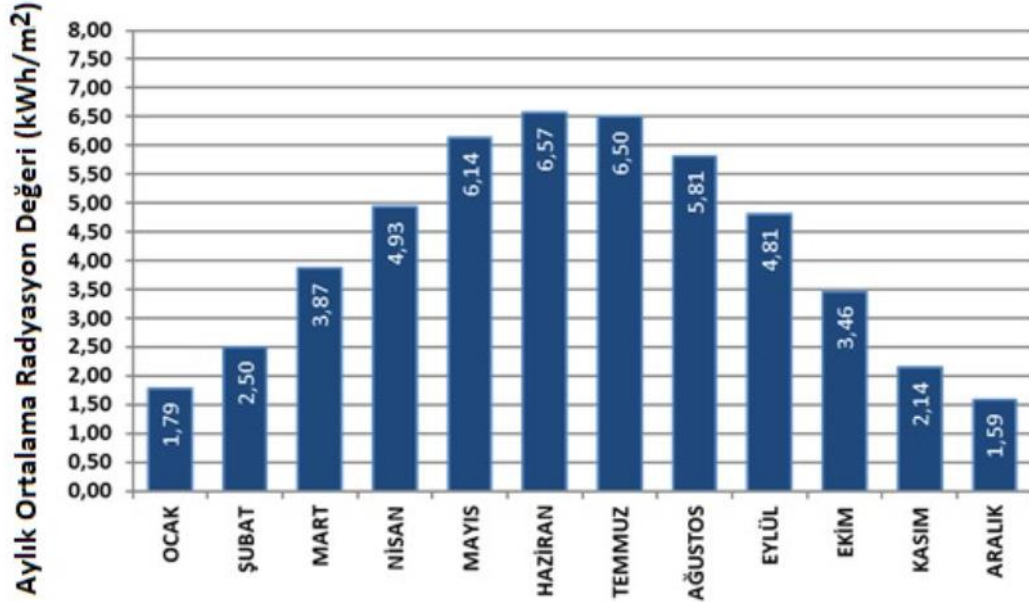


Şekil 3. 2. Türkiye güneş enerji potansiyeli (İnternet 3)

Coğrafi konumu neticesinde ülkemiz sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye göre çok iyi durumdadır. Güney Doğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi durumundadır, bunu Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Türkiye ısı amaçlı güneş enerjisi kullanımı ve üretimi bakımından Çin, ABD ve Japonya'dan sonra dünyada dördüncü durumda bulunmaktadır. Fakat elektrik enerjisi üretim ve kullanımı üzerinden bakıldığında zaman birçok mali ve teknolojik engelin bulunduğu görülecektir (Yalçın, 2019).

Türkiye'nin coğrafi bölgeleri güneş enerjisi potansiyeli bakımından birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bölgelerin güneşlenme süreleri Şekil 3.2'de verilmiş olup Güneydoğu

Anadolu Bölgesinin 2993 saat/yıl güneşlenme süresi ile en büyük değere sahip olduğu görülmektedir (İnternet 3).



Şekil 3. 3. Türkiye aylık ortalama radyasyon değeri (İnternet 3)

Bu sonuçlar (KWh/m^2) arazi koşulları göz ardı edilerek m^2 'ye düşen KW/h değeri olarak ele alınmaktadır. Şekil 3.3'de verilen ışıınım değerleri Türkiye'nin direk olarak güneşten aldığı ışıın değerleridir. Fotovoltaik potansiyeli üzerinden değerlendirilirse yani bölgenin güneş enerjisi potansiyeli fotovoltaik sistem kurulumuna uygun olmayan alanlar hesaba katılmayıp fotovoltaik sistemlerin verimli çalışabileceği sahalar dikkate alındığı durumda doğrudan ışıınım değerlerine benzer şekilde 40. paralelin güney kesimlerinin fotovoltaik sistemler bakımından uygun olduğu ve 38. paralelin güneyinin ise bu bakımdan daha uygun alanlar olduğu görülmektedir (Oral, 2020).

Coğrafi bölgeler bakımından, kurulu güç verilerine göre büyükten küçüğe doğru İç Anadolu, Ege, Akdeniz, Güney Doğu Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara, Karadeniz Bölgesi sıralanmaktadır (İnternet 9).

Fotovoltaik sistemlerin kurulu güçleri ve bölgelere göre güneşlenme süreleri değerlendirildiğinde söz konusu Fotovoltaik sistemlerin sadece bölgelerin güneşlenme süreleri değerlerini baz alarak kurulmadığı görülmektedir. Fotovoltaik sistemlerin

kurulmasında ışıınım değerleriyle birlikte mevzuat uygulamaları ve illere göre verilen yatırım teşvik kalemleri etkili olmaktadır. Genel olarak güneş teknolojileri ikiye ayrılır.

3.1.1. Isıl güneş enerjisi teknolojileri

Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri elde edilen sıcaklık değerlerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; düşük sıcaklık uygulamaları ve yoğunlaştırıcılı ısı sistemlerdir.

Düşük sıcaklık uygulamaları

Düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri, güneş enerjisi ile pişirme ve ürün kurutma, güneş bacaları, güneş mimarisi, güneş havuzları, su arıtma sistemleri ve sera ısıtma sistemleri gibi uygulamalar güneş enerjisini kullanarak düşük sıcaklık elde edilmesine dönük uygulamalardır. Bu uygulama eşitleri içerisinde düzlemsel güneş kolektörleri uygulaması güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri arasında en basit ve en yaygın olarak kullanılır. Düzlemsel güneş kolektörleri, yüzeyi üzerine gelen güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana aktarılması tekniğine göre uygulanmaktadır. Bu sistemler en çok evlerde kullanılan suyu ısıtmada kullanılmaktadır. Bu sistemlerde sıcaklık seviyesi 70°C'ye ulaşmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri genellikle saydam rtl (düz cam veya vakumlu boru), güneş ışıınımları toplayan soğurucu yüzey ve yüzeye entegre edilmiş taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ile kasadan meydana gelmektedir. Düzlemsel güneş kolektörleri, kurulacağı coğrafi bölgenin enlemine göre güneş ışıınlarını en yoğun alacak şekilde, sabit bir açıyla konumlandırılırlar. Düzlemsel güneş kolektörlü sistemler doğal dolaşımlı ve zorlamalı (dolaşım pompalı) olarak iki çeşide ayrılır. Bu sistemler evlerin, sanayi tesislerinin ve yüzme havuzlarının sıcak su ihtiyaının karşılanmasında kullanılmaktadır.

Yoğunlaştırıcılı ısı sistemler

Yoğunlaştırıcılı ısı güneş enerjisi teknolojileri özellikle elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır. Bu teknolojiyi kullanarak elektrik üreten sistemlerin kurulu güçleri 10 MW ve üzerindedir. Yoğunlaştırıcılı ısı güneş enerjisi sistemlerinde güneş yoğunlaştırıcısı olarak; parabolik aynalar, çanaklar veya heliostatlar kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisinin üretilmesi aşağıda sıralanan yöntemlerle yapılır;

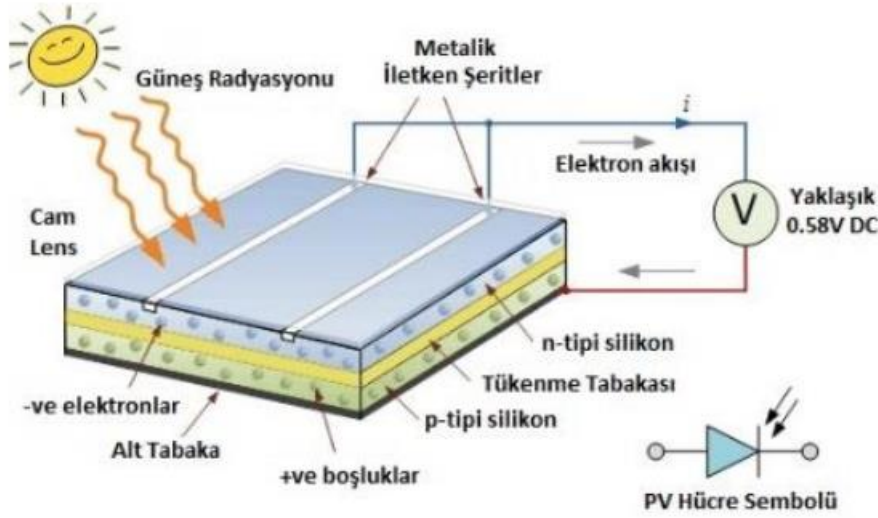
- i. Bir kollektör sistemi kullanarak güneşten gelen radyasyonunun toplanması
- ii. Alıcı yardımıyla güneş radyasyonunun ısı enerjisiye dönüştürülmesi
- iii. Isıl enerjinin bir buhar türbinli jeneratör sistemi yardımıyla elektrik enerjisine çevrilmesi
- iv. Bir alıcı üzerine güneş radyasyonunun yoğunlaştırılması
- v. Isıl enerjinin bir güç dönüşüm sistemine transfer edilmesi.

Yoğunlaştırıcı ısı sistemlere dayalı enerji üretim sistemleri üç kısımda uygulanmaktadır. Bunlar; merkezi alıcılı sistemler, parabolik oluklu kolektörler ve parabolik çanak sistemleridir (Artan, 2020).

3.1.2. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik (PV) sistemler, yarı iletken maddeler aracılığıyla güneş ışığından gelen enerjiyi absorbe edip elektrik enerjisine çeviren cihazları kullanarak güç üretirler ve bunlar güneş hücreleri olarak adlandırılırlar. Şekil 3.4 de gösterilen güneş hücrelerinin birleşmesi ile güneş modülleri ya da diğer adıyla güneş panelleri oluşur. Modüllerin birleşmesiyle de diziler meydana gelir.

Güneş pili, yarı iletken bir malzemedir ve güneş ışınlarını direk olarak elektrik enerjisine dönüştürür. Çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş modülü ya da fotovoltaik panel adı verilir. Bu seri veya paralel bağlanmayla güç çıkışı artırılmış olur. Güneş pillerinin verimliliğini, yapısında bulunan malzemenin türü belirler. Verim değerleri; tek kristalli yapılarda % 25 dolaylarında iken çok kristalli yapılarda % 20 değerinde olup, silisyumlu yapılarda % 5-8 arasında değişmektedir.



Şekil 3. 4. Güneş paneli katmanları (Çelik ve Koç, 2020)

Fotonların güneş pili hücresi üzerine gelmesiyle birlikte, fotonları bir kısmı olduğu gibi yansıtılır, bir kısmı güneş hücresi tarafından absorbe edilir ve bir kısmı da güneş hücresinin içerisinden geçer. Güneş pilinin absorbe ettiği fotonlar elektrik üretimini başlatır (Çelebi, 2019).

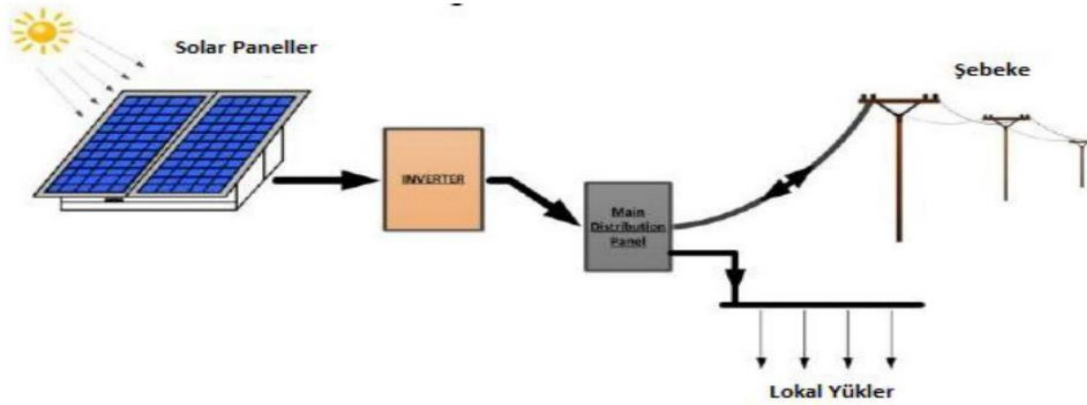
3.1.3. Fotovoltaik sistem çeşitleri

Fotovoltaik sistem çeşitleri yapılandırılmalarına göre üç temel gruba ayrılır. Bunlar; şebekeden bağımsız çalışan sistemler, şebekeye bağlı olan (on-grid) sistemler ve hibrit sistemlerdir. Bu üç sistem üretim biçimleri ve içerdiği ekipmanlar bağlamında birbirlerinden ayrılır (Atalay, 2016).

Şebekeye bağlı (on-grid) fotovoltaik sistemler

Şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik (PV) sistemi, fotovoltaik modüllerin ürettiği elektriği anlık olarak şebekeye veren sistemlerdir. Şebekeye bağlı bir sistemde, gündüz saatlerinde üretilen güneş enerjisi, herhangi bir depolama işlemi yapılmadan tüketilenden geriye kalan enerjinin şebekeye iletildiği sistemdir.

Şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik enerji tesisinde bulunan ana bileşenler, güneş pv modülleri, eviriciler, bağlantı panoları (AC ve DC), AC toplama panosu, transformatör, şalt sahasıdır (Şekil 3.5). Ayrıca diğer kontrol ve izolasyon cihazları da bulunmaktadır.

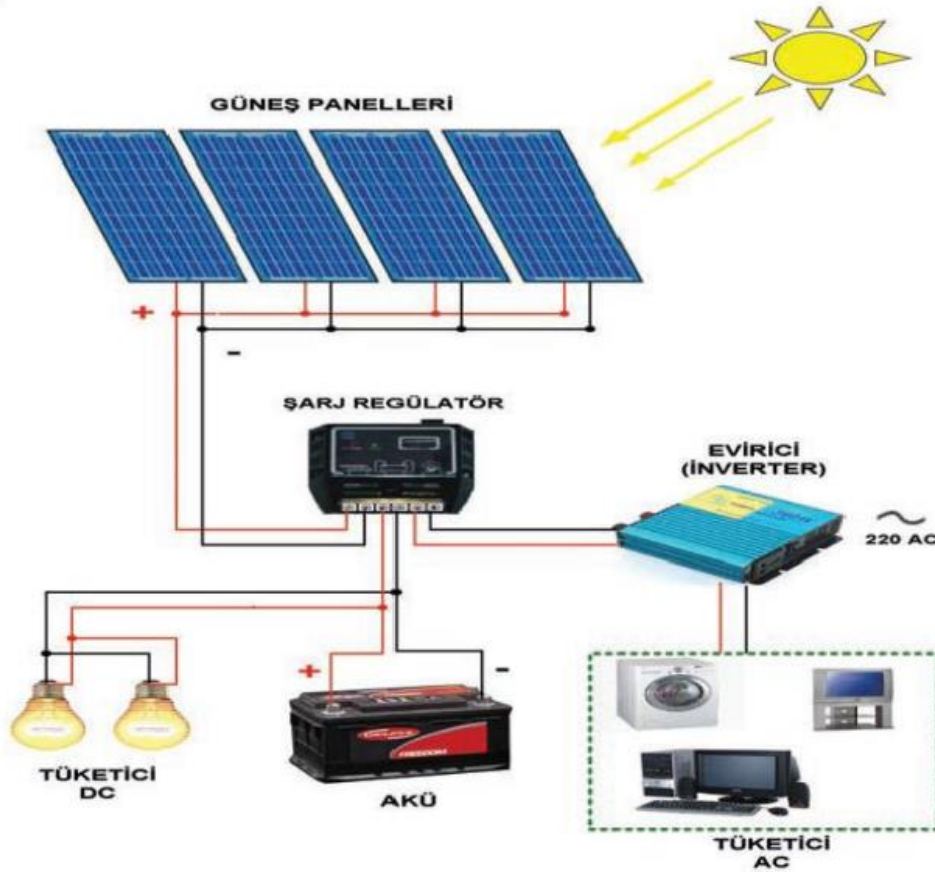


Şekil 3. 5. On grid sistem şeması (Maltaş, 2017)

Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler

Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler bağımsız sistemler olarak adlandırılırlar. Elektrik şebekesi ile bir bağlantısı yoktur bu yüzden akülü sistemlerde denir. Bu tip sistemler, solar pv modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisini akülerde depolar. Akülerde depolanan enerji, enerji ihtiyacı durumunda veya güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde tüketilir. Bu sistemler elektrik şebekesinin bulunmadığı, enerji sıkıntısı olan veya yerleşim yeri dışında bulunan yerlerde kullanılır.

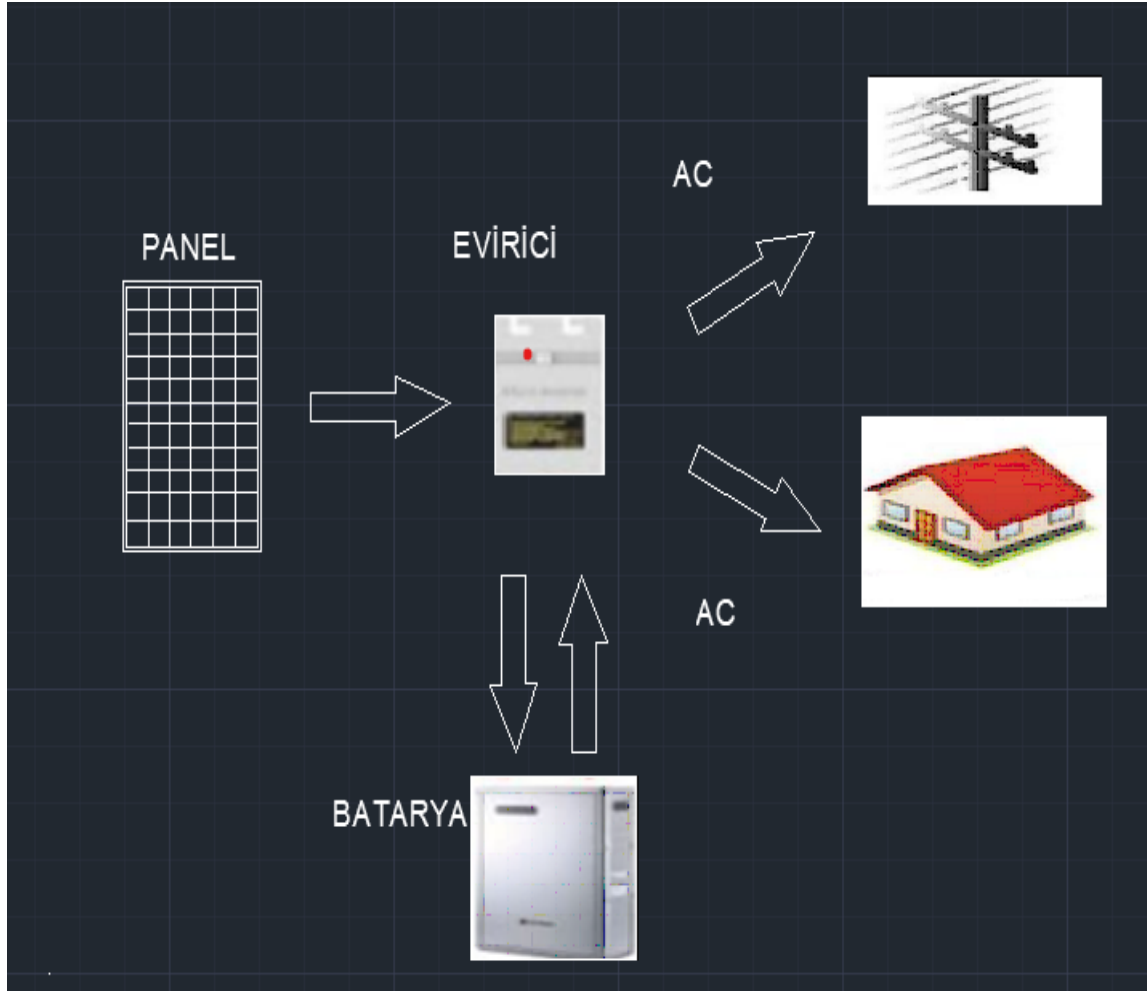
Off-grid sistemler, şebekenin bulunmadığı durumlarda elektrik enerjisine olan ihtiyacı karşılar (Şekil 3.6). Fotovoltaik modülleri, diziler oluşturmak için birbirlerine seri olarak bağlanır ve bu diziler, bir DC panoda birleşirler. Enerji buradan evirici sistemindeki şarj kontrol cihazına gelir. Şarj kontrolörü, aküleri dolduracak olan DC elektrik gücünü düzenler. Evirici, DC elektriği aküden çeker ve AC elektriğe dönüştürür evirici çıkışından elde edilen AC elektrik ana elektrik panosuna iletir. Tüketici yükler ihtiyacı olan enerjiyi ana elektrik panosundan alır. Bu sistemler üretilen elektrik enerjisinin akülerde depolanmasını sağlar.



Şekil 3. 6. Off grid sistem şeması (Maltaş, 2017)

Hibrit fotovoltaik sistemler

Hibrit fotovoltaik sistem, Şekil 3.7’de olduğu gibi on grid ve off grid sistemlerinin birleşimidir diyebiliriz. Yani, şebekeye bağlı olup aynı zamanda aküleri de bulunan fotovoltaik sistem olarak ifade edilebilir. Şebeke tarafından verilen enerjiyi harcamadan, güneşten elde edilen elektriğin ihtiyaç halinde kullanmak üzere akülere depolanabilmesi ile elektrik tüketim maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Güneş olmadığı durumda, evirici enerji tüketimine bağlı olarak sadece akülerden aldığı enerjiyi kullanır ya da kullanacağı enerjiyi şebekeden çeker.



Şekil 3. 7 Hibrit fotovoltaik sistem

4. FOTOVOLTAİK SİSTEM DONANIMLARI

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde faydalanılan en yaygın yöntem fotovoltaik güneş enerji sistemleridir. Bu sistemler sadece güneş panelinden ibaret değildir. Sistem türüne bağlı olarak akü, evirici, kablolar, koruma devreleri, panolar gibi şarj diğer sistem elemanları bulunmaktadır.

4.1. Güneş Panelleri

Güneş panelleri, yarı iletken hücrelerden oluşmaktadır. Farklı dalga boylarında olan ve güneşten dünyaya gelen elektromanyetik dalgaların görünür ışık tayfları içindeki bölümünü elektrik enerjisine dönüşüm işlemini gerçekleştirir.

Güneş panelleri, güneş ışığının oluşturduğu enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyonla, doğrudan DC akıma dönüştüren bir yarı iletken bir diyot görevi görmektedirler. Yarı iletken bu maddelerin güneş paneli olarak çalışabilmeleri için, p ya da n tipi olarak katkılandırılmış olmaları gerekmektedir (Karamanav, 2007).



Şekil 4. 1. Güneş paneli katmanları (Güneş, 2021)

Panelin üst kısmında bulunan alüminyum, panelin bütünlüğünü sağlamakta ve dışarıdan gelebilecek darbelere karşı panelin korunmasını sağlar. Çerçevenin hemen altında temperli cam bulunmakta ve bu temperli camın altında Eva filmlerin olduğu kısım görülmektedir. Solar hücreler iki eva film arasına monte edilmişlerdir. En arka kısımda ise bağlantı kutusu mevcuttur (Şekil 4.1).

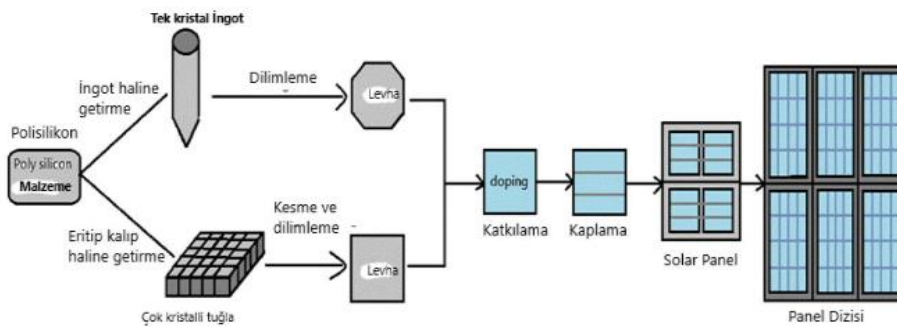
Güneş pilleri çeşitleri; kristal yapı teknolojisi, ince film teknolojisi, birleşik teknoloji ve nanoteknoloji olmak üzere 4 ana teknolojiden oluşur. Şekil 4.2’de PV sistemlerde en çok kullanılan güneş pilleri gösterilmiş ve sonrasında tüm güneş pili çeşitleri sıralanmıştır.



Şekil 4. 2. En sık kullanılan güneş panelleri (Güneş, 2021)

4.1.1. Monokristal paneller

Bu hücreler iki kristal oluşum yöntemiyle elde edilmektedirler. Buda saf silikonun Czochralski çekmesi ve yüzer bölge yöntemi adı verilen yöntemlerdir. İlk olarak saf silikon ergitilerek sıvı hale dönüştürülür. Ardından dönebilen ve hareket edebilen kristal bir çubuk ergitilmiş olan silikon potasına daldırılır ve silikonun çubuk üzerinde katılaşması beklenir. Daha sonrasında bu çubuk belirli bir dönme ve çekme hızı ile silikon potasından çekilir ve yüksek saflıkta bir silikon külçe elde edilir. Silindirik külçe halinde olan saf silikonun dilimlenmesi işlemi yapılır ve hücrelerin gövdesini (wafer) oluştururlar. Bu parçalara toplama iletkenleri eklenir böylece hücre elde edilmiş olur (Öztürk, 2021).



Şekil 4. 3. Monokristal güneş paneli oluşumu (Sağlam, 2018)

Silikonun saflık oranı, silikon bazlı fotovoltaik panellerin verimliliğini belirleyen etkidir. Silikon ne kadar saf olursa panelde o kadar yüksek verimliliğe sahip olur. Yapılmış olan bir deneysel çalışmada monokristal hücrenin veriminin en üst sınırı %26,7 olarak tespit edilmiştir, piyasada kullanılan ürünler ise %19 - %21 seviyelerinde verimliliğe sahiptirler. Bu paneller düşük ışık seviyelerinde verimli çalışma özelliğine sahiptirler. Özellikle yerleşim alanı probleminin bulunduğu yerlerde verimlerinin yüksek olması, avantaj sağlamaktadır.



Şekil 4. 4. Monokristal panel (Gezer, 2019)

4.1.2. Polikristal paneller

Czochralski yönteminin oldukça yüksek olan üretim maliyeti ve zor bir imalat yöntemi olması sebebiyle, üretim safhasında maliyetin düşürülmesi amacıyla geliştirilmiş polikristal panel çeşididir. Polikristal güneş panellerinin üretim işleminde, monokristal güneş panellerinin üretiminde olduğu gibi silindirik külçe oluşturma ve sonrasında yapılan hassas kesme aşamaları bulunmamaktadır (Güneş, 2021).

Polikristal güneş panellerinde poli silikonu doğrudan ergitilip, külçeler haline getirildikten sonra kesme işlemine tabi tutulur. Bu yönüyle üretim maliyeti polikristal güneş panellerininkine oranla daha düşüktür. Bunun yanında polikristal madde direkt olarak ergitildiği için, polikristal güneş panellerinin yapısı homojen değildir, bu sebepten dolayı panellerin verimi de düşüktür. Bu yüzden polikristal güneş panellerinin verimi monokristal güneş panellerine göre daha fazla düşüktür. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda polikristal güneş panellerinin verimi %22,3'e kadar yükseltilmiştir. Piyasada mevcut olan ürünlerin verimleri ise çoğunlukla %16 - %19 seviyelerindedir.

Polikristal güneş panelleri düşük maliyetli olması ve monokristale panellere oranla daha kolay elde edilmesinin sonucunda piyasanın en çok tercih edilen güneş paneli durumundadır. Verimi monokristal panellere oranla daha düşüktür. Çünkü polikristal güneş panellerinin ısı tolerans hassasiyeti monokristal kadar değildir.



Şekil 4. 5. Polikristal panel (Gezer, 2019)

4.1.3. İnce film paneller

Bu tip panellerde bir kaplama malzemesi bulunmaktadır. Bu malzemenin üzerine bir veya birden fazla sayıda ince filmden oluşan film katmanları yerleştirilmiştir. Bu film hücreleri mikro metre seviyesinde incelikte ve yüzeyleri oldukça geniştir.

Üretim aşamasında kullanılan malzemeler çok ince olduklarından dolayı daha az bir malzeme ile daha geniş alanlara kurulum yapılabilir ve bu yönüyle avantajı oldukça yüksektir. Sıcaklık katsayılarının düşük olması, monokristal ve polikristal güneş panellerine göre yüksek sıcaklık şartlarında daha verimli çalışmasını sağlar. Günümüzdeki üretim teknolojisi ile ince film güneş panellerinin verimi maalesef istenilen seviyelerin hala çok altında bulunmaktadır (Naziksoy, 2022).



Şekil 4. 6. İnce film paneller (Varış, 2017)

Fotovoltaik güneş santrali uygulamalarında genellikle monokristal ya da polikristal panel kullanımı yaygındır. Özellikle büyük santral uygulamalarında ince film panellerin düşük olan verimlerinden ötürü tercih edilmediği ortadadır.

4.1.4. İnorganik güneş pilleri

Tek katmanlı inorganik güneş pili, farklı elektrokimyasal potansiyele sahip iki metal elektrot ortasına konumlandırılmış ve elektronlardan birisi yarı iletken olan silikon türü inorganik yarı iletken maddeden oluşur. Tek katmanlı olan inorganik güneş pillerinin verimleri oldukça düşüktür.

4.1.5. İki katmanlı inorganik güneş pilleri

İki katmanlı inorganik güneş hücreleri inorganik ısı ve kimyasal açıdan oldukça kararlı güneş hücreleridir. P-tipi ve n-tipi olmak üzere iki yarı iletken kullanılarak imal edilir. Bu hücrelerde yük ayrımı, p-tipi ve n-tipi yarı iletkenler arasında bulunan sınır alana yakın bölgede oluşur. Son zamanlarda bu solar piller %30'lara kadar verim sağlayabilmektedir.

