



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROELEKTRİK SANTRAL BARAJ GÖLÜ ÜZERİNE 2 MW'LIK YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEM KURULUMUNUN EKONOMİK ANALİZİ

BEKİR TÜLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROELEKTRİK SANTRAL BARAJ GÖLÜ ÜZERİNE
2 MW'LIK YÜZER FOTOVOLTAİK
SİSTEM KURULUMUNUN EKONOMİK ANALİZİ**

BEKİR TÜLÜ

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
YÜKSEK LİSANS**

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Bekir TL



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilgilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

HİDROELEKTRİK SANTRAL BARAJ GÖLÜ ÜZERİNE 2 MW'LIK YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEM KURULUMUNUN EKONOMİK ANALİZİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEKİR TÜLÜ

ÖZET

Enerjinin gün geçtikte daha çok önem kazandığı günümüz dünyasında fosil yakıtların hızla tükenmesi ve bu yakıtların çevreye olumsuz etkileri dünya devletlerini alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynağı deyince akla ilk gelen Güneş enerjisine ilgi her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel arazi tipi fotovoltaik sistemlere paralel olarak yüzer fotovoltaik sistemler ön plana çıkmıştır. Temelde arazi tipi fotovoltaik sistemlerle aynı enerji üretim mantığına dayanan yüzer fotovoltaik sistemlerin tek farkı göl ve deniz üzerine kurulan bir yüzdürücü sistem üzerine monte edilmesidir.

Yüzer sistemlerin deniz ve göl üzerine kurulması elektrik üretiminin yanı sıra arazi kullanımı olmaması ve su yüzeyinde kapattığı alan sayesinde su buharlaşmasının önüne geçmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin tasarımının ve analizinin gerçekleştirilmesinde simülasyon programları oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

PVSYST simülasyon programı, fotovoltaik sistemlerin simülasyonu için sunduğu araçlar ile oldukça kaliteli bir program olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Birecik-Nizip baraj gölü üzerine 2 MW'lık yüzer fotovoltaik sistemi tasarlanması ve bu sistemin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında PVSYST simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon programından elde edilen veri ve grafikler incelenmiş ve bu tez kapsamında değerlendirmeler yapılmıştır. Sistem kendisini arazi tipi fotovoltaik sistemlere göre daha kısa sürede amorti ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, Güneş enerjisi, PVSYST, Yüzer GES,

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Haziran / 2022

Danışman: Doç. Dr. Muharrem İMAL

Sayfa sayısı: 73

ECONOMIC ANALYSIS OF 2 MW FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEM INSTALLATION ON HYDROELECTRIC POWER PLANT DAM LAKE

M.Sc. THESIS

BEKİR TÜLÜ

ABSTRACT

In today's world, where energy is gaining more importance day by day, the rapid depletion of fossil fuels and the negative effects of these fuels on the environment have led the world's states to alternative and clean energy sources.

The interest in solar energy, which comes to mind first when it comes to renewable energy source, is increasing day by day. With the developing technology, floating photovoltaic systems have come to the fore in parallel with traditional land type photovoltaic systems. The only difference between floating photovoltaic systems, which are basically based on the same energy production logic as land-based photovoltaic systems, is that they are mounted on a floating system installed on the lake and the sea.

Installing floating systems on the sea and lake has advantages such as electricity generation as well as no land use and preventing water evaporation thanks to the area it covers on the water surface. Simulation programs have a very important place in the design and analysis of photovoltaic solar power plants.

Pvsyst simulation program stands out as a very high quality program with the tools it offers for the simulation of photovoltaic systems.

Within the scope of this study, a 2 MW floating photovoltaic system was designed on the Birecik-Nizip dam lake and the economic analysis of this system was carried out. During the study, PVsyst simulation program was used. The data and graphics obtained from the simulation program were examined and evaluations were made within the scope of this thesis. It has been concluded that the system pays for itself in a shorter time than land type photovoltaic systems.

Keywords: Photovoltaic system, Floating SPP, Solar energy, PVsyst

Kahramanmaraş Sutcu Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering, June / 2022

Supervisor : Doç. Dr. Muharrem İMAL

Page number: 73

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, bilgi ve birikimiyle bana rehberlik eden çok değerli danışman hocam Doç.Dr. Muharrem İmal'e, yüksek lisans sürecine birlikte başladığımız, yol arkadaşlığı yaptığımız, zorlandığımız dönemlerde birbirimizden güç aldığımız değerli arkadaşlarım Abdullah Emre Oral ve Recep KÜÇÜK'e, her takıldığım noktada bilgisi ve tecrübesiyle bana rehber olan Birecik HES'ten mesai arkadaşım Ergün GÖĞEBAKAN'a, bu süreçte derslere devam edebilmem için izin konusunda hiçbir sorun çıkartmayan değerli müdürüm Adem GÜLTEKİN'e en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

İlkokula başladığım günden itibaren her zaman daha ilerisi için yönlendirmeye çalışan, maddi, manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen babam Mahmut TÜLÜ ve annem Ayşe TÜLÜ'ye, ders ve tez sürecinde sürekli ihmal etmek zorunda kaldığım, motivasyonumu kaybettiğim anlarda beni tekrar teşvik eden, güç veren kıymetli eşim Büşra TÜLÜ ve canım kızım Ayşe Nil TÜLÜ'ye tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak yüksek lisans sürecinde üzerimde ve tezimde emeği olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bekir TÜLÜ

KAHRAMANMARAŞ-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Dünyada Enerji Durumu	3
2.2. Türkiye'nin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli.....	4
2.3. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri ve Özellikleri	6
2.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri	6
2.4.1. Şebekeden Bağımsız	7
2.4.2. Şebekeye Bağlı Sistemler.....	8
2.5. Fotovoltaik Sistemi Oluşturan Öğeler	9
2.5.1. Fotovoltaik Panel.....	9
2.5.2. Panel Taşıyıcı Sistem	13
2.5.3. Elektriksel Bağlantı	13
2.5.4. Eviriciler.....	13
2.5.5. Transformatör.....	15
2.5.6. Şarj Kontrol Cihazı.....	15
2.6. Yüzer Fotovoltaik Sistemler.....	15
2.6.1. Yüzdürücü Sistem	16
2.6.2. Sabitleme Sistemi.....	19
2.6.3. Elektriksel Bağlantı	20
2.7. Dünya'da Yüzer Fotovoltaik Sistemler	20
2.8. Türkiye'de Yüzer Fotovoltaik Sistemler	21
2.9. Yüzer Sistemler ve Kara Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Mukayesesi	23
2.9.1. Faydaları.....	23
2.9.2. Zorlukları/Problemler.....	23

2.10. Mevzuat ve Yönetmelikler	23
3. LİTERATÜR İNCELEMESİ	25
4. MATERYAL VE METOD	30
4.1. Güneş Açıları.....	30
4.2. IEC 61724 Standart Performans Parametreleri	32
4.2.1. Güneş Paneli Verimi	32
4.2.2. Spesifik Üretim	33
4.2.3. Referans Verimi	33
4.2.4. Performans Oranı	33
4.2.5. Kapasite Faktörü	33
4.2.6. Güneş Paneli Verimliliği	34
4.2.7. Evirici Verimliliği	34
4.2.8. Sistem Verimliliği	34
4.2.9. Panel Kayıpları	34
4.2.10. Sistem Kayıpları	34
4.3. PVSYST 7.1 Paket Programı	35
4.4. İklimsel Veriler.....	37
4.5. Yer Seçimi	39
4.6. Proje Tasarımı	40
5. BULGULAR VE ANALİZ.....	47
5.1. Simülasyon Sonuçları ve Ekonomik Analiz.....	47
5.2. Buharlaşması Önlenebilecek Su Miktarının Hesaplanması	52
6. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlası	5
Şekil 2.2. Türkiye'nin yaklaşık güneşlenme süreleri	5
Şekil 2.3. Türkiye'nin aylık olarak global radyasyon değerleri	5
Şekil 2.4. Fotovoltaik sistem çeşitleri	7
Şekil 2.5. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem	8
Şekil 2.6. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem	9
Şekil 2.7. FV hücrelerden FV modül, FV modüllerden FV paneller, FV panellerden de FV diziler oluşması.....	9
Şekil 2.8. Panel taşıyıcı sistem özellikleri.	13
Şekil 2.9. Merkezi tip inverter örneği.....	14
Şekil 2.10. Dizi tipi inverter örneği	14
Şekil 2.11. İdeal transformatör	15
Şekil 2.12. Gerçek bir yüzer fotovoltaik sistemden yüzdürücü sistem tasarımı örneği	17
Şekil 2.13. Panel yüzdürücü sistem örneği.....	17
Şekil 2.14. Su üstünde yüzdürülecek paneller için tasarlanan taşıyıcı duba örneği	18
Şekil 2.15. Su üstünde yüzdürülecek paneller için tasarlanan yürüme yolu dubası	18
Şekil 2.16. Evirici ve elektriksel ekipmanlarının yüzdürüldüğü sistem örneği	19
Şekil 2.17. Çinde bulunan bir yüzer fotovoltaik sistem örneği	21
Şekil 2.18. Azmak 2 hidroelektrik santral yüzer güneş enerji sistemi projesi	22
Şekil 2.19. Büyükçekmece yüzer güneş enerji santrali projesi	22
Şekil 4.1. Zenit açısı	31
Şekil 4.2. PVSYST simülasyon programına ait açılış ekranı görüntüsü	36
Şekil 4.3. Birecik ilçesi güneşlenme süresi	37
Şekil 4.4. Birecik ilçesi global radyasyon değerleri	38
Şekil 4.5. Birecik fotovoltaik tiplerine göre üretilebilecek enerji	38
Şekil 4.6. Yüzer güneş enerji sistemi yerleşim planı detayı	40
Şekil 4.7. Yüzer güneş enerji sistemi fotovoltaik yerleşim alanı	40
Şekil 4.8. PVSYST şebekeye bağlı bölümü	41
Şekil 4.9. PVSYST programında Birecik-Nizip hidroelektrik santralinin seçilmesi	42
Şekil 4.10. PVSYST üzerinden alınan, bölgenin meteorolojik verileri	42
Şekil 4.11. Sisteme ait panel eğim ve azimut açılarının belirlenmesi	43

Şekil 4.12. PVSYST programında panel ve inverter seçimi	44
Şekil 4.13. Güneş paneli özellikleri.....	45
Şekil 4.14. Evirici özellikleri.....	45
Şekil 4.15. Simülasyon aracında şebeke bağlantılı sistem bileşenlerinin tanımlanması	46
Şekil 5.1. PVSYST programında ekonomik analiz sekmesi	48
Şekil 5.2.PVSYST sisteme ait kayıp diyagramı	49
Şekil 5.3. Evirici çıkışı enerji üretimi ve kayıplar	50
Şekil 5.4. Aylık performans oranı değerleri	51
Şekil 5.5. Simülasyondan elde edilen aylara göre bazı değerler	51
Şekil 5.6. Aylık bazda şebekeye enjekte edilen enerji ve performans oranı	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ülkelerin 2020 yılı sonu yenilenebilir elektrik kurulu güç kapasiteleri (1000xMW).....	4
Çizelge 2.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	6
Çizelge 2.3. Hücre tipine göre solar panel verimlilikleri ve kW'lık kapasite başına kapladıkları alan	11
Çizelge 4.1. Birecik Nizip Baraj Gölü Buharlaşıma Miktarı.....	39



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

δ	: Deklinasyon Açısı
$^{\circ}\text{C}$	: Sıcaklık
ω	: Saat Açısı
ψ	: Zenit Açısı
α	: Yükseklik Açısı
θ	: Güneş Geliş Açısı
γ_s	: Güneş Azimut Açısı
β	: Enlem Açısı
H	: Yataydaki Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması
H_D	: Yataydaki Dağılan Radyasyonun Aylık Ortalaması
R_b	: Işın Radyasyonun Aylık Ortalaması
H_T	: Eğimli Yüzeydeki Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması
H_0	: Yatay Yüzeyde Aylık Ortalama Günlük Atmosfer Dışı Işınım
G_{SC}	: Güneş Sabiti (=1367 W/m ²)
ρ	: Yansıma Katsayısı
K_T	: Aylık Ortalama Açıklık İndeksi
Y_R	: Referans Verim
Y_A	: Dize Verim
Y_F	: Nihai Verim
P_R	: Performans Oranı
C_F	: Kapasite Faktörü
ε	: Türbülans yitim (kayıp) oranı (m ² /s ³)
μ	: Dinamik viskozite [kg / ms]
π	: Pi sayısı
ρ	: Yoğunluk [kg / m ³]

KISALTMALAR

- YEK** : Yenilenebilir Enerji Kaynakları
SAM : Solar Advisor Model
CSP : Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DMI : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK : Elektrik Piyasaları Denetleme Kurumu
dk : Dakika
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

1. GİRİŞ

Enerji; insanların hayatlarını devam ettirmek ve yaşam standartlarını korumak için ihtiyaç duydukları en önemli gereksinimlerinden bir tanesidir. Dünyada yaşam döngüsünün devam edebilmesi için tüm canlılar anlık olarak enerjiye ihtiyaç duyarlar. İnsanoğlu yaşamını kolaylaştırmak için enerji ihtiyacını karşılamak adına farklı enerji üretim metotları geliştirmeye çalışmıştır. Enerji, farklı biçimleri ile günlük yaşamımızda vazgeçilmez bir yer edinmiştir.

Sanayi devrimi sonrası gelişen teknoloji, büyüyen sanayileşme ve nüfusun hızla artması enerjiye olan talebi gitgide arttırmıştır.

Günümüzde kullanılan enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. İçerisindeki karbon oranının fazla olması ve ucuz maliyetle tedarik edilebilmesi sebebiyle fosil yakıtlardan enerji üretimi, diğer yakıtlara göre tercih sebebi olmuştur. İçerisindeki karbon oranı fazla olan bu yakıtlar kullanıldıktan sonra çevreye karbondioksit gibi sera gazları yaymaktadır. Bu durum hava kirliliği ve küresel ısınma gibi çeşitli olumsuz sonuçlar meydana getirmiştir. Bu ekolojik sistem içerisindeki canlılar için tehlike yaratmaktadır. Dünyanın geleceği açısından son derece endişe yaratan bu hal dünya ülkelerinin enerji politikalarını yeniden değerlendirme ihtiyacı doğurmuş, gelecek için daha fazla önlem almalarını zorunlu kılmıştır.

Yüksek enerji tüketimi sonucunda doğaya salınan zehirli gaz miktarı da artış göstermektedir. CO₂ emisyon seviyesini azaltmak isteyen ülkeler için en önemli önerilerden birisi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ve teknolojilerine yönelmek olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en mühim olanlarından biride Fotovoltaik (FV) güneş enerjisidir. Fotovoltaik güneş enerjisi, son dönemlerde dünyada en hızlı büyüme oranına sahip yenilenebilir enerji kaynağı çeşididir. Bu büyümenin en önemli sebeplerinden bir tanesi de şüphesiz ki fotovoltaik güneş enerjisi teknolojilerinde ki gelişmelerdir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan güneş enerjisi, ilerleyen teknolojisi ile birlikte üretim maliyetlerinin azalması sebebiyle son dönemlerde oldukça rağbet gören yenilenebilir enerji çeşitlerinin başında gelmektedir.

Güneş enerjisine karşı olan ilgi her ne kadar artmış olsa da klasik kara tipi fotovoltaik sistemler, üzerine kurulduğu arazi sebebiyle yatırım maliyeti ve çevreye duyarlılık

kısmından sorgulanmaktadır. Araziye olan ihtiyacı izafi olarak yok edebilmek için fotovoltaik sistemleri su üzerinde yüzdürme düşüncesi gündeme gelmiştir. Bu konuda ilk örnek tip çalışmaların yapılmasından sonra çok sayıda su üstünde yüzdürülen güneş enerjisi santralinin kurulumuna başlanmış, bazıları işletmeye alınarak enerji üretmeye başlamıştır [1].

Fotovoltaik sistemler içerisinde mevcut durumda kurulu ve kurulması planlanan sistemler arasında en büyük oran arazi tipi sistemlerdir. Günümüzde fotovoltaik sistemlere olan rağbetin artması sonucu kara tipi fotovoltaik sistemlere ilaveten yeni fotovoltaik uygulama alanları ortaya çıkmaktadır. Bu uygulama türlerinin arasında kara tipi fotovoltaik bütünleyici olarak düşünülen su üstünde yüzdürülen fotovoltaik sistemler dikkat çekmektedir.

Su üstünde yüzdürülen fotovoltaik sistemler, kara tipi fotovoltaik sistemler ile enerji üretimi noktasında aynı temeldedir [2]. İki sistemde de fotovoltaik paneller, eviriciler, ve elektriksel ekipmanlar ortak olarak bulunmaktadır. Bu iki sistem arasında ki en büyük fark sistemlerin kurulum alanlarıdır. Kara tipi solar sistemlerin montajı kara üstüne yapılırken su üstünde yüzdürülen fotovoltaik sistemlerin kurulumu denizler ve göllerin üstüne yerleştirilen yüzdürücü ekipmanların üstüne montajlanmaktadır. Su üstünde yüzdürülecek fotovoltaik sistemler için yüzdürücü bir ekipman şarttır.

Yüzer fotovoltaik sistemlerde, araziye ihtiyaç duyulmaması, suyun buharlaşmasını engellemesi, suyun doğal soğutucu etkisinden kaynaklı fotovoltaik panellerin verimini artırması gibi avantajlar bulunmaktadır. Bu avantajlar, yüzer fotovoltaik sistemleri yatırımcılar tarafından cazip kılmaktadır.

Bu çalışmada; Şanlıurfa'nın Birecik ilçesinde yer alan yapan Birecik-Nizip Hidroelektrik Santrali'nin baraj gölü üzerine 2 MW gücünde yüzer fotovoltaik sistem kurulmasının maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi yapılırken PVSYST 7.1 paket yazılım programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Birecik-Nizip barajının coğrafi konumu PVSYST programında işaretlenerek yüzer fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgenin meteorolojik verileri, simülasyon aracında gömülü olan bir veri tabanından üretilmektedir. Tasarlanan yüzer fotovoltaik sisteminin performans analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda ortaya çıkan veriler değerlendirildiğinde, hidroelektrik santrallerine ait baraj gölü üzerine yüzer fotovoltaik güneş enerjisi santralleri konusunda yatırım yapmayı planlayan yatırımcılara ışık tutacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dünyada Enerji Durumu

Enerji, günümüz dünyasında ekonomik ve sosyal açıdan; ülkelerin gelişiminde ve insanların yaşam standartlarında ilerlemeyi sağlayan en önemli unsurların başında gelmektedir. Endüstri de yaşanan gelişmeler ve teknolojinin getirmiş olduğu değişimlerle birlikte insan nüfusundaki hızlı artış sonucunda enerjiye gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Günlük hayatın temel ihtiyacı hale gelen enerji gereksinimi yakın zamana kadar petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Ancak fosil yakıtların tükenebilirliği ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, günümüzdeki teknolojik gelişmeler ve artan enerji ihtiyacı neticesinde dünya ülkeleri temiz ve yenilenebilir enerji arayışına girmişlerdir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, hidrojen, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrolik olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde gerekli araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, giderek artmaktadır. 2020 yılı sonu verilerine göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik kurulu güç kapasitelerinin ülkelere göre oransal dağılımı Çizelge 2.1.'de verilmiştir [1].

