



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**BİNA ÇATI ÜSTÜ GES PROJESİNİN SİMÜLASYON YAZILIMI
İLE MODELLENMESİ VE ÜRETİM VERİLERİ İLE MUKAYESE
YOLUYLA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZİ HAZIRLAYAN: MUSTAFA KEMAL TAŞCI

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. UĞUR CENGİZ

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**BİNA ÇATI ÜSTÜ GES PROJESİNİN SİMÜLASYON YAZILIMI İLE
MODELENMESİ VE ÜRETİM VERİLERİ İLE MUKAYESE YOLUYLA
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi Hazırlayan
MUSTAFA KEMAL TAŞCI

Tez Danışmanı
DOÇ.DR.UĞUR CENGİZ

ÇANAKKALE – 2023



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Mustafa Kemal TAŞCI tarafından Doç. Dr. Uğur CENGİZ yönetiminde [hazırlanan ve **16/01/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Bina Çatı Üstü GES Projesinin Simülasyon yazılımı ile Modellenmesi ve Üretim Verileri ile Mukayese Yoluyla Analizi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Uğur CENGİZ

.....

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Onur ELMA

.....

Dr. Öğr. Üyesi Salih ÖZBAY

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : .././20..

.....

Doç. Dr. Yener PAZARCIK

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Mustafa Kemal TAŞCI

16/01/2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini benimle içtenlikle paylaşan saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Uğur CENGİZ'e, varlıklarıyla bana g ve azim veren değerli eşim Fulya Gl TAŞCI ve oğlum Yiğit'e ve hayatımın her evresinde yanımda olan babam Yüksel TAŞCI ve annem Zeynep TAŞCI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Mustafa Kemal TAŞCI
anakkale, Ocak 2023

ÖZET

Bina Çatı Üstü GES Projesinin Simülasyon yazılımı ile Modellenmesi ve Üretim Verileri ile Mukayese Yoluyla Analizi

Mustafa Kemal TAŞCI

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Uğur CENGİZ

16/01/2023, 58

Dünyada gün geçtikçe artan enerji ihtiyacını karşılamak adına birçok farklı enerji kaynağı kullanmak suretiyle yoğun bir üretim faaliyeti yürütülmektedir. Yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların oluşum sürecine kıyasla çok daha hızlı bir şekilde tüketilmesi ve kullanımı sırasında neden olduğu çevresel etkiler, bilim insanlarını farklı enerji kaynaklarından yararlanmaya yöneltmiştir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları mantıklı bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli potansiyele sahip bir enerji kaynağıdır ve üretim teknolojileri hızla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü'nde bulunan bir bina çatısına yeni tesis edilmiş olan 64 kW gücündeki çatı üstü güneş enerji santralinin üretim verileri bir yıl boyunca izlenmiş, aynı zamanda PVSyst fotovoltaik sistemler simülasyon yazılımı ile sistemin bire bir modellenmesi yapılarak simülasyon verileri ile gerçek veriler mukayese edilmiştir. Bir yıllık süre zarfında tesiste üretilen elektrik enerjisi 92,8 MWh olarak ölçülürken, simülasyon sonuçlarında bu değer 94,2 MWh olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, PVSyst

ABSTRACT

Modeling of Building Rooftop SPP Project with Simulation software and Analysis by Comparison with Production Data

Mustafa Kemal TASCI

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Energy Sources and Management Department

Supervisor: Assoc.Prof. Dr.Uğur CENGİZ

01/16/2023, 58

In order to meet the increasing energy need in the world, an intensive production activity is carried out by using many different energy sources. The fact that the commonly used fossil fuels are consumed much faster than the formation process and the environmental effects caused during their use have led scientists to benefit from different energy sources. In this context, renewable energy sources come to the fore as a logical alternative. Solar energy is an energy source with significant potential among renewable energy sources and production technologies are rapidly developing and becoming widespread. In this study, the production data of the 64 kW rooftop solar power plant, which was newly installed on the roof of a building in Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus, was monitored for one year, and at the same time, the simulation data was made by modeling the system one-to-one with the PVSyst photovoltaic systems simulation software and compared with actual data. While the electrical energy produced at the facility was measured as 92,8 MWh over a one-year period, this value was calculated as 94.2 MWh in the simulation results.

Keywords: Renewable Energy Sources, Solar Energy, Photovoltaic, PVSyst

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Enerji Kavramı.....	1
1.1.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması.....	1
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	3
Rüzgar Enerjisi.....	4
Hidrolik Enerji.....	5
Jeotermal Enerjisi.....	6
Biyokütle Enerjisi.....	7
1.2. Güneş Enerjisi.....	9
1.2.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	9
1.2.2. Çanakkale İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	12
1.3. Fotovoltaik (PV) Sistemler.....	12
1.3.1. Fotovoltaik (PV) Paneller.....	13
PV Eşdeğer Devre Modelleri.....	15
Monokristal PV Paneller.....	17
Monokristal PV Paneller.....	17
1.3.2. İnverterler	18
Şebekeye Bağlı (On-grid) Fotovoltaik Sistemler.....	18
Şebekeden Bağımsız (Off-grid) Fotovoltaik Sistemler.....	19

Hibrit Fotovoltaik Sistemler.....	20
1.3.3. Akü Grupları.....	21
İKİNCİ BÖLÜM	
KURAMSAL ÇERÇEVE	
2.1. Literatür Taraması.....	22
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
MATERYAL YÖNTEM	
3.1. PVSyst Programı.....	26
3.1.1. Şebekeye Bağlı PV Sistemi Tasarımı.....	27
3.1.2. Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Sistem Tasarımı.....	31
3.1.3. PV Su Pompası Sistem Tasarımı.....	33
3.2 Saha Uygulaması.....	36
3.2.1 Üretim Verilerinin İzlenmesi.....	39
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Simülasyon Sonuçları.....	42
4.2. Tesisin Gerçek Üretim Verileri.....	48
4.3. Çatı Eğimine Bağlı Sistem Verimi Değerlendirmesi.....	50
BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇ ve ÖNERİLER	
5.1. Sonuçlar ve Tartışma.....	52
KAYNAKÇA	55
ÖZGEÇMİŞ	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

PV	Fotovoltaik
AB	Avrupa Birliği
Kg	Kilogram
g	Gram
%	Yüzde oranı
t	Ton
GES	Güneş Enerjisi Santrali
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
TL	Türk Lirası
DSİ	Devlet Su İşleri
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Simülasyon verilerine göre başlıca sonuçlar ve yıllık bilanço	46
Tablo 2	Tesisin yıllık verim ve getiri tablosu	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	2
Şekil 2	Dünyada enerji irt. kaynaklara göre yüzdesel dağılımı	3
Şekil 3	Geçmişten günümüze rüzgar enerjisinin kullanımı	5
Şekil 4	Hidroelektrik barajı görüntüsü	6
Şekil 5	Biyokütle kaynakları	8
Şekil 6	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası	10
Şekil 7	Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon dağılımı	10
Şekil 8	Türkiye'nin güneş enerjisi santrali (ges) kurulu güç tablosu	11
Şekil 9	Türkiye ges kurulu gücünün toplam kurulu güce oranı grafiği	11
Şekil 10	Çanakkale ili güneş enerjisi potansiyeli (gepa)	12
Şekil 11	Fotovoltaik (PV) panelin kesiti	13
Şekil 12	Fotovoltaik modüllerin robotik makinelerde birleştirilmesi	14
Şekil 13	PV hücreye ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli	15
Şekil 14	PV hücreye ait çift diyotlu eşdeğer devre modeli	15
Şekil 15	Silisyum hammaddesinden fotovoltaik hücre yapım aşamaları	16
Şekil 16	Monokristal ve polikristal pv panel görüntüsü	17
Şekil 17	Şebekeye bağlı (on-grid) pv sistemi çalışma prensibi	19
Şekil 18	Şebekeden bağımsız (off-grid) pv sistemi çalışma prensibi	20
Şekil 19	Hibrit pv sistemler çalışma paneli	20
Şekil 20	PVsyst açılış sayfası	26

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 21	PVsyst on-grid sistem proje ana sayfası	27
Şekil 22	PVsyst haritadan konum belirleme ekranı	28
Şekil 23	Coğrafi konuma göre aylık meteorolojik parametreler	29
Şekil 24	Pv panellerin konum bilgisi ekranı	29
Şekil 25	PVsyst sistem bilgileri menüsü	30
Şekil 26	Stand-alone sistemde günlük ihtiyaç tablosu	31
Şekil 27	Stand-alone elektrik tüketim saatleri ve grafiği	32
Şekil 28	Stand-alone sistem donanımları seçim sayfası	33
Şekil 29	PV panel ve dizilerinin arazide yerleşimi	34
Şekil 30	Su ihtiyaç parametrelerinin belirlendiği ekran	35
Şekil 31	Kullanılacak pompa ekipmanının özelliklerinin girildiği ekran	36
Şekil 32	Güneş panellerinin çatı üstü yerleşim planı	37
Şekil 33	Çocuklar evi çatısı panel yerleşim görüntüsü	38
Şekil 34	Sistemde kullanılan inverter ve kontrol panosu	39
Şekil 35	İnverter Yazılımının (Fusion Solar) Ana Sayfa Görüntüsü	40
Şekil 36	Güneşli günde (a) parçalı bulutlu (b) günde pan. ürt. enj. grafiği	40
Şekil 37	PVsyst simülasyon raporu proje ve sistem özeti sayfası	42
Şekil 38	PVsyst sistem parametreleri tablosu	43
Şekil 39	Aylara göre kWp başına üretim ve kayıp miktarları	44
Şekil 40	Aylara göre performans grafiği	44
Şekil 41	Zamana göre tasarruf edilen CO ₂ miktarı grafiği	45
Şekil 42	Sistemin günlük çıkış enerji grafiği	45
Şekil 43	Sistemin yıllık kayıpları diyagramı	47
Şekil 44	Tesisin yıllık üretim grafiği	48
Şekil 45	Yıl içinde en fazla üretim yapan gün üretim grafiği	48

Şekil 46	Simülasyon ve gerçek üretim verileri karşılaştırma grafiği	50
Şekil 47	Çatı Eğimine göre üretim grafiği	50



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Enerji Kavramı

Enerji; genel anlamıyla bir canlı, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Her canlı bir iş yapabilmek, hareket etmek ve büyümek için enerjiye ihtiyaç duyar. Benzer şekilde makineler gibi cansız nesnelere de herhangi bir iş yapmak için yakıt kullanmak suretiyle enerji üretilir. Enerji doğada çok çeşitli formlarda bulunabilir. Örneğin hareket enerjisi, nükleer enerji, elektrik enerjisi, ısı enerjisi, ışık enerjisi, biyoenerji gibi enerji formları, bir iş yapmak için olduğu gibi kullanılabilirliği gibi birbirlerine dönüştürülerek de kullanılabilir (Baştaş, 2021).

Dünyada gün geçtikçe artan enerji ihtiyacını karşılamak adına birçok farklı enerji kaynağı kullanılmak suretiyle yoğun bir enerji üretim faaliyeti yürütülmektedir. Bu kaynaklar geleneksel kaynaklar olarak da adlandırılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar olabildikleri gibi güneş, rüzgar, su gibi yenilenebilir kaynaklar da olabilmektedir. Geleneksel yakıtlar kullanılarak yüksek güçte ve düzenli bir enerji elde edilebilmektedir. Ancak dünyada enerji ihtiyacının giderek artması, sonlu kaynak olarak tanımlanan fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarının daha yaygın olarak kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

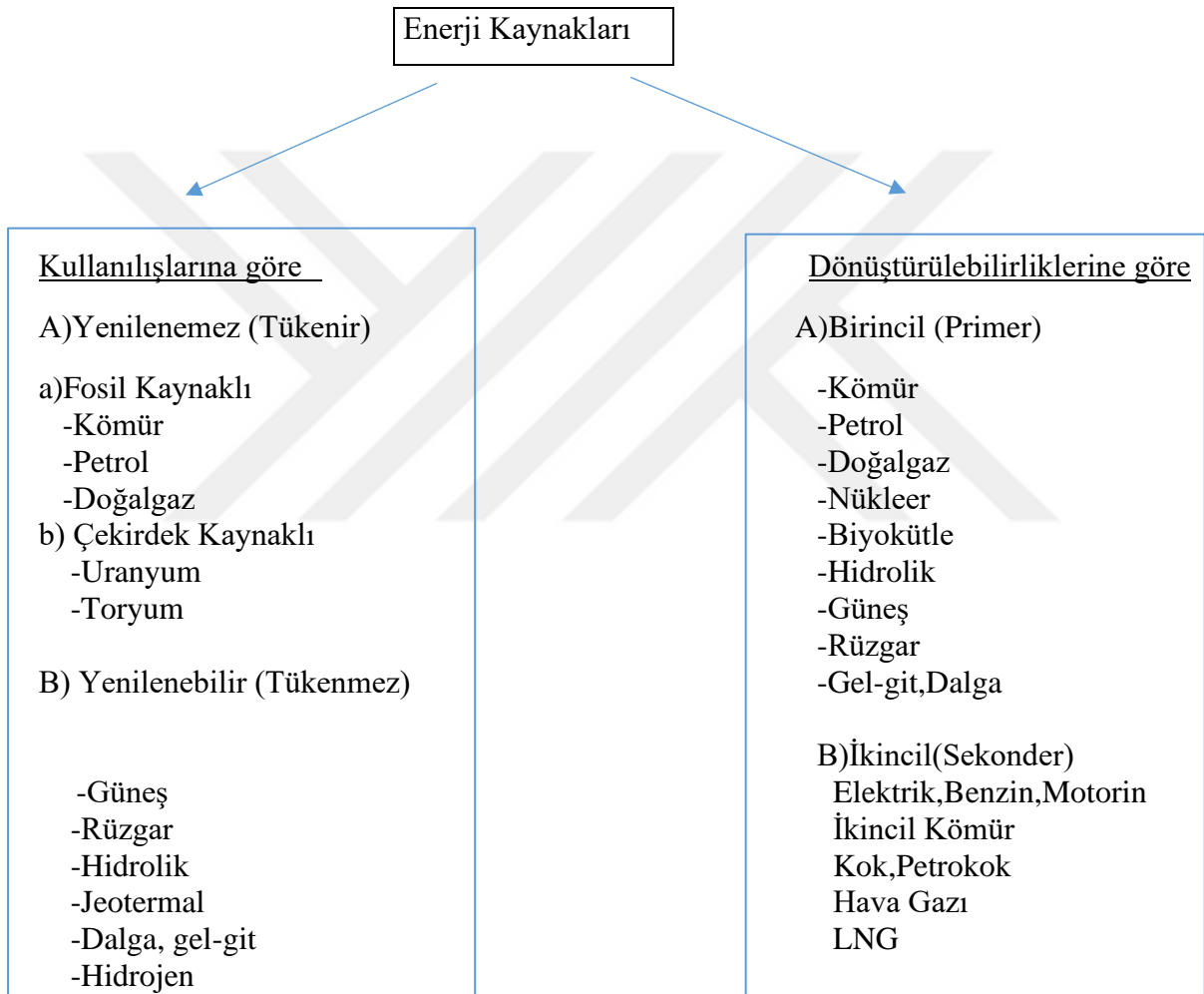
Bunun yanında fosil yakıtlardan enerji eldesi, yakma sonucunda sağlandığından, neticesinde ortaya CO₂ gazı çıkmakta ve yoğun miktarda fosil yakıt kullanımını çevresel olarak ciddi zararlara yol açmaktadır (Aksangör, 2019).

1.1.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Günümüzde enerji kaynaklarını sınıflandırırken, 2 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, dönüştürülebilirliklerine göre birincil(primer) ve ikincil(sekonder) enerji kaynaklarıdır. Birincil kaynaklar, petrol, kömür, güneş, rüzgar gibi henüz dönüşüme uğramamış haliyle enerji kaynakları, sekonder kaynaklar ise birincil kaynağın

dönüştürülmesi ile elde edilen benzin, mazot, elektrik gibi enerji kaynaklarıdır. Şekil 1’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir (Koç, 2013).

Diğer bir sınıflandırma yöntemi de yenilenebilir yapıda olup olmamasına göre yapılan sınıflandırmadır. Güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle gibi kaynaklar yenilenebilir kategoride yer alırken, fosil kaynaklar oluşma süresi dikkate alındığında yenilenemez kaynaklar olarak değerlendirilir (Koç, 2015).

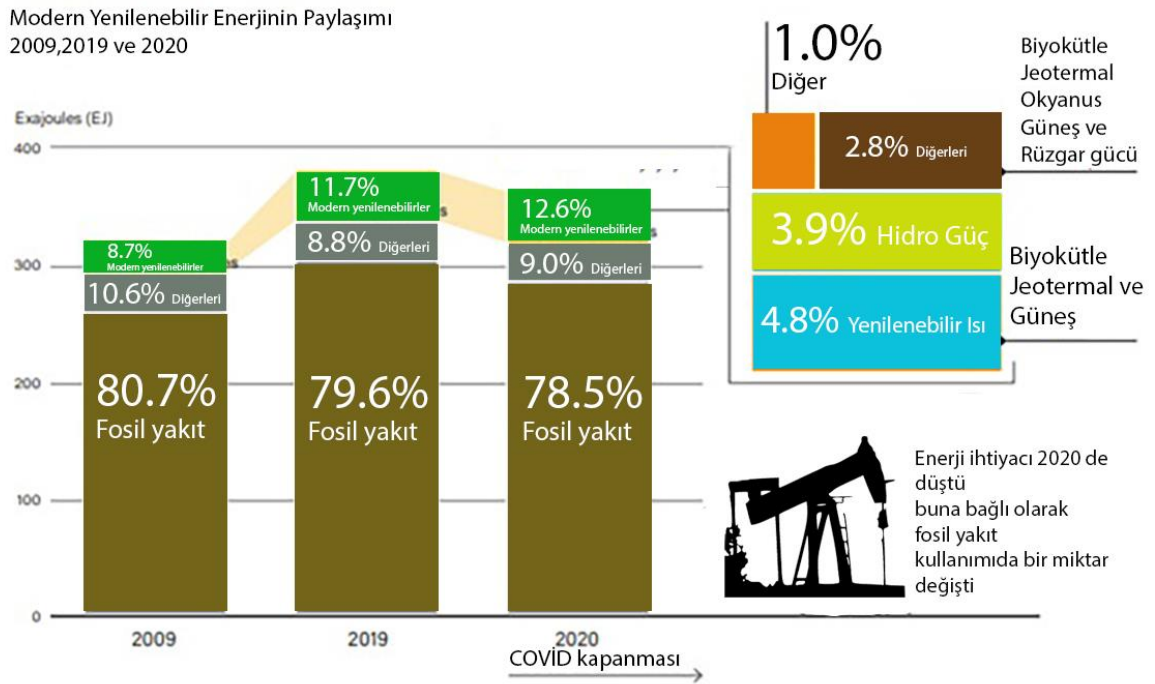


Şekil 1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması (Koç, 2013)

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, adından da anlaşılacağı üzere sürekli kendini yenileyen, tükenmeyen doğal enerji kaynaklarıdır. Rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle, jeotermal, dalga ve akıntı başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarını oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde ülkelerin enerji politikalarında oldukça popüler bir konu haline almıştır. Bunun sebebi yenilenebilir enerji kaynaklarının sonsuz bir kaynak olması ve çevreye zararlı olan karbon salınımının çok düşük olmasının yanında yerli kaynak oluşu sayesinde enerjide dışa bağımlılığı azaltması olarak gösterilebilir (Karagöl ve Kavaz, 2017).



Şekil 2. Dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre yüzdesel dağılımı
(REN21, 2022)

Şekil 2’de Dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre yüzdesel dağılımı görülmektedir. Bu verilere göre modern yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı 2009 yılında %8,7 iken 2020 yılına gelindiğinde %12,6 ‘ya yükselmiştir.

Rüzgar Enerjisi

Tanım olarak rüzgar, havada oluşan alçak basınç merkezleri ile yüksek basınç merkezleri arasında oluşan hava akımıdır. Basınç farkları arttıkça rüzgarın şiddeti de artar. Rüzgar enerjisi ise oluşan bu hava akımının iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır ('Rüzgar Enerjisi', 2022).

Çok eski çağlardan beri insanoğlu rüzgarı bir enerji kaynağı olarak kullanmaktadır. Yel değirmenleri, rüzgarlı su pompaları, yelkenli gemiler buna örnek olarak gösterilebilir. Günümüzde halen zaman zaman rastlanan yelkenli gemilerin tarihi en az 5500 yıl öncesine dayanmaktadır. Yer altından su çıkarmaya yarayan rüzgarlı su pompaları ve tarımsal ürünlerin öğütülmesine yarayan yel değirmenleri ise sanayi devriminden sonra yerlerini yavaş yavaş motorlu sistemlere bırakmıştır (Şenol, 2017). Şekil 3' de geçmişten günümüze rüzgar enerjisinin kullanım alanlarından bazıları gösterilmiştir.

Günümüzde Rüzgar enerjisi en yoğun şekliyle elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Rüzgar türbini tarihte ilk kez 1890 yılında Amerika'da General Electric firması tarafından yapılmıştır. Sonrasında 20. Yüzyılda denemeler sıklaşmış, daha büyük güçte elektrik üretimi sağlamak adına gerek türbin yapısı gerekse rotor çapı ve kanat yapısı geliştirilerek günümüz teknolojisine adım adım gelinmiştir (Şenol , 2017).



Şekil 3. Geçmişten günümüze rüzgâr enerjisinin kullanımı

Hidrolik Enerji

Su, dünya var olduğundan beri, tüm canlılar için vazgeçilmez bir yaşam unsuru olmuştur. İlk çağlarda insanlar suyu tatlı su ihtiyaçları ve tarımsal faaliyetler için kullanmışlar, zaman geçtikte ve teknoloji geliştikçe dünyanın dörtte üçünü kaplayan suyu, üretim, ulaşım, sanayi ve enerji gibi pek çok alanda kullanmaya başlamışlardır. Sudaki enerji potansiyelinin fark edilmesi çok öncelere dayansa da elektrik enerjisi üretiminde kullanılma çalışmaları 19.yüzyılın sonlarına doğru başlamıştır (Dinçer, Atik, Yılmaz ve Çıngı, 2017).

Sudan elektrik üretmek prensip olarak, suyun potansiyel enerjisini kinetiğe çevirmek suretiyle gerçekleşmektedir. Akan suyun önüne set çekerek su yüksekliği arttırılmakta, biriken suyun sahip olduğu potansiyel enerji, bir kanal vasıtasıyla daha düşük kotta bulunan türbine yönlendirilmekte, kanalda hızlanan ve kinetik enerjisi artan suyun türbin

kanatlarını döndürmek suretiyle elektrik enerjisi üretmesi sağlanmaktadır (Dinçer, Atik, Yılmaz ve Çingı, 2017).



Şekil 4. Hidroelektrik barajı görüntüsü (*Baraj Resimleri,2022*)

Su kaynaklı enerji üretimi sadece nehir üzerine kurulan barajlar ile sınırlı değildir. Direkt akarsu üzerine kurulan türbinler, denizlerde gel-git etkisiyle oluşan su hareketinden yararlanılarak elektrik üreten sistemler, dalga enerjisinden yararlanılarak elektrik üreten sistemler gibi çok çeşitli hidrolik kaynaklı enerji üretim metodu kullanılmaktadır.

Jeotermal Enerji

Jeotermal, tanım olarak yerkabuğunun derinliklerinde birikmiş olan, sıcaklığı bölgesel sıcaklık ortalamasının üstünde olup içerik olarak erimiş mineraller, çeşitli tuz ve gazlar içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhardır. Jeotermal enerji de bu ısının oluşturduğu enerji türüne verilen addır.

Jeotermal kaynaklar, içermiş oldukları akışkanın sıcaklığına göre sınıflandırılmaktadır. (Düşük entalpili, orta entalpili, yüksek entalpili)

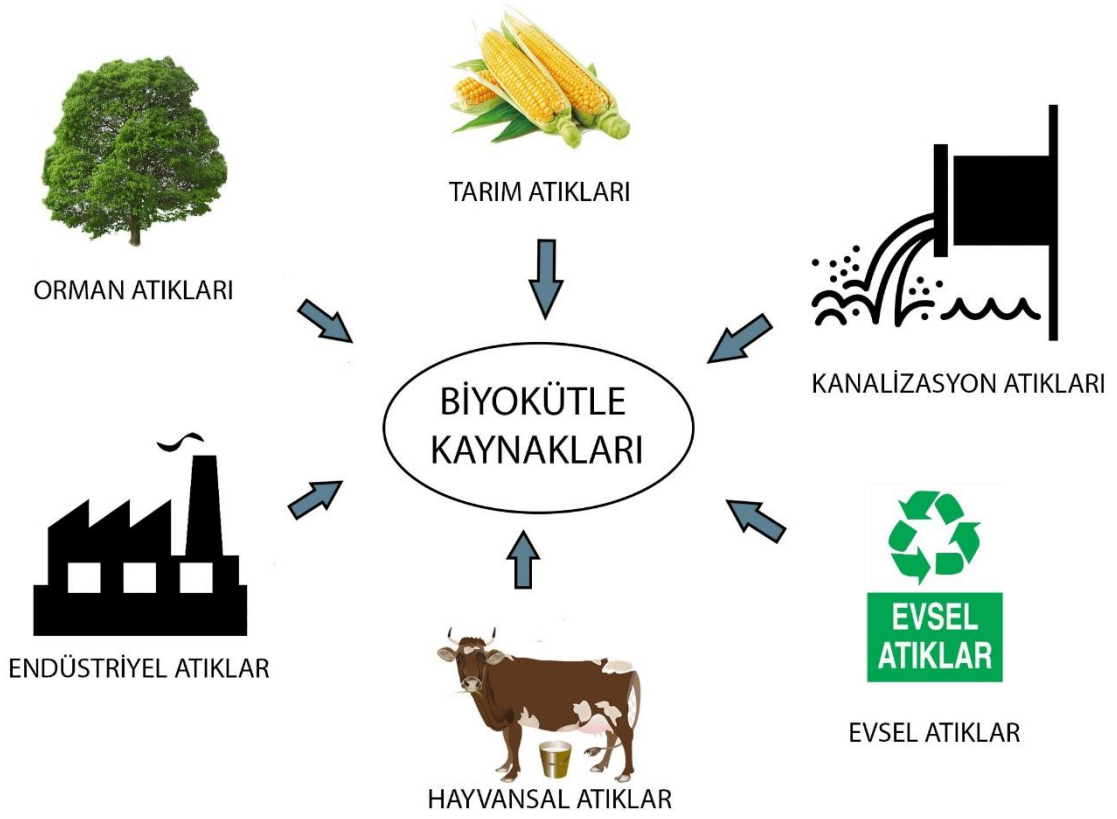
Jeotermal enerji günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları konut ısıtma, tarımda sera ısıtma, kaplıcalar, çeşitli endüstriyel alanlar (konservencilik, kağıt, dokuma ve boyamacılık vs.) ve elektrik üretim tesisleridir (Erkul, 2012).

Elektrik Üretiminde kullanılan jeotermal enerji santralleri, jeotermal rezervuarın akışkan sıcaklığına (entalpi değerine) göre farklı tiplerde tesis edilir. Yüksek akışkan sıcaklıklı tesislerde 'Flash' tipi santral kullanılırken, orta ve düşük akışkan sıcaklıklı tesislerde 'İki Akışkan Çevrimli' santral tipi kullanılmaktadır.

Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, 100 yıldan daha kısa sürede yenilenen, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kitlesi şeklinde tanımlanmaktadır. Biyokütle Enerjisi ise dünya üzerinde yaşayan çeşitli canlıların vücutlarında depolanmış ya da artık ve atıklarında bulunan kimyasal bağ enerjisi olarak tanımlanır. İnsanların biyokütle enerjisini kullanmaları çok eski çağlara kadar dayanmaktadır. İlk olarak ısınma ve pişirme amacıyla kullanılan biyokütle enerjisi, günümüzde elektrik üretimi hammaddesi olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle, direkt yakıt olarak kullanılabilmesi gibi, farklı katı, sıvı, gaz maddelere dönüştürülerek biyoyakıt olarak da kullanılabilir. Biyokütlenin farklı madde formlarına dönüştürülerek kullanılabilmesi için modern tesislere ihtiyaç duyulmaktadır (İllez, 2020).



Şekil 5. Biyokütle kaynakları

Biyokütle kaynakları; bitkisel kaynaklar, hayvansal kaynaklar ve şehir ve endüstriyel atık kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Şekil 5’de biyokütle kaynakları gösterilmiştir. Bitkisel kaynaklar direkt yakacak olarak kullanılabilirdiği gibi işlenmesi suretiyle asetik ve formik asit, metanol, aseton, etil alkol, metil alkol gibi maddeler de elde edilmektedir. Hayvansal biyoküteller (gübre), oksijensiz ortamda fermentasyon işlemine tabi tutularak biyogaz üretimine olanak sağlamaktadır. Evsel ve endüstriyel atıklar da gelişmiş tesislerde işlenerek metan gazı eldesinde kullanılır. Biyokütleden elde edilen biyogaz, entegre elektrik üretim tesisinde elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. (Yolcu, 2019).

1.2. Güneş Enerjisi

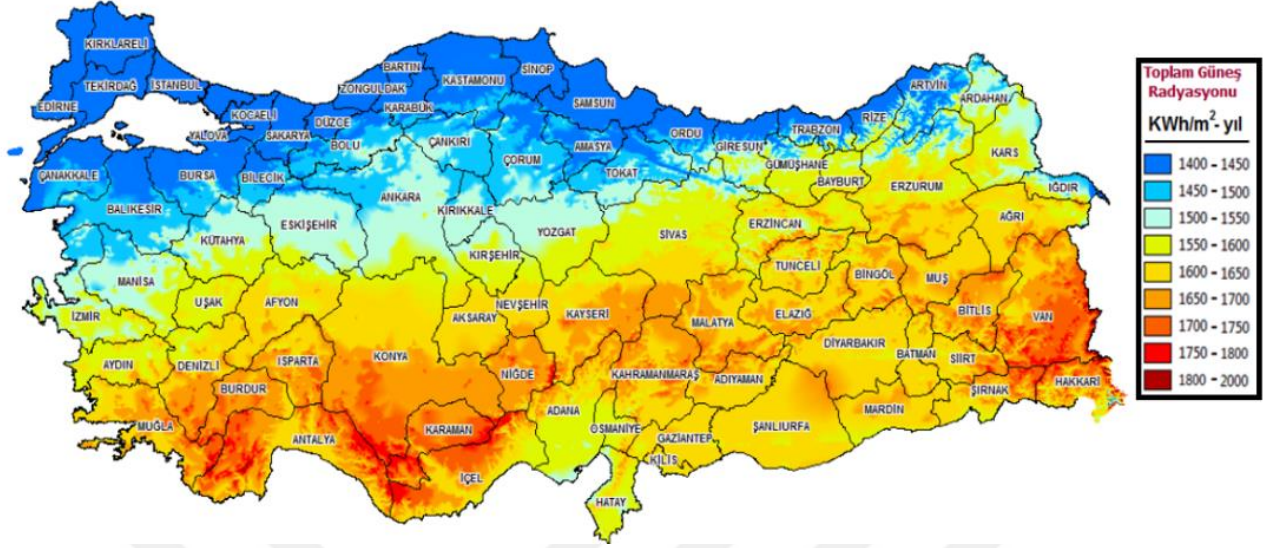
Güneş, güneş sisteminin merkezinde olan ve dünyaya en yakın konumda bulunan yıldızdır. Çapı yaklaşık 1.5 milyon km (dünyanın çapının 109 katı) olup yoğunluk olarak dünyanın yoğunluğunun ¼'ü kadar olsa da toplam kütle olarak 333bin katı kadardır. Yapısında sıcak gazlar vardır. Oransal olarak %73,46 hidrojen, %24,85 helyum, kalan %2'lik kısmı oksijen, karbon, azot ve gaz halindeki birtakım elementlerden oluşur. Güneşin bünyesinde gerçekleşen nükleer füzyon reaksiyonları sonucunda (hidrojenin helyuma dönüşmesi) yüksek yoğunlukta enerji açığa çıkar. Bu enerji ısı ve ışık şeklinde radyasyon yayar. Uzayda yayılan bu enerjinin bir kısmı da dünyaya kadar ulaşır ve dünyada yaşamın temel kaynağını oluşturur (Güneş, 2022).

Güneşten yayılan enerjinin dünya atmosferi yüzeyindeki şiddeti 1370 Watt/m² dir. Atmosferi geçerek dünya yüzeyine geldiğinde ise 0-1100 Watt/m² lik bir enerjiye sahiptir. Bu enerji, dünyanın yüzey genişliği ve güneş kaynağının sonsuz oluşu düşünüldüğünde çok büyük bir kaynak olduğu ortadadır. Bitkiler güneş ışınları sayesinde fotosentez yaparak karbondioksit ve su kullanmak suretiyle oksijen ve şeker üretir. Dünya üzerindeki yaşam döngüsünde güneş alternatifsiz bir kaynaktır. Nükleer enerji dışındaki tüm enerji kaynaklarının direkt ya da dolaylı olarak kaynağı güneştir (Benli, 2018).

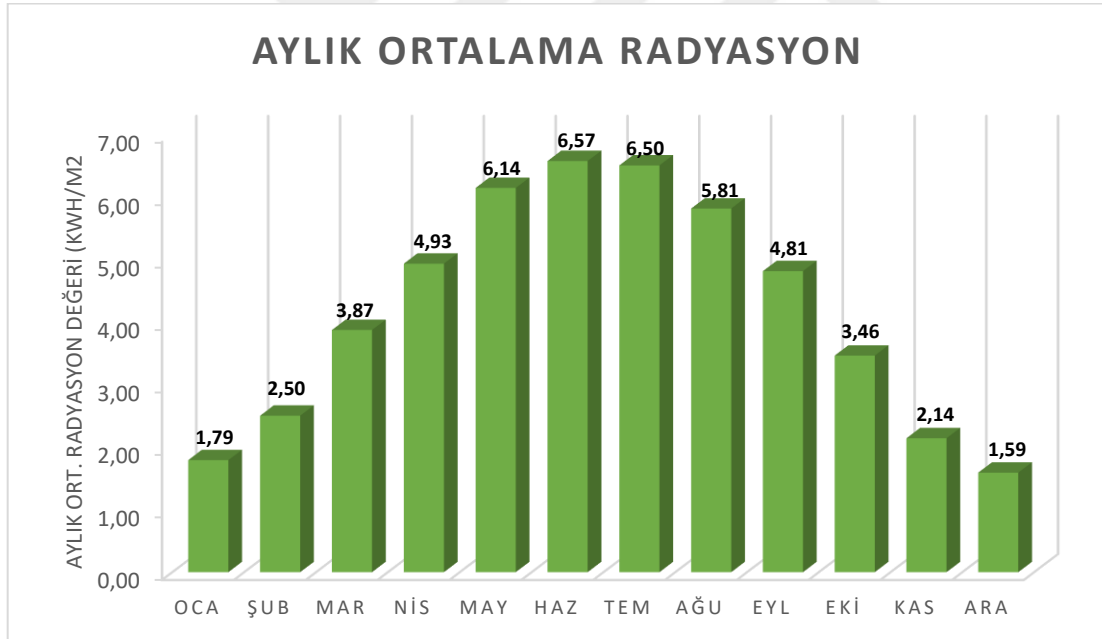
1.2.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye kuzey yarım kürede, 36. ve 42. enlemler arasında yer almakta olup güneşlenme süresi olarak oldukça avantajlı bir konumdadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, ortalama ışınım değeri ise 1527,46 kWh/m² dir.

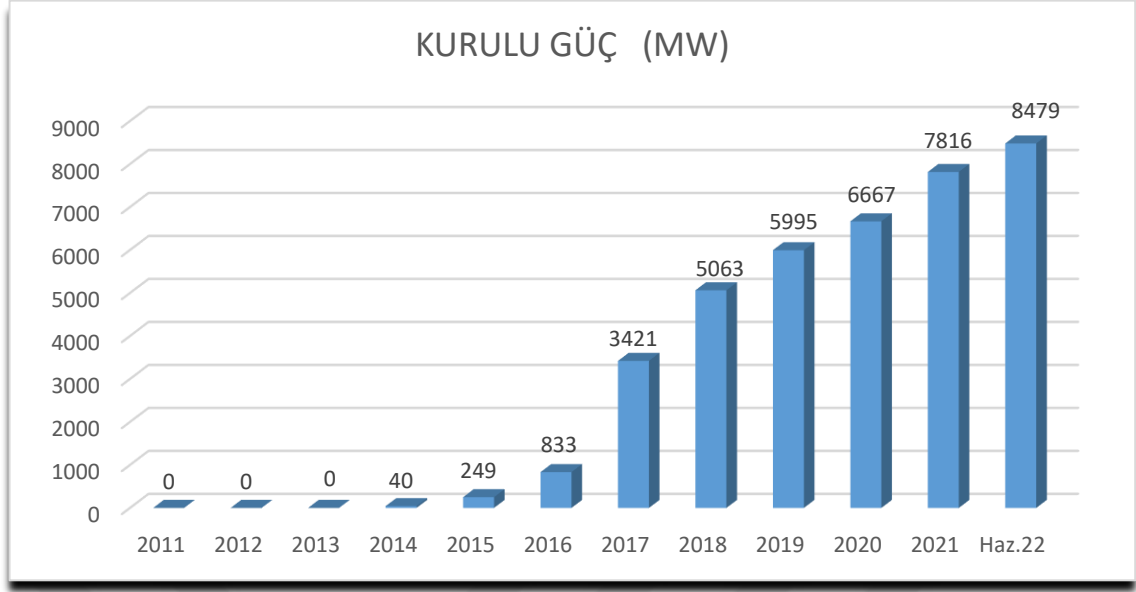


Şekil 6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (Gepa, 2022)



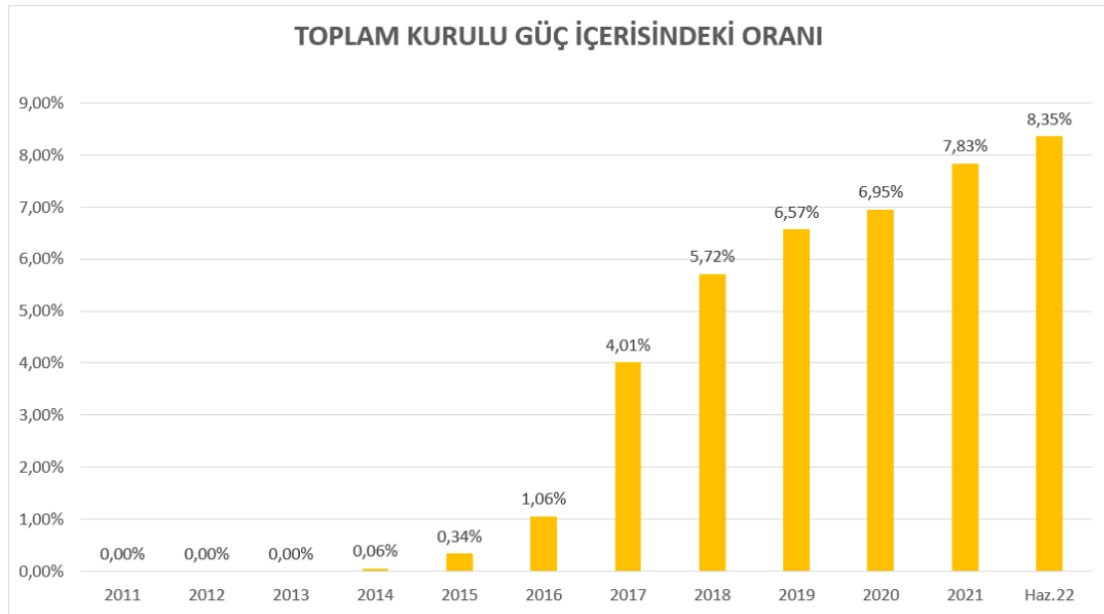
Şekil 7. Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon dağılımı
(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Yukarıdaki grafikte Türkiye'nin aylara göre ortalama global güneş radyasyonu dağılımı verilmiştir. Buna göre Türkiye güneş ışınını en fazla haziran ayında (6,57kWh/m²), en düşük de aralık ayında (1,59kWh/m²) almaktadır.



Şekil 8 Türkiye Güneş Enerjisi Santrali (GES) Kurulu Güç Tablosu
(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Şekil 8’de Türkiye’nin güneşe dayalı elektrik üretimi anlamında kurulu güç tablosu verilmiştir. Tabloya göre güneşten elektrik üretiminin ülkemiz için yeni bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir. İlk kez 2014 yılında üretime başlayan güneş enerjisi santralleri (GES), her yıl hızla artmış ve 2014’de 40MW ile başlayan kurulu güç tesisi, 2022 Haziran ayı itibarı ile 8479 MW’ a ulaşmıştır.

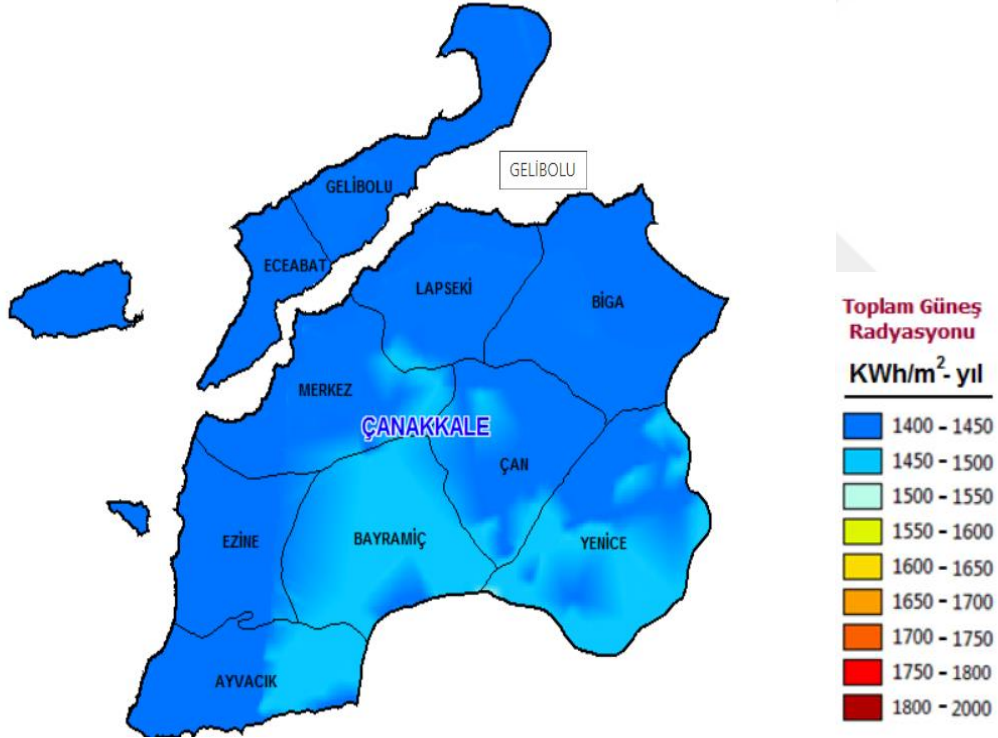


Şekil 9. Türkiye GES Kurulu Gücünün Toplam Kurulu Güce Oranı Grafiği
(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi kurulu gücünün, ülkenin toplam elektrik üretim kurulu gücüne oranının yıllara göre gösterimi Şekil 9’da verilmiştir. Buna göre hızla artmakta olan GES yatırımları neticesinde 2022 haziran ayı itibarı ile GES kurulu gücünün, toplam kurulu güce oranı %8,35’i bulmuştur.

1.2.2. Çanakkale ilinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Çanakkale ili coğrafi olarak Türkiye’nin batı ucunda, 40. enlem üzerinde yer almaktadır. İlin güneşlenme potansiyelini gösteren harita Şekil 10’da gösterilmiştir. Buna göre Çanakkale ilinin toplam yıllık güneş radyasyonu miktarı 1400-1450 kWh/m² aralığındadır.



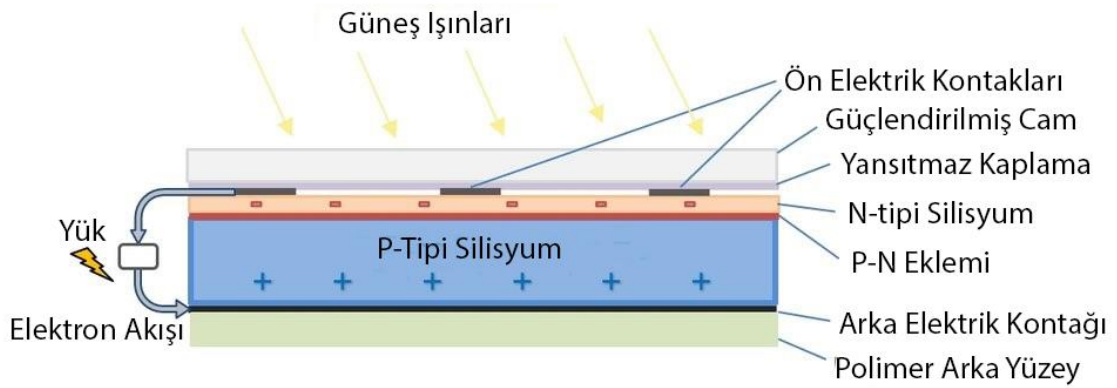
Şekil 10. Çanakkale ili güneş enerjisi potansiyeli (Gepa, 2022)

1.3. Fotovoltaik (PV) Sistemler

Güneş ışınlarındaki enerjiyi kullanarak doğrudan elektrik üreten sistemlere fotovoltaik sistemler denilmektedir. Fotovoltaik sistemleri oluşturan temel parçalar; fotovoltaik paneller(güneş panelleri), inverter, akü grupları, akü şarj kontrol cihazı ve bağlantı kablolarıdır.

Fotovoltaik teknolojisi yani güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürme tekniği tarihte ilk kez 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafından bulunmuştur. 1950'li yıllarda uzaya gönderilen araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk aşamalarda çok düşük verimlerde(<%1) olan güneş panelleri, teknoloji geliştikçe ve üretim kalitesi arttıkça yükselerek günümüzde %25 seviyelerine kadar gelmiştir (Aksangör, 2019). 1992 yılında Rio çevre zirvesinde hava kirliliğinin denetlenmesi zorunluluğunun kabul edilmesinden itibaren fotovoltaik panel yatırımlarında ve kullanımlarında patlama yaşanmıştır (Uçar, 2018).

1.3.1. Fotovoltaik (PV) Paneller



Şekil 11. Fotovoltaik(PV) panelin kesiti (Svarc, 2020)

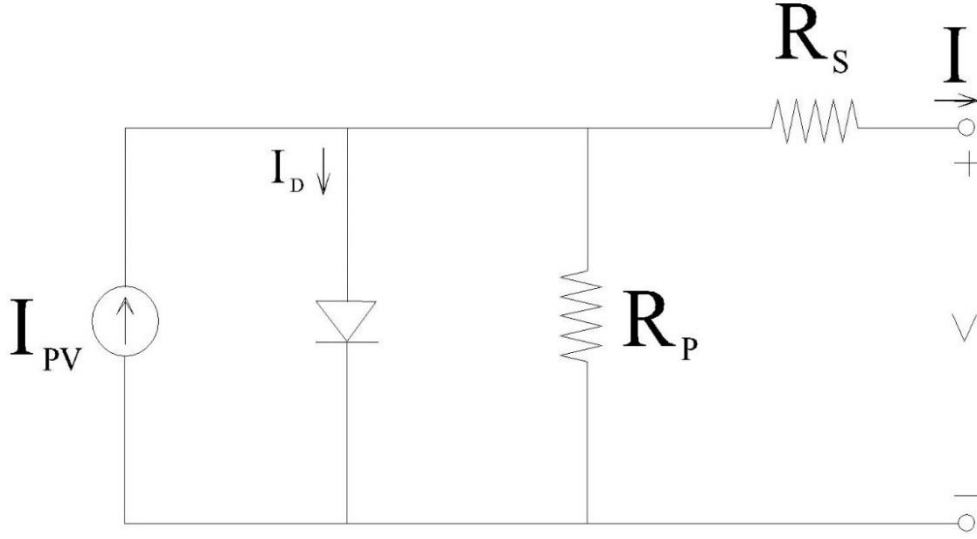
Fotovoltaik panellerin yapı taşı yarı iletken malzemeden oluşan güneş hücreleridir. Güneş hücreleri belli bir düzende birleştirilerek modülleri oluşturur. Modüller kendi aralarında seri paralel bağlanmak suretiyle panelleri oluşturur. Panellerin boyutları tasarıma göre değişiklik gösterir. Belirli sayıda panelin yine seri ve paralel bağlanması ile oluşan yapıya dizi denilmektedir. Piyasada çok çeşitli ebatlarda ve güçlerde ürünler bulunmaktadır (Çınaroğlu, 2021).



Şekil 12. Fotovoltaik modüllerin robotik makinelerde birleştirilmesi

Fotovoltaik hücreler yapısal olarak artı ve eksi kutuplara sahip iki yarı iletken katmandan oluşur. Bu katmanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmium tellür gibi maddelerden imal edilmektedir. (Aksangör, 2019) Şekil-10’da bir güneş panelinin kesiti görülmektedir. Panelin elektrik üretimi, negatif kutba çarpan güneş fotonlarının yüzeyden kopardığı elektronun iletken bağlantı üzerinden pozitif kutba doğru ilerlemesi prensibine dayanır. Işık şiddeti arttıkça yüzeyden kopan elektron miktarı da artar dolayısıyla üretilen enerji miktarı da artar. Kopan elektronların oluşturduğu elektrik akımı panel yüzeyinde oluşturulan taşıma iletkenleri vasıtası ile toplanarak dizilerin çıkışında tek kablo üzerinden iletilir. Üretilen elektrik enerjisi, doğru akım (DC) formundadır (‘Fotovoltaik panel yapısı nasıldır’, 2022).

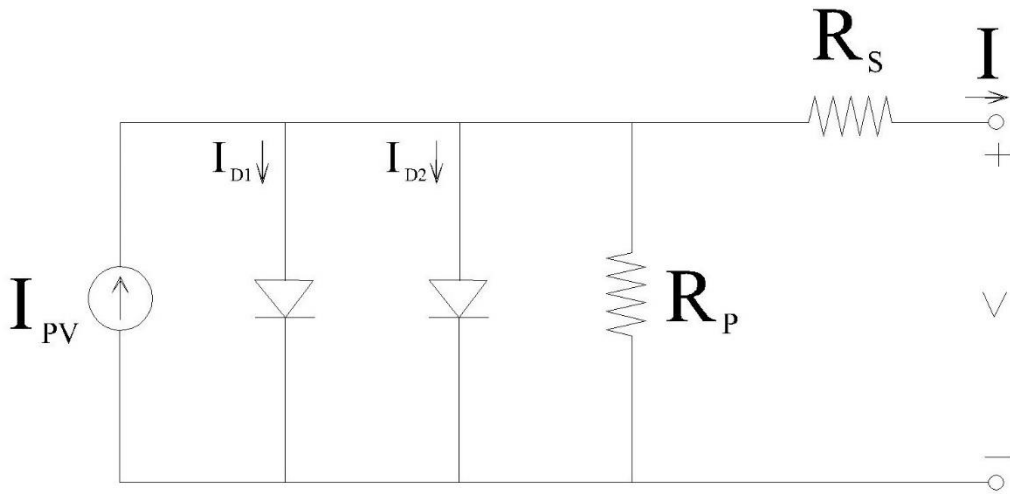
PV Eşdeğer Devre Modelleri



Şekil 13. PV hücreye ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli

Şekil 13’ de PV hücrelere ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Burada R_s , PV hücrede oluşan gerilim düşümünü, R_p ise hücrede oluşan kaçak akımları ifade etmektedir. I_{PV} güneş ışığı vasıtasıyla PV hücrede oluşan elektrik akımını göstermektedir. Denklem 1.1’e göre hücrenin çıkış akımı eşitliği verilmiştir (Elma,2011).

$$I_{PV} - I_D - I_P - I = 0 \quad (1.1)$$



Şekil 14. PV hücreye ait çift diyotlu eşdeğer devre modeli

Şekil 14’de PV hücelere ait çift diyotlu eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Denklem 1.2’e göre hücreye ait çıkış akımı eşitliği verilmiştir. (Yavuz,2019).

$$I = I_{PV} - I_{D1} - I_{D2} - \frac{(V + I R_s)}{R_p} \quad (1.2)$$

Fotovoltaik paneller, imalatında kullanılan yarı iletken malzemelerin türüne göre sınıflandırılır. Doğada bol miktarda bulunması nedeniyle yaygın olarak kullanılan madde silisyumdur. Silisyum paneller kristal yapısına göre monokristal ve polikristal paneller olarak ikiye ayrılır.



Şekil 15. Silisyum hammaddesinden fotovoltaik hücre yapım aşamaları (Girgin, 2011)

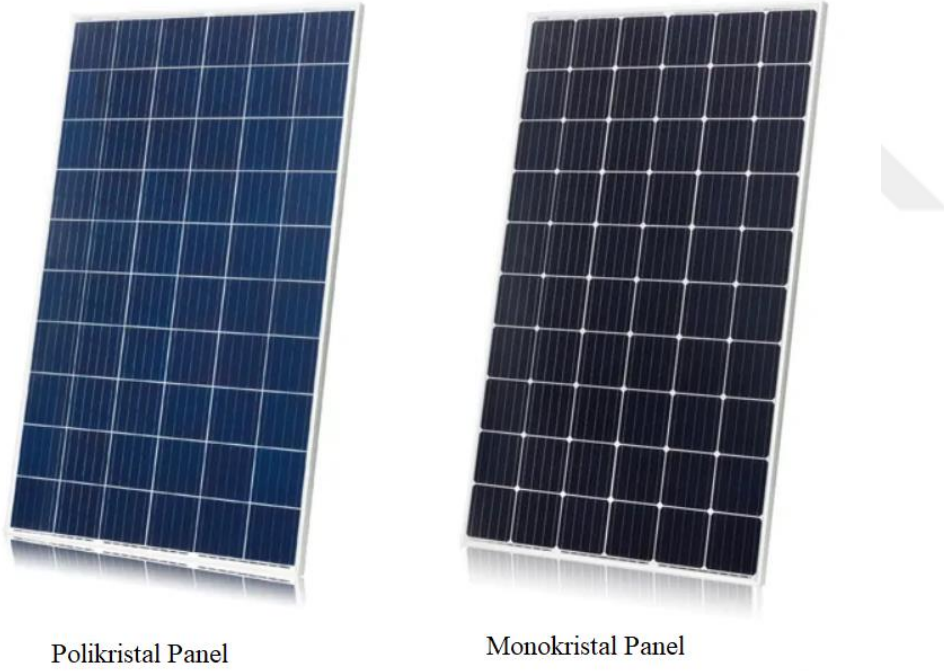
Şekil 15’ de kristal yapıli silisyum hammaddesinden fotovoltaik hücre yapım aşamaları verilmiştir.

Monokristal PV Paneller

İçerik olarak homojen yapıda yüksek saflıkta silisyum kristallerinden oluşan PV hücreleri içerirler. Verimleri yüksektir ancak daha gelişmiş üretim teknolojisi kullanıldığından maliyeti de yüksektir. Renkleri siyaha yakın koyu lacivettir (Uçar, 2018). Verimleri günümüzde %21-22 seviyelerine ulaşmıştır.

Polikristal PV Paneller

Üretim prosesi monokristal panellere göre daha kolay ve kısa sürelidir ancak verim olarak daha düşüktür. Verimleri %17-18 seviyelerindedir. Renk olarak daha açık tonda lacivettir (Benli, 2018).



Şekil 16. Monokristal ve polikristal PV panel görüntüsü

Monokristal ve polikristal paneller dışında esnek güneş paneli ve ince film güneş paneli teknolojileri de vardır. Ancak şu an verim seviyeleri yaygın olarak kullanılmasına engel olmaktadır. Özellikle esnek güneş panelleri kullanım kolaylığı ve eğimli yüzeylerde de kullanılabilme özelliği nedeniyle yüksek potansiyele sahiptir. Verimi makul seviyelere

ulaştığında sektörde önemli bir yer edineceği düşünülmektedir. Şekil 16'da monokristal ve polikristal PV panellerin görünüşü verilmiştir.

1.3.2. İnverterler

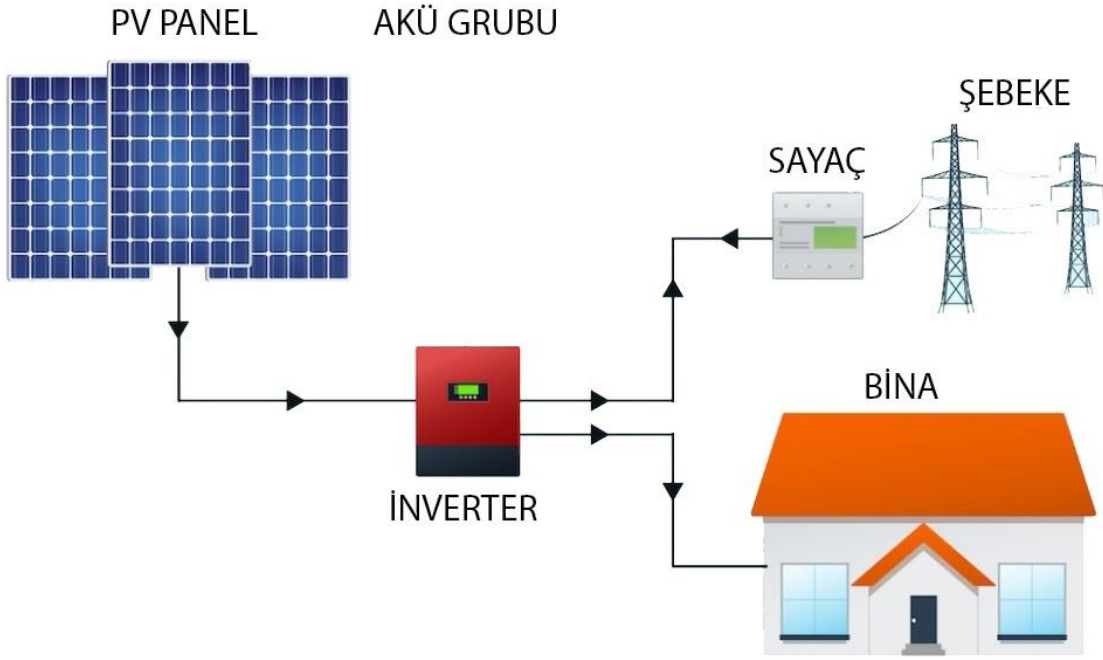
Fotovoltaik panellerde üretilen elektrik, doğru akım (DC) formundadır. Konutlar ve diğer yapılarda kullanılan elektrik alternatif akım(AC) formunda olduğu için PV sistemlerde üretilen elektriği kullanıma uygun forma getirmek için inverter (evirici) cihazları kullanılır.

PV sistemlerinde kullanılan inverterler yapısal olarak merkezi inverterler ve dizi tipi inverterler olmak üzere ikiye ayrılır. Merkezi inverterlerin maliyeti düşük, verimleri yüksektir ama yapısı itibarı ile arıza durumunda sistemin tamamı devre dışı kalması söz konusudur. Dizi inverterlerde PV paneller daha küçük kümeler halinde bulunur ve bu kümeler yani dizilerin bağlı olduğu MPPT denilen inverter donanımları mevcuttur. Günümüzde evirici verimleri %98 seviyelerinin üzerine çıkmıştır (Tekkale, 2018).

PV sistemlerde kullanılan inverterlerin ; şebekeye bağlı (on-grid) sistem inverterleri, şebekeden bağımsız (off-grid) sistem inverterleri ve hibrit sistem inverterleri olarak üç kullanım grubu vardır.

Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler

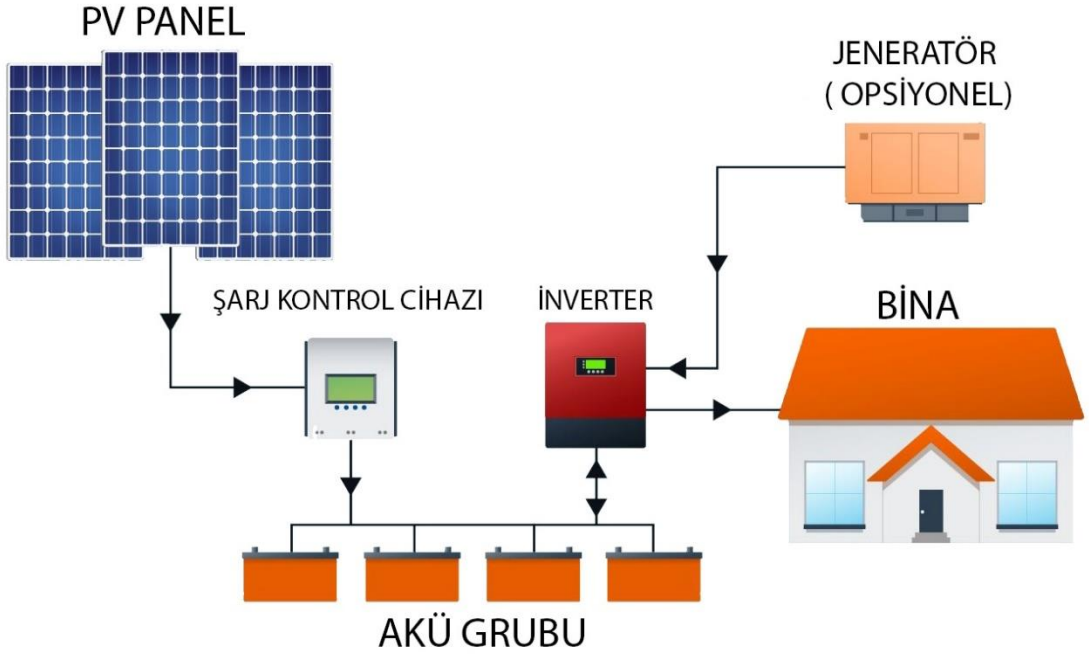
Şebekeye bağlı sistemler adından da anlaşılacağı gibi şehir şebekesine bağlı olarak dizayn edilen fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemlerde akü grupları bulunmaz. Üretilen enerji direkt olarak şebekeye verilir ya da kurulan tesis ya da yapıda kullanılan enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Enerji ihtiyacı üretilen elektrikten fazla ise eksik kalan enerji şebekeden takviye edilir. Üretilen enerji, ihtiyaçtan fazla olduğu durumlarda ise fazla enerji şebekeye basılır. Şebeke bağlantısına takılan çift yönlü elektrik sayacı ile bir fatura döneminde kullanım durumuna göre artı ya da eksi kullanım miktarı toplamı belirlenir. Eğer üretim, tüketimden fazla ise dağıtım şirketinden bedeli tahsil edilir. Bu sistemler akü grubu içermediklerinden işletme maliyetleri düşüktür.



Şekil 17. Şebekeye bağlı (on-grid) pv sistemi çalışma prensibi(solarreviews.com)

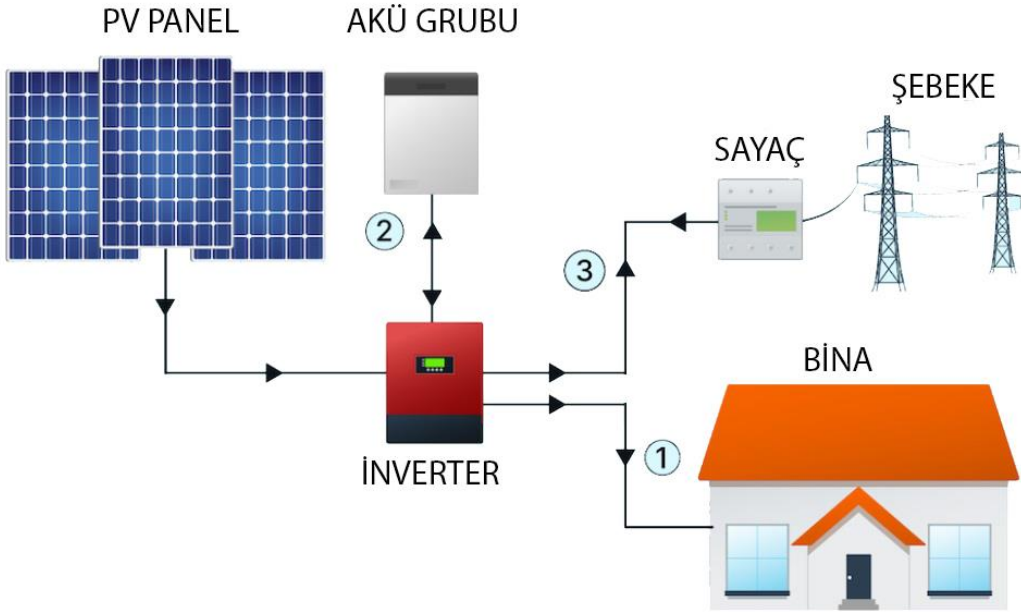
Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde paneller tarafından üretilen elektrik ile akü grupları şarj edilir. Yapı ya da kurulu sistem içerisinde tüketilen enerji akü gruplarından karşılanır. Aküler boşaldığında enerji kesilir. Bu sistemler, şebekeye ulaşma imkanı bulunmayan kırsal kesimlerde, tarımsal sulama pompa sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 18. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) pv sistemi çalışma prensibi (*solarreviews.com*)

Hibrit Fotovoltaik Sistemler



Şekil 19. Hibrit pv sistemler çalışma prensibi (*solarreviews.com*)

Kullanımı diğerleri kadar yaygın olmasa da hem şebeke bağlantısı olan hem de akü grupları içeren hibrit fotovoltaik sistemler de vardır. Bu sistemde, panellerin ürettiği elektrik, öncelikli olarak binanın tüketiminde kullanılmaktadır. Fazla gelen kısmı ile akü grupları şarj edilmekte, akü grupları dolduktan sonra şebekeye gönderilmektedir. Tüketimin üretimden fazla olduğu anlarda öncelikli olarak aküde depo edilmiş enerji kullanılmakta, o bittiğinde şebekeden kullanılmaya başlanılmaktadır. (Grid-tied, off-grid, and hybrid solar systems, 2022).

1.3.3. Akü Grupları

Aküler, elektrik enerjisini depolamaya yarayan donanımlardır. Bunu yaparken elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştür, gerektiğinde tekrar elektrik enerjisine çevirerek istenildiği zamanda kullanım olanağı sağlar. Akü grupları barındıran fotovoltaik sistemlerde gündüz saatlerinde üretilen enerji üretim olmayan saatlerde kullanılmak üzere akü gruplarında depo edilir (Turmuş, 2018).

PV sistemlerinde genellikle kurşun-asit aküler kullanılır. Kurşun-asit akülerin açık tip ve kapalı tip olmak üzere iki çeşidi vardır. Açık tip akülerde akü içerisindeki reaksiyonlardan dolayı saf su miktarı azalmaktadır ve belirli aralıklarda saf su ilavesi gerektirir. Kapalı tip akülerde ise akülerde böyle bir dolun ağzı yoktur. Bu nedenle bakımsız aküler olarak da adlandırılmaktadır (Aydöner, 2010).

PV sistemler için akü seçimi yaparken şu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Fayda/maliyet oranı
- Bakım gerektirip gerektirmemesi
- Kullanım ömür beklentisi
- Yüksek verim
- Akım şiddetine bakılmaksızın düşük şarj akımlarıyla şarj edilebilme
- Dış ortamdan etkilenme durumu
- İnsan sağlığına zararlı olup olmama durumu (Çataklı,2012).

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Literatür Taraması

Tezin ön hazırlık aşamasında yenilenebilir enerji kaynakları hakkında genel tarama yapılmış, çeşitli kaynaklar incelenmiştir. Sonrasında güneş enerjisinin kullanımı ve fotovoltaik sistemler ile ilgili tez çalışması, makale ve araştırma yazıları taranmış, dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Sektörel olarak yeni ve hızla gelişen bir alan olduğu için yakın tarihli çalışmalara odaklanılmıştır. Ardından, yapılan literatür taraması daha daraltılarak PvSyst programı ile ilgili çalışmalar irdelenmiş, hem genel hem de yerelde yapılan simulasyon çalışmalarına odaklanılmıştır.

Karagöl ve Kavaz çalışmalarında, Türkiye’de ve dünyada yenilenebilir enerjinin kullanımı konusunu işlemiş, diğer enerji kaynaklarına göre avantajlı yanlarına vurgu yapmıştır. Geçmişten günümüze artarak devam eden kullanım oranını rakamlarla açıklayarak, ileriki yıllar için bu gelişimin artması gerektiğini belirtmiş ve bu konuda yapılması gereken yasal düzenlemeler ve teşvikler hakkında önerilerde bulunmuşlardır (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Baştaş yaptığı çalışmasında, Türkiye özelinde yenilenebilir enerji konusunu işlemiş, sektördeki üretim değerleri ve yapılan yatırımları ilgili kurum ve organizasyonların raporlarına dayandırarak sunmuştur. Enerji arz güvenliği ve enerji kaynaklarının çeşitliliği konularında yenilenebilir enerjinin rolüne değinmiş, yenilenebilir enerjinin ulusal güvenliğe katkısını vurgulamıştır (Baştaş, 2021).

Renewables 2022 Global Status Report yayınında, kıta ve ülke bazında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını detaylı grafiklerle paylaşmıştır. Bu sektördeki potansiyeli kavrama anlamında faydalı olan çalışma, güneş enerjisi santralleri özelinde de güncel tabloları paylaşmıştır.

Soylu yaptığı çalışmasında, Türkiye’nin Konya ili için yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini analiz etmiştir. Bölgenin güneş enerjisi kapasitesine, kurulu

mevcut güneş enerjisi santrallerine değinmiş, ülkede yenilenebilir enerji alanında destek veren kurum ve kuruluşlar hakkında bilgi vermiştir (Soylu, 2019).

Benli çalışmasında, fotovoltaik panelleri mercek altına almış, klasik güneş panelleri(PV) ile termal güneş panelleri (PV-T) deneysel olarak karşılaştırmıştır. Güneş enerjisini hem elektrik üretmekte hem de su ısıtmakta kullanan termal güneş panellerinin Adana ili için klasik güneş panellerinden daha verimli olduğu sonucuna ulaşmıştır (Benli, 2018).

Şimşek çalışmasında, fotovoltaik sistemlerde verimliliği etkileyen faktörleri incelemiştir. PV sistemlerin kurulum aşamasında doğru tesis edilmesinin yanında kurulum sonrasında da düzenli takip ve bakımının yapılmasının, sistem verimi açısından kritik öneme sahip olduğu vurgulamıştır. Ankara’da faaliyet gösteren 2 adet güneş enerji santrali için sistem kayıplarını içeren veriler kullanılmış, Pvsyst sistemi ile de simule edilmek suretiyle kayıplar analiz edilmiştir (Şimşek, 2018).

Uçar çalışmasında, bina çatı ve cephelerinde kullanılan güneş panellerini incelemiş, Burdur ili için bina çatısında ve cephesinde kullanılabilecek farklı tipte montaj yöntemlerinin tahmini kayıplarını hesaplamış, mukayese etmiş, avantaj ve dezavantajlarını sıralamıştır. Cephe uygulamalarında bina estetiğinin de göz ardı edilmemesi gerektiğini vurgulamıştır (Uçar, 2018).

Schardt ve Heesen yapmış oldukları derleme çalışmasında, Avrupa’da 6 ülkede 32.744 çatı üstü PV sistemlerinin geniş bir zaman aralığında (2012-2019) verim ve performans analizini yapmıştır. Buna göre çatı üstü PV sistemlerden birim kurulu güce göre elde edilen kazanç miktarı çoktan aza doğru sırasıyla İtalya, Fransa, Almanya, Lüksemburg, Belçika ve Hollanda’daki tesisler olurken sistemlerin performans oranları tümünde yaklaşık olarak eşit çıkmıştır (Schardt ve Heesen, 2021).

Dal yapmış olduğu çalışmasında, güneş panellerindeki optimum eğim açısının verime etkisini incelemiştir. İnceleme için PVGIS ve Hottel&Woertz metodunu kullanmış ve mevsimlik ve aylık olarak hesaplanan optimum eğim açılarını karşılaştırmıştır. Bununla

beraber farklı periyotlarla panellerde yapılan açı değışikliği sayesinde yararlanılan güneş enerjisi miktarlarını da analiz etmiştir (Dal, 2021).

Kerem, Atik ve Bayram yapmış oldukları çalışmada sıcaklığın PV panellerin performansına etkisini incelemiştirlerdir. Özdeş iki panelin birine su soğutmalı sistem kurmuş ve iki panelin üretim verilerini belirli bir periyotta karşılaştırmıştır. Su soğutma sistemi kullanarak 5 günde %14,47 verim artışı elde edilmiştir (Kerem, 2020).

Demiryürek çalışmasında, Siirt ilinde faal olarak çalışmakta olan 200 kWp gücündeki Lebit Güneş Enerjisi Santralının üretim verilerini incelemiştir, Pvsyst programında simülasyon hazırlayarak bu verilerle karşılaştırma yapmıştır. Bunun dışında sistem kayıplarını simülasyon üzerinden ortaya koymuş, tesisin daha verimli olabilmesi adına birtakım çıkarımlar yapmıştır (Demiryürek, 2018).

Aksangör çalışmasında, Ankara ilinde kurulabilecek bir güneş enerjisi santralini Pvsyst programı ile kurgulayarak bir eğitim kampüsü içinde birtakım çatı uygulamaları simule etmiştir. Simulasyon çıktılarını yorumlayarak eğer böyle bir tesis kurulursa ne kadar üretim yapar, kampüse ekonomik katkısı ne olur, Ankara ili için mantıklı bir yatırım olur mu gibi sorulara yanıt aramıştır (Aksangör, 2019).

Kılıcı çalışmasında, farklı tipte fotovoltaik paneller kullanarak Pvsyst programı ile simule ettiği tasarımları mukayese etmiştir. Tek yüzeyli panel, çift yüzeyli panel, mevsimsel olarak açı değıştiren panel, tek eksenli güneş takip sistemli panel gibi farklı tipte tasarımları kıyaslamış ve verimlilikleri hakkında çıkarımlarda bulunmuştur. Ayrıca Kayseri ilinde 6 yıldır faaliyet gösteren bir güneş enerjisi santralının de üretim verilerini inceleyerek simülasyon uygulama verileri ile karşılaştırmıştır (Kılıcı, 2020).

Çınaroğlu, çalışmasında; Kilis ilinde mevcut kurulu 3 adet güneş enerjisi santralının son üç yıllık üretim verilerini kullanarak sistemlerin kıyaslamasını yapmış, Pvsyst programı ile sistemleri simule etmiştir. Ayrıca Kilis 7 Aralık Üniversitesinin herhangi bir bölgesine 1MW bir güneş enerjisi santrali kurulursa yatırım maliyetinin ne kadar olacağı, üretilen enerji miktarı ve ekonomik olarak getirisinin neler olacağı konusu incelemiştir (Çınaroğlu, 2021).

Baqir ve Channi çalışmasında, 10 yıl içinde güneş enerjisi santrallerine ciddi yatırım yapmayı planlayan Afganistan'da 700 kWp GES tesisi dizayn edip PVsyst ile simule ederek analizini yapmıştır. Güneşlenme süresi olarak çok avantajlı bir konumda olan bölgede, bu tesiste 1266MWh/yıl 'lık enerji üretimi sağlanabildiğini, performans oranının 0,797 olduğu sonucuna ulaşmıştır (Baqir ve Channi, 2021).

Shrivastava ve arkadaşları çalışmalarında , bir eğitim binası için bağımsız fotovoltaiik sistemi tasarlamıştır. Bunu yaparken öncelikli olarak binada duyulan enerji ihtiyacını referans almış ve buna göre bir sistem dizayn etmiştir. Teorik olarak oluşturduğu sistemi PVsyst programı ile simule etmiş ve verileri yorumlamıştır (Shrivastava, 2021).

Etcı çalışmasında, Konya ve Van illeri için PVsyst programı kullanarak iki tane güneş enerjisi santrali modellemiş, bu modellerin üretim verilerini program çıktıları üzerinden analiz etmiştir. Ayrıca modellemeyi hem sabit açılı hem de çift eksenli olarak yapmış ve il bazında üretilen enerjinin değişip değişmediği, güneş enerjisi santralının hangi ilde daha verimli olarak çalıştığı sorularına yanıt aramıştır (Etcı, 2022).

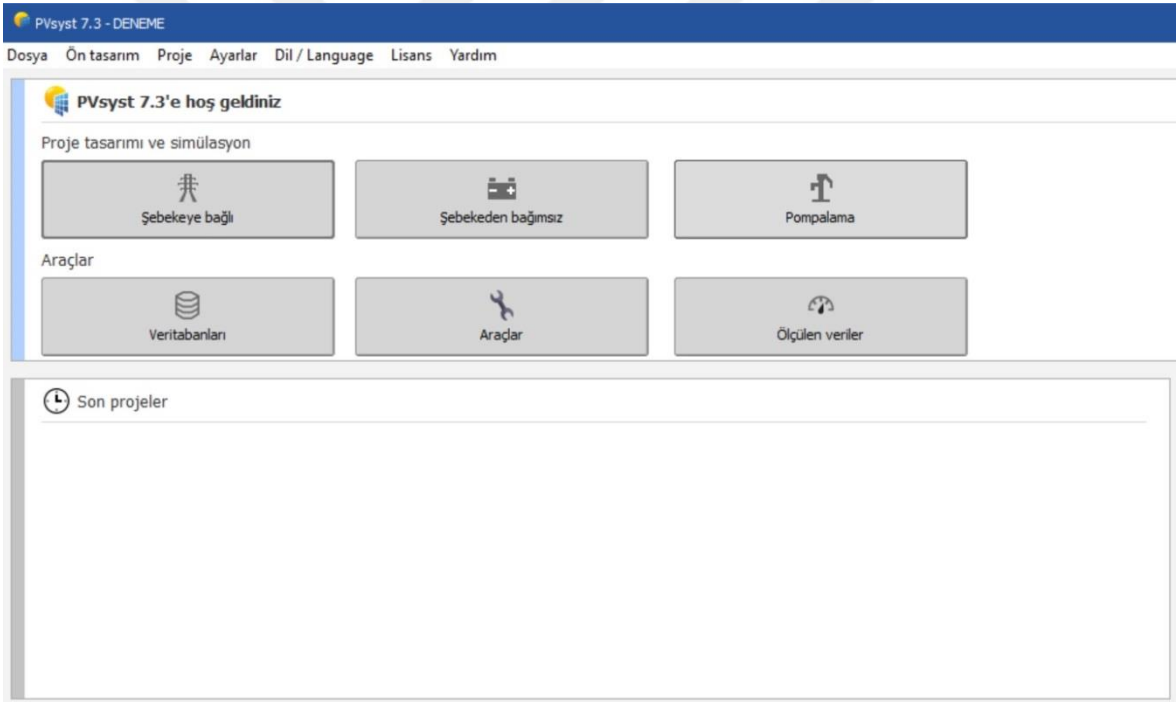
Yapılan literatür taramasında da görüleceği üzere güneş enerjisi santrallerinin tesis edilmesinden önce ve sonra çeşitli simülasyon programları kullanılarak sistemlerin üretim potansiyelini araştıran, mukayese eden bir takım çalışmalar yapılmıştır. PVsyst programı da doğruluk oranı yüksek bir simülasyon programı olarak birçok çalışmada kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların geneli, elektrik enerjisi üretim tesisi olarak planlanmış, geniş alanlarda, zemine kurulu profesyonel üretim yapan büyük güçlü santrallerin üretim verileri kullanılmak suretiyle hazırlanmıştır. Bazı çalışmalar da gerçekte bulunmayan ancak yapılırsa nerede ne kadar verimli çalışabileceğini araştıran çalışmalardır. Bu çalışmada, farklı olarak, bina çatısı üzerine tesis edilmiş olan küçük ölçekli sayılabilecek (64kWp) bir güneş enerjisi santralının PVsyst programı ile simülasyonu yapılarak 1 yıllık gerçek üretim verileri ile karşılaştırmak suretiyle analizi yapılmıştır. Ayrıca kullanılan üretim verileri, tesisin ilk devreye alınması ile birlikte başlayan süreci kapsamaktadır. Güneş panellerinin zaman geçtikte verimlerinin düştüğü bilinmektedir. O nedenle panellerin yeni olması, mukayese yaparken sağlıklı bir analizin yapılabilmesi için önemlidir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. PVsyst Programı

PVsyst, fotovoltaik sistemlerin çalışma performansını, günlük, aylık ve yıllık olarak analiz edebilen, kurulmuş ya da kurulacak bir sistemin, bölgesel meteorolojik verileri kullanmak suretiyle simülasyonunu yapmaya yarayan bir yazılım programıdır. Veri tabanında piyasada aktif olarak kullanılan çok sayıda donanımın teknik özelliklerini bulundurduğu için, sistem verilerini yüksek doğrulukta simüle edebilmektedir.

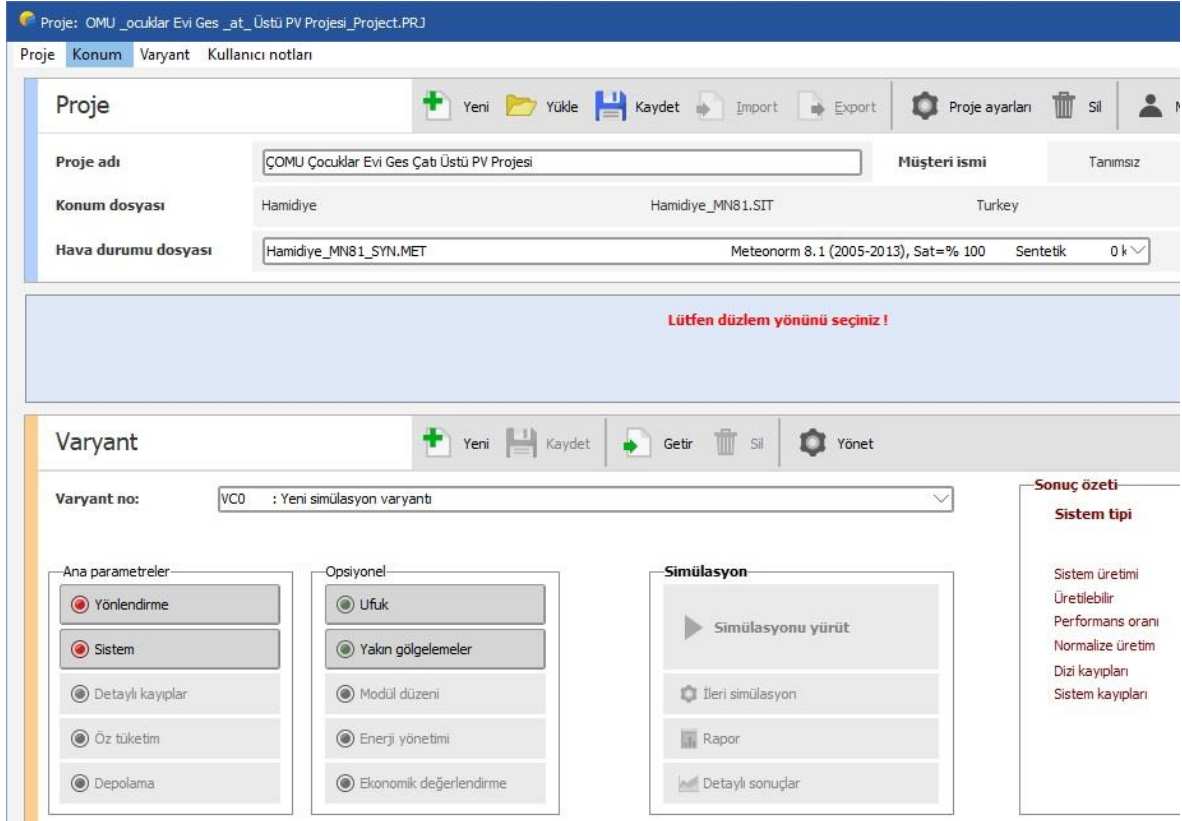


Şekil 20. PVsyst açılış sayfası

Program, internet üzerinden indirilebilen ücretli bir yazılımdır. Şekil 20’de görülen açılış sayfasında, tasarlanacak olan projenin tipi ve veri tabanında bulunan verilerle ilgili sekmeler bulunmakta olup 3 farklı proje tipi uygulaması yapılabilmektedir. Bunlar; şebekeye bağlı PV sistemler, şebekeden bağımsız PV sistemler ve PV su pompası sistemleridir.

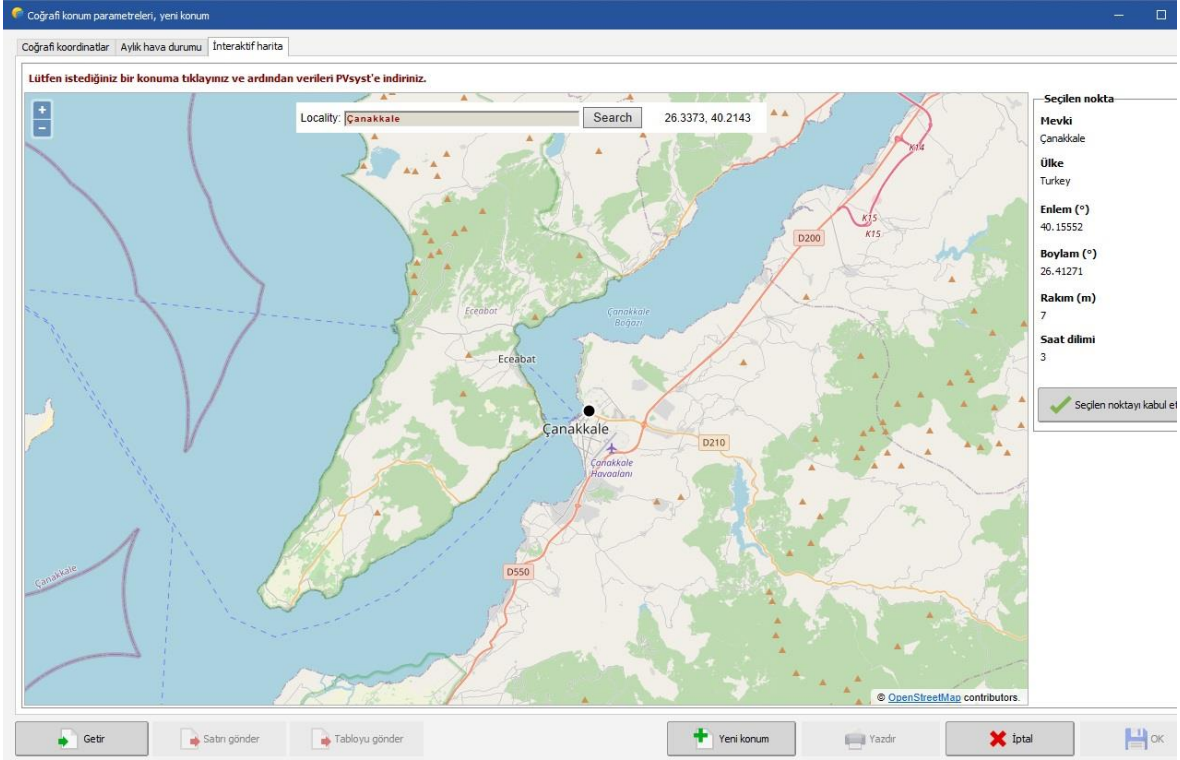
3.1.1.Şebekeye Bağlı PV Sistem Tasarımı

PVSyst programının sunduğu fotovoltaik sistem proje seçeneklerinden biri şebekeyle entegre sistem tasarımlarıdır. Burada, tasarlanan sistem, akü grubu barındırmayan, üretmiş olduğu enerjiyi direkt olarak şebekeye basabilen niteliktedir.



Şekil 21. PVSyst on-grid sistem proje ana sayfası

Şebekeye bağlı (On-grid) sistem projesi bölümüne girildiğinde oluşturulacak olan projenin verilerinin girileceği sekmelerin yer aldığı proje ana sayfası Şekil 21'de verilmiştir. Burada projenin yapılacağı konum, koordinat girilerek ya da harita üzerinden seçilerek belirlenir.



Şekil 22. PVsyst haritadan konum belirleme ekranı

Konum belirlendikten sonra bu konuma ait meteorolojik verilerin indirileceği kaynak seçilir. Bu bölümde aylık meteorolojik veri (güneşlenme, sıcaklık vs.) sağlayan birkaç farklı kaynak mevcuttur.

Şekil 22’de, seçilen bölgeye ait meteorolojik parametreler (birim alana gelen güneş enerjisi, sıcaklık, rüzgar vs.) aylara göre listelenir. Program bu verileri kullanarak sistemin üreteceği elektrik miktarının tahminini yapar.

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar Aylık hava durumu İnteraktif harita

Konum **Hamidiye (Türkiye)**

Veri kaynağı **Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=% 100**

	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Linke bulanıklığı	Bağıl nem
	kWh/m ² /ay	kWh/m ² /ay	°C	m/s	[-]	%
Ocak	58.8	24.5	5.1	2.99	3.042	85.2
Şubat	71.7	34.4	6.1	3.30	3.419	84.1
Mart	120.1	54.5	9.5	3.08	3.946	74.8
Nisan	157.5	75.8	13.4	2.50	4.617	71.2
Mayıs	211.5	79.3	19.1	2.40	3.997	66.2
Haziran	225.0	71.7	23.8	2.50	3.572	62.5
Temmuz	226.2	67.5	27.1	2.80	3.535	56.4
Ağustos	203.0	65.9	26.9	3.30	3.549	57.0
Eylül	148.8	53.6	21.1	2.71	3.545	67.4
Ekim	99.6	46.1	15.7	2.70	3.475	77.6
Kasım	60.9	32.1	11.5	2.79	3.275	82.0
Aralık	46.8	25.2	7.0	3.10	3.135	83.6
Yıl	1629.8	630.5	15.5	2.8	3.592	72.3

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 5.4%

Şekil 23. Coğrafi konuma göre aylık meteorolojik parametreler

Yönlendirme, Varyant "Yeni simülasyon varyantı"

Alan tipi Sabit eğik düzlem

Alan parametreleri

Düzlem eğimi 7.0 °

Azimut 20.0 °

Hızlı optimizasyon

Optimizasyon tipi

Yıllık ışınlama verimi

Yaz (Ağu-Eyl)

Kış (Eki-Mar)

Yıllık hava durumu verimi

Transpozisyon Faktörü FT **1.05**

Optimuma göre kayıp **% -8.8**

Kolektör düzleminde global **1717 kWh/m²**

Eğim 7°

Azimut 20°

Bati Doğu

Güney

Yıl

Düzlem eğimi

Düzlem yönlendirmesi

İptal OK

Şekil 24. PV panellerin konum bilgisi ekranı

Şekil 24’de, tasarlanan sistemde panellerin nasıl konumlandırılacağı hakkında bilgiler içeren ekran görülmektedir. Burada 2 farklı açı bilgisi istenmektedir. Eğiklik (tilt) açısı, panelin ter düzlemi ile yapacağı açıyı tarif eder. Azimuth açısı ise panel dizisinin güney yönü ile yapmış olduğu açıdır. Bu bilgiler, şebekeye bağlı sistemler ana sayfasındaki ‘orientation’ sekmesi içerisinde yer almakta olup simülasyonun çalışması için bu bilgilerin girilmesi gerekmektedir.

Sistem simülasyonunun yapılabilmesi için girilmesi zorunlu olan diğer parametreler, sistem sekmesi altında yer alan ve kullanılacak olan donanımların(PV panel, inverter) marka ve modelinin seçildiği kısımdadır. Şekil 25’de sistem menüsü görülmektedir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VC0: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

-Alt dizinin ismi ve yönü-
İsim: PV alanı
Yön: Sabit eğik düzlem
Eğim Azimut: 7° 20°

Ön boyutlandırma yardımı
 Boyutlandırmasız
 Boyutlandır
Planlanan gücü giriniz: 64.0 kWp
... veya mevcut alan(modül): 318 m²

PV modül seçimi
Mevcut: GTC Solar Turkey
Filtre: Tüm PV modüller
Çift yüzü modül: Çift yüzü sistem
400 Wp 35V Si-mono GG1H-400 Mono PERC bifi 72 2020 yılından beri Manufacturer 2021
Optimizier kullan:
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 35.3 V
Voc (-10°C) 54.9 V

İnvertör seçimi
Mevcut: Huawei Technologies
Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz
50 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-60KTL-M0 400Vac 2018 yılından beri
MPPT giriş sayısı: 5
Çalışma gerilimi: 200-1000 V
Kullanılan invertör gücü: 50.0 kWac
 Multi-MPPT kullanımı
Maksimum giriş gerilimi: 1100 V
6 MPPT ile invertör
No Power sharing between MPPTs

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 16 (6 ile 18 arasında)
Zincir sayısı: 10 (8 ile 13 arasında)
Aşırı yük kaybı: 0.0 %
Nom. güç oranı: 1.28
Boyutlandırma

İşletme koşulları
Vmpp (60°C): 56.5 V
Vmpp (20°C): 66.7 V
Voc (-10°C): 87.8 V
Yüzey ışınım: 1000 W/m²
Impp (STC): 98.0 A
Isc (STC): 103 A
Isc (STC'de): 103 A
Veri maks:
STC:
Maksimum işletme gücü (1000 W/m² için ve 50°C): 57.9 kW
Alan nominal gücü (STC): 64.0 kWp

Panel sayısı: 160 Yüzey: 318 m²

Şekil 25. PVsyst sistem bilgileri menüsü

Bu bilgilerin dışında eğer panellerin üzerine gelen bir gölgeleme unsuru varsa onun bilgisi de girilebilmektedir. Gölgelemeye neden olan cismin (bina,ağaç vs) panellere göre

konum bilgisi sisteme dahil edilmektedir. Ayrıca opsiyonel olarak ekonomik parametreler (sistemde kullanılan malzemelerin maliyeti, elektriğin birim fiyatı vs.) girilerek, üretilecek olan enerjisinin parasal değeri ve sistemin kendini amorti etme süresi gibi bilgiler de program tarafından hesaplanabilmektedir.

3.1.2. Şebekeden bağımsız (Stand-alone) Sistem Tasarımı

Stand-alone sistemlerde de şebekeye bağlı sistemlerde olduğu gibi tasarlanan projenin konumu, panellerin eğiklik ve azimut açısı, kullanılacak panel ve inverterlerin marka ve model bilgisi 'orientation' ve 'system' sekmelerinden girilmektedir. Stand-alone sistemler genel olarak şebeke hattının uzak olduğu, kırsal kesimler için uygun bir yöntemdir. Bu gibi yerlerde ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre bir sistem tasarlanır.

Günlük enerji ihtiyacı, varyant "Yeni simülasyon varyantı"

Yıl için günlük hane kullanımının tanımı.

Tüketim Saatlik dağılım

Günlük tüketimler

Sayı	Cihaz	Güç	Gün. tüketim	Saatlik dağılım	Daily energy
10	Lambalar (LED veya fluo)	20 W/lamba	5.0 sa/gün	Saatleri belirleyin	1000 Wh
1	TV / PC / Mobil	100 W/cih.	3.0 sa/gün	Saatleri belirleyin	300 Wh
0	Ev aletleri	0 W/cih.	0.0 sa/gün		0 Wh
1	Buzdolabı / Dondurucu	3.00 kWh/gün	24.0	OK	3000 Wh
1	Çamaşır / bulaşık makinesi	1000.0 W ort.	2.0 sa/gün	OK	2000 Wh
1	Diğer kullanımlar	500 W/cih.	2.0 sa/gün	Saatleri belirleyin	1000 Wh
1	Diğer kullanımlar	500 W/cih.	2.0 sa/gün	Saatleri belirleyin	1000 Wh
Bekleme modu tüketimi		1 W toplam	24 sa/gün		24 Wh
Toplam günlük enerji					8324 Wh/gün
Aylık enerji					249.7 kWh/ay

Cihaz bilgisi

Tüketim tanımlaması:

Yıl Mevsim Ay

Hafta sonu veya hafta içi kullanımı:

Sınırlı kullanım süresi

7 gün haftada

1 numaralı cihaz: Lütfen saatlik dağılımı tanımlayınız ! (2. sayfa)

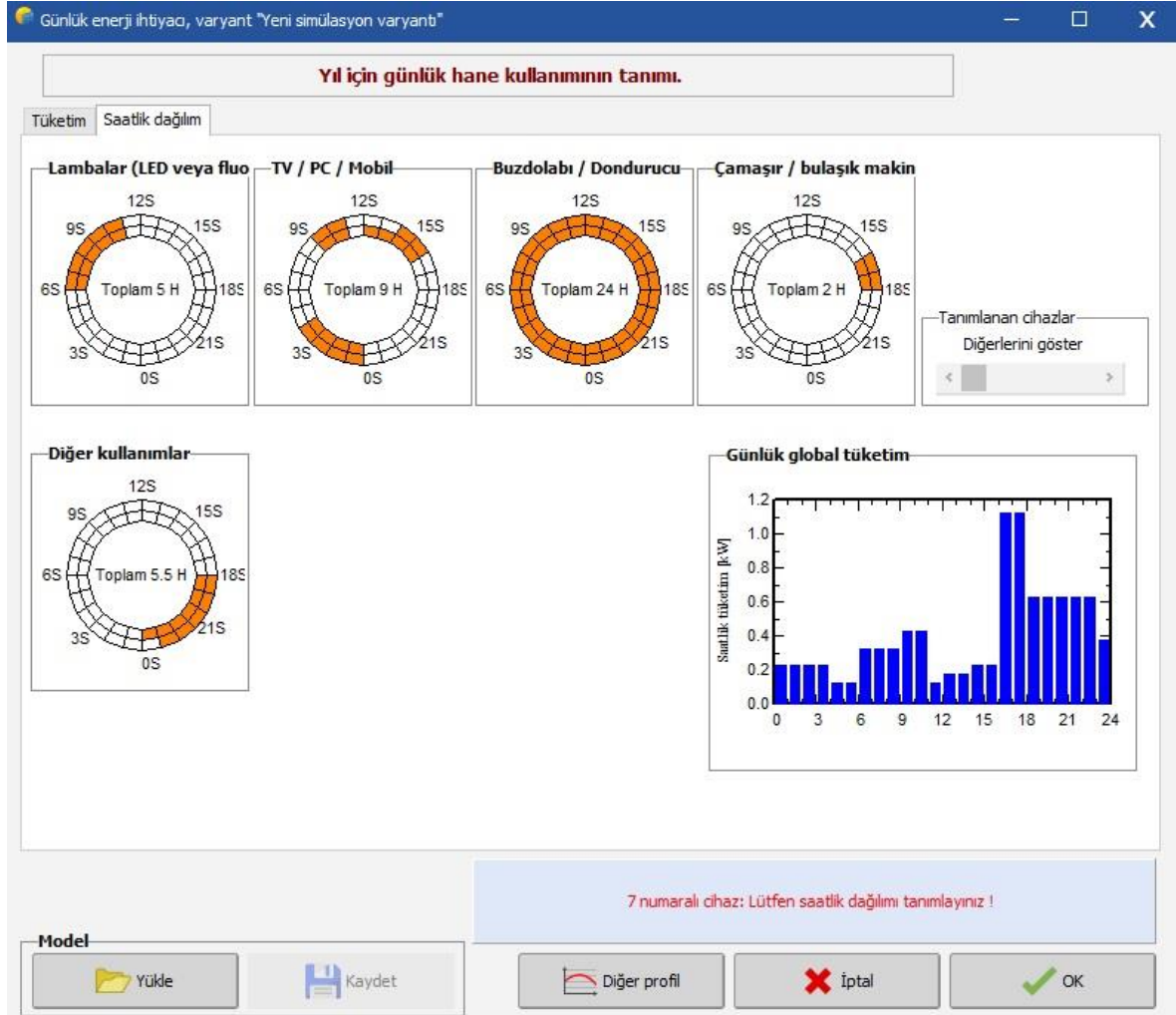
Model

Yükle Kaydet

Diğer profil İptal OK

Şekil 26. Stand-alone sistemde günlük ihtiyaç tablosu

PVSyst programında da ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanması adına, lamba, TV, buzdolabı, çamaşır-bulaşık makinesi gibi elektrik tüketen aletlerin günlük kullanım miktarlarının ve elektriksel güçlerinin girildiği tüketim sekmesi yer almaktadır.



Şekil 27. Stand-alone elektrik tüketim saatleri ve grafiği

Günlük ihtiyaç tablosunun ardından, ihtiyaç duyulan güçlerin, günün hangi saatlerinde kullanılacağını bilgilerini içeren elektrik tüketim saatleri tablosu (Bkz.Şekil 21) doldurulmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistem tanımlama, Varyant "Yeni simülasyon varyantı", Variant "Yeni simülasyon varyantı"

Ort. günlük ihtiyaç: 11.2 kWh/gün
Kabul edilebilir PLO'lu giriniz: 5.0 %
Gerekli özerklik: 4.0 gün

Akü (kullanıcı) gerilimi: 50 V
Önerilen kapasite: 1043 Ah
Önerilen PV gücü: 4566 Wp (nom.)

Depolama | PV alanı | Yedek | Basit taslak

Yöntem
Ön boyutlandırma önerileri aylık hava durumu ve kullanıcının ihtiyaç tanımına dayanır.

1. - Ön boyutlandırma: İstenilen ön boyutlandırma koşullarını tanımlayınız (LOL, performans, akü gerilimi)
2. - Depolama: Akü paketini tanımlayın (varsayılan onay kutuları ön boyutlandırmaya yaklaşıp)
3. - PV alan tasarımı: PV dizisini (PV modülü) ve denetim modunu tanımlayın. Evrensel bir denetleyici ile başlamanız önerilir.
4. - Yedek: Muhtemel bir yedek jeneratör tanımlayınız

Akü setini tanımlayınız

Akü sıralama: gerilim kapasite üretici

Tesla 60.4 V 134 Ah Li NCA Powerwall 2017 yılından beri

Tüm tekno. Seçilen akü modül

1	modül seri	Modül sayısı	8	Akü takımı gerilimi	50 V
8	modül paralel	Öge sayısı	4480	Global kapasite	1072 Ah
100.0	% İlk aşınma durumu (devir sayısı)			Depolanılan enerji (% 80 DOD)	43.2 kWh
100.0	% İlk aşınma durumu (statik)			Toplam ağırlık	776 kg
				% 80 DOD'de devir sayısı	800
				Akü ömrü boyunca toplam depolanılan enerji	35357 MWh

Akü işlem sıcaklığı:

Sıcaklık modu: Sabit (kimal)

Belirlenmiş sıcaklık: 20 °C

Sıcaklık akü ömrü için önemlidir.

Lütfen PV modülünü seçin !

Kullan. ihtiyaç.
Hane tüketimi: Ortalama güç: 466 W
Gece oranı: % 50.0
Günlük enerji: 11.2 kWh

Akü takımı
8 paralel, 50 V
Kapasite: 1072 Ah

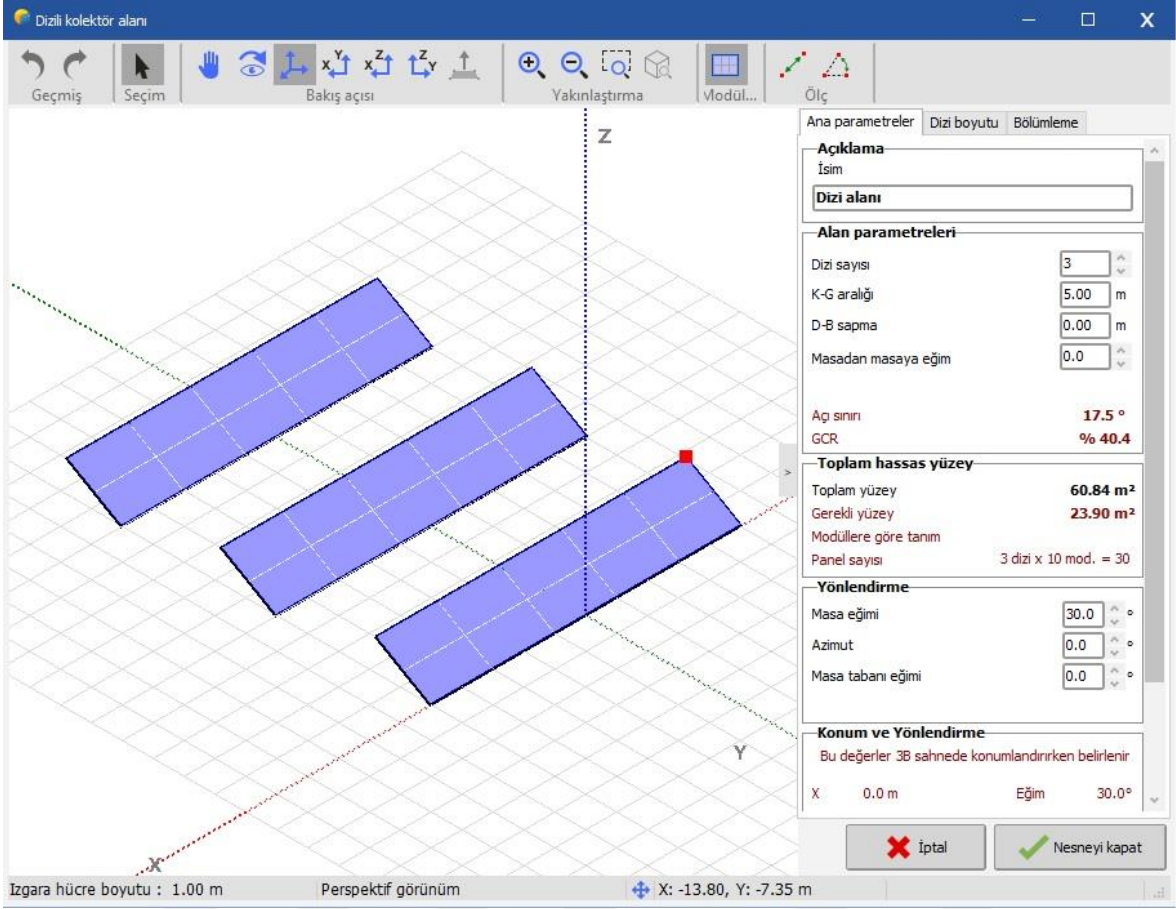
PV alanı
1 modüllü 1 zincir
Nominal güç: Wp
PV/Load: -21.5
Günlük ort. enerji: 0.0 kWh

Denetleyici
Evrensel, doğrudan bağlantı
Maks. PV akımı: A
Sınırlar gerilimlere göre

Şekil 28. Stand-alone sistem donanımları seçim sayfası

Stand-alone sistemlerde, on-grid sistemlerden farklı olarak elektriği depolama donanımlarının tipleri ve miktarlarının belirlendiği (bkz.şekil 28) 'storage' sekmesi mevcuttur. İhtiyaca uygun kapasitede akü grupları seçilmesi zorunludur. Uyumsuzluk olduğunda program uyarıda bulunmaktadır.

Depolama donanımlarının belirlenmesinin ardından PV panellerin miktar ve yerleşimi ile ilgili bilgiler programa girilir. PV panellerin açık arazide nasıl bir konumda yer alacağı, panellerin sehpalarda duruş şekli, sehpa arası mesafe, eğiklik açıları vs. bilgiler Şekil 29'de görüldüğü gibi 3 boyutlu görsel ile de desteklenerek belirlenir.



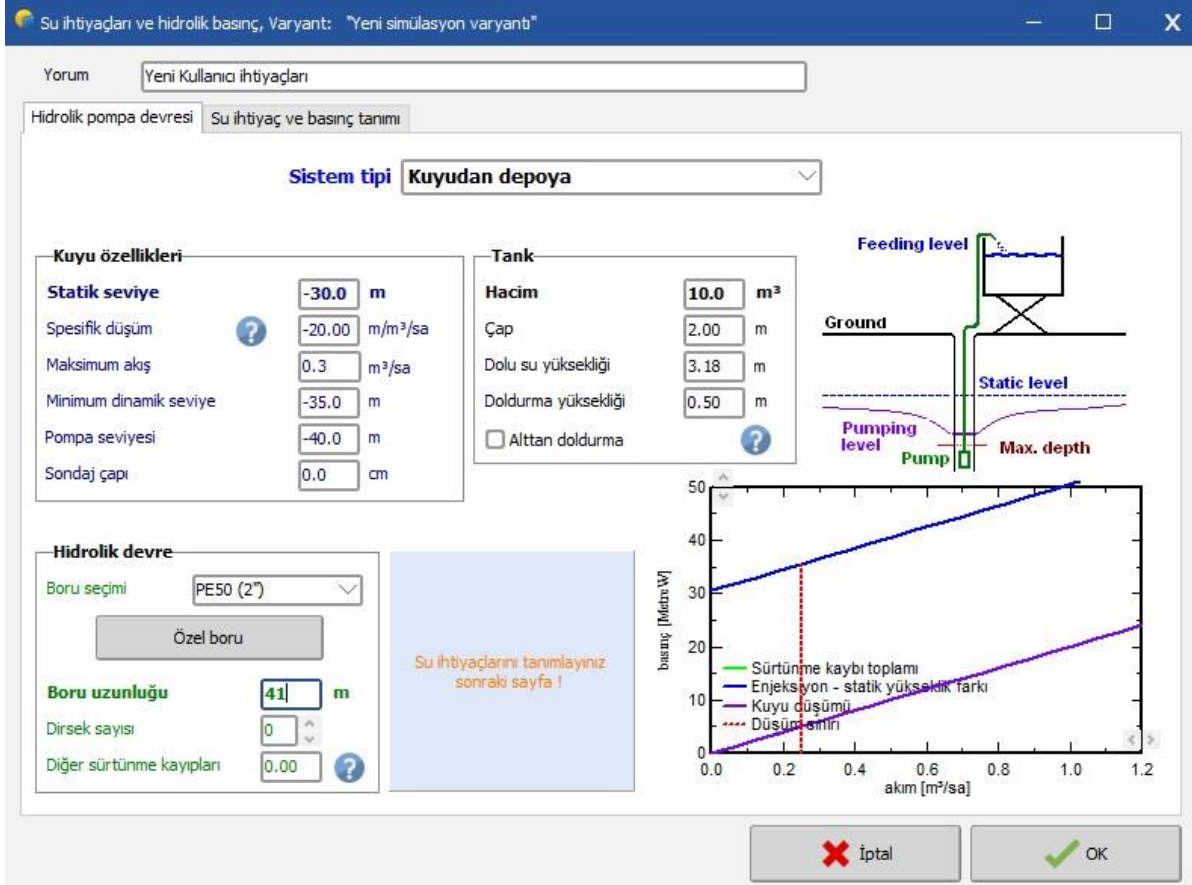
Şekil 29. PV panel ve dizilerin arazide yerleşimi

3.1.3. PV Su Pompası Sistem Tasarımı

Fotovoltaik elektrik destekli su pampa sistemleri çoğunlukla, şehir şebekesinden uzak, elektrik hattı çekiminin çok maliyetli olduğu kırsal bölgelerde yer altından ya da herhangi bir su kaynağından su pompalamak için kurulan sistemlerdir. Genellikle tarımsal sulama maksatlı tesis edilirler.

PVSyst programında bu tip fotovoltaik enerji kullanan pompa sistemlerinin tasarımını yapmak mümkündür. Giriş ekranındaki 'Pumping' menüsüne girildikten sonra tasarım aşamaları sıra ile takip edilerek ihtiyaç duyulan sistem tasarlanır. Sistemin elektriksel malzeme ve donanımları, şebeke bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerde olduğu gibidir. Tesisin kurulacağı yerin coğrafi konumu, güneş panellerinin modelleri, kurulum açıları, adetleri, sürücü konverterin modeli gibi veriler sisteme girilir. Bu tarz

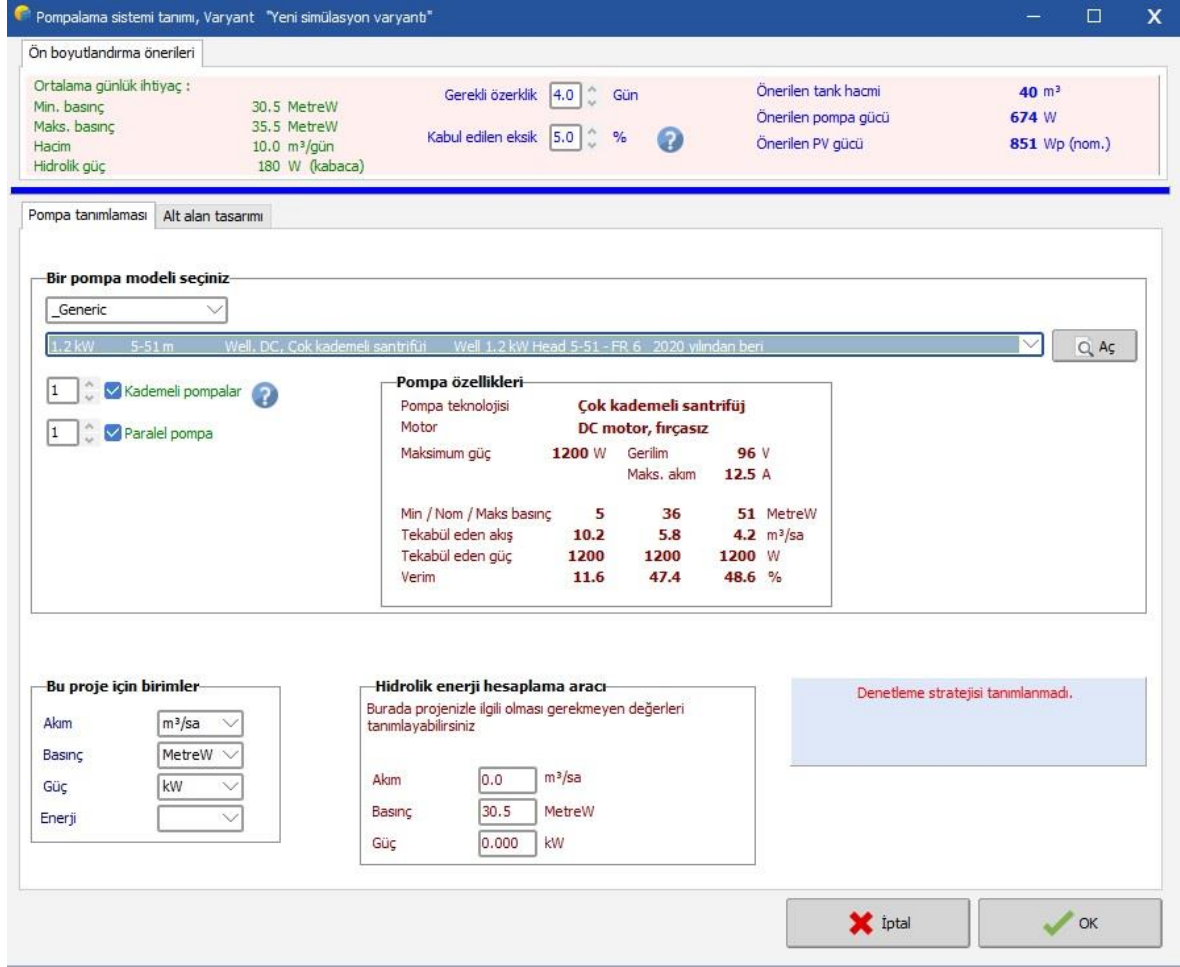
uygulamalarda akü grubu kullanılmamaktadır. Anlık üretilen enerji ile pompa çalışmakta ve bir depoya su basmaktadır.



Şekil 30. Su ihtiyaç parametrelerinin belirlendiği ekran

Su ihtiyaç parametrelerinin girildiği ekran Şekil 30' de verilmiştir. Bu menüde çıkarılacak suyun hangi derinlikte olduğu, istenen debi miktarı, kullanılacak boru çapı ve dirsek miktarı, suyun depo edileceği tankın yüksekliği ve hacmi gibi veriler girilmektedir.

Kullanılacak pompa ekipmanının özelliklerinin girildiği ekran Şekil 31'da verilmiştir. Pompanın modeli ve gücü, seri yada paralel bağlantı tipi gibi özellikler bu ekranda belirlenir. Eğer istenen su debisine uygun pompa grubu seçilmezse sistem bunun uyarısını 'Motor gücü yetersiz' ya da 'ihtiyacın üzerinde motor gücü' şeklinde vermektedir.

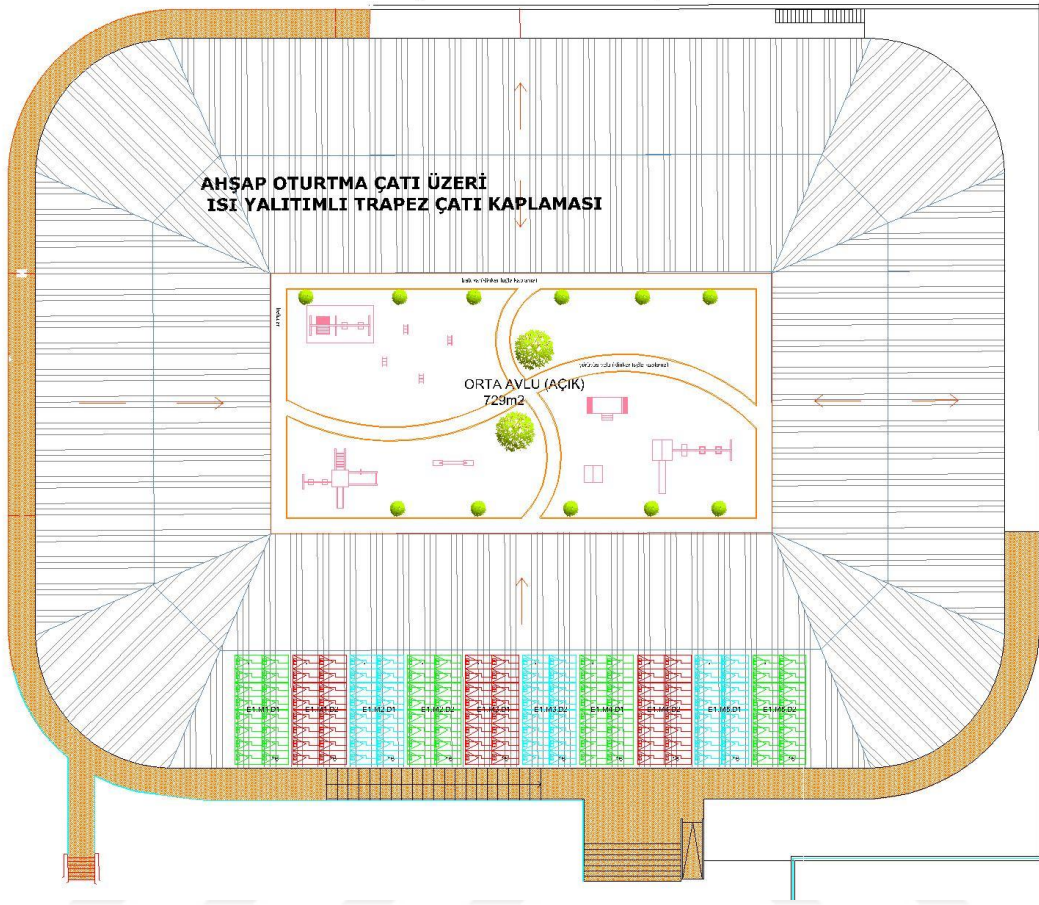


Şekil 31. Kullanılacak pompa ekipmanının özelliklerinin girildiği ekran

3.2. Saha Uygulaması : ÇOMÜ Çocuklar Evi Binası Çatısına kurulan Güneş Enerjisi Santrali

Bu çalışmada Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü'nde yer alan Çocuklar Evi binası çatısına tesis edilen güneş enerjisi santrali incelenmiştir. Söz konusu tesis, 64 kWp kurulu gücünde, şebekeye bağlı olarak çalışan, üretmiş olduğu elektrik enerjisi kampüs tüketiminde kullanılan bir tesistir. Toplam 160 adet mono-kristal 400Watt güneş paneli kullanılmıştır. Paneller 16'lı seriler halinde 10 dizi (string) olarak yerleştirilmiştir (Bkz.Şekil 32).

PV PANELÇATI ÜSTÜ YERLEŞİM PLANI



Şekil 32. Güneş panellerinin çatı üstü yerleşim planı

Binanın çatı eğimi 7° 'dir. Paneller çatı üzerine kurulan alüminyum karkas üzerine, eğiklik açısı değiştirilmeden monte edilmiştir. Paneller güneş ışınlarını daha iyi alması amacıyla bina çatısının güneye bakan tarafına konumlandırılmıştır. Seri paneller birbirine 4mm^2 kesitinde, diziler de invertöre 6mm^2 solar kablo ile bağlanmıştır. Her biri 16 panelden oluşan 10 adet dizi bulunmaktadır. Panellerden çıkan kablolar kablo kanalları vasıtası ile toplanarak zemine indirilmiş ve zeminde yer altından PVC boru içerisinde alçak gerilim panosu yakınında konumlandırılmış olan inverterin mppt girişlerine bağlanmıştır.



Şekil 33. Çocuklar evi çatısı panel yerleşim görüntüsü

Panellerde üretilen elektrik, doğru akım formundadır. Dizilerden invertere kadar DC ilettime uygun solar kablolar kullanılmıştır. Sistemde Huawei marka Sun-2000 model inverter kullanılmıştır.

İnverterin çıkışına konulan sistem panosunda üretilen enerjinin şebeke dahil edilmeden önce verilerini gösteren bir enerji analizörü, güvenlik amaçlı kullanılan röle ve sigortalar, acil durdurma butonu ve üretilen enerji miktarını ölçmeye yarayan üç fazlı elektronik sayaç kullanılmıştır. Şekil 34'de inverter ve kontrol panosunun montajlı görüntüsü verilmiştir.

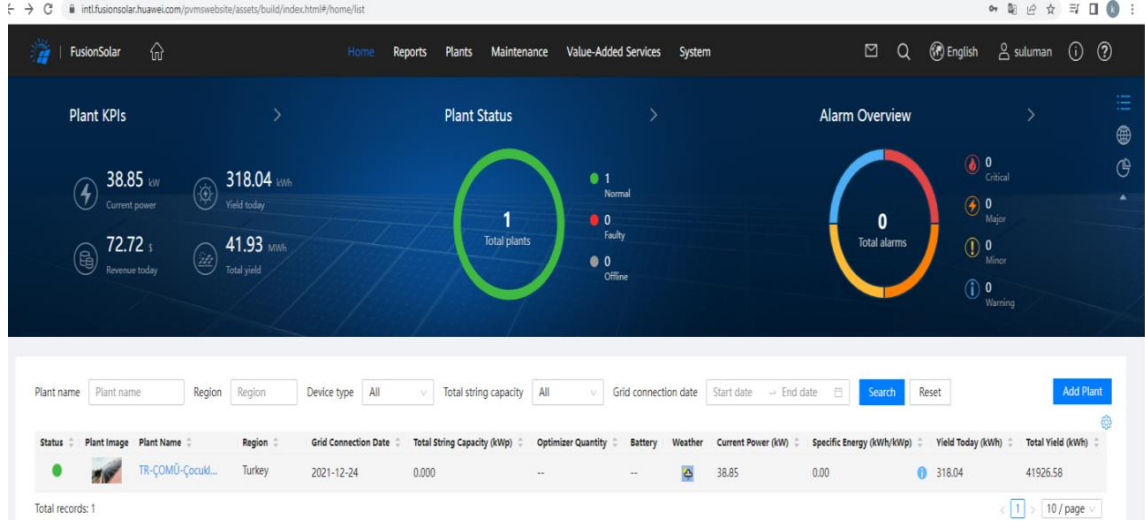


Şekil 34. Sistemde kullanılan inverter ve kontrol panosu

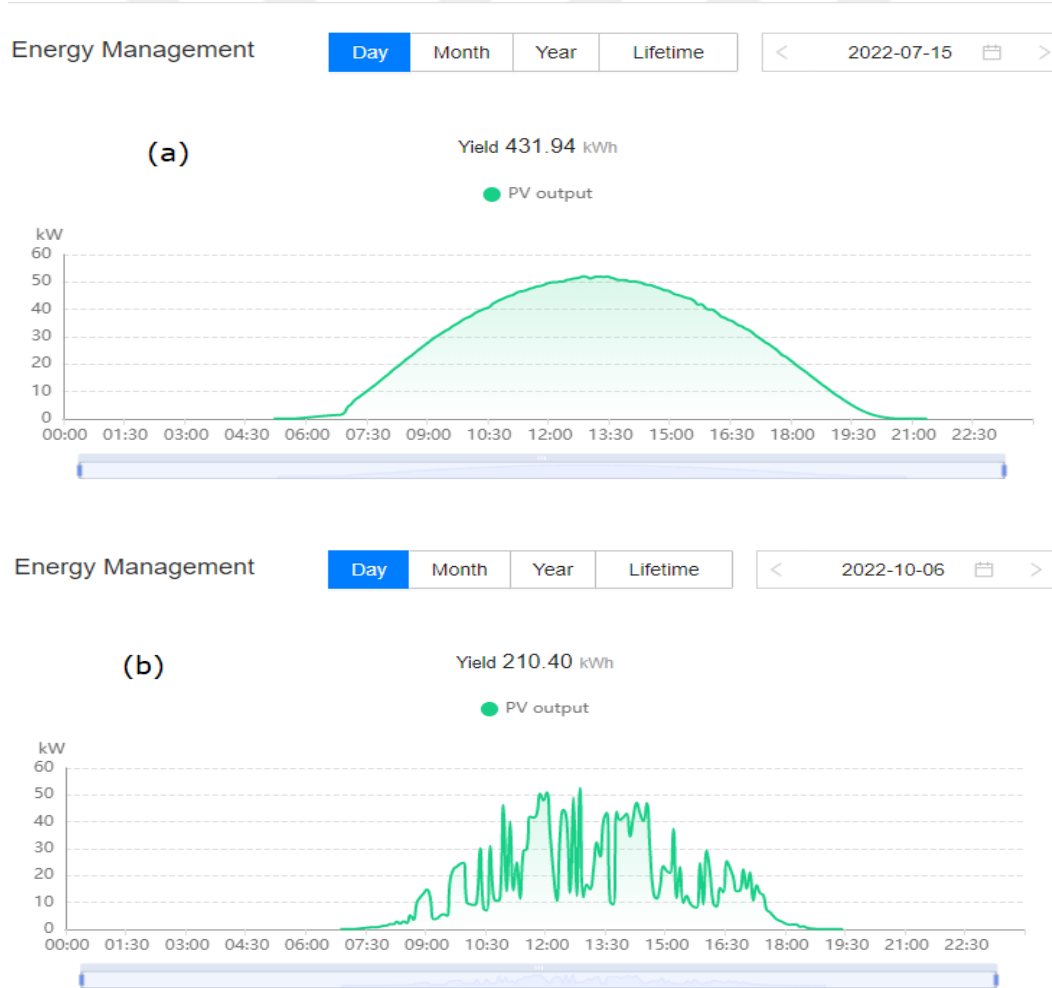
3.2.1. Üretim Verilerinin İzlenmesi

GES tesislerinde santralin güvenlik amacıyla sürekli takip edilmesi ve olası bir arızada üretim kaybı yaşanmaması adına üretim verilerinin düzenli izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca şebekeye bağlı sistemlerde bağlantı müsaadesi alınabilmesi için elektrik dağıtım şirketi, uzaktan izleme sistemi ve birtakım güvenlik tertibatlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Çocuklar evi çatısına kurulan güneş enerjisi santralının takibi ve üretim verilerinin izlenmesi için inverter markasının Fusion Solar yazılımı kullanılmaktadır. Veriler, haberleşme kartı vasıtasıyla programa anlık olarak aktarılmakta, kullanıcı, bu verilere kendi kullanıcı bilgileri ve şifresi ile ulaşabilmektedir.

Şekil 35’de inverter yazılımının giriş sayfası görülmektedir. Bu ekrandan sistemde herhangi bir alarm durumu olup olmadığı, anlık olarak üretilen gücü ve enerji toplamı görülebilmektedir. Raporlar kısmına girildiğinde daha ayrıntılı olarak verilere ulaşmak mümkündür. Sistemin geriye dönük saatlik, günlük, aylık ve yıllık üretim kayıtlarına ulaşılabilmekte, bunların grafiksel görüntülenmesi yapılabilmektedir.



Şekil 35. İnverter Yazılımının (Fusion Solar) Ana Sayfa Görüntüsü



Şekil 36. (a) Güneşli günde (b) parçalı bulutlu günde panellerde üretilen enerji grafiği

Şekil 36 (a)'da güneşli bir günde, (b)'de parçalı bulutlu bir günde sitemin ürettiği güç görülmektedir. Veriler programdan anlık olarak da takip edilebilmekte, her bir dizinin akım ve gerilim değerlerine anlık olarak ulaşılabilir.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, PVSyst 7.2(trial) sürümü kullanılmıştır. ÇOMÜ Çocuklar evi binası çatısına kurulan 64kWp'lik güneş enerjisi santralin verileri kurulumundan itibaren bir yıl izlenmiş ve veriler kaydedilmiştir. Sistemin birebir aynısı, PVSyst yazılımında tasarlanmış ve program simülasyonu çalıştırılmış ve bir yıllık simülasyon verileri elde edilmiştir.

4.1. Simülasyon Sonuçları



Version 7.3.1

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: ÇOMU Çocuklar Evi Ges Çatı Üstü PV Projesi

Variant: Yeni simülasyon varyantı
No 3D scene defined, no shadings
System power: 64.0 kWp
Hamidiye - Turkey

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Hamidiye Turkey	Latitude 40.11 °N Longitude 26.41 °E Altitude 29 m Time zone UTC+3	Albedo 0.20
Meteo data Hamidiye Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=% 100 - Sentetik		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	User's needs
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 7 / 20 °	Near Shadings No Shadings	Unlimited load (grid)
System information PV Array Nb. of modules 160 units Pnom total 64.0 kWp	Inverters Nb. of units 0.8 unit Pnom total 50.0 kWac Pnom ratio 1.280	

Results summary

Produced Energy	94217 kWh/year	Specific production	1472 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	86.14 %
-----------------	----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Şekil 37 PVSyst Simülasyon raporu proje ve sistem özeti sayfası

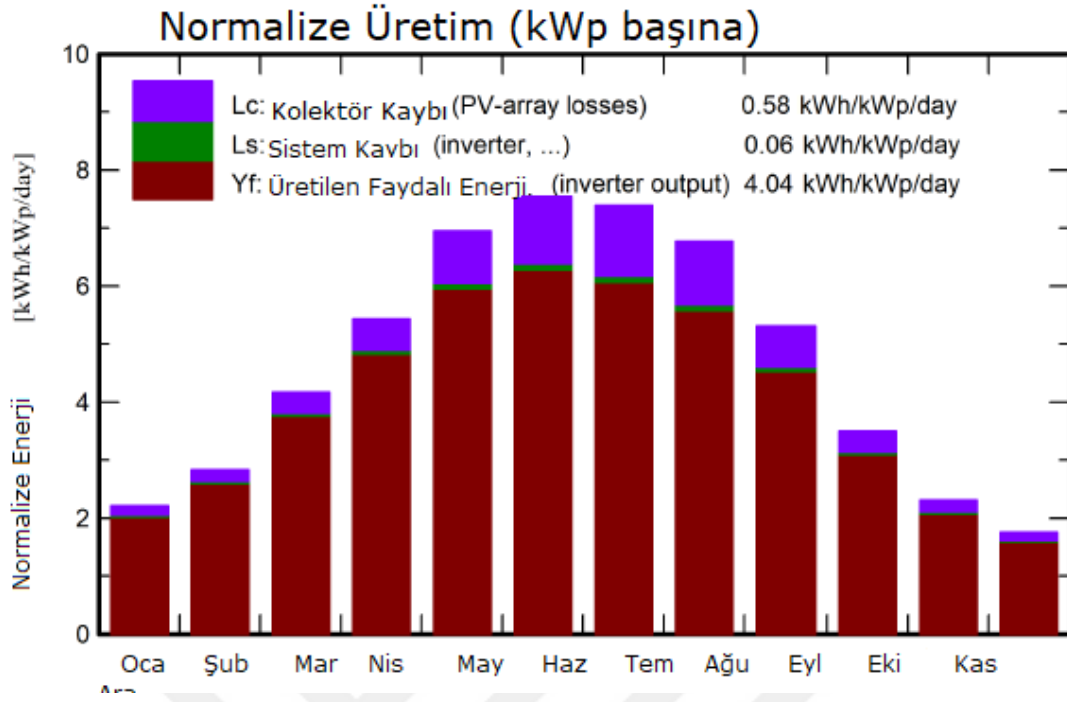
Programın şebekeye bağlı (Grid-connected) sistem tasarımı bölümünde oluşturulan projede, Çanakkale ili ÇOMÜ Terzioğlu Yerleşkesinde bulunan Çocuklar Evi binasının konumu coğrafi olarak işaretlenmiş ve bu noktanın meteorolojik verileri sistemden yüklenmiştir. Ardından ‘orientation’ sekmesinden eğiklik açısı ve azimut açısı bilgileri girilmiştir. Tesiste kullanılan sistem elemanları yani kullanılan panel, inverter ve dizayn bilgileri, sistem menüsünden girilmiştir.

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteorom
Tilt/Azimuth	7 / 20 °	Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

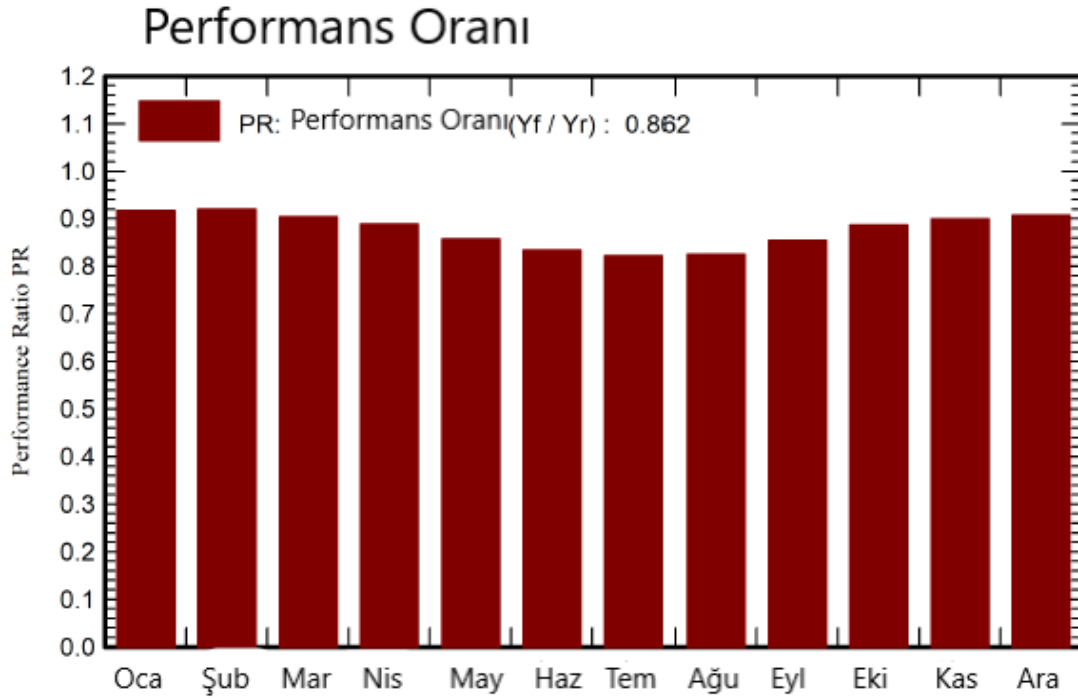
PV Array Characteristics		
PV module	Inverter	
Manufacturer Generic	Manufacturer Generic	
Model GG1H-400 Mono PERC bifli 72 cells - Double Glass	Model SUN2000-60KTL-M0_400Vac	
(Original PVsyst database)	(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power 400 Wp	Unit Nom. Power 60.0 kWac	
Number of PV modules 160 units	Number of inverters 5 * MPPT 17% 0.8 unit	
Nominal (STC) 64.0 kWp	Total power 50.0 kWac	
Modules 10 Strings x 16 In series	Operating voltage 200-1000 V	
At operating cond. (50°C)	Max. power (=>30°C) 66.0 kWac	
Pmpp 57.9 kWp	Pnom ratio (DC:AC) 1.28	
U mpp 591 V	No Power sharing between MPPTs	
I mpp 98 A		
Total PV power	Total inverter power	
Nominal (STC) 64 kWp	Total power 50 kWac	
Total 160 modules	Nb. of inverters 1 unit	
Module area 318 m ²		
Cell area 288 m ²	Pnom ratio 1.28	

Şekil 38. PVsyst sistem parametreleri tablosu

Simulasyonun yapılabilmesi için zorunlu olan veriler tamamlandıktan sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Program kısa bir işlem süresinden sonra simülasyon sonuçlarını ekrana getirmekte ve pdf olarak da raporlamaktadır.



Şekil 39. Aylara göre kWp başına üretim ve kayıp miktarları (simülasyon)



Şekil 40. Aylara göre performans grafiği (simülasyon)

CO₂ Emisyon Tasarrufu

Total: 1086.8 tCO₂

Generated emissions

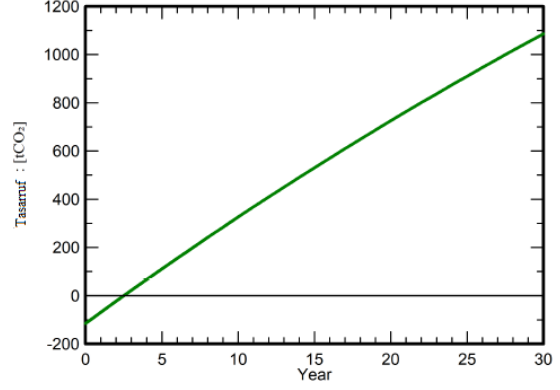
Total: 115.16 tCO₂

Source: Detailed calculation from table below:

Replaced Emissions

Total: 1385.3 tCO₂
System production: 94.43 MWh/yr
Grid Lifecycle Emissions: 489 gCO₂/kWh
Source: IEA List
Country: Turkey
Lifetime: 30 years
Annual degradation: 1.0 %

Tasarruf edilen CO₂ vs Zaman



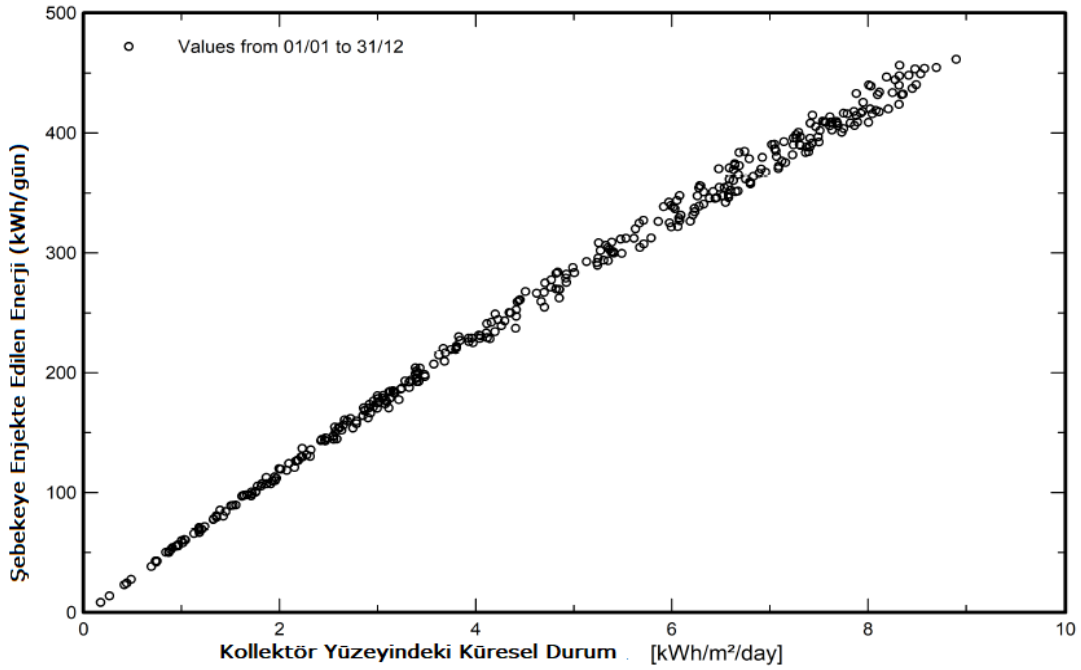
Emisyon Sistem Yaşam döngüsü Detayları

Item	LCE	Miktar	Toplam [kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	64.0 kWp	109614
Supports	3.26 kgCO ₂ /kg	1600 kg	5219
Inverters	323 kgCO ₂ /	1.00	323

Şekil 41. Zamana göre tasarruf edilen CO₂ miktarı grafiği

Özel Grafikler

Günlük input/output diagramı



Şekil 42. Sistemin günlük giriş-çıkış enerji grafiği

Tablo 1

Simulasyon verilerine göre başlıca sonuçlar ve yıllık bilanço

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
OCAK	58.8	24.48	5.12	68.5	64.9	4083	4020	0.916
ŞUBAT	71.7	34.38	6.08	79.2	76.3	4731	4660	0.920
MART	120.1	54.47	9.55	128.7	124.6	7553	7440	0.903
NISAN	157.5	75.76	13.38	163.0	158.8	9411	9268	0.888
MAYIS	211.5	79.35	19.06	215.4	210.3	12006	11814	0.857
HAZİRAN	225.0	71.68	23.82	226.2	221.2	12276	12070	0.834
TEMMUZ	226.2	67.50	27.06	228.6	223.4	12186	11975	0.818
AĞUSTOS	203.0	65.88	26.91	209.7	204.7	11258	11068	0.825
EYLÜL	148.8	53.61	21.10	158.5	154.1	8822	8686	0.856
EKİM	99.6	46.08	15.75	108.7	104.9	6252	6159	0.886
KASIM	60.9	32.08	11.53	68.6	65.6	3994	3933	0.896
ARALIK	46.8	25.23	7.02	53.8	51.0	3173	3123	0.906
YILLIK	1629.8	630.49	15.59	1709.0	1659.8	95745	94217	0.861

Şekil 37’de simülasyon sonuç grafiklerinden birinde aylara göre kWp başına üretim ve kayıp miktarları verilmiştir. Buna göre haziran ayı, gün boyunca üretilen enerji miktarında ilk sırada yer alırken, aralık ayı ise en düşük günlük üretimin yapıldığı ay olarak görülmektedir. Şekil 38’de simülasyona göre aylık performans oranları verilmiştir. Buna göre yaz aylarında sistemin performansı kış aylarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi PV panellerin yüksek sıcaklıklarda verimlerinin düşmesidir.

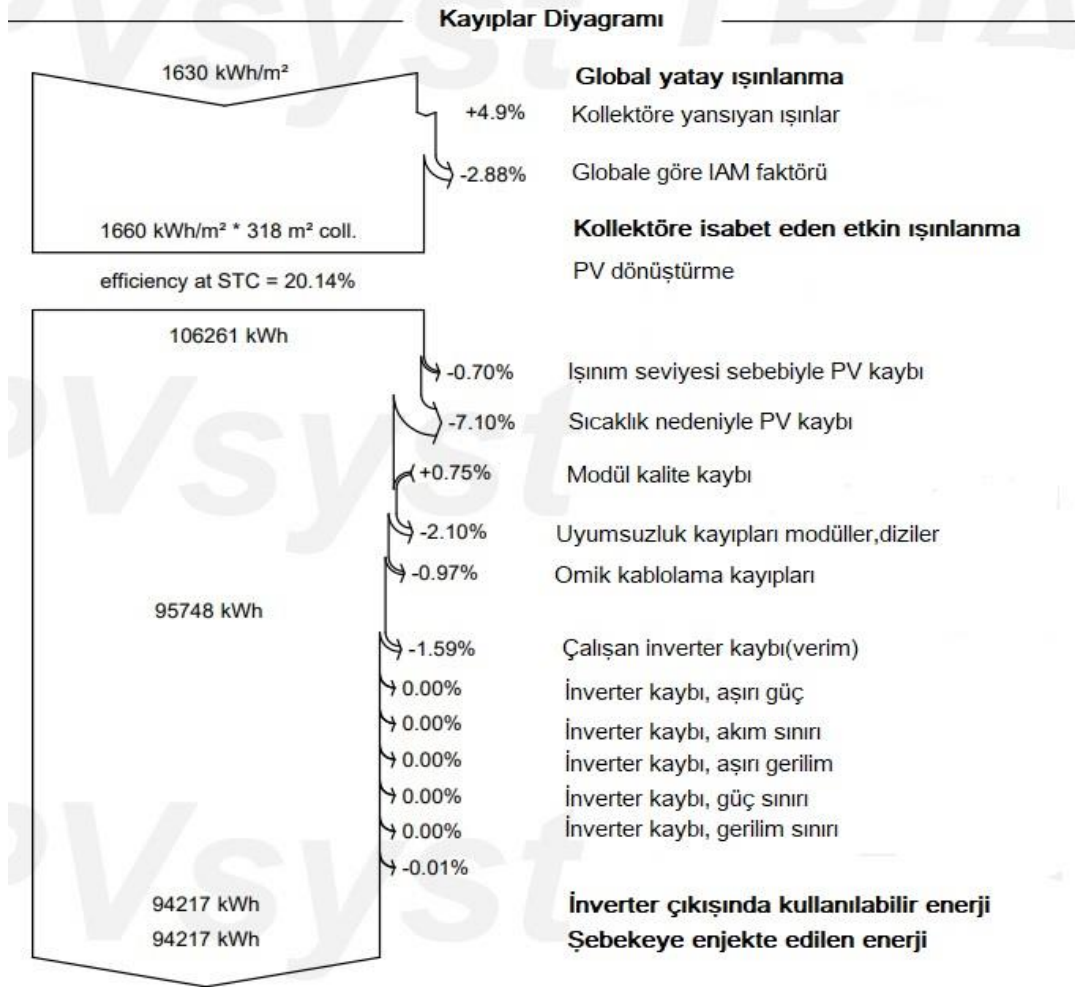
Şekil 39’da sistemin yıllara bağlı olarak tasarruf sağladığı CO₂ emisyon miktarı grafiği verilmiştir. Bu grafiğin oluşumunda yazılım algoritması, konvansiyonel enerji kaynaklarının oluşturduğu emisyon miktarlarını referans alarak PV sistemde üretilen enerji sayesinde tasarruf edilen emisyon miktarını hesaplamaktadır.

Şekil 40’da güneş panellerine günlük giren ve çıkan enerji miktarları grafiği verilmiştir. Buna göre panellere çarpan güneş enerjisi miktarı arttıkça panellerde üretilen enerji miktarı da lineer olarak arttığı görülmektedir.

Tablo 1’de simülasyona göre yıllık birçok sayısal veri, toplam bilanço ve performans oranları verilmiştir. Tablodan, aylara göre panellere ulaşan ve kullanılan enerji miktarları, bunların elektriğe dönüşen kısımları, ortalama sıcaklıklar ve sistemin

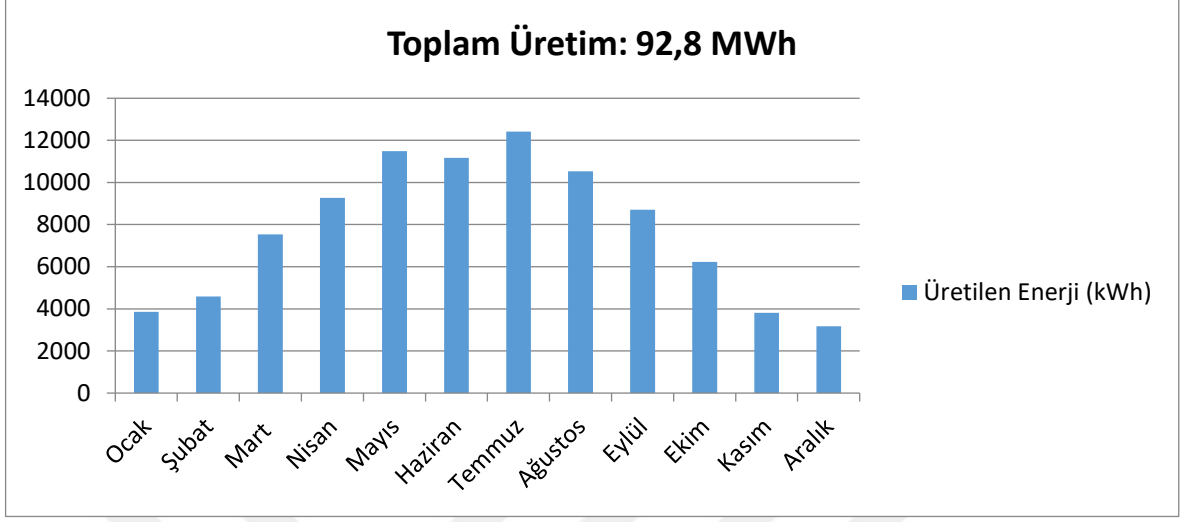
performans oranları bilgilerine ulaşılabilmektedir. Buna göre yaz aylarında panellere ulaşan enerji miktarının yoğun olduğu ve buna bağlı olarak üretim miktarlarının da doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Aynı zamanda performans oranlarında oluşan bir miktar azalma, sıcaklığa bağlı olarak panel verimlerindeki düşüşü işaret etmektedir.

Şekil 41’de simülasyona göre sistem kayıpları diyagramı verilmiştir. Diyagrama göre panel yüzeyine isabet eden etkin global ışınım miktarı 1662 kWh/m^2 ’dir. %20,14 panel verimi hesaba katıldığında yıllık üretilen enerji miktarı 106,4 MWh olarak belirtilmiştir. Sistemde oluşan sıcaklık kayıpları, PV kayıpları, kablolar üzerinde oluşan kayıplar ve inverter kayıplarından sonra inverter çıkışından alınan toplam kullanılabilir enerji miktarı 94,2 MWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 43. Sistemin yıllık kayıpları diyagramı

4.2. Tesisin Gerçek Üretim Verileri



Şekil 44. Tesisin yıllık üretim grafiği

Energy Management

Day

Month

Year

Lifetime

<

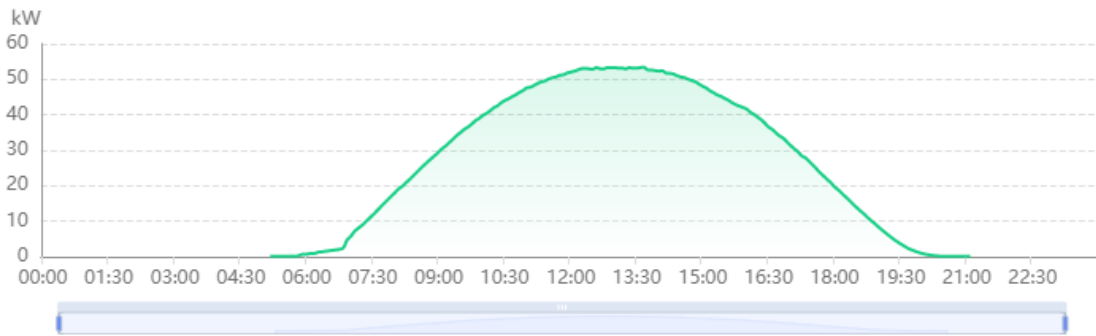
2022-05-20

📅

>

Yield 447.43 kWh

● PV output



Şekil 45. Yıl içinde en fazla üretim yapılan gün üretim grafiği

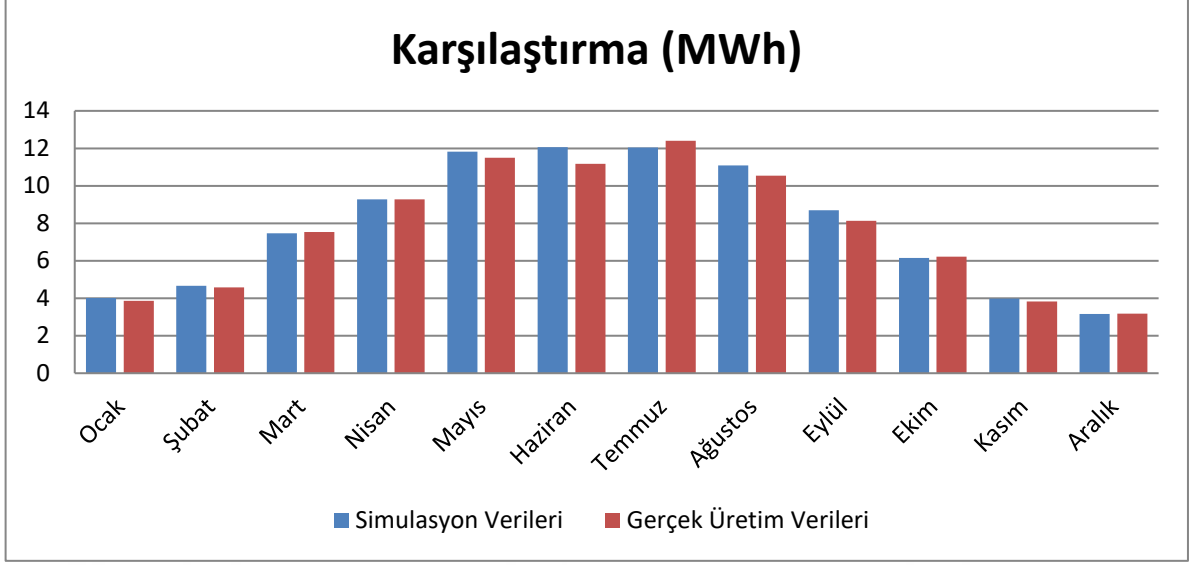
Tablo 2

Tesisin yıllık verim ve getiri tablosu

Periyot	PV Getirisi (kWh)	İnverter Getirisi (kWh)	Pik Güç Değeri (kW)	Kaçınılan CO2 (t)	Standart Kömürden Tasarruf (t)	Getiri (TL)
Oca.22	3.856,84	3.856,84	44,57	1,83	1,54	19.862,73
Şub.22	4.584,06	4.584,06	53,09	2,18	1,83	23.607,91
Mar.22	7.536,58	7.536,58	66,00	3,58	3,02	38.813,39
Nis.22	9.275,97	9.275,97	64,95	4,41	3,71	47.771,25
May.22	11.492,31	11.492,31	66,00	5,46	4,60	59.185,40
Haz.22	11.165,34	11.165,34	66,00	5,30	4,47	57.501,50
Tem.22	12.413,89	12.413,89	57,94	5,90	4,97	63.931,53
Ağu.22	10.537,62	10.537,62	64,47	5,01	4,22	54.268,74
Eyl.22	8.713,73	8.713,73	63,42	4,13	3,47	44.875,71
Eki.22	6.224,57	6.224,57	50,83	2,96	2,49	32.056,54
Kas.22	3.818,25	3.818,25	41,93	1,81	1,53	19.663,99
Ara.22	3.177,50	3.177,50	38,26	1,50	1,27	16.364,13
Toplam	92.796,66	92.796,66	677,46	44,07	37,12	477.902,80

Tablo 2’de güneş enerjisi santralının bir yıllık gerçek üretim verileri aylara göre grafik halinde verilmiştir. Buna göre en fazla üretimin gerçekleştiği aylar sırasıyla temmuz, mayıs ve haziran ayları olmuştur. Haziran ayının mayıs ayından düşük olmasının sebebi haziran ayının mevsim normallerine göre biraz daha bulutlu geçmesi ve mayıs ve temmuz ayına göre bir gün daha kısa olmasıdır. En fazla üretim 12,41MWh ile temmuz ayında gerçekleşirken, en düşük üretim 3,18 MWh ile aralık ayında gerçekleşmiştir. Yıl içinde en yüksek üretimin yapıldığı gün (447,43 kWh) 20 mayıs olarak kaydedilmiştir.

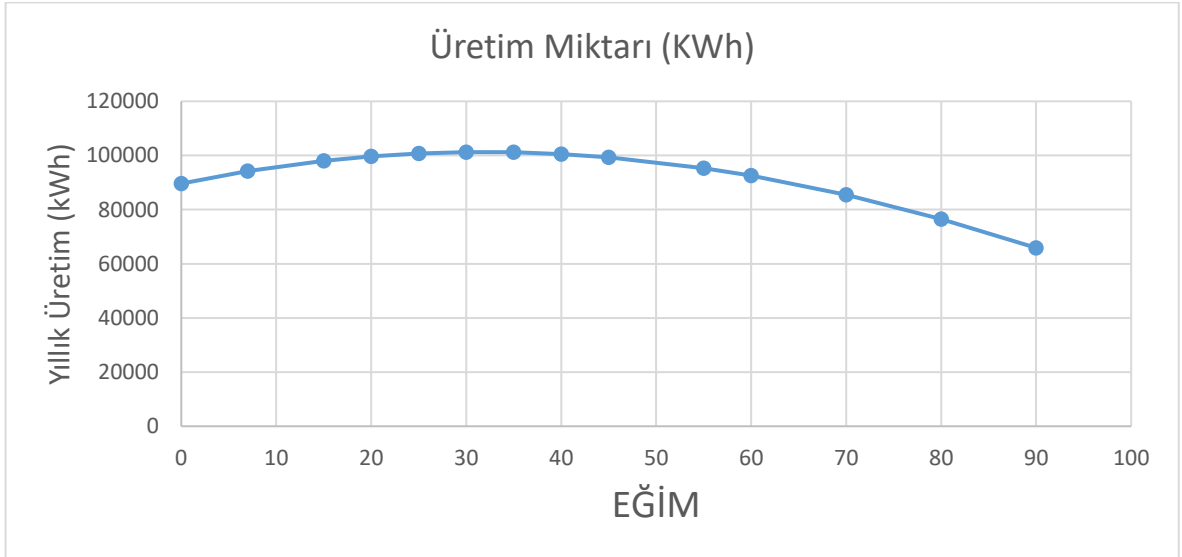
Şekil 45’ de tesisin yıllık üretim verileri ile PVsyst programı simülasyon verilerinin karşılaştırması verilmiştir. Buna göre aylara göre simülasyon ve gerçek üretim verileri arasında genel olarak paralellik olmakla birlikte, meteorolojik sebeplerden ötürü bazı aylar gerçek üretim miktarı, bazı aylar simülasyon üretim miktarı bir miktar fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 46. Simulasyon ve gerçek üretim verileri karşılaştırma grafiği

4.3. Çatı Eğimine Bağlı Sistem Verimi Değerlendirmesi

PV sistem uygulamasının yapılmış olduğu çocuklar evi binasında çatı eğimi 7^0 dir. Eğimin sistem verimine etkisini araştırmak amacıyla farklı eğimlerde sistem Pvsyst yazılımı ile yeniden simüle edilmiştir. Tamamen yatay düzlemde yani 0^0 eğimden 90^0 eğime kadar belli aralıklarla yapılan simülasyon uygulamasına göre yıllık üretim miktarı Şekil 47' de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 47. Çatı eğimine göre yıllık üretim grafiği

Mevcut sistemin simülasyon verilerinde yıllık üretim miktarı 94,2 MWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 45' de yer alan eğime bağlı üretim grafiğine göre en yüksek üretim 30° - 35° 'lik eğim aralığında 101,2MWh olarak tespit edilmiştir. Eğim 0° iken yani panellerin yatay düzleme yerleştirilmesi durumunda yıllık üretim 89,7 MWh, eğimin 60° olması durumunda 92,6MWh, eğimin 90° olması durumunda ise üretim 65,9 olarak hesaplanmıştır.



BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar ve Tartışma

Bu tez çalışmasında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesinde bulunan Çocuklar Evi binası çatısına yeni tesis edilmiş olan 64 kWp gücündeki güneş enerjisi santralinin incelemesi yapılmış, kurulan sistem PVSyst 7.2.21 Simulasyon programı ile birebir simule edilmiş ve 2022 yılı boyunca sistem üretim verileri takip edilerek kayıt altına alınmıştır. Aynı süre zarfı için simulasyon aracının oluşturmuş olduğu veriler kaydedilmiş ve gerçek verilerle mukayese edilerek sistemin performans analizi yapılmıştır.

PVSyst simulasyon programına göre yıllık üretim miktarı 94,2 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin gerçek üretim verileri inverterin üretim kayıtlarına göre 92,8 MWh olarak kaydedilmiştir. Buna göre simulasyon sonucu,gerçek üretim verisi ile yaklaşık %98,5 oranında benzerlik göstermektedir.

Simulasyona göre en fazla enerji üretilen aylar sırası ile haziran (12,07 MWh), temmuz (11,97MWh), mayıs (11,81MWh) olarak hesaplanmıştır. Gerçek üretim verilerinde bu sıralama temmuz (12,41MWh), mayıs (11,49MWh), haziran (11,17MWh) şeklinde gerçekleşmiştir. Her iki tabloda da en düşük üretimin aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Tesisin, yıl içinde en fazla günlük üretim miktarı 447,43kWh ile 20 mayıs tarihinde kaydedilmiştir. Normal şartlarda en uzun gün olmamasına karşın, havanın tamamen güneşli ve berrak oluşu, panellerin temizliği gibi unsurlar üretim miktarının yüksek olmasında etkili olmuştur.

PVSyst programı, üretilen temiz enerji ile ne kadar CO₂ emisyonundan tasarruf edildiğini de hesaplamaktadır. Buna göre yıllık yaklaşık 46 ton CO₂ emisyonundan tasarruf edilmiştir. Sistemde kullanılan inverterin yazılımı da benzer şekilde CO₂ emisyon

tasarrufunu hesaplamaktadır. İnverter yazılımında görülen miktar da yaklaşık 44 ton CO₂'dir.

Tesiste üretilen elektrik enerjisi miktarı 92,8 MWh olarak ölçülmüştür. Tezin yazıldığı yılda üniversitenin elektrik aboneliğinde 1 kWh elektrik 5,15 TL'dir(Aralık 2022). Buna göre 64 kWp lik çatı üstü güneş enerjisi tesisi üniversitenin elektrik sarfiyatından 477.920 TL tasarruf sağladığı görülmektedir. Bu açıdan kamu binaları çatılarına güneş panelleri yerleştirerek enerji elektrik üretimi yapmanın kamu yararına bir faaliyet olduğu ve enerji harcamalarında ciddi bir tasarruf sağladığı görülmüştür.

PVsyst programının çıkartmış olduğu kayıplar diyagramına göre panel yüzeyinde oluşan yıllık toplam elektrik enerjisi 106,4 MWh iken, sistem kayıpları neticesinde inverter çıkışında elde edilen faydalı enerji miktarı 94,4 MWh olarak hesaplanmıştır. (Performans oranı %86,21) Diyagrama göre en yüksek kayıp %7,07 ile sıcaklık nedeniyle oluşan PV kaybı olurken diğer kayıplar modül ve dizilerdeki uyumsuzluk ve kalite kayıpları, inverter kayıpları ve kablolarda oluşan omik kayıplar olarak sıralanmışlardır. Buna göre mevcut ya da yapılması planlanan bir tesiste kayıpların sebeplerine odaklanarak sistemler daha verimli hale getirilebilecektir.

Simülasyon programı ile yapılan eğime bağlı yıllık üretim analizine göre en yüksek üretimin yapılacağı PV panel eğimi 30⁰-35⁰ aralığında hesaplanmıştır. Mevcut kurulu tesisin eğimi 7⁰ ve yıllık üretim miktarı simülasyona göre 94,2 MWh'dir. 30⁰-35⁰ aralığında ise üretim 101,2MWh olarak hesaplanmıştır. Buna göre panellerin eğimi 30⁰ de tesis edildiğinde yıllık üretimde %7'lik bir artış sağlandığı görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre PVSyst programı, veritabanının zenginliği, sonuçların tutarlılığı ve kullanım kolaylığı açısından proje hazırlama ve fizibilite çalışmaları için iyi bir simülasyon yazılımı olduğu görülmüştür. Planlanan bir tesisi daha yüksek verim alabilmek için nasıl dizayn etmek gerektiğini, hangi malzemelerden ne kadar performans alınabileceğini yüksek doğruluk oranı ile hesaplayarak kurulum öncesi kullanıcıyı yönlendirme açısından yararlı olacaktır.

Yapılan bu çalışmada kaynak olarak yenilenebilir olan güneş enerjisi sistemlerinde elde edilen enerjinin çevreye duyarlı temiz bir enerji olduğu görülmüş, bu sistemlerin yaygınlaştırılarak fosil yakıtların neden olduğu CO₂ emisyonunun azaltılabileceği anlaşılmıştır.



KAYNAKÇA

- Aksangör, N.A. (2019), '*Ankara Şartlarında bir Fotovoltaik Sistemin PvSyst Programı Yardımı ile Performans Analizi*' Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- Aracı, F. (2013), '*Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Termal Enerji Kaynaklarından Yararlanma*', İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Aydöner D. (2010), '*Binaya Entegre Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Kurulumu*', Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Baqir, M. and Channi, H.K., (2021), '*Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software*'
- Baştaş, H. (2021) '*The Role of Renewable Energy in Turkey's Energy Transformation and Analyzing Government Support Mechanism Towards Renewable Energy Markets*', Social Sciences University of Ankara, Master's Thesis
- Baraj Resimleri (2022), Erişim adresi:
<https://www.dsi.gov.tr/Galeri/ResimGaleriDetay/608>
- Benli, F. (2018), '*Fotovoltaik (PV) ve Fotovoltaik Termal (PV-T) Kolektörlerin Deneysel Karşılaştırılması*' Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Çataklı, M. (2012), Fotovoltaik Sistemler Kitabı, İstanbul
- Çınaroğlu, M.S., (2021) '*Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak bir GES Projesinin PvSyst Aracılığı ile Tasarım ve Analizi*' Kilis 7 Aralık Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- Çolakoğlu, M., Aslan S., İyikul E., Özenbaş M. (2021), '*Türkiye ve Dünyada Güneş Enerjisi Sektörü*' PwC Yayını
- Dal, A.R. (2021), '*Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi*', BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 241-250, 2021
- Demirci, (2022), Hidroelektrik Santrali ve Çalışma Prensipleri Erişim Adresi:
<https://muhendis.web.tr/hidroelektrik-santrali-calisma-prensibi/>
- Demiryürek, H.K. (2018) '*200kWp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin PvSyst ile Tasarımı ve Üretim Değerleri ile Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması*' Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Dinçer, F., Atik İ., Yılmaz Ş, Çıngı A. (2017) '*Hidrolik Enerjisinden Yararlanmada Ülkemiz ve Gelişmiş Ülkelerin Mevcut Durumlarının Analizi*', Mühendislik Dergisi, Sayı:3555-561

Elma, O. (2011), '*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Beslenen Şebekeden Bağımsız Bir Ev İçin Talep Ve Kaynak Dinamikleri Dikkate Alınarak Sistem Analizi*', Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022), Güneş Enerjisi Verileri. Son Güncelleme Tarihi: 26.08.2022 Erişim Adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>

Erkul, H. (2012), '*Jeotermal Enerjinin Katkıları ve Çevresel Etkileri Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği*' Yönetim Bilimleri Dergisi, Cilt:10, Sayı:19

Etcı, A. ,(2022) '*PvSyst Programı ile Modellenen Konya ve Van ilelerinde GES Santrallerinin Karşılaştırılması*' Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Fotovoltaik Panel Yapısı Nasıldır? (2022, 1 Eylül) Erişim Adresi: <https://www.orbitenerji.com/orbit-akademi/fotovoltaik-panel-yapisi-nasildir>

Gepa, (2022) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Erişim Adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>

'*Grid-tied, off-grid, and hybrid solar systems*' (2022), Erişim Adresi: <https://www.solarreviews.com/blog/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems>

Girgin, H.M. (2011), '*Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi*', İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Güneş (2022) Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F>

İlleez, B. (2022) Oda Raporları Yayın No:717 , 13.Bölüm Biyokütle Enerjisi Erişim Adresi:https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez.pdf

Kılıcı, O. (2020) '*Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVSyst Programında Üretim ve Performans Analizi*' Selçuk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Karagöl E.T., Kavaz İ. (2017) '*Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji*' , Seta, Analiz

Kerem, A, Atik M., Bayram A., (2020), '*Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzeysel Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi*' , Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt:12 Sayı:2

Koç, E., Şenel M.C. (2013), '*Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme*' Makale, Mühendis ve Makina Dergisi Sayı:639

Koç, E., Kaya K. (2015), '*Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu*', Makale, Mühendis ve Makina Dergisi Sayı:668

Renewables 2022 Global Status Report (2022)

Rüzgar Enerjisi (2022) Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Rüzgar_gücü

Schardt J. ve Heesen H. (2021), '*Performance of roof-top PV systems in selected European countries from 2012 to 2019*' Elsevier

Shrivastava, A., Sharma, R., Saxema, M.K., Shanmugasundaram, V., Rinava, M.L., (2021), '*Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST*'

Soylu, B.N. (2019) '*Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Konya İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli*' Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Svarc, (2020), '*Solar Panel Construction*', Erişim Adresi: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>

Şenol, Ü. (2017), '*Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini*', Bozok Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Şimşek, S. (2018) '*Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*' Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Tekkale, G. (2018). '*Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik Ve Finansal Analizi*', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 21-22

Turmuş, A. (2018). '*Düzlemsel Yansıtma Destekli Düzlemsel Güneş Paneli Tasarımı– Elektrik Üretimi ve Verim Analizi*', Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Uçar, S. (2018), '*Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*' İstanbul Arel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Yavuz, A., Başol, D., Ertay, M.M., Yücedağ, İ., (2019), '*Fotovoltaik Eşdeğer Devrelerinin Analizi için Bir Eğitim Aracı*'

Yılmaz, Ş. (2015) , 'Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi ve Gerçekleştirilmesi' Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2015.