4.1.6. Amorf silisyum güneş pilleri

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Silisyum pillerden elde edilen verim %10 üzerindedir. Ticari modüllerde ise %5 - 7 dolaylarındadır. Son yıllarda daha çok küçük güçteki

elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Amorf silikon hücreler kadmiyum veya kurşun gibi toksik ağır metaller kullanmadıkları için en çevre dostu fotovoltaiik teknolojilerden biridir. Amorf silisyum güneş pilinin diğer bir önemli uygulama alanı da yapılara entegre edilmiş yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilir. Temel avantajı düşük imalat maliyetidir.

Daha önceki yıllarda amorf silikonun elektriksel özellik olarak yalıtkan diye nitelendirilmiştir. Fakat sonraki yıllarda, amorf silikonun fotovoltaiik piller de kullanılabilirliği keşfedilmiştir. Temel avantajı düşük imalat maliyetidir.

Amorf silisyum güneş pili, laboratuvar ortamında %13'den daha fazla etkinlik göstermektedir. Galyum arsenit ile yapılan ince film güneş pili %24'den daha fazla verim göstermektedir (Maltaş, 2017).

4.1.7. İnce film kalgonit güneş pilleri

1960'lı yıllarda Cu_xS -CdS, Cu_xSe -CdSe ve Cu_xTe -CdTe türlerinde ince film güneş pili hücreleri geliştirilmiştir. CdS, CdSe ve CdTe filmleri kimyasal bir yöntem olan çökeltme işlemi ile üretilir. Bu tip güneş hücrelerinin imalatı oldukça basit olup %10'un üzerinde verim elde edilebilmektedir. Fakat, artık bu güneş pili çeşitleri üretilmemektedir. Çünkü bakır kalgonit katmanlar, bakır difüzyonu ile bozulmasından dolayı ar-ge çalışmalarına son verilmiştir (Öztürk, 2013).

4.1.8. Kadmiyum tellürid güneş pilleri

Kadmiyum tellür ($CdTe$) çok kristalli yapıya sahip bir yarıiletken malzemedir. Yaklaşık 1 μm kalınlığa sahiptir ayrıca üzerine gelen güneş ışınlarının %90'ını absorbe edebilmektedir. Üretilmesi kolay ve imalat maliyeti düşüktür. Kadmiyum tellür güneş hücresinin verimi %15'in üzerindedir. Bu hücreler kullanılarak yapılan güneş paneli modülleri ise %9'un üzerinde verime sahiptir. Kadmiyum tellür teknolojisi diğer ince film güneş pili teknolojilerine göre kolay depolama ve geniş ölçekli üretime daha uygundur (Maltaş, 2017).

4.1.9. Bakır-indiyum-diselenid güneş pilleri

İnce film güneş hücrelerinin diğer bir türüdür. Periyodik cetvelin 1., 3. ve 6. grup elementlerinin üçünün ya da daha fazlasının birleşmesiyle oluşmuş yarı iletken maddedir. Bu yarı iletkenin absorbe etme katsayısı çok yüksektir (Ardağ, 2012).

Bakır-İndiyum-Diselenid (CIS) güneş pili, selenyum, bakır ve indiyum ile oluşturulan birleşik yarı iletken malzemedan imal edilir.

Bu ince film güneş pili teknolojisinin diğer üstünlükleri aşağıdadır;

- i. Optik absorbe kat sayısı yüksektir,
- ii. Öz direnci ve iletkenliği değiştirilebilir,
- iii. Fabrika ortamında da yüksek verimli hücreler imal edilebilir.

CIS güneş pillerinin ilk 1 mikron kalınlığında olan katmanı, gelen ışınların %99'unu absorbe edebilir. Bu malzeme oldukça yüksek soğurganlık özelliğine sahiptir. Dış ortam testlerindeki kararlılığı ise oldukça iyidir. Bu yüzden CIS fotovoltaiik güneş pillerinin ticari olarak yaygın kullanıma sahiptir. Ayrıca daha yüksek verim elde edilebilmek için CIS güneş pili hücrelerine Ga (galyum) elementi katkılanırılır.

4.1.10. Bakır indiyum galyum diselenid güneş pilleri

Bu Bakır-İndiyum-Galyum-Diselenid güneş pilleri kısaca CIGS olarak isimlendirilmiştir. İnce film güneş pili çeşitlerinden bir diğeridir. CIGS güneş pili diğer ince film güneş hücrelerinden daha yüksek verim oranına sahiptir. Bu güneş pili, yarı iletken esnek bir taban üzerine imal edilir. İnce film güneş pilleri genelde %8 verimliliğe sahipken, CIGS tipi güneş hücresi %10 dolayında verimliliğe sahiptir.

CIGS ve CdTe güneş pilleri teorik olarak %30 verime sahiptir. Ancak, gerçek uygulama koşullarında, bu hücrelerin en yüksek verime sahip olması beklenmektedir. Gerçek koşullarda verim yaklaşık % 25 düzeylerindedir.

4.1.11. Fleksibil CIGS güneş pilleri

Düşük üretim maliyetlerine sahip olması ince film güneş pili teknolojisindeki en büyük üstünlüğüdür. Bu güneş modüllerinde elektriksek bağlantı içten yapılıdır, ayrıca tek parça olarak imal edilebilir. Özellikle solar çatı sistemleri için fleksibil CIGS güneş pili çeşidi kullanılmaktadır. Son dönemlerde rulo halinde olan esnek güneş pilleri oldukça tutulmaktadır. Hafif ve rulo şeklindeki bu CIGS güneş pillerinin, uzay teknolojilerinde kullanım potansiyeli oldukça yüksektir.

4.1.12. Çok eklemli güneş pilleri

Çok eklemli güneş pili üzerindeki çalışmalar son yıllarda oldukça artış göstermiştir. Bir tanesi mavi ışığı absorbe eden, diğeri kırmızı ışığı soğuran iki veya ikiden fazla yarı iletken katmanlardan üretilmiştir. Bundan dolayı çok eklemli güneş hücresi, tek tip malzemeden yapılan hücrelere göre daha yüksek verime sahiptir.

Teorik olarak ideal güneş hücresi, kızıl ötesi ve mor ötesi arasında bulunan farklı dalga boylarına ayarlanmış çok sayıda katmandan oluşabilir. Bunun gibi bir durumda %70 gibi ulaşılması zor bir verim değerini bulabilirler. Fakat idealde olan bu durum uygulamada gerçekleştirilemez. Bilim adamlarının çalışmalarının birden fazla katmanlı olan güneş pillerine yoğunlaşmış olmasının nedeni bu sebepten dolayıdır. Günümüzde çok eklemli güneş pili verimliliği % 35 - 40 gibi seviyelere çıkarılabilmektedir.

4.1.13. Nanofotovoltaik güneş pilleri

Gelecek yılların güneş pili teknolojisi Nanofotovoltaik güneş pilleri (nanoPV)'dir. Nanomikro kristalli yüksek verimliliğe sahip güneş hücreleri bu yapıdadır. NanoPV (nanofotovoltaik) piller, yapılarında bulunan nano kristal a-Si:H (hidrojen amorf silikon) ve geçirgen iletken (TCLO) teknolojisiyle diğer güneş pillerine kıyasla % 8 - % 10 değerlerinin üzerinde verim elde eder (Ayçam, 2009).

Nanomateriyaller, elektrik, optik ve kimyasal özellikleri bakımından oldukça üstündür. Bu sebepten dolayı hücre verimliliği de yükseltilebilir. Nanofotovoltaik teknolojisinde üç çeşit malzeme kullanılır;

- i. Kristal yarı iletken 3-5 maddeler,
- ii. Polimerik maddeler,
- iii. Karbon etkili nano yapılar.

Bu maddelerin kullanımıyla üretilen güneş pillerinde, uygulama ve maliyet bakımından farklı yaklaşımlar geliştirilebilmektedir. Güneş pili imalatında titanyum (TiO_2) ve çinko (ZnO) nanotelleri iletken madde olarak kullanılabilir. Bu nanotellerin her birisi saç telinden çok daha ince olabilmektedir. Nano ölçeklerde, kuantum mekanik etkisi önemli olduğundan bu teller "kuantum telleri" olarakta adlandırılır.

Nano Güneş Pili Teknolojisinin Üstünlükleri;

- i. NanoPv teknolojisi ile farklı tasarımları gerçekleştirmek mümkün olacak ve mimarlar esnek güneş pillerini kullanabileceklerdir.
- ii. Kendi kendini yenileyebilmesi ve temizleyebilmesi sebebiyle işletme ve bakım giderleri azalacaktır,
- iii. NanoPV teknolojisinden dolayı güneş pili verimliliği en az %8-10 aralığında artacaktır,
- iv. Nano teknoloji ile imal edilen güneş panellerinin ağırlıkları çok düşük olacağı için yapıya etki eden ağırlık yükü ihmal edilecek kadar az olacaktır,
- v. İşsizliği azaltacak ve yeni iş sahalarının açılmasını sağlayacaktır.

Nano Güneş Pili Teknolojisinin Zayıf Tarafları;

- i. Nanometre mertebelerindeki ölçüleri dolayısıyla imalatını gerçekleştirmek ve bu ölçek üzerinde gözlem ve çalışma yapmak çok zor olduğundan, özel üretim yöntemleri gerekecektir,
- ii. İlk yatırım maliyeti bakımından bu teknoloji ile imal edilen güneş panellerinin maliyeti, diğer güneş panellerine oranla oldukça yüksektir,

- iii. Bu alanda çalışabilecek teknik elemanların yetişmesi için uzun yıllar gerekecektir (Öztürk, 2013).

4.1.14. Kuantum noktalı güneş pilleri

Kuantum noktaları farklı tekniklerle oluşturulabilen, nanometreler seviyesindeki boyutunda küçük yarı iletken parçacıklardan oluşuyor. Kuantum noktaları genellikle yapay atomlar olarak isimlendirilir. Nokta çapı kolay bir şekilde seçilerek, soğurma eşiğinin belirlenmesine imkan sağlar.

Kuantum noktalarının ışığın farklı dalga boylarını absorbe edecek şekilde ayarlayabilmek için sadece boyutlarını değiştirmek yeterlidir. Bu özelliğiyle enerji verimliliğini en üst seviyeye çıkarabilme ve güneş hücrelerinin bulundukları konumun özel ışık şartlarına göre özelleştirilebilmesi mümkün hale gelebilmektedir. Kuantum noktası, yarı iletken malzemenin nanometre boyutlarındaki granülüdür.

Bant genişliğinin ayarlanabilir olmasından dolayı güneşten gelen fotonları çok iyi yakalar her bir foton için üç elektron kopararak çok sayıda uyarılma oluşturulabilirler. Teorik bakımdan %65 oranında verim sağlanabilir (Yağlı, Koç, Öksel & Koç, 2018)..

4.1.15. Boya duyarlı güneş pilleri

Bu tür güneş pilinde iki adet iletken cam bulunmaktadır, bu camlar devrenin meydana gelmesi aşamasında pillerin birbirine bağlanması için önemlidir. İki iletken camın üzerinde kaplama işlemi gerçekleştirilerek, elektron döngüsünü meydana getirmek amacıyla elektrolit adı verilen bir kimyasal sıvı yapılarak iletken camların aralarına uygulanıyor. Daha sonra bu güneş piline boyar madde uygulanıyor ve piller kapatılarak uygulama tamamlanıyor.

Boya duyarlı güneş pili görünür ışığı elektrik enerjisine dönüştüren üçüncü nesil bir fotovoltaiik güneş pilidir. Boya duyarlı hücrelerin güneş pili uygulamalarındaki kullanımı, bitkilerde bulunan klorofil hareketinin biyomimetik çalışmalarının başlangıcına kadar uzanır. Bu yöntem bitkilerde gerçekleşen fotosentez sistemiyle aynıdır. Bu güneş pillerinde çoğunlukla kullanılan boya ise iyodürdür. Ayrıca, titanyum dioksit (TiO_2) gibi bir

nanomalzeme, boya moleküllerini iskelet gibi bir olması için kullanılır (Can, 2019; Öztürk, 2013).

Panellerden daha fazla enerji elde edilmek için panellerin birbirleri ile seri bağlanması gerekir. Bu yüzden bir panelin pozitif (+) ucu diğer panelin negatif (-) ucuna bağlanır. Bu bağlantıların yapılması için her panelin arkasına panele montajlanmış halde bulunan bağlantı terminalleri vardır.

4.2. Eviriciler

İnverterler yani eviriciler güneş paneli ile birlikte sistemlerin ana bileşenlerini oluşturmaktadır, girişine gelen panellerin ürettiği DC akımı, AC akıma dönüştürerek çıkışından veren ekipmanlardır. Bu işlem gerçekleşirken, fotovoltaik sistemin şebeke ile uyumlu bir şekilde çalışması da önemli bir durumdur. Kontrol noktası vazifesi gören eviriciler, DC kısımdaki akım ile gerilimi takip edip, AC kısımda şebeke gerilimi, şebeke frekansı ve iletilecek olan AC akımı takip ederek, en uygun çalışma durumunu sağlar.

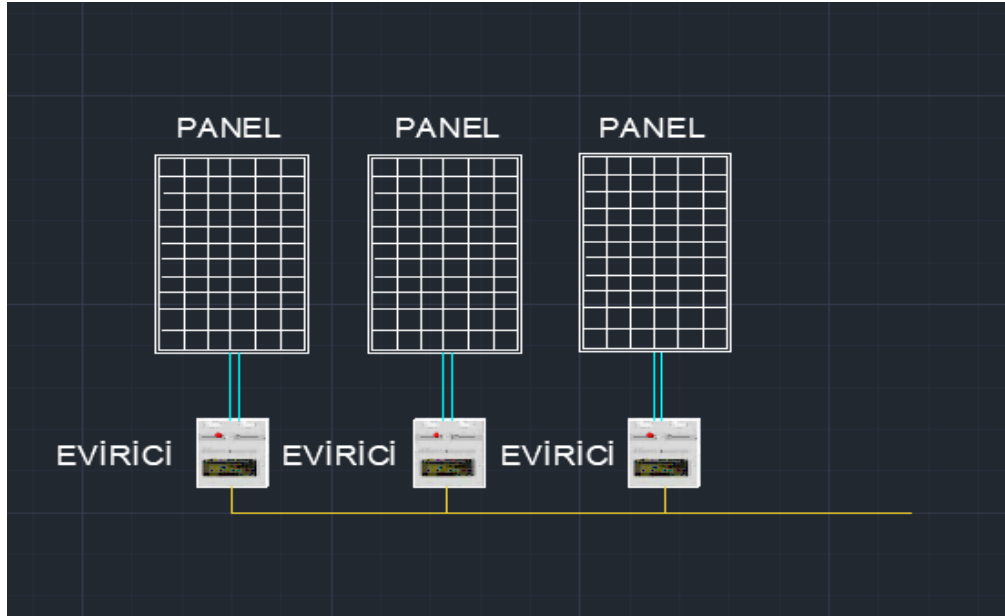
Eviriciler kullanım şekillerine göre farklı sınıflara ayrılmıştır. İlk olarak, eviricileri şebeke bağlantısının var olup olmamasına göre değerlendirmek gerekir. Şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan eviricilerde amaç, depo edilmiş olan DC akımı AC akıma çevirmek olmasından ötürü akü çıkışları da bulunmaktadır.

Şebeke bağlantılı eviricilerde amaç, üretilen enerjiyi anında tüketmek olduğu için, genellikle depolama amacı taşımazlar. Şebeke bağlantılı evirici tipleri şunlardır; mikro eviriciler, dizi eviriciler ve merkezi eviriciler.

Mikro eviricilerde çıkış gücü 200W ile 400W arasında değişkenlik gösterir. Mikro eviriciler enerji ihtiyacının düşük olduğu daha küçük çaplı uygulamalarda kullanılır. Bu eviricinin kullanıldığı sistemlerde bir adet panele bir adet mikro evirici bağlanır. Bu tip sistemlerde kablolanmanın daha fazla olduğu bölüm eviriciden sonra gelen bölümdür.

Maliyetli oluşu mikro evirici için bir dezavantajdır ama özellikle gölgelemenin yoğun olduğu ya da panelin herhangi bir sebepten ötürü enerji üretimi gerçekleştirmediği

durumlarda sistemin diğer bölümlerinin bu durumdan olumsuz etkilenmesinin önüne geçilmesi avantajlı olduğu noktadır. Dizi inverterlere göre verimi daha yüksektir.



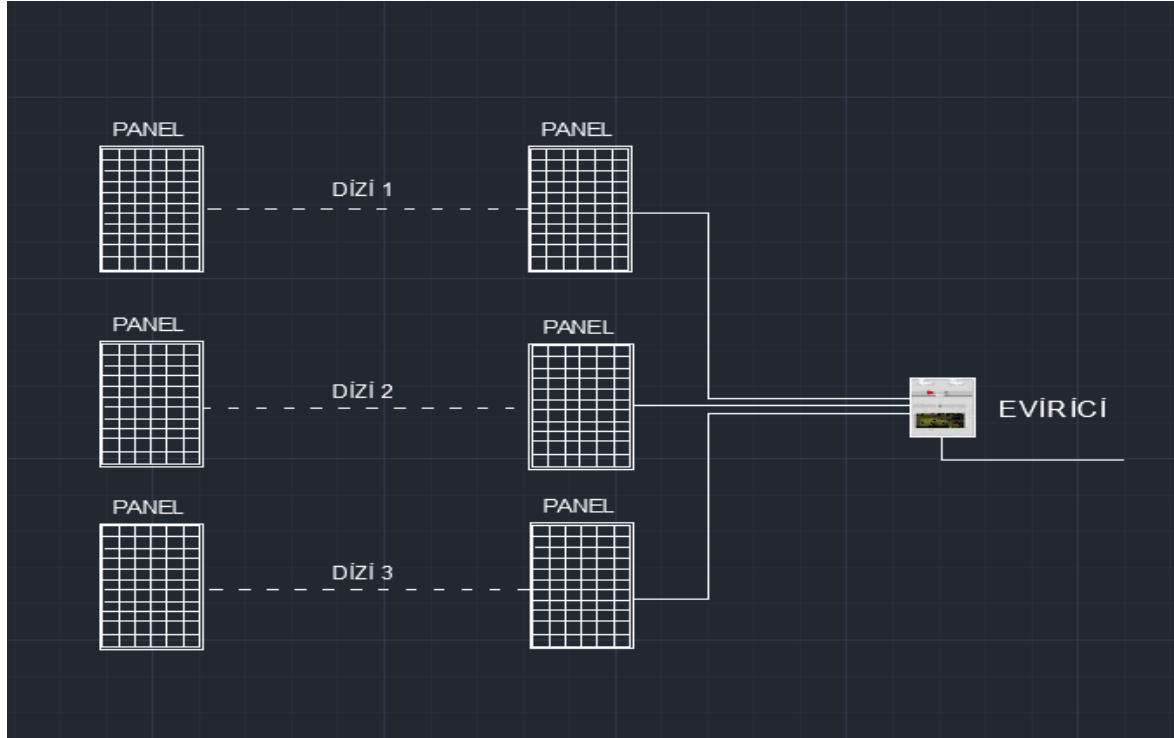
Şekil 4. 7. Mikroevirici diyagramı

Dizi eviriciler çoğunlukla çatı üstü kurulumlarında ve küçük ölçekli santrallerde kullanılmaktadır. Dizi eviricilerde, evirici üzerinde en üst düzeyde bir DC giriş gerilimi değeri bulunmaktadır. Dizi evirici girişine seri bağlanmış olan panellerden gelen toplam gerilim değeri evirici DC giriş gerilim değerinden daha yüksek bir gerilim seviyesinde olmamalıdır. Bu sebepten dolayı seri bağlanan panel sayısı dizi eviricinin DC giriş kapasitesiyle uyumlu olmalıdır. Piyasada bulunan dizi eviriciler incelenecek olursa 1000V DC giriş değerine sahip gerilime sahip olan dizi eviricilerin bulunduğu görülecektir.

Dizi eviricilerin bir diğer özelliği de Maximum Power Point Tracker- Maksimum Güç İzleme Noktası (MPPT) özelliğidir. Gün içerisinde güneşten gelen güneş ışınlarının geliş açısının değişmesi ve sistemde bulunan panellerin açılarının (özellikle engebeli alanlarda bulunan paneller) değişiklik göstermesi nedeni ile sistem tarafından üretilen enerjide sürekli bir değişkenlik oluşur.

Böyle bir durumda mppt serilerden gelen değişken enerjiyi takip eder, maksimum gücün çıkışa iletilmesi için çalışır. Aynı zamanda herhangi bir olumsuz durum anında serilerden gelen enerjinin diğer serileri de etkilememesi yine mppt'nin çalışması ile

gerçekleştirilmektedir. Dizi eviricilerde bulunan mppt giriş sayısının fazla olması sistemin verimliliğinin yüksek olmasına etki eder. Bu tip eviriciler gerçekleştirilen uygulamalara göre tek fazlı ve üç fazlı olarak farklı tiplerde üretilirler.



Şekil 4. 8. Dizi evirici bağlantı şeması

Merkezi eviriciler, büyük fotovoltaik sistemlerde kullanılmaktadır ayrıca evirici türleri içerisinde kapasitesi en yüksek olanıdır. Merkezi eviricilerin giriş bağlantısı bir toplama panosu üzerinden yapılmaktadır. Seri bağlanmış güneş panellerine ait dizilerinden gelen solar DC kablolar bir toplanma panosuna girer yani dizilerden gelen bütün enerji bu panoda toplanır ve daha sonra bu toplanma panosundan merkezi eviriciye iletilecek şekilde bağlantı yapılmış olur.

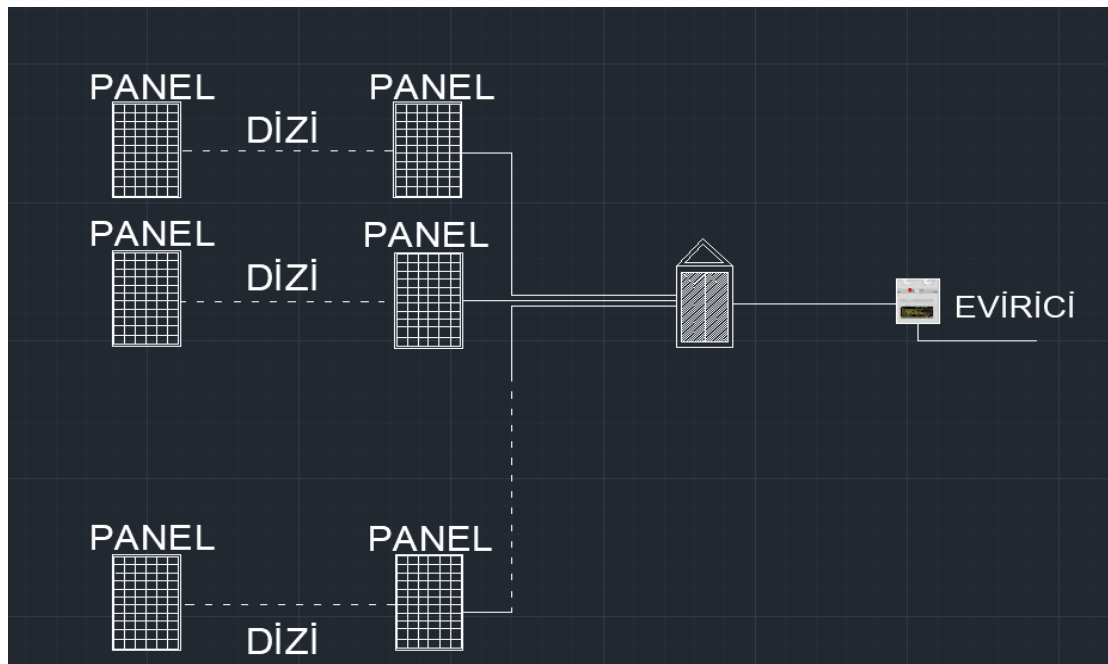
Kurulumu basit olmakla birlikte toplam maliyetin üretilen güç ile birlikte değerlendirilmesi yapılacak olursa en avantajlı olan evirici olduğu görülecektir. Bağlı bulunduğu elektrik şebekesinin değerlerine göre gerilim ve frekans üretmektedir. Bu durum sistemin trafoya bağlantısı doğrudan yapılmasının sonucudur. Bu durumun bir avantajı fotovoltaik sistemin tek bir noktadan kontrol edilmesine olanak sağlamasıdır. Piyasada bulunan merkezi eviricilerin maksimum DC gücü çoğunlukla 1000V seviyesindedir. Veriminin yüksek

olması avantajının yanında, mppt sayısının az olması sebebiyle dizelerden gelen enerji olması gerektiği gibi düzenlenemediği için uygulamalarda kullanıldığında verimi düşmektedir.

Merkezi eviricilerin kullanıldığı uygulamalarda eviriciden kaynaklı oluşan herhangi bir olumsuz durumda bütün sistemin etkilenmesi muhtemeldir ve bu durum sebebiyle sistemin enerji üretmeyeceği sonucu ortaya çıkacaktır. Bu nedenden ötürü oluşabilecek arızalar üretim ekonomisi bakımından oldukça büyük zararlar oluşmasına neden olabilir. Bu durum, merkezi eviriciler için bir dezavantajdır. Diğer taraftan sistemin izlenmesi ve sisteme müdahale edilmesi dizi eviriciye nazaran daha kolaydır.

Merkezi eviricilerin, dizi evirici sistemlerine kıyasla solar kablo açısından kablolama işi daha fazla yapılsa da merkezi eviricili sistemlerde toplama panosunda çok büyük güçler büyük ölçülü kablolarda iletildiği için sistemin kurulumu daha hızlı ve daha kolay olmaktadır.

Sistem için dizi ya da merkezi evirici tercihinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan bir tanesi arazinin yapısıdır. Eğer arazi düzgün bir yapıda ise merkezi evirici, engebeli bir yapıda ise dizi evirici tercih edilebilir.



Şekil 4. 9. Merkezi evirici blok diyagramı

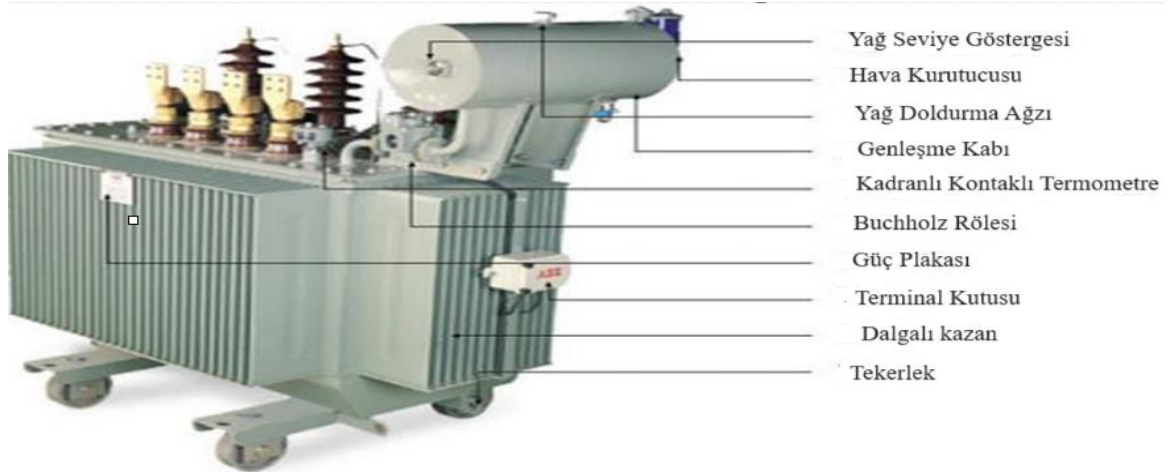
4.3. Trafo

Trafolar, AC sistemlerde, akım ve gerilim değerini belirlenen dönüştürme oranına göre alçaltan veya yükselten fakat frekansa bir etkisi olmayan elektrik makinalarıdır. Trafolar, resim 4.1’de gösterildiği gibi köşk olarak isimlendirilen bir yapı içerisinde bulunmaktadır ve bu yapı genellikle prefabrik, beton yapı veya galvanizli sacdan oluşmaktadır. Piyasada iki farklı çeşit trafo bulunmaktadır. Bunlar yağlı tip ve kuru tip trafolardır (Akar, 2016).



Resim 4. 1. Trafo kabini ve trafo (Naziksoy, 2022)

Yağlı tip trafolar; trafo sargıları trafonun içerisinde ve tamamıyla yağın içinde bulunmaktadır. Bu yağ hem soğutma hem de izolasyon görevi görmektedir. Bu tip trafoların iki çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan biri resim 4.2’deki genişleme tankı bulunan yağlı tip trafo ve resim 4.3’teki hermetik tip yağlı trafolardır. Hermetik trafolar da genişleme tankı yoktur ve dış ortamdan kapalıdır. Trafo içindeki yağ ve basınç ayarı üreticisi tarafından yapılır. Basınç, trafonun kurulacağı yerin deniz seviyesine göre konumuna göre yapılır.



Resim 4 2. Yağlı tip trafolar (Kemik, 2016)

Genleşme tankı bulunan trafolarla çalışma ve dış ortam sıcaklığından dolayı trafo içerisinde sıcaklığı artan yağ genleşme tankına doğru ilerler. Bu tip trafolar atmosfere açıktır ısınma ve soğuma esnasında hava giriş çıkışı olduğundan dolayı ekstra olarak nem ve toza karşı koruyucu kullanmak gereklidir. Bu sebepten ötürü periyodik kontrol isteyen bir trafo tipidir. Yağlı tip trafolar ekonomiktirler ama içindeki yağın patlama riski bulunmaktadır.



Resim 4. 3. Hermatic tip trafo (Akar, 2016)

Kuru tip trafolar son yıllarda yağlı tip trafolarla oranla patlama riskinin daha az olmasından dolayı özellikle insanların yoğun olduğu okul, hastane, otel, konut ve alışveriş merkezi gibi yerlerde kullanılmaya başlanmıştır. Yağlı tip trafolarla oranla üretim maliyeti daha yüksektir. Resim 4.4'te de görüldüğü gibi sargıları dış ortama açıktır ve epoksi dökme reçineden imal edilmektedir. Epoksi kolay tutuşmayan bir maddedir. Sargıları dışa açık olduğu için doğal yol ile ya da fan ile soğutulması gerekmektedir. Tesiste kuru tip trafo

kullanımı tercih edilecekse trafo merkezinde ekstra olarak bir fan grubuna gereksinim duyulabilir. Sargılar açık olduğundan neme ve suya karşı dikkatle korunmalıdır.