Çizelge 2.1. Ülkelerin 2020 yılı sonu yenilenebilir elektrik kurulu güç kapasiteleri (1000xMW) [1]

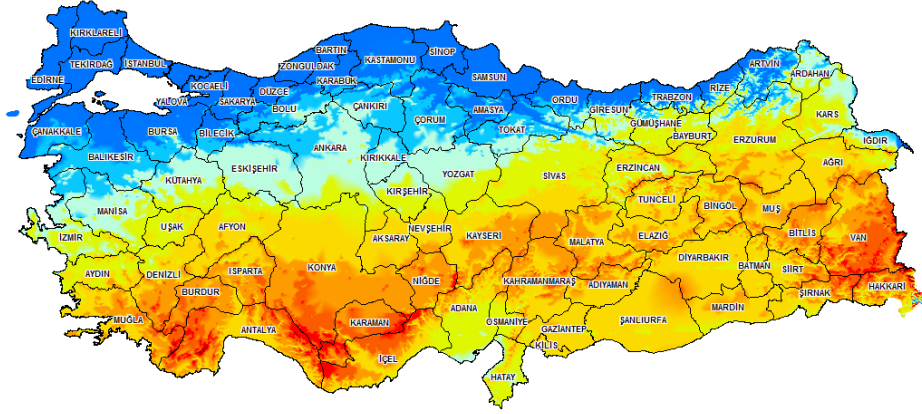
Enerji Kaynakları	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa	Dünya
Hidrolik	313	80	47	5,6	27,2	127	1114
Rüzgâr	188	89	33	56	6,8	169	539
Biyoenerji	15	16,7	9,5	8	0,63	40	122
Güneş PV	131	51	18,3	42	3,42	108	442
Güneş Termal	0	1,7	0,2	0	0	2,3	4,9
Jeotermal	0	3,6	0	0	1,06	0,9	13,5
Toplam	647	242	108	111,6	39,11	447,2	2235,4

Türkiye'nin 2020 yılı sonu itibariyle yenilenebilir kaynaklardan elde ettiği toplam üretim miktarı yaklaşık olarak 39,11 GW değerindedir. Ülkemizde yıllar içerisindeki güneş enerjisi kullanım oranlarına bakıldığında güneş enerjisi kullanımının giderek arttığı görülmektedir.

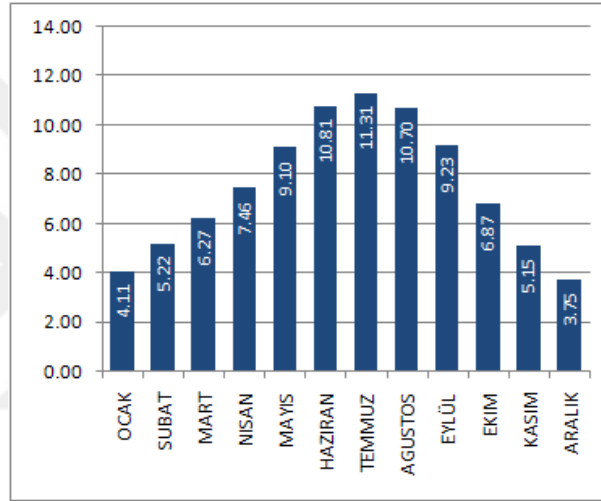
2.2. Türkiye'nin Fotovoltaik Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumundan dolayı, güneş enerjisi potansiyeli bakımından pek çok ülkeye göre avantajlıdır.

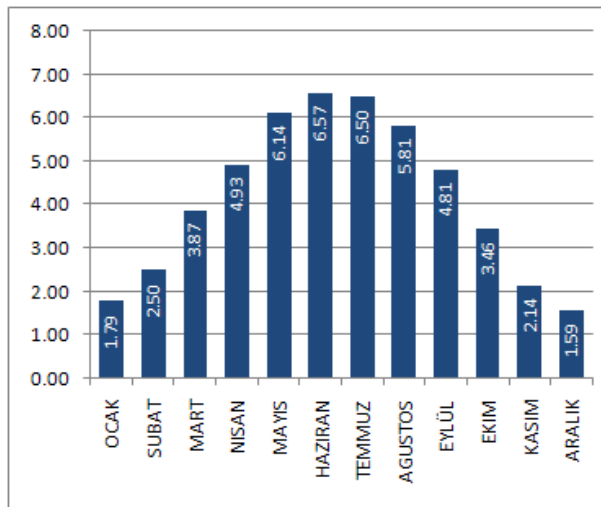
Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça şanslı bir ülkedir. Enerji Bakanlığı tarafından oluşturulan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, senelik toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2741 saat olup yaklaşık senelik toplam ışıınım miktarı 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır [3].



Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlası [3]



Şekil 2.2. Türkiye'nin yaklaşık güneşlenme süreleri (saat) [3]



Şekil 2.3. Türkiye'nin aylık olarak global radyasyon değerleri (kWh/m² -gün) [3]

Çizelge 2.2. de Ülkemizde bölgelerin senelik güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir. Bu çizelgeye göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizde en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgedir.

Çizelge 2.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı[1]

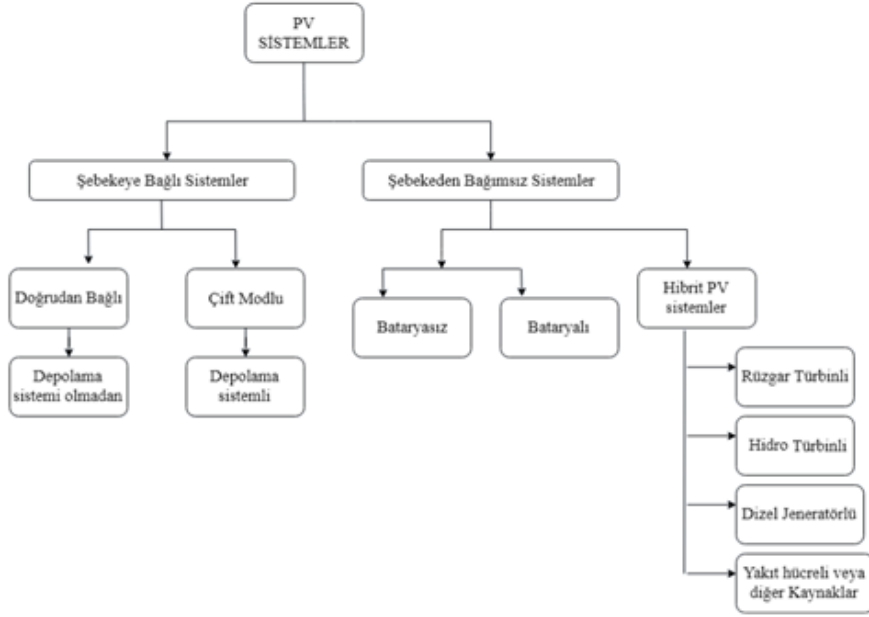
Bölge	Toplam Güneş	Güneşlenme
	Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.3. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri ve Özellikleri

Güneş, diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyanın her yerinde ve kullanılabilir durumda olan bir kaynaktır. İngilizce Photo Voltaic kelimesi, dilimize güneş pili veya güneş hücresi olarak geçmiştir [4]. Fotovoltaik sistem elektrik üretme amacıyla bir inverter ile birleştirilmiş diğer elektrik ve mekanik donanımdan oluşan güneş panellerinden oluşmaktadır. Ölçüleri değişebilen ve şebekesiz de çalışabilen sistemlerdir [5].

2.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olarak iki ana kısma ayrılabilir. Şebekeye bağlı sistemler doğrudan bağlı ve çift modlu olarak ikiye ayrılırlar. Şebekeden bağımsız sistemler ise bataryalı, bataryasız ve hibrit fotovoltaik sistemler olarak üçe ayrılırlar. Şekil 2.4' te fotovoltaik sistem çeşitleri verilmiştir.



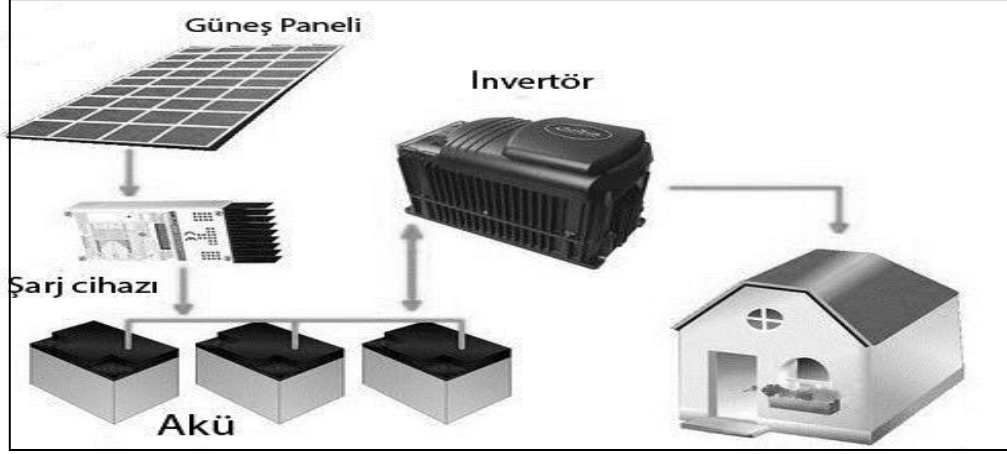
Şekil 2.4. Fotovoltaik sistem çeşitleri [6]

2.4.1. Şebekeden Bağımsız

Şebekeden bağımsız sistemler, şebeke elektriğinin olmadığı, şebeke hattı çekiminin zor yada maliyetli olduğu yerlerde yada şebekeden elektriğinin zayıf geldiği yerlerde kullanılırlar. Telekom istasyonları, yerleşim yerinden uzak evler, trafik lambaları ve işaretleri, acil durum aydınlatma sistemleri, sokak aydınlatma ve tarımsal sulama sistemleri belli başlı kullanım alanlarıdır.

Gün boyunca fotovoltaik panellerin üzerine düşen güneş ışığı, panel uçlarında doğru akım enerjisi üretir. Bu enerji solar şarj kontrol cihazı vasıtasıyla akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji bir evirici tarafından doğru akımdan alternatif akıma dönüştürülerek ev ve iş yerlerinde kullanılmak üzere aktarılır.

Panellerden elde edilen enerji direk evlerimizde kullanılamaz, ilk aşamada bir inverter yardımıyla evlerde kullanılan alternatif akıma dönüştürülmelidir. Alternatif akıma dönüştürülen elektrik enerjisi, buradan ev şebekesine iletilerek evlerdeki sistemlerde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde panel dışında, solar şarj kontrol cihazları, akü ve eviriciler temel olarak kullanılan donanımlardır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı akü maliyetleri ve kayıplarıdır.

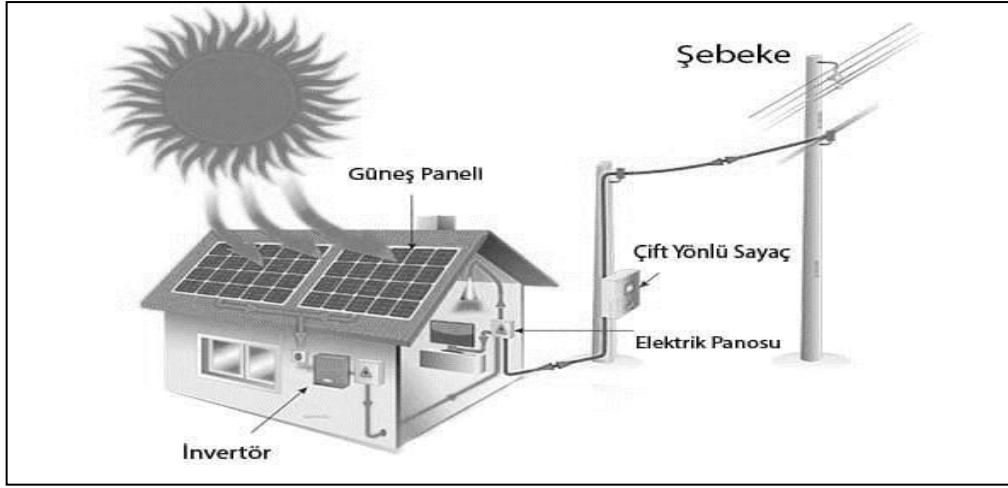


Şekil 2.5. Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem [7]

2.4.2. Şebekeye Bağlı Sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemler şebeke ile uyumlu bir şekilde çalışan sistemler olarak ifade edilebilir. Panellerden üretilen enerjiyi kendi bünyelerinde kullanabilirken fazla enerji şebekeye de satılabilir. Bu sistemlerde sürekli bir enerji akışı söz konusudur. Şebeke bağlantılı sistemlerde depolama aygıtlarına ve ünitelerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple akü maliyeti yoktur. Böylece güneş enerji sisteminden ürettikleri enerjiyi, kendi bünyelerinde kullanmakla birlikte şebekeye de satabilirler.

Şebekeye bağlantılı olmalarından ötürü bu sistemlerde sürekli enerji akışı söz konusudur. Depolama ünitelerine veya aygıtlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece akü maliyeti ortadan kalkmaktadır. Bununla birlikte; ilk tesis aşamasında aküden kaynaklı maliyet azalmış olur. Şebekeye bağlantılı olmalarından mevsimlere bağlı olumsuz hava koşullarından etkilenmezler. Dolayısıyla; enerji kesintisi yaşanmamaktadır. Eğer enerji fazlalığı oluşursa, bu enerji şebekeye verilebilir. Böylece bir kazanç ta elde edilmiş olur. Bu sistemlerin en büyük sakıncaları şebekeye bağlı oldukları ve depolama sistemleri olmadıkları için şebeke elektriği kesildiğinde sisteminde elektriğinin kesilmesidir.



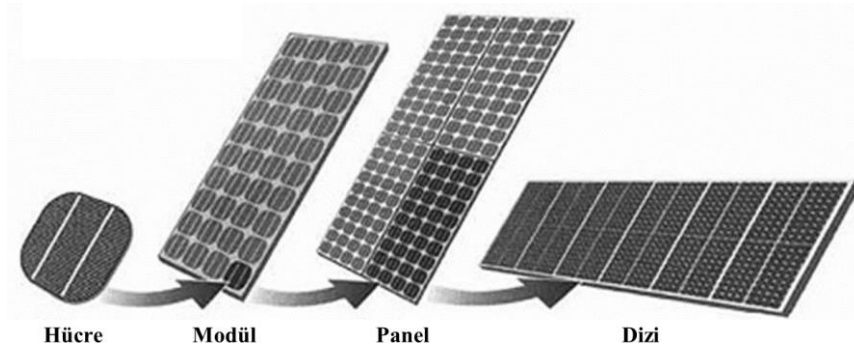
Şekil 2.6. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem [7]

2.5. Fotovoltaik Sistemi Oluşturan Öğeler

Fotovoltaik sistemi oluşturan unsurlar, Fotovoltaik panel, panel taşıyıcı sistem, elektriksel bağlantı ve solar inverter olmak üzere 4 ana başlıkta toplanmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde bunlara ek olarak batarya ve şarj kontrol ünitesi kullanılabilir.

2.5.1. Fotovoltaik Panel

Güneş panelleri; güneşten aldığı ışınımı, içeriğinde bulunan çok sayıda fotovoltaik hücre sayesinde doğru akıma (DC) dönüştürürler. Fotovoltaik hücreler, yalnız başlarına yeterli oranda enerji üretmediklerinden dolayı paralel veya seri bağlanmalarıyla fotovoltaik panelleri oluştururlar. Fotovoltaik panellerin enerji üretim sistemlerinde bir araya getirilmeleriyle oluşan sistemlere ise fotovoltaik panel dizileri denir [8].



Şekil 2.7. FV hücrelerden FV modül, FV modüllerden FV paneller, FV panellerden de FV diziler oluşması [8]

Güneş panelleri; yapısına göre alüminyum çerçeveli ve camlı paneller, çerçevesiz paneller, metal tabanlı paneller olarak sınıflandırılmaktadır [9].

a) Alüminyum Çerçeveli ve Camlı Fotovoltaik Güneş Panelleri:

Günümüz piyasasında en çok tercih edilen model olan bu fotovoltaik panel alüminyum bir çerçeve içerisine yerleştirilmiştir. Bu fotovoltaik paneller cam bir tabaka ve hücreleri dış etkilere muhafaza edecek bir filmle örtünmüş biçimde fotovoltaik hücrelerden oluşturulmuştur.

b) Çerçevesiz Fotovoltaik Güneş Panelleri

Son derece yüksek etkiye sahip bu güneş panelleri mono kristal silikon fotovoltaik pillerinden yapılırlar ve iki tabaka şeklinde optik filmle kaplanırlar. Modül, arka tarafında PET (poly ethylene terephthalate) filminden ortada fotovoltaik pili ve ön tarafında PET film yahut camdan oluşur. Genel olarak trafik lambaları veya hibrit sistemler gibi başka bir sistemle bağlantının gerekli olmadığı durumlarda kullanılır [10].

c) Metal Tabanlı Fotovoltaik Güneş Panelleri

Metal tabanlı modüller optik film tabakaları arasında ince tabakalara ayrılmış oldukça etkin mono kristal silikon güneş enerjisi pillerinden üretilir. Özel yapışkan ve yalıtım yapan kaplama ile kaplanmış paslanmaz çelik, metal üzerine yada alüminyum alaşım üzerine oturtulur. Modüller metal bir taban, PET film, ortada fotovoltaik piller, ön kısımda PET film yada camdan oluşur [11].

d) Çift Yüzeyli Fotovoltaik Güneş Panelleri

Ön ve arka yüzeyi ile birlikte enerji üretebilen yeni sistem modüllerdir. Bu modüller bütün FV uygulamalarında kullanılabilir ve enerji maliyetinde önemli bir azalma sağlar [11].

FV hücreler 3 ana teknoloji alanında incelenebilir. Bunlar;

a. Kristal yapıli silisyum hücreler

b. İnce film hücreler

c. Yeni nesil FV hücreler

FV hücrelerine göre panel verimlilikleri ve kW'lık kapasite başına kapladıkları alan toplu olarak Çizelge 2.3'te verilmiştir [1].

Çizelge 2.3. Hücre tipine göre solar panel verimlilikleri ve kW'lık kapasite başına kapladıkları alan[1]

Hücre Tipi Ailesi	Hücre Tipi	Modül Verimliliği (%)	kW Başına Gereken Alan (m ²)
Kristal Silisyum	Tekli kristal	13-19	7
	Çoklu kristal	11-15	8
	Amorf Silisyum	4-8	15
İnce Film	Kadmiyum Tellurid	10-11	9
	Bakır İndiyum	7-11	10
	Galyum Diselenid		

2.5.1.1. Kristal Silisyum

Günümüzde fotovoltaik hücreler için en yaygın tercih edilen malzeme kristal silisyum ve yarı iletken uygulayım bilimidir. Kristal silisyum ve yarı iletken teknolojiler en çok tercih edilen fotovoltaik hücreler olmasına rağmen diğer fotovoltaik hücrelere göre daha maliyetlidir. Monokristal ve polikristal olarak iki çeşit üretilmektedirler.

Monokristal hücreler, eşit gücü üreten bir polikristalin hücrelerine nazaran daha yüksek verime sahiptirler. Fakat üretim teknolojisinin uzun sürmesiyle beraber artan maliyetler monokristal hücrelerin dezavantajlarıdır. Monokristal hücrelerin verimlilik oranları %24-30 arasında iken seri üretimde yüzde %16-17'ye kadar düşmektedir. Monokristal fotovoltaik hücreleri, kristal hücre çeşitleri arasında en verimli ve kalitelisidir. Monokristal silisyum fotovoltaik hücrelerinin imalatları teknik olarak daha zor olmakla birlikte imalat süresi daha uzun olduğu için bu çeşit fotovoltaik hücrelerin maliyetleri, öteki fotovoltaik hücre tiplerine nazaran daha fazladır. Bu nedenle genellikle uzun süreli kullanımlar için mono kristal paneller tercih edilmektedir. Monokristal silisyum hücre tiplerinin günümüzdeki pazar oranı yaklaşık olarak %21 dir.

Polikristal fotovoltaik hücreler, monokristal hücrelerle karşılaştırıldığında imalatı daha kolay ve düşük maliyetlidir. Bu hücre tiplerinin en büyük dezavantajı verimliliklerinin düşük olmasıdır. Polikristalli maddeler içerisinde bulunan damarların yapısal ve elektriksel farklılıkları bu hücre tiplerinin veriminin düşük olmasının en büyük sebebi olarak gösterilebilir.

Homojen yapıda olmayan bu fotovoltaik hücrelerin laboratuvar koşullarında verimlilikleri %18 olmasına rağmen seri üretimlerde bu oran %13-14 bandına düşebilmektedir. İmalatının ve erişilebilirliğinin kolay, verimlilik/maliyet oranı değerlendirildiğinde monokristal fotovoltaik hücrelere nazaran daha yüksek olmasından dolayı Polikristal fotovoltaik paneller %70'lik pazar payı ile en fazla tercih edilen fotovoltaik panel tipidir [1].

