

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**COĞRAFİ GÜNEŞ İŐİNİM VERİLERİNİN ANALİZİ VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
GÜNEŞ ENERĐİ SİSTEMİ KURULUMU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER PALAZ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZİM İMAL

BİLECİK, 2022

10512378

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**COĞRAFİ GÜNEŞ İŐİNİM VERİLERİNİN ANALİZİ VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
GÜNEŞ ENERĐİ SİSTEMİ KURULUMU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER PALAZ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZİM İMAL

BİLECİK, 2022

10512378

BEYAN

“Coğrafi Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Şebekeden Bağımsız Güneş Enerji Sistemi Kurulumu” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Ömer PALAZ

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Tez yazımı süresince her türlü fedakarlıkla ve emekleriyle bana rehber olan ve destek veren değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr .Üyesi Nazım İMAL'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimi ve tez yazımı süresince her türlü fedakarlıkla destek ve emek veren, bana rehber olan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gürhan ERTAŞGIN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan, hakkını ödeyemeyeceğim babama ve anneme sonsuz teşekkür ederim. Yüksek lisans öğrenimim boyunca fedakarlık gösteren kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Ömer PALAZ

2022

ÖZET

COĞRAFI GÜNEŞ IŞINIM VERİLERİNİN ANALİZİ VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ KURULUMU

Yenilenebilir enerji sistemlerinin önem kazandığı günümüzde, özellikle güneş enerjisi esaslı fotovoltaik sistemler, fosil yakıtların pahalılaşmasıyla daha fazla önem kazanmaktadır. Güneş ışınımını fotovoltaik enerji olarak değerlendirmede, sistemlerin kurulumu öncesi, ölçüm için bazı yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Herhangi bir bölgeye fotovoltaik sistem kurulumu planlandığında, bölge için uydu bazlı meteorolojik verileri değerlendirme ve kurulum yapılan bölgedeki ışınım potansiyelini ölçme kurulum ile istenilen sonuçlara ulaşabilme adına önemli somut veriler sağlayacaktır. Uydulardan elde edilen ışınım verileri, herhangi bir konuma kurulacak sistemde bölgenin ışınım potansiyeli ile ilgili öngörüler yapılmasını kolaylaştırır. Uydular farklı bölgelerde farklı hassasiyetler gösterebilmektedir. Bu nedenle verimi arttırmak için farklı uydulardan alınan ışınım verilerinin analiz edilmesi kurulacak güneş enerji sistemlerinin daha olumlu sonuçlar vermesini sağlayabilir. Fotovoltaik güneş enerjisi potansiyeli, ayrıca bu verilere ek olarak piranometre adı verilen bir cihazla gerçekleştirilen ölçümlerle de hesaplanabilir. Bu kapsamda, güneş enerji sistemlerinde kullanılan elemanların birbiri ile uyumlu seçilmesi ve maliyet analizlerinin gerçekçi yapılması gerçekleştirilecek yatırımlardaki olumsuzlukları engelleyebilecektir. Bu çalışmada, uydu bazlı belirlenen coğrafi konumlar ve meteorolojik veriler esas alınarak, farklı veri kaynakları esaslı olarak güneş ışınım verilerinin değerlendirilmeleri gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik santral kurulumu planlanan bölge için PVGIS ve NASA güneşlenme verilerinden yararlanılarak, kurulacak sisteme yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Sistemin tasarımı sonrası, uygulama montajları gerçekleştirilerek, projelendirme öncesi ve sonrası veriler karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmeler yardımıyla, fotovoltaik santral yada enerji birimlerinin kurulumları öncesinde gerçekleştirilen fizibilite çalışmalarının kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Çalışma sonunda, literatüre katkı olarak, kurulması planlanan güneş enerjisi elektrik sistemlerinin fiyat ve performans dengesinde olumlu katkılar sağlanarak, verimliliklerinin artırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Işınım, Güneş Paneli, Verim.

ABSTRACT

**ANALYSIS OF GEOGRAPHICAL SOLAR RADIATION DATA AND OFF-GRID
SOLAR ENERGY SYSTEM INSTALLATION**

Today, where renewable energy systems gain importance, especially solar energy-based photovoltaic systems gain more importance as fossil fuels become more expensive. Before the installation of the systems, some methods and devices have been developed for the evaluation of solar radiation as photovoltaic energy. When a photovoltaic system is planned to be installed in any region, evaluating the satellite-based meteorological data for the region and measuring the radiation potential in the region will provide important concrete data in order to achieve the desired results with the installation. The radiation data obtained from the satellites make it easier to make predictions about the radiation potential of the region in the system to be installed at any location. Satellites may show different sensitivities in different regions. For this reason, analyzing the radiation data received from different satellites in order to increase the efficiency may provide more positive results for the solar energy systems to be established. The photovoltaic solar potential can also be calculated by additional measurements with a device called a pyranometer. In this context, the selection of the elements used in solar energy systems in harmony with each other and the realistic cost analysis will prevent the negativities in the investments to be made. In this study, solar radiation data were evaluated based on different data sources, based on satellite-based geographical locations and meteorological data. With the help of these evaluations, it is aimed to facilitate the feasibility studies carried out before the installation of photovoltaic power plants or energy units. At the end of the study, as a contribution to the literature, it is aimed to increase the efficiency of the solar energy electricity systems planned to be established by making positive contributions to the price and performance balance.

Keywords: Solar Energy, Irradiation, Photovoltaic Panel, Efficiency.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	11
1.1. Literatür Taraması.....	14
1.2. Tezin Amacı ve Yapısı.....	15
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	17
2.1. Güneş Işınımı.....	19
2.2. Güneş Işınımının Bileşenleri.....	21
2.3. Isı Etkisi ve Sıcaklık.....	22
3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN TEMEL ELEMANLARI.....	25
3.1. FV Panel.....	25
3.1.1. FV Panellerin Verimini Etkileyen Faktörler.....	26
3.2. Şarj Kontrol Cihazı.....	30
3.3. Batarya.....	32
3.3.1. Batarya Çeşitleri.....	32
3.4. Eviriciler.....	35
3.4.1. Evirici Topolojileri.....	35
4. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ KURULABİLİRLİĞİ ve UYGULAMASI.....	37
4.1. FV Enerji Kurulumunda Güneş Işınımı Verilerinin Yeterliliği.....	38
4.2. PVGIS ve NASA-POWER Verileri.....	39

4.3. Uygulama	40
4.3.1. Güneş Işınımı Verilerinin Karşılaştırılması	40
4.3.2. Tüketim	44
4.3.3. Üretim	45
4.3.4. Projenin Uygulanması	48
4.3.6. Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi	51
5. SONUÇ	55
KAYNAKÇA	57
EKLER	51

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. SARA2 [11], ERA5 [11], NASA-POWER [12] verilerinin 2005-2020 yılları arasında ortalama aylık toplam direkt ışınım tablosu (kW-saat/m ² /ay)	31
Tablo 4.2. SARA2 [11], ERA5 [11], NASA-POWER [12] verilerinin 2005-2020 yılları arasında ortalama aylık toplam global ışınım tablosu (kW-saat/m ² /ay)	32
Tablo 4.5. Tüketim kısmındaki cihazların güç ve kullanım bilgileri	34
Tablo 4.4. Üretim kısmındaki cihazların elektriksel birimleri	35
Tablo 4.5. PVGIS veri kaynağındaki SARA2 ve ERA5 uydularına ait, kurulan sistemdeki 3 panelin aylık toplam üretim tahmini	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Messrs Immisch & Co şirketinin 1888 yılında çıkarmış olduğu model	12
Şekil 1.2. Sırasıyla, hücre, panel ve dizi yapıları	13
Şekil 2.1. Güneşten dünyaya gelen enerji	18
Şekil 2.2. Güneş radyasyonunun atmosferde ve yeryüzündeki hareketi.....	21
Şekil 2.3. Direk ve difüze olan ışınımın gösterimi	22
Şekil 2.4. Güneş enerjisi ısı kollektörleri çalışma prensibi.....	23
Şekil 2.5. Güneş enerjisi kollektörleri çatı uygulaması örneği	23
Şekil 2.6. Hibrit fotovoltaik güneş enerji sistemi.....	24
Şekil 3.1. FV panelin katmanları	26
Şekil 3.2. Güneş panelinin gölgelenmesi	29
Şekil 3.3. Güneş panelinin üzerindeki kar örtüsü	29
Şekil 3.4. Fotovoltaik solar şarj kontrol cihazı	30
Şekil 3.5. PWM şarj kontrol blok diyagramı	31
Şekil 3.6. FV panel ile MPPT devre simülasyonu(PSIM)	32
Şekil 3.7. Bataryanın iç yapısı(temsili)	33
Şekil 3.8. Jel bataryanın iç yapısı.....	34
Şekil 3.9. Lityum iyon batarya çalışma prensibi.....	34
Şekil 3.10. Şebekeden bağımsız çalışan 1500W sinüs evirici	36
Şekil 3.11. Fotovoltaik evirici topolojileri	37
Şekil 3.12. Akıllı şebeke bağlantılı 1kW sinüs eviricinin iç yapısı	37
Şekil 4.1. Uydu sistemlerinde güneş ışınımı ölçümü.....	39
Şekil 4.2. Mevki uydu harita görseli, koordinat: 41.171, 29.495.....	41
Şekil 4.3. Kurulan güneş enerji sisteminin blok diyagramı	46

Şekil 4.4. 275Wp polikristal güneş panellerinin çatı konumu	48
Şekil 4.5. 275Wp polikristal güneş panellerinin çatı montaj sistemi.....	49
Şekil 4.6. PWM 3kW Tam Sinüs Akıllı Evirici.....	49
Şekil 4.7. Seri bağlı 12V 150Ah jel batarya grubu	50
Şekil 4.8. MPPT 40A Şarj Cihazı	50
Şekil 4.9. Epever eLog güç noktası takibi kayıt cihazı.....	51

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 2.1. 2020 yılı ülkelerin güneş enerjisinden elektrik üretimi	19
Grafik 2.2. Güneş ışınımı dalga boyu grafiği.....	20
Grafik 3.1. Güneş panelinin sıcaklık değişimine bağlı akım-gerilim grafiği.....	27
Grafik 3.2. Güneş panelinin temiz ve tozlu performans grafiği.....	28
Grafik 4.1. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık global yatay ışınım verileri karşılaştırma grafiği	42
Grafik 4.2. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık direkt ışınım verileri karşılaştırma grafiği.....	43
Grafik 4.3. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık difüz/global ışınım oranları karşılaştırma grafiği.....	44
Grafik 4.4. SARA2 ve ERA5 üretim tahminleri karşılaştırılması.....	44
Grafik 4.5. Aylara göre tahmini fotovoltaik enerji üretimi.....	44
Grafik 4.6. Güneş panellerinin gün bazında anlık güneş paneli üretimi.....	52
Grafik 4.7. Gün bazında aylık batarya seviyeleri.....	53
Grafik 4.8. Güneş panellerinin gün bazında aylık toplam üretimi.....	54

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

kW: Kilowatt

kWh/ m²: Kilowatt saat/Metrekare

kWh/ m²/ay : Kilowatt saat/Metrekare/Ay

Ah: Amper saat

DC: Doğru Akım

AC: Alternatif Akım

kWh: Kilowatt saat

nm: nanometre

\$: Dolar

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

NASA: National Aeronautics and Space Administration(Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)

FV: Fotovoltaik

I: Akım

W: Watt

V: Gerilim

mV: Milivolt

Wp: Watt peak(Maksimum Güç)

MPPT: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleyici)

PWM: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)

PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System(Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi)

POWER: Prediction Of Worldwide Energy Resource(Dünya Çapında Enerji Kaynağı Tahmini)

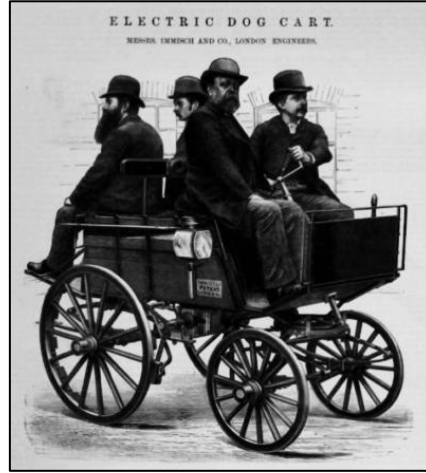
STC: Standard Test Conditions(Standart Test Koşulları)

1. GİRİŞ

Enerji insanlık tarihinde en önemli konu başlığıdır. Günümüzde dünya nüfusunun artmasıyla, enerji ihtiyacı da artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ise bu ihtiyacı karşılamak için alternatif bir kaynak olmaktadır. Yeryüzüne her yıl ulaşan güneş ışınım enerjisi, şu ana kadar belirlenmiş olan fosil yakıt kaynaklarının yaklaşık olarak 160 katı civarında olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu enerji miktarının yeryüzündeki enerji üretim tesislerinin bir yılda üretebileceği enerjiden 15.000 kat daha fazla olduğu ortaya konmuştur (Kallıoğlu, 2014). Böylesine yüksek miktarda enerji sağlayabilen güneşten faydalanılabilecek oran, diğer enerji kaynaklarına oranla çok düşüktür. Bunun nedeni depolama teknolojisi, düşük verimdeki panel teknolojileri, yüksek maliyetler ve farklı coğrafi faktörler olarak gösterilebilmektedir.

Çağımızın fosil yakıtlı araçlarına yenilikçi bir yaklaşımla çözüm sunabilecek olan elektrikli otomobiller 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmaya başladıklarında oldukça ilgi çekiciydi. Tarihten bir örnek olarak, Şekil 1'de görülen Türkiye'nin ilk elektrikli otomobili, İngiltere'de bulunan Messrs Immisch & Co şirketi tarafından 1888 yılında sipariş edilmişti. Magnus Volk ve Moritz Immisch'in isimli mühendisler tarafından özel olarak tasarlanan bu araçta, tek bir büyük tekerleği ön bölüme koyulması yerine iki küçük tekerleği birbirine yakın koyma fikrini hayata geçirmişlerdir. Motor olarak patentli 48 Volt 20 Amper 1 beygir gücünde bir motor kullanılmaktadır. Daha sonra iki mühendis ülkemizde ödüllendirilmiştir. Elektrikli otomobillerin petrolle çalışan otomobillere göre daha fazla konfor ve kullanım kolaylığı sağladığı düşünülmektedir. İçten yanmalı motor teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle elektrik starteri bu üstünlüğü tartışmalı hale getirmiştir. İçten yanmalı otomobillerin çeşitliliği, daha hızlı bir şekilde enerji üretilebilmesi, gelişen petrol altyapısı ve bazı şirketlerin seri araç üretimi, bu araçları öncelikli hale getirmiştir. Seri üretim içten yanmalı motorların elektrikli otomobiller ile eşdeğer maliyette, hatta daha düşük maliyette üretilir hale gelmesine sebep olmuştur. 1930'lu yıllarda yaşanan gelişmeler, elektrikli otomobillerin ABD piyasasından kalkmasına neden olmuştur. 21. yüzyılın başlarından bu yana yüksek yakıt fiyatları ve yakıtların çevresel etkilerinin doğurmuş olduğu endişeler, son yıllarda yakıtlı çalışan otomobiller ile ilgili dezavantaj oluşturmaya başlamıştır. Günümüzde özellikle batarya, güç elektroniği ve elektrik motor teknolojilerindeki gelişmeler, elektrikli otomobillere olan ilgiyi yeniden arttırmıştır (Wikimedia Vakfı, 2022). Yenilenebilir teknoloji alanındaki bu gelişmeler eğer bu şekilde devam edecek olursa, elektrikli otomobillere olan talebi arttıracak ve artan enerji ihtiyacı,

güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesini daha çok teşvik edecektir.



Şekil 1.1. Messrs Immisch & Co şirketinin 1888 yılında çıkarmış olduğu model

Kaynak: (Grace's Guide, 2016)

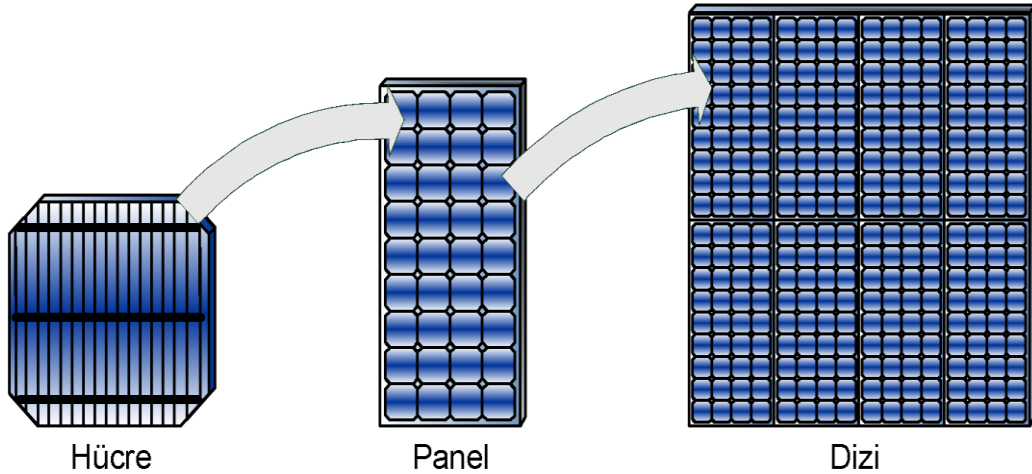
Son yüzyılda hızla tükettiğimiz fosil yakıtlar; hem doğayı fazlaca kirletmekte, hem de zamanla tükenmektedirler. Güneşten gelen ışınımı elektriğe dönüştürmek bize bu alanda faydalı bir alternatif olmaktadır. Bu bakımdan, kurulum yapacağımız bölgedeki ışınım potansiyelini ölçmemiz bize somut veriler sağlamaktadır. Güneş ışınımını ölçmek için bazı yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Güneşten sağlanabilecek enerji potansiyeli, piranometre adı verilen bir cihazla ölçümler yapılarak istenilen bölgeler için hesaplanabilir. Bu cihaz, yalnızca ölçümün gerçekleştirildiği geçerli konumdaki verilere erişim sağlar. Daha kapsamlı verilere ulaşabilmek için ise meteorolojik olayları takip eden uydulardan ve geometrik hesaplamalardan faydalanmak gerekmektedir.

Uydulardan elde edilen ışınım verileri, herhangi bir konuma kurulacak sistemde bölgenin ışınım potansiyeli ile ilgili öngörüler yapılmasını kolaylaştırırlar. Uydular farklı bölgelerde farklı hassasiyetler gösterebilmektedir. Bu nedenle verimi arttırabilmek için farklı uydulardan alınan ışınım verilerinin analiz edilmesi, kurulacak güneş enerji sistemlerinin daha olumlu sonuçlar vermesini sağlayabilir. Güneş enerjisi, güneş panellerine ulaşmadan önce öngörülemeyen ışınım değişikliklerine neden olan, bulutlar, rüzgar ve sis gibi bazı doğal olaylarından etkilenir. Bir güneş enerjisi sistemi, istenmeyen sonuçları önlemek için, bu kapsamda oluşabilecek kayıpları bunu sürekli olarak tolere edebilmelidir. Bundan dolayı güneş enerji sistemlerinde kullanılan elemanlar birbiri ile uyumlu seçilmeli ve maliyet analizi etkili yapılmalıdır.

Dünyada 1973-1974 yılları arasında meydana gelen enerji krizi, güneş enerjisinin

dolaylı veya doğrudan kullanılmasını daha yaygın hale getirmiştir (Kapluhan, 2014). İhtiyacımız olan elektrik enerjisinin belirli bir kısmı, ortamın uygunluğuna bağlı şartlar ve bütçeye bağlı olarak, güneşten gelen enerji kaynaklı fotovoltaik sistemlerle karşılanabilir. Dünya şartları nedeniyle, bu teknolojilerin amortisman süreleri ve performans garantileri konusunda net bilgiye sahip olunamasa da, bu kapsamda üretici firmalar 5-7 yıl aralıklarında farklı beyanlarda bulunmaktadır.

Şekil 2’deki görüldüğü gibi fotovoltaik hücreler yarıiletken malzemeden yapılırlar. Bu hücreler panelleri, panellerde dizileri oluşturur. Enerji üretim karakteristikleri gerek güneş ışınımının nicelik olarak değişkenliği, gerekse renksel bakımdan farklılıklar göstermesi nedenleriyle doğrusal değildir. Fotovoltaik enerji sistemleri, hareketli parçasının olmaması, yakıt maliyetinin bulunmaması, güvenilir olması, bakım maliyetlerinin çok düşük olması ve çevreyi kirletmemesi gibi birçok avantaja sahip olmaktadır. Bunlara rağmen verimlerinin düşük olması, enerjinin depolanma zorlukları, kurulum maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptirler (Kırcıoğlu vd., 2015). Bu nedenle FV sistemlerde, tasarım ve kurulum gerçekleştirilirken hatanın hiç olmaması yada çok az olması ve yapılan işlemlerden maksimum gücün elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.2. Sırasıyla, hücre, panel ve dizi yapıları

Güneş enerjisini, ölçülen uydu ışınım verilerinden faydalanarak kullanmak, kurulacak sistemin maliyetlerini düşürebilir ve verimi arttırabilir. Günümüzde dünyadaki enerji potansiyellerini ve meteorolojik olayları ölçmek için kullanılan uydulardan elde edilen coğrafi güneş ışınım verileri bu konuda çözüm sağlamaktadır.