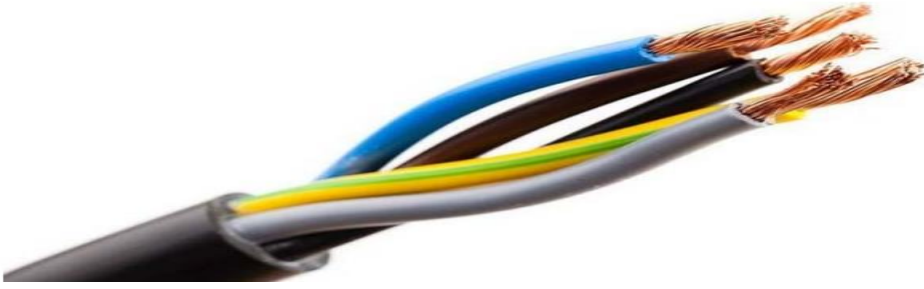
Resim 4. 4. Kuru tip trafo (Kemik, 2016)

4.4. Kablolar

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılmakta olan 4 farklı kablo türü bulunmaktadır. Bunlar DC kablolar, AC kablolar, topraklama kabloları ve haberleşme kontrol kablolarıdır.

DC kablolar, TS EN 50618:2015 Fotovoltaik Sistemler İçin Elektrik Kabloları standartlarına uygun olmalıdır. DC kablolar hem fotovoltaik panelleri birbirleri ile bağlarken hem de panellerin evirici ile bağlantısını oluştururken kullanılmaktadır. Santralde yer altı ve yer üstü kullanıma göre çekilebilir. Bu kablolar tanımlanan standartlara göre güneş ışınlarından etkilenmeyen, izolasyonlu, ısıya veya soğuğa dayanıklı, yangın riskine karşı dayanıklı olmak durumundadır (Gezer, 2019).

AC kablolar, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde santralin AC tarafında kullanılan kablolardır. Evirici çıkışından itibaren resim 4.5'te görülen bu kablo kullanılır. Bu kablolar fotovoltaik sistemlerde hem alçak gerilim hem yüksek gerilim seviyelerinde kullanılmaktadır. Alçak gerilim seviyesindeki AC kablolar invertörlerin çıkış gücünü toplama panosuna, alçak gerilim panosuna veya trafoya iletmek için kullanılmaktadır. Yüksek gerilim seviyesindeki AC kablolar trafo ile trafo koruma hücresi arasında ve enerji nakil hatlarında kullanılmaktadır. Santralin AC kablo hesaplamaları yapılırken iletilecek güç, mesafe, kablonun çekileceği ortam, kablo mukavemeti gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır.



Resim 4. 5. AC kablolar (Gezer, 2019)

Fotovoltaik santrallerinde topraklama, sistemlerin ani aşırı gerilim ve yıldırım darbesine karşı zarar görmesini engellemek amacıyla IEC 62305-5 Standartı şartlarına göre fotovoltaik sistemleri koruma altına almak için kullanılır. Bu kablolar tek veya çoklu telden oluşmaktadır, bakır veya alüminyumdan oluşabilir. Topraklama kablosu resim 4.6'da gösterildiği gibi olduğu gibi sarı ve yeşil renklidir. Topraklama kablosu montajında mutlaka kablo pabuçları kullanılmalıdır. Diğer kablo hesaplamalarında geçerli olan hesaplama yöntemleri, topraklama kablosu içinde geçerlidir.



Resim 4. 6. Topraklama Kablosu

İletişim kontrol ve kumanda kabloları, içinde çok sayıda ince kablodan meydana gelir. Resim 4.7'de örnek olarak verilen haberleşme kabloları, elektronik kontrol sistemlerinde iletişim sinyallerinin iletimi görevi için kullanılır. İletilen sinyallerin ana görevi kullanılan sistemdeki verilerin aktarılmasıdır. Elektronik kontrol sistemlerinde, açık ve kapalı alanlarda kullanılabilirler. Esnek yapıları sayesinde, dar alanlarda rahatlıkla kullanılabilirler.

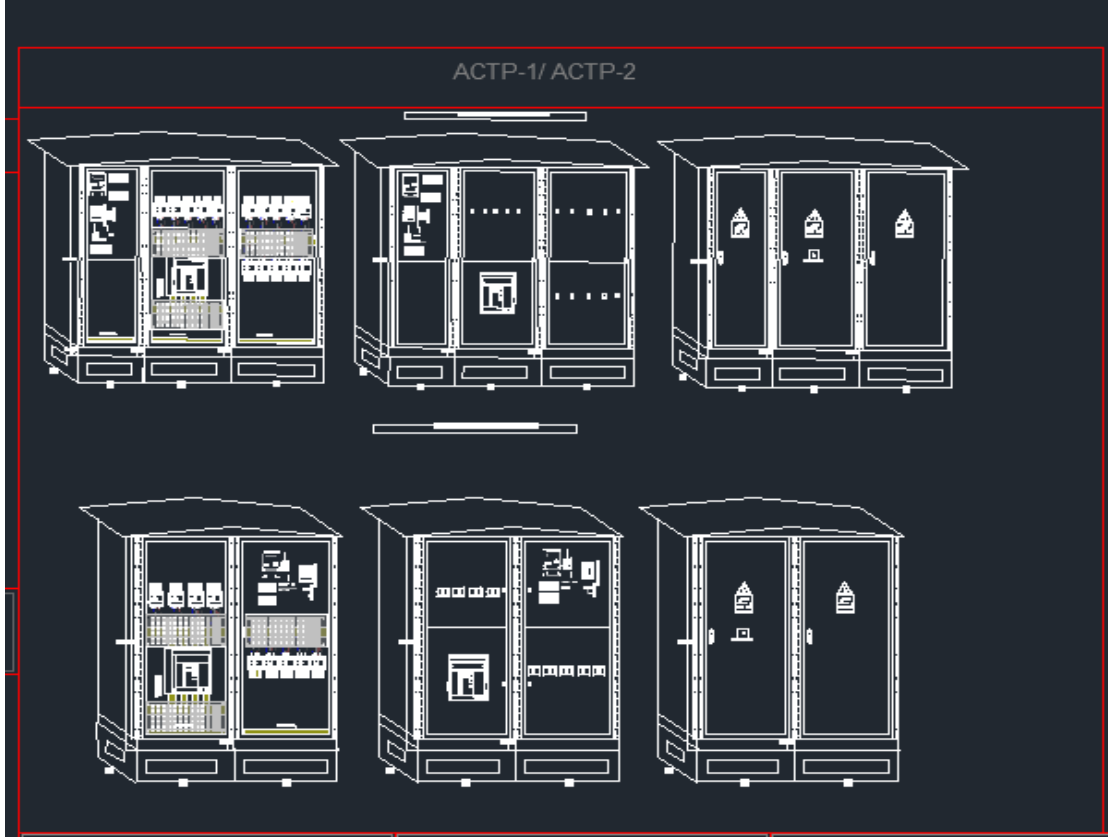


Resim 4. 7. Veri iletim kablosu

4.5. AC DC panolar

Fotovoltaik santrallerde ana pano, AC pano ve DC pano olmak üzere üç farklı tip pano kullanılmaktadır. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde dizi eviricilerin kullanımı tercih edilecekse bu durumda ana pano ve AC panolar kullanılır. Merkezi eviricilerin kullanımı durumunda DC pano kullanılır.

Evirici çıkışlarından alınan enerji AC panolara gelir, buradan da kablolar vasıtasıyla ana toplama panosuna iletilir. Ana toplama panolarında, üretilen enerjinin ölçümü için ölçü aletleri bulunur ve sistem güvenliğini sağlamak için koruma ve izleme görevini yapacak gerekli donanımlar barındırır. Ana toplama panosunda toplanan elektrik enerjisi, AG (alçak gerilim) şalteri ile trafoya iletilir. Bu panolar TSE, CE ve ISO 9001_14001 standartlarına göre imal edilmiştir. Fotovoltaik sistemde kullanılan panolar projede gösterilir.



Şekil 4. 10. AC toplama panosu

Dizi eviricilerden gelen enerjiyi ana toplama panosuna bir iletken üzerinden ileten aracı panolar, AC toplama panolarıdır. İlave olarak bazı güvenlik ve anahtarlama mekanizmaları içermektedir. Bu pano türü metal ve cam elyaf takviyeli olmak üzere iki farklı tipte imal edilmektedir.

Merkezi eviricinin kullanıldığı fotovoltaik sistemlerde, güneş panellerinden gelen DC elektrik enerjisi, DC toplama panolarına gelir. Gelen bu enerji, DC toplama panolarından merkezi evirici sistemine ana DC iletim hattı ile iletilmektedir. DC toplama panolarında, koruma ve anahtarlama işlemini gerçekleştiren ekipmanlar bulunmaktadır.

4.6. AC DC Sigortalar

Sistemde çalışan ekipmanları aşırı yüklerle, kısa devrelerin oluşturacağı yüksek akımlara ve bunları kullanan insanları gelebilecek muhtemel kazalara karşı korumak için kullanılan devre elemanıdır. Bir fotovoltaik santralde sistemde meydana gelebilecek elektriksel bir hatanın tüm sistemi etkileyebileceği ve sistemde yer alan bütün ekipmanların zarar

görebileceği düşünüldüğü zaman bu sistemin ne kadar korunması gerektiği anlaşılabacaktır. Bu sebepten dolayı enerji üreten sistemlerde bazı koruma elemanlarının varlığı söz konusudur. Bu elemanlardan bir tanesi de sigortalardır.

Paneller ve eviriciler arasında kullanılan ve resim 4.8’de verilen sigortalar DC akımı kesmek için kullanılmaktadır. Öncelikle baştan sona doğru gidilecek olursa güneş panellerinden sonra hem pozitif hem negatif tarafına sigorta bulunması gerekir. Bu paneldeki bir hatanın tüm diziyi etkilememesi için yapılır. Bu tür DC sigortalar dizilerin sonrasında panellerde olduğu gibi hem pozitif hem de negatif tarafta bulunmalıdır. Sigortaların seçimi yapılırken evirici DC giriş değerine mutlaka dikkat edilmelidir ve ona göre seçim yapılmalıdır.



Resim 4. 8. Sigortalar (İnternet 1)

4.7. Artık Akım Anahtarları

Artık akım anahtarları, kaçak akım rölesi olarak da adlandırılır. Faz hattı ve nötr hattı arasında bulunur ve sistemde meydana gelebilecek bir yalıtım hatasından kaynaklanan hata akımını algılamak ve algılanan kaçak akım değerinin belirlenen değerlerin üzerine çıkması durumunda bağlı bulunduğu devreyi kesmektir. Herhangi bir yangın veya kaçak akım durumunda devreyi otomatik olarak açarlar. Tek fazda ve üç fazda kullanılan türleri bulunmaktadır. Resim 4.9’da üç fazlı olan türü görülmektedir. Bu tip anahtarlar oluşabilecek kaçak akım ve yangın riskine karşı önlem amaçlı olarak sisteme de kullanılırlar.

AC kısımda kullanılan bu devre elemanlarının fotovolttaik sistemler için geliştirilmiş tipleri de mevcuttur ve tek fazlı ve üç fazlı olarak imal edilmektedir. Kaçak akım rölesi, içinde bulunan toroid içerisinde geçen, devreye giren ve çıkan akımların birbirine eşitliği durumuna göre koruma gerçekleştirir.



Resim 4. 9. Artık akım anahtarı

4.8. Parafudrlar

Parafudrlar elektriksel sistemlerin aşırı gerilim darbelerine karşı korunmasında kullanılırlar. Bu ani aşırı gerilim dalgaları yıldırım ya da iç aşırı gerilim kaynaklı olabilir. Yüksek gerilim hatlarında oluşan aşırı gerilimlere karşı sistemde bulunan ekipmanların zarar görmesini önler. Resim 4.10'da gösterilen parafudr, normalde pasif olan ve sisteme paralel bağlanan koruma elemanıdır.

İletim hatlarında oluşan aşırı yüksek gerilimi sisteme etki ettirmeden toprağa gönderir. Parafudrlar normal işletme halinde yalıtkandır, ancak darbe aldıklarında iletken duruma geçerek aldıkları darbeyi toprağa iletirler. Böylece sistemin işleyişi kesintiye uğramadan darbelere karşı korunmuş olur. Kullanılacak olan parafudr türünün belirlenmesinde; parafudr da oluşacak gerilim değeri, kısa devre akım değeri ve darbe anma akım değeri gibi kriterler dikkate alınmalıdır (Akar, 2016).



Resim 4. 10. Parafudr Röle (İnternet 4)

4.9. Paratoner

Paratoner yıldırım düşmelerinden kaynaklı yaşanacak zararların önüne geçilmesi için yıldırımın düşmesini engelleyen bir araçtır. Paratoner sistemlerinin çubuklarının görevi yıldırımları çekmekten ziyade etkileşimin olduğu durumda yüksek elektrik akımını kontrolü şekilde, toprağa daha küçük dirençli bir yoldan ilerlemesini sağlamaktadırlar. Yıldırım bulunulan alan üzerine düşerse çevreye zarar vereceği için yıldırımdan kaynaklı olan elektrik akımını yapılardan uzağa emniyetli bir şekilde götürerek toprağa akıtmaya çalışır. Paratoner tesisatı beş parçadan oluşur: yakalama çubuğu, iniş iletkeni (bakır), bağlantı parçaları ve direktir.

4.10. Çift Yönlü Sayaç

Çift yönlü sayaç, normal elektrik sayaçlarından farklı olarak ilişkili olduğu sistemdeki elektrik enerjisini hem ileri hem de geri yönde ayrı ayrı ölçebilen, bu ölçümleri depolayabilen ve görüntüleyebilen bir elektrik sayacıdır. Çift yönlü elektrik sayacı, akımın akış yönünü algılar ve her iki akış yönüne ait verileri ayrı ayrı olarak kayıtlarını tutar. Çift yönlü sayaç, güneş panelleri vasıtasıyla kendi elektriğini üreten konut ve ticari müşterilerin ürettikleri ve kullanmadıkları elektriği şebekeye geri satmalarına olanak tanır.

Çift yönlü elektrik sayacının çalışma ve hesaplama tekniği aşağıdaki şekildedir:

Güneş panelinden elde edeceğimiz elektriğin kullanımdan geriye kalan fazla miktarı, çift yönlü sayaç üzerinden geçerek enerji iletim hatlarına gönderilmektedir. Bu işlem sonucu olarak; sayaç üzerinden hatlara gönderilen enerjiyi, elektrik işletmesine satmış

oluyorsunuz. Güç tüketimini ve güç üretimini ölçmek için geleneksel yöntem ise ayrı ayrı olarak iki adet elektrik sayacı kullanmaktır. Bu da kablolamayı daha fazla zorlaştırır, bakımı daha karmaşık hale getirir ve maliyeti de hatırı sayılır ölçüde yükseltir (Gezer, 2019).



5. ÖRNEK HESAPLAMALAR

Çalışmanın bu bölümünde fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve kurulumunda kullanılan formüller ve hesaplamalar sunulmuştur.

5.1. Panel Seçimi ve Hesabı

Fotovoltaik bir güneş enerji santralinde tasarım yapılırken önemli konulardan birisi de panellerin seçimidir. Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin omurgasını paneller oluşturmaktadır.

Şebekeye bağlı olan fotovoltaik sistemlerde, solar paneller tarafından üretilen DC enerji, AC enerjiye dönüştürülür ve buradan şebekeye verilir. Çok sayıda solar hücre bir araya gelerek güneş panelini, birçok sayıda güneş paneli bir araya gelerek de fotovoltaik sistemleri oluştururlar. Bu sistemde ne kadar çok solar modül yer alırsa sistemin kurulum gücü de o derece yüksek olacaktır. Güneş panellerinin kurulumu, doğru yerleşim ve açıların hesaplanmasıyla yapılır.

Ülkemizin kuzey yarım kürede bulunması nedeniyle fotovoltaik santrallerinde panelin yönünün daima güneye bakması gerekir. Ayrıca panel açısının belirlenmesi için santralin bulunduğu alanın koordinatlarının göz önünde bulundurulması gerekir. Amaç panellerin maksimum enerji verimliliği sağlamasıdır. Bundan sonraki aşamada panelin çeşidinin ve tipinin belirlenmesi süreci vardır. Bir fotovoltaik sistemde kurulum maliyetleri yüksektir. Bu yüzden birim alandan daha fazla enerji elde edilmelidir. Bu sebepten dolayı panel seçiminde mümkün mertebe en verimli paneli tercih etmek önem arz etmektedir.

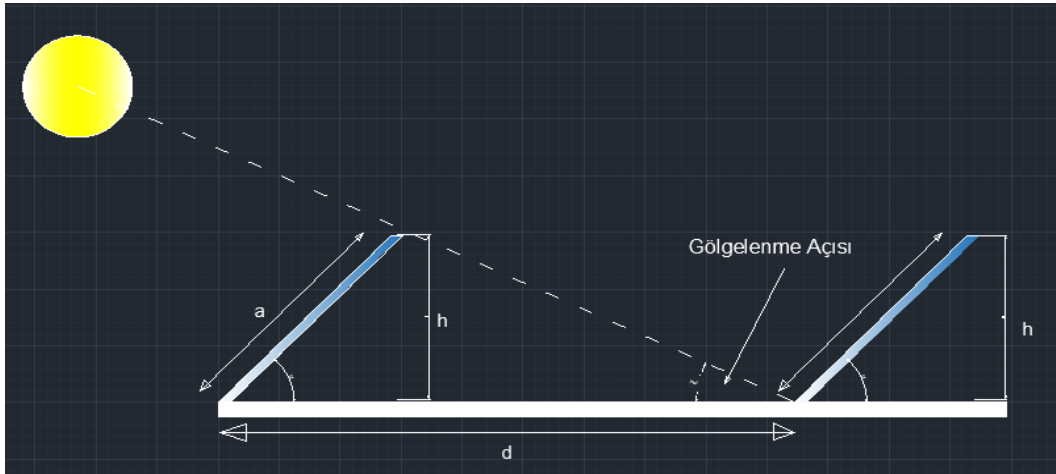
Ülkemizde panel eğim açısı aşağıdaki formül yardımıyla kolaylıkla belirlenebilir. Bu formülde eğim açısı, enlem değeri yardımıyla bulunmaktadır. Eğim açısının değeri, eğer konumlanan enlemin değeri 25'ten küçük ise bu enlemin değerinin 0,87 ile çarpılmasıyla bulunur. Eğer enlem değeri 25 ile 50 arasında ise enlem değeri 0,87 ile çarpılır ve bulunan değere 3,1 derece eklenerek bulunur. Türkiye 36 - 42 derece kuzey enlemleri arasında yer aldığı için, ülkemizdeki tüm kurulum hesaplamalarında bu yöntem kullanılabilir. 50 derece ve üzerindeki enlem değerinde ise optimum açı yaklaşık 45 derece olarak alınabilir.

Türkiye’deki tüm şehirlerde kullanılmak üzere güneş paneli eğim açısı hesabı için ise aşağıdaki formülü kullanabilirsiniz. Hesaplama yardımıyla bulunacak eğim açısı, panelin zemin ile arasında olan açığı ifade etmektedir. Yani sıfır derecelik açı panel eğimi tam yatay, 90 derecelik açı panel eğimi tam dikey konumlanmasını ifade eder (Eker, 2019).

$$\text{Panel Eğimi} = \text{Enlem} \times 0,87 + 3,1 \quad (1)$$

Güneş panelleri, güneş ışığını tutar ve onu elektriğe dönüştürür. Güneş ile güneş paneli arasında bulunan herhangi bir engel üretilen enerji miktarını büyük ölçüde düşürür. Gölgelemenin önüne geçmek ve verimi en yüksek seviyeye çıkarmak için güneş paneli dizileri arasında yeterli boşluk olmalıdır.

Bu hesabın yapılabilmesi için güneşin deklinasyon açısının (δ : Güneşin ekvator düzlemi ile yaptığı açı), panellerin konumlandırılacağı alanın enlemini ve gerçekleştirilecek eğim açısının bilinmesi gerekmektedir. Deklinasyon açısı 21 Haziran’da 23,50 kuzey enlemi yaz gündönümü ve 21 Aralık tarihinde 23,50 güney enlemi kış gündönümü arasında değişmektedir. Ekinoks tarihleri olan 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde deklinasyon açısı sıfırdır (Gönültaş, 2017).



Şekil 5. 1. Panel Aralığı ve Gölgeleme açısı

$$\varepsilon = 90^\circ - \delta - \varphi \quad (2)$$

$$d/a = \cos \beta + \sin \beta / \tan \varepsilon \quad (3)$$

ε : Gölgeleme açısı

δ : Deklinasyon açısı (21 Aralık tarihinde -23,50 'dir.)

φ : santralin bulunduğu enlem

β : Panelin eğim açısı

5.2. Panellerin Seçimi

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla birlikte, fotovoltaik santrallere dünya genelinde ilgi artmaktadır. Fakat bu santrallerin verimli ve kararlı bir biçimde faaliyetini sürdürmesi için en uygun güneş panelinin seçilmesi önem arz etmektedir. Farklı iklim şartları, farklı coğrafi bölgeler ve hedeflenen enerji üretim sonuçlarına göre en uygun panelin hangisi olduğuna karar vermek, projenin başarısında önemli bir rol üstlenmektedir. Santralin kurulacağı bölgenin sıcaklık ve nem gibi iklimsel özellikleri dikkate alınmalıdır. Üreticiler, güneş panelleri için STC (Standard Test Condition = 25 °C hücre sıcaklığı 1000W/m² ışınım altında) olarak anılan Standart Test Koşulları olarak tanımlanan koşullarda panellerin testlerini yaparak bu alanda yatırım yapacak kişileri net ve doğru bilgilendirmeyi hedefler.

Güneş panellerinin üzerinde panel ile ilgili teknik verilerin bulunduğu bir etiket vardır. Bu etiket üzerinde bulunan bazı kavramların daha iyi anlaşılması için teknik olarak açıklanması gerekir. Aşağıda bu teknik terimler açıklanmıştır:

Max Power: Maksimum güç anlamına gelmektedir. Bu panelden elde edilebilecek en yüksek güç değerini ifade eder. Watt kelimesinin kısaltması olan W harfinin yanında yer p harfi İngilizce peak kelimesinin (Türkçesi pig, en tepe uç) kısaltmasıdır. Günün her saatinde panel tesise STC deki gösterilen Wp değerinde güç aktarımı yapamayacaktır. Günün ilk ışıklarıyla beraber panel çok küçük değerlerden itibaren güç üretmeye başlayarak öğle vakti civarlarında en yüksek değere ulaştıktan sonra güneş batana kadar tekrar güç üretmede düşüşe geçer.

Open circuit voltage: Açık devre gerilimi anlamına gelir. Burada ifade edilen kavram; panelin pozitif ve negatif uçları bir voltmetreye bağlandığında ölçülecek olan maksimum gerilim değeridir.

Voltage at mak. power: Panelin etiketi üzerinde bulunan bu değer, panelin bir eviriciye bağlandığında panelden alınacak olan maksimum gerilim değerini ifade etmektedir.

Short circuit current: Panelin pozitif ve negatif çıkışları bir ampermetreye bağlandığında ampermetrede ölçülecek olan akım değerini ifade eder.

Current at mak. power: Bu değer panelin pozitif ve negatif uçları bir eviriciye bağlandığında ampermetreden okunacak olan maksimum akım değerini gösterir.

Max. system voltage: Bu değer panellerin birbirine bağlandığı durumda dizinin oluşturabileceği maksimum gerilim değeri demektir.

Max. number of cells: Güneş panelinin içinde bulunan hücre sayısını gösterir.

5.3. Panel Seçimi ve Hesabı

Güneş enerji santrallerinin elektriksel hesaplaması yapılırken bu işlemi otomatik olarak yapacak hazır programlar bulunmakla beraber bu hesaplamalar manuel olarak da yapılabilmektedir. İlk olarak santralde kullanılacak olan panel sayısının tespit edilmesi gerekmektedir. Sistemin gücü ve sistemin kurulacağı alan panel sayısının belirlenmesinde bir etkindir. Panel seçiminde önemli bir nokta garanti süresidir. Ürün garantisi ve performans garantisi süreleri panel tercihinde önemli bir kriterdir. Fotovoltaik paneller işletmeye alındıktan bir süre sonra %2 - %3 civarında bir kayıp yaşarlar. Burada önemli olan durum belirli bir süre sonunda ne kadar kayıp yaşanacağını öngörebilmektir.

Güneş panelleri için önemli bir kavramda panel gücüdür. Wp ‘Watt Peak’ anlamına gelmektedir, güneş panelinin en uygun şartlarda üretebileceği maksimum gücü ifade eder.

Örnek bir gösterim için Jinko Solar JKM260PP-DV serisi monokristal panel ve teknik bilgileri Resim 5.2’de verilmiştir. Teknik veriler incelendiğinde hesaplamalarda

kullanılacak bazı değerleri görebiliriz. Bunlar P_{max} , V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} , I_{oc} ve sıcaklıkla ilgili karakteristik bilgilerdir.



Resim 5. 1. Panel yerlerinin hazırlanması

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM255PP-60-DV		JKM260PP-60-DV		JKM265PP-60-DV		JKM270PP-60-DV		JKM275PP-60-DV		JKM280PP-60-DV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	190Wp	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp	275Wp	205Wp	280Wp	209Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.1V	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V	32.0V	29.3V	32.3V	29.6V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.75A	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A	8.61A	7.00A	8.69A	7.06A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.0V	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V	39.1V	35.9V	39.4V	36.1V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.22A	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A	9.15A	7.37A	9.20A	7.42A
Module Efficiency STC (%)	15.57%		15.88%		16.19%		16.50%		16.80%		17.11%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C											
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)											
Maximum series fuse rating	15A											
Power tolerance	0~+3%											
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C											
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C											
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C											
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C											

Resim 5. 2. Panel gücü ve çıkış parametreleri görsel örneği

$$\text{Panel sayısı} = \text{Kurulu güç} / \text{Bir panelden elde edilen güç} \quad (4)$$

Kurulu Güç: Elektrik üretimi için gerekli DC güçtür. Bu da üretilecek olan enerjinin pratikte yaklaşık %11-12 fazlasına karşılık gelir.

Ayrıca bir panelin dizi bağlantısı için maksimum ve minimum çalışma gerilimi sınırları belirlenmelidir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır. Burada V_{oc_maks} ve V_{oc_min} değerleri bulunmaktadır.

$$\text{Maks. panel gerilimi } (V_{oc,maks}) = V_{oc} \times [1 + \beta V_{oc} \times (T_{min} - T_{stc})] / 100 \quad (5)$$

$$\text{Min. panel gerilimi } (V_{oc,min}) = V_{oc} \times [1 + \beta V_{oc} \times (T_{maks} - T_{stc})] / 100 \quad (6)$$

V_{oc} değerini, βV_{oc} değeri panele ait olan teknik verilerin yer aldığı dokümanlardan bulabiliriz. T_{stc} ise 25°C dir ve standart test koşullarındaki sıcaklık değeridir. T_{maks} değerini yine panel etiketinden alabiliriz, bu değer işletme sıcaklığının üst değeridir ve 70°C olarak alınabilir.

Aynı hesaplamaları yine panel etiketinde bulabileceğimiz V_{mpp} ve βV_{mpp} değerlerini kullanarak yeniden yapıyoruz. Burada $V_{mp,maks}$ ve $V_{mp,min}$ değerlerini buluyoruz. T_{stc} ise 25°C dir ve standart test koşullarındaki sıcaklık değeridir. T_{min} değerini yine panel etiketinden bulabiliriz, bu değer işletme sıcaklığının minimum değeridir.

$$\text{Maks. Panel gerilimi } (V_{mp,maks}) = V_{mpp} \times [1 + \beta V_{mpp} \times (T_{min} - T_{stc})] / 100 \quad (7)$$

$$\text{Min. Panel gerilimi } (V_{mp,min}) = V_{mpp} \times [1 + \beta V_{mpp} \times (T_{max} - T_{stc})] / 100 \quad (8)$$

Daha sonra panellerin seri bağlanacağı dizinin hesaplamalarının yapılması gerekmektedir. Dizi hesapları, eviricinin giriş gücüne ve mppt giriş sayısına göre yapılır (Akar, 2016).



Resim 5. 3. Eviriciler

Örnek olarak 40 KW güç üreten bir dizi evirici olan REFUsol 40 K serisi eviriciyi inceleyelim.

Product Characteristics		Output Data (AC)	
Model No.	REFUsol 40K	Max. AC Power	40 kW
Warranty		Nominal AC Power	40 kW
Product Warranty (Min)	5 Years	Output AC Voltage Range	320-480 V
Input Data(DC)		Nominal AC Voltage	400 V
Max. DC Power	60 kW	Max. AC Current	59 A
Max. DC Voltage	1000 V	Frequency Range	45-65 Hz
Min. DC Voltage to Start Feed In	350 V	Frequency	50, 60 Hz
Max. DC Current	84 A	Power Factor (cos ϕ)	1
MPP(T) Voltage Range	490-850 V	Distortion (THD)	< 3 %
No of MPP Trackers	1	No of feed-in phases	3
DC Inputs	4	Max. Efficiency	98.2 %
		Euro Efficiency	97.8 %

Resim 5. 4. Evirici parametre değerleri görsel örneği

Resim 5. 4 de verilen eviricinin teknik verileri incelendiğinde; eviricinin minimum çalışma değerinin 350 V ve maksimum giriş geriliminin 1000 V değerinde olduğu görülür. Bununla beraber mppt özellikli bir evirici olması dolayısıyla bir mppt'nin çalışması için minimum gerilim değerleri 490 V ve maksimum gerilim değerleri 850 V'tur.

Belirtilen bu değerlere göre dizideki panellerin toplam maksimum Voc değerinin eviricinin Voc değerinden fazla olmaması ve panellerin toplam minimum Voc değerinin eviricinin

V_{min} değerinden daha az olmaması gerekmektedir. Bununla birlikte dizideki panellerin toplam $V_{mp,maks}$ değeri eviricinin V_{mpp} değerinden fazla olmamalı ve panellerin toplam $V_{mp,min}$ değeri eviricinin V_{mpp} değerinden daha düşük olmamalıdır.