2.5.1.2. İnce Film Hücre

Kristal yapıya sahip olmayan bu fotovoltaik hücre tipi, plazma tortulaştırılması gibi tortulaşma tekniği ile üretilir. Bu hücre tipine amorf da denilmektedir. Amorf, kristal yapıda olmayan anlamına gelmektedir. İnce film fotovoltaik hücreler, kristal silisyum fotovoltaik hücrelere göre oldukça ucuzdur. Işık tutma oranı yüksek olan ince film paneller günümüz teknolojik seviyesinde, laboratuvar koşullarına göre %21,7 enerji dönüşüm verimliliğine sahiptir. Ticari uygulamalarda ise üreticiye göre %10 – %15 arasında değişmektedir [1]. İnce film solar hücreler, sıcaklıktan dolayı ortaya çıkan kayıplardan etkilenmemesi ve gölgelenme olmayan bölgelerin üretime devam etmesi gibi avantajlara da sahiptir.

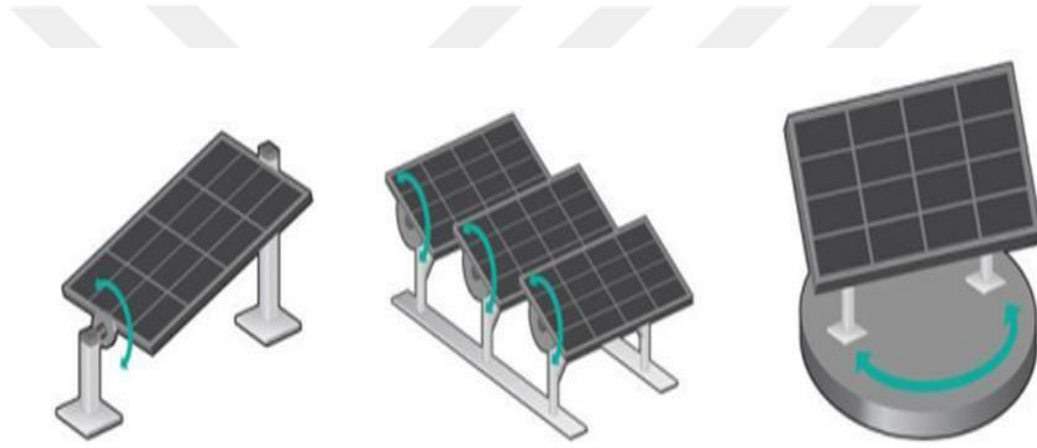
Üretim maliyetlerinin ucuz olmasına rağmen enerji üretim verimliliklerinin düşük olması nedeniyle diğer fotovoltaik hücre tiplerine kıyasla çok daha az kullanılırlar. Günümüzde ince film fotovoltaik hücreler %9'luk pazar payı ile kristal silisyum solar hücrelerin ardından ikinci en yaygın kullanılan solar hücre tipidir. İnce film teknolojisi kendi içerisinde amorf silisyum, kadmiyum tellurid, bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ve bakır-çinkokalay-sülfoselenit (CZTSSe) olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır.

2.5.1.3. Yeni Nesil FV Hücreler

1970 yılı içerisinde başlayan bilimsel araştırmalar sonucunda üretilen ve bulunduğumuz zaman içerisinde uzay uygulamaları ve güneş arabaları başta olmak üzere birçok alanda kullanılan yüksek maliyetli Galyum Arsenür (GaAs) ile laboratuvar koşullarında üretilen güneş pilleri, şuanda araştırma ve geliştirilme safhasında olan yeni nesil fotovoltaik hücredir. %20-%30 arasında değişen bir verimliliğe sahiptirler. 1988 yılı başlarında M. Graetzel ve Brian O'Regan tarafından bulunmuş ve geliştirilmiş olan boya duyarlaştırıcılı fotovoltaik hücreler (DSSC) ucuz maliyeti ile önemli bir avantajı bulunmaktadır. Diğer yeni nesil fotovoltaik hücreler, plastik güneş hücreleri (moleküler ve polimerik), yüksek verimli güneş hücreleri, sıcak elektron dönüştürücüleri olarak araştırma ve geliştirme aşamasındadır [12].

2.5.2. Panel Taşıyıcı Sistem

Fotovoltaik panelin üzerine montajlandığı sabitleme sistemidir. Fotovoltaik paneller bu taşıyıcı sistem üzerine montajlanarak, en uygun azimut ve tilt açılarında kalması sağlanmaktadır. Sistem, sabit olarak yapılabildiği gibi hareketli olarak tasarlanarak güneş takibi yapılması da sağlanabilir. Hareketli sistemler, sabit yapılı sistemlere göre güneş ışınından daha çok faydalanabileceğinden dolayı mevcut kapasiteyle daha fazla enerji üretebilmektedir. Buna karşın hareketli sistemlerin ilk kurulum maliyetleri sabit sistemlerin ilk kurulum maliyetine göre çok daha fazladır. Ayrıca sistemdeki hareketli parça sayısının artması sistem üzerinde arıza çıkma ihtimalini arttıracak için sistemin enerji üretim süresinin devamlılığı açısından risk oluşturabilmektedir.



Şekil 2.8. Panel taşıyıcı sistem özellikleri [13].

2.5.3. Elektriksel Bağlantı

Fotovoltaik sistemlerde üretilen DC gerilime sahip enerjinin inverterlere taşınması için kablolar ve konnektörler kullanılmaktadır. Bu sistemde kullanılan kablolar ve konnektörler, sistemden elde edilen enerjinin minimum kayıpla iletimini sağlayan donanımlardır. Fotovoltaik sistem kurulu olduğu süre boyunca açık alanda, toza, sıcaklığa ve çevresel etkenlere maruz kalabilmektedir. Bir solar sistemin ortalama çalışma süresi 25 yıl civarında olduğundan kullanılacak kablo ve konnektörlerin de uzun yıllar boyunca yıpranmalarının minimum olması için kullanılacak malzemeler özenle seçilmelidir.

2.5.4. Eviriciler

Elektriksel bir güç dönüştürme elemanı olan evirici, solar panellerin üretmiş oldukları doğru akımı, alternatif akıma çevirmeye yararlar. Solar eviriciler ise fotovoltaik sistem

uygulamalarında kullanılmak için özelleştirilmiş eviricilerdir. Solar eviriciler, fotovoltaiik panellerden elde edilen DC gücün, istenilen gerilim, güç ve frekanstaki AC güce çevirmekte kullanılan güç elektroniği devreleridir. Solar eviricilerin ana görevleri; ürettiği alternatif akımdaki düzensizliklerinin minimum oranlarda olması ve istenilen genlik ve frekansta alternatif güç sağlamasıdır. Solar eviriciler, çıkış gerilimine göre bir veya üç fazlı olabilmektedir [1].

Eviricilerin doğru bir şekilde çalışabilmeleri için panel dizilerinin birbirleriyle uyumlu hale getirilmeleri önem arz etmektedir. Bu sebeple; diziyi oluşturan güneş panellerinin gölgelenme miktarları, kirlenme oranları, sıcaklık durumları ve konumlandırılma açıları aynı olmalıdır.

Eviriciler, çalışma şekillerine göre merkezi ve dizi eviriciler olarak sınıflandırılmaktadır. Merkezi eviriciler, arızalandığı zaman sistem tamamen devre dışı kalmaktadır. Bu durum; sistemin sürdürülebilirliği açısından büyük bir dezavantajdır. Ancak; bununla birlikte bu eviricilerin verimleri oldukça yüksek maliyetleri ise düşüktür. Dizi eviricilere nazaran daha az bakıma ihtiyaç duymaktadırlar [13].

Dizi eviriciler daha çok, küçük projelerde kullanılmaktadır. Konut projeleri ile küçük ve orta ölçekli ticari projelerde yatırımcı tarafından dizi eviriciler tercih edilmektedir. Daha büyük projelerde ise tercih sebebi merkezi eviricilerden yana olmaktadır [14].



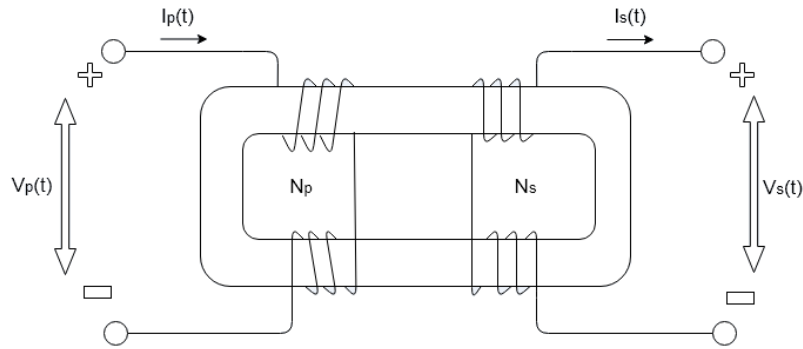
Şekil 2.9. Merkezi tip inverter örneği[14]



Şekil 2.10. Dizi tipi inverter örneği[14]

2.5.5. Transformatör

Güneş enerjisi santrali için bir diğer önemli eleman ise transformatörlerdir. Transformatörler değişken manyetik alan etkisiyle bir gerilim seviyesindeki AC elektrik gücünü farklı bir seviyedeki AC kayıplarla uzak mesafelere iletilmektedir. elektrik gücüne çeviren cihazlardır. Transformatörler; şebeke gerilimini yüklere aktarır veya santralde üretilen gerilimi şebekeye yönlendirirler. Transformatörler sayesinde üretilen AC elektrik gücü çok düşük dünyadaki ana güç üretim ve dağıtım sistemleri genelde 3 fazlı transformatörlerle sağlanmaktadır [15].



Şekil 2.11. İdeal transformatör [15]

2.5.6. Şarj Kontrol Cihazı

Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemlerde, akünün şarj ve deşarj akım döngüsünün kontrolünü sağlayan ayrıca akülerden panellere bir ters akım gitmesini engellemek için kullanılan, inverterden önce sisteme dahil edilen ve akıllı tip inverterlerin bünyesinde bulunmaları dolayısıyla, akülü sistemlerde olması gereken bir aygıttır. İçerisinde bulunan transistör sayesinde izinsiz akım geçişlerini engeller. Solar panellerde sabit olarak üretilmeyen akım ve gerilimi sabitleyerek akülerin daha verimli şarj olmasını sağlar. Akülerin şarjının dolmasından sonra, panellerden gelen akımı keserek akülerin aşırı şarj olmasını engeller.

2.6. Yüzer Fotovoltaik Sistemler

Yüzer fotovoltaik sistemler, arazi üstüne kurulan fotovoltaik sistemlerin yüzdürücü bir sistem vasıtasıyla su üstüne kurulan fotovoltaik sistemlere dönüştürülmesi esasına dayalı bir teknolojidir.

Yıllardan beri kullanılan kara tipi fotovoltaik sistemler ile yapısal olarak aynıdır. Bu teknoloji sayesinde bir taraftan elektrik enerjisi üretimi yapılırken, diğer taraftan kıymetli arazilerini işgal etmek yerine dünya yüzeyinin yüzde 70'ine tekabül eden su yüzeyi değerlendirilerek arazilerin daha verimli kullanılması hedeflenmektedir. Bu sistem su yüzeyini kaplama prensibine dayanan bir teknoloji olması sebebiyle su buharlaşmasının azaltılması gibi bir avantaja sahiptir. Solar panellerin enerji üretim verimini azaltan etkenlerden biri, panel sıcaklıklarının çok yüksek olmasıdır. Güney Kore'de yapılan bir araştırmaya göre su yüzeyine kurulan sistem, paneller ile panellerden daha soğuk olan rezervuar/göl arasında ısı transferi gerçekleştirerek panellerin soğumasına olanak sağlamaktadır. Bu yüzden yüzer fotovoltaik sistemler arazi tipi fotovoltaik sistemlere göre daha yüksek enerji üretim verimliliğine sahiptir.

Su yüzeyini yüzdürücü bir sistem vasıtasıyla kaplama prensibine dayalı teknoloji olan bu yüzer fotovoltaik sistem, su buharlaşmasını önemli ölçüde azaltmak gibi bir avantaj sağlamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin enerji üretimindeki verimini düşüren en önemli faktörlerden bir tanesi sıcaklık parametresidir. Panel sıcaklığının, panel yapımında kullanılan malzeme veri dosyasındaki optimum değerlerden yüksek olması fotovoltaik panellerin verimini düşürmektedir.

Güney Kore'de yapılan bir araştırmada su yüzeyine kurulan sistem, paneller ile panel sıcaklığından daha soğuk olan su yüzeyi arasındaki ısı transferi sayesinde panellerin soğuması sağlanmaktadır. Eğer yapılmış olan bu araştırma sonucunda ortaya konulan bu teori doğru ise, su yüzeyine kurulan fotovoltaik sistemler kara tipi fotovoltaik sistemlere göre daha yüksek verimliliğe sahip olduğu söylenebilecektir [1].

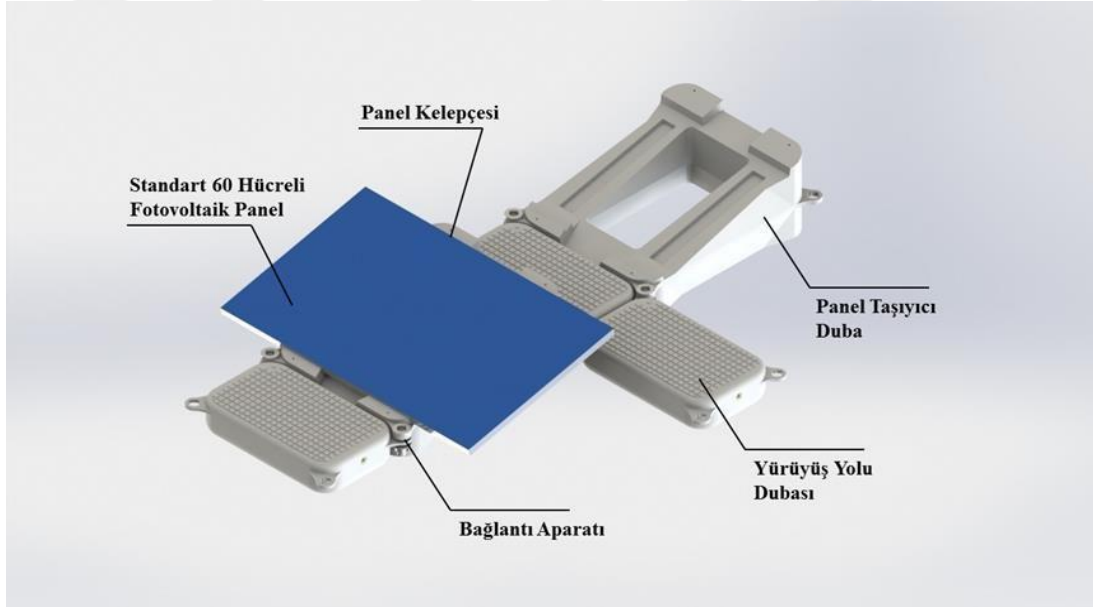
Yüzer fotovoltaik sistemler, kara tipi fotovoltaik sistemlerinde kullanılan donanıma ek olarak panellerin su üzerinde taşınabilmesi için yüzdürücü sistem, sistemin sürüklenmesini ve kendi etrafında dönmesini engellemek için sabitleme sistemi ve yüzer sistemden üretilen elektriğin karaya taşınması için gereken özel elektriksel bağlantıyı içermektedir [1]. Yüzer güneş enerjisi bileşenleri şunlardır. Yüzen yapı, bağlama sistemi, fotovoltaik güneş modülü, kablolama, şebeke bağlantı istasyonu.

2.6.1. Yüzdürücü Sistem

Dubalar, su üstünde yüzdürme ve yük taşıma işlevi gören donanımlardır. Yüzen fotovoltaik sistemlerde kullanılan mekaniksel ve elektriksel bileşenlerin montajı söz konusu yüzdürücü sistemlerin üstüne yapılır.

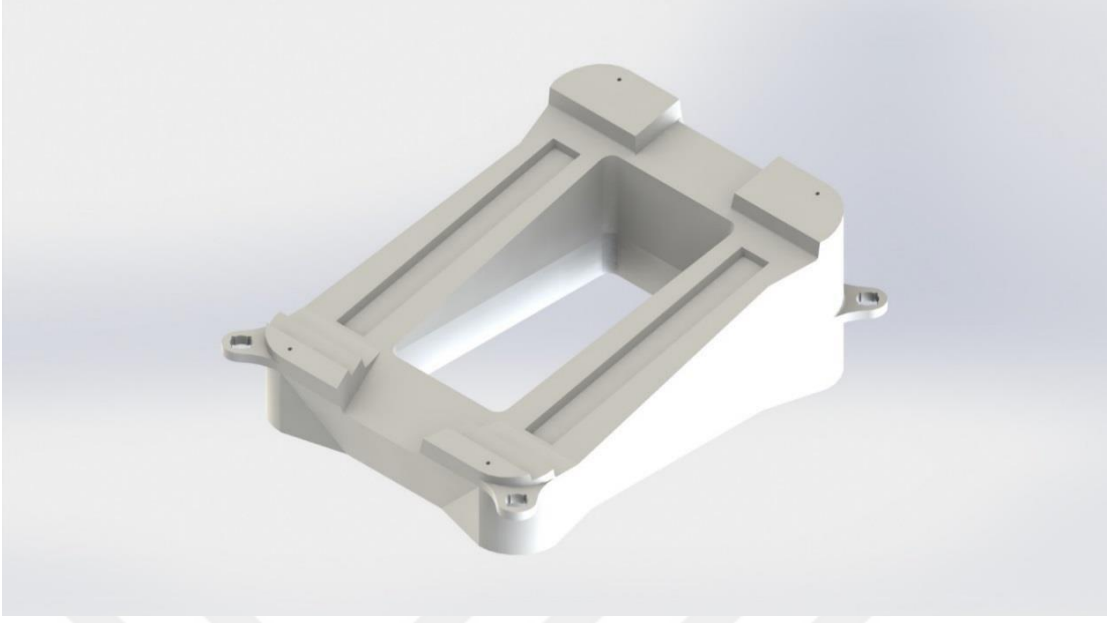


Şekil 2.12.Gerçek bir yüzer fotovoltaik sistemden yüzdürücü sistem tasarımı örneği [2]



Şekil 2.13.Panel yüzdürücü sistem örneği [2]

Panel taşıyıcı duba, güneş panellerin ya da güneş panellerini taşıyan sabitleme sistemlerinin üstüne montajlandığı yüzdürücü sistemdir. Fotovoltaik paneller, arazi kurulumuna benzer şekilde panel taşıyıcı dubalar üzerine kurulan sabitleme ekipmanları yardımı ile direk olarak özel tasarlanmış panel taşıyıcı dubalar üzerine de monte edilebilirler. Su yüzeyine kurulan fotovoltaik sistemler için tasarlanmış bir panel taşıyıcı duba Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Su üstünde yüzdürülecek paneller için tasarlanan taşıyıcı duba örneği [2]

Yürüme yolu dubası, yüzer fotovoltaik sistemlerde, sistemin kurulum, bakım, temizlik, arıza gibi hizmetlerinin sağlanması sırasında, çalışanların sisteme ulaşabilmesi için kullandığı yüzdürücü ekipmandır. Örnek bir yürüme yolu dubası Şekil 2.15’te görülmektedir.



Şekil 2.15. Su üstünde yüzdürülecek paneller için tasarlanan yürüme yolu dubası [2]

Yüzer fotovoltaik sistemlere olan ilginin artmaya başlamasıyla birlikte firmalar solar inverter, transformatör, elektrik panosu gibi elektriksel ekipmanları da yüzdürmeye

başlamışlardır. Bu gibi sistemlerde, bahsedilen ekipmanların yüklerini ağırlıklarını kaldıracak özel duba sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Ehemmiyetinin ve buna paralel olarak kapasitelerinin artması ile birlikte firmalar solar inverter, transformatör, elektrik panosu gibi elektrik dönüşüm ve koruma sistemlerini de yüzdürme denemelerine başlamışlardır. Söz konusu sistemlerde, bu yükleri kaldırmak için özel duba tipleri tasarlanıp kullanılması gerekmektedir.

Çin Halk Cumhuriyeti'nde kurulumu yapılan 40 MW'lık yüzer fotovoltaik sistemde, solar panellerin yanında, solar evirici, trafo gibi ekipmanlarda özel dubalar ile yüzdürülerek tasarlanmış ve devreye alınmıştır [1].