Düşük oranda verim alabildiğimiz güneş panellerindeki enerjiyi evirip, yüksek verimle tüketim bölgesine aktarmak için kullandığımız eviriciler bu noktada büyük önem arz

etmektedir. Günümüzde eviriciler pratik çözüm sunan bir tasarıma sahip olup, kullanıcı tarafından kolay kurulumu ve dayanıklılığı ile ön plana çıkmaktadırlar. Bu çalışmada farklı kaynaklardan alınan uydu ışınım verileri incelenerek, güneş enerji sistemi kurulmuştur.

1.1. Literatür Taraması

(Öztürk vd., 2012:14), yaptıkları araştırmada, yeryüzündeki bir alanda oluşan güneş radyasyonunu ölçmek için deneysel yöntemler kullanıldığını ve bu ölçümler için güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, boylam, bulutluluk, bağıl nem, nem gibi klimatolojik, meteorolojik ve coğrafi parametreler de öngörü oluşturabilme tarzı verilerin kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir. En sık kullanılan parametre ise güneşlenme süresidir. Kolay ve güvenilir şekilde ölçümler yapılabilmesi için güneşlenme süresi dikkate alınmalıdır.

(Kuncan ve Şahin, 2017:1)'e göre güneş radyasyon ölçüm istasyonlarında yapılan ölçümler, uydulardan elde edilen ölçümlere göre daha sınırlı olmaktadır. Diğer meteorolojik parametreler gibi ölçümler kolaylıkla yapılamamaktadır. Bu problemler göz önünde bulundurularak uydu teknolojileri ve yapay sinir ağlarından faydalanmak mantıklı bulunmaktadır. Güneş radyasyonunu doğru ölçülmesi bu kadar önemliyken, bu verilerin test edildiği yer yüzündeki veri kümesi sınırlı ve güvenilir değildir.

(Ruşen, 2017:468)'e göre ölçüm cihazları kullanılarak, yer gözlem istasyonlarında yaklaşık verilere ulaşılmaktadır. Bu cihazların yaygın olmaması, kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve rutin bakım gerektirmesi gibi dezavantajları vardır. Uydulardan yararlanılması daha geniş alanlarda veri toplanmasını mümkün kılmaktadır. Uydu kullanılarak güneş radyasyon tahmini 1986 yılında ilk kez yapılmıştır.

(Journée ve Bertrand, 2010:2692)'e göre global yeryüzü ışınımı ölçümlerine, diğer değişkenleri de eklemenin olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Yüksek doğruluk için yeryüzü istasyonlarından alınan veriler, uydu verileriyle karşılaştırılabilir. Elde edilen verilerin farklı kaynaklardan olması doğruluğu arttırmaktadır. Bu yeryüzünde ölçüm yapabileceğimiz tüm mevkiler için geçerlidir.

(Mohamad vd., 2022:15)'e göre güneş ışınımı verileri, büyüyen fotovoltaik endüstrisi için kritik öneme sahiptir. Yer tabanlı istasyonların az olması bu verilere ulaşmayı güçleştirmektedir. Bölgelerdeki enerji potansiyelinin yanlış tahmin edilmesi, fotovoltaik sistem kurulumları bakımından risk oluşturmaktadır. Uydudan gelen veriler, bazı değişkenlerin ilavesi ve yapay zeka ile birleştirilse bile eksik noktaları vardır. Bu verilere yer istasyonu ve klimatolojik verileri de ilave etmek olumlu sonuçlar verebilmektedir.

(Väisänen vd., 2019:353)'e göre, güneş panellerinin enerji üretimi ışınım miktarına ve yönüne bağlıdır. Güneş enerjisinin çoğunun elde edildiği yaz aylarında günler daha uzun ve ışınım daha fazladır. Kışın paneller karla kaplanır ve üretim durma noktasına gelir. Bu yıllık toplam üretimi düşürür. Bulutlu günlerde, gün doğumu ve batımındaki ışınımlarda, üretim hava ve iklim koşullarından daha fazla etkilenir.

(Chen vd., 2022:404-4013)'e göre global yatay ışınım ölçümlerine ilaveten yarı deneysel yöntemleri kullanmak tahmini verileri iyileştirebilir. Yer ölçümlerindeki zorluklardan dolayı yarı deneysel yöntemleri kullanmak her mevkide kullanılamamaktadır. Bunun yerine uydu verilerini ölçüm yapılacak bölgede deneysel metotlarla doğrulamak olumlu sonuçlar doğurabilir.

(Tournadre vd., 2022:3998)'e göre uydu kalibrasyonları düzenli yapılmadığı takdirde uzun zaman serilerinde ciddi ölçüm hataları meydana gelmektedir. Uydudan yapılan ölçümleri bulutlar ve yeryüzünden gelen yansımalar olumsuz etkileyebilmektedirler. Uydulardaki sensörlerin hareketli olması bu durumu iyileştirebilir. Bu sistemler, geçmişteki bulutluluk indekslerinden faydalanılarak gelecekteki ışınım potansiyelini tahmin edebilirler.

(Balenzategui vd., 2022:180)'e göre güneş ışınımı duyarlılığı mevsimlere göre değişiklik gösterir. Ölçümlerin hassasiyeti kış aylarında güneş ışığına daha duyarlıyken, yaz aylarında bu duyarlılık daha azdır. Güneş ışınımı algılama sensörünün meteorolojik olaylara duyarlılığı önemli olup. Bu durum global yatay ve direkt ışınım ölçümlerini etkileyebilir, laboratuvar ortamında sensörler kalibre edilebilir. Ama tüm bu tedbirlerin getirdiği maliyet ve zaman kayıpları vardır.

(Sadat vd., 2022:19)'e göre şehirlerden çıkan hava partikülleri güneş panellerinin üzerlerine gelerek, güneş ışınımını engellemekte ve üretimlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca orman yangınlarının oluşturduğu duman tabakası, rüzgarla beraber güneş panellerinin üstüne gelebilmektedir. Panellerdeki enerji çıkışına, etkisi yadsınamayacak kadar fazla zarar verebilmektedirler. Bulutlar ve havadaki su buharı, zaten doğal olarak ışınımın fotovoltaik etkinliğini düşürdüğü gibi sistemin performansını da etkilemektedir.

1.2. Tezin Amacı ve Yapısı

Bu çalışmada, farklı ölçüm yöntemleri ve teknikleri kullanılarak güneş ışınımının tanımı yapılmış ve ışınımı etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur. Bu faktörlerin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak, ölçüm mekanizmalarından biri olan uydulardan alınan ışınım verileri değerlendirilmiştir. Farklı uydu veri tabanları karşılaştırılmış ve kurulacak

güneş enerji sisteminin, karşılaştığı ışınım potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kurulan güneş enerji sisteminin amacı, sistemin kurulduğu bölgede ki enerji ihtiyacının bir kısmını karşılamak ve o bölgedeki ışınım verilerini somut olarak inceleme olarak ele alınmıştır. Kurulum yapılan mevkide şebeke elektriği mevcut olmakla birlikte bazı zamanlarda elektrik kesintileri yaşanmaktadır. Bu sistemin bu probleme de çözüm olması amaçlanmıştır. Sistem bir evin bütün ihtiyacını karşılayacak bir yapıda olmayıp, sadece bazı temel ihtiyaçları karşılaması amaçlanmıştır. Projenin deneysel olarak değerlendirilebilmesi için bir takip cihazı kullanılmış ve enerji üretimi kayıt altına alınmıştır. Güneş panellerinin enerji üretimi ve bataryaların zamana göre şarj yüzdeleri incelenmiştir.

Elde edilen veriler, gelecekte kurulacak yada kurulması planlanacak fotovoltaik enerji sistemlerine literatür oluşturması adına tez kapsamında listelenmiş ve bu verilere ait grafikler gösterilmiştir. Benzer durumlarda, fotovoltaik sistemlerden elde edilebilecek aylara göre güç tahminleri ise mevcut verilerden elde edilen regresyonel eşitliklerle ortaya konulmuştur.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

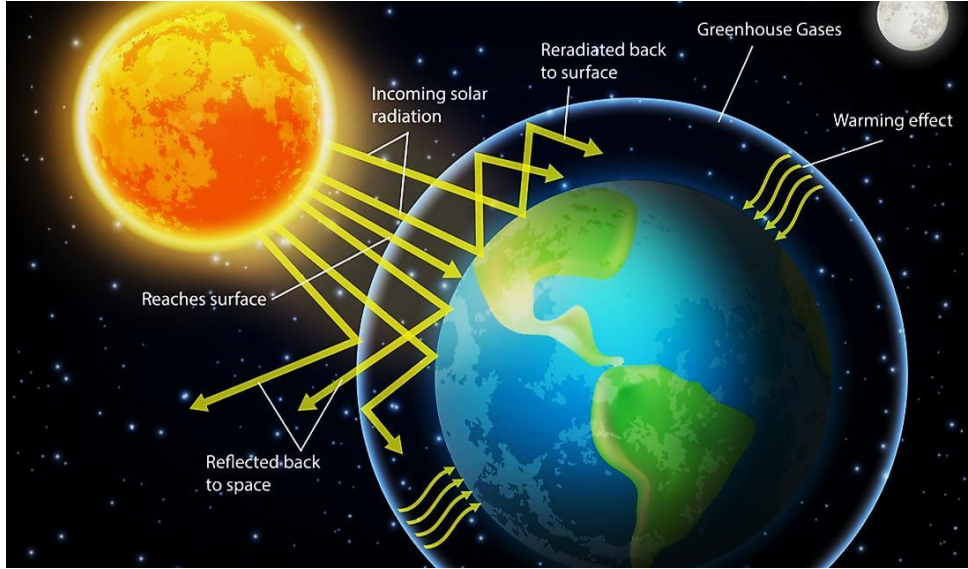
Güneşin dünyaya uzaklığının değişmesinden dolayı, atmosferin dışında güneş ışınlarına dik olarak cm^2 'ye bir dakikada gelen güneş enerjisi miktarı 1,94 kalori ile 2,06 kalori arasında değişmektedir. Güneş ışınlarının 8 dakikada kat ettiği dünya-güneş arasında uzaklığın 147 milyon km ile 152 milyon km arasında değişmesinin nedeni bir yıl boyunca güneş etrafında dünyanın yaptığı eliptik yörünge hareketinden kaynaklanmaktadır. Güneş sabiti atmosfer tabakasının dışına dik olacak biçimde düşünülen güneş ışınımına, bir saniyede 1 metre karelik alana ulaşan güneş ışınımı miktarına denilmektedir. Bu sabit $1,36 \text{ kW/m}^2$ olarak kabul edilmektedir. Atmosfer etkileri ihmal edildiğinde, Dünya yüzeyine günde yaklaşık 4×10^{21} kalorilik güneş enerjisi gelerek, yaklaşık $2 \times 10^{14} \text{ kW}$ 'lık bir enerji oluşmaktadır. Dünya yüzeyine yayılmış olarak hesaplandığında, atmosfer ihmalıyla Dünya üzerinde bir günde birim alana gelen ortalama güneş enerjisi 720 kalori/cm^2 olmaktadır (Şen, 2002).

Güneş ışınlarının ancak yarısı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Yeryüzünde yaşamın mümkün hale gelmesinin sebebi güneş enerjisinin dünyanın sıcaklığını yükseltmesidir. Güneş ışınlarının %30 kadarı atmosfer tarafından geri yansıtılmaktadır. Deprem kaynaklı oluşan dalgalar veya tsunamiler haricindeki okyanus dalgalanmalarına ve rüzgâr hareketlerine de güneş enerjisinin oluşturduğu ısınma neden olmaktadır. Atmosfer ve bulutlarda tutulmakta olan güneş ışınımı ise %20 kadar olmaktadır (Oral, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güç üreterek yeterli ısı enerjisi elde etmek için güneş, biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları kullanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar çok az bölgede bulunduğu için, biyokütle enerjisinde ise kaynak doğada sınırlı temin edilebilmesinden dolayı güneş enerjisi en yüksek küresel potansiyele sahiptir (Kabir vd., 2018). Dünyanın aldığı ısı, çevrenin beş ayrı bileşenine gider: bitkiler ve hayvanlar gibi canlılar, yerkabuğu, dünyanın su kütleleri, atmosfer ve buz.

Dünyanın yapısal olarak, yayılan enerjinin bir kısmını emerken, bulutlar ve dış katmanlar da bir kısmını yansıtmaktadır. Dünya güneşten gelen enerjiyi düşük miktarlarda enerjiye barındıran uzun dalga radyasyonu şeklinde uzaya göndermektedir. Dünyadan uzaya ulaşan enerji çoğunlukla kızılötesi radyasyon şeklinde olmaktadır. Giden radyasyon, dünyadan atmosfere giden enerjinin toplamını oluşturmaktadır. Metan ve Karbondioksit gibi gazlar, atmosferdeki ısınma değerini yükselterek radyasyonu emdiğinden dolayı, dünya dışına giden radyasyon da sera gazı etkisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu gazlar tarafından soğurulmanın bir başka etkisi de, dünya yüzeyinin sıcaklığının artmasıyla sonuçlanmaktadır

(World Atlas, 2022). Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi yansıyan enerji dünyanın dış katmanına çarparak sera gazı katmanı arasında kalarak ısınma etkisi oluşturmaktadır. Bir kısmı ise sera gazı katmanından yansıyarak uzaya gitmektedir.

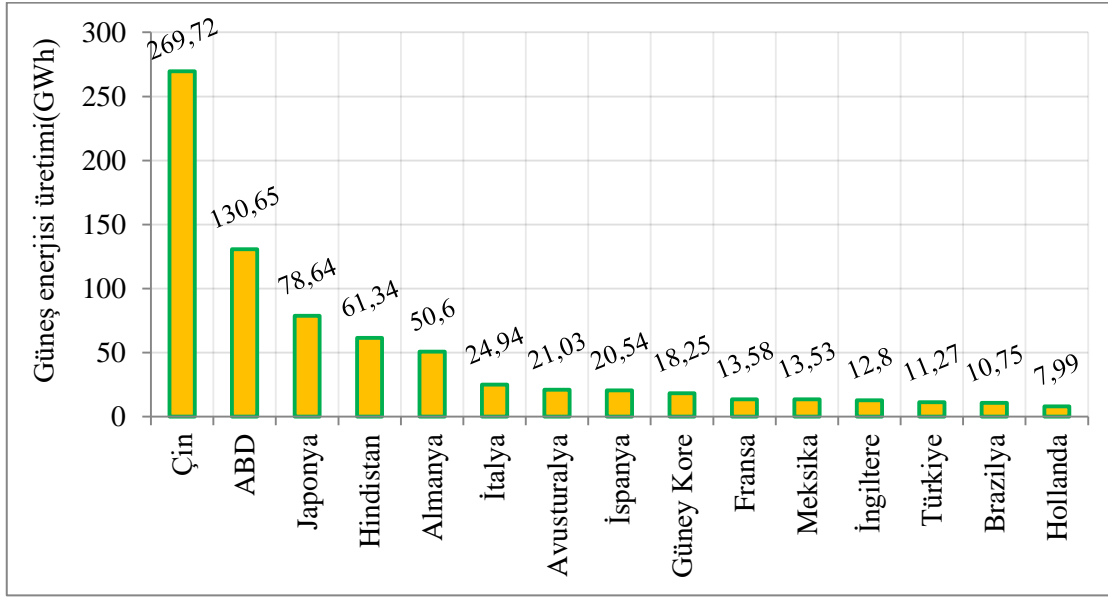


Şekil 2.1. Güneşten dünyaya gelen enerji

Kaynak: (World Atlas, 2022)

Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli 189 GWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. İspanya ve Fransa'dan yaklaşık yüzde 30 daha fazla potansiyele sahip olduğu hesaplanmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumundan kaynaklı olarak yıl içerisindeki günlük güneşlenme süresi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1991-2020 yılları arasındaki verilerinde aylara göre ortalama 6,73saat/gün olması, güneş enerji potansiyelinin doğrudan nedeni olarak gösterilmektedir. 2014 yılından sonra yüzde 25'lik bir büyüme kaydeden güneş enerjisi sektörü, 2015 yılında küresel kurulu güç 50 GW artarak toplam 227 GW kapasiteye ulaştığı bilinmektedir. Dünyanın coğrafi bölgelerine göre güneş enerjisi kurulu gücü, kapasite olarak en yüksek Avrupa kıtasında olup, Asya ve Kuzey Amerika kıtaları onu takip etmektedir. Fotovoltaik güneş enerji sistem kapasitesi dünya genelinde en fazla olan ülke Çin'dir. Almanya ise kişi başına düşen güneş fotovoltaik sistem kapasitesinde 2015 yılında ilk sırada yer almaktadır (Taktak ve İli, 2017). İlerleyen yıllardaki gelişmelerde Avusturalya kişi başına düşen kurulu güç değerinde Almaya'yı geride bırakarak bu alanda lider konumuna gelmiştir. Grafik 2.1.'de 2020 yılında dünya ülkelerinin güneş enerjisinden elektrik üretimleri görülmektedir. Çin son 20 yıllardaki gelişmeleriyle fotovoltaik güneş enerjisi üretiminde Amerika Birleşik Devletlerini geride bırakarak ciddi bir üstünlükle dünyada lider konumu gelmiştir. 2020 yılındaki değerlendirmede Türkiye 13.sırada olup

fotovoltaik güneş enerji teknolojisi yatırımları ve çalışmalarıyla dünyadaki gelişmeleri takip etmektedir.



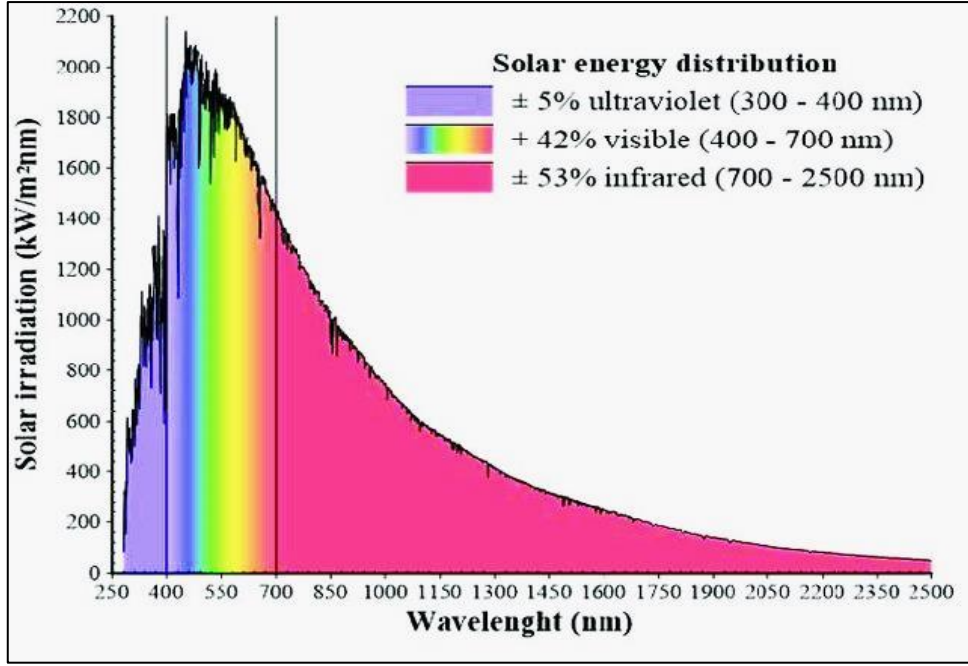
Grafik 2.1. 2020 yılı ülkelerin güneş enerjisinden elektrik üretimi

Kaynakça: (The Global Economy, 2022)

Ülkelerin bu alandaki yarışları küresel güneş enerjisine büyük ölçüde katkı sağlamakta ve dünyanın geleceği için önem arz etmektedir. Güneş enerjisi dünyamıza ışınlam yoluyla ulaşmakta olup alt başlıkları ve sınıflandırmaları bulunmaktadır.

2.1. Güneş Işınımı

Güneş ışınlarının dik olarak 1 m² alana saniyede gelen güneş enerjisi 1.367 J, güneş sabiti olarak kabul edilmektedir (Karakoç, 2010). Birimi W/m²'dir. Güneş ışınları yeryüzüne ulaşırken kayıplar olmakta ve coğrafi bölgelere göre farklılıklar oluşmaktadır. Grafik 2.2.'de görüldüğü gibi güneş ışınlarının dalga boyları 280-2500 nm arasında olup, gelen ışınların %5'u mor ötesi bölgede, % 42'i görünür ışık bölgesinde ve geriye kalan %53'sü kızılötesidir (Ramos vd., 2020).