Dizideki maksimum panel sayısını bulmak için aşağıdaki formülü kullanırız.

$$(N_{maks}) = V_{evirici,maks} / V_{oc,maks} \quad (9)$$

Dizideki minimum panel sayısı bulmak içinde aşağıdaki formülü kullanırız.

$$(N_{min}) = V_{evirici,min} / V_{oc,min} \quad (10)$$

Bir dizideki maksimum ve minimum panel sayısını eviriciye ait mppt'ye göre hesaplarsak;

Dizideki maksimum panel sayısı;

$$(N_{maks}) = V_{evirici,mppt,maks} / V_{mp,maks} \quad (11)$$

Dizideki minimum panel sayısı;

$$(N_{min}) = V_{evirici,mppt,min} / V_{mp,min} \quad (12)$$

Formüllerini kullanarak bulmaktayız.

Bu açıklamalar doğrultusunda anlaşılıyor ki panel teknik verileri ve evirici özelliklerini göz önünde bulundurularak dizi sayısını ve bir dizide bulunan panel sayısını sistemin en uygun şekilde çalışmasını sağlamak için hesaplıyoruz.

5.4.Evirici Seçimi

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde, sistemin ana unsurlarından biri olan diğer önemli ekipman eviricilerdir. Eviricilerin şebeke bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit evirici olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır.

Şebekeden bağımsız eviriciler off grid olarak da isimlendirilebilirler. Bu tip eviriciler akülü sistemlerde kullanılmakta olup şebekeye bağlı sistemlerden farkı şarj kontrol cihazlarının ve akülerinin olmasıdır. Şebekeye bağlı sistemler On grid olarak ta adlandırılırlar bu eviriciler, eğer şebekede enerji var ise çalışmaktadır. Aksi durumda santralin çalışmasını durdurmaktadır. Off grid eviriciler, akülü sistemler olduğu için bu sistemlerde santralin kendini kapatması gibi bir durumun oluşması söz konusu değildir.

Hybrid solar fotovoltaik sistem, On Grid ve Off Grid tabanlı güneş enerjisi sistemlerinin birleşimi ile oluşmuş bir sistemdir. Kısaca açıklamak gerekirse, Şebekeye bağlı olup ayrıca aküler ile takviye edilen fotovoltaik sistem olarak tanımlanabilir. Şebeke tarafından sunulan elektrik enerjisini tüketmeye gerek kalmadan, güneş enerjisini herhangi bir zamanda kullanılmak üzere akülere depolanabilmesi özelliği sayesinde elektrik tüketim maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Güneş olmadığı durumda, evirici enerji tüketimine bağlı olarak sadece akülerden aldığı enerjiyi kullanır ya da kullanacağı enerjiyi şebekeden çeker.

Fotovoltaik sistemin kurulacağı yerin arazi yapısı eviricilerin seçiminde dikkate alınması gereken önemli bir noktadır. Eğer sistemin kurulacağı bölgede engebeli alanlar varsa bu durumdan kaynaklı olarak farklı eğim değerleri oluşur. Böyle bir durumda sistemde dizi evirici kullanımı gereklidir. Sistemde farklı üretim değerleri olan dizilerin, aynı mppt'ye bağlı olması verimi önemli oranda düşürebilmektedir. Böyle bir durumda mppt sayısı daha fazla olan dizi eviricileri tercih etmek fayda sağlayacaktır. Panellerin mppt akımlarına göre gruplandırması ve mppt akımları birbirine yakın olan paneller aynı dizide seri olarak bağlanması uyumsuzluk kayıplarını düşürmektedir. Bu sebep dolayısıyla merkezi eviricilere karşılaştırıldığında, mppt noktası daha fazla olan dizi eviricilerin kullanımı verim açısından daha doğru olur. Böylece dizilerden gelen farklı miktarda enerjinin kayba uğrayıp sistemin veriminin düşmesi engellenir.

Dizi eviriciler bu yönden değerlendirildiğinde avantajlı durumda iken hiçbir engebenin bulunmadığı düz alanlarda merkezi eviriciler tercih edilebilir. Ayrıca merkezi eviricilerde bakım ve kablolama maliyetleri daha düşüktür.

Evirici tercihinde önemli olan başka bir durumda eviricilerin kullanılacağı bölgenin günlük ve mevsimsel hava durumudur. Eğer hava şartları gün içerisinde veya mevsimsel olarak

çok değişken ise böyle bir durumda çalışma aralığı geniş olan eviriciler tercih edilebilir. Sistemde kullanacağımız evirici sayısını da;

$$\text{Kullanılacak evirici sayısı } (N_{\text{inv.}}) = \text{Maksimum çıkış gücü} / \text{Evirici çıkış gücü} \quad (13)$$

formülüyle bulunur (Akar, 2016).

5.5.Kablolama

Santrallerde, üretilen enerjinin iletilmesinde iki çeşit kablo kullanılmaktadır. Bu kablolar DC ve AC kablolardır. Panellerden eviricilere kadar olan bölümde resim 5.5 ve resim 5.6'da gösterilen DC kablo kullanılırken eviricilerden sonrası bölümde yani evirici çıkışları sonrası AC kablolar kullanılır. Kullanılacak kabloların seçiminde kablonun uzunluğu, kablodaki gerilim değeri ve güç değerleri önemlidir.

Burada panel bağlantısı seri olduğundan dolayı, dizi akımı ve dizi kısa devre akımı bir panele ait dizi akımına ve dizi kısa devre akımına eşittir. Paneller bir sıra halinde yan yana seri bağlandığı durumda belli bir güçte bir dizi elde edilecektir. Dizi gerilimi ise bir panele ait nominal gerilimi ile dizide bulunan toplam panel sayısının çarpılması sonucu bulunur. Solar kablolar bakır iletken olmaktadır 6 mm² gibi kesitlerde olabilir.



Resim 5. 5. DC Kablolama

Fotovoltaik enerji santrallerinde DC kablolama paneller ile evirici bağlantısını gerçekleştirmek için oluşturulur. Panellerin birbirine bağlanması ise panelin üzerinde bulunan 4mm^2 kesitinde olan kablolar ve konektörler yardımıyla yapılır. Bir dizideki son panelden eviriciye kadar gelen kablonun proje hesabını yaparken aşağıdaki formülleri ve değişkenleri kullanırız.

Dizi Verileri;

Dizi Gücü (P_{Dizi}) = (Bir Panelin Gücü x Dizideki Panel Sayısı)

Dizi Gerilimi (U_{Dizi}) : Dizideki Panel Sayısı x V_{mpp}

Dizi Akımı (I_{Dizi}) = I_{mp} = Bu değer Panel Etiketinde Bulunmaktadır

Dizi Kablo Uzunluğu (L_{Dizi}) : Metre

Dizi Kısa Devre Akımı (I_{sc}) : Bu değer Panel Etiketinde Bulunmaktadır

Dizi Kablo Kesiti (S_{DC}): 6mm^2 tercih edeceğimizi var sayalım

Evirici Verileri;

Max. Giriş Gerilimi ($U_{INV-MAKS}$ Giriş)

Min. Giriş Gerilimi ($U_{INV-MIN}$ Giriş)

Max. Çıkış Gücü ($P_{INV-MAKS}$ Çıkış)

Max. Çıkış Akımı ($I_{INV-MAKS}$ Çıkış)

DC kablolarda meydana gelecek güç kaybı hesabı için gerekli değişkenler ve gerilim düşümünü bulmak için kullanılacak olan veriler aşağıdadır.

$P_{Kayıp}$: Güç Kaybı (W)

K: Elektrik iletkenliği (Bakır= $56\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$)

%e: Solar Kablo Akım Taşıma Kapasitesi



Resim 5. 6. DC Kablolar

$$P_{Kayıp} = (2 \times 100 \times L_{Dizi} \times I_{Dizi}^2) / (S_{DC} \times K) \quad (14)$$

Bu işlemlerin sonucunda DC kabloda var olacak olan kayıp güç değerini elde ederiz. Bu kabloda oluşacak olan gerilim düşümü yüzde olarak aşağıdaki denklem ile oluşur.

$$\%e = (2 \times 100 \times L_{Dizi} \times I_{Dizi}) / (S_{DC} \times U_{Dizi} \times K) \quad (15)$$

Bu işlemin sonucunda bulacağımız değer 1'den küçük olması durumunda belirlediğimiz kesitteki solar kablonun kullanılması uygundur.

Çizelge 5. 1. Solar flex kablo akım taşıma kapasitesi (Akar, 2016)

Kablo Tipi	Kablo Kesiti (mm ²)	Dış Çap (mm)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	Direnç (20 °C) (Ω/km)	Anma Gerilimi (V)	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Flex-Sol-XL	2,5	5,1	41	7,7	1000	-40 °C – 90 °C
Flex-Sol-XL	4	5,8	55	4,75	1000	-40 °C – 90 °C
Flex-Sol-XL	6	7	70	3,39	1000	-40 °C – 90 °C
Flex-Sol-XL	10	8,2	98	1,91	1000	-40 °C – 90 °C

Bu aşamada seçtiğimiz kablo için akım taşıma kapasitesine bakalım. Solar kablo katalog bilgileri doğrultusunda örnek olarak 6 mm² seçtiğimizi var sayarsak FLEX-SOL-XL kablo için akım taşıma kapasitesi 70A'dır.

EK de verilen (Çizelge EK 1.1) Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabında belirtilen değerlerde, kablonun bulunduğu ortam ve kablonun döşeme şekline göre, bu kablonun akım taşıma değerini hesaplamada kullanılacak olan düzeltme faktörü belirlenmektedir (İnternet 4).

Çizelge 5. 2. Solar kablo sıcaklık faktörleri (Akar, 2016)

Ortam Sıcaklığı	40° C	60° C	70° C	80° C	85° C	90° C
30° C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
35° C	0,71	0,91	0,95	0,95	0,95	0,96
40° C	-	0,82	0,89	0,89	0,95	0,91
45° C	-	0,71	0,84	0,84	0,90	0,87
50° C	-	0,58	0,77	0,77	0,85	0,82
55° C	-	0,41	0,71	0,71	-	0,76
60° C	-	-	0,63	0,63	-	0,71
65° C	-	-	0,55	0,55	-	0,65
70° C	-	-	0,45	0,45	-	0,58
75° C	-	-	-	-	-	0,50
80° C	-	-	-	-	-	0,41
85° C	-	-	-	-	-	0,29

Yukarıda belirtilen Çizelge 5.2’de sıcaklık koşulları ile ilgili düzeltme faktörü tespit edilmektedir. Kablonun bulunduğu ortam sıcaklığı da dikkate alınarak seçilen kablo için izin verilen sıcaklık için düzeltme katsayısı belirlenmektedir.

Bu değerlere göre kablonun akım taşıma kapasitesi I_{TK} ;

$$I_{TK} = \text{Kablo Akım Taşıma Kapasitesi} \times \text{Sıcaklık faktörü} \times \text{Düzeltilme Faktörü} \quad (16)$$

Bununla beraber oluşabilecek dizi kısa devre akımının, teorik değerinden %25 daha fazla bir akım akabileceği düşünülerek sistem tasarlandığında;

$$I_{sc_maks} = 1,25 \times I_{sc} \quad (17)$$

İşlemine yaparak I_{sc_maks} değerini buluruz.

Çünkü solar kablonun sistemde sorunsuz çalışabilmesi için $I_{TK} > I_{sc}$ Mak şartını sağlaması gerekmektedir. Projede bulunan dizi kablo tayin tablosu bu hesaplamalar için kullanılır. (Çizelge 5.3).

Çizelge 5. 3. Dizi kablo tayin tablosu

İNVERTER	Dizi	Dizi Uzunluğu (MT)	Dizi Kablo Kesiti (Sdc)	Dizi Akımı (Idizi)	Elektrik iletkenliği (K)	Güç Kaybı Pkayıp (W)	Gerilim Düşümü %e	Güç Kaybı %Pk	Gerilim Düşümü (V)
INV-01	IN-01				56				
	IN-02				56				
	IN-03				56				
	IN-04				56				
	IN-05				56				

5.6. AC Kayıp Güç ve Gerilim Düşümü Hesabı

Bu aşamada yapılacak işlemlerle AC tarafa ait olan verileri hesaplayacağız.

5.6.1. Ana toplama panosu verileri

AC Kurulu Gücü (N_k)

AC Nominal Gerilim (U_N)

Kablo Uzunluğu (L_K)

Kablo Kesiti (S_K)

Dizi Kısa Devre Akımı (I_{sc}): Bu değer Panel Etiketinde Bulunmaktadır

Trafo Gücü (S_K) KVA

$P_{Kayıp}$: Güç Kaybı(W)

K: Elektrik İletkenliği ($Cu=56, Al=35 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$)

%e: Yüzde Olarak Gerilim Düşümü Oranı

I_{TK} : Solar Kablo Akım Taşıma Kapasitesi

I_N : İşletme akımı

$\cos\phi : 1,00$



Şekil 5. 2. Toplama panosu

$$I_N = N_k / (U_N \times 3\sqrt{3} \times \cos\phi) \quad (18)$$

Bu formül yardımıyla ($I_{Ana\ Pano}$) akımını elde ediyoruz.

5.6.2. Trafo ana pano arası güç kaybı

Sistemde Trafo ve Ana Pano arasında güç kaybı oluşmaktadır, bu kayıp güç miktarını aşağıdaki formülü kullanarak watt cinsinden buluyoruz.

$$P_{KAYIP} = (3 \times L_K \times I_N^2) / (S_K \times K) \quad (19)$$

5.6.3. Trafo ana pano arası gerilim düşümü hesabı

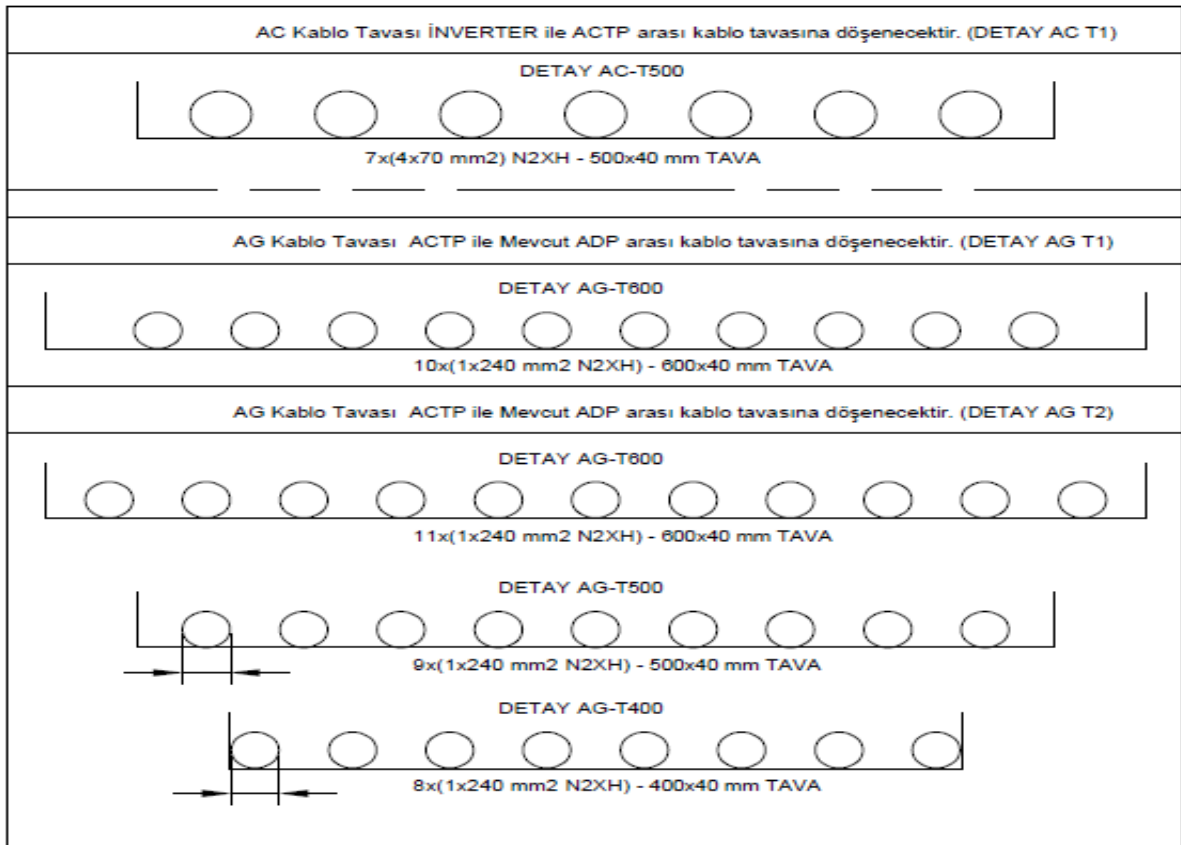
Trafo ve Ana Pano arasında oluşan güç kaybını yine yüzde olarak bulabilmekteyiz.

$$\%e = (\sqrt{3} \times 100 \times L_K \times I_N) / (S_K \times I_N \times K) \quad (20)$$

Sistemin DC tarafında gerçekleştirdiğimiz gibi AC tarafı içinde kablo akım taşıma kapasitesini bulmaktayız. Burada yine iletkenlerin bulunduğu ortamdaki hava ve toprak sıcaklıklarına, iletken izolasyon tipine göre, Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri

Genel Teknik şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabında bulunan tabloları kullanarak K1, K2, K3, K4, K5 düzeltme faktörlerini buluyoruz. Bulduğumuz bu değerleri aşağıda verilen formülde yerine koyarak kullandığımız iletkenin akım taşıma kapasitesini bulmuş oluyoruz (Güneş, 2021).

EK de verilen Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabında belirtilen; kablolar arası açıklığı belirleme faktörleri tablosu K1 değerini (Çizelge EK 1.3), hava sıcaklığına göre iletken düzeltme faktörleri tablosu K2 değerini (Çizelge EK 1.4), toprak sıcaklığına göre iletken düzeltme faktörleri tablosu K3 değerini (Çizelge EK 1.5), toprak termik direncine göre iletken düzeltme faktörleri tablosu K4 değerini (Çizelge EK 1.6) ve toprak derinliğine göre iletken düzeltme faktörleri tablosu K5 değerini (Çizelge EK 1.7) vermektedir.



Şekil 5. 3. Kablo döşeme özelliklerinin projede belirtilmesi

5.6.4. Trafo ana pano arası akım taşıma kapasitesi

Tablolar yardımıyla bulduğumuz düzeltme faktörlerini de kullanarak kablo akım taşıma kapasitesini bulabiliriz.

$$I_{TK} = \text{Kablonun Nominal Akım Taşıma Değeri} \times \text{Hattaki iletken sayısı} \times K1 \times (K2 \text{ veya } K3) \times K4 \times K5 \quad (21)$$

Bulduğumuz bakır kabloya ait akım taşıma kapasitesi, çıkış akımından büyük olduğu durumda kullanımı uygundur. Aynı formülü ve tabloları kullanarak ana pano ile evirici çıkışları arasındaki kablolar içinde akım taşıma kapasitesini buluruz bulduğumuz değer evirici çıkış akımından büyük olduğu durumda uygundur diyebiliriz. Sistemde kullanılan iletkenlerin döşeme durumları şekil 5.3'teki gibi projede belirtilmektedir.

5.6.5. Yüksek gerilim tarafı için AC kablo hesabı

Sistemde trafo çıkışından sonraki kısım içinde iletken hesabını yapmamız gereklidir. Bu aşamada kullanacağımız veriler aşağıdaki gibidir.

I: İşletme Akımı (A)

N: Trafo Gücü(kVA)

U: İşletme Gerilimi (V)

%e: Gerilim Düşümü

L: Mesafe (km)

K: Sabit (m/Ω.mm²)

C: Sabit(V)

P_k: Güç Kaybı (kW)

P: Aktif Trafo Gücü (P_k x 0,8)

R: (Ω/Km) – Rezistans

X: (Ω/Km) – Reaktans

Burada gerilim düşümü hesabını yapıyoruz.

$$\%e = 10^{-4} \times K \times N \times L \quad (22)$$

Ya da;

$$\%e = \frac{L \times N}{10} \times \frac{(RCOS\alpha + RSIN\alpha)}{U^2} \quad (23)$$

şeklinde hesaplanır.

Güç kaybı hesabını aşağıdaki gibi hesaplarız.

$$P_K = 10^{-6} \times C \times P^2 \times L \quad (24)$$

Çizelge 5. 4. Örnek kablo katalog değerleri

İLETKEN		35 KV		15 KV		6.3 KV	
		K	C	K	C	K	C
3(1×50)		0,37	0,32	1,79	1,55	11,22	9,25
3(1×70)		0,29	0,22	1,38	1,07	8,67	6,75
3(1×95)		0,23	0,16	1,12	0,75	7,02	4,85
3(1×120)		0,20	0,12	0,98	0,65	6,12	3,85
AWG3	(Swallow)	0,908	0,902	„8	4,773	27,211	27,05
1/0	(Raven)	0,547	0,449	2,898	2,37	18,427	13,47
3/0	(Pigeon)	0,428	0,282	2,265	1,49	11,84	8,46

Çizelge EK 1.2 ve Çizelge 5.4 iletkenine ait katalog bilgileridir. Çizelge EK 1.2’de kesit değerine göre iletkenin çapı, ağırlığı, direnci, kapasitansı, endüktansı ve akım iletkenliğine ait üreticisi tarafından verilen bilgileri görmekteyiz. Çizelge 5.4’te iletkenine ait olan gerilim düşümü ve güç kaybı hesaplamasını yaparken kullanacağımız K ve C değerlerini görmekteyiz.

5.6.6. Akım taşıma kontrolü

Bu formülde bulduğumuz akım değeri ilgili kablo değerleri ile karşılaştırılmalı ve katalog ta belirtilen değerden daha küçük olmalıdır.

$$I = N / (\sqrt{3} \times U) \quad (25)$$

5.6.7. Trafo seçimi ve hesabı

Trafo ve çeşitleri önceki bölümde detaylıca anlatmıştık. Oradaki bilgiler ışığında, tesis için gereken trafo çeşidini seçeriz.

Kurulu Güç (P_k) = 1000 kW

Kayıp Faktörü = %10

Talep Faktörü (k) = 1

$\cos\phi = 0,98$

$$\text{Trafo gücü} = (P^k \times k \times 1) / \cos\phi \quad (26)$$

Burada bulduğumuz değer tesis için gerekli olan en düşük güç değeridir, bu değere göre kullanılacak olan trafo seçilecektir. Bu bölümde buraya kadar yaptığımız hesaplamalarla fotovoltaik tesisin bütün bileşenlerine ait matematiksel ifadeleri ortaya çıkarmış olduk (Akar, 2016).

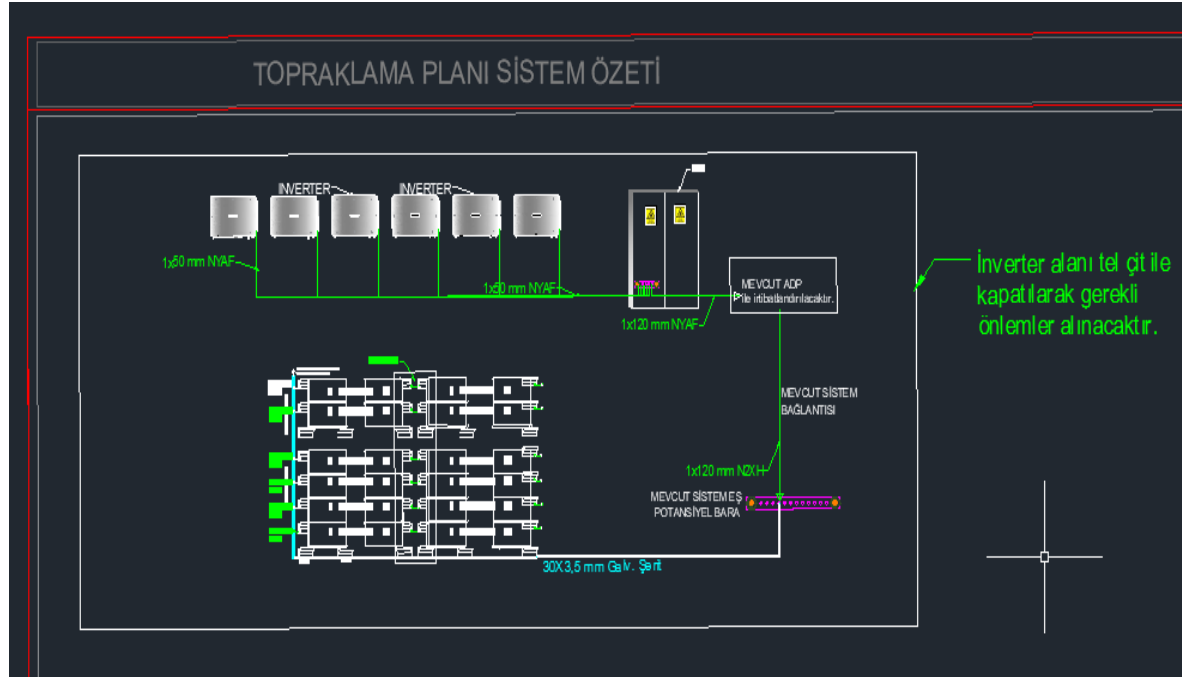
5.7. Topraklama Hesabı

İşletmelerdeki elektrik ile çalışan ekipmanların aktif olmayan metal kısımlarının bir iletken üzerinden toprakla irtibatlandırılmasına topraklama denir. Burada sözü edilen işletmelerdeki elektrik ile çalışan ekipmanlar trafo, motor, ayırıcı gibi araçlardır. Aktif olmayan kısımlar ise üstünde gerilim bulundurmayan kısımlardır.

Güneş panelleri montaj yeri özelliğine göre som bakır ve esnek bakır iletkenler ile topraklanırlar. Panellerinin Topraklaması yapılırken, bağlantı noktalarında, farklı malzemelerin kullanımı dolayısıyla korozyon oluşabilir ve bu durum topraklama direncini yükseltir. Bu sorunun önüne geçmek için paslanmaz materyalden imal edilmiş bağlantı klemensi, cıvata, somun, pul kullanmak gerekir.

Bu bölgelerde, kısa devre arıza akımlarının meydana gelmesinden dolayı oluşabilecek adım ve dokunma gerilimlerine karşı engel olması bakımından IEEE 80 2000'e göre hazırlanmış bir topraklama sistemi gerçekleştirilmelidir.

Topraklama işlemi tesis edilirken santraldeki tüm elemanların topraklanması gerekir. Bununla birlikte trafo ve bazı önemli alanların topraklamasının ayrıca incelenip işlemlerin yapılması gereklidir. Dolayısıyla hem santralin geneli hem de trafo merkezi topraklanacaktır.



Şekil 5. 4. Topraklama planı sistem özeti

Fotovoltaik santralde topraklama hesabı aşağıdaki gibi yapılır ve projede yerini alır.

Tesisin Uzunluğu (a)

Tesisin Genişliği (b)

Tesisin Alanı (A)

Toplam İletken uzunluğu (L)

Toprak Özgül direnci (ρ)

Topraklama Çubuğu sayısı (n)

Topraklama Çubuğu uzunluğu ($L_{\text{ç}}$)

Topraklama Çubuğu çapı ($d_{\text{ç}}$)

Çizelge 5. 5. Toprak özgül dirençleri

Toprağın Cinsi	Özgül Direnci (ohm.metre)
Bataklık	30
Killi Toprak	100
Rutubetli Kum	200
Rutubetli Çakıl	500
Kuru Kum veya Çakıl	1000
Taşlık Zemin	3000

Alanı topraklama ağının kapladığı alana eşit olan bir dairenin çapı (D)

$$D = \sqrt{4 \times \frac{\pi}{A}} \quad (27)$$

Topraklama iletkeni direnci (R_{ζ});

$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{2 \times D} + \frac{\rho}{L} \quad (28)$$

Evirici koruma iletkeni (R_i);

İletken Uzunluğu (L)

İletken Kesiti (S)

İletken Çapı (R)

$$R_i = \frac{S}{\pi \times L} \times I_n \frac{2 \times L}{R} \quad (29)$$

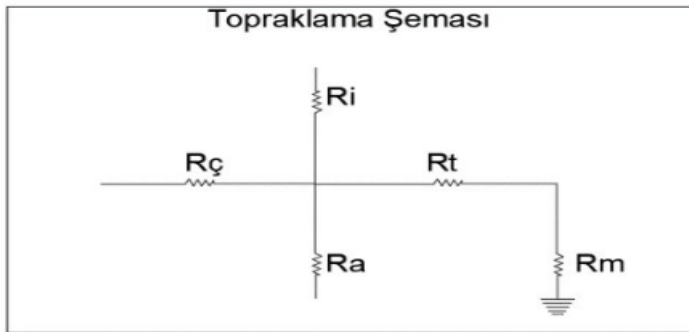
ACTP (Ana Toplama Panosu) Koruma İletkeni (R_a);

$$R_a = \frac{S}{\pi \times L} \times I_n \frac{2 \times L}{R} \quad (30)$$

Bu değerler bulunduktan sonra R_t değerini aşağıdaki formül ile buluyoruz.

$$R_t = \frac{(R_{\zeta} \times R_i \times R_a)}{(R_{\zeta} \times R_a + R_i \times R_{\zeta} + R_a \times R_i)} \quad (31)$$

$$R_{eş} = R_m + R_i \quad (32)$$



Şekil 5. 5. Topraklama şeması

$R_{eş} < 2 \text{ Ohm}$ olduğu durumda topraklama uygundur diyebiliriz.

Bu bölümde buraya kadar yaptığımız hesaplamalarla fotovoltaiik tesisin bütün bileşenlerine ait matematiksel ifadeleri ortaya çıkarmış olduk.