Şekil 2.16. Evirici ve elektriksel ekipmanlarının yüzdürüldüğü sistem örneği [21]

2.6.2. Sabitleme Sistemi

Sabitleme sistemi, yüzer sistemin yer değiştirmesinin ya da sürüklenme gibi istenmeyen durumların önüne geçebilmek kullanılan sistemdir. Yüzer fotovoltaik sistemi sabitlemek için çeşitli yöntemler kullanılabilir. En yaygın sabitleme yöntemi, halat ucuna ağırlık bağlanması prensibine dayalı yöntemdir. Bu yöntem yüzer sistemin tüm köşelerine uygulanarak sistemin istenmeyen hareketinin minimum seviyede kalmasını sağlar. Büyük ölçekli ve gelişmiş projelerde sabitleme sistemi olarak esnek bağlantı elemanları kullanılmaktadır.

2.6.3. Elektriksel Bağlantı

Güneş panelleri tarafından üretilen DC gerilimli elektriği solar invertere taşınması için kablo ve konnektörler kullanılmaktadır. DC gerilimli elektriğin solar invertere taşınması arazi kurulumlu fotovoltaik sistemler ile temelde aynı olsa da ortam koşullarından dolayı bu konu ayrı bir önem teşkil etmektedir.

Fotovoltaik paneller tarafından üretilen DC gerilimli elektriğin solar eviriciye taşınması için kablo ve konnektörler kullanılmaktadır. Bu DC gerilime sahip elektriğin solar eviriciye taşınması kara kurulumu fotovoltaik sistemler ile temel olarak benzerlik gösterse de, ortam koşullarının özel oluşu sebebi ile bu konu da ayrı bir önem kazanmaktadır. Sahada kullanılan konnektörlerin koruma sınıfı, arazi tipi fotovoltaik sistemlerde de olduğu gibi IP67'dir. Üretilen elektriğin taşındığı kablolar ve haberleşme kablolarının yüzer sistemden karadaki elektrik panosuna ya da elektrik odasına taşınması için iki ana yöntem izlenmektedir. Bunlar yüzdürme ve su altından geçirmedir.

Yüzdürme, yüzme özelliğine sahip, su geçirmez ve güneşe dayanıklı polietilen (HDPE) borular kullanılır. Boruların iki ucu, su almayacak 50 şekilde muhafaza edilerek sabitlenir. Yüzer fotovoltaik sistemden gelen elektrik iletim ve haberleşme kabloları bu borular içerisinde geçirilerek eviricilere ulaştırılır. Elektrik iletim ve haberleşme kabloları su geçirmez bir sistem içerisinde geçiriliyor olsalar dahi, bu iletimde işleminde suya dayanıklı özel kablolar tercih edilir [1].

Suyun altından geçirme, yüzdürme yönteminde kullanılan yöntemle benzer olmakla birlikte, bu yöntemde yüzer fotovoltaik sistemden gelen elektrik iletim ve haberleşme kabloları zeminin altından geçirilen borular içerisinde geçirilerek eviricilere ulaştırılır. Bu yöntemde kazı maliyetlerinin yüksek oluşu sebebi ile bu yöntem büyük ölçekli projeler dışında tercih edilmemektedir [1].

2.7. Dünya'da Yüzer Fotovoltaik Sistemler

Dünya üzerindeki yüzer fotovoltaik sistemlerin kurulu güç bakımından %99'u Çin'de bulunmaktadır. Bölgesinde 320 MW kurulu gücünde dünyanın en büyük yüzer güneş enerji santrali, Çin'in Shandong bölgesinde 2,65 GW kapasitedeki Dezhou termik santralinin yakınında yer alan rezervuar üzerinde yer alan yüzer GES 2021 yılı içerisinde devreye alınmıştır. Bu yüzer güneş enerji santrali iki aşamada devreye alınmıştır. Çin'de ayrıca daha önce kömür madeni olarak kullanılan alana montajı yapılan 150 MWp gücündeki Anhui

Three Gorges Barajındaki Yüzer GES 'te bulunmaktadır. Bu sistem yaklaşık 94000 evin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasitedir [1].

Arazi kıtlığı nedeniyle, yüzer fotovoltaik sistemleri Asya kıtasında daha çok rağbet görmektedir. Güney Kore, Sarı Deniz kıyılarına 3 GW'lık mega yenilenebilir yüzer güneş enerji projesi tasarlamaktadır. Bunun 2,1 GW'lık kısmını yüzer güneş enerji santrali oluşturacaktır.



Şekil 2.17. Çinde bulunan bir yüzer fotovoltaik sistem örneği [24]

2.8. Türkiye’de Yüzer Fotovoltaik Sistemler

Dünya genelinde hızla gelişen yüzer fotovoltaik sistemlerin Türkiye’de ilk örneği Mersin’in Mut ilçesinde bulunan Azmak 2 hidroelektrik santralde uygulanmıştır. TUBİTAK tarafından desteklenen bu proje İstanbul’da bulunan TYT Firmasının geliştirdiği Hidro Solar sistemin ilk prototipi olarak Mersin’in Mut ilçesinde bulunan Azmak 2 hidroelektrik santralde kurulan sistem TÜBİTAK desteği ile geliştirilmiştir [2]. Azmak 2 HES’e yapılan Hidro Solar kurulumu Türkiye’nin ilk yüzer güneş enerjisi sistemi olmuştur. Şirket bu projenin kurulumu esnasında edindiği tecrübelerden faydalanarak, hidro solar tasarımını yenilemiş ve çok uygun maliyetli ve çevreye duyarlı bir tasarım geliştirmiştir. Bu tasarımın patentinin alınması için Türk Patent Enstitüsü’ne patent başvurusu yapılmıştır. Suyun soğutma etkisi sayesinde kara sistemlerine göre %15 daha verimli olarak çalışması beklenen bu sistem %100 geri dönüştürülebilir malzemeden yapılmıştır [16].

Büyükçekmece yüzer güneş enerji santral Projesi İstanbul Enerji ve İSKİ ile birlikte yürüttüğü projede, Büyükçekmece gölü üzerinde 120 kW ve 90 kW olmak üzere iki ayrı yüzer güneş enerji santral tesisi kurulmuştur. Proje üç farklı kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak protip düzeyde geliştirilen 9 kW bir yüzer GES tesisi kurulmuştur. Sonra farklı tip yüzer platformlar kullanılarak ve farklı açılarda yapılandırılan 120 kW + 90 kW olmak üzere 210 kW'lık yüzer güneş enerji sistemi hayata geçirilmiştir. Yüzer yüzer güneş enerji santrallerinin karasal kurulumlar ile performanslarını kar ıla tırmak için aynı sahada karasal olarak 30 kW güneş enerji santrali kurulmuştur [16].



Şekil 2.18. Azmak 2 hidroelektrik santral yüzer güneş enerji sistemi projesi [16]



Şekil 2.19. Büyükçekmece yüzer güneş enerji santrali projesi [16]

2.9. Yüzer Sistemler ve Kara Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Mukayesesi

Yüzer fotovoltaik sistemlerin geleneksel kara kurulumlu fotovoltaik sistemlere nazaran birçok faydası olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

2.9.1. Faydaları

- Yüzer fotovoltaik panellerin alt kısımları su ile doğrudan temas etmesi sebebiyle kara üzerine kurulan fotovoltaik panellerine göre güç üretim verimi daha fazladır.
- Yüzer fotovoltaik paneller, suyun sıcaklığını düşürerek ve hava ile etkileşime giren su yüzeyini azaltarak, doğal göl ve su birikintilerindeki buharlaşmayı %33, insan yapımı tesislerde ise buharlaşmayı %50 azaltır [17].
- Tarım, turizm, madencilik gibi kara topraklarını kullanmaya ihtiyaç duyan eylemlere ortam hazırlar. Başka türlü değerlendirilme şansı olmayan su yüzeylerini ticari fotovoltaik sistemlere çevirir. Bu teknoloji sayesinde enerji üretim maliyetini azalmaya fayda sağlar.
- Yüzer sistem montajı kısmen daha kolaydır. Ayrıca daha kısa sürede montajı yapılmaktadır. Bu durum montaj maliyetlerin düşmesine olanak sağlamaktadır.

2.9.2. Zorlukları/Problemler

- Nem oranının yüksek olması sebebiyle fotovoltaik paneli oluşturan bileşenlerin enerji üretim performansları nemden olumsuz etkilenebilmektedir.
- Sel, paslanma ve korozyon gibi etkenlerden dolayı fotovoltaik sistemin dayanıklılığı azalabilir.
- Üretilen elektrik enerjisinin su yüzeyinden karaya taşımının zorluğu vardır.
- Yüzer fotovoltaik sistemin ilk kurulum maliyeti ve bakım maliyeti yüksektir.
- Yüzer fotovoltaik sistemin konumunu ve yönünü sabit tutmaya yarayan yön kontrol sabitleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Bunun da sebebi, yön değişiminin panel verimliliğini olumsuz etkilemesidir [1].

2.10. Mevzuat ve Yönetmelikler

Şebeke bağlantılı (on grid) güneş enerji sistemleri, lisanslı ve lisanssız üretim tesisleri olarak sınıflandırılmaktadırlar. 1 MW ve üzerindeki kurulu güce sahip olan tesisler lisanslı, bu gücün altındaki değerlere sahip tesisler ise lisanssız üretim tesisleri olarak

isimlendirilmektedirler. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler kurulurken yürürlükte bulunan mevzuat ve yönetmeliklere uygun tesis edilmelidirler [13].

Yürürlükte bulunan kanunlar; 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve 30.03.2013 tarih ve 28603 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunudur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan ve yürürlükte olan yönetmelikler ise;

- Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği
- Rüzgâr veya Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yönetmelik
- İlgili EPDK Kurul Kararları ve Tebliğler

3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Günümüzde Güneş enerjisine gösterilen ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu konuda birçok akademik çalışma mevcuttur. Güneş enerjisi ile ilgili yapılan araştırmalar ile birlikte bu çalışmaya yardımcı olabilecek literatür taraması yapılmıştır.

Şençiçek (2017) çalışmasında, yüzer fotovoltaik sistemler ile arazi tipi fotovoltaik sistemlerin teknik ve ekonomik açıdan incelemesini yapmıştır. Bu çalışma kapsamında benzer ortam koşullarında 1 MW'lık yüzer ve arazi tipi fotovoltaik sistemlerin ekonomik analizini gerçekleştirmiştir [1].

Çolak (2010) yılında yaptığı çalışmada; güneş enerjisi sistemlerinden elektrik elde edilmesi konusunu, çalışmanın yapıldığı dönemdeki şartları göz önünde bulundurarak, farklı coğrafi bölgeler için incelemiş ve maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Fotovoltaik paneller hakkında bilgi vermiş ve farklı beş bölge de 10 MW güce sahip elektrik santralini kurulması durumunu PVSYST programı simüle ederek analiz etmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemin Türkiye koşullarında, yatırımcının fotovoltaik enerji sistemlerine yatırım yapması halinde zarara uğrayacağını belirtmiştir [18].

Jamalludin (2019), yaptığı çalışmada Malezya'da yüzen güneş enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Malezya'da güneşlenme süresinin fazla olması ve Hint okyanusu ile geniş bir kıyı şeridine sahip olması dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda Malezya'da yüzer güneş sisteminden yılda 14,530 MWh elektrik üretilme potansiyelinde olduğunu ortaya koymuş ve yüzer güneş sisteminin ucuz maliyeti ve güvenilirliği sebebiyle ileriki yıllarda okyanuslarda daha çok tercih edilebileceği sonucuna varmıştır [19].

Romaliya (2015) yılında yaptığı çalışmada; Gucerat'ın Shapur kasabasında 1 MW'lık güce sahip bir güneş enerji sistemi kurulması durumunu, PVSYST simülasyon programı ile analiz etmiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda , panel eğim açısı ile bölgenin eğim açısının eşit olması durumunda solar radyasyon miktarının en yüksek değerine ulaştığını tespit etmiştir [8].

Lopez (2022), yaptığı çalışmada İspanya'nın yüzen fotovoltaik enerji potansiyelini araştırmıştır. Yapmış olduğu araştırma sonucunda, İspanya'nın sahip olduğu su kütlelerinin yalnızca yüzde 10'u kullanılarak İspanya'nın toplam elektrik talebinin %31'ini karşılayabileceğini %100'ünün kullanılabilmesi durumunda ise İspanya'nın fosil yakıt kullanımını yüzde 81 oranında azaltacağı sonucuna varmıştır. Ayrıca sera gazı emisyonunu

%6 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Fotovoltaik panel maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılması ve ileriki dönemlerde yapılacak araştırmalarda su derinliğinin ve su seviyesindeki değişimlerin incelenmesi gerektiğini belirtmiştir [21].

Haydaroglu ve Gümüş (2016) yılında yaptıkları çalışmalarında; Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde kurulu olan 250 kWp lik fotovoltaik sistemin analizini PVSYST programı ile yapmışlardır. Elde ettikleri verileri standartlarca belirtilen performans kriterleri ile değerlendirmişlerdir. Gerçek üretim değerleri ve PVSYST simülasyon programının sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmanın sonucunda aralık ve ocak ayındaki sonuçların birbirinden uzak şubat, mart, nisan ayındaki sonuçların birbirlerine daha yakın olduğunu ortaya koymuştur [12].

Goel (2022), yaptığı çalışmada Bhubaneswar yakınlarındaki Jhumka Baraj gölüne 12 kW'lık yüzer sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada PVSYST 7.1 simülasyon programını kullanmıştır. Tasarımını gerçekleştirdiği fotovoltaik sistemin geri ödeme süresini 11,9 yıl yatırım getirisini de %78,2 bularak sistemin ekonomik olduğu sonucuna varmıştır [22].

Şimşek (2018) yılında yaptığı çalışmada; fotovoltaik sistemlerin verimliliğini etkileyen yöntemlere değinmiştir. Gölbaşı ve Torbalı'da bulunan fotovoltaik sistemlerin performanslarını hesaplamıştır. Çalışmasında PVSYST simülasyon programını kullanmış ve gerçek değerler ile simülasyon sonucu bulduğu değerleri karşılaştırmıştır. Sonuç olarak simülasyondan alınan çıktılar ile gerçek performans değerlerinin birbirine yakın olduğu neticesine varmıştır [23].

M. Abid (2018) yaptığı çalışmada, Orta Asya, Güney Asya ve Güneydoğu Asya bölgesinde yüzer fotovoltaik sistem teknolojilerinden beklentileri ortaya koymuştur. Bu çalışma ile yüzer sistem teknolojisi sayesinde, suyun buharlaşmasının önüne geçilmesi ve tarım arazilerinin korunmasına büyük katkı sağlayacağı düşünüyor. Ayrıca yosun büyümelerinin önüne geçilmesi, sera gazı emisyonlarını azalttığı da göz önünde bulundurulduğunda bu sistemin çevre dostu bir sistem olduğu sonucuna varmıştır. Yine bu çalışmada su altı çeşitliliğinin etkilenebileceğini ve daha ileri düzeyde çalışmalara ihtiyaç duyulabileceğini belirtmiştir [24].

Sanchez (2021) yaptığı çalışmada, Afrika'da ki 146 hidroelektrik rezervuarına yüzer sistem kurulmasını kapsamlı şekilde analiz etmiştir. Yapmış olduğu çalışmada mevcut

hidroelektrik rezervuarlara kurulan yüzer sistemler ile hidroelektrik enerjinin kurulu güç kapasitesinin %58 arttığı sonucuna varmıştır [25].

Gündüz (2019) yaptığı çalışmada, Türkiye’deki enerji üretim yöntemlerini, bu üretim yöntemleri arasından güneş enerjisinin ülkemizdeki durumunu ele alarak güneş enerjisi santrali kurulumun teknolojik ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmasını gerçekleştirirken PVSYST programını kullanmış ve Kütahya bölgesinde kurulu bir fotovoltaik sistemin gerçek değerleriyle simülasyon programından aldığı çıktıları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak simülasyon programı ile gerçek değerler arasında %10.58 gibi bir fark ortaya çıkmıştır. Yapmış olduğu çalışmada fotovoltaik sistemlerin teorik hesaplamaların gerçeğe yakın olabileceğini ortaya koymuştur [26].

Apribowo (2019) çalışmasında ,Endonezya’da 3 farklı bölgede 1 MWp gücünde bir elektrik santrali tasarımı üzerine çalışma yapmış ve bu tasarımın maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan analiz sonucunda enerji üretimi konusunda oldukça olumlu sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca kablolama maliyetinin düşürülmesi ve yüzer sistemin dayanıklılığın artırılması yönünde çalışmalar yapılmasının ileriki dönemde faydalar sağlayacağı kanaatine varmıştır [27].

Özyiğit (2019) yaptığı çalışmada, Sivas ilinde belirli lokasyonlar da yaptığı çalışmalarda fotovoltaik panellerin karşılaştırmasını yaparak, monokristal ve polikristal güneş panellerinden oluşan iki farklı güneş enerjisi santralinin ekonomik ve performans analizini PVsyst simülasyon programı ile gerçekleştirmiştir. 10 MW’lık kurulu güç olarak yaptığı analizlerde monokristal yapıdaki panellerin polikristal panellere göre daha verimli ama ekonomik olarak daha maliyetli olduğunu ortaya koymuştur [28].

Golroodbari ve Sark (2020) yapmış oldukları çalışmada, kara ve deniz yüzeyine kurulacak fotovoltaik sistemleri karşılaştırmıştır. Adil bir karşılaştırma yapabilmek için, deniz dalgalarının etkisi, rüzgar hızı ve bağıl nem faktörlerini dikkate almışlardır. Yapılan çalışma sonucunda deniz üzerindeki fotovoltaik sistemin kara üzerindeki fotovoltaik sisteme oranla %12.96 daha fazla enerji üretimi gerçekleştirdiği hatta bazı aylarda bu oranın yüzde 18’lere kadar çıktığı sonucuna varmıştır [29].

Aksangör (2019) yaptığı çalışmada, Ankara için, fotovoltaik bir sistemin PVSYST simülasyon programı ile analizini gerçekleştirmiştir. Bölgenin meteorolojik verilerini PVSYST programına entegre Meteonorm 7.2 veri tabanından alarak üretmiştir. Yapmış

olduğu bu çalışmada panel ve evirici yerli bir üreticiden seçmiştir. Yaklaşık 605 kWh kurulu güce sahip bir sistemi ele alarak sistemin verimini %84.1 olarak bulmuştur [8].

Dal (2021), yaptığı çalışmada Kayseri’de bulunan Yamula baraj gölünün üzerine kurulabilecek yüzer sistemin potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. Yüzer güneş enerjisi potansiyel gücünü ve elektrik üretimini belirlerken Küresel Güneş Atlası simülasyon programı ile sera gazı emisyon analizinde ise RETScreen simülasyon programını kullanmıştır. Çalışmasında, Yamula barajının su yüzeyindeki alanının %10’luk kısmına yüzer GES kurulması durumunda 576,4 MW gücünde bir fotovoltaik sistem kurulabileceği senelik 802,4 GWh elektrik üretilebileceği ayrıca 378.336,3 ton CO₂ emisyonunun önlenebileceği sonucuna varmıştır [30].

Tekkale (2018) yaptığı çalışmada, farklı güneş ışınlam değerlerine sahip lokasyonlarda 1140,46 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik sistemin yapılabilirlik durumlarını PVSYS simülasyon programı ile hesaplamıştır. Güneş enerjisi santrallerinde özellikle belirli bölgelere yatırım yapıldığı için bu bölgelerde arazi fiyatları artış göstermektedir. Yapmış olduğu çalışmada en yüksek ışınlam değerine sahip il olan Şanlıurfa en hızlı geri dönüş alınan şehir olurken , en uzun geri dönüş Ankara ilinde olmuştur. Kurulum maliyetleri ile şehirler arasındaki amortisman süreleri farklı yıl kadardır. Elde edilen sonuçlar ışığında güneş enerjisinden daha fazla yararlanılması, bölgelere göre teşviklerin ve konu hakkındaki bilgilendirmelerin artırılması hususunda önerilerde bulunmuştur [14].

Workineh, yaptığı çalışmada, Etiyopya Enerji Komitesi’nin Amhara bölgesinde kara üzerine kurmayı planladığı 125 MWp’lık enerji santrali ile Amhara ve Tana gölü üzerine kurulacak bir yüzer fotovoltaik santralinin çıktı değerlerini karşılaştırmıştır. Sistem, güneş panelinin verimlilik değişimlerini göstermek için MATLAB/SIMULINK tarafından modellenmiştir. Yüksek sıcaklık ve rüzgar hızı nedeniyle solar fotovoltaik verimliliğinin değiştiği görülmüştür. Yapmış olduğu çalışma sonucunda güneş panelinin su yüzeyindeki verimliliğinin kara yüzeyindeki verimlilikten %2.88 daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır [31].