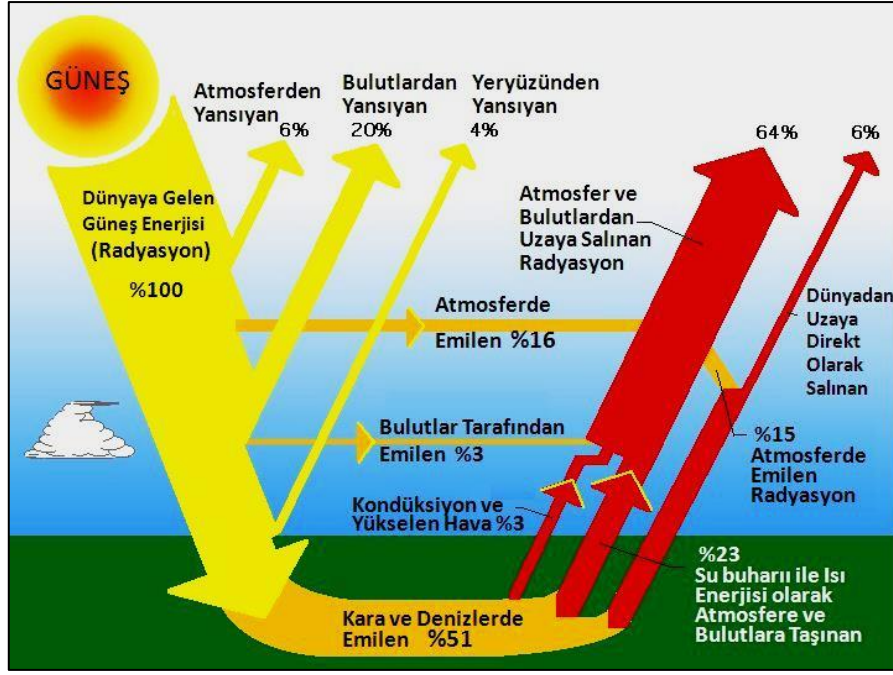


Grafik 2.2. Güneş ışınımı dalga boyu grafiği

Kaynak: (Ramos vd., 2020)

Işık, çok farklı dalga boylarına sahip bir elektromanyetik spektrum enerji yayılımı olup görünürlük sınırı 380-720 nm dalga boyları arasındaki insan gözünün duyarlılığına dayanmaktadır (Öztürk ve Başçetinçelik, 2002). Işınım enerjisi belirli sıcaklıktaki maddeden, bir ortamdan veya cisimlerin yüzeylerinden, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar ile yayılmaktadır. Enerji manyetik alanların ve elektriğin hareketi sırasında periyodik bir olarak elektromanyetik dalgalar yoluyla taşınmakta ve uzayda aynı hızda hareket etmektedir (Öztürk, 2008). Güneşten gelen ışınlar dünyanın güneş sistemindeki ve kendi etrafındaki hareketleri sebebiyle oluşan belirli açılar ışınımın enerjisinin karakteristiğini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 2.2.' de görüldüğü gibi güneş enerjisinin %6'sı atmosferden, %20'si bulutlardan ve %4' ü yeryüzünden yansır. %16'sı atmosferde, %3'ü bulutlar tarafından emilir. Güneş ışınımı kara ve denizlere ulaştığında ise geriye %51 kalmıştır.



Şekil 2.2. Güneş radyasyonunun atmosferde ve yeryüzündeki hareketi

Kaynak: (MMO, 2022)

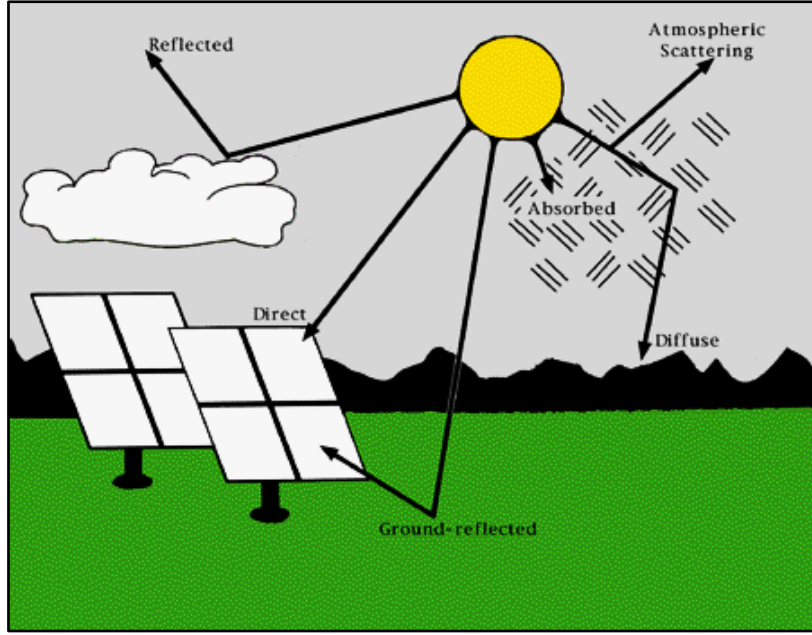
Kondüksiyon ve yükselen havanın etkisi ile %3'lük kayba uğrar. Isı enerjisi su buharıyla atmosfere ve bulutlara taşınır. Atmosferde emilen %16 radyasyon %1'lik kayıpla uzaya salınır. Uzaya direkt olarak salınan ışınım %6'dır. Atmosfer ve bulutlardan uzaya salınan radyasyon %64'tür.

2.2. Güneş Işınımının Bileşenleri

Direkt Normal Işınım (DNI), güneşten düz bir çizgide gelen ışınlarla her zaman dik tutulan bir yüzey tarafından birim alan başına alınan güneş radyasyonu miktarıdır. Normal olarak, bir yüzeye gelen radyasyonu daha az yansıtma ve iyi elektriksel özelliklerle maksimum verime çıkarabiliriz. Bu konuda güneş ışınımını aldığımız açılarda çok önemlidir.

Difüz Yatay Işınım (DHI), atmosferden yansıyan ışınımıdır. DNI hariç bütün radyasyon, yani gökyüzündeki tüm noktalardan gelen radyasyon yatay yüzeyde ölçülür. DHI'yi sağlayan atmosferdir.

Şekil 2.3' te görüldüğü gibi güneş ışınımı yeryüzünü doğrudan gelebilmektedir. Aynı zamanda ışık atmosferden geçerken yönünü ve şiddetini değiştirebilmektedir. Işınım atmosferik etki ile değişime uğrayarak difüze olarak yansımaktadır.



Şekil 2.3. Direk ve difüze olan ışınımın gösterimi

Kaynak: (Mackley vd., 2015)

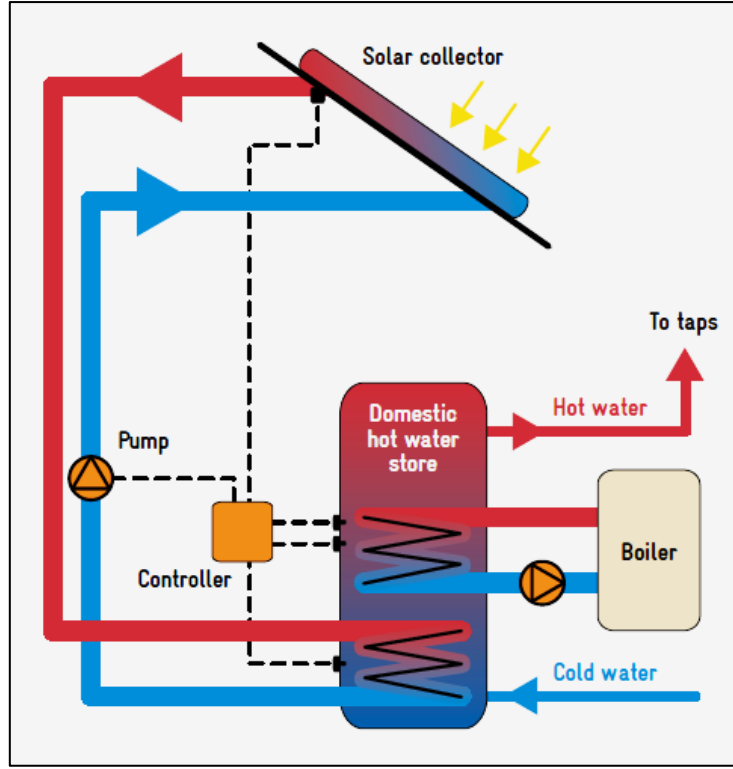
Ayrıca yeryüzünden yansıyan ışınımlarda olmaktadır. Bunlar çeşitli yüzeylerden yansımaktadır. Yatay yüzeye düşen toplam ışınım global radyasyon miktarını ifade etmektedir. Global radyasyon, direkt ve difüze ışınımın toplamı olarak tanımlanmakta olup, birim yüzeye ulaşan toplam radyasyonu ifade eder.

2.3. Isı Etkisi ve Sıcaklık

Güneş enerjisinin çok yüksek sıcaklıklara çıkabilme avantajı bulunmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanılırken direkt ve endirekt sistemler mevcuttur. Direkt sistemlerde buharlaştırıcılar güneş kolektörüne doğrudan yerleştirilmektedir. Direkt olmayan sistemlerde ise kolektörden su buharı ya da su geçirilerek bu şekilde kaynak olarak kullanılmaktadır (Açıkgöz, (2007).

Hava sıcaklıklarının düştüğü kış günlerinde ısı ihtiyacının fazla olması, güneş enerjisinin zayıflığı, bu sistemin dezavantajı olmaktadır. Isıyı depolamanın pahalı ve zor olması bu durumlarda mevcut ısıtma altyapısının kullanılmasını mecbur kılmaktadır (Hancıoğlu, 2000).

Şekil 2.4.'de güneşten ışınım yoluyla alınan ısı enerjisi su tankındaki soğuk suyun kolektörlerdeki vakum tüplerinden pompa yardımıyla geçerek ısınmasıyla sıcak suya dönüşmektedir. Sıcak su tankın üst seviyesinde kalmaktadır. Su ihtiyaç halinde su tankından çekilmektedir. Sistem döngüsel olarak bu şekilde devam etmektedir.



Şekil 2.4. Güneş enerjisi ısı kollektörleri çalışma prensibi

Kaynak: (ETL, 2022)

Şekil 2.5.'de çatı üzerine montajı yapılmış güneş enerjisi kollektör sistemi görülmektedir. Özellikle dünyada güney yarım küredeki sıcak iklime sahip ülkelerde ilkbahar ve yaz aylarında yüksek verim alınmaktadır. Böylelikle bölgedeki güneş enerjisi değerlendirilmiş olup enerji sarfıyatı azaltılmış olmaktadır.



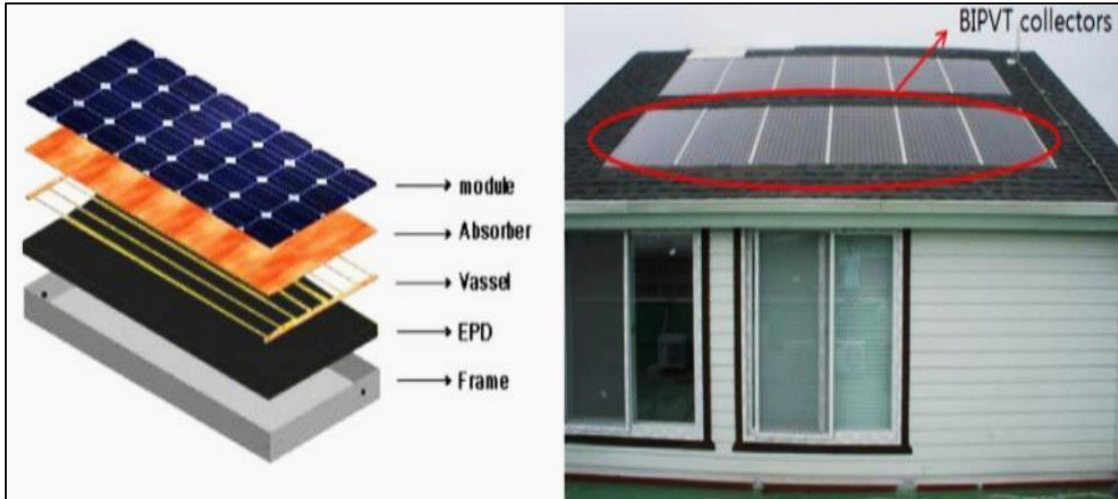
Şekil 2.5. Güneş enerjisi kollektörleri çatı uygulaması örneği

Kaynak: (Inter Solar, 2022)

Yakın zamandaki gelişmelerle fotovoltaik güneş panellerine, ısı transferi için hibrit olma yeteneği kazandırılmıştır. Bu sayede elektrik üretimi yapan paneller oluşan ısının transfer edilerek verimin artırılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Hibrit (FV/T) olarak adlandırılan fotovoltaik/termal sistem, güneş enerjisini çok yönlü kullanarak, verimi arttırmaktadır.

Güneş ışınımının ulaştığı fotovoltaik hücreler tarafından kullanılan enerjinin büyük kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Fotovoltaik hücrelerin ısınmasına neden olarak verimi düşürmektedir. Bu ısının akışkan bir madde ile transfer edilerek fotovoltaik verim yükseltilebilmektedir. Bu soruna çözüm olarak Fotovoltaik hücreler ısı kollektörleriyle bütünleşmiş edilerek ısının soğurulması sağlanmaktadır. Hibrit sistem bu şekilde eşzamanlı olarak elektrik ve termal enerji üretebilmektedir (Metin ve Akyüz, 2019).

Şekil 2.6.'da hibrit fotovoltaik güneş enerji sistemi ve bir çatıya uygulaması görülmektedir. Şekildeki sistemde ısı transferi için su kullanılmaktadır. Transferin sağlandığı bakır tüpler sayesinde yüksek ısıdan olumsuz etkilenen fotovoltaik panellerin verimleri de artmaktadır.



Şekil 2.6. Hibrit fotovoltaik güneş enerji sistemi

Kaynak: (Buker ve Riffat, 2015)

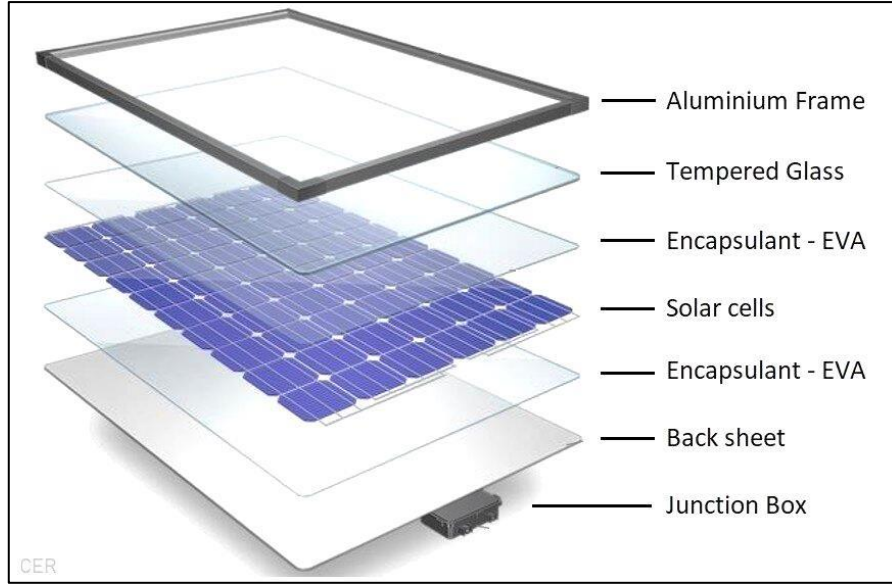
3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN TEMEL ELEMANLARI

Güneş enerji sisteminde, fotonlar ile gelen enerjiyi kontrollü bir şekilde depolayarak, belirli standartlar ile kullanabilmek için bazı temel elemanlara ihtiyacımız bulunmaktadır. Sistemin en temel ve en önemli elemanı FV panellerdir. Dünyamıza güneşten gelen ışınım enerjisini silikon panel teknolojisiyle potansiyel fark oluşturarak enerjiyi dönüştürüp, aktarmaktadır.

Elektrik şebeke altyapılarında kullandığımız AC enerjiye evirerek kullanabilmekteyiz. Bu görevi üstlenen eleman eviricilerdir. Ayrıca güneş panellerinde üretilen DC enerjiyi doğrudan yük ile buluşturarak da tüketebilmekteyiz. Gündüz güneş ışığı alabiliyorken elde edebildiğimiz fotovoltaik enerjiyi, gece ihtiyacımız olduğunda kullanabilmek için bataryalara ihtiyacımız olmaktadır. Sağlıklı ve verimli bir şarj için şarj kontrol cihazları kullanılmaktadır.

3.1. FV Panel

Güneş panelleri yarı iletken malzemeden üretilmektedir. Temel yapıtaşı silikon olan panellerin saflaştırılması gerekmektedir. Bu işlem için karbon kömürü kullanarak yüksek ısı ile işlem görerek ham silikon bileşik formuna dönüştürülmektedir Güneş paneli hücreleri temelde monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılmaktadır. Saflık derecesini yükseltmek ve polikristal hale getirmek için hidrojen ile karıştırılır. Saflık derecesi yükseltilerek külçeler halinde monokristal yapılar da oluşturulabilmektedir. Güneş paneli hücreleri çok ince ve kırılmandır. Panelin son kullanıcının kullanımına sunulacak hale gelmesi için birçok katman birleştirilerek hücreler koruma altına alınmaktadır. Bu katmanlar güneş panelinin hücrelerini dış etkenlerden koruyarak, fotovoltaik enerji üretimini verimli şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.1.'de görülen su geçirmez bağlantı kutusu(junction box), pozitif ve negatif enerji akışının sağlandığı solar kabloların girişlerinin olduğu kısımdır. Bağlantı kutusunda bypass diyotu bulunmaktadır. Görevi arıza, gölgelenme veya kısmi tozlanma gibi durumlarda panelin geriye kalan kısmının FV enerji üretimine devam etmesini sağlamaktır. Sırt Folyosu(Back sheet), EVA filminden önce panelin yalıtımını sağlamakla birlikte, panelin termal açıdan uygun değer seviyede kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.1. FV panelin katmanları

Kaynak: (Hassan vd., 2020)

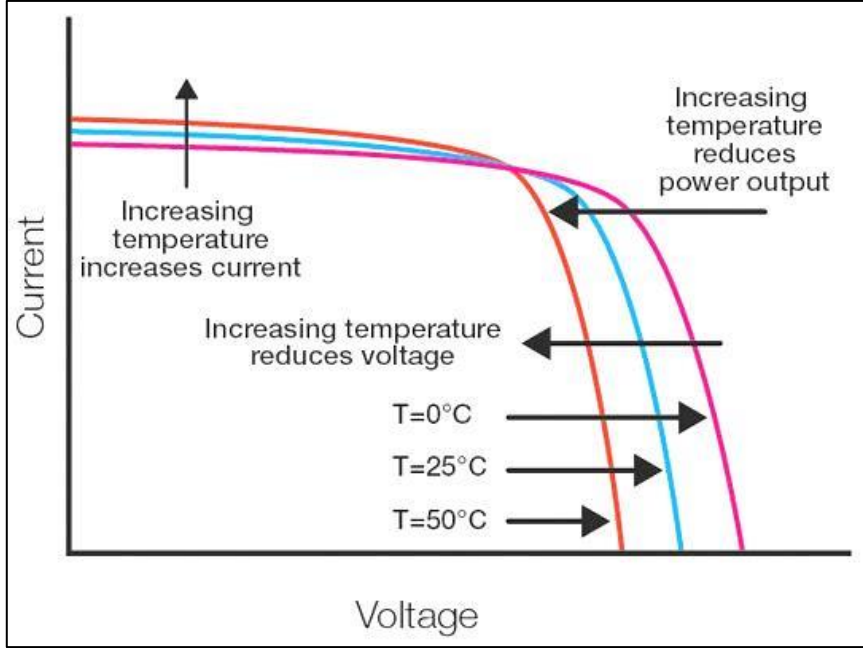
Etilen vinil asetat(EVA), ısı işlem uygulanarak katmanların birbirine yapışmasını sağlayan özel bir malzemedir. Temperli Cam(Tempered Glass), dışarıdan gelecek olan hertürlü darbeye karşı hücreleri korur. Işığın büyük bölümün hücrelere aktarırken bir kısmını yansıtılmaktadır. Alüminyum çerçeve ise panelin bütün katmanlarını bir araya toplamakta ve korumaktadır. Bu çerçeve aynı zamanda güneş panelinin çeşitli yöntemlerle, farklı yüzeylere, montaj yapılmasını sağlamaktadır. Güneş panelleri temelde elektronların hareketi için güneşten gelen fotonlardan faydalanıp, potansiyel fark oluşturarak elektrik enerjisi üretmektedir.

3.1.1. FV panellerin verimini etkileyen faktörler

Güneş ışınımı rüzgar, toz ve yağış düzeni gibi çevresel faktörler, fotovoltaik tesislerin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Işık her türlü engelde şiddetini kaybetmekte ve bu fotovoltaik enerji üretimini olumsuz etkilemektedir. Bu bölümde verimi etkileyen faktörler sıcaklık, tozlanma ve gölgelenme ele alınmaktadır.