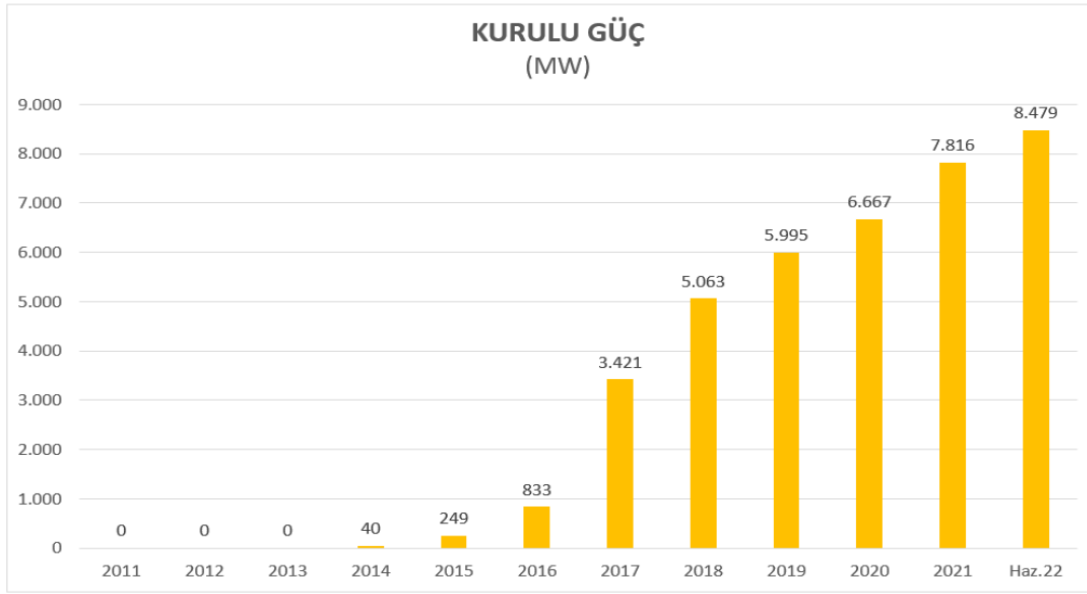
6. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Güneş dünyadan $1,5 \times 10^{11}$ m mesafeden bir enerji kaynağıdır. Güneşten radyasyon olarak yayılan enerji kayba uğrayarak yeryüzüne ulaşmış olur. Güneş enerjisinin dünyaya ulaşmasının önünde engel olarak bulunan birçok etken vardır. Güneşten dünyaya gelen enerjinin %50 oranındaki miktarı yeryüzüne ulaşırken, %30 oranında atmosferden geri yansır. Atmosferdeki absorbe edici etkiye sahip CO_2 gibi gazlar ve su buharının varlığı ayrıca güneş ve yer küre arasındaki mesafe bu kayıplara neden olmaktadır. Atmosferin dışındaki güneş ışıınımı değeri 1367 W/m^2 iken yer yüzündeki değeri 1000 W/m^2 değerindedir (Karamanav, 2007).

Dünyada kutup dairesi ve dönenceler arasında yer alan kuşağa orta kuşak denir ve Türkiye bu bölgede yer almaktadır ve bu nedenden dolayı ortalama güneşli gün sayısı fazladır. Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından diğer birçok ülkeye kıyasla daha zengin durumdadır. Güneş; sadece ülkemiz açısından değil bütün dünya için çok önemli bir enerji kaynağı durumundadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri $1527,46 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı aşağıda yer almaktadır (Tunçgövd, 2020).

Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 8,479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır (ETKB, 2024).

Güneş panellerinden alınabilecek olan maksimum gücü almak için bölgesel iklimsel özelliklerinin iyi araştırılıp buna göre önlemler alınması gerekmektedir. Güneş panellerinde sistem verimliliğini etkileyen en önemli iklimsel değişkenler; hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, hava kirliliği ve toz gibi etkenler olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6. 1. Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı kurulu güçleri (ETKB, 2024)

6.1.Rüzgârın Enerji Üretimi Üzerine Etkisi

Rüzgârın paneller üzerindeki soğutma gücünün etkisiyle sıcaklığın yüksek olduğu aylarda güneşin ve rüzgârın yeterli olduğu hava şartlarında üretim rüzgâr hızıyla doğru orantılı olarak artar. Yaz mevsiminde sıcaklığın değerinin yüksek olduğu günlerde oluşan rüzgârın hızı sayesinde paneller soğuyarak tehlikeli panel yüzey sıcaklık değerlerine ulaşmaz ve sistem üretime devam eder. Bu durumun nedeni yukarıda da söz edildiği gibi güneş panellerinin iç dirençlerinin sıcaklıkla yükselmesi nedeni ile üretim verimlerinin sıcak havalarda tahmin edilenin tersine düşüşe geçmesidir. Bu durum sistemin kurulduğu bölgenin rüzgârlı olması sonucunun üretimi özellikle sıcak bölgelerde olumlu yönde etkilediğini gösterir (Naziksoy, 2022).

Rüzgâr hızı soğuk dönemlerde güç çıkışını yaz dönemi kadar etkilemez ayrıca rüzgâr hızından bağımsız bir güç üretimi meydana gelir: bu da şubat ayı sıcaklıklarının düşük olması sonucunda panel yüzey sıcaklığının doğal olarak düşük değerlerde kalmasıdır.

6.2. Panel Yüzey Sıcaklığına Etki Eden Durumlar ve Yüzey Sıcaklığının Etkileri

Sistemin bulunduğu bölgedeki coğrafi şartların yüzey sıcaklığına etkisi, oldukça fazladır. Özellikle güneş ışıının en üst değerlerde olduğu anlarda panellerin yükselen hücre sıcaklıkları nedeni ile oluşan iç direnç artışı sonucunda sistemin veriminde ciddi bir düşüşün oluşacağı bilinmektedir. Sistemin kurulu olduğu bölgedeki rüzgâr hızı ve rüzgâr etkileri panellerin sıcaklığının düşmesi yönünde pozitif bir etkide bulunarak iç dirençlerin düşmesine ve sistem verimliliğinin artmasına önemli bir katkıda bulunmuştur (Şahin, 2019).

6.3. Hava Kirliliği ve Panel Yüzey Kirliliği

Hava kirliliği ve diğer olumsuz dış etkenlerinde üretim üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. Örnek olarak çevredeki bacalardan gelen duman ve buna bağlı oluşan partiküllerin yoğun bir şekilde panel yüzeylerinde oluşturduğu kirliliğin panel verimini düşürdüğü net olarak söylenebilir. Kurulmuş olan sistemin olduğu bölgede bacalara yakın bulunan panel dizisinin bağlı olduğu eviricinin çıkışı ile bacadan uzak olan diğer evirici çıkışları karşılaştırıldığında bacaya yakın panellerin bağlı olduğu çıkışın daha düşük güç aktarımı yaptığı görülecektir (Naziksoy, 2022).

Yine yağmur yağışı, kar yağışı ve çığ yağışının yaşandığı zamanlarda sistemin verimliliğinin düştüğü ve panel yüzeylerinin temizlenmesinden sonra verimde artış sağlandığı görülecektir.

6.4. Güneş Radyasyonunun Enerji Üretimine Etkisi

Yaz dönemlerinde güneş radyasyonu ile güç çıkışı değerleri incelendiğinde, çıkış gücünün doğrudan güneş radyasyonunun etkisinde olduğu ve bu etkinin güneş radyasyonunun yüksek olduğu saatlerde en yüksek değere çıktığı görülecektir. Yani ışımanın en yüksek olduğu saatlerde güneş radyasyonunun da doğru orantılı olarak yükseldiği ve bunun sonucunda da enerji üretimini arttırdığı sonucu oluşacaktır. Diğer etkiler göz ardı edilip sadece güneş radyasyonu ve üretim değerleri incelendiğinde üretimi etkileyen en ciddi etkinin güneş radyasyonu ve ışıının değerleri olduğu sonucuna varılacaktır.

Kış döneminde güneş radyasyonu ile güç çıkışı değerleri incelendiğinde yaz dönemindeki verilere benzer bir durumun varlığı görülür, bu sebepten ötürü güneş radyasyonu değerlerinin üretimi doğrudan etkilediği ve bu etkinin olumlu yönde olduğu sonucuna varılır. Yaz dönemine kıyasla kış dönemindeki veriler incelendiğinde sistemin güç üretimin yaz mevsimine oranla güneş radyasyonuna olan bağlılığın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kış aylarında rüzgâr gibi diğer etkilerin üretime etkisinin daha düşük olması bu durumun sebebi olduğu sonucuna ulaşılır.

6.5. Güneş Takip Sistemleri

Güneş takip sistemleri bir güneş enerji santrallerinin verimliliğine direkt etki eden bir sistemdir. Bu sistemler güneş enerjisinden en etkin biçimde faydalanma esasına göre çalışmaktadır. Güneş panelleri güneşten gelen foton enerjisini kullanarak güneş ışığından elektrik enerjisi elde etmektedirler. Buradan sağlanan elektriksel enerji ile panel üzerine düşen güneş ışığı miktarı arasında doğru orantı bulunmaktadır (Shakarji, 2020).

Dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneşin etrafında dönmesinin neticesinde dünyaya ulaşan güneş ışınları arasında farklı açılar bulunmaktadır. Bu yüzden güneş panellerinden en üst düzeyde elektrik enerjisi elde edebilmek için, fotovoltaiik sistemin güneş yörüngesini takip etmesi gerekir. Güneş yörüngesini takip ederek ışınlardan en yüksek seviyede yararlanmayı ve verimin artırılmasını amaçlayan bu sisteme güneş takip sistemi denir. Ayrıca güneş takip sistemleri santralin verimini artırarak yatırım maliyeti geri dönüş süresini de kısaltmaktadır. Dünyanın hem kendi eksenini etrafında hem de güneşin etrafında dönmesi sebebi ile iki adet yörüngesi bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı güneşin konumu hem mevsimler hem de yılın günlerine göre değişiklik göstermektedir. Güneş takip sistemleri takip eksenlerine göre tek eksenli ve çift eksenli olarak iki tiptir. Kontrol sistemlerine göre de açık çevrim kontrol ve kapalı çevrim kontrol olarak ikiye ayrılmaktadır.

6.5.1. Tek eksenli güneş takip sistemleri

Tek eksene sahip güneş takip sistemleri güneşi yalnızca tek eksenle takip etmektedir. Bu eksen yatay eksen ya da dikey eksen olabilir.

Tek Yatay Eksenli Sistemler

Yatay eksenli sistemler yer düzlemine paralel resim 6.1’ de verilmiştir ve kuzey güney doğrultusunda konumlandırılan bir mile monte edilmiş panellere sahip sistemlerdir. Milin dönme hareketi ile panel doğu batı yönünde güneşi takip edebilir.



Resim 6. 1. Yatay eksenli güneş takip sistemli panel (Yılmaz, 2013)

Güneşin gün boyunca doğuşundan batışına kadar geçen yol boyunca güneş takip edilir yani güneşin günlük yaptığı hareketin sonucudur. Kış döneminde verimleri düşük olmaktadır, fakat yaz döneminde verimleri oldukça yüksektir.

Tek Dikey Eksenli Sistemler

Bu tip takip sisteminde yer düzlemine dikey bir açıyla monte edilen bir eksenle hareket sağlanmaktadır. Dikey eksenle hareket eden panellerin yükseliş açıları sabit ya da mevsimsel olarak ayarlanabilir (Resim 6.2).

Bu sistemlerde güneşin hareketini günlük olarak takip eder. Güneş doğup batıncaya kadar olan hareket ekseninde dönüş sağlar. Tek bir motor yardımı ile hareket sağlanabilir. Yine bu sistemlerde tek eksenli hareketli sistemler sınıfına dahildir.



Resim 6. 2. Dikey tek eksenli güneş takip sistemli panel (Yılmaz, 2013)

6.5.2. Çift eksenli güneş takip sistemleri

İki eksene sahip olan güneş takip sistemleri güneşi hem yatay ekseninde, hem de dikey ekseninde takip edebilmektedir. Resim 6.3'te gösterilen bu sistemler iki açısal kontrol gerçekleştirerek paneli güneşe doğru yönlendirmektedir.

Güneş dünya üzerinde hem günlük hem de yıllık olarak konum değiştirmektedir. Bu sistemlerde yatay eksen doğu batı yönünde gerçekleşen hareketi sağlamaktadır. Dikey eksen kuzey güney yönündeki hareketi sağlamaktadır. Çift eksenli güneş takip sistemleri, tek eksenli güneş takip sistemlerine göre daha verimlidir fakat maliyet olarak tek eksenli takip sistemlerine nazaran daha maliyetlidir (Önal, 2009).



Resim 6. 3. Çift eksenli güneş takip sistemli panel (Korkmaz, 2019)

7. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışmasında Kayseri ilinde bulunan ve aktif olarak çalışan sabit eğimli bir santralin bir yıllık gerçek üretim verileri elde edilmiş sonrasında PVsyst simülasyon programı ile bu santral yeniden tasarlanarak çift yüzölçüm panel, doğu batı yönündeki eksen ile tek eksen güneş takip sistemi, kuzey güney yönündeki eksen ile tek eksen güneş takip sistemi ve çift eksenli güneş takip sistemi ile yıllık üretim verileri alınmış ve bu veriler üzerinden verimleri analiz edilmiştir.

7.1. PVsyst Simülasyon Programı

Bu çalışmada fotovoltaik sistem modellemesi yapmak ve modülasyon başlatıp üretim verilerini analiz etmek için PVsyst 7.4 programı kullanılmıştır. Fotovoltaik sistemler için seçilen koordinatlarda şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve solar pompa uygulamaları gerçekleştirilebilen ve bu uygulamalarda kullanılacak olan panel, evirici vb. bileşenlerin seçiminin yapılabildiği ücretli olarak sunulan bir yazılımdır. Deneme süresi ile bir ay ücretsiz olarak kullanılabilir.

İsviçre’de bulunan Cenevre Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen bu yazılımın gerçek değerlere çok yakın sonuçlar sunduğu belirtilmiştir (Maltaş, 2017). PVsyst yazılımıyla seçilen koordinatlarda çatı üstü ve arazi kurulumları için planlanan güce ya da alana göre, sabit eğimli, tek eksenli hareketli ve ya çift eksenli hareketli sistem modellemesi yapılabilmektedir. Metenorm 8.0, NREL/NSRDB TMY, NASA-SSE, Solcast TMY, PVGIS TMY, farklı kaynaklar seçilerek meteorolojik veri aktarımı yapılabilmektedir. Muhtemel kayıplar için veri girişi yapıp simülasyon sonucu raporlanabilmektedir.

Bu çalışmada yapılan incelemeler sonucu olarak gelişmiş bir veri tabanına sahip olması, fotovoltaik sistem kayıplarının ayrıntılı olarak işlenebilmesi, üç boyutlu modellemeye imkan tanınması, gölgelenme kayıplarını hesaplayabilmesi, meteorolojik verileri kapsamlı olarak işleyebilmesi ve ekonomik analiz yapabilme yeteneği olması dolayısıyla Pvsyst programı kullanımına karar verilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda incelenmiş ve bir çok çalışmada gerçek sonuçlar ile simülasyon sonuçları arasında çok yakın değerler ortaya çıktığı görülmüştür.

8. BULGULAR

Bu bölümde Kayseri ilinde hali hazırda çalışmakta olan örnek bir fotovoltaik santralin simülasyon verileri PVsyst 7.4 programı ile oluşturulmuş ve gerçek verileri (Arslan, 2020) ile karşılaştırılıp verimi incelenmiştir.

8.1. Kayseri İli İklimsel Özellikleri

Gerçek üretim verileri ile simülasyon sonucu elde edilen üretim verilerinin karşılaştırıldığı santral Kayseri ili Sarioğlan ilçesinde bulunmaktadır. Rakımı 1071 m ve 16975 km² yüzölçümü olan Kayseri, İç Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Toros Dağlarının birbirine yaklaştığı bir yer olan Orta Kızılırmak bölümünde bulunmaktadır. 37 derece 45 dakika ile 38 derece 18 dakika kuzey enlemleri ve 34 derece 56 dakika ile 36 derece 58 dakika doğu boylamları arasında bulunmaktadır (İnternet 2).

Doğu ve kuzeydoğusunda Sivas, kuzeyinde Yozgat, batısında Nevşehir, güneybatısında Niğde, güneyi ise Adana ve Kahramanmaraş illeri bulunmaktadır.

KAYSERİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1931 - 2023)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1,6	0,3	4,8	10,6	15,1	19,0	22,3	22,1	17,5	11,9	5,6	0,8	10,7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4,2	6,3	11,5	17,8	22,6	26,9	30,7	30,9	26,7	20,5	13,1	6,6	18,1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6,7	-5,1	-1,3	3,2	6,9	9,9	12,1	11,6	7,5	3,6	-0,8	-4,3	3,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,0	4,0	4,9	6,2	8,3	10,3	11,9	11,4	9,1	6,7	4,9	2,9	7,0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	NaN												
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	36,1	36,2	43,4	51,1	51,5	41,7	10,4	8,9	14,8	27,5	31,8	37,1	390,5
Ölçüm Periyodu (1931 - 2023)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19,3	22,6	28,6	31,2	34,2	37,6	40,7	40,6	38,4	33,6	26,0	21,0	40,7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-32,5	-31,2	-28,1	-11,6	-6,9	-0,6	2,9	1,4	-3,8	-12,2	-20,7	-28,4	-32,5

Resim 8. 1. Kayseri ili resmi meteorolojik istatistikleri ekran görüntüsü (İnternet 2)

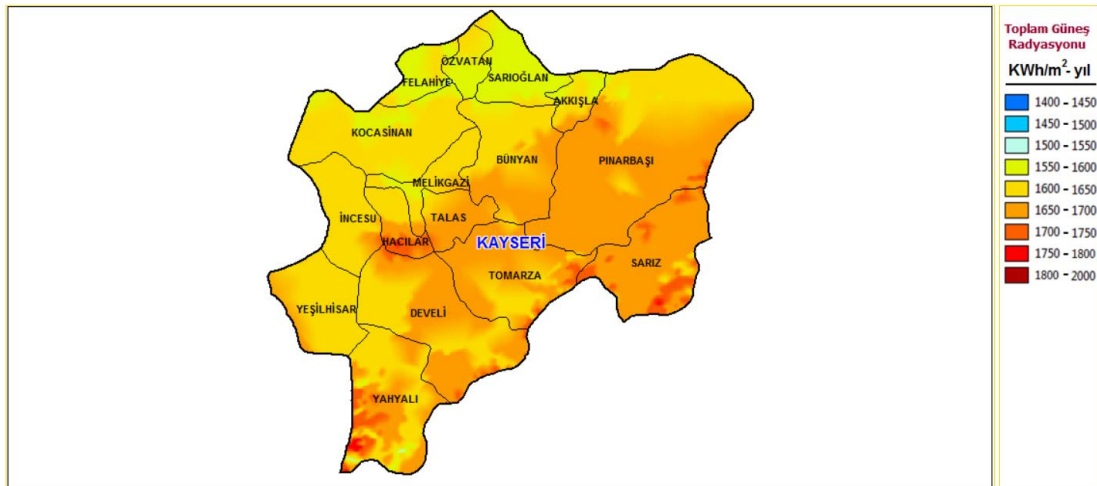
Kayseri ilinde ortalama en yüksek sıcaklık 30,9 derece ile ağustos ayında ölçülmüş ve ortalama en düşük sıcaklık -6,7 derece ile ocak ayında ölçülmüştür. Güneşlenme süresi ise saat olarak en yüksek 11,9 saat ile temmuz ayında ölçülmüş ve en düşük olarak ta 2,9 saat

ile aralık ayında ölçülmüştür. Bu veriler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır (Resim 8.1).

8.2. Kayseri İli Güneşlenme Potansiyelleri

Kayseri İli tarım ve sanayileşme alanında giderek gelişmektedir. Sanayileşme geliştikçe elektrik ihtiyacı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sebepten Kayseri’de güneş enerji santrali sayısı sürekli artmaktadır.

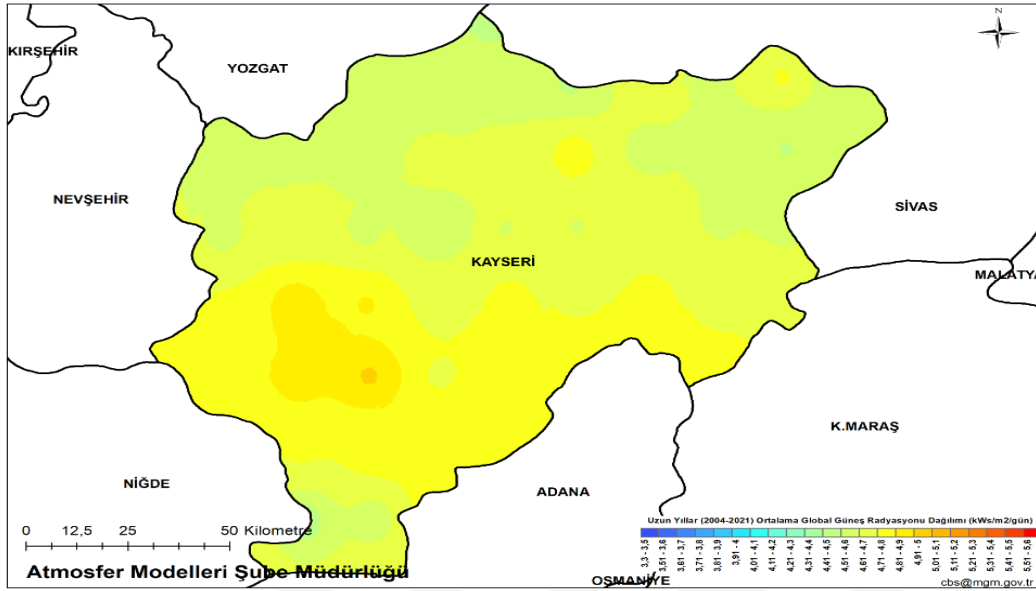
Türkiye’nin matematiksel ve özel konumu ve iklim özellikleri nedeni ile oldukça yüksek bir güneş potansiyeline sahiptir. Bu sebep dolayısıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasını oluşturmuştur. GEPA verilerine göre Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresi 2741 saat ve günlük ortalama güneşlenme süreside 7,5 saattir. Toplamda yıllık gelen güneş enerjisinin miktarı 1527 kWh/m^2 .yıl dır. Günlük ortalama ise $4,18 \text{ kWh/m}^2$.gün dür. Kayseri’nin güneş enerji potansiyeli atlasını incelediğimizde ortalama günlük global radyasyon değeri $4,5 \text{ kWh/m}^2$ gün olduğu görülmektedir. Türkiye’nin yıllık ortalaması ise yıllık global radyasyon değeri $4,18 \text{ kWh/m}^2$ gün olarak görülecektir. Buradan Kayseri ilinin Türkiye ortalamasının üstünde olduğunu anlaşılmaktadır.



Şekil 8. 1. Kayseri ili güneşlenme potansiyeli (İnternet 3)

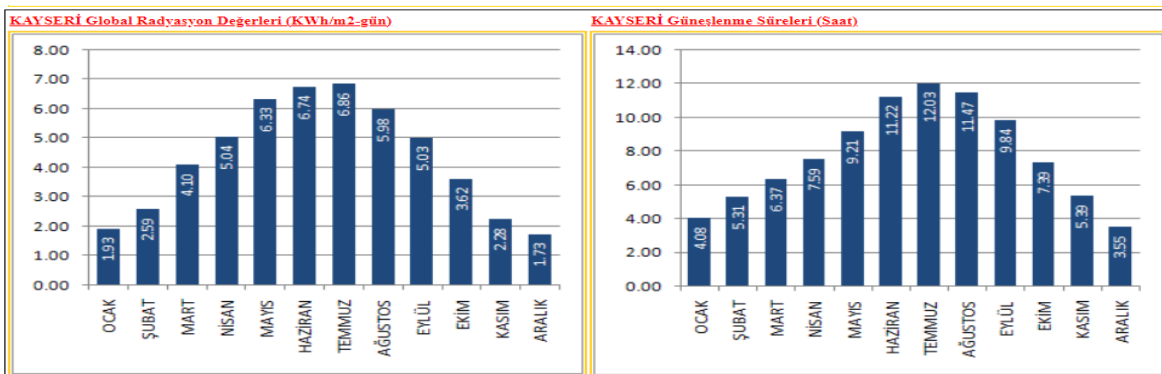
Haritayı inceleyecek olursak Yahyalı, Hacılar, Sarız gibi bölgelerinin radyasyon değerinin $1650\text{-}1750 \text{ kWh/m}^2$ değerlerinde olduğunu görürüz. Bununla beraber Kayseri ilinin

günlük global radyasyon değerlerini ve günlük ortalama güneşlenme sürelerini aylık olarak aşağıdaki şekilde verilen Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayımladığı Güneş Enerji ve Potansiyeli Atlasından görebiliriz.



Şekil 8. 2. Kayseri ili ortalama global güneş radyasyonu (İnternet 2)

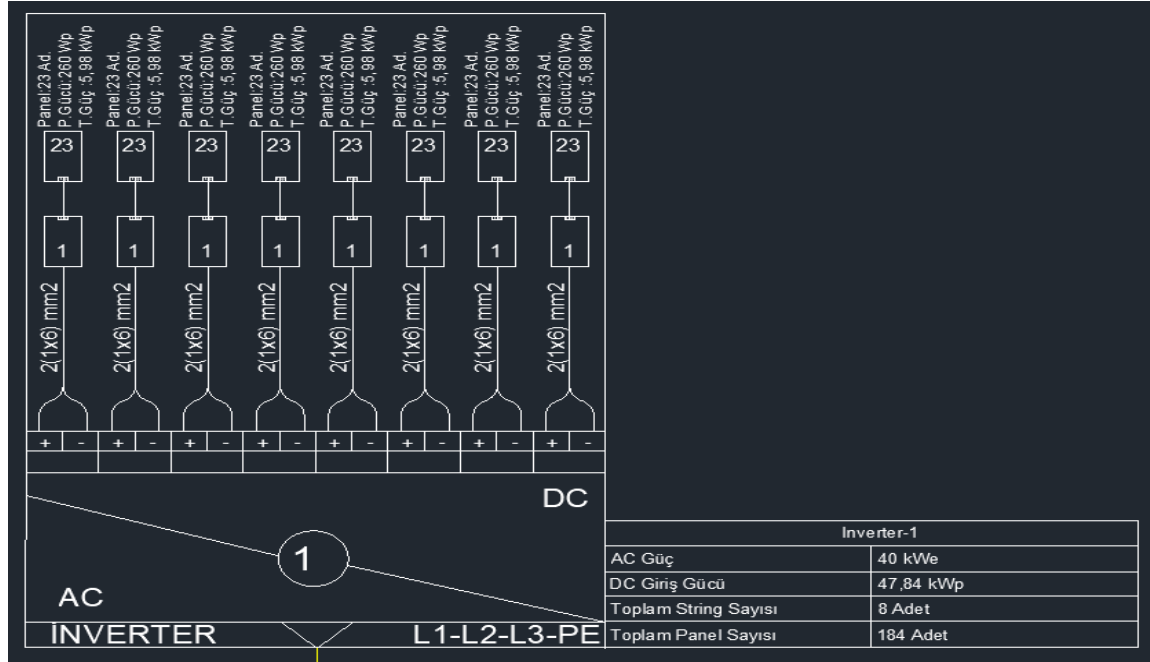
Şekil 8.3'te görüldüğü gibi mayıs ayında güneşlenme süresi 9 saatten biraz fazla, eylül ayında 10 saate yakın, haziran, temmuz aylarında 11 saat üzerinde ve ağustos aylarında 12 saat üzerinde olmaktadır. En düşük güneşlenme süresi Aralık ayındadır ve 3,55 saat olarak belirtilmiştir.



Şekil 8. 3. Kayseri ili güneş radyasyonu ve güneşlenme süreleri (İnternet 3)

8.3. Kayseri İlinde Bulunan Santralin Üretim Verileri

Beşinci bölümde de belirtildiği üzere santralin verimliliğini ve performansı üzerinde etkili olan birçok değişken bulunmaktadır ve santralin tasarımı yapılırken bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 8. 4. Evirici string bağlantısı

Kayseri ilinde kurulu olan santral, 1148,16 kWp DC güce sahiptir. Yıllık enerji üretimi 1840,788 MWh olmaktadır. Yapımında Jinko Solar marka JKM260PP-DV serisi 260Wp değerinde olan 4416 adet panel ve Refusol marka 40kW gücünde 24 adet evirici kullanılmıştır. Toplam 192 zincir bulunmaktadır, her bir dizide 23 panel vardır, her eviriciye 8 zincir 184 panel bağlanmaktadır (Arslan, 2022). Şekil 8.5'te evirici etiket değerleri, Şekil 8.6'da panel etiket değerleri verilmiştir.

EVİRİCİ ÖZELLİKLERİ			
ÇIKIŞ			
EVİRİCİ MARKA VE MODELİ	REFU	sol 40K	W
AC ÇIKIŞ GÜCÜ	40000		W
Nominal AC Çıkış Gerilimi	400		V _{ac}
AC Çıkış Gerilimi	400		V _{ac}
AC Frekans	50/60		Hz
Max Çıkış Akımı	59		A
GİRİŞ			
Max. Giriş Gerilimi	1000		V _{dc}
MPPT Voltaj Aralığı	490-850		V _{dc}
Max Giriş Akımı	84		A _{dc}
Verimlilik	98,2		%

Şekil 8. 5. Evirici etiket verileri

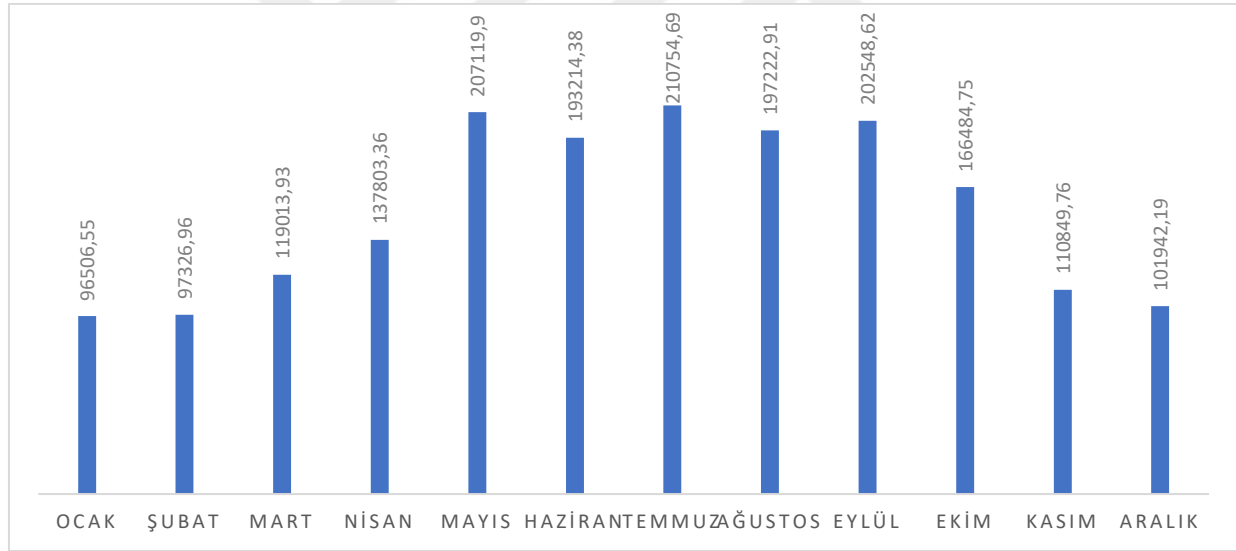
PANEL ÖZELLİKLERİ			
Panel Gücü	260	W _p	
Panel Tipi	Poli	Kristal Yapı	
Modül boyutları (LxWxH)	1646 mm x 992 mm x 40 mm		
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	38,1	V	
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	8,37	A	
V _{mpp}	31,1	V	
I _{mpp}	8,98	A	

Şekil 8. 6. Panel etiket verisi

Yıllık üretim verileri her ay için ayrı ayrı Çizelge 8.1'deki gibidir ve 12 aylık üretim değeri yaklaşık 1840,80 kWh ve aylara göre dağılımı aşağıdaki gibidir. Üretim verileri Şekil 8.7'de grafik olarak görülmektedir.