Küçükgoze (2016) yaptığı çalışmada, Erzincan ili için 50 kW kurulu gücünde bir fotovoltaik sistemin maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Elektrik şebekesine bağlı bir şekilde tasarlanan sistemin analizi PVSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmada Erzincan ilinin son 40 yıllık küresel radyasyon değerlerini Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alarak aylık ortalama ışınlam değeri bulmuş ve bu değerleri PVSYS

programına aktararak hesaplamaları yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Erzincan iline kurulacak 50 kW gücündeki fotovoltaik sistemin amortisman süresinin 9-10 yıl arası olduğunu bulmuştur. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, Erzincan ilinin güneş enerjisinden elektrik enerjisi yatırımları için elverişli bir bölge olduğunu göstermiştir [32].

Grozdev (2010) yaptığı çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırmasını yapmış, aralarında en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisinden elektrik üretmenin çevreye olumlu, olumsuz etkilerini ortaya koymuş ve bununla ilgili önerilerde bulunmuştur [33].



4. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışmasında, Şanlıurfa ili Birecik ilçesinde bulunan Birecik-Nizip Hidroelektrik Santralinin göl havzasına bir yüzdürücü sistem yardımıyla güneş panel yerleşimleri ve şebeke bağlantılı bir 2 MW gücünde fotovoltaik sistem tasarlanmıştır. Çalışmanın amacı, baraj gölü üzerine 2 MW gücünde tasarlanan sistemin ekonomik analizinin belirlenmesidir. Bu çalışma sistem tasarımı ve analiz için PVSYST 7.1 paket programı kullanılmıştır.

4.1. Güneş Açıları

Yeryüzünde, ışınımın en önemli özellikleri, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi ve güneş çevresinde eliptik yörüngesi tarafından belirlenmektedir. Güneşten gelen ışınlar ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar meydana gelmektedir. Herhangi bir zaman diliminde güneşin konumunu hesaplamak için bazı açılarının bilinmesi son derece önemlidir. Herhangi sabit ya da hareketli bir düzlemdeki yüzeye gelen güneş ışımlarının değeri düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimine göre değişiklikler gösterir. Düzlemin konumu, eğimi gibi hesaplamalar yüzey üzerindeki ışıma miktarını değiştirir. Bu yüzden direkt gelen güneş ışımlarını kapsayan, güneşin pozisyonunu belirlemek gerekmektedir.

Enlem Açısı (Φ): Ekvator ile dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıya enlem açısı denir. Enlem kuzey yarım küre için artı güney yarım küre için eksi değerli olup -90 ile +90 arasında değişim gösterir.

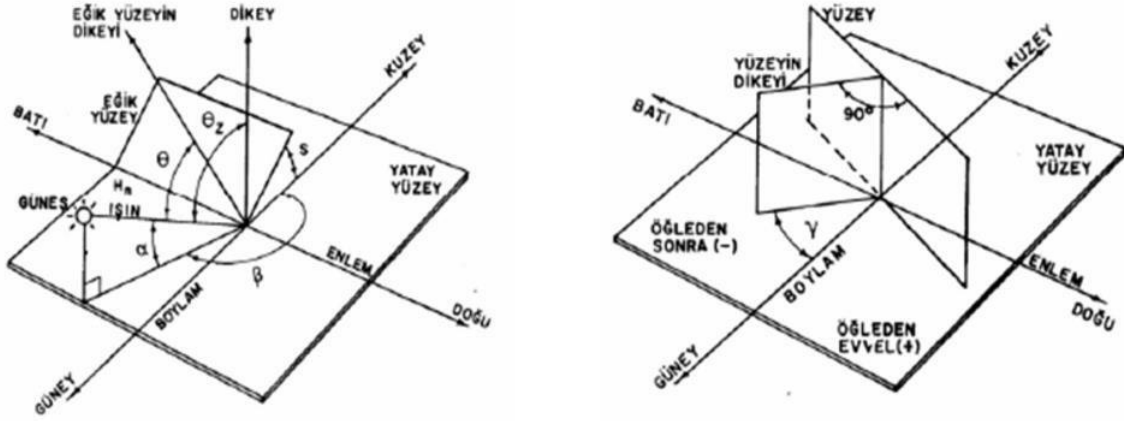
Deklinasyon Açısı (δ): Güneş doğrultusunun ekvator ile arasında kalan açıya deklinasyon açısı denir. Deklinasyon açısı - 23,45° (21 Aralık kış gündönümünde) ile + 23,45° (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur. 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere;

$$\delta = 23,45 \sin [360 \cdot ((284 + n) / 365)] \quad (4.1)$$

ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.

Saat Açısı (ω): Zamanın açısal ölçüsüdür. Bir derece boylam dört dakikaya dolayısıyla bir saat 15° boylama eşittir. Saat 12.00'dan önce açı artı 12.00'dan sonra açı eksi değer alır. Örneğin saat 11 .00 için + 15° saat 16.00 için - 60° olur.

Zenit Açısı (ψ): Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı 0° 'dir [12].



Şekil 4.1. Zenit açısı [34]

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\delta) * \cos(\omega) \quad (4.2)$$

$$\Psi = 90 - \alpha$$

Burada ψ zenit açısı, Φ enlem açısı, δ deklinasyon açısı, α güneş yükseklik açısı, ω saat açısını ifade eder.

Yükseklik Açısı (α): Güneş ışıını ile yatayın oluşturduğu açıya yükseklik açısı denir. Zenit açısıyla trigonometrik ilişkisi olup 90 dereceye tamamlar.

Güneş yükseklik açısı en yüksek değerini dört mevsim içinde öğle vaktinde almaktadır. Güneş yüksekliği en küçük değerini 21 Aralık'ta $26,5^\circ$ ile alırken en yüksek değeri 21 Haziran'da $73,5^\circ$ olmaktadır. Güneş yükseklik açısının hesaplanması aşağıdaki denklem ile yapılmaktadır.

$$\alpha = \sin^{-1} [(\cos(\delta) * (\cos(\Phi) * (\cos(\omega)) + (\sin(\delta) * (\sin(\Phi))) \quad (4.3)$$

Burada α Yükseklik açısı, δ Deklinasyon açısı, Φ Enlem açısı, ω Saat açısını ifade eder.

Güneş Azimut Açısı (γ_s): Güneş ve dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıya güneş azimut açısı denir. Ayrıca güneş azimut açısı, kuzeye göre saat dönüş yönünde sapmasını belirtmektedir. Güneyden doğuya

doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilmektedir. Saat 12:00'da $\gamma_s = 180^\circ$ 'dir. Gelen doğrudan ışınlam ile yüzeyin diki arasındaki açı, yüzey-güneş azimut açısı (β) olarak adlandırılmaktadır. Azimut açısı, gün uzunluğunun 12 saatten fazla olması durumunda, günün bazı saatlerinde 90° 'den fazla olmaktadır [12]. Güneye doğru azimut açısı aşağıdaki gibi belirlenmektedir;

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \psi} \quad (4.4)$$

Yüzey Azimut Açısı: Eğik yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güneyle doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneyden batıya doğru (+), doğuya doğru (-) alınır.

Güneş Geliş Açısı (θ): Eğik yüzeye gelen ışın (güneş doğrultusu) ile yüzey normali arasındaki açıdır.

$$\theta = \cos^{-1}[(\cos(\delta) * \cos(\Phi - \beta) * \cos(\omega)) + (\sin(\delta) * \sin(\Phi - \beta))] \quad (4.5)$$

Burada β dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı, δ =Deklinasyon açısı, γ =Azimut açısı, ω =Saat açısı, ϕ =Enlem açısını ifade eder.

Eğim Açısı (β): Eğik yüzeyin yatayla yaptığı açıdır. Eğim açısı 0 ile 180 derece arasında değişmektedir.

4.2. IEC 61724 Standart Performans Parametreleri

IEC; merkezi Cenevre (İsviçre)'de bulunan, 82 ülkenin ulusal komitelerinin üyesi olduğu, 1906 yılında kurulmuş, elektrik, elektronik ile ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standartları hazırlayan ve yayımlayan uluslararası standart organizasyonudur [12].

4.2.1. Güneş Paneli Verimi

Güneş paneli verimi (Y_a), bir fotovoltaik panelinden enerji çıktısının bir panelin nominal gücüne bölünmesiyle tanımlanır ve şu şekilde hesaplanır:

$$Y_a = \frac{E_{DC}}{P_{pv,anma}} \quad (4.6)$$

Dolayısıyla EDC, fotovoltaik modülünün doğrudan güç (kWh) biçimindeki enerji çıkışıdır [26].

4.2.2. Spesifik Üretim

Spesifik üretim, yıllık, aylık veya günlük olarak bir şebekeye verilen enerjidir. Üretilen AC enerjisinin panelin nominal gücüne bölünmesiyle hesaplanır. Bu, sistemi karşılaştırmak için hayati bir parametredir [28]. Burada EAC, inverterin çıkış enerjisidir [12].

$$Y_{f,d} = \frac{E_{AC,d}}{P_{pv,anma}} \quad (4.7)$$

4.2.3. Referans Verimi

Referans verim (Y_R) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışıınının (H_t) referans ışıınıma G (1 kW/m^2) oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$Y_R = \frac{H_t(kWh/m^2)}{G} \quad (4.8)$$

Burada $G = 1 \text{ kW/m}^2$ dir.

4.2.4. Performans Oranı

Performans oranı için başka bir terim olan tesis kalite faktörü, dünyanın farklı yerlerinde bulunan güneş enerjisi santralının performansını karşılaştırmak için kullanılan ana performans göstergesidir. Performans oranı, enerji dönüşümleri ve kablolardan kaynaklanan kayıplar nedeniyle fotovoltaiik sisteminde bulunan kayıplara bağlıdır. Ortam sıcaklığı gibi diğer özellikler de dikkate alınır.

Performans oranı (P_R), sistemin nihai veriminin sistemin referans verimine bölünmesiyle hesaplanır.

$$P_R = \frac{Y_R}{Y_F} \quad (4.9)$$

4.2.5. Kapasite Faktörü

Yük faktörü olarak da bilinen kapasite faktörü (C_f), üretilen gerçek AC enerjisinin, tesisin günde 24 saat maksimum oranda çalıştırılması durumunda üretilecek olan enerjiye bölünmesiyle tanımlanır.

$$C_f = \frac{E_{AC}}{P_{PV, rated} * 8760} \quad (4.10)$$

Farklı güneş FV verimlilikleri şunlardır: güneş paneli verimliliği, evirici verimliliği ve sistem verimliliği.

4.2.6. Güneş Paneli Verimliliği

S (m²) FV panel tarafından kapsanan bir alan olduğunda, H_t küresel güneş radyasyonu ve EDC PV panel tarafından üretilen enerjidir.

$$\eta_{PV} = \frac{100 * E_{DC}}{H_t * S} (\%) \quad (4.11)$$

4.2.7. Evirici Verimliliği

Bir eviricinin verimliliği, eviriciden sonraki AC enerjisinin panelden gelen enerjiye bölünmesidir [13]. İnverter verimliliği şu şekilde verilir:

$$\eta_{inv} = \frac{100 * E_{AC}}{E_{DC}} (\%) \quad (4.12)$$

4.2.8. Sistem Verimliliği

Solar fotovoltaik yapısının verimliliği, panelin inverter verimliliği ile verimliliğinin bir ürünüdür [9].

$$\eta_{sis} = \eta_{PV} * \eta_{inv} \quad (4.13)$$

4.2.9. Panel Kayıpları

Fotovoltaik panel kaybı (L_c) ile gösterilir ve şu şekilde ifade edilir.

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (4.14)$$

4.2.10. Sistem Kayıpları

(L_s) ile gösterilen sistem kayıpları, evirici kayıplarıdır [9]. şu şekilde hesaplanır

$$L_s = Y_a - Y_f \quad (4.15)$$

(η_{tem}) ile sembolize edilen sıcaklık kayıp katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanır [20]:

$$\eta_t = 1 + \beta * (T_c - 25) \quad (4.16)$$

(T_c) bir panelin hücre sıcaklığı, (T_a) ortam sıcaklığı ve β güneş panelinin sıcaklık faktörüdür [12].

4.3. PVSYST 7.1 Paket Programı

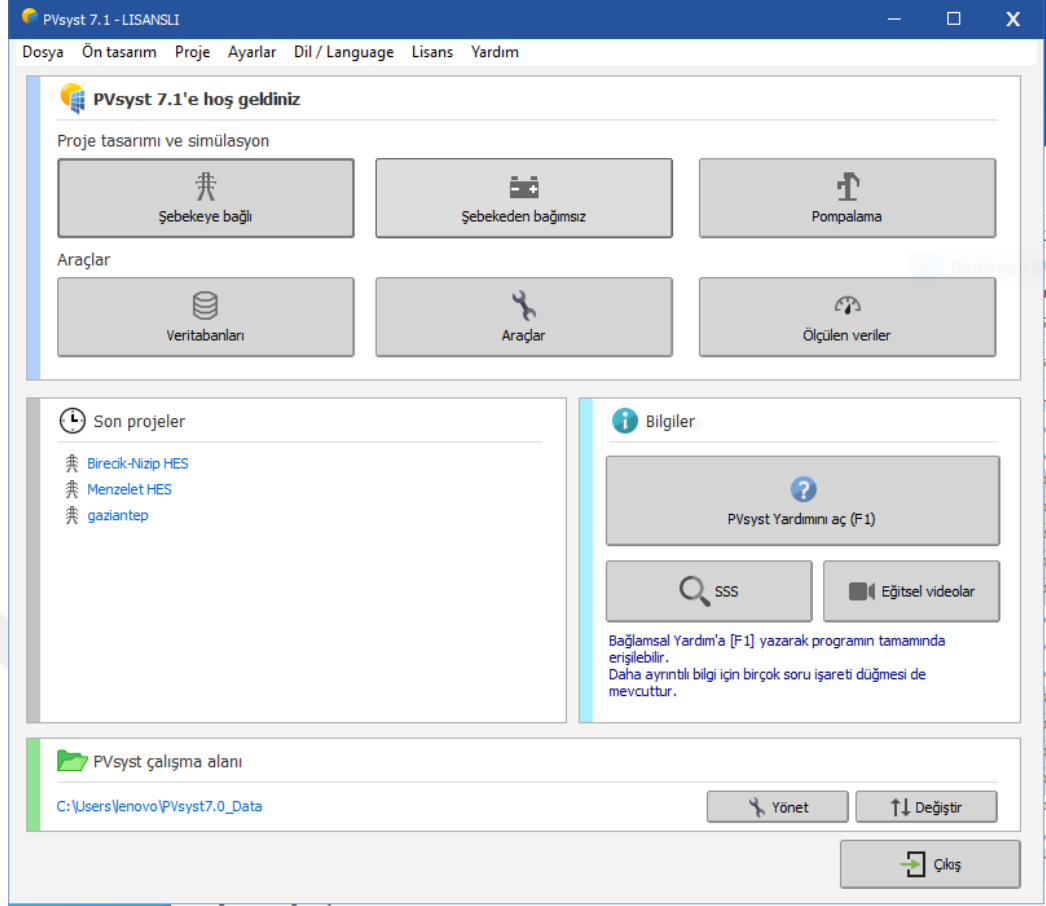
PVSYST; fotovoltaik sistemlerin kurulum öncesi üretim verilerinin analizi, boyutlandırılması ve modellenmesi amacıyla kullanılan ücretli bir simülasyon programıdır. Bu program; off-grid (şebekeden bağımsız) veya on-grid (şebeke bağlantılı) santraller için panel, inverter, kurulacak bölgenin ışınlım ve meteorolojik verilerini kullanarak sisteme ait simülasyon sonucunu verir. Bu sayede kullanıcıyı sistemden elde edilebilecek faydalar ve oluşabilecek kayıplar hakkında bilgilendirir. Ayrıca; sistem üzerine düşen gölgelemelerin modellenmesi programın 3D uygulaması ile yapılabilir. Bu sayede gölgelenmenin sistem üzerine olan etkisi de hesaplanabilmektedir [13].

PVSYST simülasyon programı ile şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız solar sistemlerin tasarımları yapılabilir. Ayrıca program veri tabanında çok sayıda üretici firmaya ait panel ve inverter çeşitleri mevcuttur. PVSYST 7.1 simülasyon programına entegre olan Meteororm 7.2 programı sayesinde fotovoltaik sistemin kurulması düşünülen bölgeye ait meteorolojik veriler sentetik olarak üretilebilmektedir. PVSYST simülasyon programının son güncellenmesi ile birlikte Türkçe dil seçeneği de eklenmiştir.

Ön tasarım: Bu bölümde bir projenin hızlı bir değerlendirmesi, potansiyelleri bazı kısıtlamalar ile yapılabilir. Bu aracın doğruluğu sınırlıdır ve müşteri raporları için kullanılmaz. Tek başına sistemlerin ön boyutlandırılması için kullanışlı bir araçtır. Aynı zamanda şebekeye bağlı sistemler için binanın fotovoltaik potansiyelini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılan bir araçtır [35].

Proje: proje tasarım kısmı, fotovoltaik sistem projelendirilmelerine ait bütün çalışmaların yapılabildiği program yazılımını oluşturan ana kısımdır. Meteorolojik veri seçimleri, sistem tasarımı, gölgelendirme çalışmaları, kayıpların belirlenmesi ve ekonomik değerlendirmeler bu kısımda yapılır. Simülasyon bir yıllık süreyi kapsayacak şekilde saatlik verilerle oluşturulur ve sisteme ait detaylı sonuçlar ve raporlar alınabilir [36].

Şebekeye bağlı: On-grid bir santrale ait, şebekeye bağlantısına kadar olan tüm sistem elemanlarının, tanımlaması bu bölümde yapılmaktadır. PVSYST programının veri tabanında bulunan panel ve inverterlere ait marka, güç ve çeşit seçimi yapılabilir. Tüm tanımlamalar yapıldıktan sonra simülasyonun aşamasına geçilir [35].



Şekil 4.2. PVSYST simülasyon programına ait açılış ekranı görüntüsü

Şebekeden bağımsız: Off-grid sistemlerin tasarımında kullanılan bölümüdür. Bu bölümde yükün karakteristiği ve miktarı belirtilir. Kullanıcının ihtiyaçları saatlik değerlerde tanımlanmalıdır. Sistemin üreteceği enerjinin yükü besledikten sonra ne kadarının depolanabileceği sonucunu verir [35].

Pompalama : Elektrik depolaması olmadan güneş enerjisinden yararlanarak pompalama sistemlerini besler. Bu tür sistemler genel olarak pompa, fotovoltaik dizisi ve 32 bir kontrolörden oluşur. Daha çok sulama amaçlı tasarlanacak sistemlerin simülasyonunda kullanılır [35].

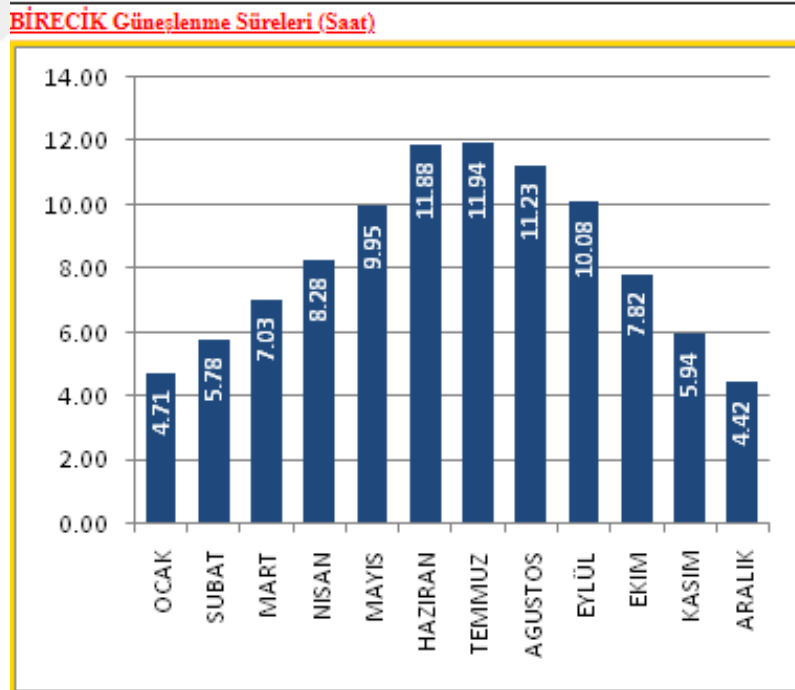
Veri tabanları: veri tabanı kısmı, aylık ve yıllık iklim verilerini içeren, saatlik sentetik iklim verilerin türetilbildiği ve dışarıdan veri aktarımının da yapılabildiği bölümdür. Program içinde tanımlı tüm panel, evirici, batarya vb. gibi fotovoltaik sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel özellikleri ve bu bileşenlerin tanımları da veri tabanı kısmında bulunmakta ve kullanılmak üzere yeni bileşenler tanımlanabilmektedir [36].

Tools; araçlar kısmı, bir güneş sisteminin davranışını ve karakteristiğinin hızlıca belirlemek ve gözlemlemek üzere bazı ek araçlar barındırır. Ayrıca, gerçekte kurulu bir sistemin verilerinin aktarılmasına ve aktarılan verilen simülasyon verileri ile karşılaştırılmasına olanak sağlayan bir dizi araçlar içerir [36].

4.4. İklimsel Veriler

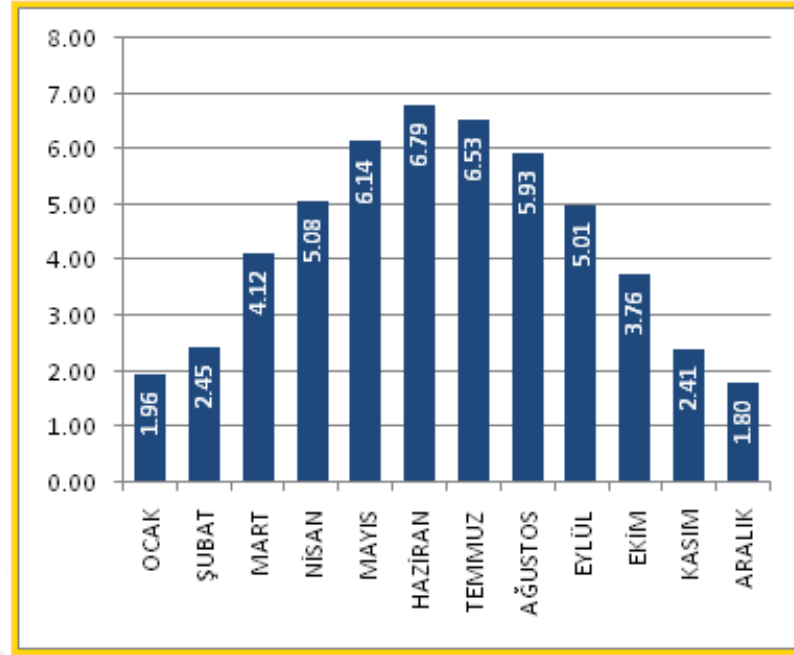
Yüzer fotovoltaik sistemin kurulması düşünülen Birecik baraj gölü Şanlıurfa ilinin Birecik ilçesi sınırları içerisinde. Bir fotovoltaik sistem kurulumundan önce dikkate alınacak en önemli noktalardan birisi kurulumun yapılacağı alanın iklimsel verileridir. İklimsel verilerde ise en çok dikkat edilmesi gereken güneşlenme süresi ve radyasyondur. Bu değerler ne kadar yüksek olursa elektrik üretim değerleri ve verimlilik o kadar fazla olur.

Yüzer fotovoltaik sisteminin kurulması düşünülen Birecik'te güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri oldukça yüksektir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilen grafikler incelendiğinde güneş enerjisi sisteminin bu bölgeye kurulması oldukça verimli ve karlı olacağı yönünde değerlendirme yapılabilir.



Şekil 4.3. Birecik ilçesi güneşlenme süresi [3]

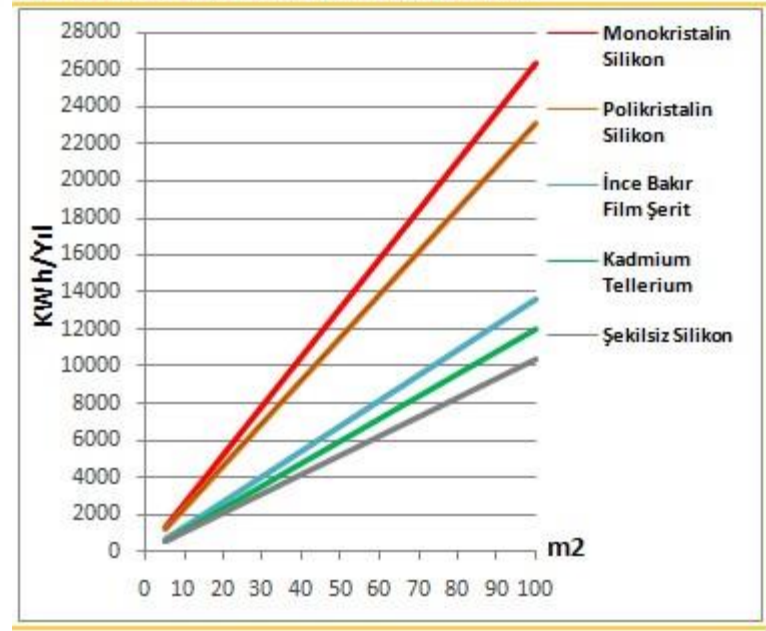
BİRECİK Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 4.4. Birecik ilçesi global radyasyon değerleri [3]

Şekil 4.5’de fotovoltaik hücre tiplerine göre yıl içerisinde üretilebilecek enerji miktarlarını gösterilmiştir.

BİRECİK PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)



Şekil 4.5. Birecik fotovoltaik tiplerine göre üretilebilecek enerji [3]

Çizelge 4.1. Birecik Nizip baraj gölü buharlaşma miktarı

AYLAR	BUHARLAŞMA(hm ³)
OCAK	1,1
ŞUBAT	1,3
MART	2,8
NİSAN	5,0
MAYIS	8,1
HAZİRAN	11,9
TEMMUZ	16,1
AĞUSTOS	14,9
EYLÜL	11,3
EKİM	6,7
KASIM	2,9
ARALIK	1,4
TOPLAM	83,5

Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere Birecik-Nizip baraj gölündeki buharlaşma oranları yüksek olmakla birlikte Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında oldukça artış göstermektedir.

4.5. Yer Seçimi

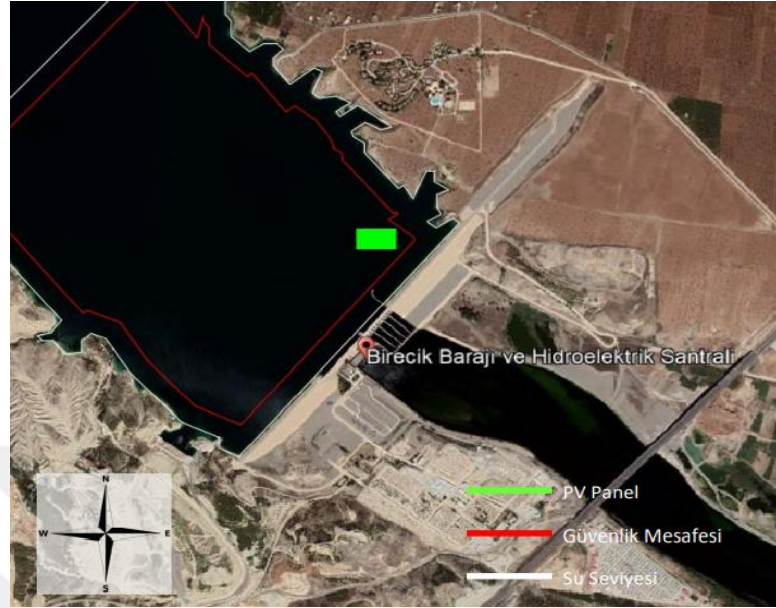
Fotovoltaik sistem Birecik-Nizip Hidroelektrik santrali göl üzerine kurulması planlanmıştır. Birecik-Nizip hidroelektrik santraline ait elektriksel ve rezervuar bilgileri Tablo-1'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Birecik Nizip HES elektriksel ve rezervuar bilgileri[37]

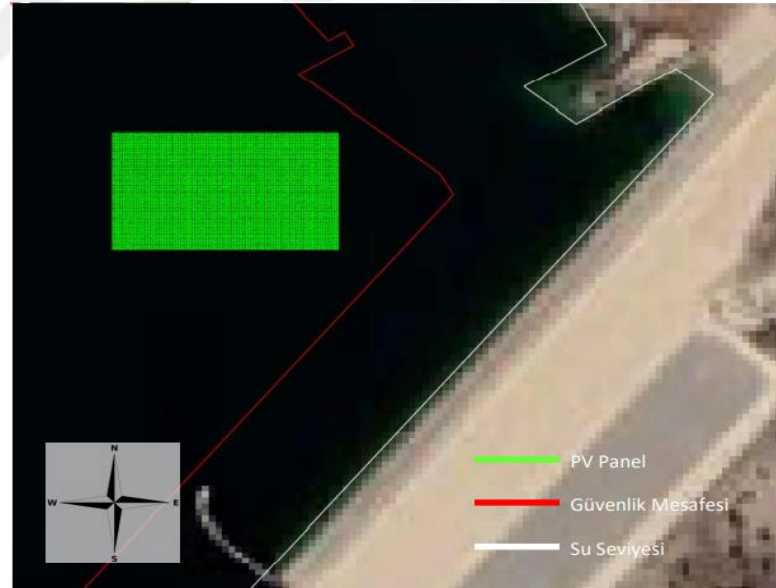
Elektriksel Güç (MWac)	672
Maksimum Su Seviyesi Kotu(m)	385
Minimum Su Seviyesi Kotu(m)	342
Su Seviyesi Değişimi (m)	43

Birecik-Nizip HES gölü üzerine tasarlanan fotovoltaik sistem için alan seçilirken gölgelenme unsurlarının olmaması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca su seviyesi değişimlerinin en az olduğu bir alanda olması son derece önemlidir.

Bağlantı ve ankraj sisteminin kolay ve az maliyetli olması açısından minimum su kotunun bulunduğu yer ile 100 metre mesafe boşluk bırakılarak bir solar ada alanı oluşturulmuştur. Güneş adası 90*150 metre olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Yüzer güneş enerji sistemi yerleşim planı detayı



Şekil 4.7. Yüzer güneş enerji sistemi fotovoltaiik yerleşim alanı

4.6. Proje Tasarımı

Bu bölümde, Birecik-Nizip Hidroelektrik santrali göl havzası üzerine tasarlanan 2 MW üretim gücündeki yüzer fotovoltaiik sistemin analizi yapılmıştır. Analiz yaparken üretim değerleri için PVSYST 7.1 simülasyon programı kullanılmıştır.

Öncelikle tasarlanacak fotovoltaik sistem şebekeye bağlı bir sistem olacağı için PVSYST simülasyon programının giriş kısmında şebekeye bağlı bölümü seçilmelidir. Bu bölümde öncelikle proje isimlendirilir. Daha sonra fotovoltaik sisteme ait konum bilgileri girilerek o bölgeye ait ışınlım bilgileri elde edilir.

Proje: Geçittepe_Project.PRJ

Proje Konum Varyant

Proje

Yeni Yükle Kaydet Proje ayarları Sil Müşteri

Proje adı: Birecik-Nizip YÜZER GES Müşteri ismi: Tanımsız

Konum dosyası: Geçittepe_MN73mod.SIT Meteororm 7.3 (2006-2013), Sat=% 82 (Modified b Turkey)

Hava durumu dosyası: Geçittepe_MN73_SYLMET Meteororm 7.3 (2006-2013), Sat=% 82 Sentetik 0

Seçilen hava durumu dosyası: "Geçittepe_MN73_SYLMET"
Lütfen projeyi kaydediniz.

Varyant

Yeni Kaydet Getir Sıra Sil

Varyant no: VCO : Yeni simülasyon varyantı

Ana parametreler

- Yönlendirme
- Sistem
- Detaylı kayıplar
- Öz tüketim
- Depolama

Opsiyonel

- Ufuk
- Yakın gölgelermeler
- Modül düzeni
- Enerji yönetimi
- Ekonomik değerlendirme

Simülasyon

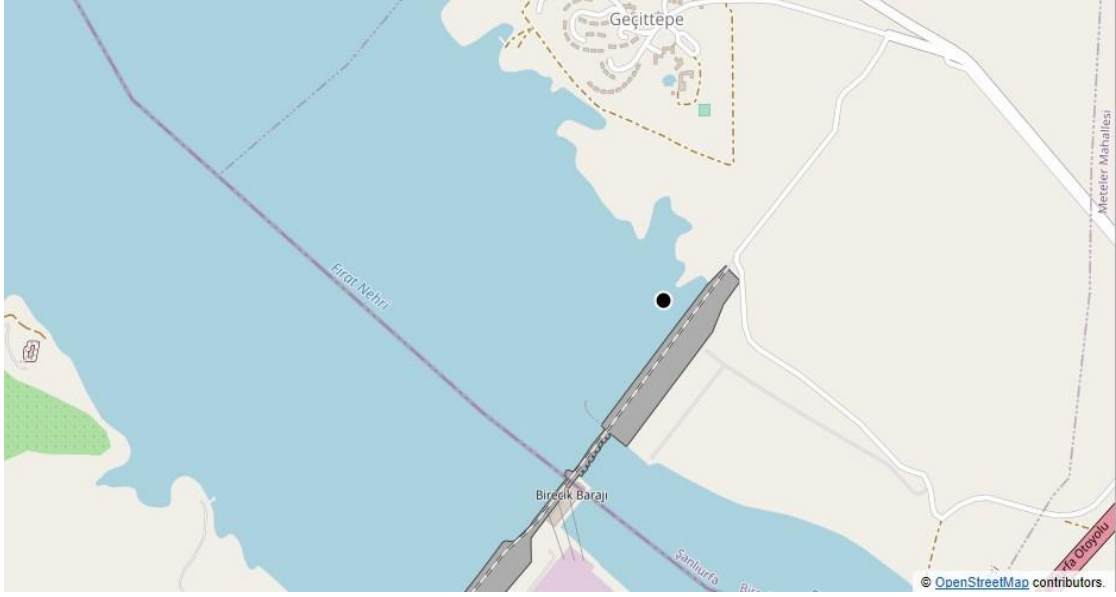
- Simülasyonu yürüt
- İleri simülasyon
- Rapor
- Detaylı sonuçlar

Sonuç özeti

Sistem tipi	38 sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz
Sistem üretimi	0.00 kWh/yıl
Üretilebilir	0.00 kWh/kWp/yıl
Performans oranı	0.00
Normalize üretim	0.00 kWh/kWp/gün
Dizi kayıplar	0.00 kWh/kWp/gün
Sistem kayıplar	0.00 kWh/kWp/gün

Şekil 4.8. PVSYST şebekeye bağlı bölümü

Fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgeye ait ışınlım değerleri programın veri tabanından alınmalıdır. Bu nedenle PVSYST simülasyon programında bulunan coğrafi alan yönetim bölgesinde ki haritada Birecik barajı göl kısmının bağlı olduğu yerleşim yeri Geçittepe mahallesi işaretlenmiştir.



Şekil 4.9. PVSYST programında Birecik-Nizip hidroelektrik santralinin seçilmesi

Konum	Geçittepe (Türkiye)					
Veri kaynağı	Meteonorm 7.3 (2006-2013), Sat=% 82 (Modified by user)					
	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Linke bulanıklığı	Bağıl nem
	kWh/m ² /gün	kWh/m ² /gün	°C	m/s	[-]	%
Ocak	2.33	1.01	5.1	2.29	3.467	75.0
Şubat	2.96	1.48	6.9	2.50	3.874	74.6
Mart	4.50	1.84	11.6	2.60	4.338	66.0
Nisan	5.85	2.37	15.8	2.80	5.322	59.6
Mayıs	6.80	2.52	21.6	2.90	4.755	46.2
Haziran	7.91	2.06	27.1	3.79	3.902	36.9
Temmuz	7.88	1.90	30.6	4.19	3.737	36.3
Ağustos	7.11	1.77	30.0	3.59	3.842	40.8
Eylül	5.94	1.36	25.3	2.80	3.595	45.4
Ekim	4.28	1.29	20.1	2.00	4.155	53.1
Kasım	2.99	1.08	11.7	1.89	3.602	66.7
Aralık	2.30	1.00	6.6	2.09	3.432	74.7
Yıl	5.08	1.64	17.7	2.8	4.002	56.3

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 4.4%

Zorunlu veriler

☒ Global yatay ışınlama

☒ Ortalama dış sıcaklık:

İlave veriler

☒ Yatay difüz ışınlama

☒ Rüzgar hızı

☒ Linke bulanıklığı

☒ Bağıl nem

İşinlama birimi

☒ kWh/m²/gün

☐ kWh/m²/ay

☐ MJ/m²/gün

☐ MJ/m²/ay

☐ W/m²

☐ Netik endeksi Kt

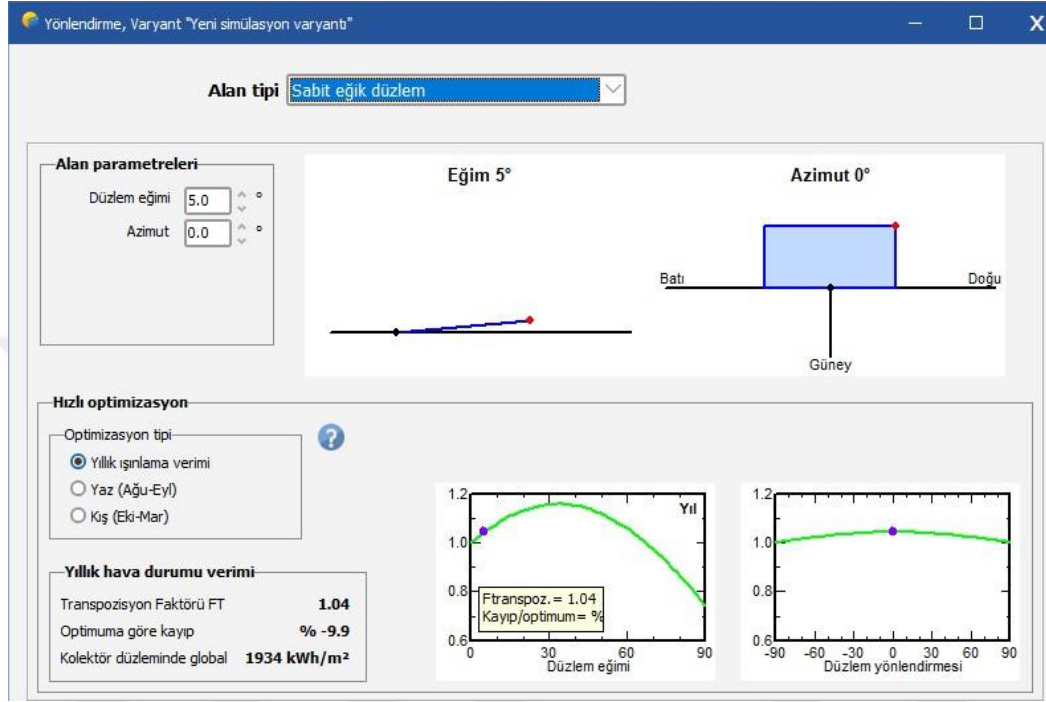
Şekil 4.10. PVSYST üzerinden alınan, bölgenin meteorolojik verileri

Fotovoltaik sistemin tasarlandığı bölge olan Geçittepe Mahallesi'nin meteorolojik verileri Şekil 4.10'te verilmiştir. Verilerin yıllık ortalamalarına bakıldığında Geçittepe mahallesinin günlük ışınlam değerinin meteonorm veri tabanında 5.08 kWh/m²-gün olduğu görülmektedir.

Güneş panellerinin en büyük dezavantajlarından biri, verimlerinin düşük olmasıdır. Bir panelin verimi %15-20 arasında değişmektedir. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için fotovoltaik enerji santrallerinin verimlerini yükseltebilecek başka çözüm yolları geliştirilmelidir. Güneş takip sistemi bulunmayan güneş enerjisi santrallerinde maksimum

verimi alabilmenin bir diğer yolu; panellerin eğim açısı ve azimut açılarının doğru hesaplanmasıdır [29].

Bir sonraki adımda; fotovoltaik sisteme ait açı tanımlamaları yapılmalıdır. Şekil 4.11’de şebekeye bağlı ekranındaki ana parametreler bölümünden yönlendirme seçilir. Analizi yapılan santrallerin panel eğim açıları 5° , azimut açıları 0° dir.



Şekil 4.11. Sisteme ait panel eğim ve azimut açılarının belirlenmesi

Birecik-Nizip hidroelektrik santral gölü üzerine tasarlanan bu fotovoltaik sistemde panellerin eğim açısı 5° seçilmiştir. Yaygın kullanılan Yüzer güneş enerji sistemi teknolojilerinde, rüzgâr yüklerini azaltmak ve fotovoltaik modülleri daha iyi soğutmak için modüller, düşük açılarda ve suya yakın monte edilir. Ayrıca panel eğim açısının yüksek seçilmesi daha yüksek rüzgâr yükleri nedeniyle demirleme ve bağlama sistemi maliyetini artıracaktır. Bütün bu sebepler göz önüne alındığında bu fotovoltaik sistem tasarımında panel eğim açısı 5° olarak belirlenmiştir.

PVSYST simülasyon programı veri tabanında bir çok marka, model ve güçte panel ve evirici çeşitleri yer almaktadır. Kurulacak santral de kullanılması planlanan panel ve eviricilere ait mekanik ve elektriksel veriler, her bir model için program veri tabanında bulunmaktadır. Kullanılması planlanan panel ve/veya eviricilerin programın veri tabanında yer almaması durumunda ise manuel olarak program veri tabanına tanımlanabilmektedir [13].

Bu çalışmada; evirici ve kullanılan panel simülasyon programından seçilmiştir. Bu işlem, PVSYST programındaki ana parametreler bölümünde ki sistem sekmesi seçilerek yapılmıştır.

Şekil 4.12.'de sisteme ait panel ve eviricinin programda seçilmesi gösterilmiştir.

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
 İsim: PV alanı
 Yön: Sabit eğik düzlem
 Eğim: 5°
 Azimut: 0°

Ön boyutlandırma yardımı
☐ Boyutlandırmasız
☒ Boyutlandır
 Planlanan gücü giriniz: 2000.0 kWp
 ... veya mevcut alan(modül): 9999 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modülleri
 Gereken tahmini modül sayısı: 4494
 Tüm üreticiler: 445 Wp 35V Si-mono IBEX-144MHC-Cosmos-445W Swiss Solar Manufacturer 2020
☐ Optimizer kullan
 Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 36.0 V
 Voc (-10°C) 54.9 V

İnvertör seçimi

Tüm invertör: Çıkış gerilimi 202 V Tr 50Hz
 Tüm üreticiler: 2.13 kW 320 - 630 V TL 50 Hz Solargate PV7M260NN Nidec ASI S.p.A.
 Invertör sayısı: 8
 Çalışma gerilimi: 320-630 V Invertör global gücü: 1704 kWac
 Maksimum giriş gerilimi: 740 V

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı
 Seri mod. sayısı: 12 (9 ile 13 arasında)
 Zincir sayısı: 374 (319 ile 375 arasında)
 Aşırı yük kaybı: 0.0 %
 Nom. güç oranı: 1.17
 Boyutlandırma

İşletme koşulları
 Vmpp (60°C): 432 V
 Vmpp (20°C): 507 V
 Voc (-10°C): 658 V
 Yüzey ışınlm: 1000 W/m²
 Imp (STC): 4038 A
 Isc (STC): 4222 A
 Isc (STC'de): 4222 A

Veri maks: STC
 Maksimum işletme gücü: 1818 kW
 (1000 W/m² ışınlm ve 50°C)
 Alan nominal gücü (STC): 1997 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV alanı		
Swiss Solar - IBEX-144MHC-Co...	12	374
Nidec ASI S.p.A. - Solargate P...	8	1

Global sistem özeti

Modül sayısı	4488
Modül yüzeyi	9986 m²
İnvertör sayısı	8
PV nominal gücü	1997 kWp
Maksimum PV gücü	1874 kWDC
Nominal AC gücü	1704 kWAC
Nom. güç oranı	1.172

Şekil 4.12. PVSYST programında panel ve inverter seçimi

Tasarlanan fotovoltaik sistemde kullanılmak üzere Swiss Solar IBEX-144MHC Cosmos 445Watt'lık panel seçilmiştir. Evirici tercihi ise Nidec ASI S.p.A Solargate PV7M260NN olmuştur. Seçilen panel ve eviricinin mekaniksel ve elektriksel özellikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir.

PV modül tanımlama

Ana veriler | Boyutlar ve Teknoloji | Model parametreleri | Ek veriler | Ticari | Grafikler

Model: IBEX-144MHC-Cosmos-445Wp-144 cells Üretici: Swiss Solar
 Dosya adı: Swiss_Solar_144MHC_Cosmos_445W.PAN Veri kaynağı: Manufacturer 2020
 Orijinal PVsyst veritabanı Üret. son. tarihi 2020

Nominal güç (STC'de): 445.0 Wp Tol. +/- 0.0 5.0 %
 Teknoloji: Si-mono

Üretici teknik özellikleri veya diğer ölçümler

Referans koşullar	Gref	1000	W/m²	TRef	25	°C
Kısa devre akımı	Isc	11.290	A	Açık devre Voc	49.70	V
Maks güç noktası	Imp	10.800	A	Vmpp	41.21	V
Sıcaklık katsayısı	muIsc	5.6	mA/°C	Hücre sayısı	72 x 2	
	veya muIsc	0.050	%/°C			

İç model sonuçları

İşletme koşulları	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Maks güç noktası	Pmpp	445.3	W	Sıcaklık katsayısı	-0.35	%/°C
	Akm Imp	10.74	A	Gerilim Vmpp	41.5	V
Kısa devre akımı	Isc	11.29	A	Açık devre Voc	49.7	V
Verim	/ Hücre yüzeyi	22.45	%	/ Modül yüzeyi	20.01	%

Model özeti

Ana parametreler
 Rparal. 600 Ω
 Rsh (G = 0) 2500 Ω
 R seri model 0.23 Ω
 R seri maks. 0.24 Ω
 Görünür R seri 0.40 Ω

Model parametreleri
 Gama 0.982
 IoRef 0.01 nA
 muVoc -151 mV/°C
 muPMax sabit -0.36 /°C

Şekil 4.13. Güneş paneli özellikleri

Şebeke invertörü tanımlama

Ana parametreler | Verim eğrisi | Ek parametreler | Çıkış parametreleri | Boyutlar ve Teknoloji | Ticari veriler

Model: Solargate PV7M260NN Üretici: Nidec ASI S.p.A.
 Dosya adı: AD_PV7M260NN.OND Veri kaynağı: Manufacturer 2010
 Orijinal PVsyst veritabanı Üret. baş. tarihi 2009 den 2015

Giriş (DC, PV alanı)

Minimum MPP gerilimi: 320 V
 Pnom için min. gerilim: N/A V
 Maksimum giriş gerilimi: N/A A
 Nominal MPP gerilimi: N/A V
 Maksimum MPP gerilimi: 630 V
 Mutlak maks PV gerilimi: 740 V
 Güç sınırı: 3285 W

Gerçek fiziksel anlamı olmayan sözleşmesel özellikler: Zorunlu

PV nominal gücü: 219 kW
 Maksimum PV gücü: 258 kW
 Maksimum PV akımı: N/A A

Çıkış (AC şebeke)

Monofaze ☐ Trifaze ☒ Bifaze ☐
 Frekans: 50 Hz ☒ 60 Hz ☐
 Şebeke gerilimi: 202 V
 Nominal AC gücü: 213 kW
 Maksimum AC gücü: 235 kW
 Nominal AC akımı: 610 A ☐
 Maksimum AC akımı: 610 A ☐

Verim

Maksimum verim: % 97.66
 EURO verimi: % 97.25
☐ Verim 3 gerilim için belirleniyor

Şekil 4.14. Evirici özellikleri

PVSYST simülasyon programında, fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgede paneller üzerinde gölgelenmeye neden olabilecek unsurlar için gölgeleme analizi yapılabilmektedir. Bu tasarlanan sistemde, gölgelenmeye neden olacak bina, ağaç vb. unsur olmadığı için yapılan bu analizde gölgelenme parametresi kullanılmamıştır.

Yapılan işlemler ve panel, evirici seçimleri ardından, tanımlanan şebeke bağlantılı sistem bileşenlerini gösterir PVSYST simülasyon aracı ekran görüntüsü Şekil 4.15'te verilmiştir

The screenshot displays the PVSYST simulation software interface, which is divided into several sections for configuring a photovoltaic system.

Alt alan (Main Area):

- Alt dizinin ismi ve yönü:** İsim: PV alanı, Yön: Sabit eğik düzlem, Eğim: 5°, Azimut: 0°.
- Ön boyutlandırma yardımı:** Planlanan gücü giriniz: 2000.0 kWp, Boyutlandırma: Boyutlandır.
- PV modül seçimi:** Gereken tahmini modül sayısı: 4494. Üreticiler: 445 Wp 35V, Si-mono, IBEX-14#MHC-Cosmos-445W, Swiss Solar, Manufacturer 2020. Optimizer kullan: ☐.
- İnvertör seçimi:** Çıkış gerilimi 202 V Tri 50Hz, Nidec ASI S.p.A., 213 kW, 320 - 630 V, TL, 50 Hz, Solargate PV7M260NN, 2015 yılına kadar. İnvertör sayısı: 8. Çalışma gerilimi: 320-630 V, İnvertör global gücü: 1704 kWac, Maksimum giriş gerilimi: 740 V.
- Dizi boyutlandırması:** Seri mod. sayısı: 12, Zincir sayısı: 374. İşletme koşulları: Vmpp (60°C): 432 V, Vmpp (20°C): 507 V, Voc (-10°C): 658 V. Yüzey ışınlam: 1000 W/m², İmp (STC): 4038 A, Isc (STC): 4222 A, Isc (STC'de): 4222 A. Maksimum işletme gücü: 1818 kW (1000 W/m² için ve 50°C).

Alt alanlar listesi (Sub-areas List):

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV alanı		
Swiss Solar - IBEX-14#MHC-Co...	12	374
Nidec ASI S.p.A. - Solargate P...	8	1

Global sistem özeti (Global System Summary):

Modül sayısı	4488
Modül yüzeyi	9986 m²
İnvertör sayısı	8
PV nominal gücü	1997 kWp
Maksimum PV gücü	1874 kWDC
Nominal AC gücü	1704 kWAC
Nom. güç oranı	1.172

Şekil 4.15. Simülasyon aracında şebeke bağlantılı sistem bileşenlerinin tanımlanması

Birecik-Nizip hidroelektrik santrali göl havzasına 2 MW'lık bir yüzer fotovoltaik sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde toplam 4488 adet panel ve 8 adet evirici kullanılmıştır. Tasarlanan yüzer sistemin etrafında gölgelenmeye sebebiyet verecek herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Simülasyonun yapılabilmesi için gerekli parametreler girildikten sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Sisteme ait üretim verilerinin ve kayıpların yer aldığı ayrıntılı rapor simülasyon programı tarafından oluşturulmuştur.

5. BULGULAR VE ANALİZ

Bu bölümde öncelikle, Birecik-Nizip hidroelektrik santrali göl havzasına kurulması tasarlanan yüzer fotovoltaik sistemin PVSYST yazılımı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları sunulacaktır. Ayrıca tasarlanan fotovoltaik sistemin maliyet analizi yapılacak ve sistem kurulması halinde ne kadar su buharlaşmasının önüne geçileceği hesaplanacaktır.

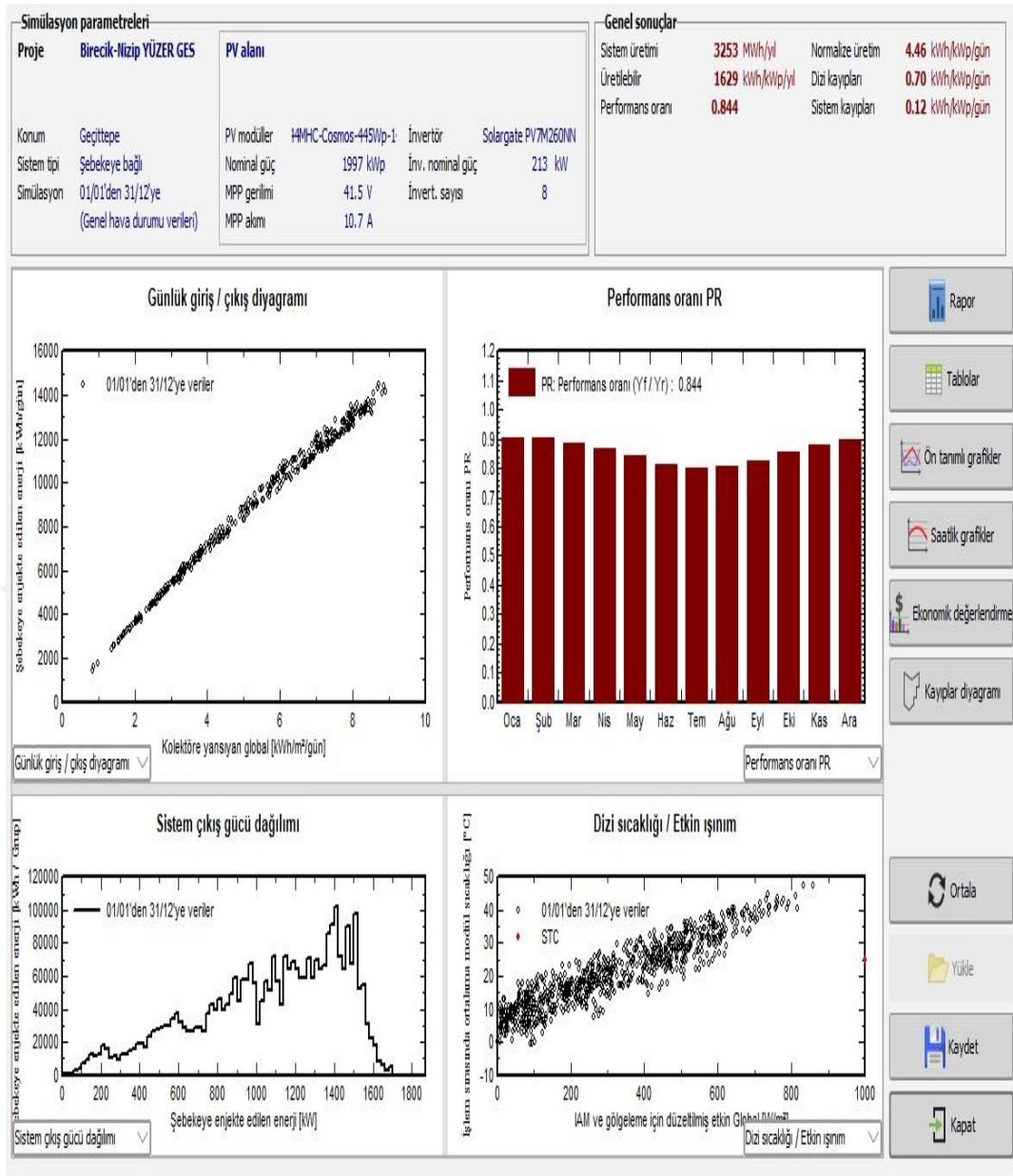
5.1. Simülasyon Sonuçları ve Ekonomik Analiz

Birecik-Nizip hidroelektrik santrali gölü üzerine 2 MW'lık yüzer fotovoltaik sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan santralde toplam 4488 adet solar panel ve 8 adet solar inverter kullanılmıştır. Yüzer fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgede gölgelenmeye sebebiyet verecek herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Sistem simülasyonunun yapılabilmesi için gerekli tüm parametreler girildikten sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Sisteme ait üretim verilerinin ve kayıplarını içeren ayrıntılı analiz raporu simülasyon programı tarafından oluşturulmuştur.

Fotovoltaik sistem, Birecik-Nizip hidroelektrik santralinde göl havzasına kurulacak şekilde tasarlandığından arazi giderleri ekonomik analizde tanımlanmamıştır. Ayrıca kurulum için gerekli olan sermaye, kurumun öz sermayesinden karşılanacağı kabul edilmiştir. Bu yüzden kredi, sigorta vb. giderler hesaplanmamıştır. Fotovoltaik sistem için 2 km uzunluğunda enerji nakil hattı hesaplanmış ve giderlere dahil edilmiştir. Kurulum sırasında hafriyat olmayacağı için bundan kaynaklı maliyet ekonomik analizde tanımlanmamıştır.

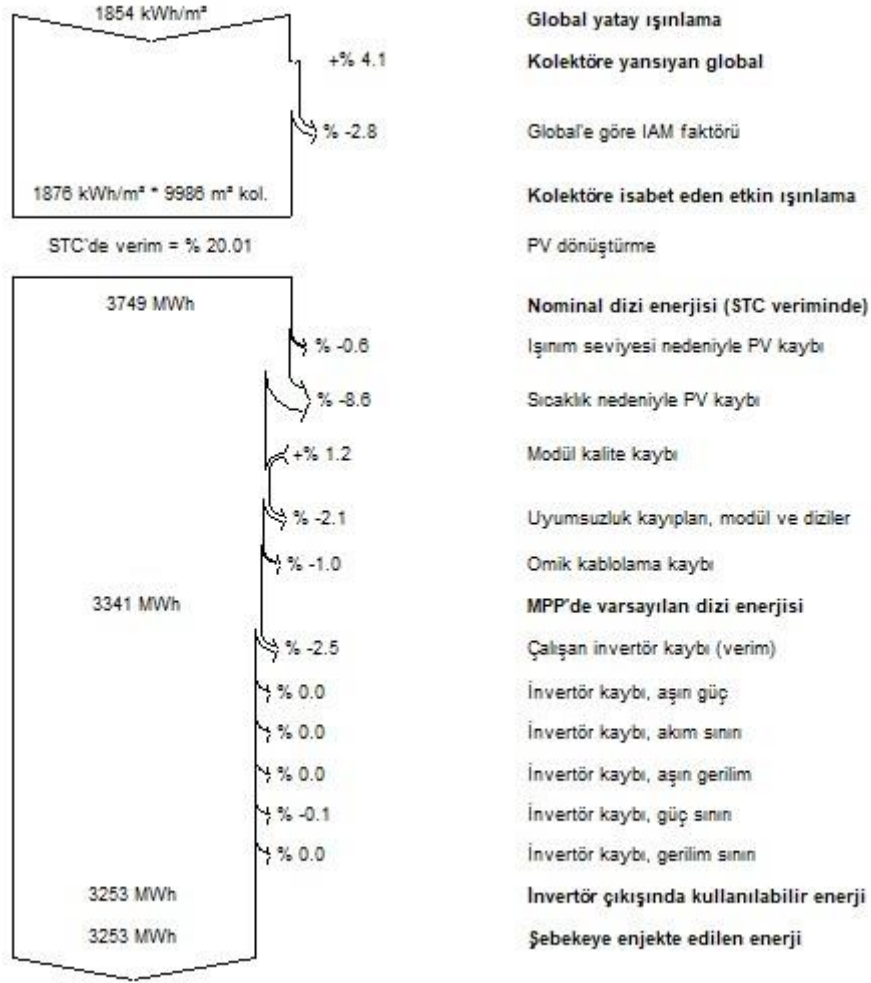
Yapılan tanımlamalarda; sistemin ekonomik ömrü, 25 yıl olarak belirlenmiştir. Santral giderleri olarak yıllık bakım ve onarım maliyetleri, piyasa araştırması sonucu varılan sonuç neticesinde, 6000 \$ olarak tanımlanmıştır.

Elektriğin satış fiyatı olarak Birecik-Nizip hidroelektrik santralinin 15 Nisan 2022 tarihi itibarıyla satış fiyatı olan 1,97 kuruş alınmıştır.



Şekil 5.1. PVSYSY programında ekonomik analiz sekmesi

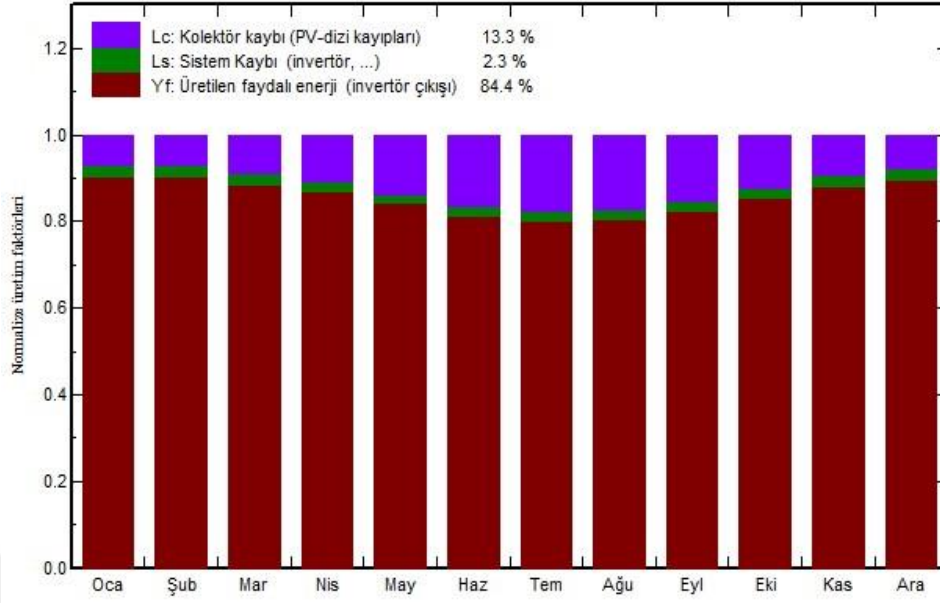
Simülasyon sonrası ortaya çıkan raporda tasarlanacak sistemin amortisman süresi 4.2 yıl olarak görülmüştür. Şebekeye enjekte edilen enerji yıllık 3253 MWh dir. Sistem sayesinde yılda 1261,136 ton karbon emisyonunun önüne geçilebilmektedir.



Şekil 5.2.PVSYST sisteme ait kayıp diyagramı

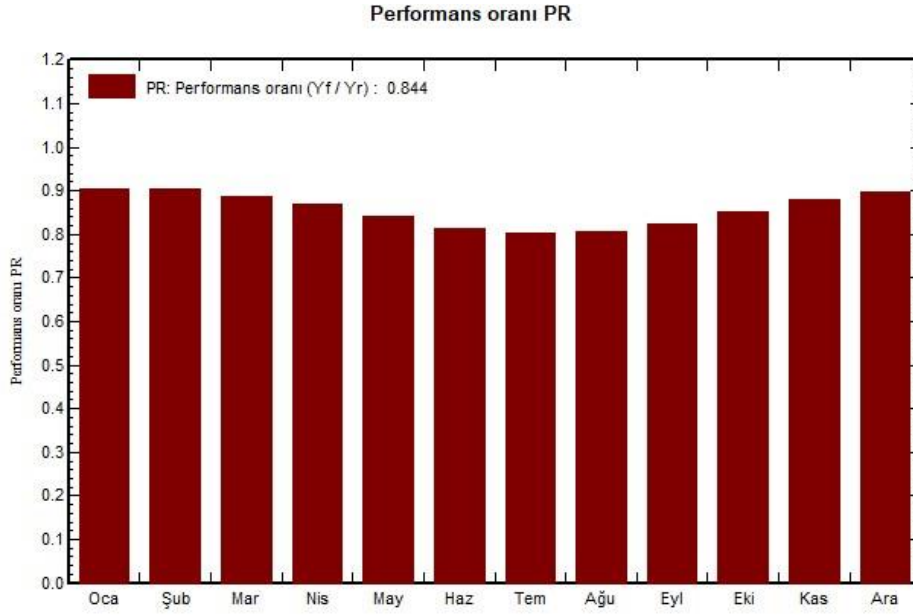
Simülasyon sonucu elde edilen kayıp diyagramında da görüleceği üzere sistem kurulumu için seçilen bölgeye yatay düzlemde gelen yıllık global ışınlım miktarı 1854 kWh/m²'dir. Fotovoltaik paneller 5°'lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışıma miktarı %4.1 artmaktadır. Modül, dizi ve uyumsuzluk kayıpları %2.1, evirici kaybı %2.8 toplam fotovoltaik kaybı %9.2 olduğu görülmektedir. Tüm kayıplardan sonra sistemden yılda 3253 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir. Tasarlanan fotovoltaik sistemde kullanılan fotovoltaik panelin standart test koşulları altındaki verimi %20.01'dir.

Normalize üretim ve kayıp faktörleri: Nominal güç 1997 kWp



Şekil 5.3. Evirici çıkışı enerji üretimi ve kayıplar

Şekil 5.3'te sistem enerji verimlerinin grafiksel bir ifadesidir. Grafikte fotovoltaiik dizi kayıpları ve diğer kayıplar dahil olmak üzere tüm sistem kayıplarını gösterir. Grafiğe bakıldığında haziran, temmuz ve ağustos aylarında en yüksek enerji verimi olduğu görülür. Dizi ve eviricilerde ki en yüksek kayıplarda bu aylarda görülmektedir. Bu durum yaz aylarının aşırı sıcak olması ve kayıplarında sıcaklığa bağlı olarak artmasıyla açıklanabilir. Dizi kayıpları fotovoltaiik modüllerin verimliliğini belirler. Evirici kayıpları DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürürken kaybolan enerji olarak tanımlanabilir. Kullanılan eviricilerin verimliliği ne kadar yüksek olursa sistem kayıpları o kadar az olacaktır.



Şekil 5.4. Aylık performans oranı değerleri

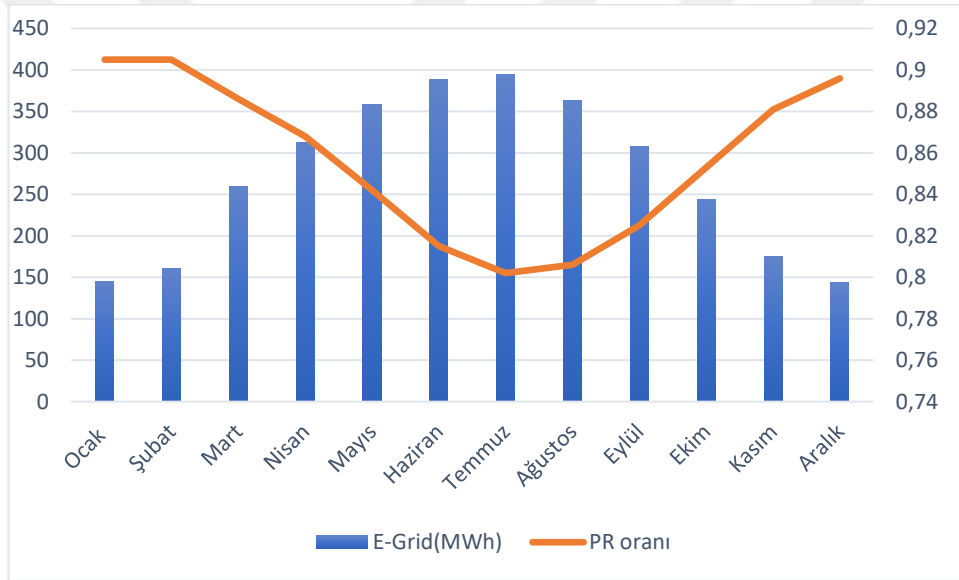
Performans oranı bir bütünlük faktörüdür ve bu oran 0.1 ile 0.99 aralığındadır. Performans oranı değerinin 1'e yaklaşması sistemin daha iyi olduğunu gösterir. Performans oranının 100 ile çarpımı performans verimlilik yüzdesini verir. Şekil 5.4 te bu çalışmadaki performans oranının 0.844 dolayısıyla sistem verimliliğinin %84.4 olduğu görülmektedir. Ayrıca performans oranının en düşük seviyede haziran, temmuz ve ağustos aylarında olduğu görülmektedir. Bu durum yıl boyunca ortaya çıkan dizi ve inverter kayıplarının bir sonucudur.

Hava durumu ve gelen enerji							
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	WindVel	GlobInc	DiffInc	Alb_Inc
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Ocak	72.1	31.17	5.10	2.3	80.2	22.80	0.027
Şubat	82.9	41.47	6.94	2.5	89.0	29.53	0.032
Mart	139.5	57.10	11.57	2.6	146.8	35.61	0.053
Nisan	175.4	71.10	15.78	2.8	180.6	40.55	0.067
Mayıs	210.7	78.13	21.61	2.9	213.0	41.09	0.080
Haziran	237.4	61.78	27.08	3.8	238.5	26.79	0.090
Temmuz	244.4	59.03	30.58	4.2	246.3	25.53	0.093
Ağustos	220.5	54.82	29.98	3.6	225.7	25.35	0.084
Eylül	178.3	40.78	25.28	2.8	187.2	21.83	0.068
Ekim	132.6	39.89	20.10	2.0	143.1	24.16	0.050
Kasım	89.6	32.50	11.74	1.9	99.6	21.89	0.034
Aralık	71.2	30.96	6.63	2.1	80.0	22.23	0.027
Yıl	1854.5	598.73	17.76	2.8	1930.0	337.35	0.705

Şekil 5.5. Simülasyondan elde edilen aylara göre bazı değerler

Şekil 5.5'te simülasyon programından elde edilen aylık bazda üretilen enerji, panel yüzeyine gelen global ışınlam, ortalama sıcaklık değeri gibi değişimler verilmiştir. Şekil 5.5'te ki veriler incelendiğinde en yüksek global ışıma ve üretilen enerji değeri ağustos ayında iken temmuz ayında en yüksek sıcaklık ortalaması görülmüştür.

Şekil 5.6'da verilen grafikte aylık olarak şebekeye enjekte edilen enerji ile sistemin performans oranının aylara göre değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde şebekeye en fazla enerjinin verildiği aylar haziran, temmuz, ağustos olmasına rağmen sistem performansının en düşük olduğu aylarında bu aylar olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi haziran, temmuz, ağustos aylarında sıcaklığın artmasıyla sistem veriminin düşmesi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca şebekeye enjekte edilen enerjinin en düşük olduğu ocak ayında sistem performansı en yüksek olmuştur.



Şekil 5.6. Aylık bazda şebekeye enjekte edilen enerji ve performans oranı

5.2. Buharlaşması Önlenebilecek Su Miktarının Hesaplanması

Birecik-Nizip baraj gölünün aylara göre buharlaşma miktarları Çizelge 4.4'te verilmişti. Baraj gölünün toplam alanı 56 km^2 'dir. Yüzer fotovoltaik sistem için ise $90*150$ metre boyutunda bir güneş adası düşünülmüştür. Çizelge 4.4'e göre senelik buharlaşma miktarı toplamı $83,5 \text{ hm}^3$ 'tür. Bu veriler ışığında yapılan hesaplamalar sonucu 1 m^2 'lik göl alanında yaklaşık $1,49 \text{ m}^3$ suyun buharlaştığı bulunmaktadır. Oluşturulan $90*150$ metre boyutundaki güneş adasının su yüzeyinde örttüğü alan sayesinde senelik 20.115 m^3 suyun buharlaşmasının önüne geçilebilecektir.

Birecik-Nizip Hidroelektrik santralinde yaklaşık olarak 9.8 m³ su ile 1 kW'lık elektrik üretilmektedir. Baraj gölü üzerine tasarlanan fotovoltaiik sistem sayesinde buharlaşması önlenen 20115 m³ su ile yaklaşık olarak senelik 2.05 MW'lık elektrik üretimi gerçekleştirilebilecektir.



6. SONUÇLAR

Güneş enerjisine olan ilgi ve yatırımlar; temiz ve yenilenebilir olması nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Güneş sistemlerine yatırım yapılmadan önce fizibilite çalışması yapılmalı ve konu ile ilgili akademik çalışmalar incelenmelidir. Bu yüzden yapmış olduğumuz bu çalışmada; literatür çalışmaları, güneş enerjisi ile ilgili genel bilgiler ve konu hakkındaki yasal mevzuatlar ile uygulanan projelere yer verilmiştir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Birecik-Nizip hidroelektrik santrali göl havzasına yapılacak 2 MW'lık yüzer fotovoltaik sistem tasarımından ve ekonomik analizinden bahsedilmiştir. Bu çalışmanın tasarımı ve ekonomik analizinde PVSYST 7.1. simülasyon programından yararlanılmıştır. Yapılan analiz neticesinde; yüzer fotovoltaik sisteme ait üretim verileri ve kayıplar elde edilmiştir.

Simülasyon programından elde edilen verilere göre tasarlanan fotovoltaik sistemden yılda 3253 MWh enerji üretileceği görülmüştür. Sistem kendini 4.2 yılda amorti edebilmektedir. Bu kadar kısa sürede amorti edebilmesinin en önemli nedeni ise göl havzasına kurulacağı için arazi maliyeti olmamasıdır. Ayrıca yine hidroelektrik santral göl havzasına kurulacağı santraldeki iletim hattı ve transformatör kullanılacağından dolayı bunların da maliyetinin olmaması sistemin kendini kısa sürede amorti etmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra bu sistem sayesinde yılda 1261,136 ton karbon salınımının önüne geçilebilmektedir. Simülasyon sonucu elde edilen çizelgeler ve grafikler incelendiğinde fotovoltaik sisteme ait üretim değerlerinde yıllık bazda değişiklikler gözlenmektedir. Bu durumun sebebi olarak birçok durum söz konusudur. Panel verimliliğinin her yıl azalması, mevsimler farklılıkları üretim değerlerini etkileyen parametrelerden birkaçıdır. Bir başka durum ise sıcaklığın artmasına bağlı olarak düşen panel verimliliği üretim değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

Baraj gölü üzerine tasarlanan bu fotovoltaik sistem ile senelik 20115 m³ su tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür. Birecik Hidroelektrik Santralinin elektrik üretim verileri dikkate alındığında bu su miktarı ile yaklaşık 2 MW'lık enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Önümüzdeki yıllarda çok daha büyük sorun haline geleceği düşünülen su probleminin, suyun önemi daha da arttıracak kaçınılmazdır. Bu yüzden yüzer fotovoltaik sistemlerin esas faydası yakın gelecekte enerji üretimi değil su kazancı olacağı öngörülmektedir.

Arazi tipi güneş enerjisi sistemlerine göre kurulum maliyeti daha uygun olan yüzer fotovoltaik sistemlere yatırım yapmak, Ülkemizde ki hidrolik santrallerin göl havzaları ve sayıları düşünüldüğünde temiz enerjinin bu kadar önemli ve zorunlu olduğu bu dönemde yatırımcılar ve ülkemiz adına çok büyük bir kazanç sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Şençiçek H., (2017). Yüzer Ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik Ve Ekonomik Açidan İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi. Enerji Enstitüsü. İstanbul
- [2] <http://www.cigreturkiye.org.tr/gsk2018/bildiri/03.ID-22.pdf> (Erişim Tarihi 01.05.2021).
- [3] [https://gepa.enerji.gov.tr/\(GEPA\)](https://gepa.enerji.gov.tr/(GEPA)) (Erişim Tarihi 01.05.2021).
- [4] Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A., Olgun, B. (2013). Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği, Cilt 4. Türkiye Elektrik Sanayi Birliği, 372s, İstanbul.
- [5] http://www.fsec.ucf.edu/en/solar_electricity/basics/how_pv_system_works.htm, (Erişim tarihi 8.02.2019).
- [6] Url-13 <<https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/872>>, (Erişim Tarihi 9.02.2019)
- [7] ELEKTRİKDE, (2020). Güneş Panellerinde On Grid ve Off Grid Bağlantı Sistemleri <https://www.elektrikde.com/gunes-panellerinde-on-grid-ve-off-grid-baglanti-sistemleri/>.
- [8] Aksangör, N. N., Martin, K., Boran, K., (2019). PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara'da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans Analizi, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 4(1), 217-220
- [9] Farız, T., Fırat, E., Ramazan, A., Engin, M., İklim, D., Esra, K., Can, B. (2015). Lisanssız güneş enerjisi santrali geliştirme kılavuzu. Lifenerji. http://investinmalatya.gov.tr/tr/files/02016-02-11_17-18-44-1455203924.pdf
- [10] www.intersolar.ru/photovoltaic/. (Erişim Tarihi 04.05.2021).
- [11] www.pvsolmecs.com/modules. (Erişim Tarihi 05.05.2021).
- [12] Haydaroğlu, C., Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi. 7(3), 491-500. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/29221/312788>
- [13] Çınaroğlu, M.S., (2021). Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir GES Projesinin PVsyst aracılığıyla Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis, 97s
- [14] Tekkale, G. (2018). Türkiye' nin çeşitli illerinde yapılacak arazi tipi lisanssız güneş enerjisi santrali yatırımlarının teknik ve finansal analizi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye.
- [15] Choi Y. K. (2014). A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact, International Journal of Software Engineering and Its Applications, 8 (1), 75–84

- [16] <http://www.cigreturkiye.org.tr/gsk2018/bildiri/03.ID-22.pdf> (Erişim Tarihi 01.05.2021).
- [17] Sahu A., Yadav N. & Sudhakar K. (2016). A Floating photovoltaic power plant: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815–824
- [18] olak, ř.. (2010). Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) .Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye.
- [19] Jamalludin, S., Muhammed Sukki, F., Abu-Bakar, S., Ramlee, F., Munir, A., Bani,N., Muhtazaruddin, M., Mas’ud, A., Ardila-Rey, J., Ayup, A., & Sellami,N. 2019 Potential of floating solar technology in Malaysia. *International Journal of Power Electronics and Drive System.*, pp.1638-1644
- [20] Romaliya, J.V. (2015). Performance evaluation of grid-connected solar photovoltaic plant using PVSYST software. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. Retrieved from <http://www.jetir.org/view?paper=JETIR1502036>
- [21] Lopez , M., Soto,F., Hernandez, Z., (2022). Assessment of the potential of floating solar photovoltaic panels in bodies of water in mainland Spain . *Journal of Cleaner Production.*,
- [22] Goel,S., Sharma,R., Lenka,S.R., (2022). Feasibility Study of a Floating Solar Photovoltaic System in Odisha, India. *Innovation in Electrical Power Engineering, Communication, and Computing Technology.*,pp.75-84
- [23] şimşek, B., Bizkevelci, E. (2013). Fotovoltaik gneş elektrik santrallerinin alak gerilim şebekesine bağlantı esasları. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi. [https://www.emo.org.tr/etkinlikler/etuk/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=189 &bilkod=5416](https://www.emo.org.tr/etkinlikler/etuk/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=189&bilkod=5416)
- [24] Abid, M., Abid, Z., Sagintayev, Z., Sarbassov, D., Shabbir, M., & Murtaza, R. (2018). Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology.*, pp.1755-1762
- [25] Sanchez, G., Kougias, I., Moner-Girona, M., Fahl, Fernando., & Jager Waldau, A. (2021). Assessment of floating solar photovoltaics potential in existing hydropower reservoirs in Africa. *Renewable Energy An International Journal.*, pp.687-699
- [26] Gündüz, M. S., (2019). Bir Fotovoltaik Gneř Enerji Santralinin Tekno-Ekonomik Analizi; Ktahya-Simav rneėi, Yüksek Lisans Tezi, Ktahya Dumlupınar Üniversitesi, Ktahya, 109 s.
- [27] Apribowo, C., Santoso, Budi., Suyitno, S., & Vicaksono, R. (2019). Design of 1 MWp Floating Solar Photovoltaic (FSPV) Power Plant in Indonesia. *The 4th International Conference On Industrial, Mechanical, Electrical, And Chemical Engineering.*

- [28] Özyiğit, F. Y., (2019). Sivas İl Merkezi Ve İlçelerinde Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Ekonomik Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 172s.
- [29] Golroodbari, S.Z. and van Sark, W. (2020). Simulation of Performance Differences Between Offshore and Land-Based Photovoltaic Systems Progress in Photovoltaics Research Applications, 28, 873-886.
- [30] Dal., A.R.,(2021). Göl ve Barajların Güneş Enerji Santrali Olarak Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi Yamula Barajı Örneği. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, Cilt 9, Sayı 4, 2021, Pp.,726 - 738
- [31] Workineh, T.G., Taye,B.Z., Nebey,A.H.,(2022). Design and Performance Analysis of 125 MW Floating Photovoltaic Power Plant in Ethiopia: Metema vs Lake Tana. Advances of Science and Technology. 9th EAI International Conference, Bahir Dar, 27-29 Ağustos 2021, pp.184-195
- [32] Küçükgoze, O. M. (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü(Yüksek Lisans Tezi), 91s, Erzincan.
- [33] Grozdov, M., (2010). Alternatif Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 73 s.
- [34] <http://www.solar-academy.com/menus/Gunes-Enerjisi.021720.pdf> (Erişim Tarihi 09.05.2021).
- [35] Tanış, Z., (2019). Elazığ İlinde Yer Alan Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [36] Aksangör, N. N., (2019). Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst ProgramıYardımları İle Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 96s.