Güneşin dünyadaki sıcaklığı gün boyunca atmosferik şartlarla beraber değişerek panel verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Fakat FV panel üretici firmaları kataloglarında laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilen testlerin sonucunu, standart test koşulları(STC) olarak adlandırılan 25 °C hücre sıcaklığı, 1000 W/m² güneş ışınım şiddeti ve 1,5 hava kütle oranı şartlarındaki panelin elektriksel değerlerini vermektedir. FV panelin elektriksel verileri, STC haricindeki durumlarda bilinmemektedir. FV panelin elektriksel değerleri, atmosfer

koşullarının değişmesi göz önünde bulundurulduğunda, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemlerin tasarımında daha doğru sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Karafil vd., 2016). Şekil 2.4' de görüldüğü gibi optimum sıcaklık 25°C ' dir. Sıcaklık 25°C 'nin altına veya üstüne ilerlediğinde akım-gerilim grafiğinde görüldüğü gibi verim düşmektedir.



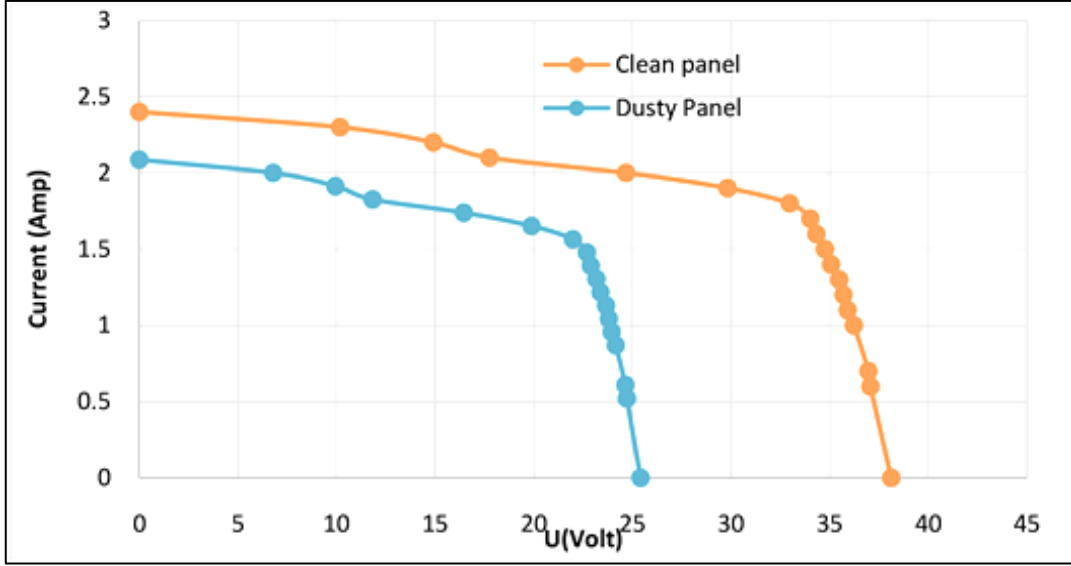
Grafik 3.1. Güneş panelinin sıcaklık değişimine bağlı akım-gerilim grafiği

Kaynak: (Leary, 2019)

Güneş panellerinin olumsuz etkilenebileceği sıcaklığın yükseldiği yaz aylarından verim kaybını en aza indirebilmek için montaj yapılan yerdeki koşulların iyi analiz edilmesi gerekmektedir. FV paneller için montaj yapılan zeminin malzeme sınıfına göre konstrüksiyon seçilerek, paneller ile zemin arasında ortam koşullarına göre boşluk bırakılmaktadır. Bu boşluk paneller ile zemin arasında hava akışı sağlayarak, fazla ısıyı transfer olmaktadır. Kış aylarına gelindiğinde ise sıfır derece sıcaklığa yaklaştıkça, FV panellerin enerji üretimini olumsuz etkileyebilmektedir.

Güneş panelleri çevresel faktörlerden biri olan tozlanmadan fazlası ile etkilenmektedir. Havadaki toz rüzgarın etkisi ile zaman içinde FV panellerin üzerinde birikmekte ve gelen fotonların, panel hücrelerine ulaşmasını engellemektedir. Toz genellikle uzun zamanda birikmektedir. Ama dünyanın bazı çok tozlu bölgelerinde daha kısa zamanda birikme olarak FV üretimi ciddi anlamda olumsuz etkilemektedir. Rüzgarın yönüne ve şiddetine göre panellerin bazı bölgeleri tozlanırken, bazı bölgeleri tozlanmayabilmektedir. Rüzgar oluşturduğu toz tabakasını aynı şekilde azaltabilmektedir (Mani ve Pillai, 2010).

Grafik 3.2.'de görüldüğü gibi güneş paneli tozluysen 2.1A,25V üretim değerlerini göstermektedir. Güneş paneli temizlendiğinde ise üretim 2.4A, 38V değerlerine çıkmaktadır. Bir güneş paneli santrali düşünülduğünde tozlanmanın güneş panellerinin enerji üretimi üzerindeki etkisi çok ciddi boyutta olabilmektedir.



Grafik 3.2. Güneş panelinin temiz ve tozlu performans grafiği

Kaynak: (Al Qdah vd., 2019)

Yapılan çalışmalarda farklı tipteki FV panellerde farklı verim kayıpları gözlemlendiği ortaya konmaktadır. Örneğin, Katar' da kurulu bir santralde 100 gün boyunca temizlenmeyen panellerde verim kaybı %10 civarında olduğu hesaplanmaktadır. Bazı çalışmalarda ise FV enerji üretim kaybının %50' ye yakın olduğu görülmektedir (Ghazi ve arkadaşları, 2014). Çok değişkenden etkilenen tozlanma faktörünün, FV panellerin üretimine etkisini net verilerle ortaya koymanın oldukça güç olduğu görülmektedir. Toz havada farklı boyutlarda ve yapılarda olabilmektedir. Güneş enerji santrallerinin yakınında bulunan tarım faaliyetleri veya sanayi kuruluşları panellerin normalden fazla tozlanmasına neden olabilmektedir. Aynı zamanda dünyanın farklı yerlerindeki tozlanma miktarları ve zamanları da farklı olmaktadır. Tozlanmaya etkileyen parametrelerden bir tanesi de nemdir. Havadaki nem oranı, rüzgarın etkisi ile beraber, FV panellerin üzerindeki toz miktarını değiştirmektedir. Yağışların olduğu sonbahar ve kış mevsimlerinde tozlanmanın düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak yağışla beraber panellerde bulunan tozlanmanın büyük ölçüde temizlendiği gösterilebilmektedir. Kurulum yapılan bölgenin rüzgar potansiyeli, panellerin kısmi bölgelerini tozlanmasına neden olabilmektedir. Kısmi tozlanmaya bazı durumlarda FV panellerin eğimi de neden olabilmektedir.

Gölgelenme FV panellerin üretimini oldukça olumsuz etkilemektedir. Yılın bazı zamanlarında kısmi gölgelenme olabilmektedir. Bu kurulan güneş enerji sisteminin bulunduğu bölgenin meteorolojik şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca FV sistemin konstrüksiyon yapısı, güneş panellerinin birbirlerini gölgelemesine neden olabilmektedir. Bu olay gün doğumunda, sıralama olarak önde bulunan panellerin arkadaki panelleri gölgelemesiyle gerçekleşebilmektedir. Panellerin eğimi de, panellerin birbirlerini gölgelemesini önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 3.2.'de fotovoltaik panellerin gölgeleme halindeki durumu görselleştirilmiştir. Sistemdeki gölgelenmenin etkilerini minimuma indirebilmek için FV paneldeki diyot görev yapmaktadır.



Şekil 3.2. Güneş panelinin gölgelenmesi

Şekil 3.3.'de fotovoltaik panellerin üzerindeki kar sebebiyle üretimi engellenmektedir. Bu şekilde kar yağışı olduğunda bataryalar gündüz saatlerinde yük altında kalacağından dolayı gece saatlerine doğru kapasiteleri azalabilmektedir. Bunun önüne geçmek için panellerin üzerindeki kar tabakanın temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.3. Güneş panelinin üzerindeki kar örtüsü

3.2. Şarj Kontrol Cihazı

FV panellerin ürettiği DC enerjisini kontrollü bir şekilde depolayabilmek için şarj kontrol cihazı kullanılmaktadır. Bataryalar şarj edilirken iki farklı teknik olan PWM ve MPPT kullanılmaktadır. Güneş paneli hücrelerinin akım-gerilim karakteristiği ışınım ve sıcaklığa göre değişkenlik göstermektedir. Güneş paneli, gelen güneş ışınımının yüzde 15 ila 25'ini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Şekil 3.4.'de şarj kontrol cihazı görülmektedir. Üzerindeki göstergeler sayesinde sistemin çalışma durumu takip edilebilmektedir.

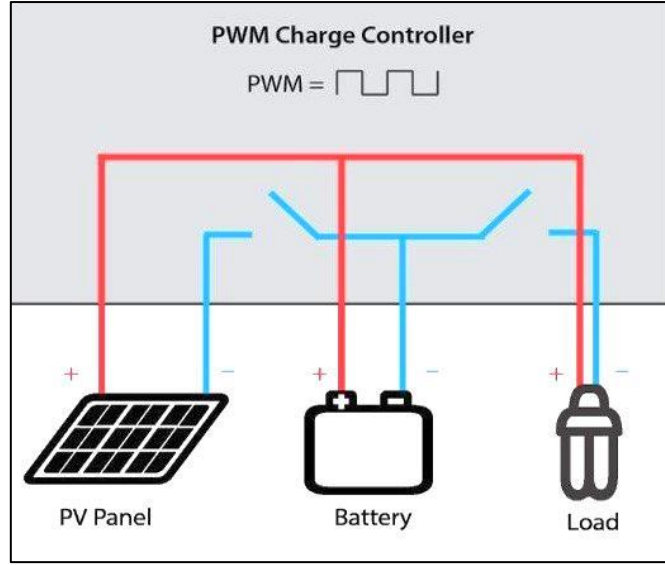


Şekil 3.4. Fotovoltaik solar şarj kontrol cihazı

Fotovoltaik şarj kontrolcü temel olarak bir voltaj ve/veya akım regülasyonu sağlayarak bataryanın aşırı şarj olmasını önlemektedir. Fotovoltaik güneş panellerinden gelen gerilim ve akımı bataryaya kontrollü şekilde aktarmaktadır. Örneğin 12V fotovoltaik panel 16-20V gerilim üretmektedir. Eğer bir kontrolcü olmaz ise bataryalar bu durumda zarar görmektedir (Osaretin ve Edeko, 2016).

3.2.1. PWM

PWM tekniği ile yapılmış şarj kontrolcü, MPPT'ye göre %20-25 daha az verimle çıkış vermektedir. Soğuk havalarda PWM daha az performans göstermektedir. Panel voltajı ile batarya voltajı bu teknik için eşleştirilmektedir. Sıcak havalardaki performansı MPPT tekniğine göre daha iyi olmaktadır (Osaretin vd., 2015). Şekil 3.5.'de görülen blok diyagramında PWM tekniğiyle kontrolör mantığı görülmektedir.



Şekil 3.5. PWM şarj kontrol blok diyagramı

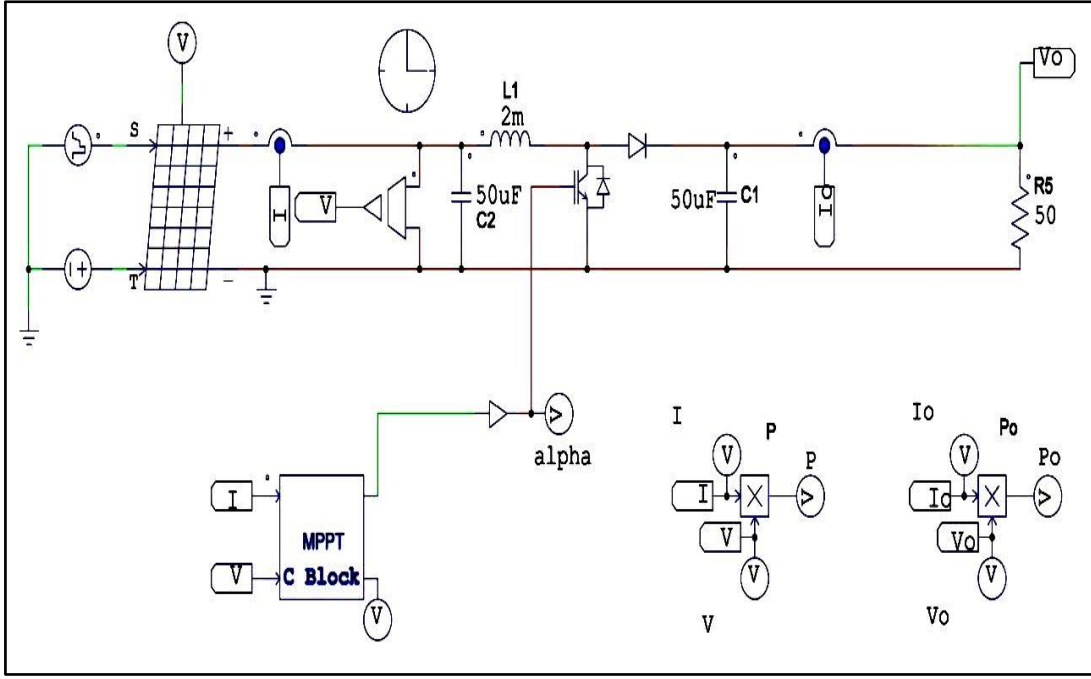
Kaynak: (Antonov vd., 2019)

PWM solar şarj kontrol cihazı batarya gerilimine bağlı olarak darbe genişliğine göre salınım oluşturan devre tasarımına sahiptir. Batarya gerilimi, güneş panelinin çıkış geriliminden daha düşükse darbe genişliği daha fazla olmaktadır. Bu durumda giriş geriliminin tamamı bataryayı şarj etmek için kullanılmaktadır. Batarya gerilimi yükseldikçe PWM'in darbe genişliği azalmaktadır (Acharya vd., 2020).

3.2.2. MPPT

Doğrusal veri çıkışları olmayan güneş enerjisi sisteminde, güneş paneli ile daha yüksek verim elde etmek için maksimum güç noktası izleme tekniği kullanılmaktadır (Rokonuzzaman, 2016). MPPT tekniğinde, kaynak empedansı yük empedansı ile eşit olduğunda devrenin çıkış gücü maksimum olmaktadır. Kaynak tarafında, çıkış voltajını arttırmak için bir güneş paneline bir dönüştürücü bağlanmıştır. Buck dönüştürücünün görev çevrimini PWM sinyali ile uygun şekilde değiştirerek kaynak empedansı yük empedansınıniki ile eşleştirilir. Önerilen çeşitli MPPT teknikleri vardır (Hiwale vd, 2014).

Günümüzde şarj kontrol cihazı haricen üretildiği gibi eviricilerin içinde de bulunabilmektedir. Şekil 3.6.'da güneş paneli ile MPPT devresi simülasyonu görülmektedir. MPPT tekniği PWM'e göre daha yüksek enerji ihtiyacının olduğu çalışmalarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. FV panel ile MPPT devre simülasyonu(PSIM)

Kaynak: (Motahir, 2015)

3.3. Batarya

Enerjiyi depoladığımız temel bir eleman olan batarya, ihtiyacımız olduğunda talep ettiğimiz enerjiye ulaşmamızı sağlamaktadır. Güneş ışınımı aldığımız gündüz saatlerinde bataryalar şarj olmakta, gece saatlerinde ise bataryalar sayesinde depoladığımız elektrik enerjisini kullanabilmekteyiz. Güneş enerji teknolojilerinde, jel bataryalar derin deşarj ve maksimum çevrim ömrü özellikleriyle, standart kuru bataryalardan daha dayanıklı olmaktadır (Li vd., 2017).

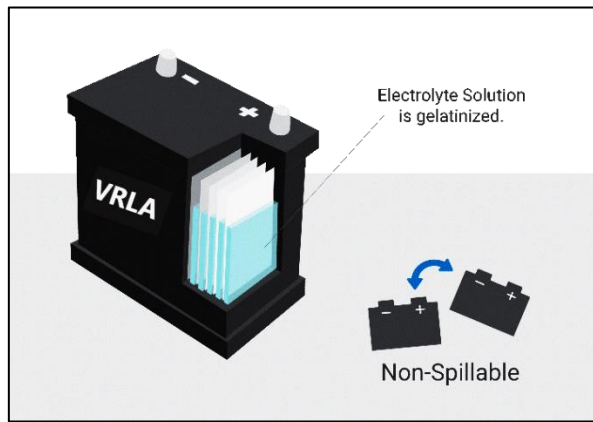
Bataryaların kullanım ömürlerini uzatmak için deşarj seviyelerini %40'ın altına düşürmemenin olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bataryalar dolarken yükselen gerilimi bataryaların optimum seviyede tutabilmek için düşürülmektedir. Bu işleme float şarj denilmektedir. Tam dolum gerçekleştirildikten sonra belirli bir süre şarjda kalarak bu işlem gerçekleştirilmektedir. Daha sonra yükleme sona ermektedir. Bataryanın enerjisi azaldıkça şarj kontrol cihazı bu işlemi tekrar etmektedir.

Bu döngü güneş olduğu gündüz saatleri için geçerlidir. Panellerin üretim yapamadığı gece saatlerinde bataryalar doldurulmaksızın deşarj olmakta ve kritik deşarj seviyesine ulaştığında, şebeke elektriği mevcut ise bataryalar şarj edilmektedir. Böylelikle bataryaların çevrim sayıları artırılabilir.

3.3.1. Batarya Çeşitleri

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde genellikle AGM, jel, lityum-iyon veya endüstriyel bakımlı bataryalar kullanılmaktadır. Bataryaların kullanım alanları, ömürleri ve performansları farklılık göstermektedir. Şebekeden bağımsız batarya desteğiyle çalışan sistemlerde, bataryanın maliyeti, toplam sistem maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle depolama görevini üstlenen bataryaların sisteme uygun seçilmesi önem arz etmektedir.

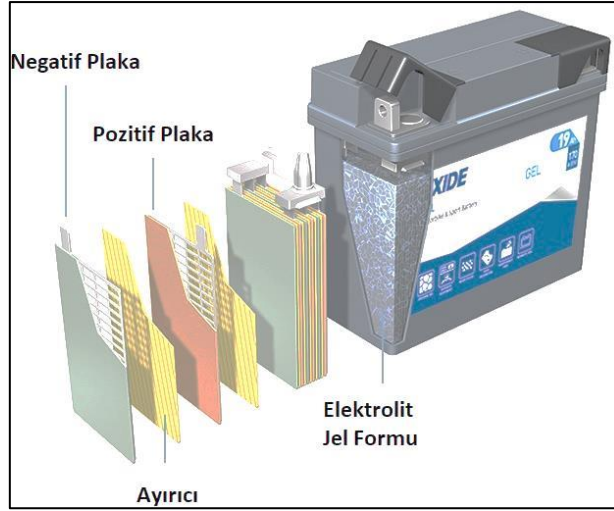
AGM ve Jel bataryalar VRLA türünün iki farklı versiyonu olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.7.'de temsili olarak VRLA tipte batarya görülmektedir. Bu formdaki batarya tiplerinde elektrolize edilmiş solüsyon bulunmaktadır. Şekilde de belirtildiği gibi batarya yalıtımından dolayı içindeki maddeler dökülmemektedir. Farklı koşullarda çalışmaya uygun olması ve dış etkenlerden minimum düzeyde etkilenmesi VRLA bataryaları ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 3.7. Bataryanın iç yapısı(temsili)

Kaynak: (Spaceflight Power, 2021)

Jel bataryalara sızdırmazlık özelliği için silikon ilave edilmektedir. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi jel bataryaların içindeki oksijen elementi pozitif plakalardan negatif plakalara hareket etmektedir. Termal kaçaklara karşı direnç, döngü sayısının fazla olması, stabil derin deşarj ve ömür boyunca kapasitenin kararlı olması JEL bataryalar için sayılabilecek önemli avantajlardandır (Rush vd., 2006).

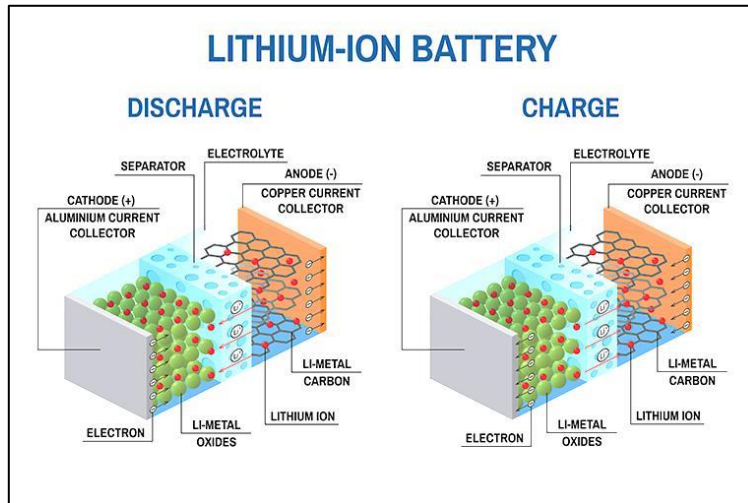


Şekil 3.8. Jel bataryanın iç yapısı

Kaynak: (Spaceflight Power, 2021)

AGM bataryalarda ise cam elyaf içerisindeki bezlere emdirilmiş halde bulunmaktadır. Eski bir teknoloji olmakla beraber, bu bataryalarda diğer bataryalardaki gibi sülfat oluşumu görülmemektedir. Bu nedenle saklama için diğer batarya tiplerine göre daha elverişlidir.

Eksi kutbu lityum metal oksit, artı kutbu ise grafik karbon tabakası olan lityum iyon bataryaların düşük iç dirençleri, yüksek depolama kapasiteleri ve verimliliklerinin %90'ın üzerinde olması gibi üstün özellikleri bulunmaktadır. Verimlerini koruyabilmek için kapasite ve sıcaklık değerlerinin belirli sınırları koruması gerekmektedir. Lityum iyon bataryalar enerji kalitesinin ön planda olduğu sahalarda, otomotiv alanlarında veya dağıtım sistemlerinde performans olarak daha avantajlı olmaktadır (Kozak ve Kozak, 2012).



Şekil 3.9. Lityum iyon batarya çalışma prensibi

Kaynak: (VirtusTec, 2022)

Pil şarj edildiğinde, katottaki lityum atomları iyon haline gelir ve elektrolitten geçerek karbon anoda doğru göç eder ve burada dış elektronlarla birleşir ve karbon katmanları arasında lityum atomları olarak biriktirilir. Bu işlem deşarj sırasında tersine çevrilir. Lityum polimer çeşidi, elektroliti elektriği iletmeyen ancak iyonların içinden geçmesine izin veren plastik bir filmle değiştirir. 60 °C çalışma sıcaklığı, genel verimliliği biraz azaltan bir ısıtıcı gerektirir (Hammerschlag vd., 2007).

3.4. Eviriciler

Eviriciler, FV sistemlerde enerjiyi dönüştürme görevini üstlenmektedirler. Güneş panellerinde anlık yapılan üretimi veya bataryalarda depolanan DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürmektedirler. Günümüzde akıllı algoritmalara sahip olan eviriciler, şarj kontrol cihazına gerek duymadan birçok görevi aynı anda yerine getirebilme avantajına sahiptir. Bu durum bazen maliyet arttırıcı bir özellik olsa da kullanıcının işini olabildiğince kolaylaştırmaktadır. Bağlantı bakımından şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki tipte evirici bulunmaktadır. şebekeye bağlı eviriciler şebekeden ihtiyaç halinde enerji desteği alabilme özelliğine sahiptir. Bu durum bataryaların kapasiteleri kritik seviyenin altına düştüğünde gerçekteşmektedir. Evirici şebekeden aldığı enerjiyi bypass ederek tüketim tarafına aktarıırken aynı zamanda bataryaları şarj etmektedir. şebekeye bağlı hibrit eviriciler ise üretilen enerjiyi şebekeye aktarma özelliğine sahiptir. Bir aylık zaman dilimi sonunda elektrik sağlayıcı firma ile mahsuplaşlabilmektedir. Bu tüketiciye bir miktar tasarruf sağlayabilmektedir.

Eviriciler ürettiği elektrik enerjisinin çıkış dalga şekilleri bakımından, kare dalga ve sinüs dalga üretici olarak ikiye ayrılmaktadır. Modifiye sinüs eviriciler, kare dalga üretmekte ve motor yüklerinin haricindeki sistemlerde kullanılmaktadır. Genellikle 3kW kapasitenin altında olmaktadır. Eviriciler ayrıca tüketim tarafındaki enerjiye ve altyapıya göre bir veya üç fazlı olabilmektedir.

şebekeden bağımsız eviriciler günümüzde pek yaygın olmasa da elektrik altyapısının bulunmadığı yerlerde kullanıldığı gibi, şebenin olduğu yerlerde düşük güçlerde çeşitli enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir.

Akıllı eviriciler kullanıcının kontrol edebileceği şekilde tasarlanmıştır. Üzerlerinde bulunan kontrol paneli ile tüketim ve üretim değerlerine ulaşılmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi üretim senaryoları kullanım şekline göre değiştirilebilmektedir. Günümüzde eviricilerin güç faktörü oranları %95'in üzerine kadar çıkmaktadır. Şekil 3.10.'da 1500W güç üretebilme

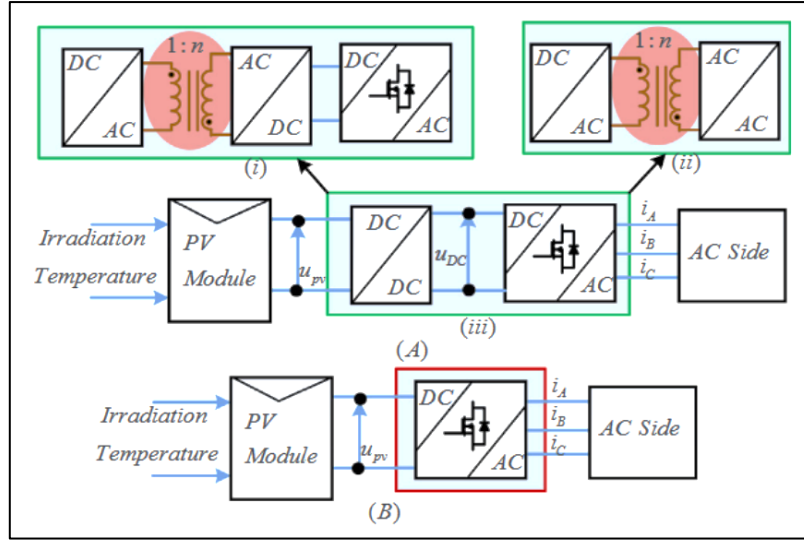
kapasitesine sahip, şebekeden bağımsız çalışan sinüs evirici görülmektedir.



Şekil 3.10. Şebekeden bağımsız çalışan 1500W sinüs evirici

3.4.1. Evirici Topolojileri

Eviricilerle DC-AC dönüşümü için izolasyon, kaynak ve yük arasındaki güç işleme aşamaları, güç derecesi, voltaj kazancı, çıkış dalgası şekli, arayüz tipi (şebeke/bağımsız) ve yumuşak/sert anahtarlama gibi kriterler ile sınıflandırılmaktadır. Eviricilerde anahtarlama devreler yaygınlaşmış ve piyasada baskın olsa da transformatörlü eviricilerde bulunmaktadır. Transformatörlü evirici, anahtarlama göre daha ağır olmaktadır. Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi fotovoltaik sistemlerde kullanılan eviriciler çok aşamalı olarak DC-AC-DC-AC, DC-DC-AC ve DC-AC-AC şeklinde veya tek aşamalı olarak sınıflandırılabilir. DC-AC-DC-AC topolojili eviricilerin daha fazla işlem aşaması, kayıpları, maliyeti ve çok sayıda bileşen nedeniyle yüksek olmaktadır. DC-AC-AC ise yüksek oranlı frekans dönüşümü ve zayıf güç ayrışmasından dolayı güç kalitesi olumsuz etkilenmektedir. DC-DC-AC topolojili eviriciler basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, DC gerilim değişim aralığı ve gerilim dönüşüm oranı sınırlı olmaktadır. Ayrıca geleneksel izole edilmemiş yükseltici DC-DC dönüştürücünün yarı iletken komponent ihtiyacının iki katını gerektirmektedir. Tek aşamalı eviricilere bakıldığında kayıp, sağlamlık ve maliyet bakımından daha avantajlı olmaktadır. Ancak yüksek DC bağlantı voltajı bulunan sistemler için çözüm olamamaktadır. Buna rağmen ekonomik özellikleri ve iyi bilinen teknolojisi nedeniyle tercih edilmektedir (Dogga ve Pathak, 2019).



Şekil 3.11. Fotovoltaik evirici topolojileri

Kaynak: (Dogga ve Pathak, 2019)

Kare dalga üreten eviriciler omik yüklerin kullanıldığı sistemlerde kullanılmaktadır. Genellikle şebekeden bağımsız çalışarak düşük güç ihtiyaçlarını karşılamak üzere tercih edilmektedir. Şekil 3.12.'de ise kapasitif veya endüktif yükleri beslemek için kullanılacak, akıllı algoritmaları olan sinüs eviricinin iç yapısında kontrol, anahtarlama ve filtre devre elemanları görülmektedir.



Şekil 3.12. Akıllı şebeke bağlantılı 1kW sinüs eviricinin iç yapısı

Şebekeye bağlı sistem, elektrik şebekesine paralel olarak çalıştığı için depolama gerektirmemektedir. Fotovoltaik üretim, yük talebinden fazla olduğunda şebekeye geri güç sağlamaktadırlar. Eviricide üretilen akım evirici tarafından kontrol edilerek ve böylece DC-bara gerilimini referans değerinde tutar ve şebekeye iletilen aktif ve reaktif gücü düzenlemektedir (Zeb vd., 2018).

4. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ KURULABİLİRLİĞİ VE UYGULAMASI

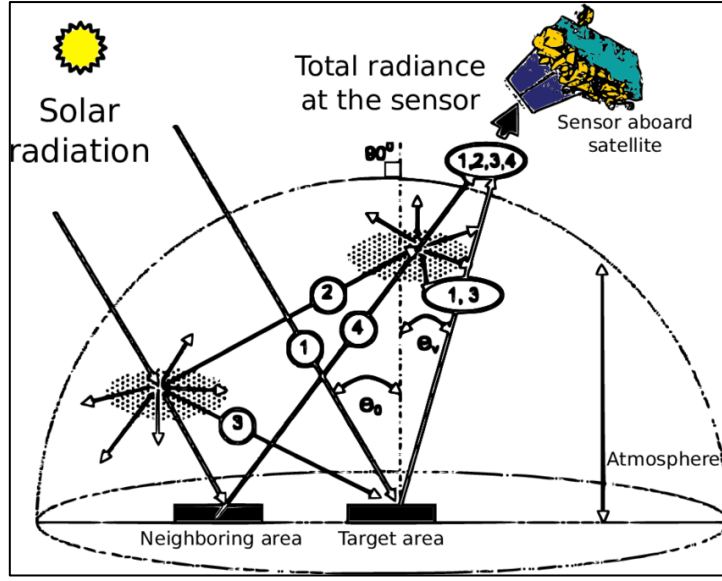
Güneş ışınımı ölçmek için farklı yöntemler ve cihazlar kullanılmaktadır. Bunların birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin kurulacağı bölgedeki elektrik ihtiyacı ve kullanım alanlarına göre analizler yapılmaktadır. Bu analizler neticesinde kurulum yapılacak bölgedeki oluşabilecek problemler ve çözümleri planlanmaktadır. Öncelikli olarak kurulum bölgesinin güneş ışınım potansiyelinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Değerlendirmeler sonucunda elde edilen veriler güneş enerji potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu potansiyele ve tüketicinin ihtiyacına göre sistemin tasarımına geçilmektedir. Santralin mekanik ve elektriksel projeleri çizildikten sonra teknik ekip ile beraber sahada santralin kurulumu yapılmaktadır. Santral çalışmaya başladıktan sonra belirli periyotlarla takip edilerek performans analizleri yapılmaktadır. Sürecin bu şekilde işlemesi kurulan santralin sorunsuz olarak çalışması için önem arz etmektedir.

4.1. FV Enerji Kurulumunda Güneş Işınımı Verilerinin Yeterliliği

Meteorolojik istasyonlardan gelen veriler yetersiz olabilmektedir. Ayrıca sayıca az olmaları ve sınırlı ölçüm kapasiteleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Uyduların ise uzaktan ölçüm yapabilme özelliğine sahip olması büyük bir avantaj olmaktadır (Huang vd., 2018). Veri kaynağı uydu olan bu sistemler, yeryüzünde ölçüm cihazlarıyla belirli bir alan için yapabileceğimiz ölçümlere göre daha geniş alanları daha uzun sürelerde kapsamlı bir şekilde gözlemleyerek veri aktarımı sağlayabilme kabiliyetine sahiptir. Veri kümeleri oluşturulurken farklı parametreleri beraber değerlendirerek yapay sinir ağları ve bulanık mantık tabanlı algoritmalarla sistemlerin doğruluk oranları arttırılmıştır.

Güneş ışınımı verilerine ulaşabileceğimiz uydu tabanlı internet ortamında veri sağlayan sistemler bulunmaktadır. İncelemesi ve analizi yapılan, PVGIS(Photovoltaic Geographical Information System) ve NASA-POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource), güneşli gün sayısı, detaylı fotovoltaik güneş radyasyonu, havadaki nem oranları, havadaki kirlilik oranları ve daha birçok meteorolojik parametreleri kayıt altına almaktadır. Bu verileri zaman periyotlarıyla sınıflandırarak, gelecekteki tarihlerde olacak olaylara tahmin algoritmalarını da kullanarak veri kümeleri oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Uydu sistemlerinde güneş ışınımı ölçümü

Kaynak: (Hejazi vd., 2014)

Ölçüm istasyonlarının bulunduğu yerlerde uyduların ölçüm yapan sensörleri kalibrasyon yapıp, uydu sensör verilerinin doğruluğu artırılabilir. Dezavantaj olarak, uydu sistemlerinde ölçüm yapan sensörlerin, yeryüzündeki ölçüm cihazlarıyla kalibrasyon yapılmasının fazlaca zaman, maliyet ve emek gerektirmesidir.

4.2. PVGIS ve NASA-POWER Verileri

PVGIS, fotovoltaik coğrafi bilgi sistemidir. Avrupa ve Afrika'nın herhangi bir yerinin yanı sıra Asya ve Amerika'daki büyük bir bölüm için güneş radyasyonu ve fotovoltaik sistem performansı hakkında bilgi sağlar. Aylık ortalamalar veya günlük değerler olarak güneş radyasyonu ve sıcaklık, FV performansının saatlik değerlerinin tam zamanlı serisine ulaşılabilir.

PVGIS, uydu görüntülerinden elde edilen güneş radyasyonunun yüksek kaliteli, yüksek uzamsal ve zamansal çözünürlüklü verilerini oluştururken, iklim parametrelerinden olan ortam sıcaklığı ve rüzgar hızını da kullanır. Bu çalışmada fotovoltaik enerji verileri kullanılan SARA2 ve ERA5 isimli uyduları PVGIS sistemine aittir. Bu sistem, ESTI(European Solar Test Installation), Avrupa Solar Test Kuruluşunda gerçekleştirilen ölçümlerden doğrulanmıştır. ESTI, tüm fotovoltaik malzemeler için ISO 17025 onaylı bir fotovoltaik kalibrasyon laboratuvarıdır.

NASA-POWER, dünya çapında enerji kaynağı tahmini veri görüntüleme sistemidir. Bu sistem bünyesinde klimatolojik veriler, rüzgar ölçümleri, nem değerleri, bulut yoğunluğu

gibi parametreler bulundurmaktadır. Bu zamansal çözünürlüklü verilere erişim sağlanabilmektedir. Dünyadaki herhangi bir konum için gökyüzündeki UVA-B(Ultraviyole) yatay ışınım verilerine ulaşılabilmektedir.

4.3. Uygulama

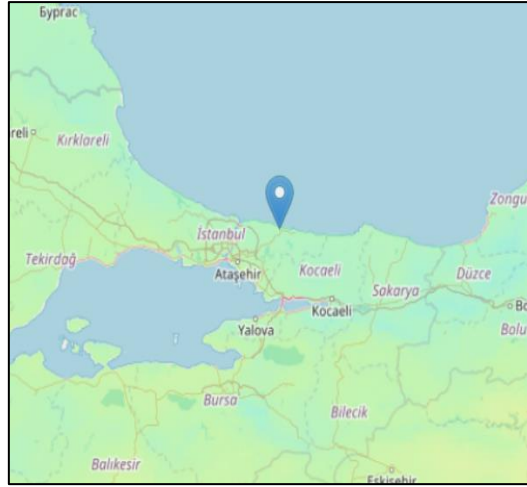
Bu bölümde uygulamanın yapılacağı konumdaki güneş ışınım verileri incelenmiş ve projenin uygulaması kapsamında değerlendirilmiştir. Coğrafi güneş ışınım verilerinin analizleri bilgisayar destekli olarak gerçekleştirilerek, şebekeden bağımsız (Off-grid) fotovoltaik güneş enerji sistemi kurulumuna yönelik kurulabilirlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler gerçekleştirilirken:

- Arazi maliyetleri
- Nakliye maliyetleri
- İşletme maliyetleri
- Tarım ve ormancılığa etkileri

Öncelikle ele alınmış olmakla birlikte burada; tüm bu şartlar bakımından olumlu değerlendirilebilecek bir alanda, tesis edilebilecek fotovoltaik santral kurulumuna etki edebilecek güneşli gün sayısı ve güneş ışınımının radyasyonik (fotoelektrik) etki dağılımı faktörleri değerlendirilmektedir. Bu amaçla, fotovoltaik santral kurulumuna yönelik olarak, planlanan bölge için PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) ve NASA-POWER(Prediction Of Worldwide Energy Resource) güneşlenme verileri analiz edilerek kurulması tasarlanan sisteme yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

4.3.1. Güneş Işınımı Verilerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde sistemin kurulum yapıldığı mevki için elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Coğrafi ışınım verilerinin incelendiği yer Şekil 4.2'deki uydu harita görselinde görüldüğü gibi Marmara bölgesinin kuzeyinde yer almaktadır. Güneşli gün sayısı az ve ışınım potansiyeli düşüktür. Bu durum bir eksiklik olmasına rağmen bölgenin öngörülen potansiyelinden azami ölçüde faydalanılabilir.



Şekil 4.2. Mevki uydu harita görseli, koordinat: 41.171, 29.495

Kaynakça: (PVGIS, 2022)

Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi ERA5 uydusunun direkt ışınım ölçümlerinde diğer iki uyduya göre daha yüksek değerler göstermektedir. Temmuz ayında NASA-POWER, SARA2' den ayrılarak daha yüksek ışınım ortalama değer göstermiştir. Tablo 5.1.' de en sağdaki sütunda ise 3 uydunun aylara göre ortalama değerleri verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında SARA2 uydusunun verileri bütün aylarda ortalama değerinin altındadır.

Tablo 4.1. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında ortalama aylık toplam direkt ışınım tablosu (kW-saat/m²/ay)

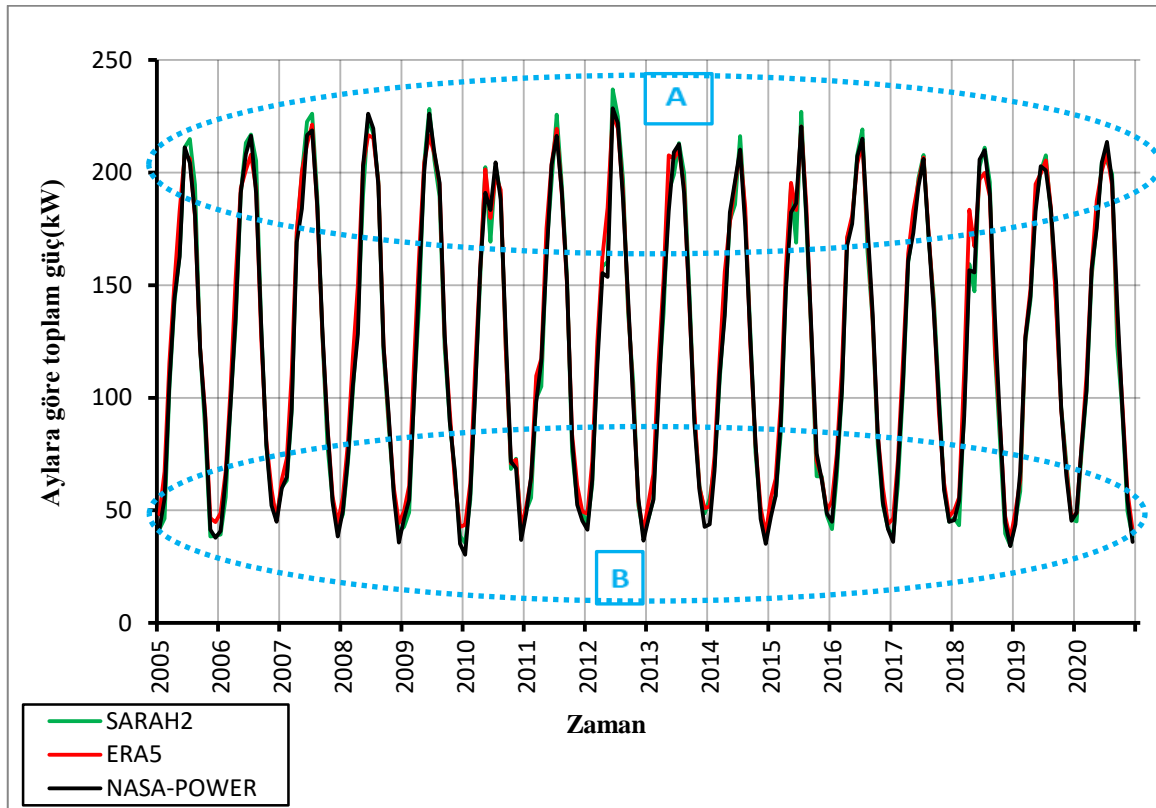
	SARA2	ERA5	NASA- POWER	Ortalama değer
Ocak	51,82	77,63	57,79	62,41
Şubat	57,01	86,15	64,74	69,30
Mart	93,43	129,56	96,69	106,56
Nisan	128,17	166,80	129,58	141,52
Mayıs	151,42	191,57	144,09	162,36
Haziran	181,98	212,31	191,12	195,14
Temmuz	196,49	234,53	217,59	216,20
Ağustos	179,35	217,12	196,09	197,52
Eylül	124,26	156,49	139,95	140,23
Ekim	83,92	110,40	98,83	97,72
Kasım	67,27	86,29	70,61	74,72
Aralık	51,63	72,64	57,08	60,45

Tablo 4.1.' de 3 farklı kaynağın global ışınım verilerine bakıldığında, NASA-POWER sisteminde birçok ayda diğer iki veri kaynağına göre daha düşük değerler görülmektedir.

Tablo 4.2. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında ortalama aylık toplam global ışınım tablosu (kW-saat/m²/ay)

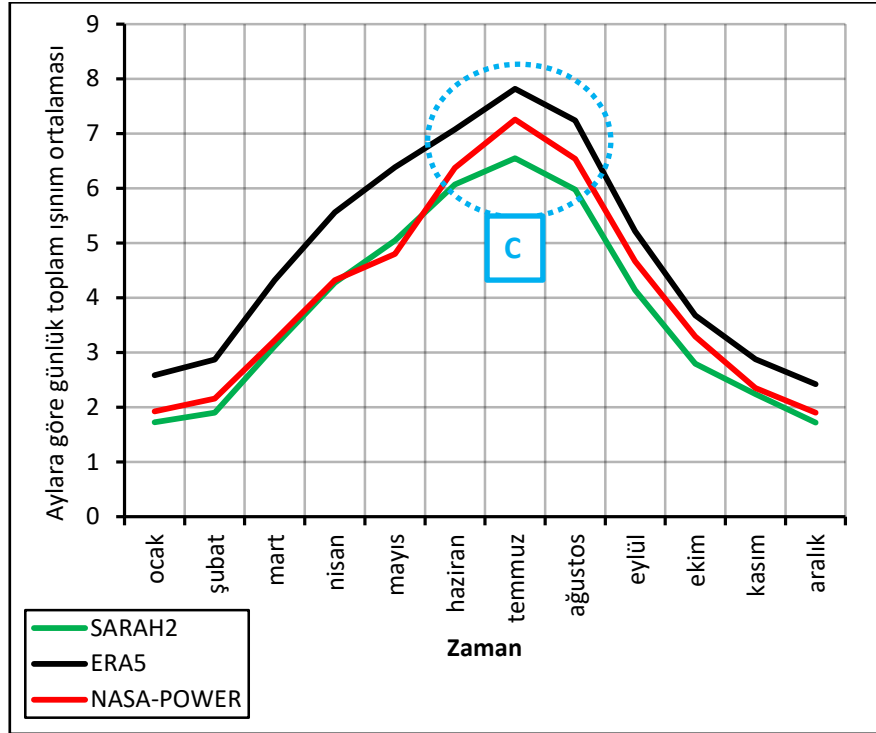
	SARA2	ERA5	NASA-POWER	Ortalama değer
Ocak	53,05	53,23	44,74	50,34
Şubat	69,97	70,05	63,38	67,80
Mart	115,61	115,50	102,98	111,36
Nisan	159,82	160,20	148,41	156,14
Mayıs	192,04	192,47	178,65	187,72
Haziran	204,81	204,49	206,85	205,38
Temmuz	213,05	213,33	212,49	212,96
Ağustos	189,79	190,23	186,26	188,76
Eylül	133,73	134,33	135,11	134,39
Ekim	89,62	89,29	87,21	88,70
Kasım	60,27	61,06	55,86	59,06
Aralık	46,06	46,04	39,96	44,02

Grafik 4.1.'de 3 farklı uydudan elde edilen yıllara göre aylık güneş ışınım verileri karşılaştırılmıştır. SARA2 uydusunun yaptığı ölçümler, ışınımın daha fazla olduğu yaz aylarında, grafikte A bölgesinde görüldüğü gibi diğer iki uyduya göre daha fazladır. B bölgesinde ise görüldüğü gibi kış aylarında ERA5 ve NASA-POWER uyduları çok yakın sonuçlar vermiştir.



Grafik 4.1. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık global yatay ışınım verileri karşılaştırma grafiği

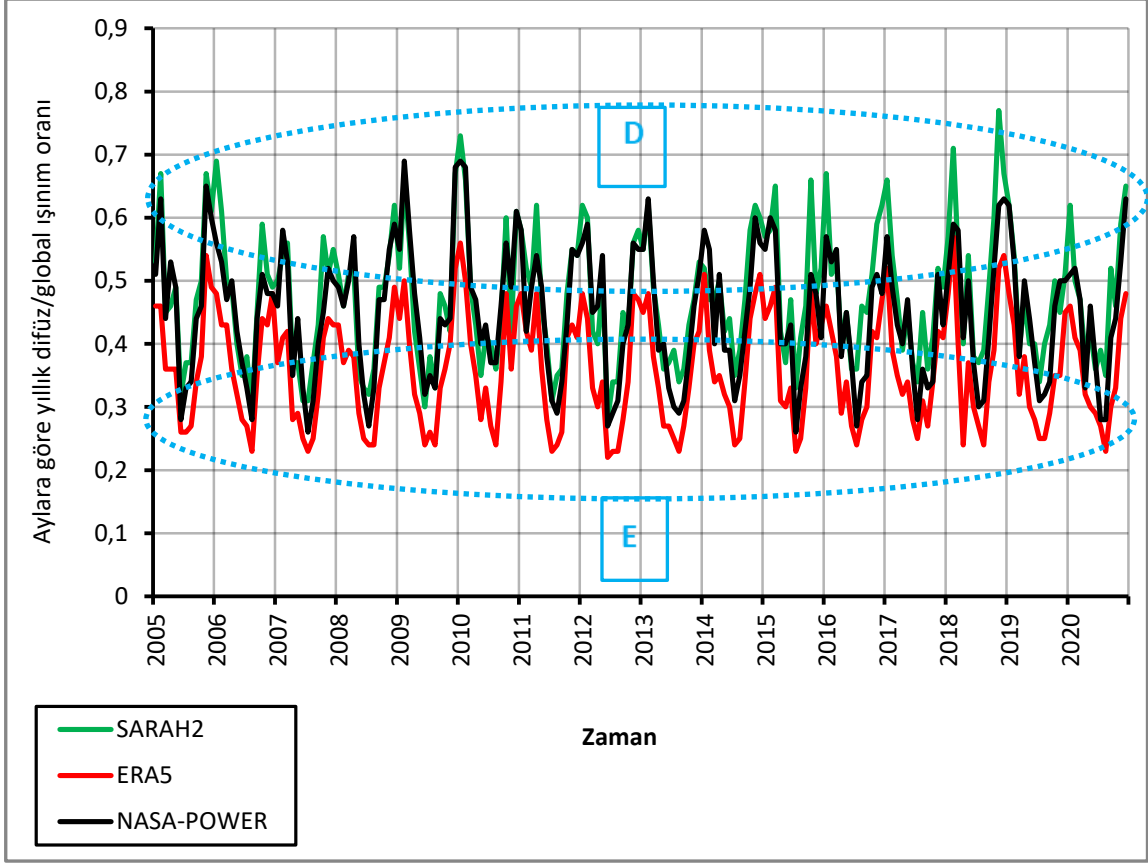
Grafik 4.2’de ERA5 uydusunun 2005-2020 yılları aylara göre günlük ortalama direkt ışınım verileri diğer iki uydunun ölçüm değerlerinden fazladır. Grafikte C ile gösterilen bölgede 3 veri kaynağı arasındaki fark görülmektedir. Temmuz ayında günlük veri SARA2 uydusu ortalama 6.5kW ölçerken, NASA-POWER 7.2kW, ERA5 7.8kW ölçmüştür. Ortalama alındığında 7.2kW değeri bulunmaktadır. Bu değer NASA-POWER sisteminin sağladığı ışınım verisidir.



Grafik 4.2. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık direkt ışınım verileri karşılaştırma grafiği

Grafik 4.3.’de Difüz olan(yansıyarak gelen ışınım) ve global (toplam) ışınımı oranına baktığımızda maksimum değerlerin görüldüğü D bölgesi kış aylarını göstermektedir. E bölgesi ise minimum değerlerin görüldüğü yaz aylarını göstermektedir. Difüz olan ışınımın (yansıyarak gelen ışınım), direkt ışınımın düşük olduğu kış aylarında yüksek oranda, direkt ışınımın yüksek olduğu yaz aylarında düşük oranda olduğu görülmektedir. Difüze olan ışınım ilkbahardan yaz mevsimine geçerken, direkt ışınımın artmasıyla, global ışınım oranı azalmaktadır. Sonbahar mevsiminden kış mevsimine geçerken ise artmaktadır.

Grafik 4.3.’de ERA5 uydusunun, SARA2 ve NASA-POWER uydularının difüz/global oranlarından daha aşağıda değerler görülmektedir. Bunun sebebi NASA-POWER veri kümesinin, Şekil 4’teki global ışınım verileri özellikle B bölgesinde diğer iki uydunun ölçümlerine göre daha fazladır.



Grafik 4.3. SARA2, ERA5, NASA-POWER verilerinin 2005-2020 yılları arasında, aylık difüz/global ışınım oranları karşılaştırma grafiği

4.3.2. Tüketim

Sistemin tasarımı yapılmadan önce tüketim tarafındaki cihazların güç değerleri ve kullanım süreleri bilgisi kaydedilmiştir. Bu aşamada wattmetreden de faydalanılmıştır.

Tablo 4.3. Tüketim kısmındaki cihazların güç ve kullanım bilgileri

	Güç Değeri (Wh)	Günlük Ortalama Kullanım Süresi (Saat)	Günlük Güç Tüketimi (W)
Dipfriz	110	5,5	605
Dalgıç Pompa*	700	0,3	250
Televizyon	140	3	420
Wifi Modem	18	24	432

Bu verileri elde ederken wattmetre ile yapılan ölçümler ve üreticilerin beyan ettikleri değerler karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki tabloya bakıldığında günlük toplam güç tüketimi

(dalgıç pompa hariç) 1457Wh'tır. Tablo 4.3.'de dalgıç pompa sürekli kullanım için sisteme eklenmemiştir. Düşük maliyetli bu sistemde kullanıcının kontrollü bir şekilde elindeki su kaynağından faydalanması amacı ile eklenmiştir. Bir önceki bölümde, Grafik 4.3.'de bahsedildiği gibi ışının fazla olduğu yaz aylarında, biliyoruz ki suya ihtiyacımızda daha fazladır. Buna küçük ölçekli tarımsal sulama uygulamaları örnek verilebilir. Bu durumda öğlen saatlerinde dalgıç pompayı kullanabiliriz. Bu zaman dilimini seçmemizin sebebi enerji girdisinin diğer saatlere göre daha fazla olması ve bataryaları korumak içindir. Aylık tahmini toplam tüketim 43,71kW'tır. Evirici seçimi yaparken bu cihazların demeraj akımları göz önünde bulundurulmuştur.

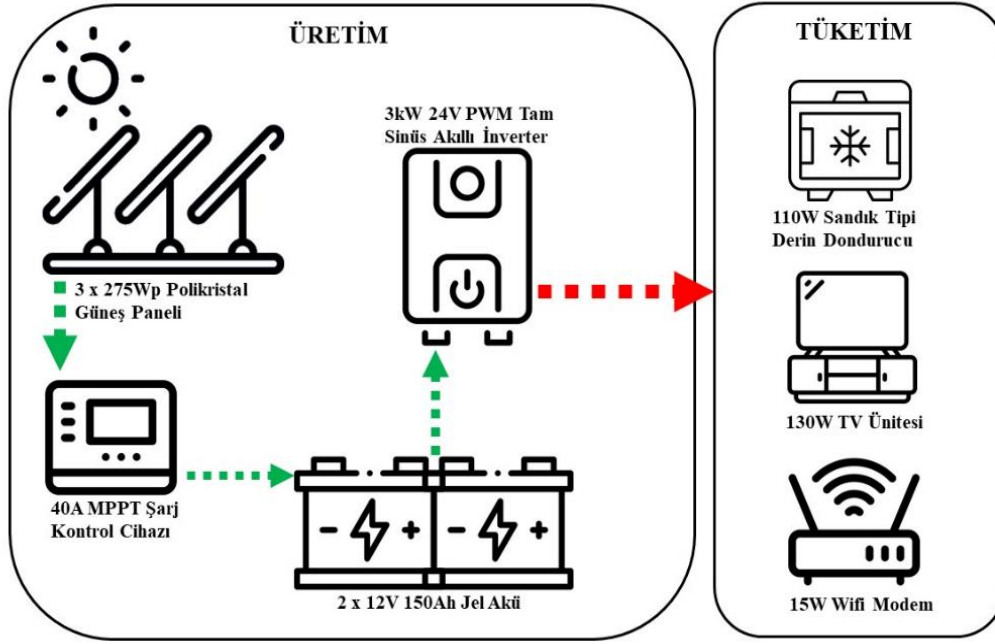
4.3.3. Üretim

Tablo 4.4.'de üretim kısmındaki cihazların özelliklerini göstermektedir. Üretim kısmında kullanılan temel elemanların maliyeti 1400\$'dır. Bu maliyete kablo gibi bağlantı ekipmanları dahil edilmemektedir.

Tablo 4.4. Üretim kısmındaki cihazların elektriksel birimleri

	Adet	Özellik
Polikristal Güneş Paneli	3	275Wp
Tam Sinüs Akıllı Evirici	1	PWM, 24V, 3kW
Şarj Cihazı	1	MPPT, 40A
Jel Batarya	2	12V, 150Ah

Kullanılan güneş enerji sisteminin blok diyagramı Şekil 4.3.'de gösterilmektedir. Diyagramda üretimden tüketime enerji akışı da görülmektedir. Panellerden gelen DC enerji MPPT şarj cihazıyla jel bataryaları kontrollü şekilde şarj etmektedir. Batarya depoladığımız DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürmek için evirici kullanılmıştır. Yüksek verimle çalışan eviricinin, güç faktörü değeri %97'dir. Üretilen tam sinüs alternatif enerji tüketim bölgesine ulaşmaktadır.



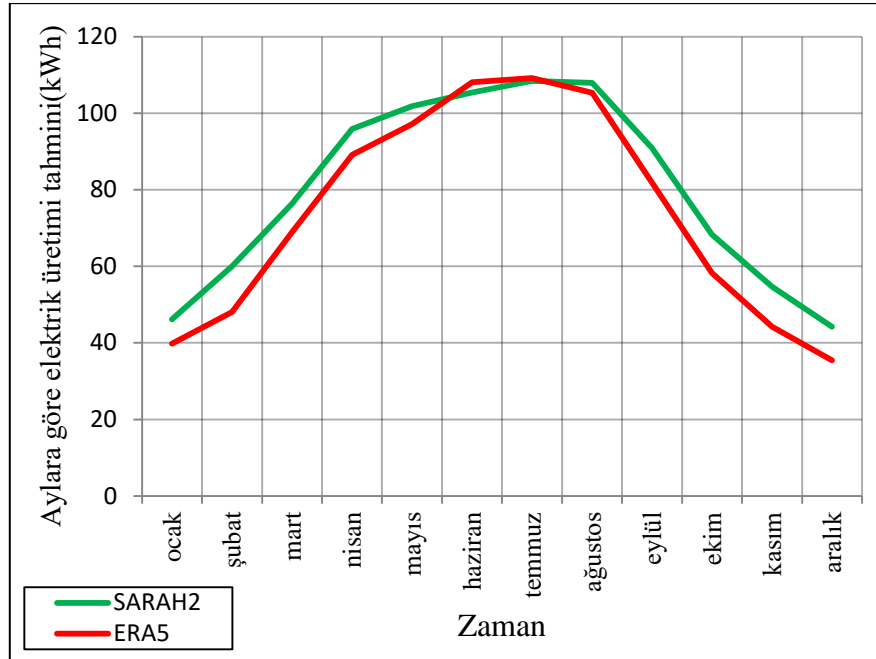
Şekil 4.3. Kurulan güneş enerji sisteminin blok diyagramı

Tablo 4.5'te PVGIS veri sisteminde, SARA2 ve ERA5 uydularına ait aylık şebekeden bağımsız sistemde mevcut panellerin üreteceği güç, tahmin verisi bulunmaktadır. Uygulama kısmında şubat ayında güneş panellerinden elde edilen aylık toplam fotovoltaiik güç üretimi Tablo 4.5.'teki şubat ayının ortalama değeri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.5. PVGIS veri kaynağındaki SARA2 ve ERA5 uydularına ait, kurulan sistemdeki 3 panelin aylık toplam üretim tahmini(kWh)

	SARA2	ERA5	Ortalama
Ocak	46,11	39,76	42,93
Şubat	60,04	48,04	54,04
Mart	76,37	68,90	72,64
Nisan	95,92	89,13	92,52
Mayıs	101,83	97,16	99,50
Haziran	105,50	108,17	106,83
Temmuz	108,45	109,19	108,82
Ağustos	108,01	105,39	106,70
Eylül	90,92	81,89	86,40
Ekim	68,32	58,27	63,29
Kasım	54,65	44,25	49,45
Aralık	44,26	35,47	39,86

Grafik 4.4.'de PVGIS veri kaynağının kurulan sistem için aylara göre tahmini verisi bulunmaktadır. SARA2 ve ERA5 uydularının tahminlerinin arasındaki fark görülmektedir. Haziran ayında ERA5 uydusunun haziran ayındaki tahminin daha fazla olduğu görülmektedir.

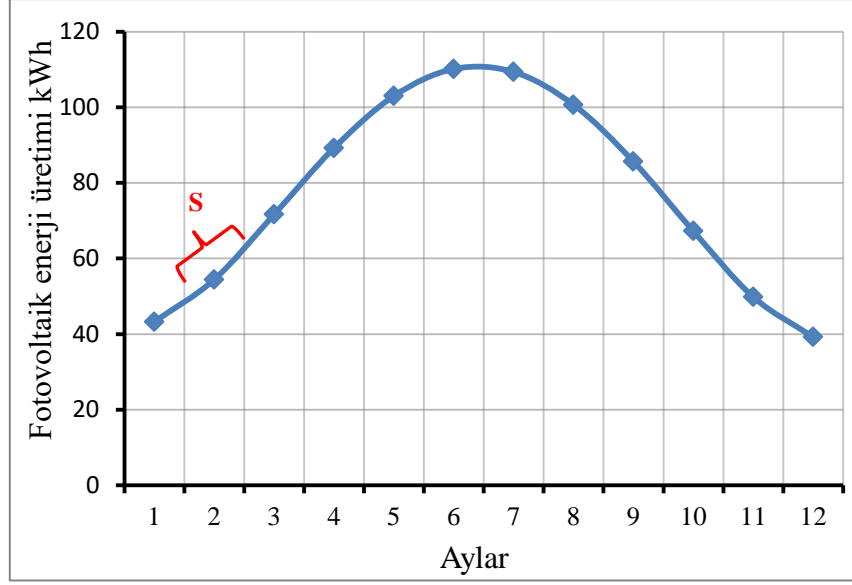


Grafik 4.4. SARA2 ve ERA5 üretim tahminleri karşılaştırılması

Panellerin toplam gücü 825Wp' dir. Mevsimsel değişiklik gösteren enerji üretiminin aylara göre tahminin ortalaması Grafik 4.5.'de görülmektedir. Formül (4.1) oluşturulurken Tablo 4.5.'deki ortalama verilerinden faydalanılmaktadır. Sabit kısım 45,152 olarak hesaplanmaktadır. Grafikte S bölgesi tahminler ile uygulamanın karşılaştırıldığı şubat ayını göstermektedir.

Ortalama veri için oluşturulan formül şu şekildedir:

$$y = 0,0597x^4 - 1,5375x^3 + 10,743x^2 - 11,172x + 45,152 \quad (4.1)$$



Grafik 4.5. Aylara göre tahmini fotovoltaik enerji üretimi

4.3.4. Projenin Uygulanması

Şekil 4.4. ve 4.5.'de polikristal güneş panellerinin kiremit çatı üzerine montaj yapılmış görüntüleri görülmektedir. Kullanılan panellerin her biri 275W maksimum güç üretim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.4. 275Wp polikristal güneş panellerinin çatı konumu

Hareketsiz olan FV panellerin konstrüksiyon tasarımı ve montajı yapılırken, panelin açısı için mevsimsel değişimler göz önünde bulundurularak 38° olması alınacak verimi doğrudan etkilemektedir. Montajın ideal koşullarda olması için panellerin gün ışığından en verimli şekilde faydalanmaları gerekmektedir (Kırcıoğlu vd., 2015). Şekil 4.5.'de görülen FV panellerin açısı, çatının doğal eğimi olan 37° için standart montaj prensibi ile yerleştirilerek, güneye cephedir. Kurulan konstrüksiyon ile sistemin her türlü doğa olayından minimum

seviyede etkilenmesi amaçlanmıştır. Fotovoltaik panellerin üzerinde toz tabakası, kuş dışkısı gibi engeller oluştuğunda, paneller üzerindeki cam koruyucu sayesinde yağmur suyu ile doğal yollarla tozun bir kısmını temizleyebilmektedir. Ama sistemin verimini koruyabilmek için belirli periyotlarla güneş panellerin temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5. 275Wp polikristal güneş panellerinin çatı montaj sistemi

Sistemde kullanılan 3kW PWM sinüs evirici akıllı algoritma yeteneklerine sahip olması sebebiyle, kısa devrede kendini kapatma, maksimum yük girişi olduğunda uyarı verme ve çıkış enerjisini kesme gibi birçok kontrol mekanizmasına sahiptir. Kullanıcı bu ayarlara Şekil 5.5’de görüldüğü gibi kullanım kolaylığı sağlayan dijital bir ekrandan ulaşabilmektedir.



Şekil 4.6. PWM 3kW Tam Sinüs Akıllı Evirici

Şekil 4.7.’da görülen jel bataryalar derin deşarj olabilme özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Ömürlerinin daha uzun olabilmesi için maksimum %40’a kadar deşarj edilmesinde fayda vardır. Eğer %40’tan sonra enerji talebi devam ediyorsa, evirici

programlandığı şekilde AC girişinden aldığı enerji ile bataryaları doldurabilir. Bu şekilde bataryalar korunmuş olur. Bu durum şebeke elektriğinin olduğu yerler için geçerlidir. Aksi takdirde Şekil 4.3.'deki blok diyagramda üretim bölümünde olan elemanların daha yüksek kapasiteli seçilmesi gerekebilir.



Şekil 4.7. Seri bağlı 12V 150Ah jel batarya grubu

MPPT şarj cihazı (Şekil 12) maksimum güç noktası takibi yaparak, jel bataryaları kontrollü şekilde şarj etmektedir. Maksimum 40A giriş gücüne sahip cihaz, 12V DC çıkış verebilmektedir.



Şekil 4.8. MPPT 40A Şarj Cihazı

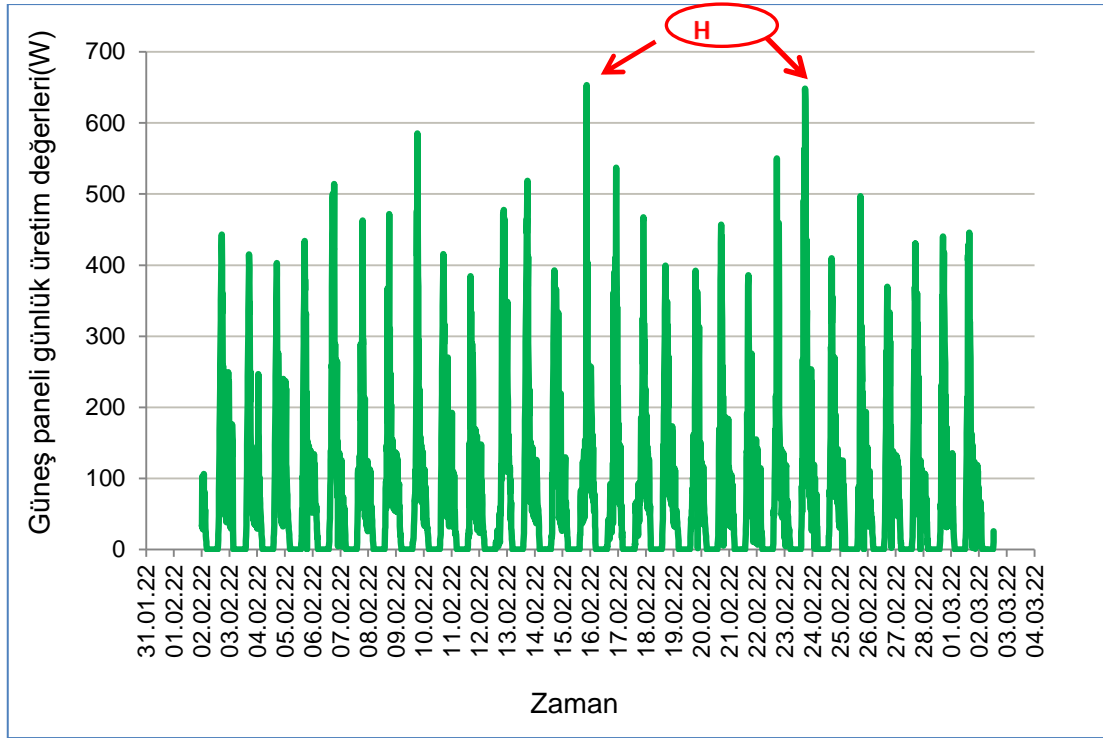
Şarj kontrol cihazındaki verileri, RJ45 konnektörü ve RS485 haberleşme standardı ile Şekil 4.9.'da görülen cihazda kayıt altına alınmaktadır. Her 10 dakikada bir kayıt yapan cihaz toplamda 20000 veri kaydı kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.9. Epever eLog güç noktası takibi kayıt cihazı

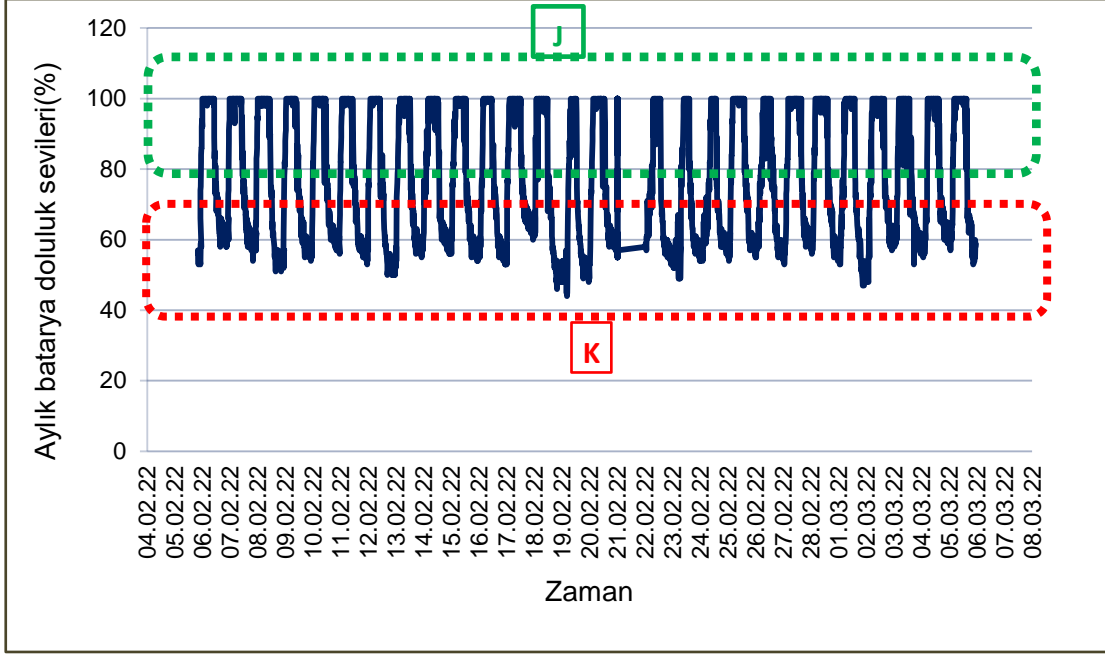
4.3.5. Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde kayıt cihazından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Verilerin değerlendirildiği zaman aralığı 05.11.2021 ile 05.12.2021 tarihleri arasındadır. 1 aylık süreçte güneş panellerinin yapmış olduğu toplam ve günlük üretim, bataryaların doluluk oranları incelenmiştir. Grafik 4.6.'da güneş panellerinin üretimleri bazı günlerde görüldüğü gibi 400W seviyesinin üzerine çıkamamıştır. Diğer günlere bakıldığında 400W seviyesini geçemeyen günlerin daha bulutlu olduğu söylenebilmektedir. Grafik 4.4.'deki H bölgesindeki noktalarda ise paneller maksimum üretime yaklaşmış ve 600W'ı geçmiştir. Grafikte görülen H bölgelerinde, uç noktalar günün öğlen saatlerini göstermektedir.



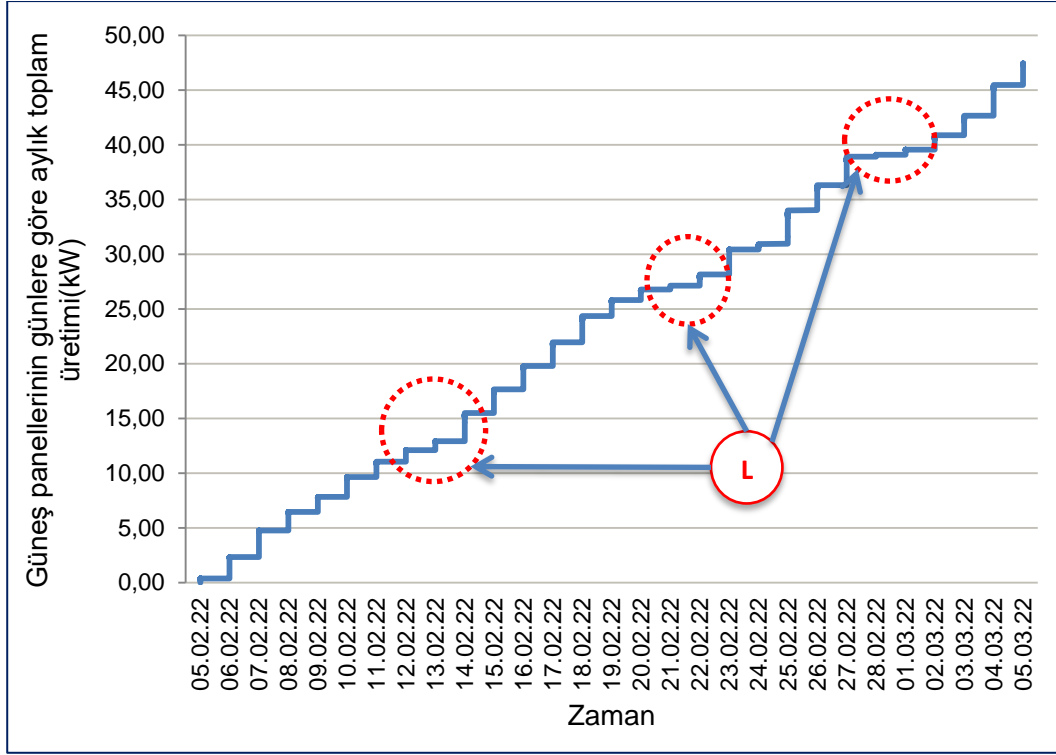
Grafik 4.6. Güneş panellerinin gün bazında anlık güneş paneli üretimi

Grafik 4.7.'de jel bataryaların gün içerisindeki doluluk seviyelerine baktığımızda, J bölgesi panellerin üretim yaptığı gündüz zamanı göstermektedir. Bu zaman diliminde bataryaların %100 dolduğu ve panel üretimin azalmaya başladığı ilerleyen saatlerde ise K bölgesinde bataryaların deşarj olduğu görülmektedir. Bataryalar ömür açısından kritik seviye kabul edilen %40 doluluk oranının altına düşmemiştir. Enerji tüketiminin fazla olduğu, üretimin az olduğu, %40 seviyesinin altına düşeceği noktada, evirici programlandığı gibi şebekeden bataryaları şarj etmekte ve sisteme destek vermektedir.



Grafik 4.7. Gün bazında aylık batarya seviyeleri

Grafik 4.8.'de güneş panellerinin günlük toplam üretim grafiğine bakıldığında, L bölgelerinde üretimin düştüğü yatay bir seyir görülmektedir. Üretimin düştüğü günler, grafiğin ana seyrine bakıldığında, bulutlu veya yağışlı olduğu anlaşılmaktadır. 30 günlük ölçümde güneş panelleri günlük ortalama 1.7kW, toplam 51.05kW fotovoltaik güç üretmiştir. Bu değer ise Tablo 4.5.' deki şubat ayı ortalama fotovoltaik güç üretimi tahmini olan 54.04kW ile karşılaştırıldığında kurulan güneş enerji sistemindeki polikristal güneş panellerinin üretiminden 2.99kW daha az olduğu görülmektedir. Bu güneş enerji sisteminin deneysel sonuçlarda tahmin edilen değerlere çok yakın olduğunu göstermektedir. Tablo 4.3.' deki cihazların hesaplanan aylık toplam tüketimleri 43.71kW' tır. Üretilen enerjinin tüketim tarafındaki talebi karşıladığı görülmektedir.



Grafik 4.8. Güneş panellerinin gün bazında aylık toplam üretimi

5. SONUÇ

Bu çalışmada arazi maliyetleri, nakliye maliyetleri, ve işletme maliyetleri bakımından gerekli şartları sağlayabilecek ortamlarda fotovoltaik enerji sistemi kurulumuna yönelik olarak, güneşli gün sayısı ve güneş ışınımının radyasyonik (fotoelektrik) etki dağılımı faktörleri, PVGIS ve NASA güneşlenme verileri kapsamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla, fotovoltaik santral kurulumuna yönelik olarak, planlanan bölge için güneşlenme ve enerji üretim yetenekleri bilgisayar ve yazılım destekli olarak değerlendirilerek, sistem kurulumunun gerekli şartları sağlayıp sağlamadığının analizleri gerçekleştirilmiştir.

Güneş enerji potansiyeli düşük olan mevkiden daha yüksek verim almak amacıyla bu verileri iyileştirebilecek farklılıklar ele alınmıştır. Yeryüzüne direkt gelen ışınım ölçümleri ilkbahar, yaz aylarında artmakta ve difüze olan (yansıma yoluyla gelen) ışınım ile arasındaki fark bu mevsimlerde açılmaktadır. Bu şekilde direkt gelen ışınımın, global ışınım üzerindeki oranı artmaktadır. Difüze olan ışınımın ise sonbahar ve kış aylarında, global ışınım üzerindeki oranı artmaktadır.

Uydular arasındaki farklılıklar, ortalamalarının alınmasıyla gerçek değerlerin elde edilmesi bakımından faydalı olmuştur. Kurulacak sisteminin güneşlenme veri kaynakları esaslı olarak en etkili konum ve açılarda bulunmasının daha mantıklı olacağı uygulamalı verilerle gösterilmiştir. Sistemi, güneş enerji potansiyelinin en düşük olduğu kış ayları esaslı kurmak sistemin sürekliliğini sağlarken, yaz ayları esaslı kurmak ise maksimum enerji değerine ulaşılabilmesini sağlamaktadır. Burada, sistemin sürekliliğini sağlama adına, kış şartlarında da enerji üretilebilirliğinin sağlandığı konumlandırmalar tercih edilerek, gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Elde edilen fotovoltaik enerjinin değerlendirilmesi kapsamında, tüketim kısmındaki cihazların kullanım süreleri kullanıcıya ve zamana göre değişiklik gösterebilir. Üretim kısmındaki cihazların alımında maliyet ve performans dengesi kurulmalıdır. Enerjinin zaman içerisindeki akışı takip cihazlarıyla takip edilebilir ve sistemde oluşacak sorunlara daha önceden müdahale edilebilir. Ömrü diğer üretim cihazlarına göre daha kısa olan bataryaların, belirli periyotlarda kontrol edilmesi ve sağlamlığının korunması gerekir.

Enerji üretim sisteminde kritik role sahip olan eviriciler seçilirken tüketim kısmında kullanılan cihazların enerji sarfiyatları detaylı bir şekilde gözlenmelidir. Kurulum yapılacak yer havadar olmalı ve ortam ısısı olarak stabil olmalıdır. Aşırı sıcaklıklar güneş panellerinin ürettiği gerilimi düşürerek (akım biraz artmış olsa da) elde edilen gücü azaltmaktadır. Güneş

enerji sistemi tasarımı yaparken coğrafi ışınım verilerinden faydalanmak, kurulacak sistemin optimum seviyede olmasını sağlayacaktır.

Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde elde edilen enerjinin kayıplarının azaltılarak, verimli bir şekilde kullanılması kısa vadede olumlu sonuçlar vermektedir. Bu dolaylı olarak fotovoltaik projelerde sistem kurulum maliyetlerini daha sonraki projelerde düşürmeye yarayabilmektedir.

Çalışmada elde edilen veriler, gelecekte kurulması planlanan fotovoltaik enerji sistemlerinin tasarımlarına ve fizibilite çalışmalarına literatür oluşturması adına tez kapsamında verilmiş ve bu verilere ait değişimler gösterilmiştir.

Benzer durumlarda, fotovoltaik sistemlerden elde edilecek güç tahminleri ise mevcut verilerden elde edilen regresyonel eşitliklerle tahmin edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Acharya, P. S., Aithal, P. S.** (2020). A Comparative Study of MPPT and PWM Solar Charge Controllers and their Integrated System. *Journal of Physics Conference on IOP Science*. (Vol. 1712, No. 1, s. 012023).
- Al Qdah, K. S., Abdulqadir, S. A., Al Harbi, N. Y., Soqyyah, A. Z., Isa, K. J., Alharbi, M. Y., & Binsaad, N. M.** (2019). Design and performance of PV dust cleaning system in Medina region. *Journal of Power and Energy Engineering*, 7(11), 1-14.
- Antonov, I., Kanchev, H., Hinov, N.** (2019). Study of PWM solar charge controller operation modes in autonomous DC system. *2019 II International Conference on High Technology for Sustainable Development on IEEE*, s. 1-4.
- Avrupa Toplulukları Komisyonu (EC) (PVGIS)** (2022). *Photovoltaic Geographical Information System*. [Erişim: 13.03.2022, <https://re.jrc.ec.europa.eu>]
- Balenzategui, J. L., Molero, M., Silva, J. P., Fabero, F., Cuenca, J., Mejuto, E., & De Lucas, J.** (2022, April). Uncertainty in the calibration transfer of solar irradiance scale: from absolute cavity radiometers to standard pyrheliometers. *MDPI Open Access Journals, In Solar* (Vol. 2, No. 2, s. 158-185).
- Buker, M. S., Riffat, S. B.** (2015). Building integrated solar thermal collectors - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews on Science Direct*, 51, 327-346.
- Chen, S., Liang, Z., Guo, S., & Li, M.** (2022). Estimation of high-resolution solar irradiance data using optimized semi-empirical satellite method and GOES-16 imagery. *Solar Energy on Science Direct*, 241, 404-415.
- Öztürk H.**, (2008). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Dogga, R., Pathak, M. K.** (2019). Recent trends in solar PV inverter topologies. *Solar Energy on Science Direct*, 183, 57-73.
- Energy Technology List, (ETL)** (2022). Solar Thermal Collectors. [Erişim: 11.09.2022, <https://etl.beis.gov.uk/products/solar-thermal-systems-collectors/solar-thermal-collectors-1>]
- Exide Group**, (2022). US-based Energy Technologies Holdings LLC. *Exide GEL*. [Erişim 19.10.2022, <https://www.exidegroup.com/be/fr/des-produits/exide-gel>]
- Grace's Guide** (2016). Immisch and Co. [Erişim 24.07.2022, <https://www.gracesguide.co.uk>]

Hammerschlag, R., Schaber, C. P. 15.1 Overview of Storage Technologies.

Hassan, Y., Orabi, M., Alshreef, A., M. Al-Rabghi, O., Habeebullah, B. A., El Aroudi, A., & A. Ismeil, M. (2020). Improvement of Extracted Power of Pole Mounted Solar Panels by Effective Cooling Using Aluminum Heat Sink under Hot Weather and Variable Wind Speed Conditions. *Energies*, 13(12), 3159.

Hiwale, A. S., Patil, M. V., & Vinchurkar, H. (2014). An efficient MPPT solar charge controller. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(7), 10505-10511.

Inter Solar, (2022). Inter Solar Egypt. *How to avoid solar energy and itself*. [Erişim 27.10.2022, <https://ise-eg.com/blog/>]

Journée, M., & Bertrand, C. (2010). Improving the spatio-temporal distribution of surface solar radiation data by merging ground and satellite measurements. *Remote Sensing of Environment on Science Direct*, 114(11), 2692-2704.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews on Science Direct*, 82, 894-900.

Karafil, A., Özbay, H., & Kesler, M. (2016). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*.

Karakoç, Ş. E. (2010). *Havalı güneş toplayıcıları ile su ısıtma*. (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Kozak, M., Kozak, Ş. (2012). Enerji depolama yöntemleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2), 17-29.

Kuncan, F., & Şahin, M. (2017). Yapay sinir ağı ve uydu dataları kullanılarak güneş radyasyonunun tahmini. *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (s. 1-10). IEEE.

Leary, P. (2019). Design & Evaluation of Cooling Systems for Photovoltaic Modules.

Li, C., Guo, Z., Yang, B., Liu, Y., Wang, Y., & Xia, Y. (2017). A rechargeable Li-CO₂ battery with a gel polymer electrolyte. *Angewandte Chemie International Edition*, 56(31), 9126-9130.

Mackley, R. D., Anderson, D. M., Thomle, J. N., & Strickland, C. E. (2015). Technical

and economic assessment of solar photovoltaic for groundwater extraction on the hanford site (No. PNNL-24741). *Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States)*.

Meteoroloji Mühendisleri Odası(MMO). *Hava Durumu ve İklim Arasındaki Fark Nedir?*. [Erişim 19.10.2022, <https://www.meteoroloji.org.tr>]

Metin, G., Akyüz, E. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 444-458.

Mohamad, N. B., Lai, A. C., & Lim, B. H. (2022). A case study in the tropical region to evaluate univariate imputation methods for solar irradiance data with different weather types. *Sustainable Energy Technologies and Assessment on Science Direct*, 50, 101764.

Motahhir, S., El Ghzizal, A., Sebti, S., & Derouich, A. (2015). Proposal and implementation of a novel perturb and observe algorithm using embedded software. *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (s. 1-5). IEEE.

Muhammed, O.(2020). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve pv uygulamalarının yerel ölçekte değerlendirilmesi: karabük ili örneği. *International Journal of Geography and Geography Education*, (42), 482-503.

NASA (2022). *Data Access Viewer*. [Erişim: 05.04.2022, <https://power.larc.nasa.gov>]

Osaretin, C. A., Edeko, F. O. (2015). Design and implementation of a solar charge controller with variable output. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 12(2), 40-50.

Osaretin, C. A., Edeko, F. O. (2016). Design and implementation of a pwm based. *Journal of Electrical and Electronic Engineering* 13(1), 25-36.

Öztürk, M., Nuri, Ö. Z. E. K., & Berkama, B. (2012). Isparta için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu tahmininde mevcut olan bazı modellerin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 13-27.

Ramos, N. M., Souza, A. R., Maia, J., & Almeida, R. M. (2020). Solar reflectance of ETICS finishing coatings-a comparison of experimental techniques. *12TH NORDIC SYMPOSIUM ON BUILDING PHYSICS*.

Rokonuzzaman, M., & Hossam-E-Haider, M. (2016) Design and implementation of maximum power point tracking solar charge controller. *2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)* (s. 1-5). IEEE.

Rusch, W., Vassallo, K., & Hart, G. (2006). Flooded (Vla), Sealed (Vrla), Gel, Agm Type, Flat Plate, Tubular Plate: The When, Where, And Why. How Does The End User Decide On The Best Solution?. *Research and Development General Manager Entrepreneur & BAE Batterien GmbH BAE Corporate GK Hart POWER Inc.*

Ruşen, S. E. (2017). Karaman İli Küresel Güneş Radyasyonunun Heliosat Metot Kullanılarak Belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 467-474.

Sadat, S. A., Hoex, B., & Pearce, J. M. (2022). A Review of the Effects of Haze on Solar Photovoltaic Performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112796.

Spaceflight Power, (2022). Zhongshan Spaceflight Power supply Co., Ltd. *AGM and Gel Battery*. [Erişim 17.10.2022, <https://www.spaceflightpower.com/agm-and-gel-battery/>]

Şen, Z. (2002). *Temiz enerji ve kaynakları. Su Vakfı Yayınları.*

Şen, Z. (2009). *Temiz enerji kaynakları ve modelleme ilkeleri. Su Vakfı Yayınları.*

Taktak, F., İli M. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik dergisi*, 3(1), 1-21.

The Global Economy (2022). *Solar electricity generation - Country rankings*. [Erişim 10.09.2022, https://www.theglobaleconomy.com/rankings/solar_electricity_generation/]

Tournadre, B., Gschwind, B., Saint-Drenan, Y. M., Chen, X., Silva, A. E., & Blanc, P. (2022). An alternative cloud index for estimating downwelling surface solar irradiance from various satellite imagers in the framework of a Heliosat-V method. *Atmospheric Measurement Techniques on European Geosciences Union*, 15(12), 3683-3704.

Väisänen, J., Kosonen, A., Ahola, J., Sallinen, T., & Hannula, T. (2019). Optimal sizing ratio of a solar PV evirici for minimizing the levelized cost of electricity in Finnish irradiation conditions. *Solar Energy on Science Direct*, 185, 350-362.

VirtusTec, (2022). VirtusTec Technologie. *Repair and restoration of lithium-ion batteries*. [Erişim 23.10.2022, <https://virtustec.ru/uslugi/remont-i-vosstanovlenie-litij-ionnyh-akkumulyatorov.html>]

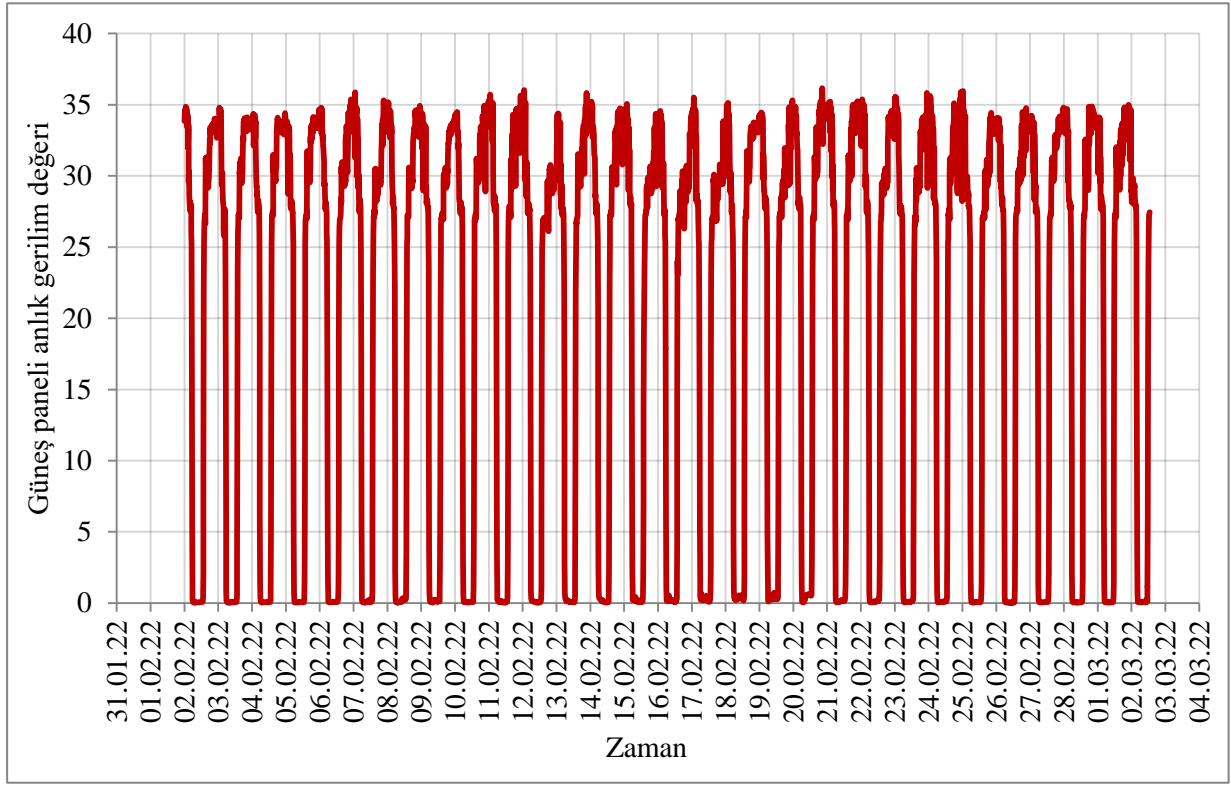
World Atlas, (2022). *What Is The Earth's Energy Budget?*. [Erişim 5.10.2022, <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-the-earth-s-energy-budget.html>]

Zeb, K., Uddin, W., Khan, M. A., Ali, Z., Ali, M. U., Christofides, N., Kim, H. J. (2018). A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected

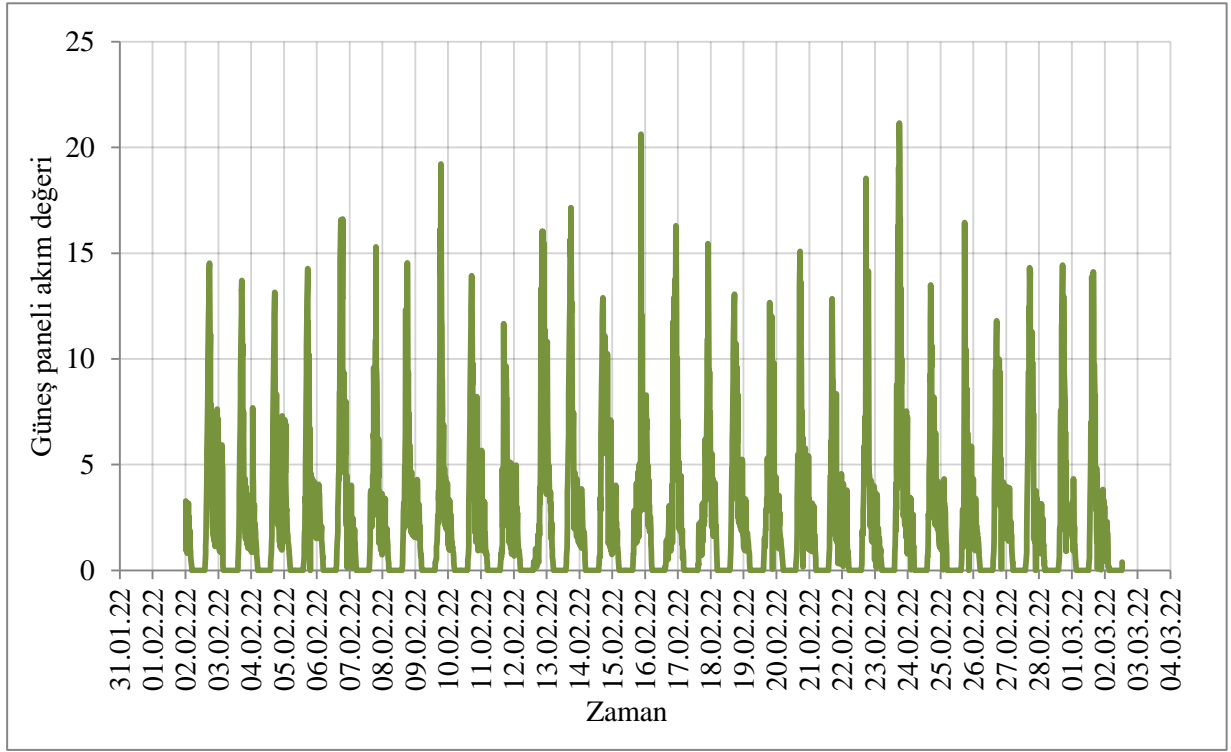
photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1120-1141.

EKLER

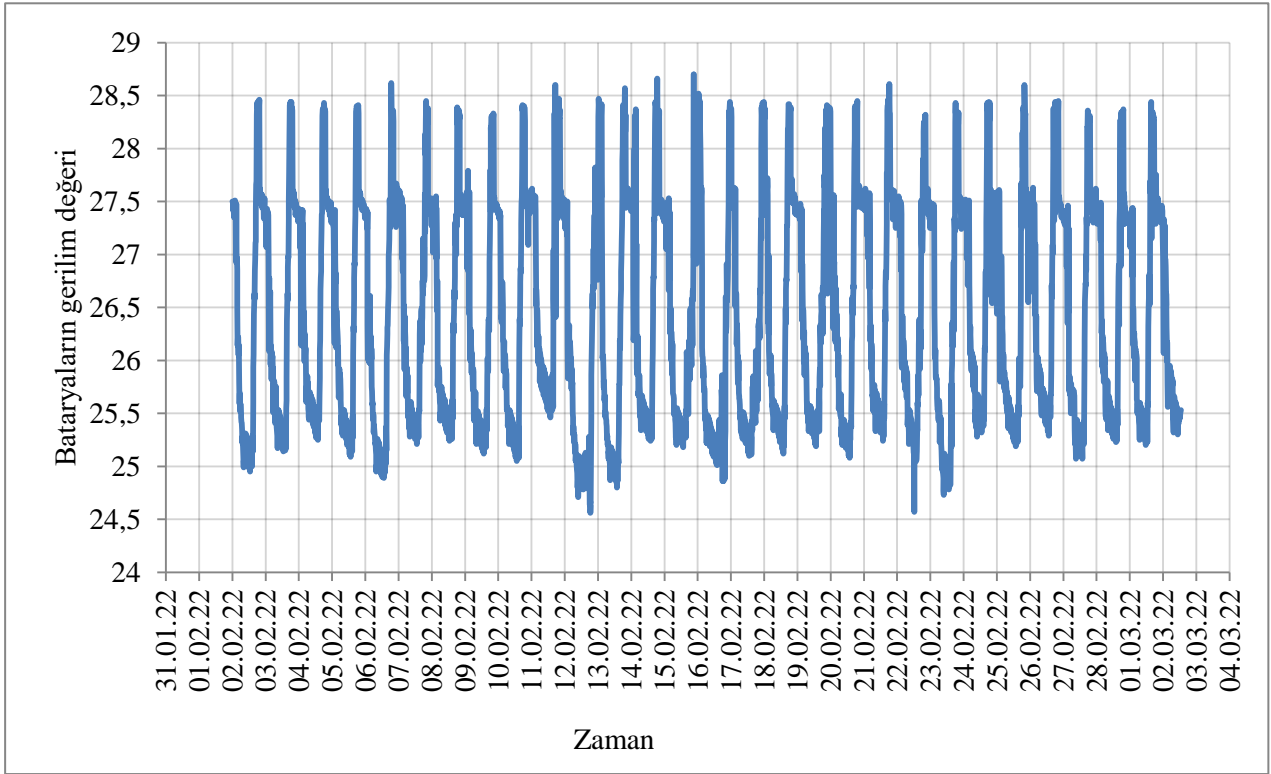
EK-1: Güneş paneli zamana göre çıkış gerilimi grafiği



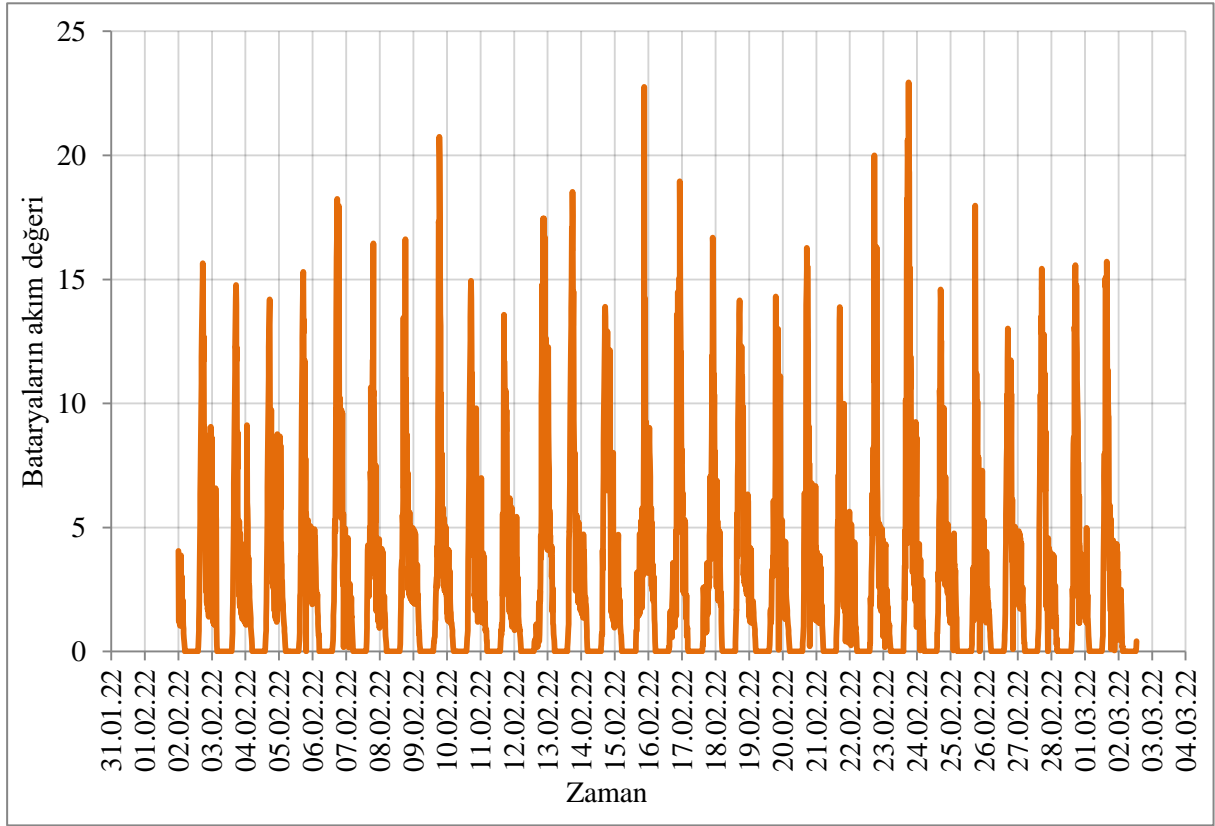
EK-2: Güneş paneli zamana göre çıkış akımı grafiği



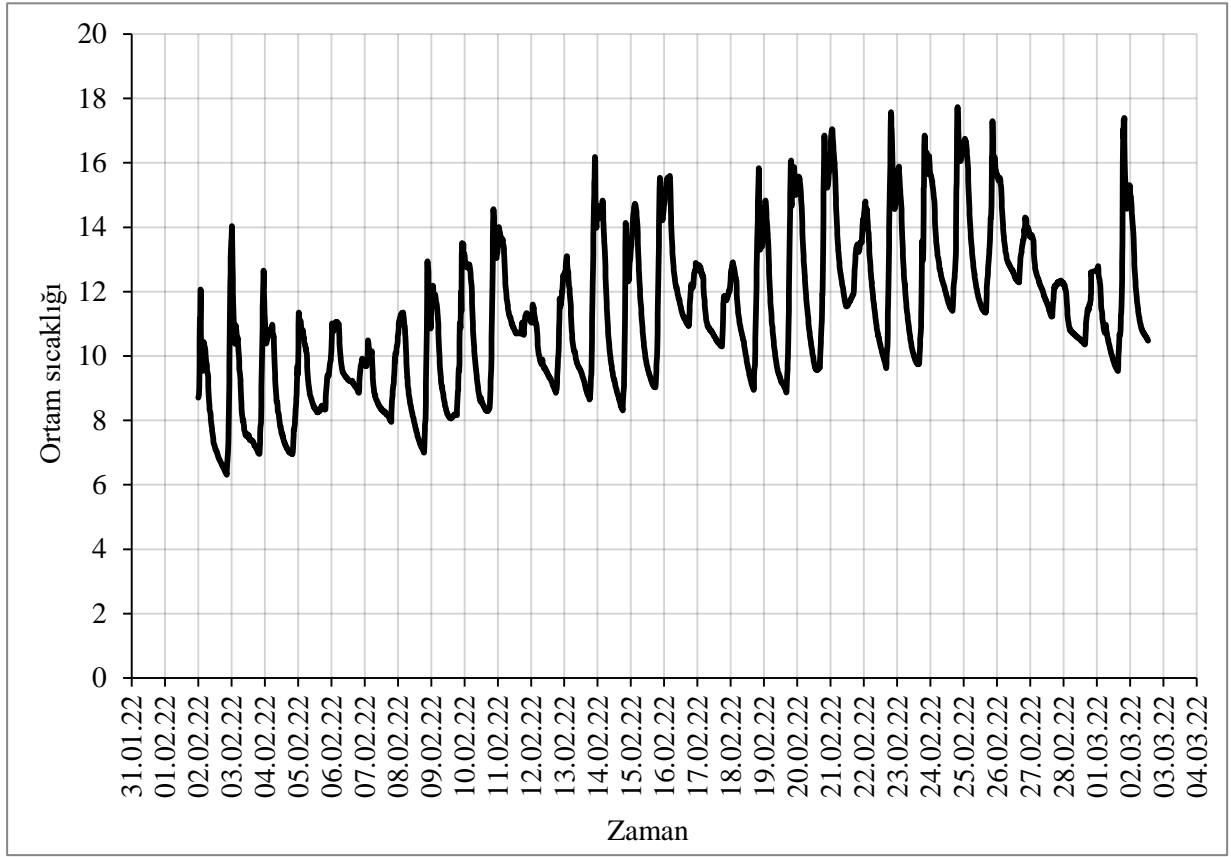
EK-3: Bataryaların zamana göre gerilim grafiği



EK-4: Bataryaların zamana göre akım grafiği



EK-5: Zamana göre ortam sıcaklık değişimi grafiği



EK-6: Zamana göre bataryaların şarj durumu grafiği