Çizelge 8. 1.Santralin gerçek yıllık üretim verisi (Arslan, 2022)

Aylar	PR (%)	IŞINIM (Wh)	Gerçekleşen Üretim (KWh)
Ocak	75,61	111170	96506,55
Şubat	89,72	94485	97326,96
Mart	81,21	127641,70	119013,93
Nisan	77,41	155046,30	137803,36
Mayıs	82,00	219988,60	207119,90
Haziran	76,42	220209,20	193214,38
Temmuz	71,25	257622,65	210754,69
Ağustos	70,13	244945,75	197222,91
Eylül	77,83	226659,75	202548,62
Ekim	82,52	175722,10	166484,75
Kasım	83,90	115074,30	110849,76
Aralık	83,93	105785,80	101942,19
	78,04	2054351,15	1840788



Şekil 8. 7. Santralin gerçek yıllık üretim grafiği

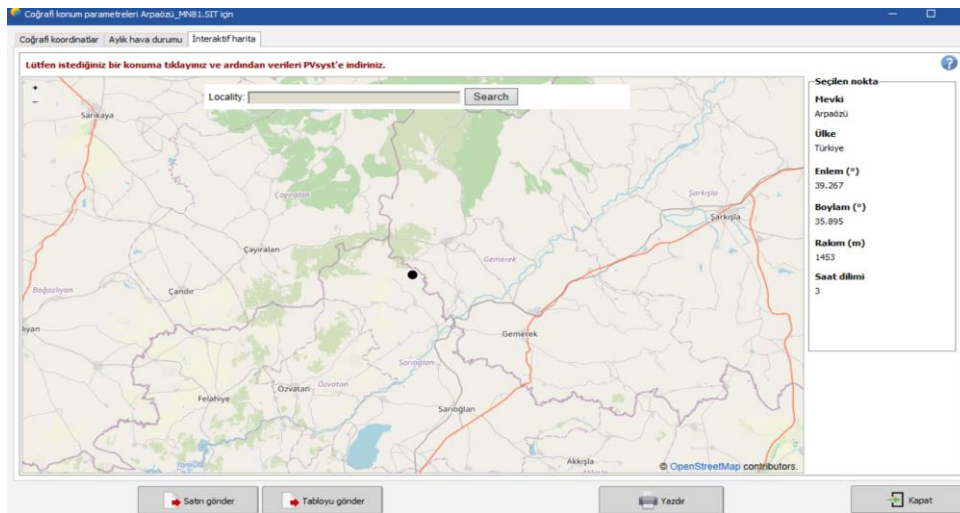
8.4. Kurulu Sistemin PVsyst Programı ile Modellemesi ve Simülasyonu

Kayseri ilinde kurulu bulunan santralin görüntüsü aşağıda bulunan resim 8.2’de sunulmuştur.



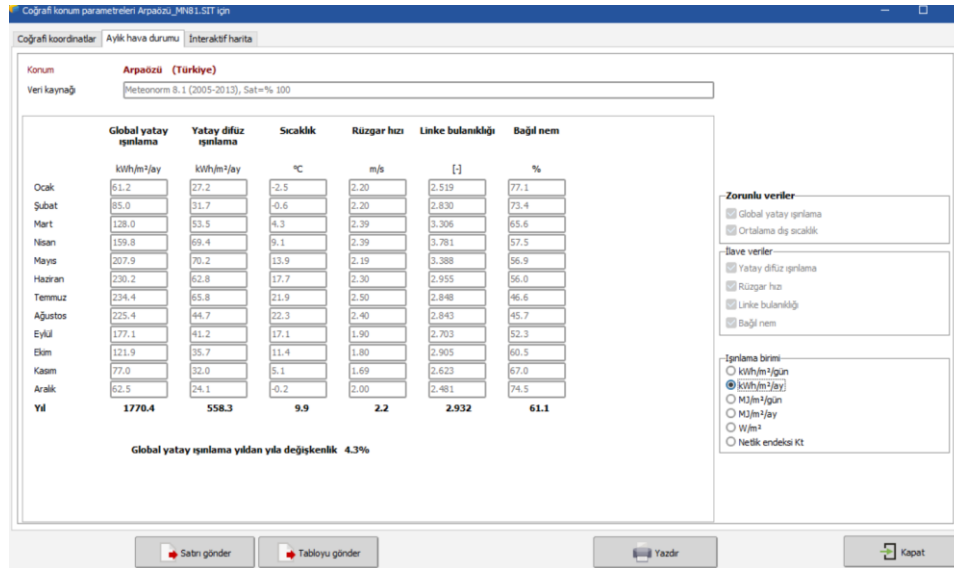
Resim 8. 2. Santralin görüntüsü

PVsyst programında tasarımı yapılacak olan santral (Resim 8.2), 39.2670° kuzey enlemi 35.8950° derece doğu boylamı koordinatlarında bulunmaktadır.



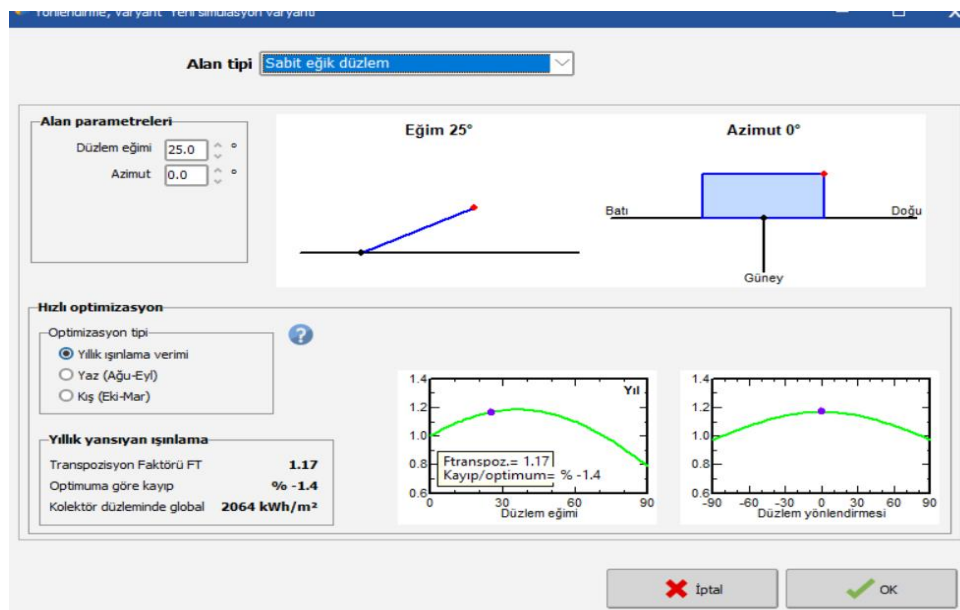
Şekil 8. 8. PVsyst programına santralin konumunun girilmesi

Programa koordinat verileri girildikten sonra o konuma ait enlem, boylam rakım, saat dilimi bilgileri Şekil 8.8’da görülmektedir.



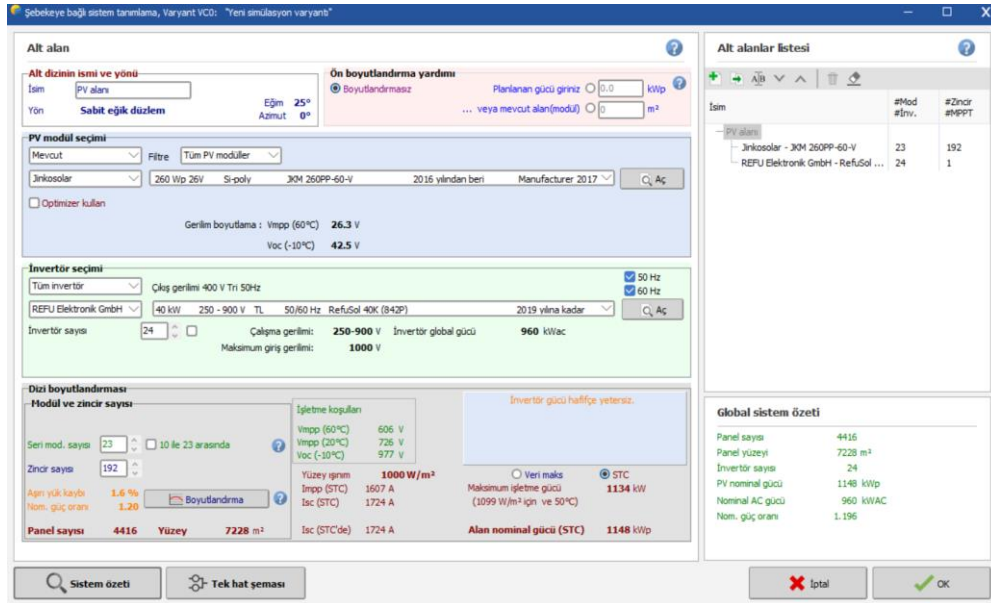
Resim 8. 3. Meteorolojik veriler

PVsyst programı Meteororm 8.0, NASA-SSE, PVGIS-TMY, NREL/NSRDB TMY, Solcast TMY gibi meteorolojik veri tabanlarını kullanmaktadır. Bu çalışmada Meteororm 8.0 meteorolojik veri tabanı kullanılmıştır ve Resim 8.3 gösterilmiştir.



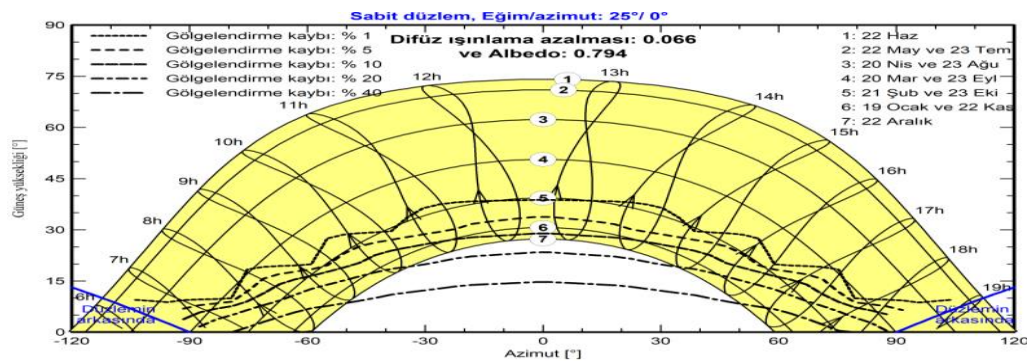
Resim 8. 4. PVsyst yönlendirme verilerinin eklenmesi

Programda yönlendirme seçeneğinin altında santralde bulunan panellere ait azimut açısı ve panel eğim açısı değerleri Resim 8.4 da olduğu gibi eklenir. Burada panel eğimi 25 derecedir, azimut açısı 0 derece olarak girilmiştir. Gösterimde belirtilen kırmızı renkli nokta panelin üst tarafını gösterir.



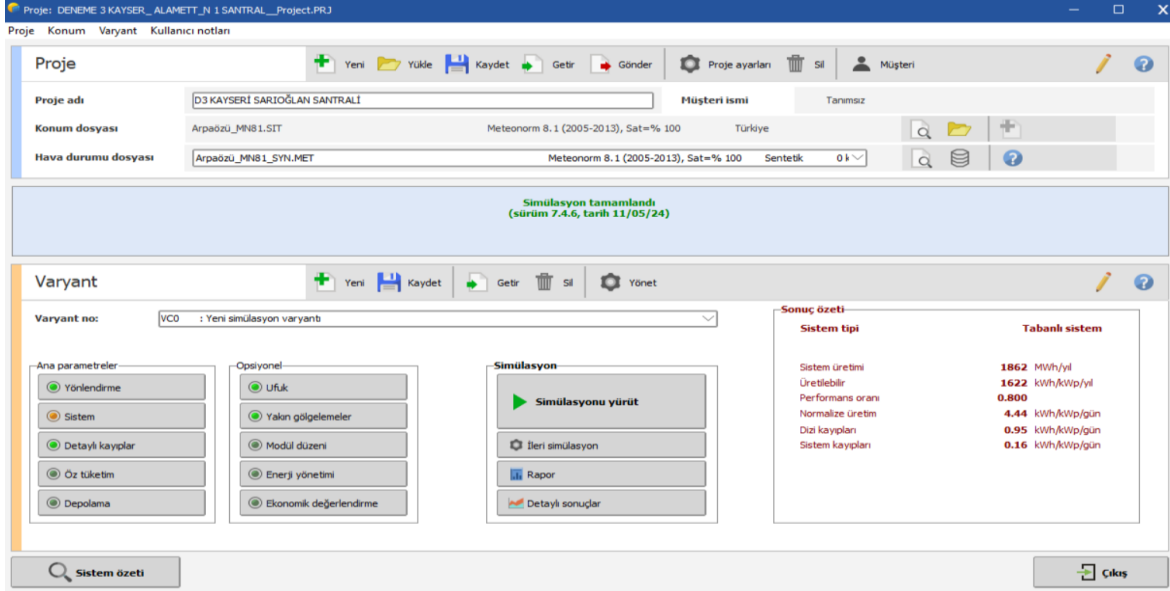
Resim 8. 5. PVsyst programı sistem ekran görüntüsü

Yukarıda görülen Resim 8.5, PVsyst programında sistem bölümü veri giriş ekranı ekran resmidir. Bu bölümde santralde kullanılacak olan evirici ve panel seçimi programa ait olan veri tabanından seçilir. Bu veri tabanında birçok üreticiye ait çok sayıda ürün bulunmaktadır. Bununla beraber PVsyst programının veri tabanında yer almayan ürünlerinde fiziksel ve teknik verileri manuel olarak eklenebilmektedir (Çınaroğlu 2023).



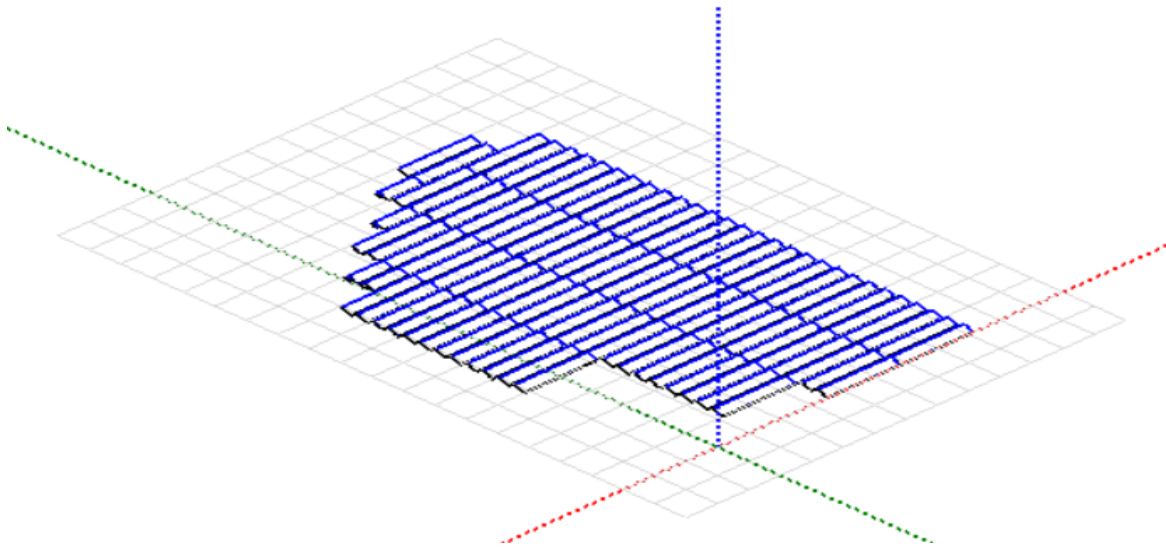
Resim 8. 6. Ufuk tanımlamasının görüntüsü

Resim 8.6'daki ufuk tanımlaması seçeneğinde güneşten gelen ışınların Kayseri ili Sarioğlan ilçesi konumunda yıl içinde yedi ayrı tarihte geliş açısını belirtmektedir.



Resim 8. 7. Proje sayfası ekran görüntüsü

Proje sayfası görüntüsü Resim 8.7 ile verilmiştir. Programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, Şekil 8.9'da olduğu gibi 3B yakın gölgelemeler sahnesi oluşturularak tasarımcı kurulacak alana panellerin yerleşimini gerçekleştirir.



Şekil 8. 9. Panel yerleşimi 3B tasarımı

Simülasyonu gerçekleştirmek için gereken parametre değerleri işlendikten sonra simülasyonu yürüt işlemine geçilir, simülasyon sonucu oluşan veriler rapor olarak verilir.

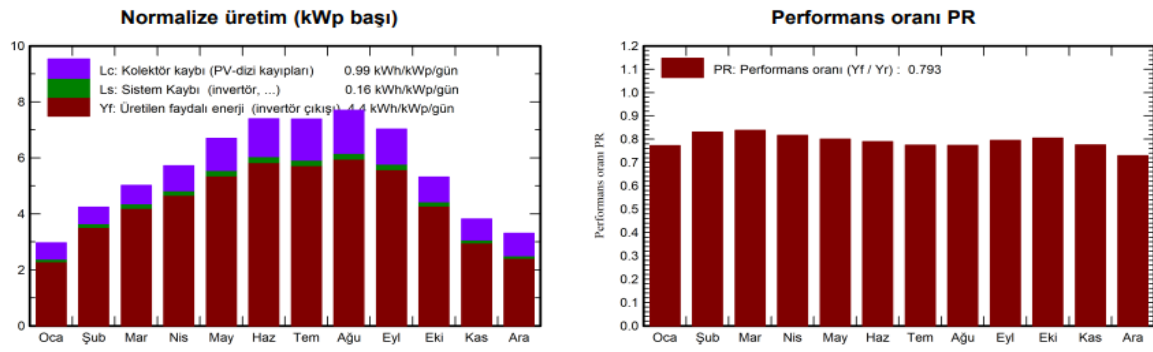
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	61.2	27.17	-2.51	92.0	75.1	84952	81580	0.772
Şubat	85.0	31.69	-0.57	118.6	105.2	117493	113122	0.831
Mart	128.0	53.46	4.25	155.5	143.4	155268	149713	0.839
Nisan	159.8	69.45	9.13	171.5	157.8	166529	160695	0.816
Mayıs	207.9	70.15	13.89	207.7	191.4	197782	190916	0.801
Haziran	230.2	62.85	17.67	221.9	205.1	208271	201088	0.789
Temmuz	234.4	65.84	21.91	229.1	211.6	210937	203777	0.775
Ağustos	225.4	44.66	22.29	238.7	222.3	219607	212037	0.774
Eylül	177.1	41.20	17.08	210.9	196.8	199273	192414	0.795
Ekim	121.9	35.71	11.36	164.9	150.4	157952	152355	0.805
Kasım	77.0	31.98	5.10	114.5	96.2	105826	102042	0.776
Aralık	62.5	24.14	-0.24	102.6	79.2	89323	85953	0.730
Yıl	1770.4	558.31	10.01	2028.0	1834.6	1913213	1845694	0.793

Resim 8. 8. Simülasyon sonucu üretim değerleri ekran görüntüsü

Ekran görüntüsü olarak alınan resim 8.8 simülasyon sonucunda santralin üretim değerlerini gösterir. 1148,16 kWp DC gücündeki santralin yıllık olarak ürettiği enerji 1845694 kWh olarak gerçekleşmiştir. Şebekeye verilen enerji 212037 kWh ile en fazla ağustos ayında gerçekleşmiştir. En düşük üretim 81580 kWh ile ocak ayında gerçekleşmiştir.

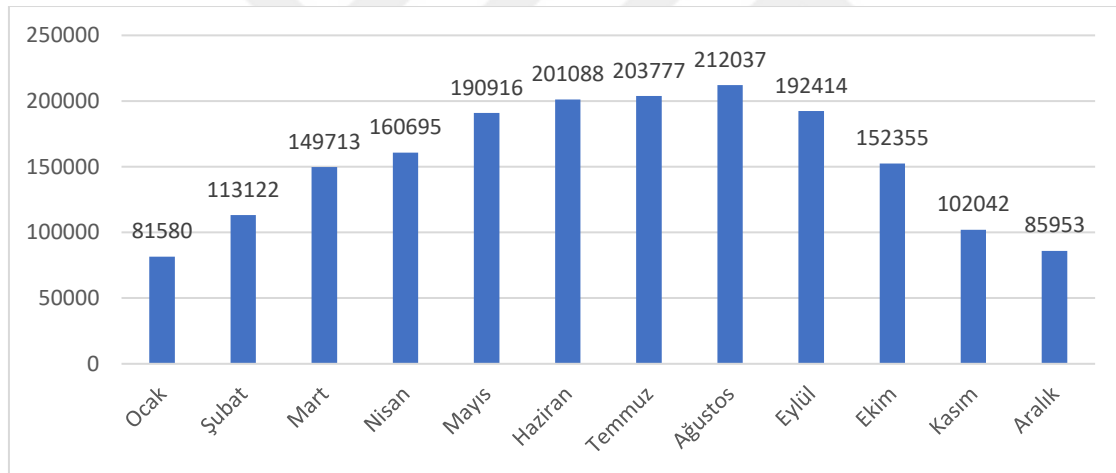
Santralin gerçek üretim değerini incelediğimizde yıllık olarak ürettiği enerjinin 1840,80 kWh olduğu görülecektir (Arslan, 2022). Burada görüyoruz ki PVsyst programının verdiği yıllık üretim değeri, gerçek üretim değerinden 4906 kWh daha fazladır.

Gerçek üretim verilerine göre şebekeye verilen enerji 210754,69 kWh ile en fazla temmuz ayında gerçekleşmiştir. En düşük üretim 96506,55 kWh ile ocak ayında gerçekleşmiştir (Arslan, 2022).



Şekil 8. 10. Performans oranı ve normalize üretim tabloları

Şekil 8.10'da gösterildiği üzere performans oranı %79,3 dir. Kayıplar incelendiğinde Kolektör kaybı 0,99 kWh/kWp/gün olmaktadır. Evirici kaybı 0,16 kWh/kWp/gün ve üretilen faydalı enerji 4,4 kWh/kWp/gün olmaktadır.



Şekil 8. 11. PVsyst Simülasyon aylık üretim grafiği

PVsyst Simülasyon aylık üretim grafiği Şekil 8.11'de verilmiştir. Bu çalışmada incelenen santrale ait üretim verileri farklı bir çalışmada farklı bir amaç için ele alınmış, sabit açılı sistem olarak modellenmesi yapılmış, simüle edilmiş ve bu çalışmadaki sabit açılı sistemin simülasyon sonuçlarıyla benzer sayılabilecek sonuçlar bulunmuştur.

8.5. Çift Yüzeyli Panel ile Modellenmiş Sistem

Bu aşamada fotovoltaik sistem çift yüzeyli panel kullanılarak tekrar tasarlanmıştır. Panel sayısı, panel gücü, evirici sayısı, evirici gücü, panel açıları, zincir sayıları değiştirilmeden

sadece paneller değiştirilmiştir. 260Wp değerinde olan 4416 adet çift yüzeyli panel ve 40kW gücünde 24 adet evirici kullanılmıştır. Toplam 192 zincir bulunmaktadır, her bir dizide 23 panel vardır, her eviriciye 8 zincir 184 panel bağlanmıştır. Eğim açısı yine 25° dir.

Resim 8.9’da çift yüzeyli paneller ile kurulu bir sistem görölmektedir. Çift yüzeyli paneller verildiği gibi güneş ışıınının hem ön yüzeyinden hem de arka yüzeyinden absorbe edebilen panel tipidir. İki yüzeyi sayesinde güneş daha yüksek oranda enerji verimliliği sağlar (Çinici, Bayyığit, Acır, 2023).



Resim 8. 9. Dikey çift yüzeyli panellerle yapılmış fotovoltaiik sistem (Erken, 2022)

Bir yüzeye gelen ışıınının yansıma değerini gösteren kavrama yüzeyin albedo değeri denilmektedir. Zemin kum, toprak ya da bitki ile kaplı olabilir bu yüzden her zemin aynı albedo değerine sahip değildir. Eğer zemin yüksek albedo değerine sahip kaplama ile örtölü ise yansıma kazancı yüksektir. Beyaz renkli zemin yüksek değerlilikte yansıma niteliğindedir (%55-85). Arka yüzey kazancını yüksek tutmak için zeminde beyaz çakıl veya beyaz renge boyanmış bir kaplama türü kullanılabilir. Fakat zemindeki kaplama zamanla soluklaşırsa yansıma katsayısı düşer ve verim azalır (Erken, 2022).

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCD: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü

İsim: PV alanı

Yön: Sabit eğik düzlem

Eğim: 25°

Azmut: 0°

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırma: Planlanan güç: 0.0 kWp

... veya mevcut alan(modül): 0 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller

Masdar Industrial: 260 Wp 17V Si-mono LEEN260W (72GG1M10) 2023 yılından beri Manufacturer 2023

Çift yüzü modül: Çift yüzü sistem

Optimizer kullan: Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 17.4 V

Voc (-10°C) 26.6 V

İnvertör seçimi

Tüm invertör: Çıkış gerilimi 400 V Tr 50Hz

REFU Elektronik GmbH: 40 kW 250 - 900 V TL 50/60 Hz RefuSol 40K (842P) 2019 yılına kadar

İnvertör sayısı: 24 Çalışma gerilimi: 250-900 V İnvertör global gücü: 960 kWac

Maksimum giriş gerilimi: 1000 V

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı

Seri mod. sayısı: 23 15 ile 37 arasında

Zincir sayısı: 192

Aşırı yük kaybı: 2.0 %

Nom. güç oranı: 1.20

Panel sayısı: 4416 Yüzey: 5884 m²

İşletme koşulları

Vmpp (60°C): 400 V

Vmpp (20°C): 467 V

Voc (-10°C): 611 V

Yüzey ışınlm: 1000 W/m²

İmpo (STC): 2477 A

İsc (STC): 2648 A

İsc (STC'de): 2648 A

İnvertör gücü hafifçe yetersiz.

Veri maks: 1150 kW

Alan nominal gücü (STC): 1148 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #İnv.	#Zincir #MPPT
PV alanı		
Masdar Industrial - LEEN260W (...)	23	192
REFU Elektronik GmbH - RefuSol ...	24	1

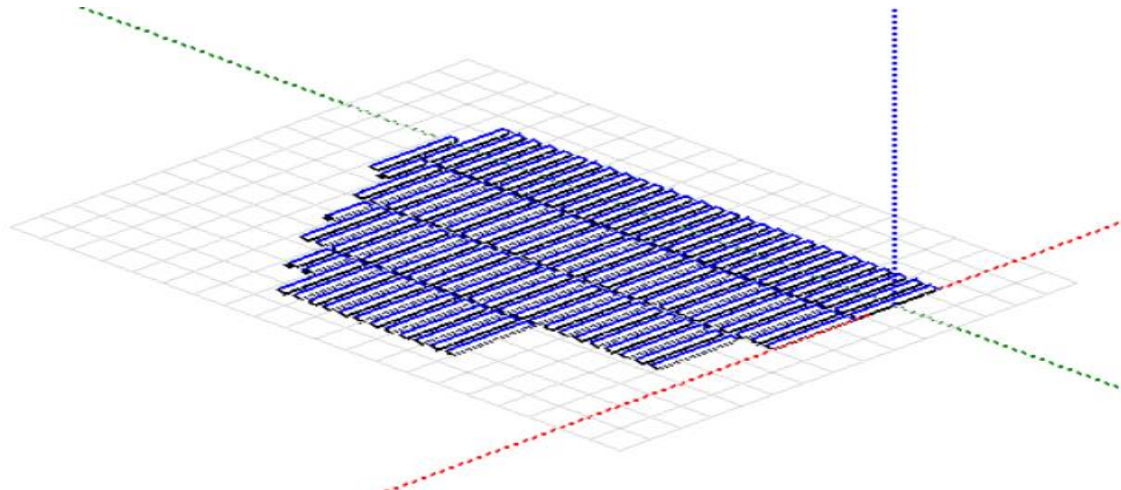
Global sistem özeti

Panel sayısı	4416
Panel yüzeyi	5884 m²
İnvertör sayısı	24
PV nominal gücü	1148 kWp
Nominal AC gücü	960 kWac
Nom. güç oranı	1.196

Resim 8. 10. PVsyst programı sistem ekranı

Programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, 3B yakın gölgelemeler sahnesi oluşturularak tasarımcı kurulacak alana panellerin yerleşimini gerçekleştirir (Şekil 8.12).

Simülasyonu gerçekleştirmek için gereken parametre değerleri işlendikten sonra simülasyonu yürüt işlemine geçilir (Resim 8.10), simülasyon sonucu oluşan veriler rapor olarak verilir.



Şekil 8. 12. Panel yerleşimi 3B tasarımı

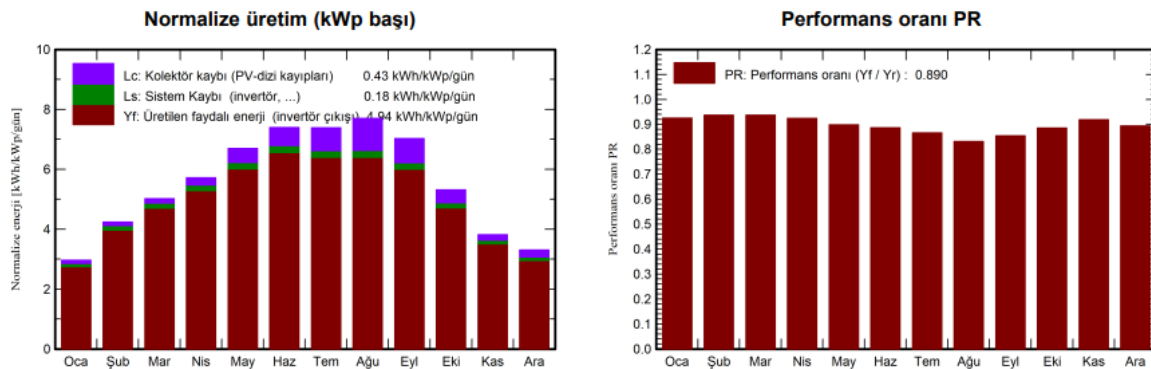
Sistem üretim raporu ekran görüntüsü resim 8.1'e baktığımızda üretilen enerjinin 2071536 kWh/Yıl olduğunu görüyoruz. Fotovoltaik sistemde DC enerjide 21416359 kWh/Yıl dır. İki yüzlü panelin kullanıldığı bu sistemde en yüksek üretimin olduğu ay 227848 kWh ile ağustos ayı en düşük üretimin olduğu ay ise 97802 kWh ile ocak ayıdır.

Bilanço ve genel sonuçlar

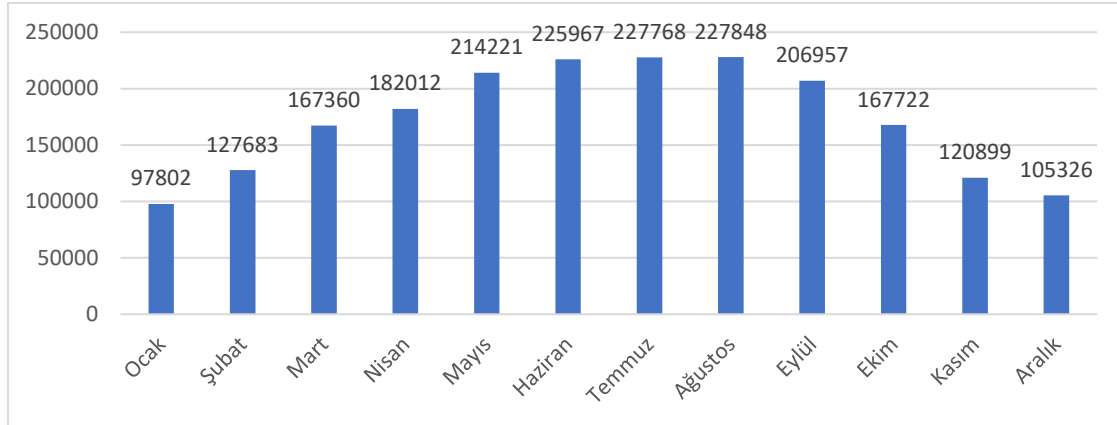
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	61.2	27.17	-2.51	92.0	84.3	101575	97802	0.926
Şubat	85.0	31.69	-0.57	118.6	110.3	132435	127683	0.937
Mart	128.0	53.46	4.25	155.5	145.5	173411	167360	0.937
Nisan	159.8	69.45	9.13	171.5	159.9	188517	182012	0.924
Mayıs	207.9	70.15	13.89	207.7	193.9	221840	214221	0.898
Haziran	230.2	62.85	17.67	221.9	207.3	234022	225937	0.887
Temmuz	234.4	65.84	21.91	229.1	214.0	235787	227768	0.866
Ağustos	225.4	44.66	22.29	238.7	224.2	236027	227848	0.831
Eylül	177.1	41.20	17.08	210.9	198.2	214414	206957	0.855
Ekim	121.9	35.71	11.36	164.9	154.4	173855	167722	0.886
Kasım	77.0	31.98	5.10	114.5	105.5	125235	120899	0.919
Aralık	62.5	24.14	-0.24	102.6	92.0	109239	105326	0.894
Yıl	1770.4	558.31	10.01	2028.0	1889.6	2146359	2071536	0.890

Resim 8. 11. Çift yüzeyli panel ile kurulan sistemin üretim verileri ekran görüntüsü

Şekil 8.13'de gösterildiği üzere performans oranı %89 dur. Kayıplar incelendiğinde Kolektör kaybı 0,43 kWh/kWp/gün olmaktadır. Evirici kaybı 0,18 kWh/kWp/gün ve üretilen faydalı enerji 4,94 kWh/kWp/gün olmaktadır.



Şekil 8. 13. Performans oranı ve normalize üretim tabloları



Şekil 8. 14. Çift yüzeyli panel aylık üretim grafiği

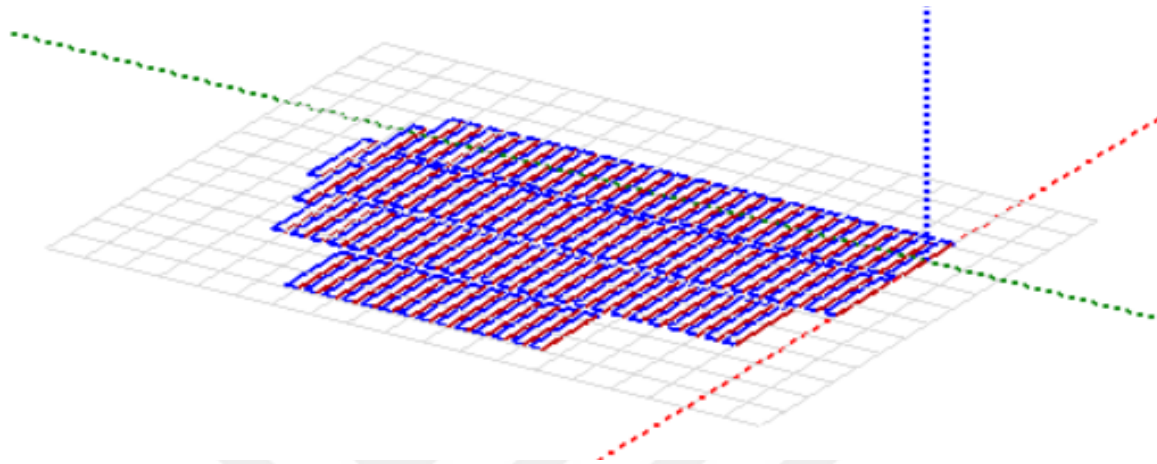
Albedo katsayısı 0,65 olarak alındığında şebekeye aktarılan enerji 2071536 kWh tir. Çift yüzeyli panel aylık üretim grafiği Şekil 8.14 ile verilmiştir. Maliyet bakımından değerlendirildiğinde; çift yüzeyli panellerin kullanıldığı fotovoltaiik sistemlerde ve tek yüzeyli panellerin bulunduğu fotovoltaiik sistemlerde aynı kablo, evirici, taşıyıcı sistem ve ekipmanlar kullanılacağı kabul edilmiştir. Bu durumda maliyet farkını oluşturan paneller ve çift yüzeyli panelin konumlandırılacağı zemin malzemesi, boya ve işçiliktir. Çift yüzeyli panellerle kurulan sistem tek yüzeyli panellere sahip sistemlere oranla % 4 - %20 daha yüksek maliyetlidir.

Çift yüzeyli paneller ile yapılan çalışmalarda tek yüzeyli fotovoltaiik panellerin kullanıldığı sistemlerde basit geri ödeme süresi ile çift yüzeyli fotovoltaiik panellerin kullanıldığı sistemlerin basit geri ödeme süresi kıyaslandığında çift yüzlü fotovoltaiik panelin tek yüzlü fotovoltaiik panele göre 0,4 yıl geri ödeme süresi daha kısa olduğu görülmüştür (Çalık, 2022).

8.6. Doğu Batı Yönde Uzanan Tek Eksene Sahip Takipçili Sistem

Bu kısımda PVsyst programı kullanılarak tek eksen takipçi yatay eksen D-B olarak tasarım yapılmıştır. Panel sayısı, panel gücü, evirici sayısı, evirici gücü, zincir sayıları, panel ve evirici marka modeli değiştirilmeden sadece tek eksende takipçili sistem olarak kurulmuştur. D-B eksen için azimut 0 derece, minimum eğim -30 derece, maksimum eğim 80 derece olarak seçilmiştir. 260Wp değerinde olan 4416 adet panel ve 40kW gücünde 24 adet evirici kullanılmıştır. Toplam 192 zincir bulunmaktadır, her bir dizide 23 panel vardır, her eviriciye 8 zincir 184 panel bağlanmıştır.

Programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, 3B yakın gölgelemeler sahnesi oluşturularak tasarımcı kurulacak alana panellerin yerleşimini gerçekleştirir (Şekil 8.15).



Şekil 8. 15. Panel yerleşimi 3B tasarımı

Simülasyonu gerçekleştirmek için gereken parametre değerleri işlendikten sonra simülasyonu yürüt işlemine geçilir, simülasyon sonucu oluşan veriler rapor olarak verilir.

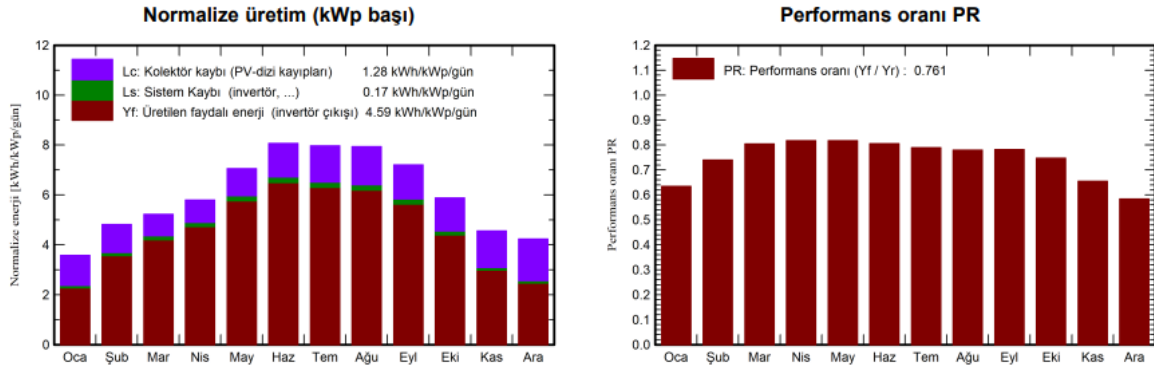
Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	61.2	27.17	-2.51	111.1	74.9	84383	80971	0.635
Şubat	85.0	31.69	-0.57	134.9	107.8	119049	114559	0.740
Mart	128.0	53.46	4.25	161.9	144.9	155330	149713	0.805
Nisan	159.8	69.45	9.13	173.8	160.0	168948	163092	0.817
Mayıs	207.9	70.15	13.89	218.7	205.1	212450	205263	0.818
Haziran	230.2	62.85	17.67	242.1	227.6	231704	223919	0.806
Temmuz	234.4	65.84	21.91	247.2	231.9	231865	224211	0.790
Ağustos	225.4	44.66	22.29	246.1	230.3	228036	220327	0.780
Eylül	177.1	41.20	17.08	216.1	199.3	201025	194073	0.782
Ekim	121.9	35.71	11.36	182.2	156.0	162258	156443	0.748
Kasım	77.0	31.98	5.10	136.7	97.2	106680	102830	0.655
Aralık	62.5	24.14	-0.24	131.3	81.3	91436	87947	0.584
Yıl	1770.4	558.31	10.01	2202.1	1916.2	1993164	1923348	0.761

Resim 8. 12. Doğu batı eksen yönlü kurulan sistemin üretim verileri ekran görüntüsü

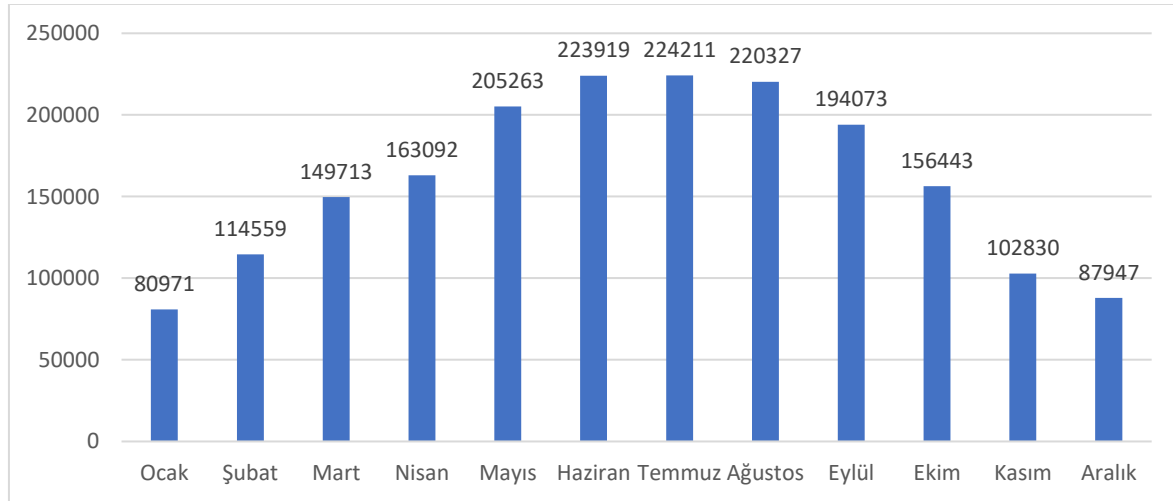
Sistem üretim raporunu ekran görüntüsü resim 8.12'ye baktığımızda üretilen enerjinin 1923348 kWh/Yıl olduğunu görüyoruz. Fotovoltaik sistemde DC enerjide 1993164 kWh/Yıl olmaktadır. Doğu batı yönünde eksene sahip bu sistemde en yüksek üretimin

olduğu ay 224211 kWh ile temmuz ayı en düşük üretimin olduğu ay ise 80971 kWh ile ocak ayıdır.



Şekil 8. 16.Performans oranı ve normalize üretim tabloları

Şekil 8.16'da gösterildiği üzere performans oranı %76,1 olmaktadır. Kayıplar incelendiğinde Kolektör kaybı 1,28 kWh/kWp/gün olmaktadır. Evirici kaybı 0,17 kWh/kWp/gün ve üretilen faydalı enerji 4,59 kWh/kWp/gün olmaktadır. Ayrıca D-B eksen yönlü takipçili aylık üretim grafiği Şekil 8.17'de görülmektedir.



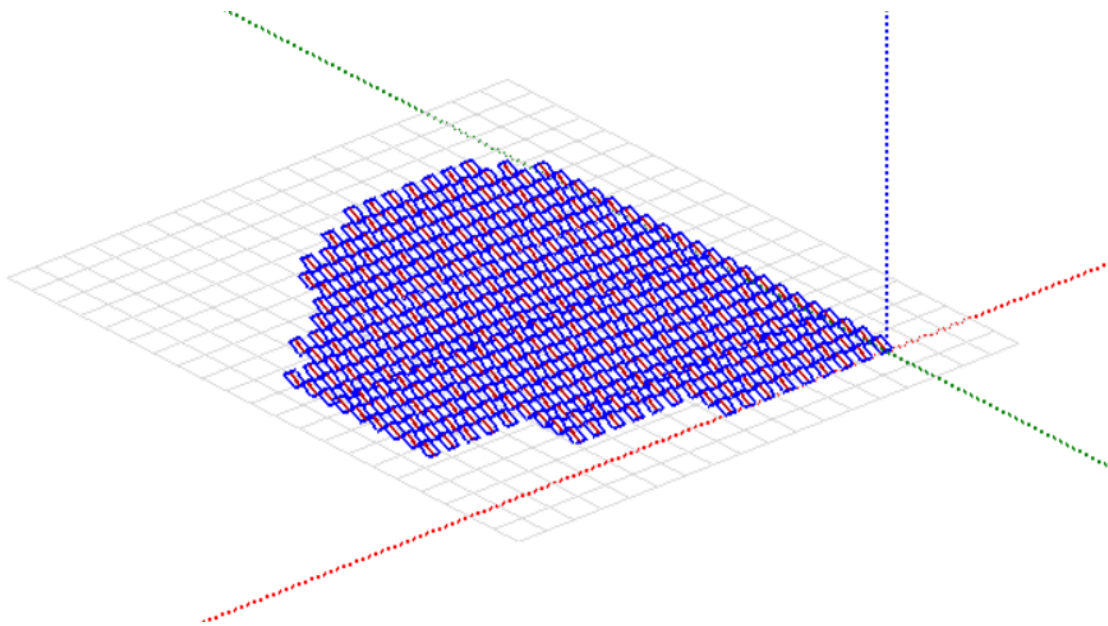
Şekil 8. 17.D-B eksen yönlü takipçili aylık üretim grafiği

8.7. Tek Eğik Eksen Takipçili Sistem

Bu kısımda PVSyst programı kullanılarak tek eksen takipçili ve eğim açısı 25° yatay eksen tasarım yapılmıştır. Panel sayısı, panel gücü, evirici sayısı, evirici gücü, zincir sayıları,

panel ve evirici marka modeli değiştirilmeden sadece tek eksenle takipçili sistem olarak kurulmuştur. Tek eksen güneş takibi için azimut 0 derece, minimum eğik eksen eğim 25 derece, -60° ile $+60^{\circ}$ aralığında doğu ve batı yönde güneş takibi yapmaktadır. 260 Wp değerinde olan 4416 adet panel ve 40 kW gücünde 25 adet evirici kullanılmıştır. Toplam 192 zincir bulunmaktadır, her bir dizide 23 panel vardır, 17 eviriciye 8 zincir 3128 panel, 8 eviriciye 7 zincir 1288 panel ve toplamda 4416 panel bağlanmıştır.

Programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, 3B yakın gölgelemeler sahnesi oluşturularak tasarımcı kurulacak alana panellerin yerleşimini gerçekleştirir (Şekil 8.18).



Şekil 8. 18. Panel yerleşimi 3B tasarımı

Simülasyonu gerçekleştirmek için gereken parametreler girildikten sonra simülasyonu yürüt işlemine geçilir, simülasyon sonucu oluşan veriler rapor olarak verilir.

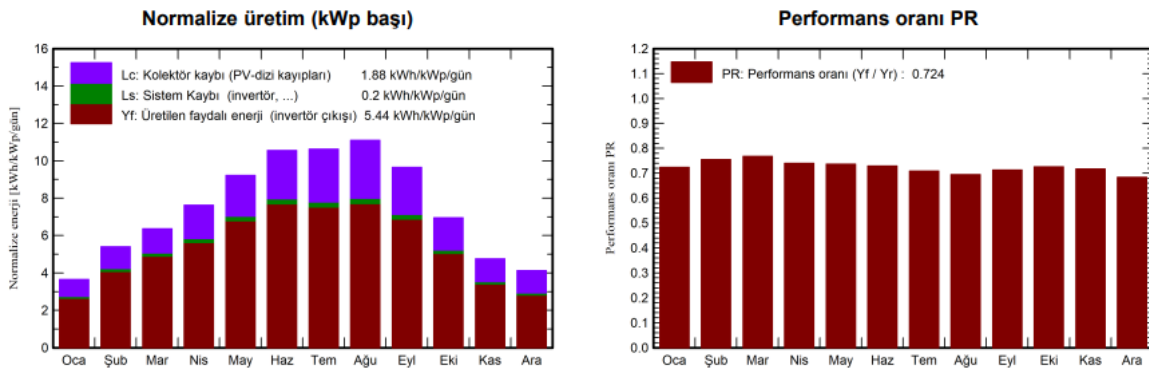
Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	61.2	27.17	-2.51	113.3	87.3	98024	94212	0.724
Şubat	85.0	31.69	-0.57	151.5	123.3	136311	131243	0.755
Mart	128.0	53.46	4.25	197.6	169.4	180839	174318	0.768
Nisan	159.8	69.45	9.13	228.7	194.1	201306	194239	0.740
Mayıs	207.9	70.15	13.89	286.0	246.2	250625	241929	0.737
Haziran	230.2	62.85	17.67	316.8	274.0	274823	265394	0.730
Temmuz	234.4	65.84	21.91	329.5	282.8	277570	268121	0.709
Ağustos	225.4	44.66	22.29	344.2	293.0	284585	274699	0.695
Eylül	177.1	41.20	17.08	289.6	247.5	245780	237164	0.713
Ekim	121.9	35.71	11.36	215.6	179.8	186421	179792	0.726
Kasım	77.0	31.98	5.10	142.7	111.7	121935	117632	0.718
Aralık	62.5	24.14	-0.24	127.9	93.2	104416	100567	0.685
Yıl	1770.4	558.31	10.01	2743.2	2302.4	2362635	2279309	0.724

Resim 8. 13. Tek eğik eksen takipçili sistem aylık üretim verileri ekran görüntüsü

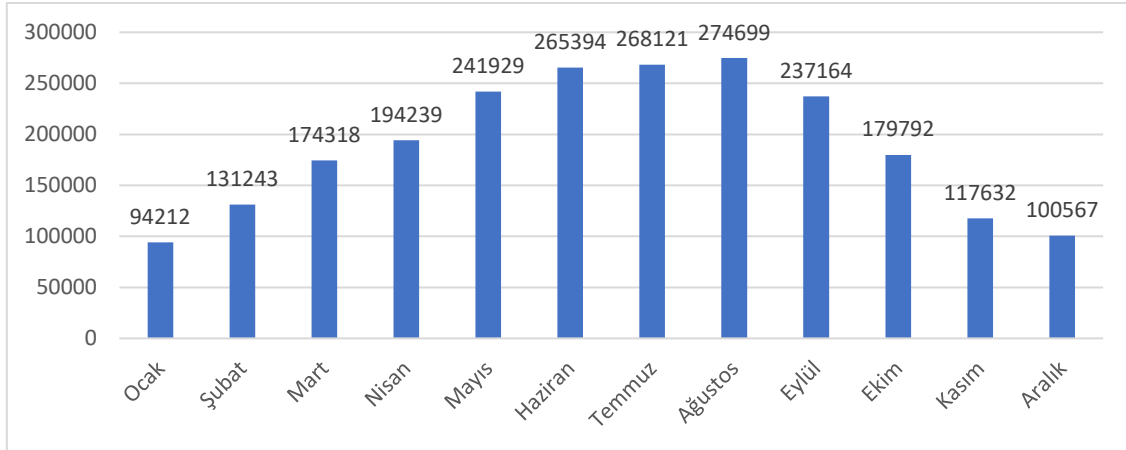
Sistem üretim raporunun ekran görüntüsü resim 8.13'e baktığımızda üretilen enerjinin 2279309 kWh/Yıl olduğunu görüyoruz. Fotovoltaik sistemde DC enerjide 2362635 kWh/Yıl olmaktadır. Panellerin 25° eğim açısıyla -60° ile +60° aralığında doğu batı yönünde güneş takibi yapan sistemde en yüksek üretimin olduğu ay 274699 kWh ile ağustos ayı en düşük üretimin olduğu ay ise 94212 kWh ile ocak ayıdır.

Bu çalışma kapsamında -30° ile 30° aralığında, -45° ile 45° aralığında ve -60° ile 60° aralığında üç tasarım denenmiştir ve en yüksek üretim değerinin 2279309 kWh/Yıl ile -60° ile 60° aralığında olduğu görülmüştür. -30° ile 30° aralığında 2219826 kWh/Yıl ve -45° ile 45° aralığında 2263044 kWh/Yıl olmak üzere daha düşük üretim verisi elde edilmiştir.



Şekil 8. 19. Performans oranı ve normalize üretim tabloları

Şekil 8.19’da gösterildiği üzere performans oranı %72,4 olmaktadır. Kayıplar incelendiğinde Kolektör kaybı 1,88 kWh/kWp/gün olmaktadır. Evirici kaybı 0,2kWh/kWp/gün ve üretilen faydalı enerji 5,44 kWh/kWp/gün olmaktadır. Eğik eksen takipçili aylık üretim grafiği de Şekil 8.20’ de verilmiştir.



Şekil 8. 20.Eğik eksen takipçili aylık üretim grafiği

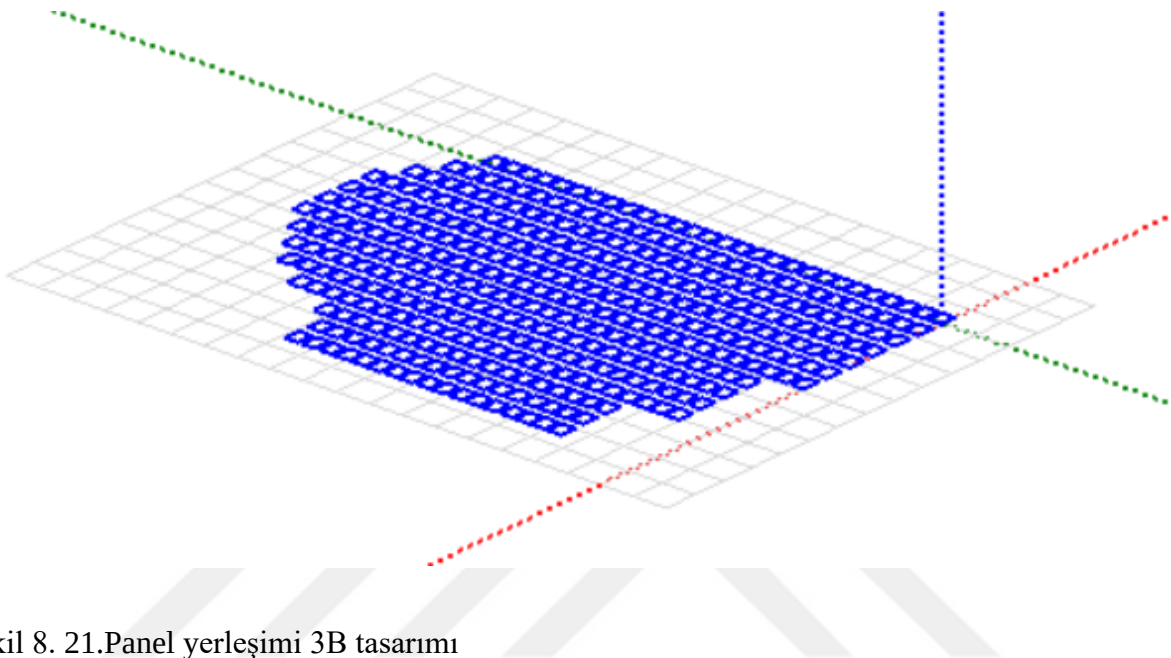
8.8. Çift Eksenli Takipçi Sistemi

Bu kısımda PVsyst programı kullanılarak çift eksen takipçili sistemin tasarımı yapılmıştır. Eğim açısı en düşük değeri 0° , en büyük değeri 60° olarak tasarım yapılmıştır. Panel sayısı, panel gücü, evirici sayısı, evirici gücü, zincir sayıları, panel ve evirici marka modeli değiştirilmeden sadece çift eksenli takipçili sistem olarak kurulmuştur. Çift eksen güneş takibi için azimut açısı minimum değeri -90 derece ve maksimum değeri 90 derece olarak ayarlanmıştır. 260 Wp değerinde olan 4416 adet panel ve 40 kW gücünde 26 adet evirici kullanılmıştır. Toplam 192 zincir bulunmaktadır, her bir dizide 23 panel vardır, 16 adet eviriciye her biri 23 panelden oluşan 7 zincir ile 2576 panel, 10 adet eviriciye her biri 23 panelden oluşan 8 zincir ile 1840 panel bağlanmıştır.

Programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, 3B yakın gölgelemeler sahnesi oluşturularak tasarımcı kurulacak alana panellerin yerleşimini gerçekleştirir.

PVsyst programda yakın gölgelemeler seçeneği içinde, yapım perspektif sekmesi kullanılarak 3B yakın gölgelemeler sahnesi ile sistemin panel yerleşimleri Şekil 8.21’de olduğu gibi gerçekleştirilmiştir.

Yine daha önceki modellemelerde olduğu gibi 4416 adet panel kullanılarak tasarım için sistem oluşturulmuştur. Daha sonra gölgeleme faktörü tablosu oluşturularak tasarım kaydedilir.



Şekil 8. 21.Panel yerleşimi 3B tasarımı

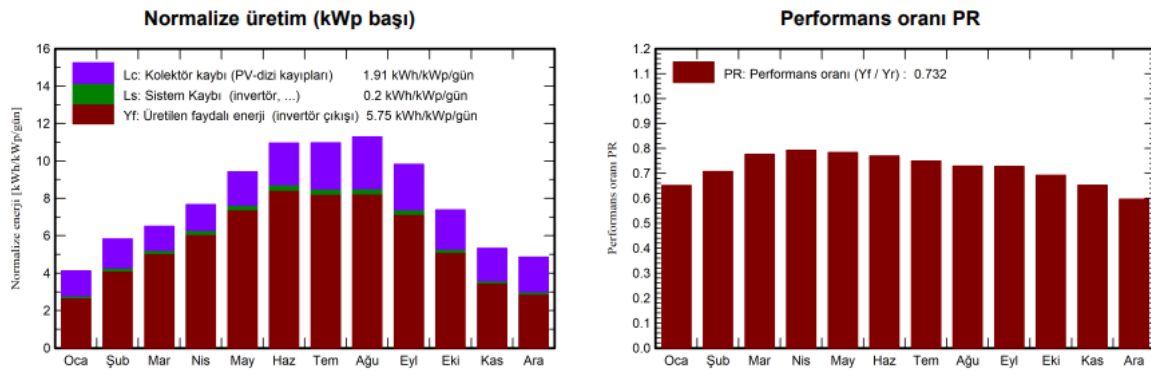
Simülasyonu gerçekleştirmek için gereken parametre değerleri işlendikten sonra simülasyonu yürüt işlemine geçilir, simülasyon sonucu oluşan veriler rapor olarak verilir.

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	61.2	27.17	-2.51	127.9	86.8	99427	95694	0.651
Şubat	85.0	31.69	-0.57	163.5	121.8	137767	132898	0.708
Mart	128.0	53.46	4.25	201.9	170.6	186419	180054	0.777
Nisan	159.8	69.45	9.13	230.1	204.8	216608	209368	0.792
Mayıs	207.9	70.15	13.89	292.2	264.3	272258	263243	0.785
Haziran	230.2	62.85	17.67	328.9	297.3	300864	290987	0.771
Temmuz	234.4	65.84	21.91	340.4	305.4	302673	292833	0.749
Ağustos	225.4	44.66	22.29	350.1	307.7	303293	293316	0.730
Eylül	177.1	41.20	17.08	294.6	251.2	254753	246355	0.728
Ekim	121.9	35.71	11.36	228.8	177.6	188351	182031	0.693
Kasım	77.0	31.98	5.10	159.8	111.2	123979	119776	0.653
Aralık	62.5	24.14	-0.24	150.6	93.6	106989	103166	0.597
Yıl	1770.4	558.31	10.01	2869.0	2392.5	2493381	2409722	0.732

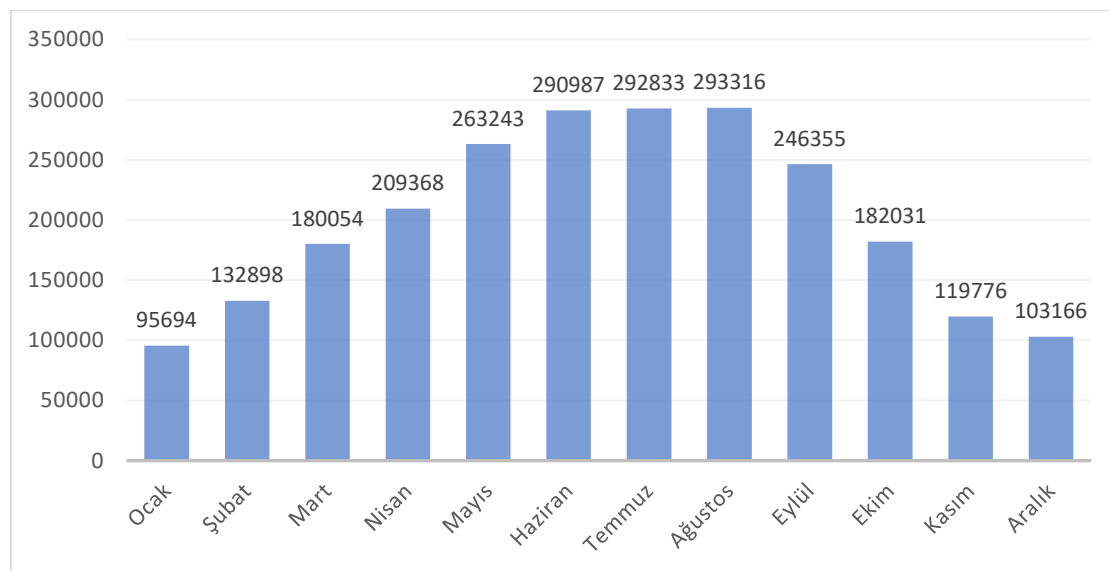
Resim 8. 14. Çift eksen takipçili sistem aylık üretim verileri ekran görüntüsü

Sistem üretim raporu ekran görüntüsü resim 8.14'e baktığımızda üretilen enerjinin 2409722 kWh/Yıl olduğunu görüyoruz. Fotovoltaik sistemde DC enerjide 2493381 kWh/Yıl olmaktadır. Çift eksen takipçili bu sistemde en yüksek üretimin olduğu ay 293316 kWh ile ağustos ayı en düşük üretimin olduğu ay ise 95694 kWh ile ocak ayıdır.



Şekil 8. 22. Performans oranı ve normalize üretim tabloları

Şekil 8.22 de gösterildiği üzere performans oranı %73,2 olmaktadır. Kayıplar incelendiğinde Kolektör kaybı 1,91 kWh/kWp/gün olmaktadır. Evirici kaybı 0,20kWh/kWp/gün ve üretilen faydalı enerji 5,75 kWh/kWp/gün olmaktadır.



Şekil 8. 23. Çift eksen takipçili aylık üretim grafiği

Çift eksen takipçili aylık üretim grafiği Şekil 8.23 de verilmiştir. Güneşin gün içindeki ve yıl içindeki hareketlerini takip eden ve sürekli panelleri güneşe dik olacak şekilde konumlandıran güneş takipli sistemler ise sabit sistemlere nazaran daha çok malzeme ve

emek kullanımını gerektirdiğinden sabit sistemlere oranla yatırım maliyetinin % 15 ile % 30 arasında artırmaktadır. Yapılan çalışmalarda tek eksen güneş takipli sistemin kurulum maliyetini yaklaşık % 15,46 oranında, çift eksen güneş takipli sistemin ise kurulum maliyetini yaklaşık % 30,93 oranında artırmaktadır (İnternet 8).



9. SONUÇ VE ÖNERİLER

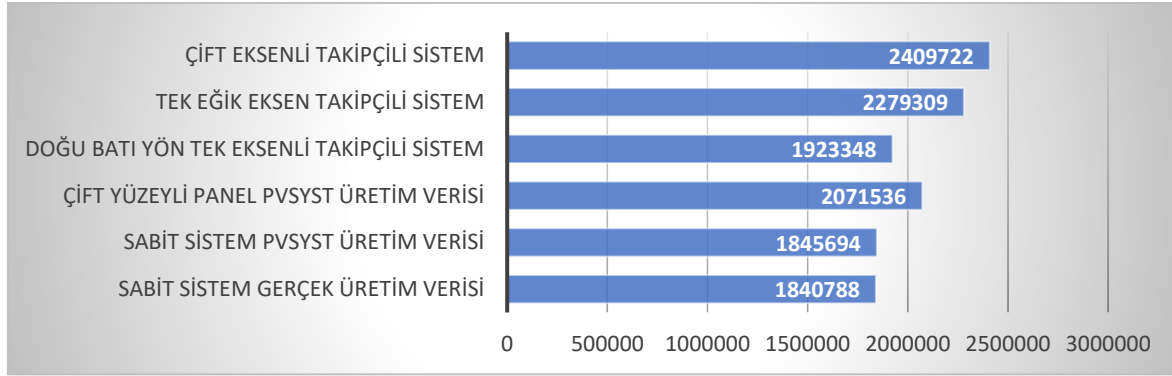
Yapılan bu çalışmada sabit açılı sistem, çift yüzeyli panel ile oluşturulmuş sabit açılı sistem, tek eksenli hareketli sistemler ve çift eksenli hareketli sistem modellemeleri yapılmış ve simülasyon sonuçları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

9.1. Sonuç

Dünya genelinde enerjiye olan ihtiyaç sürekli artmaktadır ve bu durumda çevre sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca var olan enerji kaynaklarının tükenme eğiliminde olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır. Güneş panellerinin verimlerinin düşük olması ve verimi azaltıcı sıcaklık, hava kirliliği, toz gibi etkenlerin var olması nedeniyle fotovoltaik sistemlerin verimlerinin artırılması yönünde çalışmaların yapılması çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında Kayseri ili Sarıoğlan ilçesinde bulunan 4416 adet 260 kW güce sahip panelin kullanıldığı 1148 kWp güce sahip olan santralin gerçek üretim verileri ve PVsyst programı ile modelinin yıllık üretim verileri karşılaştırılmıştır. Aynı donanım elemanları ve ekipmanlar kullanılarak yine gerçek santralle aynı güçte evirici ve panel ile çift yüzeyli panel, doğu batı yönünde uzanan tek eksenli sahip takipçili sistem, eğim açısı olan kuzey güney yönünde uzanan tek eksenli sahip takipçili sistem PVsyst programı yardımıyla oluşturulmuştur. Ayrıca çift yönlü güneş takibi yapan sistem aynı panel sayısı ve gücü ile oluşturulmuş olup bu sistemlerin yıllık üretim verileri analiz edilmiştir.

Çift eksenli takipçili hareketli panellere sahip sistem 2409722 kWh/Yıl enerji üreterek en yüksek enerji üretimine sahiptir (Şekil 9.1). Güneşi çift eksenli izleyen fotovoltaik sistemlerde güneşin fotovoltaik panel yüzeyine sürekli dik açı ile gelmesi sağlanır ve bu sayede üretilen enerji miktarı artırılmış olur.



Şekil 9. 1 Tüm sistemlerin yıllık üretim verileri grafiği

Çift eksenli güneşi izleyen sistem yılda ürettiği 2409722 kWh enerji, sistemin gerçek üretim verisi olan yıllık 1840788 kWh enerjiden 568934 kWh daha fazladır. Yani Çift eksenli hareketli sistemin üretim değeri %23,6 daha fazladır.

Çift eksenli güneşi izleyen sistemin üretim değeri, kendi üretiminden sonra en yüksek üretim değerine sahip olan tek eğik eksen takipçili sistemin yıllık üretim değeri olan 2279309 kWh'den 130413 kWh daha fazladır. Çift eksenli hareketli sistemin üretim değeri, tek eğik eksen takipçili sistemin yıllık üretim değerine göre %5,4 daha yüksektir.

Tek eğik eksenli takipçili sistem yılda ürettiği 2279309 kWh enerji, sistemin gerçek üretim verisi olan yıllık 1840788 kWh enerjiden 438521 kWh daha yüksektir. Bu da tek eğik eksenli takipçili sistemin üretim değerinin, sistemin gerçek üretim değerinden %19,25 oranında daha yüksek olduğunu gösterir.

Tek eğik eksenli takipçili sistem yılda ürettiği 2279309 kWh enerji, çift yüzeyli panel kullanılarak gerçekleştirilen sistemin 2071536 kWh olan yıllık üretim değerinden 207773 kWh daha yüksektir. Bu da tek eğik eksenli takipçili sistemin, çift yüzeyli panel kullanılan sistemin üretim değerinden %9,11 oranında daha yüksek olduğunu gösterir.

Tek eğik eksenli güneş takibi yapan sistemde eğim açısı 25° ve takip açısı -60° ile 60° aralığındadır. Takip aralığı -45° ile 45° ve -30° ile 30° aralığı da denenmiştir fakat -60° ile 60° aralığında daha yüksek üretim değeri görülmüştür.

-30° ile 30° aralığında, -45° ile 45° aralığında ve -60° ile 60° aralığında üç tasarım oluşturulmuş ve en yüksek üretim değerinin 2279309 kWh/Yıl ile -60° ile 60° aralığında olduğu görülmüştür (Çizelge 9.1).

Çizelge 9. 1 Sistemin farklı açı değerlerinde üretim verileri

K-G Yönlü Eğimli Tek Eksen	
Açı Aralığı	Üretilen Enerji (kWh)
-30° ile 30°	2219826
-45° ile 45°	2263044
-60° ile 60°	2279309

Çizelge 9.2’de verilen çift yüzeyli panel kullanılan sistemin yılda ürettiği 2071536 kWh enerji, sistemin gerçek üretim verisi olan yıllık 1840788 kWh enerjiden 230748 kWh daha yüksektir. Bu da çift yüzeyli panel kullanılan sistemin üretim değerinin, sistemin gerçek üretim değerinden %11,13 oranında daha yüksek olduğunu gösterir.

Çift yüzeyli panel kullanılan sistemin yılda ürettiği 2071536 kWh enerji, doğu batı yönünde uzanan tek eksene sahip takipçili sistemin üretim verisi olan yıllık 1923348 kWh enerjiden 148188 kWh daha yüksektir. Bu da çift yüzeyli panel kullanılan sistemin üretim değerinin, doğu batı yönünde uzanan tek eksene sahip takipçili sistemin üretim değerinden %7,15 oranında daha yüksek olduğunu gösterir.

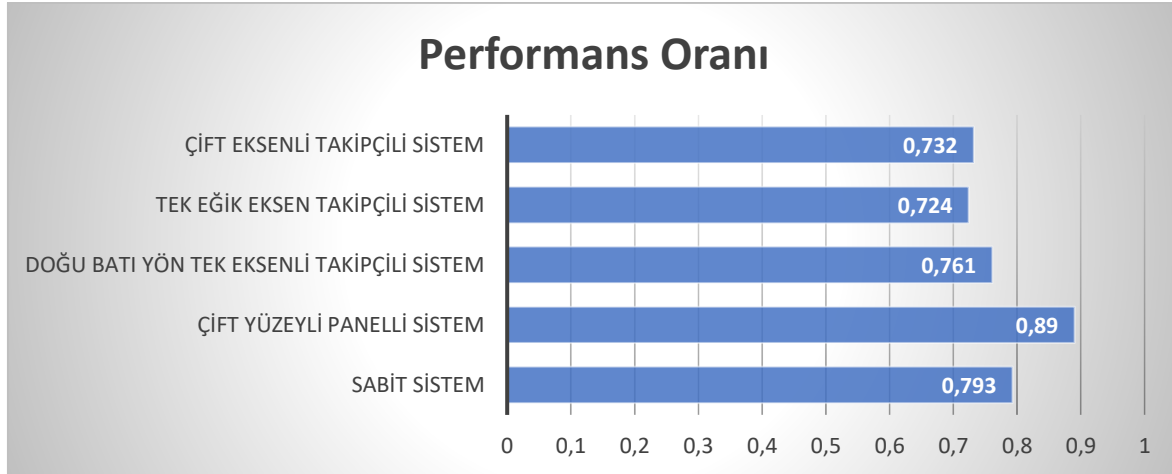
Doğu batı yönünde uzanan tek eksene sahip takipçili sistemin yılda ürettiği 1923348 kWh enerji, sistemin gerçek üretim verisi olan yıllık 1840788 kWh enerjiden 82560 kWh daha yüksektir. Bu da doğu batı yönünde uzanan tek eksene sahip takipçili sistemin üretim değerinin, sistemin gerçek üretim değerinden %4,3 oranında daha yüksek olduğunu gösterir.

Kurulu sistemin yılda ürettiği gerçek üretim değeri 1840788 kWh olmuştur. PVsyst programı ile yılda ürettiği enerji 1845694 kWh olmaktadır. PVsyst programının verdiği yıllık üretim değeri, gerçek üretim değerinden 4906 kWh daha fazladır. Bu değer yaklaşık %0,3 e karşılık gelmektedir.

Çizelge 9. 2. Üretim verisi çizelgesi

	Gerçek Üretim Değeri	Sabit açılı Sistem Modeli	Çift yüzeyli Panel	D-B Yönlü Tek Eksen	K-G Yönlü Eğimli Tek Eksen	Çift Eksenli
	A	B	C	D	E	F
GlobHor kWh/m ²	1770,4	1770,4	1770,4	1770,4	1770,4	1770,4
DiffHor kWh/m ²	558,31	558,31	558,31	558,31	558,31	558,31
T_Amb °C	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01
GlobInc kWh/m ²	2028,0	2028,0	2028,0	2202,1	2743,2	2869,0
GlobEff kWh/m ²		1834,6	1889,6	1916,2	2302,4	2392,5
Earray kWh		1913213	2146359	1993164	2362635	2493381
E_Grid kWh	1840788	1845694	2071536	1923348	2279309	2409722
PR oran	78,04	79,3	89	76,1	72,4	73,2
Üretim Değeri Oranı		A'dan %0,3 Yüksek	A'dan %11,13 D'den %7,15 Yüksek	A'dan %4,3 B'den %4 Yüksek	A'dan %19,25 C'den %9,1 Yüksek	A'dan %23,6 E'den %5,4 Yüksek

Güneş takibi yapan hareketli panel sistemlerinin kullanılmasıyla daha fazla ışıma, dolayısıyla daha fazla enerji elde edilebildiği görülmektedir çünkü hareketli sistemlerde amaç paneli güneş yönüne doğru konumlandırmak ve ışıınımdan daha yüksek oranda faydalanmaktır.



Şekil 9. 2. Tüm sistemlerin performans oranları grafiği

Şekil 9.2 de görüldüğü gibi, performans oranlarını incelediğimiz zaman en yüksek performans oranı %89 performans oranı ile çift yüzeyli paneller ile modellenmiş sisteme aittir. Üretim miktarındaki artışla orantılı olarak kayıp değeri de yükselme eğilimi gösterebilir.

Performans oranında, fotovoltaik sistemde var olan ve gerilimin düşmesinden kaynaklanan kayıplar, evirici verimliliği, fotovoltaik modüllerinin çalışma sıcaklığı, güneş ışığının spektral dağılımı, iletken ve konnektörlerin elektriksel direncinden kaynaklanan omik kayıplar etkilidir. Performans oranı fotovoltaik sistemden elde edilen enerjinin, teorik olarak üretilebilecek en yüksek enerjiye oranı olarak ifade edilebilir.

Bu çalışma kapsamında modellemesi yapılan fotovoltaik sistemlerin incelenmesi sonucunda; tasarlanacak fotovoltaik sistemin güneş ışımından daha yüksek oranda enerji elde etmek için hareketli güneş takibi yapan sistemler ve çift yüzeyli paneller üzerinde çalışmalar yapılmalıdır. Panellerin arka yüzeyine yansıma sonucunda gelen ışınımın albedo değerini daha fazla yükselten zemin malzemeleri tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır, yüksek albedo değerine sahip malzeme ile üretim değerinin artacağı düşünülmektedir. Çift yüzeyli paneller sistemin verimini önemli oranda arttırmaktadır.

Hareketli sistemlerde, hareket özelliğini sağlayan ve güneş takibi yapabilen ekipmanların bakım ihtiyaçları için ekstra zaman ve emek gerektirir. Çift yüzeyli panele sahip sistemlerde bu tür mekanik aksamlar bulunmamaktadır, sabit sistemlerdir ve üretim de

önemli bir artış sağlamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

9.2. Öneriler

Hareketli sistemlerin verim artışı üzerinde önemli oranda etkisi vardır. Hareketli sistemlerdeki üretim değerlerinin daha fazla artırılması için çalışmaların yapılması önerilmektedir. Kurulacak olan bir fotovoltaik sistem için hareketli panel sistemleri de dikkate alınmalıdır.

Hareketli sistemler ve çift yüzeyli panellerin beraber kullanıldığı ve yüksek albedo değerine sahip malzeme ile oluşturulmuş sistemler araştırmalarda ele alınabilir ve verim artışı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdelghani-Idrissi, M. A., Khalfallaoui, S., Seguin, D., Vernières-Hassimi, L., Leveneur, S. (2018). Solar tracker for enhancement of the thermal efficiency of solar water heating system. *Renewable Energy*, 119, 79-94.
- Akar, A. (2016). *Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu ve Performansının Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Elazığ.
- Ardağ, Y. (2012). *Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Denizli.
- Arslan, M. (2022). *Güneş Enerji Santrallerinin Simülasyon ile Üretim Verilerinin Karşılaştırılması ve Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü: Konya.
- Artan, A. (2020). *Güneş Enerjili Elektrik Sistemlerinin Kurulum Maliyet Analizi Adıyaman Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Amasya.
- Atalay, Y. (2016). *İki Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 Kw Güce Sahip Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: İzmir.
- Ayçam, İ., Özeler Kanan, N. (2009). *Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik NanoPV Malzemenin İncelenmesi*. Diyarbakır: 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.
- Aydın, M. (2016). *İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Prototipinin Üretimi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Trabzon .
- Beyoğlu, M. (2011). *Çift Eksenli Güneş Takip Sistemine Sahip Fotovoltaik Sistem ile Sabit Eksenli Fotovoltaik Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Balıkesir.
- Bilgin, Z. (2006). *Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.
- Boyacı, Ö., Kocaman, Ç. (2018). Matlab/Simulink Üzerinden Gerçek Zamanlı Gömülü Sistem Tabanlı Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması. *Ankara e Dergi*, 3(1), s. 1-15.
- Can, C. (2019). *Boya Duyarlı Güneş Pilleri*. Isparta: Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

- Çalık, M. K. (2022). *Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Farklı Zemin Koşullarında İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Konya.
- Çelebi, Ö. (2019). *Endüstriyel Çatı Uygulamalı Bir Güneş Enerji Santralinin Teorik ve Gerçek Zamanlı Enerji Üretim Değerlerinin İncelenmesi ve Ekonomik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Harran Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Şanlıurfa.
- Çelik, A. N., Koç, F. (2020). Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Validasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 2491-2515.
- Çınaroğlu, H. (2023). *Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin PVsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı ve Simülasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Bilecik.
- Çinici, O. K., Bayyigit, A., Acir, A. (2023). Tek Yüzeyle ve Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin Performans Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 407-420.
- Dal, A. R. (2021). *Fotovoltaik Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Sistemin Verimine Etkisinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Bilecik.
- Demirtaş, M. (2006). Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 9(4), 247-253.
- Demiryürek, H. K. (2018). *200 KWp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin PVsyst ile Tasarımı ve Üretim Değerleri ile Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Eker, B. S. (2019). *Güneş Panelleri İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Rüzgarın Soğutma Etkisinin Verime Etkilerinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Bursa.
- Emikönel, S. (2022). *Güneş Enerji Tesisleri İçin Bulanık Mantık Kontrollü Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmasının Geliştirilmesi ve İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Nevşehir.
- Erken, C. (2022). *Çift Taraflı Fotovoltaik Güç Santrallerinin Edirne İli İklim Şartları İçin Simülasyonu ve Ekonomik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Edirne .
- Gezer, T. (2019). *Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Isparta.

- Gezgin, Ç. D. (2023). *Güneş Panellerinde, Güneş Takip Sistemlerinin ve Panel Kirliliğinin Panel Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Edirne.
- Gönültaş, E. (2017). *Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Performans Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Elazığ.
- Güneş, C. (2021). *Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Adıyaman.
- İnternet 1:Bussman. (2024). Bussmann Powers Fuses. URL:<https://bussfuses.net/>: (Son Erişim Tarihi 01.07.2024).
- İnternet 2:MGM. (2024). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. URL:<https://www.mgm.gov.tr/>: (Son Erişim Tarihi 12.04.2024).
- İnternet 3:GEPA. (2024). *Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı*, URL:<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/1.aspx>. (Son Erişim Tarihi 20.06.2024)
- İnternet 4:Legrand. (2024). *Legrand Elektrik*, URL:<https://www.legrand.com.tr/>: (Son erişim Tarihi 20.05.2024).
- İnternet 5:EMO (2024). *Elektrik Mühendisleri Odası*. URL:https://www.emo.org.tr/ekler/006a8909e4d22df_ek.pdf: (Son Erişim Tarihi 10.04.2024).
- İnternet 6:TEİAŞ. (2023). *Türkiye Elektrik İletim AŞ.*, URL:<https://www.teias.gov.tr/>: (Son Erişim Tarihi 30.12.2023).
- İnternet 7:Prysmian (2024). *Prysmian kablo ve Akım taşıma*. URL:<https://tr.prysmian.com/tr/medya> (Son erişim Tarihi 20.06.2024).
- İnternet 8:Paylaşım Enerji (2024). *Paylaşım Enerji San. ve Tic. Ltd. Şti.* URL: <http://www.paylasimenerji.com>: (Erişim Tarihi 15.06.2024).
- İnternet 9:EPDK. (2024). *TC. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. URL:<https://www.epdk.gov.tr/>: (Son Erişim Tarihi 11.05.2024).
- Karamanav, M. (2007). *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Kemik, E. (2016). *Güç Transformatörü Hatalarının Bulanık Mantık ve Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi İle Belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Denizli.
- Korkmaz, M. (2019). *Fotovoltaik Bir Sistemin Farklı Açılı ve Oryantasyonda Karşılaştırmalı Enerji Üretim Simülasyonu ve Analizi*. Yayınlanmamış

- Yükseklisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Konya.
- Maltaş, M. (2017). *Manisa İli İçin 1 MW Güneş Enerjisi Santrali Fizibilitesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Menak, R. (2018). *Çift eksenli güneş takip sistemi tasarımı ve modellemesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Siirt.
- Nakir, İ. (2007). *Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Artırılması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Nazıksoy, A. S. (2022). *Bilecik İli Akpınar ve Düzdağ Güneş Enerji Santrallerinin Performanslarının PV SYST Programı Yardımı ile Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Karabük.
- Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education IGGE* 42(1), s. 482-503.
- Önal, M. A. (2009). *İki Eksenli Güneş Takip Sistemi Tasarımı*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Öztürk, H. (2021). *Bir Güneş Enerji Santralinin Üretim İle Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Gaziantep.
- Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Aşamaları ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simülasyon Sonuçları ile Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü: İstanbul.
- Shakarji, A. M. (2020). *Bulanık Mantık Kontrollü İki Eksenli Güneş Takip Sistemi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Konya.
- Şahin, S. (2019). *Güneş Enerji Santrallerinin Verimlerine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Amasya.
- Tırmıkçı, A. C. (2018). *İki Eksen Güneş İzleyen Hareketli Güneş Sistemi ve En Uygun Yıllık Eğim Açısı İle Konumlandırılmış Sabit Güneş Sisteminin Gerçek Zaman Karşılaştırması*. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Tunçgövdü, K. (2020). *İzmir İlinde Bulunan Binalarda Elektrik Üretimi İçin Kullanılan Fotovoltaik Güneş Panel Tiplerinin Verimlilik Bakımından Karşılaştırılması ve*

Maliyet Analizi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Manisa.

- Varış, Ç. (2017). *Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması, Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.*
- Yağlı, H., Koç, Y., Öksel, C., Koç, A. (2018). Kuantum Noktalı Güneş Hücreleri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 174-182.
- Yalçın, Ö. (2019). *Korkuteli ve Aksaray Bölgelerindeki Güneş Enerji Santrallerinin İklim Koşullarına Göre Performans Değerlendirmesi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi: Karaman.*
- Yılmaz, M. (2013). *Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.*
- Yılmaz, M. (2017). İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğinin Artırılması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(1/2), s. 56-62.
- Yücel, M., Kılıçarslan, Y., Yıldırım, M. (2018). Güneş Takip Sistemleriyle Çalışan Güneş Panellerinin Sulama Uygulamasında Verimlilik Düzeyleri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, s. 123-130.



EKLER

Çizelge Ek-1. 2. Örnek kablo katalog değeri (İnternet 7)

Nominal Kesit mm^2	Yaklaşık Dış Çap <u>mm</u>	Yaklaşık Net Ağırlık <u>kg/cm</u>	İletken Direnci <u>ohm/km</u>	Çalışma İndüktansı <u>mH/km</u>		Çalışma Kapasitesi <u>uF/km</u>	Akım Taşıma Kapasitesi				Sevk Uzunluğu <u>m</u>
				...	∴		...	∴	...	∴	
1x35/16	19,10	690	0,524	0,748	0,401	0,266	201	191	238	199	1000
1x50/16	20,30	823	0,387	0,719	0,381	0,297	241	227	238	241	1000
1x70/16	21,90	1031	0,268	0,684	0,357	0,339	301	277	356	301	1000
1x95/16	23,80	1304	0,193	0,659	0,342	0,381	364	331	435	365	1000
1x120/16	25,70	1565	0,153	0,636	0,327	0,416	424	379	496	419	1000
1x150/25	26,90	1920	0,124	0,620	0,319	0,454	479	422	554	479	1000
1x185/25	28,60	2271	0,099	0,602	0,310	0,496	549	476	637	543	1000
1x240/25	31,30	2832	0,075	0,579	0,300	0,556	595	550	746	640	1000
1x300/25	35,10	3509	0,060	0,563	0,295	0,617	629	591	831	722	1000

Çizelge Ek-1. 3. K1 Kablolar arası açıklığı belirleme faktörleri, Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabı (İnternet 5)

K1	Devre Sayısı	Kablolar arası açıklık (a)				
		Kablolar birbirine dokunuyor	Bir kablo çapı	0.125 m	0.25 m	0.5 m
	2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
	3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
	4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
	5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
	6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
	Çok Damarlı Kablolar					
	Tek Damarlı Kablolar					

Çizelge Ek-1. 4. K2 Hava sıcaklığına göre iletken düzeltme faktörleri, Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabı (İnternet 5)

K2	Ortam sıcaklığı °C	Tablo A-14'deki hava sıcaklıklarına göre iletkenlerin düzeltme faktörleri			
		Yalıtım			
		PVC	XLPE ve EPR	Mineral*	
				PVC kılıflı yahut çıplak ve dokunma etkisine açık 70°C	Çıplak dokunma etkisine açık değil 105°C
	10	1,22	1,15	1,26	1,14
	15	1,17	1,12	1,20	1,11
	20	1,12	1,08	1,14	1,07
	25	1,06	1,04	1,07	1,04
	30	1,00	1,00	1,00	1,00
	35	0,94	0,96	0,93	0,96
	40	0,87	0,91	0,85	0,92

Çizelge EK 1. 5. K3 Toprak sıcaklığına göre iletken düzeltme faktörleri, Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabı (İnternet 5)

K3	Toprak sıcaklığı °C	Tablo A-15'deki toprak sıcaklıklarına göre iletkenlerin düzeltme faktörleri	
		Yalıtım	
		PVC	XLPE ve EPR
	10,00	1,10	1,07
K3	15,00	1,05	1,04
	20,00	1,00	1,00
	25,00	0,95	0,96
	30,00	0,69	0,93
	35,00	0,84	0,89
	40,00	0,77	0,85

Çizelge Ek-1. 6. K4 Toprak termik direncine göre iletken düzeltme faktörleri, Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabı (İnternet 5)

K4	Toprağın Termik Direncine Göre Düzeltme faktörleri	
	Toprak Tipi Düzeltme katsayısı	
	Toprağın Tipi	
	Çok Nemli	1,21
	Nemli	1,13
	Az Nemli	1,05
	Kuru	1,00
	Çok Kuru	0,86

Çizelge Ek-1. 7. K5 Toprak derinliğine göre iletken düzeltme faktörleri, Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları Kitabı (İnternet 5)

K5	Kabloların topraktaki derinliğine göre düzeltme faktörleri	
	Döşeme Derinliği Düzeltme katsayısı	
	Döşeme Derinliği (m)	
	0,5	1,10
	0,7	1,05
	0,6	1,01
	1	1,00
	1,2	0,98
	1,5	0,96

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Adı-Soyadı : Eşref YALAV

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
Lisans	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi	2016
İş Deneyimi/Yıl	Çalıştığı Yer	Görevi
2012-2019	Aksaray Sultanhanı Belediye Başkanlığı	Memur
2019-2023	Abdullah Gül Üniversitesi Kayseri	VHKİ
2023-Devam Ediyor	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen