



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MARDİN SU VE KANALİZASYON İDARESİ’NİN ELEKTRİK
ENERJİSİNİ GÜNEŞ ENERJİSİ PANELLERİNDEN
KARŞILAMASI İÇİN PVSYT PROGRAMI İLE BİR MODELİN
OLUŞTURULMASI VE YATIRIMIN FİNANSAL ANALİZİ**

Fatma SÜRER TAŞ

**HAZİRAN-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MARDİN SU VE KANALİZASYON İDARESİ’NİN ELEKTRİK
ENERJİSİNİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDEN KARŞILAMASI
İÇİN PVSYT PROGRAMI İLE BİR MODELİN OLUŞTURULMASI
VE YATIRIMIN FİNANSAL ANALİZİ**

Fatma SÜRER TAŞ

Danışman

Doç. Dr. Adem YILMAZ

Diğer Jüri Yeleri

Doç. Dr. Ahmet GÜNDOĞU

Doç. Dr. Abdulkadir KOÇER

**HAZİRAN-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma SÜNER TAŞ tarafından hazırlanan “Mardin Su Ve Kanalizasyon İdaresi’nin Elektrik Enerjisini Güneş Enerjisi Santralinden Karşılması İçin Pvsyt Programı İle Bir Modelin Oluşturulması Ve Yatırımın Finansal Analizi” adlı tez çalışması 25/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan - Danışman
Doç. Dr. Adem YILMAZ

.....

Üye
Doç. Dr. Ahmet GÜNDOĞU

.....

Üye
Doç. Dr. Abdulkadir KOÇER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Fatma SÜRER TAŞ
Tarih: 25.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARDİN SU VE KANALİZASYON İDARESİ'NİN ELEKTRİK ENERJİSİNİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDEN KARŞILAMASI İÇİN PVSYS PROGRAMI İLE BİR MODELİN OLUŞTURULMASI VE YATIRIMIN FİNANSAL ANALİZİ

Fatma SÜRER TAŞ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adem YILMAZ

2025, 74 Sayfa

Türkiye’de nüfusun büyük bir kısmı yerel yönetim sınırları içinde yaşamaktadır. Bu durum, enerji ihtiyacının karşılanması, enerji verimliliğinin sağlanması ve sürdürülebilir kentlerin tasarlanmasında yerel yönetimlerin merkezi yönetim kadar önemli bir rol üstlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Yerel yönetimlere bağlı su ve kanalizasyon idareleri, geniş hizmet alanları ve yüksek enerji maliyetleri nedeniyle enerji yönetiminde stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU) için elektrik enerjisinin güneş enerjisi santrali (GES) ile karşılanmasını amaçlayan bir model geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, GES’in sistem tasarımı PVSyst programı ile gerçekleştirilmiş; üretim potansiyeli simüle edilmiş ve yatırımın farklı ödeme yöntemleri ile uygulanabilirliği analiz edilmiştir.

Modelin uygulanmasıyla birlikte, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca, bu proje yerli ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek bölgesel elektrik altyapısının güçlendirilmesine ve arz güvenliğine katkıda bulunacaktır. Çalışma sonuçları, önerilen modelin teknik ve finansal açıdan uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerji Sistemleri, PVSyst Yazılımı, Tasarım ve simülasyon, Teknik ve Finansal Analiz

ABSTRACT

MASTER THESIS

CREATION OF A MODEL WITH PVSYS PROGRAM AND FINANCIAL ANALYSIS OF THE INVESTMENT OF THE MARDIN WATER AND SEWERAGE ADMINISTRATION TO PROVIDE ELECTRICAL ENERGY FROM SOLAR ENERGY PLANT

Fatma SÜRER TAŞ

Batman University Graduate Education Institute

Department of Renewable Energy

Advisor: Doç. Dr. Adem YILMAZ

2025, 74 Pages

A large portion of the population in Turkey lives within the boundaries of local governments. This situation highlights the necessity for local governments to play a role as important as that of the central government in meeting energy needs, ensuring energy efficiency, and designing sustainable cities.

Water and sewerage administrations affiliated to local governments have a strategic importance in energy management due to their wide service areas and high energy costs. Within the scope of this study, a model has been developed for Mardin Water and Sewerage Administration (MARSU) aiming to provide electrical energy with a solar power plant (SPP). Within the scope of the study, the system design of the SPP was carried out with the PVSyst software; the production potential was simulated and the feasibility of the investment was analyzed with different payment methods.

With the implementation of the model, it is aimed to reduce energy costs and provide a sustainable and renewable energy source. In addition, this project will contribute to the strengthening of the regional electricity infrastructure and supply security by encouraging the use of local and renewable energy. The study results demonstrate that the proposed model is technically and financially feasible.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy Systems, PVsyst Software, Design and simulation, Technical and Financial Analysis

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde, Sayın Doç. Dr. Adem YILMAZ danışmanlığında yürütülmüştür. Tez süreci boyunca bilgi ve birikimiyle bana rehberlik eden, her aşamada destek ve güvenini esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Adem YILMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca en büyük ilham kaynağım olan, yalnızca yüksek lisans yapmam için cesaret vermekle kalmayıp, varlığıyla bana her zaman güç ve değer kazandıran sevgili babama, her koşulda desteğiyle yanımda olan kıymetli anneme ve varlıklarıyla bana güç veren kardeşlerime; hepsine minnettar olduğum sevgili aileme teşekkür ederim.

Bu süreçte sabrı, anlayışı ve sevgisiyle her zaman yanımda olan, en yoğun anlarımda dahi desteğini esirgemeyen sevgili eşime ve bana her zaman içtenlikle destek veren değerli ailesine gönülden teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm bu yoğunluk içerisinde varlığıyla bana yaşamın en değerli yanını hatırlatan sevgili oğluma; henüz iki yaşında sendromuyla, gülüşüyle ve sevgisiyle bana güç kattığı için kalpten teşekkür ediyorum.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında özellikle birlikte aynı ortamı paylaştığım oda arkadaşlarıma, tez sürecinin stresli ve yoğun zamanlarımda gösterdikleri anlayış ve motivasyon desteği için gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışma, yalnızca akademik bir araştırma değil; aynı zamanda Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin enerjiye bağımlılığını azaltmak ve gelecekte daha temiz, sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sunma arzusunun bir ürünüdür. Kurumum adına böylesine stratejik bir konuya ışık tutabilmek, benim için bir sorumluluk ve onur kaynağı olmuştur.

Fatma SÜRER TAŞ
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.1.Yöntem ve Çalışma Planı	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. PV PANELLER VE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TASARIMI	12
3.1. Güneş Enerji Sistemlerin Ana Bileşenleri	13
3.1.1. PV paneller.....	13
3.1.1.1. PV panel çeşitleri	15
3.1.1.2. PV panel verimlilik kriterleri	15
3.1.2. İnvertörler.....	16
3.1.3 Taşıyıcı sistemler	17
3.1.4. Solar kablo sistemleri	17
3.1.5. AC/DC toplama panoları.....	17
3.2. Güneş Enerjisi Santrali Başlıca Teknik Tasarım Kriterleri	18
3.2.1. Güneş Açıları	18
3.2.2. Radyasyon	19
3.2.3. Sıcaklık.....	19
3.2.4 Eğim ve Bakı.....	20
3.2.5. Yer seçimi ve arazi türleri	21
3.3. Güneş Enerji Sistemlerinin Şebekeye Bağlantı Şekilleri	22

3.3.1. Şebeke bağlantısız sistemler (Off-Grid).....	22
3.3.2. Şebekeye bağlı sistemler (On-Grid).....	22
3.3.3. Hibrit (On-Grid + Bataryalı) sistemler.....	22
4. MARDİN SU VE KANALİZASYON İDARESİ TANITIMI VE ENERJİ KULLANIM DURUMU.....	23
4.1 MARSU’nun Kırsal Ve Kentsel Alt Yapı Durumu.....	23
4.1.1. İçme ve kullanma suyu şebekesi	23
4.1.2. Yağmur suyu ve kentsel drenaj	24
4.1.3. Kanalizasyon ve atıksu arıtma	24
4.1.4. İçmesuyu kaynakları	25
4.1.5. MARSU’nun yenilenebilir enerji durumu	25
4.2. Marsu’nun Aylık ve Yıllık Enerji Giderleri	28
5. MATERYAL VE YÖNTEM	32
5.1 MARSU GES için Arazi Seçimi	32
5.2. Güneş Enerji Santrali Projelerinde Kullanılan Simülasyon Programları	34
5.2.1 Ticari yazılımlar (Lisanslı).....	34
5.2.2 Açık kaynaklı ücretsiz yazılımlar.....	36
5.3. PVsyst Programı ile Planlanan Güneş Enerji Santralinin Tasarımı	37
5.3.1. Şebekeye bağlı sistem tasarımı	40
5.3.2. Arazi ve hava şartlarının programa tanıtılması	41
5.3.3. Panel yönelimlerinin, eğim açısının ve azimut açılarının belirlenmesi	42
5.3.4. Ufuk çizgisi bölümü.....	44
5.3.5. PVsyst'te sistem bölümü ve tasarım aşamaları	45
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
6.1.Sistem Performansına İlişkin Grafikler	49
6.2.Detaylı Kayıplar Analizi.....	52
6.3. Gölgeleme Analizi.....	53
6.4. Projenin çevresel etki ve sonuçları	55
6.5. Sistemin Teknik Performans Değerlendirmesi.....	56
6.6. Santralin Finansal Analizi	56

6.7. Finansal Analizde Kullanılan Yöntemler	59
6.8. Finansal Analizde Yaklaşık Maliyet ile Yapılan Kabullerin Programa Girilmesi	60
6.9. Finansal Analiz Senaryolarının Karşılaştırılması ve Değerlendirme	63
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	68
EKLER	74

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1: 2020 – 2024 Stratejik Planı PESTLE Analizi Çevresel Kısmı.....	27
Tablo 4.2: 2020 – 2024 Stratejik Planı Hedef H5.2.....	27
Tablo 4.3: 2024 yılı Aylık Elektrik tüketimleri (kWs)	29
Tablo 4.4: 2024 yılına ait aylık enerji giderleri(TL).....	30
Tablo 4.5: Yıllara Göre Elektrik Tüketimleri (kWh).....	30
Tablo 4.6: Yıllara Göre Elektrik Tüketimleri(TL).....	31
Tablo 5.1: PVsyst Programı Kullanımı Başlıca Adımları	38
Tablo 5.2: PVsyst giriş parametreleri	45
Tablo 5.3: Kullanılan Fotovoltaik Panelin teknik özellikleri.....	46
Tablo 5.4: Kullanılan İnvertörün Teknik Özellikleri	46
Tablo 6.1: 60 MW Yaklaşık Maliyeti	57
Tablo 6.2: GES kurulum ve işletmesinde yapılan bazı kabuller.....	58
Tablo 6.3: Karşılaştırmalı senaryo sonuçları	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlas(GEPA)	1
Şekil 1.2: Mardin Güneş Radyasyonu (GEPA)	2
Şekil 3.1: Tipik bir PV modül yapısı (Aydınlatma.org, 2019)	14
Şekil 3.2: Güneş Paneli Yerleşim Şekli (Aydınlatma.org, 2021)	18
Şekil 3.3: Mardin İli Yıllık Radyasyon Değerleri (GEPA)	19
Şekil 3.4: Mardin ili Yıllık sıcaklık değerleri (Climate-Data.org, 2024).....	20
Şekil 3.5: Arazi Türleri ve Ges İçin Uygunluğu	21
Şekil 4.1: Yıllara Göre Mardin Nüfusu (kaynak: TÜİK erişim tarihi:18.02.2025).....	23
Şekil 4.2: Kızıltepe Atıksu Arıtma Tesisi (Kaynak: MARSU)	26
Şekil 4.3: Sürgücü Biyodisk Atıksu Arıtma Tesisi (Kaynak: MARSU)	26
Şekil 5.1: GES için seçilen arazi.....	33
Şekil 5.2: PVsyst 8.0.10 arayüz ekran görüntüsü	39
Şekil 5.3: Coğrafi konum parametrelerinin girildiği ekran görüntüsü.....	41
Şekil 5.4: 2006-2013 yılları arası meteorolojik hava koşulları (Kwh/m2/ay)	42
Şekil 5.5: Eğim ve Azimut açısının belirlenmesi	43
Şekil 5.6: Eğim ve Azimut açısı belirlendikten sonra oluşan grafik	44
Şekil 5.7: PVsyst sistem yapılandırması ve bileşen özet ekranı	47
Şekil 5.8: Sistem tarafından oluşturulan tek hat şeması	48
Şekil 6.1: Aylara göre Performans Oranı (PR)	49
Şekil 6.2: Normalize üretim (kWp)	50
Şekil 6.3: Dizi Güç Dağılımı	51
Şekil 6.4: Sistem Kayıplar Diyagramı	52
Şekil 6.5: Gölgeleme Sahnesi 3D Görünümü	54
Şekil 6.6: CO ₂ Emisyon Bilançosu	55
Şekil 6.7: PVsyst yatırım ve giderler sayfası	61
Şekil 6.8: PVsyst yapılan kabullerin girilmesi.....	61
Şekil 6.9: PVsyst satış parametrelerinin girilmesi	62
Şekil 6.10: PVsyst yapılan kabullerin girilmesi.....	62
Şekil 6.11: PVsyst mali analiz sonuçlarının olduğu sayfa.....	63

SİMGELER

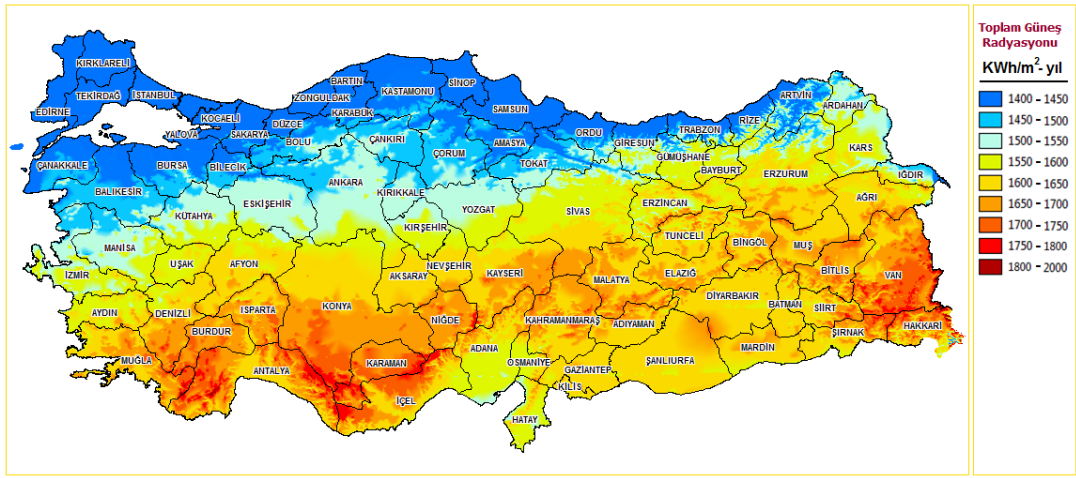
A	: Alan (m ²)
CO ₂	: Karbondioksit
E	: Enerji (kWh)
GHI	: Global Yatay Işınım (kWh/m ²)
W	: Watt
GW	: Gigawatt
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt-saat
kWp	: Kilowatt-peak (Pik güç)
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt-saat
MWp	: Megawatt-peak
tCO ₂	: Ton Karbondioksit
W/m ²	: Güneş ışıyım şiddeti birimi
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
USD	: Amerikan Doları
TL	: Türk Lirası

KISALTMALAR

IRR	: İç Verim Oranı (%) / İç Karlılık Oranı
LCOE	: Düzgünleştirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized Cost of Electricity)
NBD	: Net Bugünkü Değer (USD)
PR	: Performans Oranı (%)
ROI	: Yatırımın Geri Dönüş Oranı (%) / Return on Investment
GES	: Güneş Enerjisi Santrali / Güneş Enerji Santralleri
İVO	: İç Verim Oranı
MARSU	: Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi
PV	: Photovoltaic panel
PVsyst	: Photovoltaic System Simulation Software
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System
SAM	: System Advisor Model
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
On-Grid	: Şebekeye Bağlı Sistem
Off-Grid	: Şebekeden Bağımsız Sistem

1. GİRİŞ

Son yıllarda, dünya genelinde enerji ihtiyacının artması ve çevresel sorunların yaygınlaşması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle güneş enerjisi, çevre dostu yapısı ve sürdürülebilirliği ile dikkat çekmektedir. Türkiye, sahip olduğu yüksek güneşlenme potansiyeline rağmen, bu doğal kaynağı yeterli düzeyde değerlendiremeyen ülkeler arasında yer almaktadır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2.741 saat olup, bu değer günlük ortalama 7,5 saat güneşlenmeye karşılık gelmektedir. Şekil 1.1'de aynı kaynaklara göre, ortalama yıllık toplam global radyasyon değeri 1.527 kWh/m²-yıl, günlük ortalama ise 4,18 kWh/m²-gün olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, Türkiye yılda yaklaşık 114 gün boyunca etkin bir şekilde güneş enerjisinden yararlanabilecek iklimsel koşullara sahip önemli ülkelerden biri konumundadır (Gündoğmuş, S. 2023).

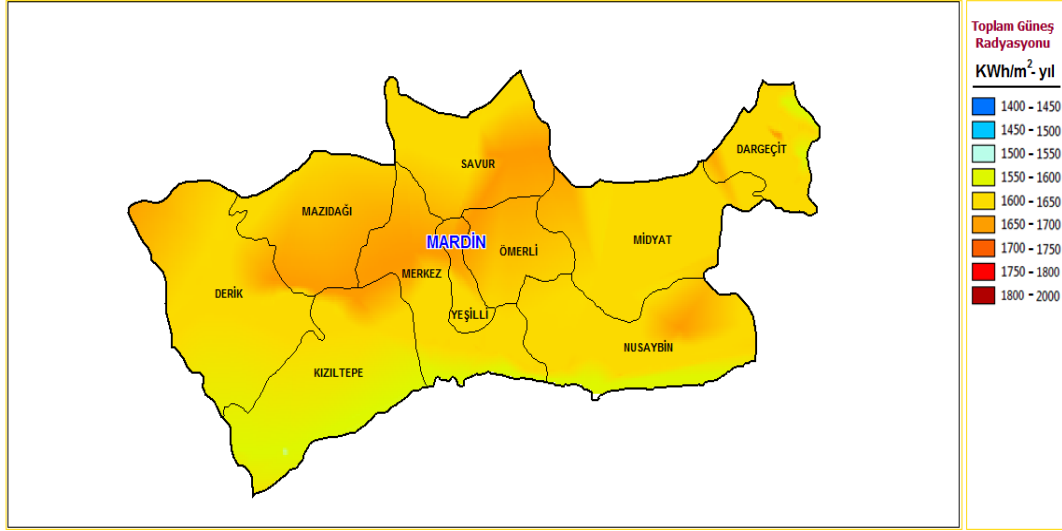


Şekil 1.1. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)

Harita üzerinde Güney'den kuzeye doğru gidildikçe güneşlenme süresi ve potansiyeli azalmaktadır. Karadeniz coğrafi konumundan ötürü yağış miktarı en fazla olan bölge ve diğer bölgelere göre ışıınımı en az bölge olduğu görülmektedir. Marmara ve Ege bölgesi ise orta düzeydedir. İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ise ışıınım şiddetinin yüksek olduğu bölgelerdir. Bu nedenle güneş enerji santralleri kurulumu bakımından daha verimli olduğu ve bu bölgelerde kurulan

tesislerin daha kısa sürede yatırım maliyetlerinin amorti süreleri daha kısa vadede geri dönüş sağlamaktadır (Doğanay, 2021).

Mardin ili, coğrafi konumu ve yüksek güneşlenme süresi ile güneş enerjisi uygulamaları için oldukça elverişli bir bölgedir.



Şekil 1.2. Mardin güneş radyasyonu (GEPA)

Mardin, zengin tarihi ve kültürel mirasıyla tanınan, aynı zamanda yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ildir. Bu avantaj, yerel yönetimlerin enerji maliyetlerini düşürmesi ve çevre dostu politikalar geliştirmesi için önemli bir fırsat sunar. Özellikle su ve kanalizasyon gibi yüksek enerji gerektiren hizmetlerde bu potansiyel, ekonomik ve çevresel kazançlar sağlayabilir. Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU), içme suyu ve atık su yönetimini yürütürken, elektrik bağımlılığını da göz önünde bulundurmalıdır. Artan elektrik maliyetleri, kurum bütçesini zorladığı gibi sürdürülebilir yönetimi de güçleştirmektedir. Ayrıca enerjiye erişimde yaşanan sorunlar, su hizmetlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, güneş enerjisi santrali kurulumu; hem maliyetleri azaltan hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyen etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışma, Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU) için elektrik enerjisi ihtiyacını bölgenin en elverişli yenilenebilir enerji kaynağı olan, güneş enerjisi santralleri (Fotovoltaik-PV sistemler) aracılığıyla karşılanmasını amaçlamaktadır. Artan enerji maliyetleri, iklim krizi ve enerji arz güvenliği sorunları, kamu kurumlarının sürdürülebilir enerji politikalarına yönelmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, MARSU'nun yüksek elektrik tüketimi dikkate alınarak, güneş enerjisi yatırımı ile enerji maliyetlerinin azaltılması, karbon ayak izinin düşürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmektedir.

Geliştirilecek olan güneş enerji sistemi ile yalnızca ekonomik kazanç sağlanması değil, aynı zamanda Mardin özelinde bir yerel yönetim biriminin enerjide kendi kendine yetebilmesi ve dışa bağımlılığını azaltması da amaçlanmaktadır. Böylece kurumun enerji arzı üzerindeki kontrolü artarken, uzun vadede bütçe planlaması daha öngörülebilir hale gelecektir.

Bu doğrultuda, MARSU'nun mevcut elektrik tüketim profili ayrıntılı şekilde analiz edilecek, bu ihtiyacı karşılayabilecek kapasitede 60 MWe gücünde bir fotovoltaik (PV) güneş enerjisi santrali tasarlanmış ve PVsyst yazılımı kullanılarak sistemin üretim kapasitesi, performans oranı ve kayıplar analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, kurulacak sistemin ekonomik fizibilite analizleri yapılarak yatırımın geri ödeme süresi, farklı yatırım senaryolarına göre iç kârlılık oranı (IRR) ve net bugünkü değeri (NPV) gibi temel finansal göstergeler hesaplanmıştır.

Çalışmanın nihai hedefi, MARSU'nun enerji maliyetlerinden kaynaklı mali yükünü azaltmak, yenilenebilir enerjiye dayalı bir altyapı ile uzun vadede enerji bağımsızlığını tesis etmek ve bu modelin diğer yerel yönetimlere örnek teşkil etmesini sağlamaktır.

1.1. Yöntem ve Çalışma Planı

Bu çalışmada, Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (MARSU) enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla bir güneş enerji santrali (GES) modeli oluşturulacak ve yatırımın

teknik ve finansal fizibilitesi değerlendirilecektir. Çalışma süreci, dört temel aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada, Mardin'in güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilecek ve GES kurulumu için en uygun bölge seçilecektir. Bu süreçte, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerinden yararlanılacaktır. Ardından MARSU'nun mevcut elektrik tüketimi analiz edilerek aylık ve yıllık enerji ihtiyaı belirlenecektir. Bu kapsamda, tüketim verileri incelenecek ve sistemin lğini belirlemede kullanılacaktır.

İkinci aşamada, PVsyst yazılımı kullanılarak GES'in teknik modellemesi yapılacaktır. Bu süreçte, panel türleri, sistem konfigürasyonu, eğim açısı ve yıllık üretim kapasitesi gibi teknik parametreler belirlenerek sistemin verimliliği test edilecektir. Ayrıca, gölgeleme etkileri, şebeke bağlantı seçenekleri ve olası enerji kayıpları analiz edilerek en uygun tasarım ortaya konulacaktır.

nc aşamada, yatırımın finansal fizibilitesi değerlendirilecektir. Başlangıç yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji üretim geliri hesaplanarak yatırımın ekonomik sürdürülebilirliği analiz edilecektir. Net bugünkü değer (NPV), i kârlılık oranı (IRR) ve geri dönüş süresi (payback periyod) gibi finansal göstergeler yardımıyla yatırımın ekonomik avantajları ortaya konacaktır.

Son aşamada ise, GES yatırımının çevresel ve ekonomik etkileri değerlendirilecektir. Fosil yakıt kullanımının azalmasıyla karbon emisyonlarında ki düşüş hesaplanacak ve uzun vadede MARSU'ya sağlayacağı enerji tasarrufu analiz edilecektir.

Bu aşamalar doğrultusunda, MARSU'nun enerji ihtiyaını güneş enerjisinden karşılayabilecek en uygun sistem tasarlanarak yatırımın teknik ve ekonomik fizibilitesi kapsamlı bir şekilde incelenecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde daha önce benzer konularda yazılmış çalışmalar incelenmiş ve genel itibariyle güneş enerji santralleri ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Fotovoltaik (PV) santrallerin performans analizine yönelik olarak, simülasyon programlarıyla modellenerek elde edilen veriler ya da hâlihazırda üretimde olan PV sistemlerinden sağlanan gerçek zamanlı veriler kullanılarak gerçekleştirilen çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların genel amacı, GES sistemlerin Mardin ili su ve kanalizasyon idaresi için kullanım potansiyellerinin belirlenmesi, bu ölçüde bir yatırımın karlı olup olmayacağı konusunun araştırılmasıdır.

Akar (2016), Bu Çalışmada, 1150 kWp / 1000 kW kapasiteli Haymana GES'in yatırım maliyeti, performans oranı, enerji üretimi, amortisman süresi ve performansı etkileyen faktörler analiz edilmiştir. Santral onay tarihinden itibaren bir yıllık üretim verileri dikkate alınarak mali analiz yapılmış; finansal değerlendirmeler sonucunda amortisman süresi 6,6 yıl olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Yüzer (2025), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Hakkâri Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesi'nde kurulması planlanan 1 MWp kapasiteli güneş enerji sisteminin tasarımı ve performans değerlendirmesi PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda sistemin yıllık enerji üretimi, performans oranı (PR), kayıplar analizi (soğutma, gölgeleme, inverter, kablo vb.) ve üretim verimliliği değerlendirilmiştir. Elde edilen PR değeri ve yıllık üretim çıktıları, bölge koşulları ile uyumlu bulunmuş, sistemin teknik olarak verimli çalışabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma, PVsyst yazılımının teknik tasarım ve performans analizinde etkin ve güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Şahin, Salihmuslim (2024), Bu çalışmada, Göksun Belediyesi'ne ait 1,179 MWp gücündeki güneş enerjisi santralının 2023 yılı üretim verileri, PVsyst simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Gerçek üretim 1890050 kWh, simülasyon sonucu ise 1896851 kWh olarak hesaplanmış ve aradaki fark %0,203 gibi çok düşük çıkmıştır. Bu durum, PVsyst yazılımının yüksek doğrulukla simülasyon yapabildiğini göstermektedir.

Yiğit (2023), Çalışmada, 1 MW kapasiteli bir güneş enerji santralinin günlük ve yıllık enerji üretim potansiyeli PVsyst simülasyon yazılımı ile analiz edilmiştir. Güneş panellerinin eğim açısı, yönü ve sistem konfigürasyonunun performansa etkisi değerlendirilmiş, simülasyon sonuçları saha verileriyle karşılaştırılarak sistemin gerçek performansı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, simülasyon ile uygulama arasındaki farklar ortaya konmuş ve performans artırıcı öneriler sunulmuştur. Bu bağlamda, PVsyst yazılımının GES performans analizinde ve sistem optimizasyonunda önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır.

Girgin (2011) tez çalışmasında, Karaman iline kurulacak olan 5MW'lık güneş enerji santralinin enerji üretimini inceleyerek ekonomik analizlerini yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmada 6 farklı PV panel çeşidi, üç montaj yapısı tipi ve iki farklı evirici modelleri kullanılmıştır. Bu doğrultuda, enerji ve ekonomik analizleri yapılan sistemler karşılaştırılmış; elde edilen analiz sonuçları arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Böylece, fotovoltaiik panelli güneş enerjisi sistemlerinin mühendislik ve ekonomik açıdan birbirlerine göre durumu varyasyonel olarak değerlendirilmiştir.

Yiğit, Arslanoğlu, Eker (2019), yazmış oldukları makalede, GES santrallerinin panel açısı, panel yönü, gölgeleme, sıcaklık, nem, rüzgâr, kirlilik gibi parametrelerin panel verimine etkilerine literatür çalışmasında değinmiş olup, panel kirliliğinin önüne geçmek için temizlenmesi zorunlu hale olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak GES Projelendirmesinde söz konusu tüm faktörler dikkate alınarak projelendirme yapılmalıdır.

Ölmez (2017), Bu çalışma, Türkiye elektrik sisteminde sekonder frekans kontrol mekanizmasının büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri ile uyumluluğunu analiz ederek, gelecekte karşılaşılabilecek olası teknik ve yapısal zorluklara karşı önleyici stratejilerin geliştirilmesine yönelik önemli bir yol haritası sunabilir. Özellikle enerji depolama sistemleri, santral kontrol stratejileri ve şebeke entegrasyonu yaklaşımları bu bağlamda detaylı olarak incelenmelidir. Bu tür analiz ve değerlendirmeler, hem Türkiye'nin enerji arz güvenliğini ve bağımsızlığını artıracak hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Güneş (2019), Bu çalışmada güneş enerjisi yatırımlarından en fazla payı alan Konya'nın güneş enerjisi tesislerinin finansal analizi yapılarak katkı sağlanmaya çalışılmış olup, bu alandaki yatırımları destekleyen değişkenler incelenerek istatistiksel modelleme ile analiz edilmiştir. Yatırımcı eğilimleri açısından güneş enerjisi yatırımları

için yapılan finansal analizde projelerin yatırım kararlarını olumlu yönde etkileyecek sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.

Beyoğlu (2023), çalışmasında kurulu bir güneş enerji santraline ait üretim verilerini kullanarak, analitik modelleme ve derin öğrenme tabanlı iki farklı yöntemi karşılaştırmıştır. Analitik model, sahada kullanılan panel katalog verileriyle MATLAB/SIMULINK ortamında oluşturulmuş ve gerçek sistem verileriyle yüksek uyum göstermiştir. Çalışma kapsamında, güneş enerjisi santralinin performansını etkileyen faktörler incelenmiş; panel eğim açısı ve invertör kapasitesi gibi tasarım parametreleri optimize edilerek sistem verimliliği açısından uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Koçak (2018), Bu çalışmada, Büyükçekmece ilçesinde kurulması planlanan güneş enerji santrali için 8 farklı sistemin ekonomik analizi ve enerji üretim değerlendirmesini yapmaktadır. Analizler, 4 farklı güneş paneli türü ve 2 evirici modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimi simülasyonları PVSOL yazılımıyla, meteorolojik veriler ise Meteonorm'dan yararlanılarak incelenmiştir. Çalışmada, sistemlerin ekonomik yönleri için iç kârlılık oranı ve geri ödeme süresi hesaplamaları yapılmış ve en uygun sistem belirlenmiştir. Sonuç olarak güneş enerji sistemlerinin mali ve mühendislik açısından karşılaştırmalı analizini sunarak, yatırımcıların bilinçli kararlar almasına yardımcı olmayı amaçlamıştır.

Güneş, Hacıoğlu (2024) Yapmış oldukları çalışmada, üniversite kampüslerinde güneş enerji santrali (GES) kurulumu ve tasarımına yönelik bir öngörü oluşturmayı hedeflenmektedir. Araştırmada, beş farklı üniversite yerleşkesinde kurulum senaryoları değerlendirilip, güneşlenme, konum ve sıcaklık gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Arazi, eğimli çatı ve düz çatı seçenekleriyle üç farklı kurulum tipi analiz edilmiştir. PVGIS veri tabanı kullanılarak enerji üretim verimliliği hesaplanmış ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bu tasarım çalışmasında, gerçek verilerle karşılaştırmalar yapılarak potansiyel hata seviyeleri ve maliyet hesaplamaları da değerlendirilmektedir. Böylece, üniversitelerin sürdürülebilir enerji çözümleri geliştirmeleri ve enerji ihtiyaçlarını karşılamaları için kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Malvoni ve arkadaşları (2017), Güney İtalya'daki 960 kWp kapasiteli bir fotovoltaiik sistemin performansını incelemiş ve gerçek üretim verilerini, SAM ve PVsyst simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Yapılan fark analizine göre, SAM modelinin

yıllık enerji üretimini %3,0, PVsyst'in ise %3,3 sapma ile tahmin ettiği belirlenmiştir. Genel sonuçlar, PVsyst'in SAM'e kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir. 43 aylık ölçüm verileri ışığında, sistemin performans oranı %84,4, kapasite faktörü ise %15,6 olarak tespit edilmiştir.

Kocagöz Demir (2022), Yapmış olduğu çalışmada, Bayburt Güneş Enerji Santrali'nin 2020 yılında ürettiği enerji verileri incelenmiştir. Santral, 12.1 GWh enerji üretmiş ve %89.04 performans oranı ile %18.3 kapasite faktörü elde edilmiştir. HelioScope yazılımıyla yapılan tasarımlar sonucunda yıllık enerji üretiminin 11.03 GWh ve performans oranının %86.3 olduğu belirlenmiştir.

Bayrakçı, Gezer (2019), Çalışmalarında Aydın ili Çine ilçesinde kurulması planlanan 1 MW gücündeki güneş enerji santralinin yatırım aşamasından proje ve uygulamasına kadar yapılacak yatırımlar ve panel seçimi gibi kullanılacak malzeme seçimleri, hem teorik hem de gerçek üretim verileri ve maliyet analizi üzerinde durmuştur. Enerji hesaplamalarında pvSOL, Maliyet analizinde Geri ödeme süresi metodu ve iç karlılık yöntemlerini kullanmıştır. Yapmış olduğu incelemelerde ve araştırmalarda da kullanılan yazılımların sonuçlarında da görülebildiği gibi teorik olarak yapılan hesaplamalar, ülkemizde ges kurulumu için doğru yer ve ekipmanlar kullanılarak yapıldığında, üretim değerleri hesaplananlardan daha verimli olabileceğini vurgulamıştır.

Yalılı (2021), Yapmış olduğu çalışmada Van ili Edremit ilçesinde lisanslı ve şebekeye bağlı 1 MW gücündeki fotovoltaik GES yatırımının günümüz ekonomik koşullarına göre finansal analizi yapılarak yatırımın kârlı olup olmadığı incelenmiştir. Yatırımın yapılacak santralin tamamen öz sermaye veya on yıl geri ödemeli TurSEFF yenilenebilir enerji kredisi ile yapılması durumları için farklı maliyet analizleri kullanılarak finansal analiz gerçekleştirilmiştir. Öz sermaye ile yapılan yatırımda, yatırımın kârlı olacağı tespit edilmiştir. Ancak, yatırım maliyetlerinin kredi ile karşılanması durumunda, %10 kâr marjıyla yatırımın kabul edilmesi mümkün değildir, yalnızca %6.76 veya daha düşük kâr marjıyla kârlı hale gelebileceği için kredi ile yapılması yatırımın kârlı olmayacağı sonucuna varmıştır.

Kahraman (2018), Yazmış olduğu tez çalışmasının kapsamında, Kütahya bölgesinde seçilen bir bölgede yenilenebilir enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizini yapmıştır. Ekonomik analiz için iki farklı finansman senaryosu içerisinde muhtemel santral fizibiliteleri çalışmaları yapılmıştır. Santrallerin maliyetlerinin analizleri

için HOMER yazılımı kullanılmıştır. İklim verileri ve üretilebilecek enerji miktarlarının hesaplanması için de RETScreen yazılımı kullanılmıştır. Ekonomik analizler için “Geri Ödeme Süresi”, “İç Karlılık Oranı”, “Net Bugünkü Değer” hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır.. Ayrı ayrı fizibilite çalışması yapılan Güneş Enerji Santrali ve Rüzgar Enerji Santrali için ayrı maliyet analizleri yapılmış, iki ayrı öz sermaye senaryosu oluşturularak sistemlerin sürdürülebilirlikleri incelenmiştir. Yapılan tekno-ekonomik analizler her iki yatırımında Kütahya’da seçilen bölge için mantıklı bulunmamıştır.

Tekdamar ve Tekdamar (2024), çalışmalarında lisanslı ve şebekeye bağlı 1 MW kapasiteli bir fotovoltaik GES yatırımının günümüz ekonomik koşullarına göre finansal analizini gerçekleştirmiştir. Van ili Edremit ilçesi, GES kurulumu açısından değerlendirilmiş ve enerji üretim hesaplamaları PVGIS verileri kullanılarak yapılmıştır. Çeşitli finansal analiz yöntemleriyle yapılan değerlendirme sonucunda yatırımın kârlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, panel yüzeyindeki gölgeleme ve kirlenmenin verimlilik üzerindeki olumsuz etkilerine dikkat çekilmiş, bu faktörlerin kontrolüyle sistem performansının %75,8’e kadar çıkarılabileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi sistemlerinde tasarım ve çevresel koşulların dikkate alınmasının verimliliği artırmada kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Yiğit (2023) Bu tezde, güneş enerjisinin sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak artan önemine dikkat çekerek, 1 MW kapasiteli bir güneş enerji santralinin performansı PVsyst ısıtma yazılımının ayrıntılı bir şekilde ayrıntılı bir şekilde göstermiştir. Çalışmanın amacı, PVsyst yazılımı ile santralin enerji üretim potansiyelini değerlendirme, performans analizlerini oluşturma ve sistem genişletme için kullanılabilirliğini araştırmaktır. Ayrıca, güneş paneli eğim açısı, görünüm ve sistem konfigürasyonu gibi kapsamlı üretim değişimi üzerindeki etkiler incelenerek, en yüksek performansın elde edilebileceğini göstermiştir.

Keskin (2019), Yapmış olduğu tez çalışmasında, fotovoltaik sistemlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan PVsyst simülasyon yazılımını anlatmıştır. Niğde Güneş Enerjisi Santrali'nin 1 MW çıkış gücüne sahip sistemin dağıtımı, PVsyst V6.78 deneme sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santralin 2017 yılına ait gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmış, performans ve kayıp değişimleri analiz edilmiştir.

Tanrikulu (2023), Bu çalışmada, GES için uygun yer seçiminin yapılması hakkında farklı kriterler listelemiştir. Bu doğrultuda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri kullanılarak Denizli ili için hesaplama analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre mekânsal ve mekânsal olmayan veriler CBS ortamında analiz edilmiştir. Sonuçlara göre Denizli'de 44.579 hektar alanda GES kurulumu için çok elverişli 619.595 hektarlık alan orta elverişli ve 530.922 hektar alanın ise uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Mermoud, Wittmer (2017) Yazmış olduğu tez çalışmasında, PVsyst yazılımının arayüzü ve kullanımı için doküman niteliğinde bir çalışma hazırlamışlardır. Bu çalışma aynı zamanda PVsyst programı için kullanım kılavuzu niteliğindedir. Yapılmış çalışmada program kullanımı yanında alınan raporun nasıl yorumlanacağı da detaylandırılmıştır. Projede detaylı rapor alabilmek için girilmesi gereken parametreler, simülasyon tasarım aşamaları, kayıpların tanımlanması, gölge analizleri ve projenin değerlendirme parametreleri gibi kriterler ele alınmıştır.

Ulusoy (2017), Bu çalışmada, yenilenebilir enerjinin şimdiye kadar geldiği nokta ile yenilenebilir enerji hakkında yapılan son çalışmalardan, finansal teşviklerden, dünyada ve ülkemizde yapılan destek ve hibe programlarından ve yeni bir finansman yolu olan Yeşil Sertifikalar kavramının ne olduğunu açıklamıştır.

Koçak (2018), Büyükçekmece İlçesindeki Güneş Enerji Santralinin Tasarımı Ve Ekonomik Analizi adlı çalışmasında, kurulması planlanan santral için 8 farklı tasarım pv*SOL ile oluşturulup enerji üretim analizleri yapılmıştır. Oluşturulan modeller için farklı finansman analizleri yapılmıştır.

Şahin (2024), Bu çalışmada, Şırnak ili Cizre ilçesinde bir güneş enerjisi tesisinin arazi yapısı, meteorolojik verileri ve kurulumunu incelemiştir. Güneş enerjisi projesi, PVSOL ve PVsyst simülasyon programları kullanılarak modellenmiştir. Kurulum sonrası devreye alınan tesisin SCADA sistemi aracılığıyla bir yıllık gerçek üretim verileri elde edilmiştir. Aynı zamanda, PVSOL ve PVsyst simülasyon programları kullanılarak tesisin tahmini yıllık üretim sonuçları hesaplanmış ve gerçek üretim verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu analiz sayesinde simülasyon programlarının gerçek üretim değerlerine ne kadar yaklaştığı belirlenmiş ve tahminlerin doğruluk düzeyi değerlendirilmiştir.

Kumruoğlu & Ateş (2022) Yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini ve İskenderun için örnek bir üretim projeksiyonunu ele almaktadır. Güneş enerji santrallerine olan yatırımların arttığı, Kovid-19 pandemisi süresince enerji tüketiminin büyük bir kısmının yenilenebilir enerji santrallerinden karşılandığı ve güneş enerjisinden üretilen elektriğin önemli bir paya sahip olduğu vurgulanmaktadır. İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsünde 60 kWp GES tasarımı yapılmış ve PVGIS, PVSyst, SMA Web Desing yazılımları kullanılarak tahmini elektrik üretimleri hesaplanmıştır.

Srivastava & Giri (2017) Bu çalışma, PVSyst yazılımı kullanılarak yapılan şebekeye bağlı PV sistem tasarımına iyi bir örnek sunuyor. Madan Mohan Malaviya Teknoloji Üniversitesi için yapılan analizde, sistem boyutlandırması 2000 adet PV modül ve 10 inverter kullanılarak optimize edilmiştir. PVSyst simülasyonu sayesinde, güneş ışıınımı, gölgeleme, panel yerleşimi ve inverter verimliliği gibi birçok faktör analiz edilerek uygun kurulum sağlanmıştır. Sistem, yıllık yaklaşık 901,4 MWh elektrik üreterek üniversitenin tüketimini büyük ölçüde karşılamaktadır.

Elmas (2024), Yapmış olduğu çalışmada, konutlarda güneş enerjisi sistemleri için yapılan yatırımların çeşitli ekonomik modellerle analizini bir saha çalışması olarak irdelenmiştir. Bu bağlamda, Gökçeada, Çanakkale'deki bir konuttan bir yıl boyunca saatlik anonim elektrik tüketimi verilerini toplayarak SAM yazılımı ile modellemiştir. Farklı maliyet analizleri uygulanmış olup yapılan analizler sonucunda, yenilenebilir enerji yatırım kararları için konutlarda kullanılabilirlik potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çınaroğlu (2023) Yazmış olduğu tez çalışmasında, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ne kurulması planlanan bir fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizini yapmak. Çalışmada hem şebekeye bağımlı hem de bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri değerlendirmiştir. Farklı güneş takip sistemleri ve panel tiplerinin analizleri yapılarak, sistemlerin performansları karşılaştırılmış ve fotovoltaik enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik olarak en optimum modelinin belirlenmesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde uygulanabilirliğini değerlendirilmiştir.

Yalılı Kılıç, Kurtaran (2023), yapmış oldukları çalışmanın Bursa'nın Osmangazi ilçesinde bulunan bir çevre danışmanlık firmasının elektrik ihtiyacını karşılamak için bir Fotovoltaik (FV) enerji sistemi tasarlamaktır. Çalışmada, PVSyst simülasyon programı kullanılarak sistemin performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Üretilen elektriğin

%81,69'luk bir performans oranıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Sistem, Osmangazi'nin güneş enerjisi potansiyeli açısından verimli bir bölgede bulunduğu için uygulanabilir ve avantajlı görülmüştür.

Al-Shagea ve dig. (2021), Yapmış oldukları çalışmada Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin çatısında bulunan 5,1 kW kurulu güce sahip fotovoltaik sistemin gerçek üretim değerlerini PVSOL, PVSYST ve GEPA yazılımlarından elde edilen tahmini üretim değerleri karşılaştırılmıştır. 2018-2019 yılları arasındaki veriler incelendiğinde, sistemin tahmini üretim performansının PVsyst yazılımına göre %87,5-%91, GEPA verilerine göre %96,6-%100 ve PVsol tahminlerine göre %97,3-%98,1 aralığında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu analiz, farklı simülasyon yazılımlarının tahmin doğruluğunu değerlendirmek açısından önemli bulgular sunmaktadır.

Tuğcu(2023), Yapmış olduğu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi'nde planlanan 200 kWp kapasiteli bir güneş enerjisi santralinin tasarımı, performans analizi ve ekonomik değerlendirmesini ele alıyor. PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak, güneş panelleri %18,48 verimlilikle ve 36° eğimle güneşe yönlendirilmiştir. Yıllık enerji üretimi 291,1 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin ortalama performans oranı %86,6 olarak belirlenmiştir. Kurulum maliyeti yaklaşık 231.864 \$ olarak hesaplanmıştır. İlk 10 yıl boyunca sabit alım garantisi ile toplam 681.978 \$ gelir elde edileceği öngörülmektedir. Santralin yatırım geri dönüş süresi 10,2 yıl olarak belirlenmiştir.

Sarı, Özyiğit (2020), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde planlanan 1 MW kapasiteli güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi PVsyst yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada, polikristal ve monokristal panellerin kullanılması durumları karşılaştırılmış ve monokristal panellerle kurulan santralin 30 yıllık ekonomik ömrü boyunca polikristal panellere göre daha yüksek verim sağladığı, ancak daha yüksek maliyetli olduğu sonucuna varmıştır.

3. PV PANELLER VE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TASARIMI

Güneş enerjisini yakalayabilmek ve elektrik üretebilmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmektedir. Bazı sistemler güneşin ışık enerjisinden, bazıları ise ısı enerjisinden elektrik üretmektedir. Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistemler aracılığıyla elektrik enerjisi

retmek için yaygın bir kaynaktır. Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş ışınlarını yarı iletken malzemeler kullanarak doğrudan elektrik enerjisine eviren sistemlerdir. 1950'lerden sonra bu teknoloji gelişerek ticari ve endüstriyel alanlarda yaygın hale gelmiştir. PV sistemler mono kristal, polikristal, ince film paneller ve organik paneller olmak üzere farklı türlere ayrılmaktadır. Bunun yanı sıra, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemleri de elektrik üretimi için kullanılmaktadır. CSP sistemleri, büyük aynalar veya mercekler yardımıyla güneş ışınlarını belirli bir noktaya yoğunlaştırarak ısı enerjisi elde eder ve bu ısı enerjisini buhar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dnstrr. CSP sistemleri, enerjiyi depolamak için eritilmiş tuz gibi ısı depolama sistemleri ile entegre edilebilir. Güneş enerjisi teknolojilerinin gelişimi 1954 yılında Bell Labs'in ilk Fotovoltaik hücreyi geliştirmesiyle başlamış, 1970'lerde petrol krizleri ile birlikte PV teknolojisine olan ilgi artmış, 1980'ler ve sonrasında verimlilik artarken maliyetler azalmıştır. 2000'lerden itibaren büyük ölçekli şebekeye bağlı güneş enerji santralleri (GES) yaygınlaşmış ve enerji depolama sistemleri ile entegrasyonu artmıştır.

3.1. Güneş Enerji Sistemlerin Ana Bileşenleri

Güneş enerji sistemleri güneşten gelen ışınları elektrik enerjisine dnstren sistemlerdir. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemleri, güneş panelleri, invertör, panel taşıyıcı sistemler, kablolar, AC-DC toplama panoları gibi temel çözümler ile çeşitli alt bileşenlerden oluşmaktadır.

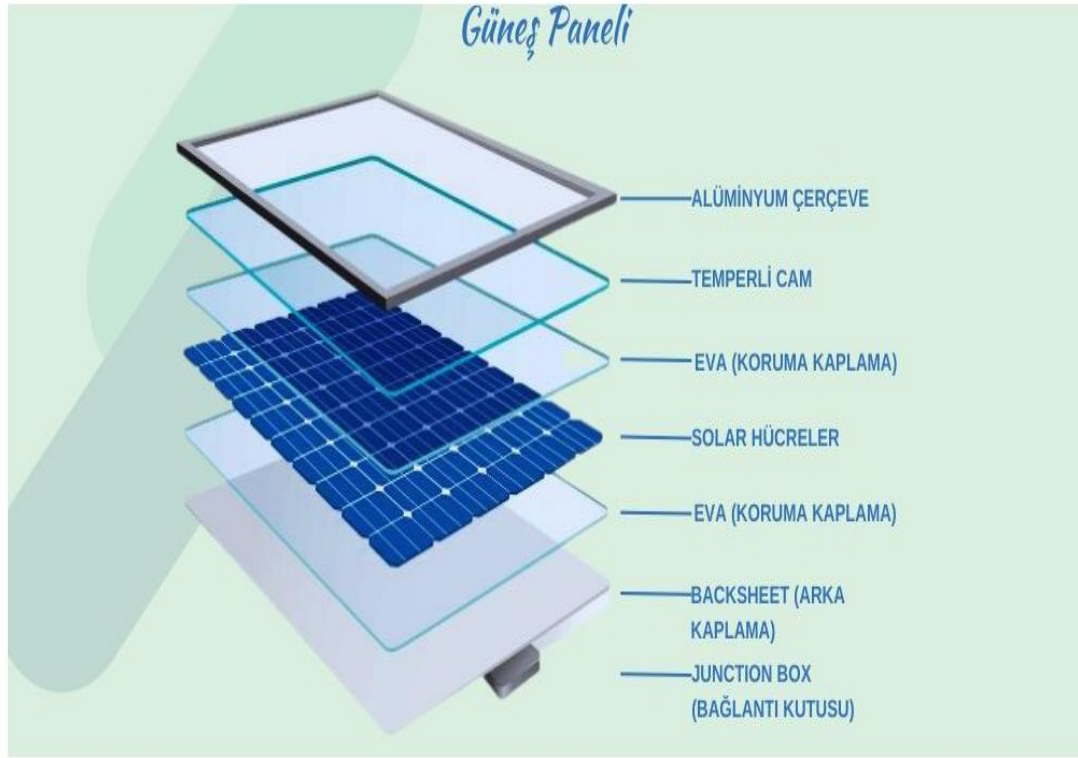
3.1.1. PV paneller

Fotovoltaik güneş teknolojisinin en temel bileşeni olan güneş pilleri; güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedir ((T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Fransız fizikçi Becquerel ilk kez 1839 yılında elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin (voltajın), elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek bulmuştur (sayın, ko, 2011). PV paneller, güneş ışığındaki fotonları (ışık parçacıklarını) emer. Bu paneller genellikle **silisyum (Si)** gibi yarı iletken malzemelerden yapılır.Fotonlar, yarı iletken bir malzemeye çarptığında, atomlar içerisindeki elektronları serbest hale getirir. Bu fiziksel olaya fotoelektrik etki denir. Fotovoltaik (PV) hücrelerin yapısında bulunan elektrik alan, bu serbest elektronları

belirli bir yönde hareket ettirerek bir elektrik akımı oluşmasını sağlar. Böylece güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.

PV paneller genel olarak ikiye ayrılmaktadır: şebeke bağlantılı (on-grid) ve şebeke bağlantısız (off-grid) sistemler. Şebeke bağlantılı sistemlerde, üretilen elektrik enerjisi doğrudan konutlarda, ticari yapılarda kullanılabilir ya da elektrik dağıtım şirketlerine satılabilir. Öte yandan, şebeke altyapısının bulunmadığı ya da ekonomik olmadığı bölgelerde off-grid sistemler tercih edilir. Bu sistemlerde, PV panellerden elde edilen elektrik enerjisi, akü, inverter gibi yardımcı elektronik bileşenler aracılığıyla depolanır ve ihtiyaç anında kullanılır.

Bu yapılar, özellikle enerjiye erişimin sınırlı olduğu kırsal veya izole bölgelerde büyük avantaj sağlamaktadır (Yıldız, 2017).



Şekil 3.1. Tipik bir PV modül yapısı (Aydınlatma.org, 2019)

3.1.1.1.PV panel çeşitleri

Monokristal Silikon (Mono-Si) Paneller: Tek kristal silisyumdan üretilir, bu nedenle dahaSiyah renkte olup, tek tip ve düzgün görünür. Tek-kristal silisyum malzeme en yüksek verime sahip olan pillerdir. Silisyum malzemesinin özelliklerini uzun süre muhafaza etmesi ve yapısal ve elektriksel özelliklerinin madde içinde her yerde aynı olup homojen bir yapıya sahip olması bu malzemeyi fotovoltaiik piller için en uygun malzeme yapmıştır (Sayın&Koç 2011).

Polikristal Silikon (Poly-Si) Paneller: Polikristal silikon paneller, birden fazla kristal yapısına sahip silikon malzemedan üretilir. Üretim sürecinde, erimiş silisyumun bir kalıbın içine dökülerek soğutulmasıyla çok kristalli bir yapı elde edilir. Polikristal panellerin karakteristiği, daha düşük verimlilik ve daha yüksek hücre kaybıdır. Poli-Si paneller, mavi renkte ve çeşitli kristal yapıların birleşiminden oluşan bir görünüme sahiptir. Maliyet olarak daha ekonomik olmaları nedeniyle genellikle büyük ölçekli uygulamalarda tercih edinilirler (Yiğit, 2023).

İnce Film Paneller: İnce film paneller, çeşitli yarıiletken malzemelerin ince tabakalar halinde bir yüzeye uygulanmasıyla üretilir. Bu malzemeler arasında amorf silikon (a-Si), kadmium tellür (CdTe), bakır indiyum galyum selenid (CIGS) gibi farklı yarıiletkenler tabakalar yer alır. İnce film paneller, maliyet olarak daha düşük, esneklik, hafiflik ve yüksek sıcaklık performansı gibi avantajlara sahiptir. Ancak genellikle diğer silikon panellerle ile kıyaslandığında daha düşük verimlilikle çalışırlar (Bagher, Vahid, & Mohsen, 2015).

Organik Güneş Panelleri: Organik güneş panelleri, organik (karbon bazlı) malzemelerin birleşiminden oluşur. Bu paneller esnek ve hafiftir. Ayrıca, düşük maliyet, kolay üretim ve esnek tasarım imkânı gibi avantajlara sahiptir. Ancak henüz kullanımı ticari olarak yaygınlaşmamış ve silikon panellere kıyasla daha düşük verimliliğe sahiptirler.

3.1.1.2. PV panel verimlilik kriterleri

Fotovoltaiik (PV) panellerin verimliliği, güneşten gelen ışık enerjisinin ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürülebildiğini gösteren önemli bir performans

kriteridir. PV panel verimliliği, kullanılan hücre teknolojisine, çevresel faktörlere ve panelin çalışma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Fotovoltaik panellerin verimliliğini belirleyen temel faktörleri; malzeme türü, ışıyım şiddeti, sıcaklık etkisi ve panel yaşlanması olarak sıralamaktadır. Özellikle monokristal panellerin yüksek verimlilik sunduğu, ancak maliyet açısından polikristal ve ince film panellere kıyasla daha pahalı olduğu belirtilmektedir (Biberici ve ark. 2018).

Bir diğerk önemli faktör ise ortam sıcaklığıdır. PV panellerin sıcaklık katsayısının verim üzerindeki etkisini incelemiş ve sıcaklık arttıkça panelin enerji dönüşüm veriminin düştüğünü ortaya koymuştur. Bu nedenle, özellikle sıcak iklim bölgelerinde panel seçiminde düşük sıcaklık katsayısına sahip panellerin tercih edilmesi önerilmektedir Ceylan ve Taşdelen (2018). Panel verimliliğini artırmak için, üreticiler tarafından kullanılan anti reflektif kaplamalar, çift yüzeyli (bifacial) hücreler ve gelişmiş soğutma sistemleri gibi yenilikçi teknolojiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ayrıca, düzenli bakım ve temizlik işlemleri ile panellerin yüzeyinde oluşan toz ve kir tabakasının temizlenmesi, sistem verimliliğini korumak için gereklidir.

3.1.2. İnvvertörler

PV Evirici – dönüştürücü olarak da isimlendirilebilecek invvertörün asıl görevi DC akımı şebekeye uygun frekans ile AC akıma çevirmesidir. PV evirici, şebekeye bağlı PV güç sistemlerinin temel unsurudur. Şebekeye bağlı inverterler, güç kapasitelerine göre; mikro, dizi ve merkezi inverter olarak üçe ayrılır (Teodorescu, Liserre, & Roriguez, 2010).

Mikro İnvvertörler: Mikro invvertörler, her güneş panelinin bireysel olarak entegre edilmiş kompakt boyutlu güç dönüştürücüleridir. Bu cihazlar, her panelin oluşturduğu doğru akıma (DC) doğrudan alternatif akıma (AC) çevirerek enerji şebekesine veya yerel yük aktarımının aktarılmasını sağlar. Mikro invvertörlerin en önemli avantajlarından biri, her panelin bağımsız olarak izleme ve optimize etme yeteneğine sahip olması. Bu sayede gölgelenme, kirlenme veya panel temelli değişiklikler gibi faktörlerden kaynaklanan verim kaybı en aza indirilerek fotovoltaik sistem optimize çalışmış olur.

Dizi İnvvertörler: dize invvertörler (string inverter), birden fazla güneş panelinin seri bağlandığı sistemlerde kullanılır ve her bir dizeyi (string) ayrı ayrı AC güce dönüştürür. Bu invvertör, modül seviyesi izleme ve değişiklik izleme avantajı sunabilir ancak seri

dizideki herhangi bir güneş paneli arızalanır veya gölgeye maruz kalırsa tüm güneş panellerindeki üretim olumsuz yönde etkilenir ve sistem veriminde ciddi kayıplar yaşanabilir.

Merkezi İnvertörler: Merkezi invertörler daha çok büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde kullanılır. Bu invertörler, çok sayıda güneş panelinin DC çıkışını toplar ve merkezi bir invertör aracılığıyla AC akıma dönüştürür. Merkezi İnvertörler yüksek verimlilik, düşük maliyet ve kolay bakım avantajlarına sahiptir (Yiğit, 2023).

3.1.3. Taşıyıcı sistemler

Fotovoltaik panel kurulumları, genel olarak çatı tipi ve saha tipi olmak üzere iki temel yöntemle gerçekleştirilmektedir. Türkiye’deki uygulamalarda çoğunlukla saha tipi kurulumlar tercih edilmektedir. Bu tür sistemlerde paneller, geniş ve düz alanlara tarla düzeninde yerleştirilmekte ve metal taşıyıcı sistemler aracılığıyla zemine sabitlenmektedir. Uzun ömürlü (en az 25 yıl) enerji üretimi hedeflenen bu tesislerde, taşıyıcı sistemlerin dayanıklılığı ve doğru tasarımı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kurulum sürecinde zemin yapısı, kimyasal özellikler ve kar, rüzgâr, deprem gibi çevresel yüklemeler dikkatle analiz edilmelidir. Taşıyıcı yapıların bu koşullara uygun şekilde tasarlanması, sistemin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

3.1.4. Solar kablo sistemleri

Solar kablo, fotovoltaik güneş enerji sistemleri için özel olarak imal edilmiş özel bir kablo çeşididir. Çift katlı izolasyona sahip olması ve dış mekanik darbe, alev, sıcak ve soğuk gibi çevresel koşullara dayanıklı olması gibi özellikleri sayesinde diğer kablo türlerine göre daha dayanıklı oldukları söylenebilir. Ayrıca diğer kablolarla kıyasla daha az kayıp ile elektriği iletebilmesi gibi özelliklere sahiptir.

3.1.5. AC/DC toplama panoları

Fotovoltaik (PV) sistemlerde kullanılan invertör tipine bağlı olarak, doğru gerilim veya alternatif gerilim toplama panosu tercih edilmelidir. Merkezi invertör kullanıldığında, panellerden gelen doğru akım (DC), DC toplama panosunda

birleştirilerek invertöre iletilir ve burada alternatif akıma (AC) dönüştürülür. Dizi invertör kullanıldığında ise her panel grubu, üretilen enerjiyi doğrudan alternatif akıma çevirir ve bu enerji AC toplama panosunda birleştirilerek ana dağıtım panosuna iletilir. Toplama panoları, sistemin güvenliği ve verimliliği açısından kritik bir bileşen olup, uygun seçilmeleri büyük ölçekli santrallerde ve çatı uygulamalarında enerji yönetimini optimize etmektedir.

3.2. Güneş Enerjisi Santrali Başlıca Teknik Tasarım Kriterleri

3.2.1. Güneş Açıları

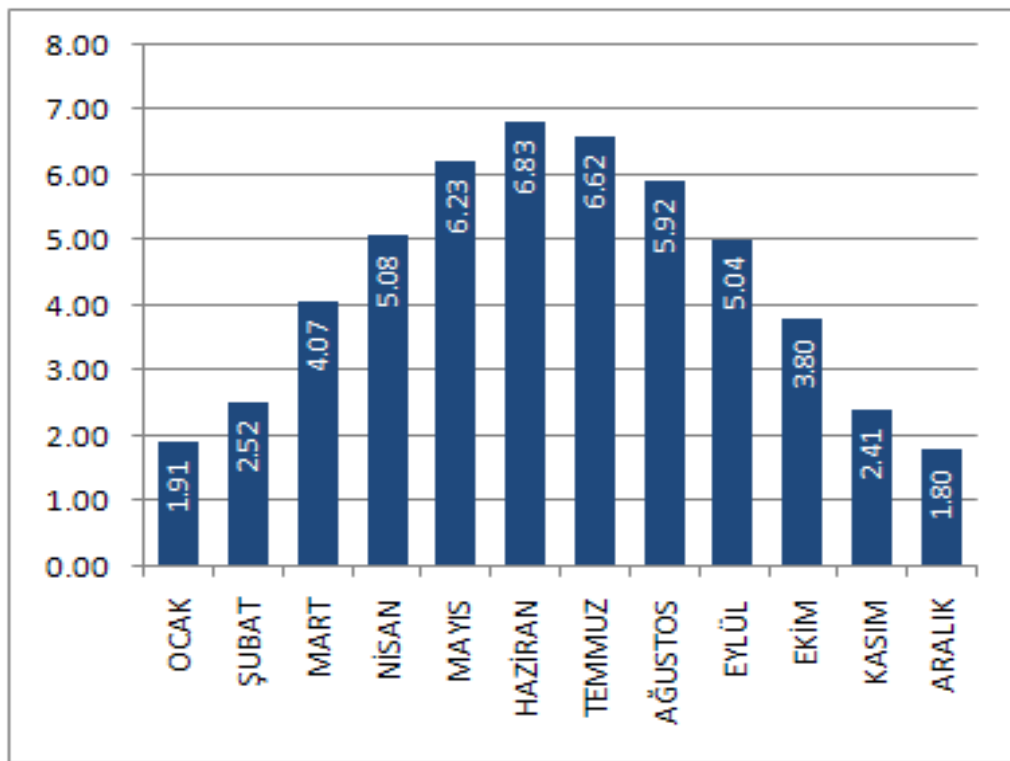
Fotovoltaik panellerden maksimum güç elde edilebilmesi için, paneller yatay düzleme belirli bir eğim açısıyla yerleştirilmelidir (bkz. Şekil 3.2). Bu yerleşim, güneş ışınlarının panel yüzeyine mümkün olduğunca dik açıyla düşmesini sağlayarak enerji üretim verimliliğini artırır. Panelin yönü, kurulacağı coğrafi konuma göre belirlenmekte olup, Türkiye gibi kuzey yarım kürede yer alan ülkelerde paneller genellikle güneye yönlendirilir (Aydınlatma.org, 2025).



Şekil 3.2. Güneş paneli yerleşim şekli (Aydınlatma.org, 2021)

3.2.2. Radyasyon

Ülkemiz güneş radyasyonu açısından oldukça zengin bir konumda yer almaktadır. Ülkemizde toplam güneş radyasyon şiddeti yıllık 1527 kWh/m², yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2 bin 741 saattir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre günlük radyasyon değerlerinin en az 3,29 kWh/m² en fazla 5,48 kWh/m² olduğu bilinmektedir (Yolcan, Köse 2020). Mardin ili radyasyon değerleri ise Şekil 3.3'de görüldüğü gibi yatırım yapmaya değer bir şekildedir.

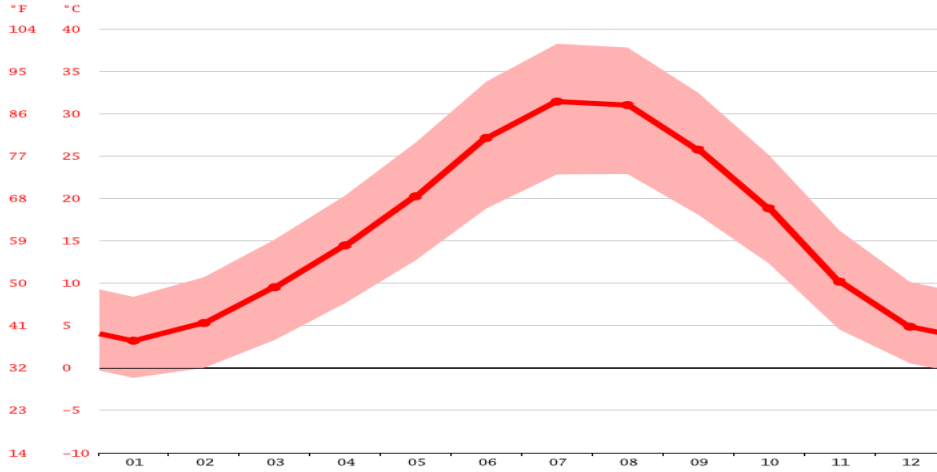


Şekil 3.3. Mardin ili yıllık radyasyon değerleri (GEPA)

3.2.3. Sıcaklık

Mardin, yaz aylarında yüksek sıcaklıklara ulaşabilen bir bölgedir. Şekil 3.4'te değerlerde görülmektedir. Sıcaklık, Fotovoltaik (PV) santrallerin verimliliğini doğrudan etkileyen önemli faktörlerden biridir. Güneş panelleri, sıcaklık arttıkça performans

kaybına uğrar. Bunun temel sebebi, yarı iletken malzemelerin (genellikle silikon) sıcaklık arttığında daha az verimli çalışmasıdır.



Şekil 3.4. Mardin ili yıllık sıcaklık değerleri (Climate-Data.org, 2024)

GES kurmak için ortalama sıcaklığın yüksek olduğu bir bölge seçmek avantajlıdır (Demirkıran Göbeloğlu, Ungan 2023). Ancak, yaz aylarında panellerin yüzey sıcaklığı 60-70°C'ye kadar çıkabilir, bu da verimde %15'e varan kayıplara neden olabilir. PV panellerin standart test koşulu için ideal çalışma sıcaklığı 25°C olarak kabul edilir. Ancak, yaz aylarında panellerin yüzey sıcaklığı 60-70°C'ye kadar çıkabilir, bu da verimde %15'e varan kayıplara neden olabilir. Bu nedenle teknik tasarım esnasında düşük sıcaklık katsayısına sahip panellerin seçilmesi, panel altı havalandırmanın iyi tasarlanması ve arazinin rüzgâr akışını kesmeyecek şekilde düzenlenmesi önemlidir.

3.2.4. Eğim ve Bakı

Arazi eğimi, güneş panellerinin kurulumunu ve verimliliğini doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. %1 ile %3 arasındaki eğimler genellikle en uygun olanlardır %3'un üzerinde eğim arazi verimli kabul edilmez (Obut 2016). Eğer eğim çok yüksekse, panellerin uygun açılarda yerleştirilmesi zorlaşır ve birbirlerine gölge yapma riski artar. Bakı, yani arazinin yönelimi, güneş panellerinin verimliliğini doğrudan etkileyen kritik faktörlerden biridir. En yüksek enerji üretimini elde etmek için panellerin güneş ışığını en iyi alacak şekilde konumlandırılması gerekir. Orta enlemlerde ve kuzey yarımkürede

bulunan ülkelerde güneye bakan yamaçlar güneş ışınlarını daha dik açıyla aldığı için santral kurulumu açısından elverişlidir (Kaimbekova 2020).

3.2.5. Yer seçimi ve arazi türleri

Santral verimliliği için yer seçimi en önemli kriterler arasında yer alır. Yer seçiminde yasal düzenlemeler ile çevresel etki değerleri ön plandadır. Yasa ve yönetmeliklerin incelenmesi kısıtlama ve teşvik mekanizmalarının yer seçiminde göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdir (Yolcan & Köse 2020). Güneş enerji sistemlerinde yer seçimi, dikkate alınması gereken bir dizi faktörü içeren kapsamlı bir süreçtir. Bu kapsamda gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda, en çok tercih edilen ve çalışma alanına uygun kriterler araştırılmıştır. Bu doğrultuda, yer seçimi için üç ana faktör teknik, sosyo-çevresel ve ekonomik olmak üzere sekiz kriter (güneş radyasyonu, eğim, bakı, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık, yol ağına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık ve trafo merkezine uzaklık) teknik veriler tasarımı aşamasında oldukça önemlidir.

Arazi Türü	GES için Uygunluk	Açıklama
Bozkır ve Çorak Araziler	✓ Çok Uygun	Verimsiz tarım arazileri GES için idealdir.
Tuz Gölü ve Marjinal Araziler	✓ Uygun	Ekonomik değeri düşük olduğu için tercih edilebilir.
Tarım Arazileri (1. ve 2. Sınıf)	✗ Uygun Değil	Kanunen koruma altındadır. Kullanımı kısıtlıdır.
Tarım Arazileri (3. ve 4. Sınıf)	⚠ Kısmen Uygun	Özel izinlerle kullanılabilir, ancak dikkatli değerlendirilmelidir.
Orman Alanları	✗ Uygun Değil	Orman Kanunu nedeniyle izin almak zordur.
Sanayi ve Boş Araziler	✓ Çok Uygun	Endüstriyel bölgelerde GES kurulumu kolaydır.
Madencilik Alanları	✓ Uygun	Kullanım dışı bırakılan maden sahaları değerlendirilmelidir.

Şekil 3.5. Arazi türleri ve ges için uygunluğu

3.3. Güneş Enerji Sistemlerinin Şebekeye Bağlantı Şekilleri

Güneş enerjisi sistemleri, üretilen elektriğin kullanım ve depolama yöntemlerine bağlı olarak farklı şebeke bağlantı şekillerine sahip olabilir. Fotovoltaik (PV) sistemler genel olarak üç farklı şekilde şebekeye bağlanabilir.

3.3.1. Şebeke bağlantısız sistemler (Off-Grid)

Off-grid fotovoltaik (PV) sistemler, Elektrik şebekesine bağlı olmadan çalışan ve enerjiyi doğrudan güneş panellerinden üreten, genellikle enerji depolama sistemleriyle desteklenen bağımsız enerji sistemleridir (Sinha & Chandel, 2014). Bu sistemler, özellikle şebeke altyapısının bulunmadığı veya güvenilir olmadığı bölgelerde sürdürülebilir enerji sağlamaktadır.

3.3.2. Şebekeye bağlı sistemler (On-Grid)

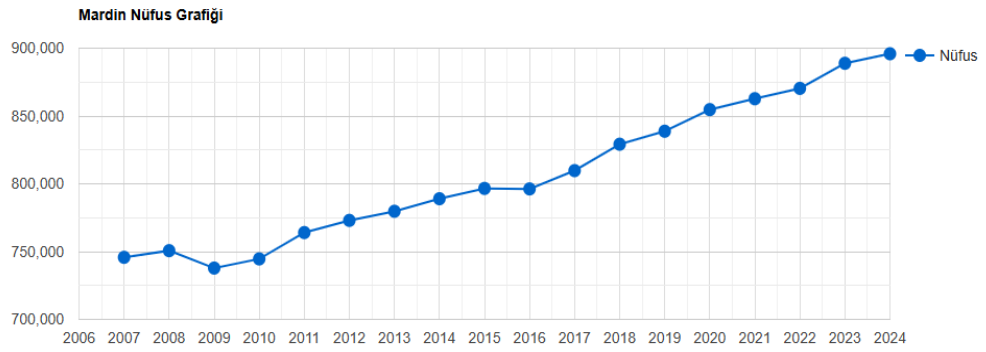
On-grid (şebekeye bağlı) fotovoltaik (PV) sistemler, üretilen elektriği doğrudan ulusal veya yerel elektrik şebekesine entegre eden ve enerji depolama sistemine ihtiyaç duymayan sistemlerdir (Shahsavari & Akbari, 2018). Bu sistemler, şebekeye bağlı oldukları için fazla üretilen enerjiyi elektrik dağıtım şirketine satabilir ve ihtiyaç duyulduğunda şebekeden enerji çekerek sürekli enerji tedariki sağlayabilirler. Şebekeye bağlantılı sistemler özellikle büyük ölçekli projelerde daha çok tercih edilen başarılı sistemlerdir.

3.3.3. Hibrit (On-Grid + Bataryalı) sistemler

Rüzgâr tribünleri, biyogaz sistemleri, jeotermal sistemler, hidroelektrik sistemler, fosil yakıt kaynaklı sistemler vb. elektrik üreten sistemlerin fotovoltaik enerji sistemlerine entegre edilmesi ile hibrit sistemler oluşturulmaktadır. Hibrit sistemlerde ani gelişen enerji kesintisinde veya üretimin ihtiyacı karşılayamadığı hallerde sistemde ki diğer enerji üretim sistemleri devreye girerek enerji sürekliliğinin sağlanması amaçlanmaktadır (Çınaroğlu, 2023). Hibrit yapılar şebekeye bağlantılı (on-grid) veya şebekeden bağımsız (off-grid) olarak tesis edilebilmektedir. Hibrit sistemin en önemli avantajı Elektrik kesintisi durumunda devreye girecek alternatif bir enerji kaynağının olmasıdır.

4. MARDİN SU VE KANALİZASYON İDARESİ TANITIMI VE ENERJİ KULLANIM DURUMU

Mardin ili, kendisine bağlı 10 ilçe ve 694 mahalle ile toplam nüfusu halen 838.778’dir ve 900.000’e yaklaşmış ve nüfusu hemen hemen her yıl artış gösteren bir ildir. TÜİK’ten alınan verilere göre oluşturulan aşağıdaki grafikte ilin yıllar içerisindeki nüfus değişimi yer almaktadır.



Şekil 4.1. Yıllara göre Mardin nüfusu (Tüik, 2025)

4.1. MARSU’nun Kırsal Ve Kentsel Alt Yapı Durumu

MARSU’nun idari sınırı 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu gereğince Mardin Büyükşehir Belediyesi sınırlarıdır. Buna göre MARSU’nun idari sınırları Mardin ildir. MARSU, genç bir idaredir ve yaklaşık 10 yıldır faaliyettedir. 2014 yılındaki yerel seçimlerden sonra 10 ilçeyi de kapsayacak şekilde hizmet alanı genişleyerek idari, teknik ve mali yönetim tek bir çatı altında toplanmıştır.

4.1.1. İçme ve kullanma suyu şebekesi

Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi “MARSU”, içme suyu temini ve dağıtımından sorumlu kurumdur. MARSU bu hizmetleri sunabilmek için hem genel bütçeden kişi başı pay almakta hem de abonelerine sattığı metreküp su başına (su ve atıksu ücreti olarak) tahsilat yapmaktadır. Mardin’inin kentsel alanlarına yönelik yirmi bir içmesuyu temin ve

dağıtım sistemi projesi yürütülmektedir. Bölgede iklim değişikliğinin doğal sonucu olarak su kaynaklarının verimliliği düşmektedir. Bu durum MARSU'yu mevcut su kaynaklarının kapasitelerini artırma ve yeni su kaynakları arayışına itmektedir. MARSU'nun faaliyet alanındaki içmesuyu sistemlerinde üretilen suyun tamamı ölçülememektedir. Mardin il genelinde fiziksel su kayıplarına ilave olarak idari su kayıpları da çok fazladır. MARSU hem kentsel hem de kırsal kesimde yasal olmayan su kullanımını azaltmak ve abone sayısını artırmak için büyük çaba sarf etmektedir. Mardin'de gelir getirmeyen su oranının %55 ile %60 arasında olduğu tahmin edilmektedir. İl genelindeki iletim ve dağıtım sistemleri ekonomik ömrünü tüketmiş yaşlı borulardan oluşmaktadır. Mardin il ve ilçelerinin iletim ve dağıtım sistemlerinde proaktif bakımın yapılmıyor olması fiziksel, hidrolik ve su kalitesi bütünlüğünün korunamamasının temel nedenlerinden biridir.

4.1.2. Yağmur suyu ve kentsel drenaj

Yağmursuyu drenaj sisteminden sorumlu olan kurum, Mardin Büyükşehir Belediyesi'dir (BB). Bu hizmeti sağlamak için Belediye, genel bütçeden kişi başına pay almaktadır. Belediye bu hizmeti sağlamak için kendi personel ve ekipmanını kullanabilir veya bedelini MARSU'ya ödemek kaydıyla bu hizmeti talep alabilir. Mardin ve ilçelerinde daha önce uygulamaya sokulmuş kapsamlı bir yağmursuyu projesi bulunmamaktadır. Ancak son dönemde bazı ilçelerde proje aşamasında olan yağmursuyu şebekeleri yer almaktadır. İklim değişikliğinin meydana getirdiği daha az fakat kısa sürede daha yoğun yağış durumuna diğer bir deyişle yağış rejimi değişikliğine rağmen yağmursuyu yatırımlarına öncelik verilmemesinin temel sebebi yeterli finansman kaynağının bulunamamasıdır. Kentsel drenaj açısından Mardin il, ilçe ve yerleşim merkezlerinden geçen yaklaşık 59 km uzunluğunda dere yatağı bulunmaktadır.

4.1.3. Kanalizasyon ve atıksu arıtma

MARSU, atıksuların toplanması ve arıtılmasından sorumludur. İçme suyunda olduğu gibi hem genel bütçeden kişi başı pay almakta hem de abonelerine sattığı suyun üzerinden atıksu bedeli tahsilatı yapmaktadır. Halihazırda Mardin'nin kentsel alanlarına yönelik birçok kanalizasyon sistemi ve atıksu arıtma tesisi projesi yürütülmektedir. Kırsal

kesimde yer alan mahalleler için ise toplam yetmiş kanalizasyon sistemi projesi finansman beklemektedir. İl genelindeki kanalizasyon şebekeleri ekonomik ömrünü tüketmiş yaşlı borulardan oluşmaktadır. Mardin'in kentsel alanlarında inşa edilmiş kanalizasyon şebekeleri büyük çoğunluğu beton borulardan oluşmaktadır. Entegre conta ile bağlantısı yapılmamış bu beton boruların bağlantı noktaları zaman içerisinde deforme olduğu için hem infiltrasyona hem de ekşi filtrasyona sebep olmaktadır. Kızıltepe ve Yeşilli 'ye AB hibesi ile atıksu arıtma tesisi yapılmıştır ve işletilmektedir. Ayrıca Savur'da iki adet tesis de işletmemektedir.

4.1.4 İçmesuyu kaynakları

Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi içme suyu ihtiyacını kaynak suları, yeraltı suları ve kısmen yüzeysel sulardan karşılamaktadır. En Önemli kaynak suyu olan Beyazsu vadisinde 630 m yükseltide Beyazsu karstik kaynağı yüksek bir debiyle (yaklaşık 3,8 m³/sn) su çıkışı gerçekleştirir (Canpolat ve Bozdoğan, 2019). Beyazsu yağış havzası, 2045 yılına kadar Mardin il ve ilçelerinin içme, kullanma ve sanayi suyu temini için kullanılmak üzere mutlak, birinci ve ikinci derece koruma alanı olarak ilan edilmiştir. Beyazsu kaynağından temin edilen su oldukça iyi kalitede olup klorlama dışında ilave bir arıtmaya tabi tutulmadan şebekeyi besleyen servis depolarına iletilmektedir. Nusaybin, Kızıltepe ve Mardin merkez ilçesi olan Artuklu'nun büyük bir kısmı beyazsu kaynağından beslenmektedir.

4.1.5. MARSU'nun yenilenebilir enerji durumu

Mardin Su ve Kanalizasyon idaresinde Kızıltepe ve Yeşilli'ye AB hibesi ile atıksu arıtma tesisi yapılmıştır. Bu tesislerde üretilen çamurdan üretilen biyogaz, de-sülfür ünitesinden geçtikten sonra gaz balonlarına aktarılır. Üretilen gaz jeneratörler vasıtası ile yakılarak elektrik ve ısı enerjisine dönüşür. Üretilen biyogaz enerjisi yaklaşık 1030 kW/h'tir. Bu enerji Kızıltepe Arıtma tesisinin tükettiği enerjinin ancak yarısını karşılayabilmektedir. Şekil 4.2' de Kızıltepe AAT 'ne ait genel bir görüntü



Şekil 4.2. Kızıltepe Atıksu Arıtma Tesisi (Kaynak: MARSU)

Yine Savur’da yapılan iki adet arıtma tesisinden Sürgücü mahallesinde ki Sürgücü Atıksu Arıtma Tesisinde sistemin enerji ihtiyacı için yenilenebilir enerji olan Çatı Tipi Güneş Panelleri kullanılmıştır. Sürgücü Atıksu Arıtma Tesisi enerji ihtiyacının yaklaşık % 33’lük kısmını güneş enerjisinden almaktadır (Gezici, 2017). Şekil 4.3’te çatıya yaklaşık 120 adet panel yerleştirilerek çatı tipi yaklaşık 40 KWe enerji üretilmektedir.



Şekil 4.3. Sürgücü Biyodisk Atıksu Arıtma Tesisi (Kaynak: MARSU)

İdare’nin 2020 – 2024 Stratejik Planında da yenilenebilir enerji yatırım ve projelerine yer verilmiş olup, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de özetlenmiştir:

Tablo 4.1. 2020 – 2024 Stratejik planı pestle analizi çevresel kısmı

Etkenler	Tespitler (Etkenler/Sorunlar)	MARSU'ya Etkisi		Ne Yapılmalı?
		Fırsatlar	Tehditler	
ÇEVRESEL	1) Hükümet politikalarında alternatif enerjiler konusunda bir pozitif algı mevcuttur 2) Görüntü ve gürültü kirliliğinin fazla olması	1) Mardin ili güneş, rüzgâr konularında ciddi bir potansiyele sahiptir 2) Çevreye duyarlı yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelik projelerin hükümet tarafından desteklenecek olması	1) Alternatif enerji üretim tesisi altyapısı maliyetlidir 2) Hava, su vb. kirlilikten dolayı vatandaşlarımızın olumsuz yönde etkilenmesi	1) MARSU olarak alternatif enerji tesislerinin kurulmasına yönelik özel sektörle işbirlikleri geliştirilmelidir 2) Çevreye dost teknolojilerin geliştirilmesine yönelik araştırma ve bilimsel yayın projelerinin öncelikli hale getirilmesi

Tablo 4.2. 2020 – 2024 Stratejik planı hedef H5.2

Amaç	A5: Çevre Koruma Altyapısını Geliştirmek								
Hedef	H5.2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımını Sağlamak								
Sorumlu Birim	Plan Proje Yatırım ve İnşaat Dairesi Başkanlığı								
İş birliği Yapılacak Birimler	Su ve Kanal İşletme Dairesi Başkanlığı, Tesisler Daire Başkanlığı, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı								
Stratejik Performans Göstergesi	Hedefe Etkisi %	Plan Dönemi Başlangıç Değeri	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	İzleme Sıklığı	Raporlama Sıklığı
PG.5.2.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarına (Güneş enerjisi) yönelik etüt ve proje sayısı (adet)	20	-	1	2	3	4	5	6 ayda bir	1 yıl

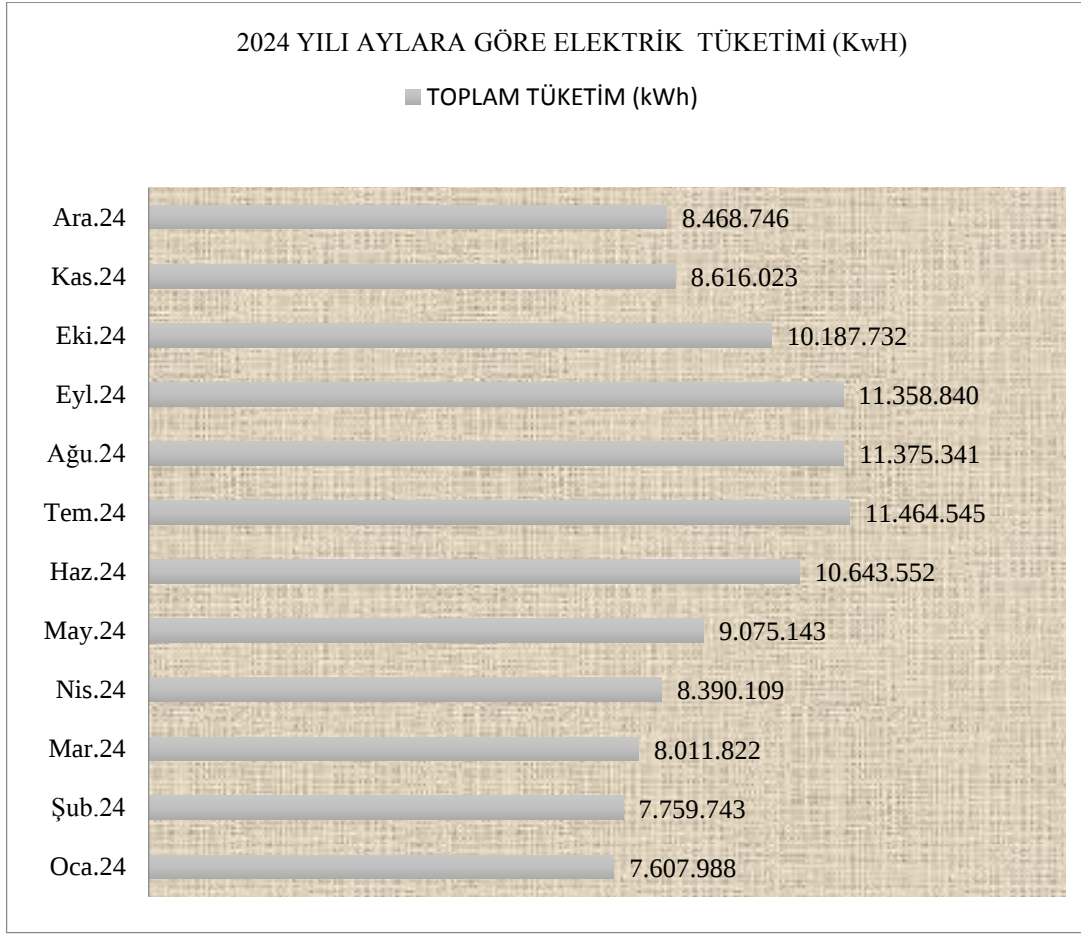
PG.5.2.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarına (Güneş enerjisi) yönelik inşa edilen tesis sayısı (adet)	20	-	1	1	2	3	3	6 ayda bir	1 yıl
PG.5.2.3. Arıtma çamurundan elde edilen elektrik miktarı (kW h)	20	-	3	5	6	8	10	6 ayda bir	1 yıl
PG.5.2.4. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik miktarı (kW h)	20	-	10	20	30	40	50	6 ayda bir	1 yıl
Riskler	Mali kaynak eksikliği Borçlanma sınırının aşılmış olması İl genelinde yasaklı alanların bulunmasından dolayı tüm doğal alanlara ulaşamaması								
Faaliyet ve projeler	İlgili alanda hibe programlarından faydalanmak adına projeler geliştirilecektir								
Maliyet Tahmini	450.000.000,00 TL								
Tespitler	Alternatif enerjiden yararlanma oranı düşüktür Arıtma çamurundan elde edilen enerji yoktur								
İhtiyaçlar	Nitelikli personel kaynağı Mali kaynak								

Ancak idare yenilenebilir enerji kaynaklarına stratejik planda değinse de konu ile ilgili hedeflerini gerçekleştirememiştir.

4.2. Marsu'nun Aylık ve Yıllık Enerji Giderleri

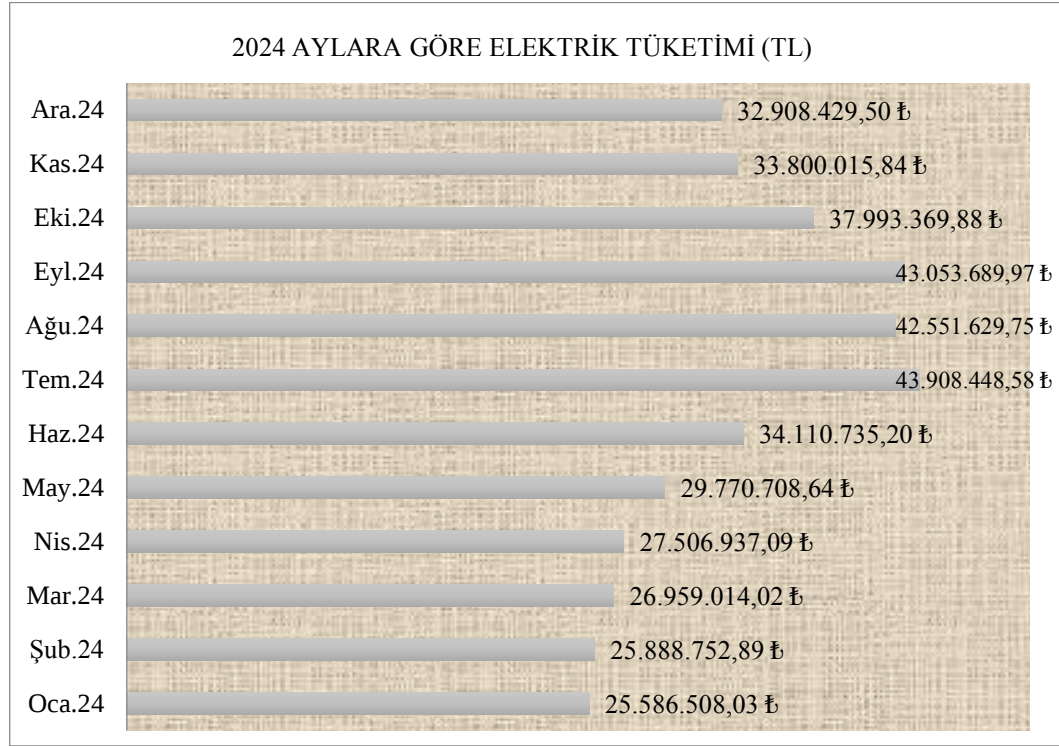
Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresine ait tüm enerji tüketim noktaları belirlenerek mevcut durumun analizini grafikler ile detaylı irdelenmiştir. Marsu'dan alınan verilere göre 2024 yılına ait aylık elektrik tüketimleri kWh saat cinsinden tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. 2024 Yılı aylık elektrik tüketimleri (kWs)



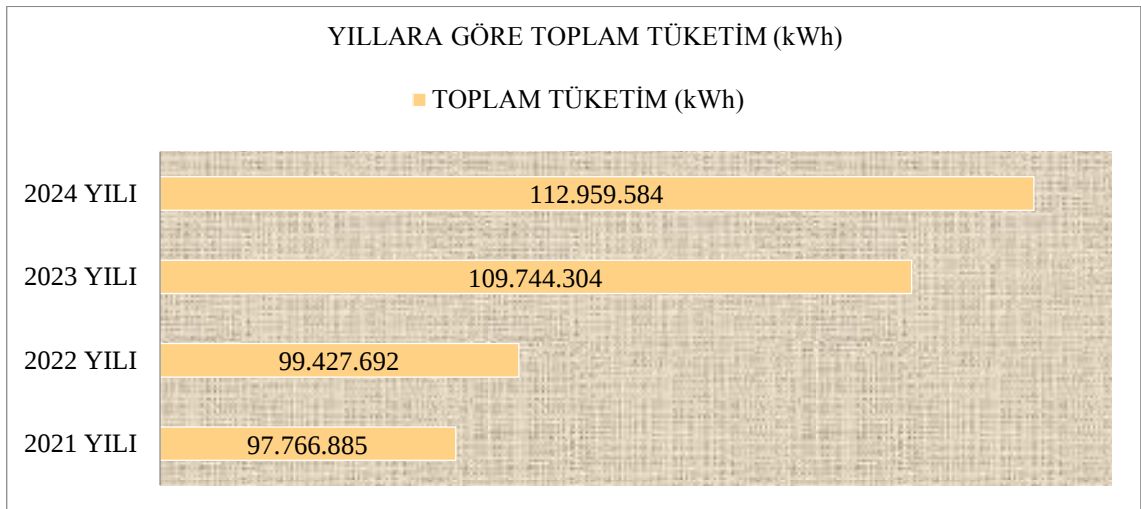
Marsu'dan alınan verilere göre 2024 yılına ait aylık elektrik enerjisi giderleri (TL) tablo 4.4 'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: 2024 yılına ait aylık enerji giderleri(TL)



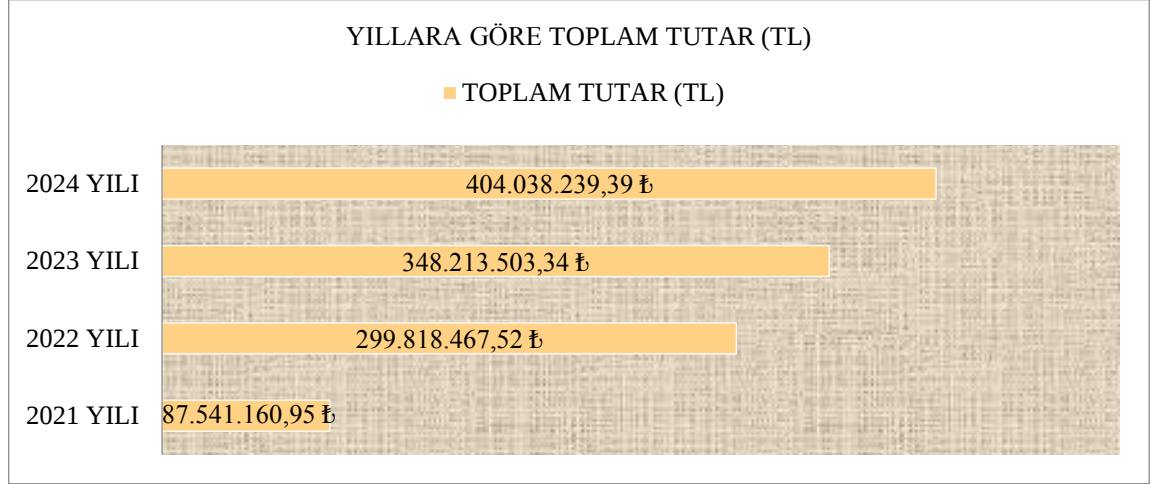
Marsu'dan son 4 yılın yıllık enerji giderleri kWh/TL cinsinden istenmiş ve aşağıda ki gibi tablolar haline getirilmiştir. Tablo 4.5'te yıllara göre artış olduğu net olarak gözlenmektedir.

Tablo 4.5. Yıllara göre elektrik tüketimleri (kWh)



Marsu'dan son 4 yılın yıllık enerji giderleri TL cinsinden istenmiş ve aşağıda ki gibi tablo 4.6 haline getirilmiştir.

Tablo 4.6. Yıllara göre elektrik tüketimleri (TL)



Tablolarda incelenen enerji giderleri doğrultusunda, kurumun yüksek düzeyde elektrik tüketimine sahip olduğu ve her sene enerji giderlerinin artarak devam ettiği gözlemlenmektedir. Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU) tarafından sağlanan 2024 yılı verilerine göre, yıllık toplam enerji tüketimi 112.959.584kWh olup, buna karşılık gelen maliyet 404.038.239,39 TL olarak kaydedilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak tüm enerji giderlerini karşılamayı hedefleyen bir tesis kurulum modeli oluşturulacaktır. Mardin ilinin yıllık güneşlenme süreleri dikkate alındığında, GEPA verilerine göre 1 MW kapasitesine sahip bir güneş enerjisi santralinin yıllık ortalama 2.050.000 kWh elektrik üretebildiği bilinmektedir. Bu bağlamda, mevcut tüketimin tamamının karşılanabilmesi için gerekli minimum kurulu güç aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$112.959.584\text{kWh} / 2.050.000 \text{ kWh} = 55,10 \text{ MW}$$

Ancak, kuruma ilerleyen süreçte yeni aboneliklerin dâhil olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, tüketimde artış yaşanma olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle, gelecekteki olası talep artışlarını karşılayabilecek şekilde 60 MW kapasiteli bir güneş enerjisi santralinin kurulmasının uygun ve sürdürülebilir bir çözüm olacağı değerlendirilmektedir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (MARSU) enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla bir Güneş Enerji Santrali (GES) kurulumu teknik ve finansal açıdan incelenmiştir. Öncelikle, MARSU'nun mevcut elektrik tüketim verileri aylık ve yıllık bazda detaylı olarak analiz edilmiştir. Bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerinden yararlanılmıştır.

GES tasarımı kapsamında, panel ve invertör seçimleri teknik kriterlere göre yapılmış; panel yönelim açıları, eğim ve azimut açıları belirlenmiştir. Sistemin verimliliğini artırmak amacıyla PVSyst simülasyon programı kullanılarak; gölgeleme analizleri, kablolama kayıpları, sıcaklık etkileri ve diğer sistemsel kayıplar göz önünde bulundurularak yıllık enerji üretim tahminleri yapılmıştır.

Finansal analizde ise yatırım maliyeti, işletme giderleri, geri ödeme süresi, net bugünkü değer (NBD) ve iç karlılık oranı (İKO) gibi parametreler hesaplanmıştır. Bu analizler farklı finansman senaryoları kapsamında değerlendirilmiştir.

5.1 MARSU GES için Arazi Seçimi

Güneş enerjisi santrallerinin (GES) kurulumu için arazi seçimi, yatırımın teknik ve ekonomik fizibilitesini doğrudan etkileyen kritik bir aşamadır. Uygun arazinin belirlenmesi, güneş ışıınımı potansiyeli, topoğrafya, arazi kullanımı, şebeke bağlantı olanakları ve çevresel etkiler gibi çeşitli faktörlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesini gerektirir (Şahin ve ark., 2020).

Bu çalışmada, toplam kurulu gücü 60 MW olan bir güneş enerjisi santralinin (GES) teknik ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Arazi seçimi sürecinde, öncelikle bölgenin yıllık güneş ışıınımı verileri değerlendirilmiş ve optimum enerji üretimi sağlanabilecek alanlar belirlenmiştir. Bununla birlikte, arazi eğimi ve yönelimi dikkate alınarak panel yerleşiminde maksimum verim elde edilmesi amaçlanmıştır (Demir ve Yılmaz, 2018). Ayrıca, GES'in şebekeye entegrasyon sürecini kolaylaştırmak için elektrik iletim hatlarına olan mesafe analiz edilmiştir. Uzun mesafeler, iletim kayıplarını artırabileceğinden ve ek altyapı maliyetleri doğurabileceğinden, proje sahasının mevcut trafo merkezlerine yakın konumlandırılması tercih edilmiştir (Kaya ve Çetin, 2019). Bunun yanı sıra, tarım alanları, su havzaları, doğal sit alanları ve ormanlık bölgeler gibi

korunması gereken alanlardan kaçınılmış, arazi kullanım planlamasına uygun bölgeler önceliklendirilmiştir (Karakuş, 2021). Arazi seçimi sürecinde, yerel ve ulusal mevzuatlara uyum sağlanarak çevresel etkiler minimize edilmeye çalışılmıştır. Özellikle, sürdürülebilir arazi kullanımı ve çevre dengesi gözetilerek, güneş enerjisi santralının bölgesel ekosistem üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve gerekli izin süreçleri titizlikle yürütülmüştür (Ersoy ve Akın, 2022). Elde edilen analizler sonucunda, projenin teknik, ekonomik ve çevresel gerekliliklere uygun olarak en verimli şekilde uygulanabileceği arazi belirlenmiş ve 60 MW kurulacak GES için optimum saha seçim kriterleri oluşturulmuştur. Sabit sistemlerde her 1 KWp için gerekli alan 15-20 m² arası bir alan gerekir. Her 1 KWp için 17,5 m² gibi bir ortalama kabul edersek MARSU'nun ihtiyacı olan 60 MW enerji için gerekli arazi yaklaşık $60.000 \times 17,5 = 1.050.000$ m² alan gerekecektir. Bu büyüklükte GES kurulacağı arazilerin seçimi konusunda önceliği Mardin Büyükşehir Belediyesi tarafından güneş enerji santrali kurulması için tahsis edilen alanlar öncelikli olarak belirlenmiştir. Bu sayede yatırım maliyetleri arasında arazi temini ile ilgili bir gider olmayacaktır. Bu kriterler göz önünde bulundurularak belediye tarafından tahsil edilen en iyi alan seçilmiştir. Seçilen araziler Mardin İli Artuklu ilçesine bağlı Cevizli Mahallesi'nde şekil 5.1'de yer almaktadır.



Şekil 5.1. GES için seçilen arazi

Arazi seçiminde dikkate alınan alan, Mardin ili Artuklu ilçesi Cevizlik Mahallesi sınırlarında yer almakta olup, 1.108.661,34 m² (yaklaşık 111 hektar) yüzölçümüne sahiptir. “Ham toprak” nitelikli ve “ana taşınmaz” statüsündeki bu arazi, yapılaşmadan uzak ve tarım dışı bir alan olması sebebiyle büyük ölçekli güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu için elverişli bir zemin sunmaktadır (TKGM 2025). Bir GES kurmak ve bu santrali şebekeye bağlamak için öncelikle o bölgedeki bağlantı kotasının olup olmadığına bakılır. Eğer kota doluyorsa, o bölgede şebekeye yeni bir GES bağlamak mümkün olmaz. Kota doluluğu, özellikle dağıtım şirketlerinin yayınladığı "Trafo Bazlı Kapasite Listeleri" ile takip edilir. MARSU’nun enerji ihtiyacını karşılamak için yaklaşık 60 MW üretim gerekli bunu yukarıda ki gibi bir arazide elektrik dağıtım şirketinin kapasitesine göre üretim yapılabilir. Bu çalışmada Kapasite olduğu varsayılarak tek bir alanda üretim yapılacaktır ancak kurulum aşamasında kapasite yeterli olmadığı takdirde yine GES için verimli belediyeye tahsisli farklı bölgelerde parçalar halinde de üretim yapılabilir.

5.2. Güneş Enerji Santrali Projelerinde Kullanılan Simülasyon Programları

Güneş enerjisi projelerinin performansını optimize etmek, enerji üretim tahminleri yapmak ve finansal analizler gerçekleştirmek amacıyla çeşitli yazılım uygulamaları kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar, proje aşamalarının başında ve sonunda profesyonel düzeyde tasarım yapılmasına yardımcı olmaktadır. Güneş enerjisi projelerinin tasarım sürecinde, enerji verimliliği hesaplamaları yapmak, panel yerleşimini optimize etmek, enerji üretim tahminleri oluşturmak ve finansal analizler gerçekleştirmek gibi kritik işlevler bulunmaktadır. Bu yazılımlar, kullanıcılar tarafında tasarımı yapılacak veya yapılmış olan bir güneş paneli sisteminin verimliliğini simüle etmek, enerji üretimini tahmin etmek ve finansal analiz yapmak için kullanılır. Bazı lisanslı ve açık kaynaklı yazılımların genel özellikleri:

5.2.1. Ticari yazılımlar (Lisanslı)

- PVSOL: Fotovoltaik (PV) sistem tasarımı ve en belirgin özellik olarak gölgeleme analizi yapar. Program, panellerin üzerine düşen gölgeleri ve engellerin yarattığı gölge etkisini simüle ederek gölgelendirmeden kaynaklı enerji kayıplarını belirleyebilir. PV*SOL yazılımının veri tabanında yer alan Expert arayüzü,

fotovoltaik sistemlerin üç boyutlu (3D) modellenmesine olanak tanımakta ve bu sayede gölgeleme analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu modelleme süreci, çatı üstü fotovoltaik enerji sistemlerinin ön fizibilite çalışmalarının yapılmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca, gölgeleme etkilerindeki değişimler günlük, aylık ve yıllık periyotlarda analiz edilerek kullanıcılara detaylı bir şekilde sunulmaktadır (Çınaroğlu, 2023).

- **PVSyst:** PVSyst, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve simülasyonu için yaygın bir yazılımdır. Bu yazılım, güneş paneli sistemlerinin yerleşim planı, inverter seçimi, panel yerleşimi ve sistem performansı gibi unsurları simüle edebilir. PVSyst ayrıca, çevresel faktörlerin (örneğin, sıcaklık, güneş ışıınımı, eğim) etkilerini de dikkate alacak özelliklere sahiptir. PV sistemlerinin detaylı tasarımı, performans analizi ve enerji üretim simülasyonları için kullanılır (PVSyst 2025).
- **HOMER:** HOMER, çok sayıda kullanıcı tarafından; rüzgâr, fotovoltaik, hidroelektrik, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile konvansiyonel jeneratörler, paneller, yakıt hücreleri ve kojenerasyon ünitelerinden oluşan hibrit enerji sistemlerinin tasarım ve analizinde kullanılan kapsamlı bir enerji modelleme ve simülasyon yazılımıdır (Çınaroğlu, 2023). Mikro şebeke ve hibrit enerji sistemleri için ekonomik ve teknik analiz yapar.
- **HelioScope:** Bulut tabanlı, hızlı PV tasarımı ve gölgeleme analizi sağlar. Helioscope, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve performans analizleri için kullanılan gelişmiş bir yazılımdır. Bu yazılım, sistem tasarım sürecini hızlandırmak için kullanıcılara bir dizi özellik sunar. Helioscope, fotovoltaik sistemlerin verimliliğini simüle eder, güneş ışıınımı, panel yerleşimi, inverter seçimi ve gölge etkilerini dikkate alarak ayrıntılı performans tahminleri sunar.
- **SAM (System Advisor Model):** SAM, ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilen bir yazılımdır ve güneş enerjisi projelerinin performansını ve finansal analizlerini simüle etmek için kullanılır. SAM, hem fotovoltaik (PV) hem de termal güneş enerjisi sistemlerinin tasarımını yapabilir. Ayrıca, farklı finansal modeller ve teşvikler ile sistemin maliyet etkinliğini değerlendirmeye olanak tanır.
- **TRNSYS (Transient System Simulation Tool):** TRNSYS, özellikle güneş enerjisi sistemlerinin dinamik simülasyonları için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım,

güneş enerjisi, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunu modellemeye olanak sağlar. TRNSYS, daha karmaşık enerji sistemleri için uygun olup, çok sayıda sistem bileşenini ve enerji akışlarını simüle edebilir.

5.2.2. Açık kaynaklı ücretsiz yazılımlar

- PVWatts: NREL tarafından geliştirilen, basit PV enerji üretim hesaplamaları yapabilen bir araç.
- SolarFarmer: SolarFarmer, özellikle fotovoltaik sistem tasarımı ve performans simülasyonları için kullanılan bir yazılımdır. SolarFarmer, karmaşık projeleri basit ve anlaşılır bir şekilde tasarlamaya olanak tanır ve birçok özellik ile kullanıcıların sistem optimizasyonu yapabilmelerini sağlar.
- PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System): Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilmiş, güneş enerjisi potansiyelinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmesine olanak tanıyan bir yazılımdır. PVGIS, fotovoltaik (PV) sistemlerinin performansını tahmin etmek için kullanılabilir ve dünya genelindeki çeşitli bölgelerde güneş ışıınımı verilerini sağlar. Bu yazılım, güneş enerjisi projelerinin tasarımında ve performans analizlerinde oldukça yararlı bir programdır.
- RETScreen: RedScreen, güneş enerjisi projelerinin simülasyonunu ve optimizasyonunu sağlayan bir diğer güçlü yazılımdır. Bu yazılım, güneş enerjisi sistemlerinin her türlü parametreyi simüle ederek, tasarımcıların sistem verimliliğini maksimize etmelerini sağlar. gibi programları da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada PVsyst programı tercih edilecektir. PVsyst ile örnek bir çalışmada GES santrali tasarım projesi için gerekli analizler ve finansal hesaplamaları daha kolay ve pratik olarak yaparak örnek projemizi için bir rapor hazırlayacağız.

5.3. PVsyst Programı ile Planlanan Güneş Enerji Santralinin Tasarımı

PVsyst, Fotovoltaik sistemlerin kurulum öncesinde enerji üretim tahminlerinin yapılması, sistemin boyutlandırılması ve performans analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bir simülasyon yazılımıdır (Yahılı Kılıç & Kurtaran, 2023). Güneş enerjisi santrali tasarım sürecinde, uygun yer seçimi ve ekipman belirlenmesi kadar, detaylı simülasyonların gerçekleştirilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu sayede, sistemin yıllık üretim kapasitesi önceden öngörüleabilmekte ve yatırım kararları bilimsel verilere dayalı olarak daha sağlıklı bir şekilde alınabilmektedir. Doğru karara varılabilmesi açısından da kullanılacak simülasyon programının doğruluğu ve analiz olanakları son derece hassasiyet gerektirmektedir. PVsyst bu simülasyon programların başında gelmektedir (Haydaroğlu & Gümüş, 2016). PVsyst, Fotovoltaik enerji sistemleri için geliştirilmiş bir bilgisayar tabanlı yazılımdır. Program, karmaşık matematiksel modeller ve simülasyon teknikleri kullanarak güneş enerjisi sistemlerinin performansını analiz eder ve tasarım sürecini daha kolay bir hale getirir (Şahin, 2024). PVsyst programı, bu alandaki tasarım ve analiz işlemlerini kolaylaştırarak önemli avantajlar sunmaktadır. PVsyst programının başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Fotovoltaik enerji sistemlerinin tasarımını basitleştirerek, en yüksek performansı elde etmek için uygun bileşenlerin seçilmesine yardımcı olur.
- Güneş enerjisi sistemlerinin gerçek performansını analiz ederek, sistem verimliliği hakkında kapsamlı ve değerli bilgiler sağlar.
- Fotovoltaik projelerin finansal getirilerini değerlendirmek için kullanılır, yatırım maliyetleri, enerji üretimi ve finansal göstergeler hakkında ayrıntılı analizler sunar.

Bu işlevler, güneş enerjisi projelerinin etkin bir şekilde tasarlanması ve yönetilmesi için kritik öneme sahiptir.

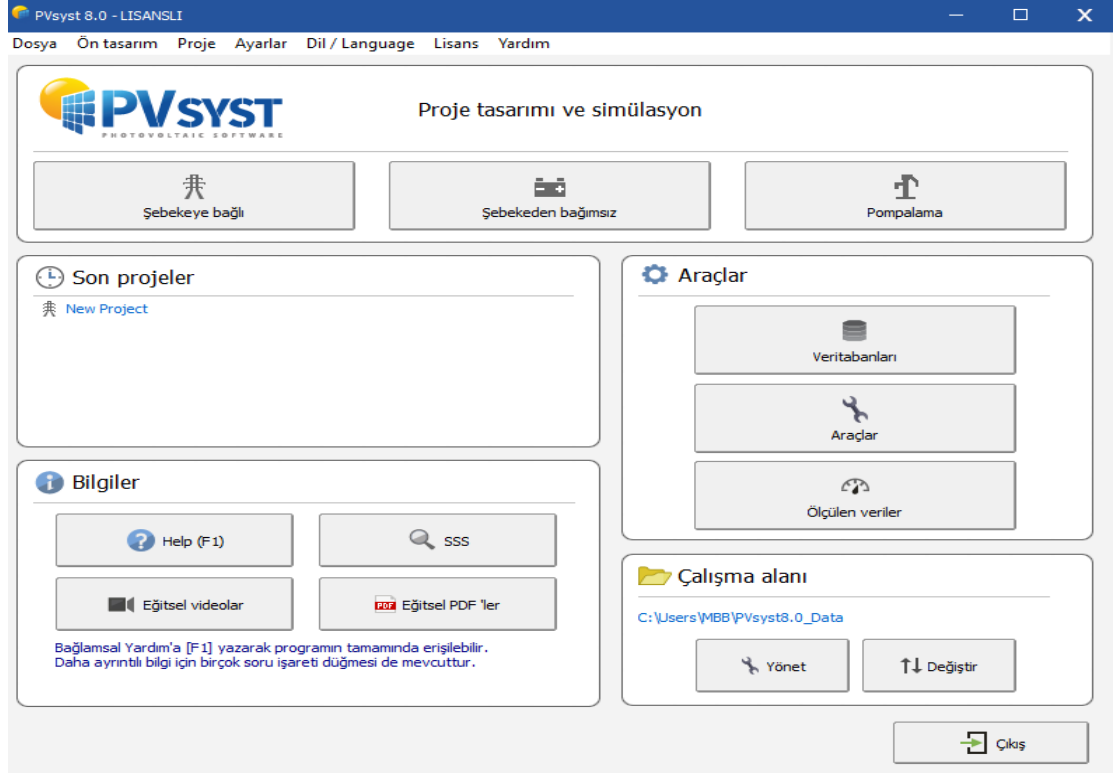
PVSyst, arka planında ki önceden mevcut bileşenlere ek olarak kullanıcıların kendi bileşenlerini manuel olarak tanımlamasına ve simülasyon sürecine dahil etmesine olanak tanımaktadır (Seymur, 2024). PVsyst simülasyon yazılımında, Türkçe dil seçeneği 7. nesil sürümünden itibaren kullanıma sunulmuş ve kullanıcı ara yüzü de güncellenmiştir (Şahin, 2024). PVsyst yazılımı, fotovoltaik (PV) sistem performansını

etkileyen çeşitli teknik kayıpları kablolama, sıcaklık, panel uyumsuzlukları, transformatör verimsizlikleri ve kirlenme gibi tanımlama ve analiz etme imkânı sunmaktadır. Sistem verimliliği açısından kritik olan gölgeleme kayıpları, yazılımın 3D modelleme özelliğiyle detaylı biçimde değerlendirilebilmektedir. Gölgeleme analizlerinde saha verileri ve coğrafi bilgiler entegre edilebilmekte, ufuk çizgisine bağlı etkiler ise otomatik ya da manuel olarak tanımlanabilmektedir. Tablo 5.1’de PVsyst programının çalışma sıralaması görülmektedir.

Tablo 5.1: Pvsyst programı kullanımı başlıca adımları

Adım	Açıklama
1. Proje Tanımlama	Proje tasarım sürecinin başlangıç aşamasında, çalışma alanının belirlenmesi ve ilgili koordinatların tespit edilmesi gerekmektedir. Eğer PVsyst veri tabanında ilgili lokasyon bulunmuyorsa, kullanıcı tarafından manuel olarak koordinatların girilmesi veya Meteororm gibi meteorolojik veri sağlayıcılarından yararlanılması mümkündür. Ayrıca, hedef enerji üretim kapasitesi bu aşamada belirlenerek sistemin genel gereksinimleri tanımlanır.
2. İklim ve Radyasyon Verileri	PV sisteminin performans analizinde doğruluk sağlamak amacıyla, Meteororm, NASA, PVGIS gibi güvenilir kaynaklardan meteorolojik verilerin temin edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, global yatay radyasyon, ortam sıcaklığı ve diğer iklimsel değişkenler sisteme entegre edilir. Ayrıca, potansiyel gölgeleme faktörleri ve fiziksel engellerin neden olduğu ısıtım kayıpları detaylı olarak hesaplanır.
3. Sistem Tasarımı	Şebekeye bağlı sistem tasarımında, öncelikli olarak proje sahasının konumuna uygun olarak fotovoltaik (PV) modül ve inverter seçimi gerçekleştirilir. Bu aşamada, sistemin şematik tasarımı oluşturularak panel yerleşimleri belirlenir. Dizilim bağlantı türleri (seri/paralel) optimize edilerek maksimum verimlilik hedeflenir. Giriş parametreleri iki ana başlık altında ele alınmaktadır: Ana parametreler (zorunlu girişler) ve opsiyonel parametreler (sonuçların daha detaylı analiz edilmesi için eklenebilecek değişkenler).
4. Simülasyon Ayarları	Sistemin performansının değerlendirilmesi amacıyla enerji üretim simülasyonu için gerekli parametreler belirlenir. Bu süreçte; verimlilik, kayıplar, performans oranları gibi temel değişkenler sisteme entegre edilir. Ayrıca, kablo direnci, inverter kayıpları ve diğer bileşenlerden kaynaklanan enerji kayıpları detaylandırılır.
5. Simülasyon ve Sonuçlar	PV sisteminin tasarımına ilişkin simülasyon çalışmaları başlatılarak, aylık ve yıllık bazda enerji üretim tahminleri oluşturulur. Simülasyon sürecinde, panel yerleşim konfigürasyonlarının sistem performansına etkisi incelenir ve olası kayıplar tespit edilir. Ayrıca, sistem çevresinde bulunan yapılar ve potansiyel gölgeleme unsurları modellenerek sonuçlara olan etkileri değerlendirilir.
6. Ekonomik Analiz (Opsiyonel)	Yatırımın finansal fizibilitesinin değerlendirilmesi amacıyla; ilk yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve yatırımın geri dönüş süresi hesaplanır. Enerji üretim verileri, elektrik tarifeleri ve teşvik mekanizmaları gibi ekonomik değişkenler göz önünde bulundurularak detaylı bir mali analiz gerçekleştirilir.
7. Raporlama ve Görselleştirme	Simülasyon sonuçları ve analiz bulguları, kapsamlı raporlar ve grafikler eşliğinde sunulur. PVsyst programı, çıktıların PDF, Excel ve diğer formatlarda dışa aktarılmasına olanak tanır. Bu veriler, proje paydaşları ile paylaşımak üzere görselleştirilerek sistem performansına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunar.

Simülasyon için PVsyst' in 8.0.10 sürümü kullanılmıştır. PVsyst 8.0.10'a ait kullanıcı ara yüzünün ana sayfası Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: PVsyst 8.0.10 arayüz ekran görüntüsü

Proje ana ekranı, önemli 5 bölümden oluşur. Proje tasarımı ve simülasyonu kısmı, araçlar kısmı, son projeler kısmı, bilgiler kısmı ve çalışma alanı olmak üzere şekil.5.1 de görüldüğü gibidir. Proje tasarımı ve simülasyonu güneş enerjisi sistemlerinin analizinde kritik bir bileşen olup, projelerin detaylı değerlendirilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu süreç, meteorolojik verilerin seçimi, sistem tasarımı, gölgeleme analizleri, enerji kayıplarının hesaplanması ve ekonomik değerlendirmeleri kapsamaktadır. Simülasyonlar, bir yıl boyunca saatlik zaman adımlarıyla gerçekleştirilmekte olup, elde edilen çıktılar sistem performansını detaylı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, simülasyon süreci, ayrıntılı raporlar ve teknik analizler sunarak güneş enerjisi projelerinin verimliliğini ve fizibilitesini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

5.3.1. Şebekeye bağlı sistem tasarımı

Şebekeye bağlı fotovoltaiik (PV) sistem tasarımının ilk aşaması, sistemin kurulacağı yerin belirlenmesidir. PVsyst yazılımı, tasarım yapılacak bölgeye ait meteorolojik verileri kullanarak simülasyonlar yapmaya olanak tanımaktadır. Ancak, yazılım veri tabanında istenilen lokasyon bulunmuyorsa, coğrafi koordinatlar manuel olarak girilebilir veya Meteonorm gibi meteorolojik veri tabanlarından yararlanılabilir. Tasarım sürecinin bir sonraki aşaması olan proje tasarımı bölümünde, seçilen konum tekrar sisteme girilerek detaylı parametreler belirlenmektedir. Bu aşamada, sistem tasarımı için gerekli olan giriş parametreleri ana ve opsiyonel parametreler olarak ikiye ayrılmaktadır:

- Ana Parametreler: Sistemin tasarım sürecine devam edilebilmesi için zorunlu olarak girilmesi gereken verilerdir. Bu parametreler genellikle panel tipi, inverter kapasitesi, yatay ve düşey açılar gibi teknik detayları kapsar.
- Opsiyonel Parametreler: Daha detaylı ve gerçeğe daha yakın simülasyonlar yapabilmek adına girilmesi önerilen parametrelerdir. Bunlar, güneş ışınlarının engellenmesine neden olabilecek çevresel faktörler, kablo kayıpları ve çeşitli çevresel etkileri içerebilir.

Tasarımın en kritik aşamalarından biri olan simülasyon bölümünde, sistemin kurulum alanı belirlenerek panellerin yerleşimi planlanmaktadır. Bu aşamada:

- Sistemin kapsadığı alan hesaplanarak panellerin konumu belirlenir.
- Sistemin performansına etki edebilecek gölge faktörleri (yakındaki yapılar, ağaçlar vb.) modellenir.
- Güneş ışınlarının yıllık ve mevsimsel dağılımı analiz edilir (Meteotest, 2023).
- Panel ve inverter kayıpları gibi teknik detaylar öngörülerek sistem verimliliği hesaplanır.

PVsyst ve Meteonorm gibi yazılımlar, simülasyon sürecinde güneş enerjisi potansiyelinin tahmini ve sistem performansının öngörülmesi konusunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda sistemin ekonomik ve teknik fizibilitesi değerlendirilerek yatırım kararlarının verilmesi sağlanmaktadır.

5.3.2. Arazi ve hava şartlarının programa tanıtılması

PVsyst yazılımı, sistem performansını gerçekçi şekilde simüle edebilmek için sahaya özgü iklimsel verilerin ve arazi koşullarının detaylı olarak tanımlanmasına olanak tanır. Bu çalışmada, Mardin iline ait meteorolojik veriler Meteonorm 8.2 veri tabanı aracılığıyla PVsyst programına entegre edilmiştir. Yıllık global yatay radyasyon (GHI), dış ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem gibi temel parametreler sisteme tanıtılmıştır.

Şekil 5.3'te seçilen arazinin koordinat bilgileri girilerek konuma ulaşılmıştır.

Coğrafi konum parametreleri Cevizlik_MN82.SIT için

Coğrafi koordinatlar | Aylık hava durumu | İnteraktif harita

Konum

Konum adı: Cevizlik

Ülke: Türkiye

Bölge: Avrupa

Koordinatlardan al

Haritayı göster

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Enlem: 37.3985 [°] 37 23 54 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 40.5573 [°] 40 33 26 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1144 Deniz seviyesi üzerinde m.

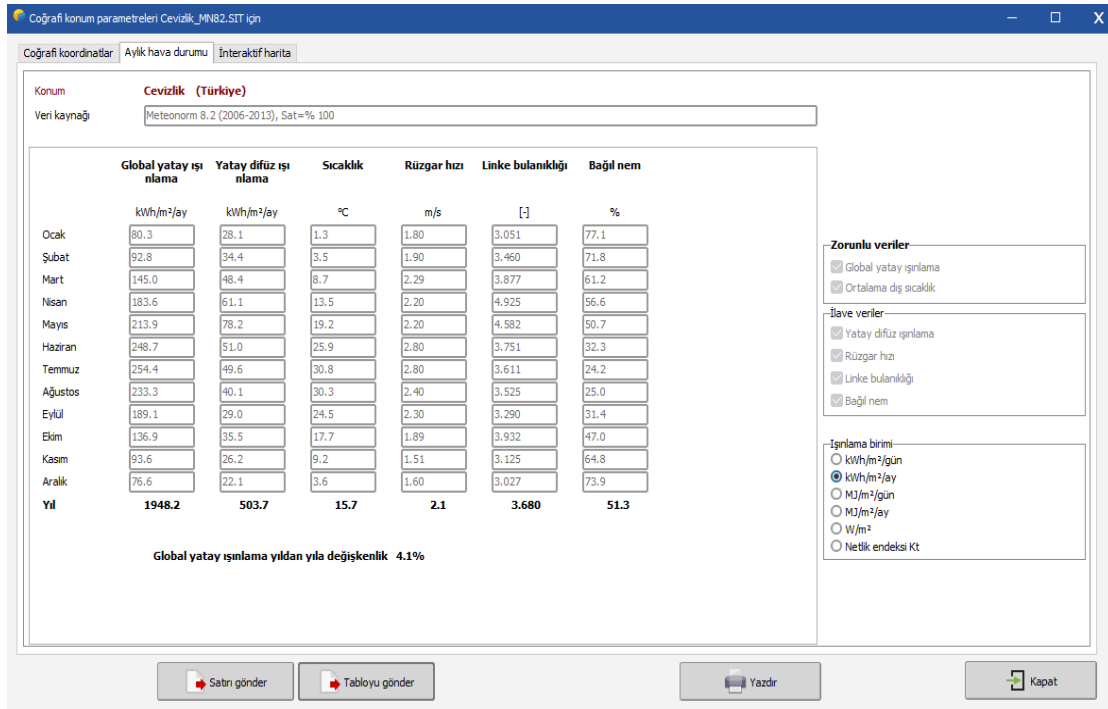
Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 18dk

İsimden al

Şekil 5.3. Coğrafi konum parametrelerinin girildiği ekran görüntüsü

PVsyst'te hava şartları (meteorolojik veriler), sistem performansını simüle ederken çok önemli bir rol oynar. PVsyst, bu meteorolojik verileri Meteonorm, NASA SEE, PVGIS TMY, Solcast TMY, Solar Anywhere TGY, Solargis TMY gibi kaynaklardan alır. Biz bu çalışmada meteorolojik verileri Meteonorm 8.2'den veritabanından seçiyoruz. 2006-2013 hava koşulları Şekil 5.4'te görülmektedir.



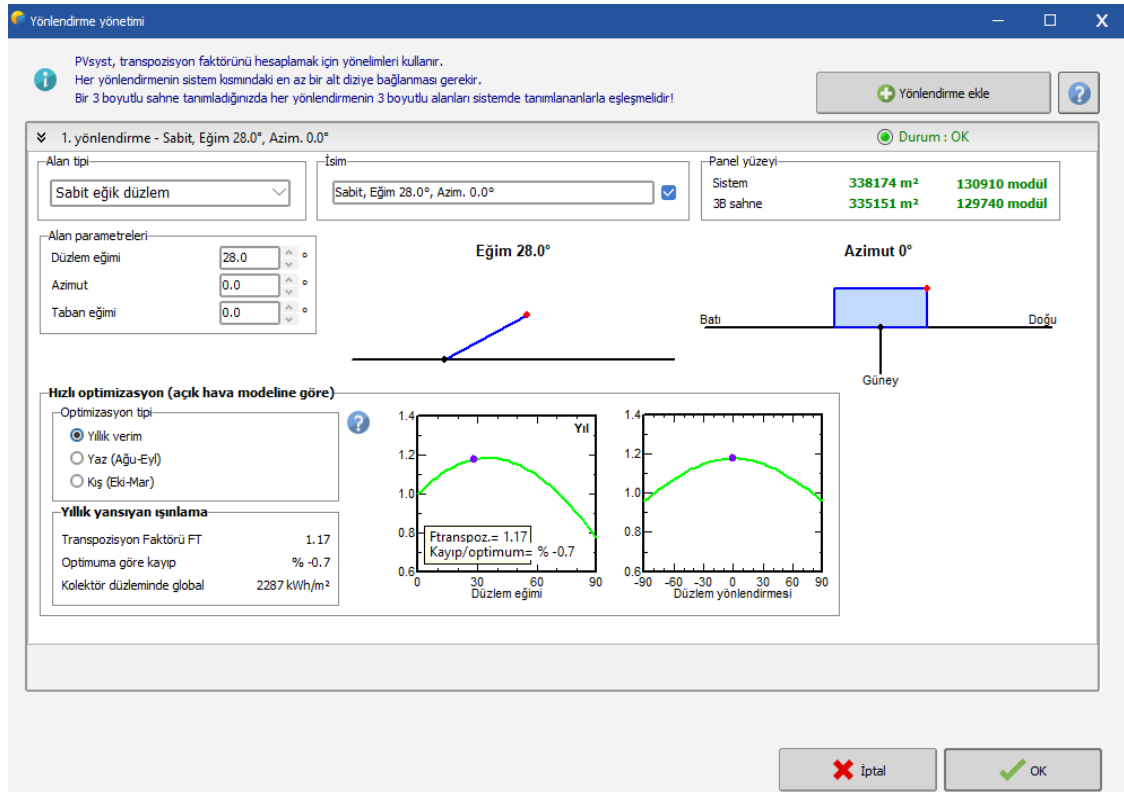
Şekil 5.4. 2006-2013 yılları arası meteorolojik hava koşulları (Kwh/m2/ay)

5.3.3. Panel yönelimlerinin, eğim açısının ve azimut açılarının belirlenmesi

Güneş enerjisi santrallerinde enerji üretim verimliliğini artırmak amacıyla, panel yerleşimi sırasında geliş açısı, yatay düzlemdeki açısız yönelim ve azimut açısı gibi parametrelerin dikkate alınarak panellerin güneşe en uygun şekilde konumlandırılması büyük önem taşımaktadır (Seymur, 2024).

Panellerin zeminle yaptığı açı, eğim açısı (tilt angle) olarak adlandırılmakta olup, güneş panellerinin yatay düzleme göre konumunu ifade eder. Bu açı, sistemin yıllık enerji üretimini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. En verimli eğim açısının belirlenmesi için kurulacak yerin enlem değeri esas alınır. Panel eğim açısı (tilt), sabit sistemler için sistem performansını etkileyen temel tasarım parametrelerinden biridir. Mardin ili için yapılan değerlendirmelerde optimum üretim açısından 30–35° aralığında değerler öne çıksa da, yaz aylarında elektrik tüketiminin daha yüksek olması, panel sıraları arasındaki gölgeleme etkisinin azaltılması ve saha yerleşimi açısından avantaj sağlaması gibi nedenlerle eğim açısı 28° olarak belirlenmiştir. Bu değer, yıl genelinde dengeli bir üretim sağlamak ve sistem verimliliği açısından uygun bir çözüm sunmaktadır.

Bununla birlikte, azimut açısı, panel yüzeyinin coğrafi güneyden sapma derecesini ifade eder ve panelin yönünü belirler. Azimut açısının 0° olması, panelin tam olarak güneye baktığı anlamına gelir. Güneş panellerinin performansı, hem eğim hem de azimut açılarına bağlı olarak değişmekte; bu açılar, panel yüzeyine gelen güneş radyasyonu miktarını doğrudan etkilemektedir (Mathew & Hossain, 2017). Şekil 5.5'te Eğim ve azimut açısının belirlendiği sayfa gösterilmektedir.

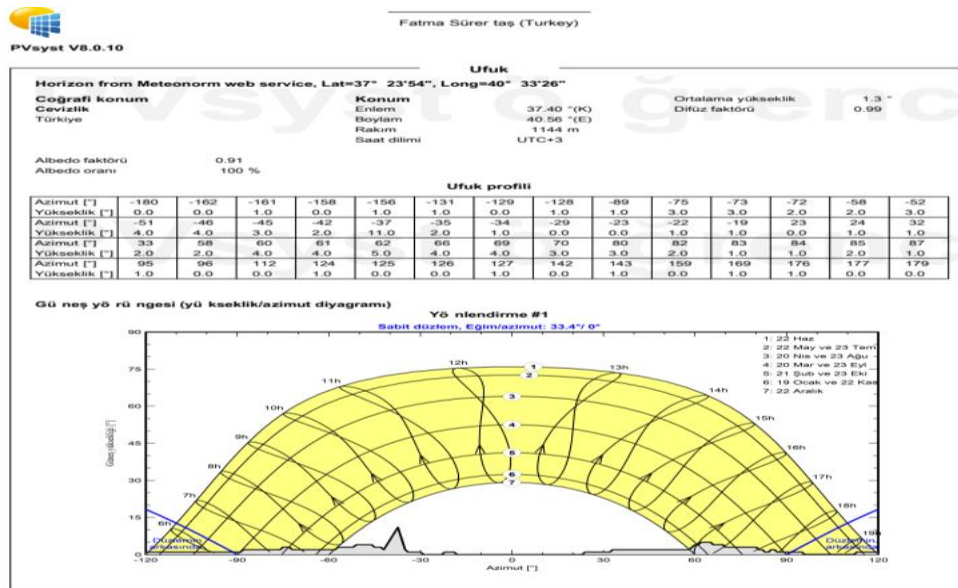


Şekil 5.5. Eğim ve Azimut açısının belirlenmesi

Arazi modeli oluşturulurken, topografik eğimler, yönelim (azimut) ve eğim açıları programda tanımlanarak yerleşim planı üç boyutlu ortamda modellenmiştir. Ayrıca, potansiyel gölgelenmelerin etkisi dikkate alınarak PV dizilerinin yerleşimi optimize edilmiştir. Bu sayede sistemin yıllık üretimi üzerindeki kayıplar minimize edilmiştir. Modelleme aşamasında alınan referans veriler, saha ölçümleri ve coğrafi bilgi sistemlerinden (GIS) elde edilen harita verileri ile desteklenmiştir.

5.3.4. Ufuk çizgisi bölümü

PVsyst yazılımında ufuk çizgisi (horizon) grafiği, güneş enerjisi sistemlerinin performansını değerlendirmek için önemli bir göstergedir (Şahin, 2024). Güneş ışınımının atmosferdeki yoğunluğu ve spektral kalitesi, günün saatine ve güneşin konumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu değişimler, PVsyst yazılımında ufuk çizgisi (horizon profile) grafiği aracılığıyla analiz edilebilir. Azimut (yatay açı) ve yükseklik (dikey açı) parametrelerinin doğru girilmesi sayesinde, arazinin çevresel engelleri (örneğin dağ, bina, ağaç vs.) modellenenebilir ve bu da özellikle sabah ve akşam saatlerinde meydana gelen gölgeleme etkilerini ortaya koyar. Güneş ışınımı genellikle öğle saatlerinde (yaklaşık 12:00 civarı) atmosferden daha kısa bir yoldan geçerek yere ulaştığından, bu saatlerde ışınımın hem şiddeti hem de kalitesi en yüksek düzeydedir. Sabah ve akşam saatlerinde ise güneş daha yatay konumda olduğundan atmosferden geçiş yolu uzar, bu da ışınımın dağılmasıyla birlikte enerji kalitesini düşürür. Bu nedenle, PVsyst'te ufuk çizgisi verilerinin dikkatle girilmesi, gerçek saha koşullarına daha yakın ve ekonomik enerji üretim tahminlerinin yapılmasına olanak sağlar. Bu çalışmada gerçek saha verileri programa girilen arazi bilgilerini oku-getir seçeneği ile oluşturulmuştur.



Şekil 5.6. Eğim ve Azimut açısı belirlendikten sonra oluşan grafik

5.3.5. PVsyst'te sistem bölümü ve tasarım aşamaları

PVSyst yazılımında “System” bölümü, fotovoltaik güç sisteminin fiziksel ve elektriksel bileşenlerinin yapılandırıldığı aşamadır. Bu bölümde; PV modülleri, inverterler, bağlantı şekilleri, sistem voltajı, MPPT izleme sayısı gibi temel teknik detaylar tanımlanır. Ayrıca kurulumun yapılacağı alan sabit ve maksimum verim alınacak bir sistem düşünülüyor ise mevcut alan (m²) girilmektedir. Mevcut alan girildiğinde planlanan güç miktarı program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Fakat alan sıkıntısı yoksa ve elde edilmek istenen mevcut bir güç kapasitesi varsa planlanan güç (kWp) girilerek gerekli alan program tarafından hesaplanır. İki durumda da program gerekli PV modül sayısını hesaplamakta, modül ve dizi sayısı bölümünde seri - paralel bağlantı durumunu vermektedir (Yiğit, 2023). Marsu için tasarlanana Ges Santrali için istenilen güç yıllık enerji giderlerinden hesapları göz önünde bulundurularak 60 MW olarak belirlenmiştir.

Tasarlanan 60 MW GES için Güneş paneli ve inverter marka, model ve teknik bilgileri pvsyst veri tabanından alınarak gerçek verilere uygun seçim yapılmıştır. Çalışmada kullanılan PVsyst genel giriş parametreleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. PVsyst giriş parametreleri

Giriş Parametresi	Değer/Özellik
Enlem	37.4112
Boylam	40.5441
Meteorolojik veriler	Meteonorm 8.0
Eğim açısı / Tilt	28°
Azimet	0
Santral gücü	72.000KWp
PV Panel	Longi Solar LR5-72HPH-550M-G2
İnvertör	Sunway SKID 5400- 620 / 5154 KW

Projede hedeflenen güç olan 60 MWe’lık kapasiteye ulaşmak için gerekli hesaplamalar sonucunda simülasyonda toplam 130.910 panel kullanılmıştır. Bu panellerin elektriksel ve fiziksel özellikleri, sistem verimliliğini doğrudan

etkilemektedir. Kullanılan PV Makine ve teçhizat, ilk yatırım maliyetini doğrudan etkilediğinden ekonomik analiz açısından büyük önem taşımaktadır (Koçak 2018). Kullanılan fotovoltaik paneller ve seçilen uygun invertörler, sistemin toplam kurulum maliyetini belirleyen temel bileşenler arasında yer almakta olup, her bir bileşen grubuna ait maliyetler finansal fizibilite üzerinde belirleyici rol oynamaktadır." Detaylı teknik bilgiler tablo 5.3'te aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Kullanılan fotovoltaik panelin teknik özellikleri

Özellik	Değer/Özellik
Üretici / Model	Longi Solar LR5-72HPH-550M-G2
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49.80 V
Maks. Güç Noktası Gerilimi (Vmp)	41.95 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	13.980 A
Maks. Güç Noktası Akımı (Imp)	13.120 A
Modül Verimi	%23.11
Tipi	Si-mono
Boyutlar (mm)	2278×1134×35
Ağırlık	30 Kg
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C + 85°C
Sıcaklık Katsayısı (Pmax)	-0.33 %/°C

Tablo 5.4. Kullanılan invertörün teknik özellikleri

Özellik	Değer/Özellik
Üretici / Model	Longi Solar LR5-72HPH-550M-G2
Tipi	String
Toplam Sayısı	200 adet
Maksimum MPP Gerilimi	1500 V
Maksimum AC Çıkış Gücü	330 kWac
Verim	%99
Boyutlar (mm)	2278×1134×35
Ağırlık	112 Kg
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-25°C + 60°C

Panellerin nominal gücü toplamda 72.001 kWp olup, sistemin AC tarafındaki kurulu gücü 60.000 kWe'tır. Tasarımda her biri 300 kW kapasitesinde olan ve Huawei Technologies tarafından üretilen toplam 200 adet SUN2000-330KTL-H1 model invertör kullanılmıştır. Dizi boyutlandırmasında ise her biri 26 seri modülden oluşan 5035 dizi yer almakta olup, bu yapı maksimum sistem verimliliği göz önünde bulundurularak optimize edilmiştir. Şekil 5.7'de Sistem PVsyst üzerinden oluşturulan sistem yapılandırması ve bileşenler özet ekranında detaylar verilmiştir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCO: "Yeni simülasyon varyantı öz kaynak"

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
- PV alanı		
Longi Solar - LR5-72HPH-550M G2	26	5035
Huawei Technologies - SUN2000...	200	1

Alt alan PV alanı

Yönlendirme seçimi
Yönlendirme: Sabit, Eğim 28.0°, Azim. 0.0°

Ön boyutlandırma yardımı
Boyutlandırma: ☒ Boyutlandırma ☐ Boyutlandırma
Planlanan güç: 72000.0 kWp
veya mevcut alan: 338174 m²

PV modül seçimi
Mevcut: Filtre: Tüm PV modülleri
Gerekli tahmini modül sayısı: 130909
Longi Solar 550 Wp 35V Si-mono LR5-72HPH-550M G2 2022 yılından beri Manufacturer 2022
☐ Optimizer kullan
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 36.3 V
Voc (-10°C) 54.7 V

Invertör seçimi
Mevcut: Çıkış gerilimi 800 V Tri 50Hz
Huawei Technologies 300 kW 550 - 1500 V TL 50 Hz SUN2000-330KTL-H1 2023 yılından beri
Invertör sayısı: 200 Çalışma gerilimi: 550-1500 V Invertör global gücü: 60000 kWac
Invertör giriş gerilimi: 1500 V 6 MPPT ile invertör
☒ Invertör içinde Phom paylaşımı ☐ Bağımsız MPPT girişleri
Invertörde güç paylaşımı

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 26 16 ile 27 arasında
Zincir sayısı: 5035 4196 ile 5747 arasında
Aşırı yük kaybı: 0.3 %
Nom. güç oranı: 1.20
Boyutlandırma

İşletme koşulları
Vmpp (60°C) 944 V
Vmpp (20°C) 1100 V
Voc (-10°C) 1422 V
Yüzey ışınlm: 1000 W/m²
Imp (STC) 66059 A
Isc (STC) 70389 A
Alan nominal gücü (STC) 72001 kWp

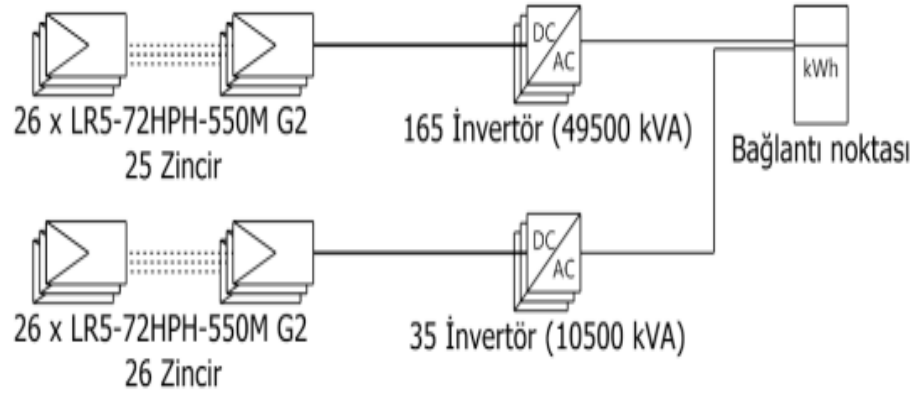
Global sistem özeti

Panel sayısı	130910
Panel yüzeyi	338174 m²
Invertör sayısı	200
PV nominal gücü	72001 kWp
Nominal AC gücü	60000 kWAC
Nom. güç oranı	1.200

Sistem özeti **Tek hat şeması** **İptal** **OK**

Şekil 5.7. PVsyst sistem yapılandırması ve bileşenler özet ekranı

Yukarıda ki şekilde sistemin genel yapısı, panel sayısı, inverter konfigürasyonu ve dizi boyutlandırması gibi teknik detaylar PVsyst arayüzü üzerinden sunulmuştur. Bu yapılandırmaya bağlı olarak oluşturulan sistemin elektriksel bağlantı yapısı ise aşağıdaki tek hat şemasında gösterilmektedir. Şekil 5.8'deki Şemada, panel dizilerinin (zincirlerin) invertörlere bağlantısı, inverter çıkışlarının AC toplama sistemine entegrasyonu ve şebeke bağlantı noktaları sadeleştirilmiş biçimde yer almaktadır.



Şekil 5.8. Sistem tarafından oluşturulan tek hat şeması

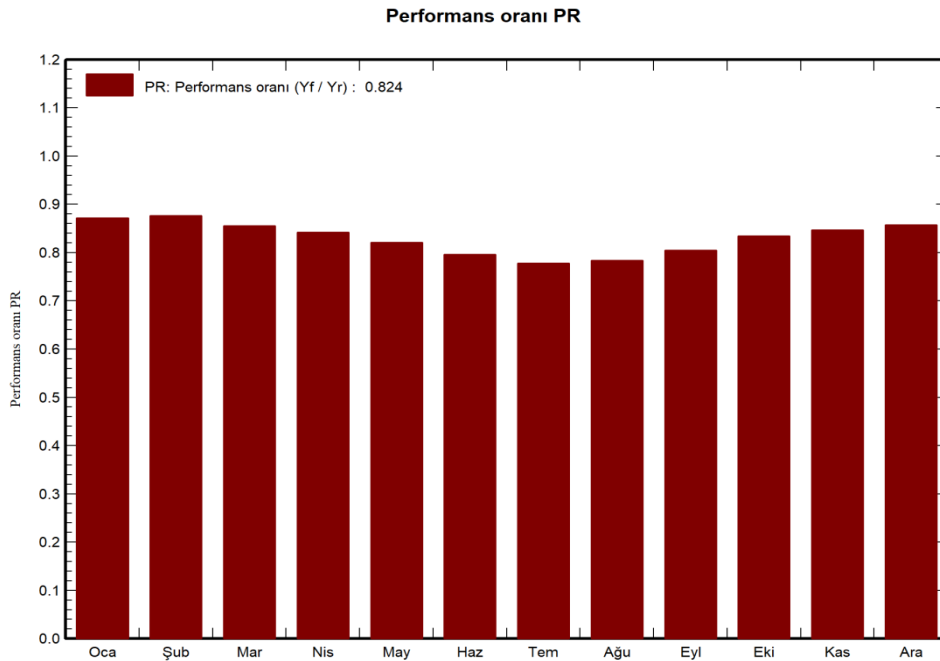
Her bir dizi, belirli sayıda seri bağlı panellerden oluşmakta ve bu diziler uygun sayıda MPPT girişine sahip invertörlere bağlanmaktadır. Ardından, invertörlerin ürettiği AC enerji, uygun koruma ve toplama ekipmanları aracılığıyla trafo merkezine ve oradan da şebekeye aktarılır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarlanan güneş enerji santralının performansı, PVsyst yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen simülasyonlar ile değerlendirilmiştir. Bu simülasyonlar kapsamında sistemin yıllık enerji üretimi, kayıp analizleri, ısıtım değerleri ve diğer performans göstergeleri grafiksel olarak sunulmuştur.

6.1. Sistem Performansına İlişkin Grafikler

Aşağıda yer alan grafikler, sistemin çalışmasıyla ilgili kritik verileri görsel olarak ortaya koymakta ve tasarımın doğruluğunu teknik açıdan desteklemektedir. Grafikler üzerinden yapılan yorumlarla, santralin yıllık verimliliği ve enerji üretim potansiyeli detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Şekil 6.1’de aylara göre performans değerleri görülmektedir.

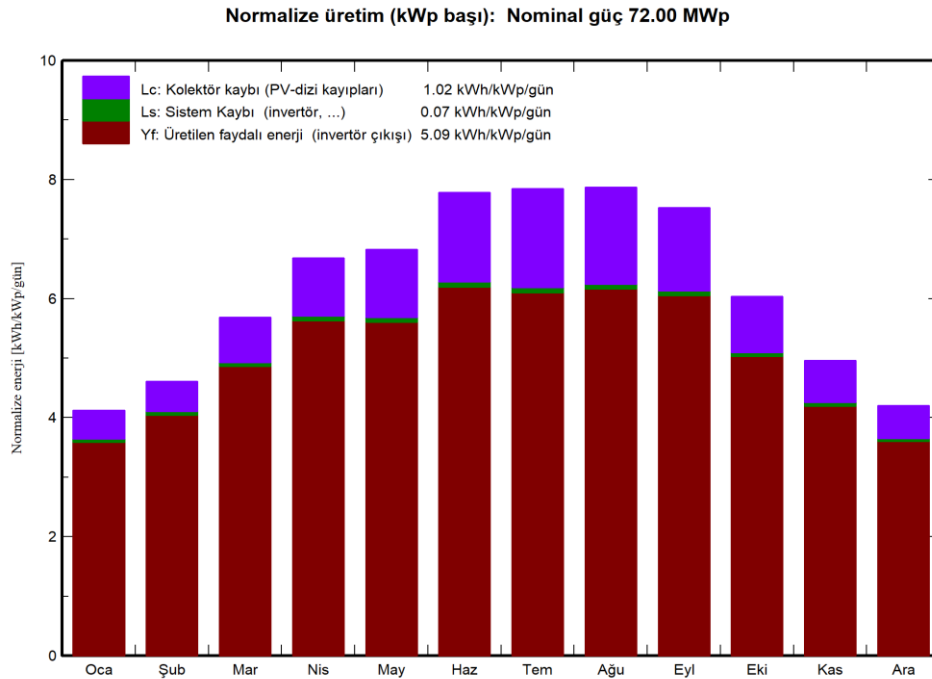


Şekil 6.1. Aylara göre Performans Oranı (PR)

PR (Performance Ratio - Performans Oranı) değeri, bir güneş enerji santralının ne kadar verimli çalıştığını gösteren önemli bir değerdir. Bu değer, teorik olarak elde edilebilecek maksimum üretim ile gerçek üretim arasındaki oranı yansıtır ve sistemdeki

tüm kayıpları (ısı, inverter verimsizliği, kablo kayıpları, tozlanma, gölgelenme vs.) dikkate alır.

Simülasyon sonucunda elde ettiğimiz PR = 0.824 bu değer, sistemin teorik olarak ulaşabileceği maksimum üretimin %84'ünü pratikte de gerçekleştirebildiğini göstermektedir. “Performans Oranı (PR), sistemde meydana gelen tüm dikkate alındıktan sonra net enerji üretimini yansıtan bir ölçüttür. Uygulamada kaçınılmaz olan bu kayıplar nedeniyle PR değeri genellikle %80 -84 civarındadır. PR değeri bu orana ne kadar yakınsa, sistemin o derece verimli ve etkili çalıştığı kabul edilir (Yüzer, 2025). Bu bağlamda, elde edilen değer oldukça başarılı bir sistem tasarımını ve düşük kayıplı bir modellemeyi yansıtmaktadır. Sistem kayıplarının düşük tutulması, uygun panel ve inverter seçimi, yönlendirme, kablolama ve genel mühendislik tasarımının etkin bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Ayrıca bölgenin güneşlenme potansiyelinin de bu yüksek performans oranında etkili olduğu söylenebilir. Şekil 6.2’de Normalize Üretim Değerleri görülmektedir.

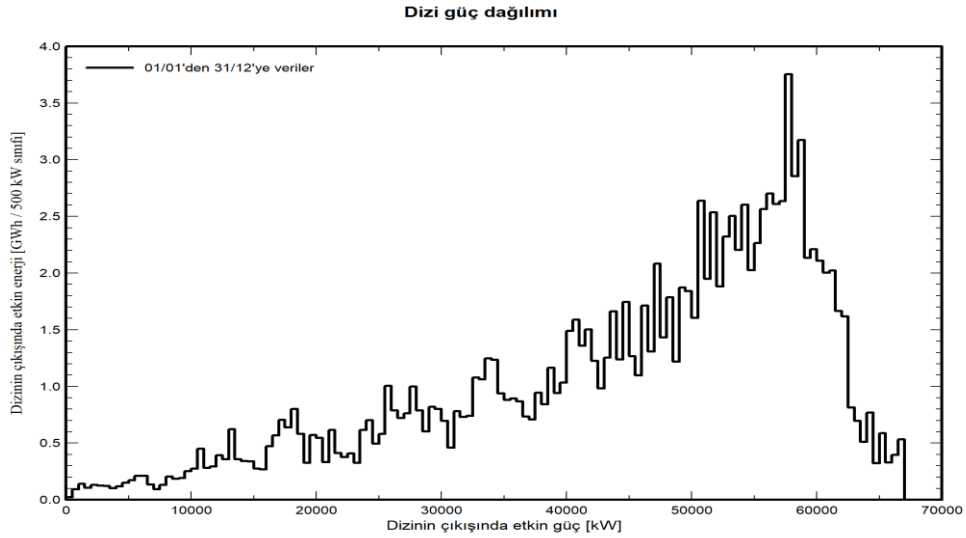


Şekil 6.2. Normalize üretim (kWp)

PVsyst simülasyonu sonucunda elde edilen normalize üretim grafiği, sistemin günlük enerji üretim verimliliği açısından önemli göstergeler sunmaktadır. Simülasyona

göre, sistemde günlük ortalama 1,02 kWh/kWp düzeyinde kolektör kaybı (PV dizi kayıpları) ve 0,07 kWh/kWp düzeyinde sistemsel kayıp (invertör, kablo ve diğer bileşenlerden kaynaklanan) olduğu tespit edilmiştir. Bu kayıpların başlıca nedenleri arasında panel sıcaklık artışı, yönlendirme hassasiyeti, gölgeleme, kablolama kayıpları ve inverter verimliliği yer almaktadır.

Elde edilen net faydalı enerji üretimi değeri ise 5,09 kWh/kWp/gün olup, bu oran Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri dikkate alındığında oldukça verimli bir sistem performansına işaret etmektedir. Literatürde, Türkiye iklim koşullarında iyi tasarlanmış PV sistemlerinin günlük ortalama 4,8–5,2 kWh/kWp üretim aralığında çalıştığı bildirilmektedir (Yüzer, 2025). Bu bağlamda, elde edilen değerlerin bu sınırlar içinde ve hatta üst seviyeye yakın olması, sistem tasarımının teknik açıdan optimize saha koşulları düşünülerek tasarlandığını gösterir.

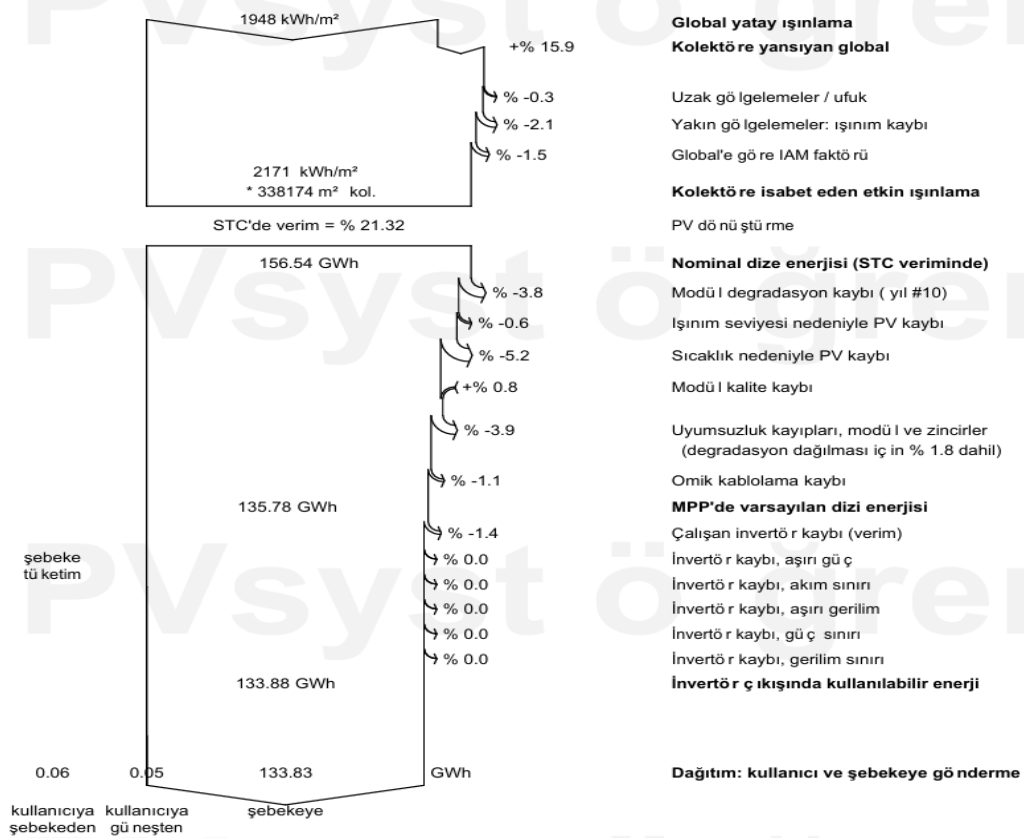


Şekil 6.3: Dizi Güç Dağılımı

Sistemin düşük çıkış güçlerinde örneğin 0–20.000 kW arası üretim çok daha azdır. Bu saatler genellikle sabah erken veya akşam saatleri, düşük ışınım koşulları ya da bulutlu havalarla ilişkilidir. Sistem, özellikle 50.000–65.000 kW aralığında yoğun şekilde çalışmış. Bu, sistemin kurulu gücüne (yaklaşık 72.000 kWp nominal güç) oldukça yakın değerlerde üretim yaptığı anlamına gelir.

6.2. Detaylı Kayıplar Analizi

Güneş enerjisi sistemlerinde teorik üretim ile gerçek üretim arasında farklar oluşmasının temel nedeni sistem içi kayıplardır. Güneş ışınımının panele ulaşmasından başlayarak, kullanıma hazır elektrik enerjisine dönüşene kadar çeşitli aşamalarda enerji kayıpları meydana gelir. Bu kayıplar; panel sıcaklıkları, tozlanma, yönlenme hataları gibi PV dizinle ilgili etkenlerden, kablolama, inverter verimi ve diğer bileşenlere kadar performansını etkileyen başlıca kayıp türleri analiz edilmiştir. Bu bölümde enerji kayıplarını minimuma indirmek için program kullanıcılara önerilerde bulunarak, güneş enerjisi sistemlerinin çok daha yüksek verimlilikle çalışmasına olanak sağlar. Bu nedenle, PVsyst'teki bu bölüm, güneş enerjisi projelerinin başarılı bir şekilde planlanması ve işletilmesi için önemli bir bölümdür (Şahin ve Salihmuhsin, 2025). Sistemin farklı noktalarında oluşur. Şekil 6.4 Detaylı Kayıplar Diyagramı



Şekil 6.4. Sistem Kayıplar Diyagramı

Şekil 6.4'te gösterilen enerji kayıpları diyagramına göre, tasarlanan PV sistemin kurulu olduğu bölgedeki yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri 1948 kWh/m² olarak belirlenmiştir. Panel yüzeyine düşen efektif ışıınım miktarı ise çeşitli düzeltmelerin ardından 2171 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu fark, sistemde yakın gölgelenme (%3,6), IAM (yansıma) kaybı (%2,5) ve atmosferik yutulma gibi kayıplar nedeniyle oluşmuştur.

Bu etkin ışıınım doğrultusunda, PV sistemin standart test koşullarındaki (STC) teorik nominal üretim kapasitesi 156,54 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer, panellerin laboratuvar koşullarında (1000 W/m² ışıınım, 25 °C hücre sıcaklığı) çalışması durumunda ulaşabileceği maksimum enerjiyi temsil etmektedir. Ancak sahadaki çeşitli sistemsel kayıplar nedeniyle üretim kapasitesi düşmektedir.

Bu aşamadaki kayıplar şunlardır:

- Sıcaklık kaynaklı verim kaybı: %9,2
- Modül kalitesi farkı: %1,0
- Modül bozulması (LID vb.): %0,7
- Kirlenme nedeniyle kayıplar: %1,5

Bu kayıpların ardından PV dizisinin maksimum güç noktası (MPP) üzerinden yıllık üretebildiği enerji miktarı 135,78 GWh'ye düşmektedir. Bu değer aynı zamanda sistemin gerçek saha koşullarında yıllık DC üretim kapasitesidir. Buradan sonra DC kablolama kayıpları da dâhil edilmiştir. İnverter sistemine geçişle birlikte oluşan kayıplar şunlardır:

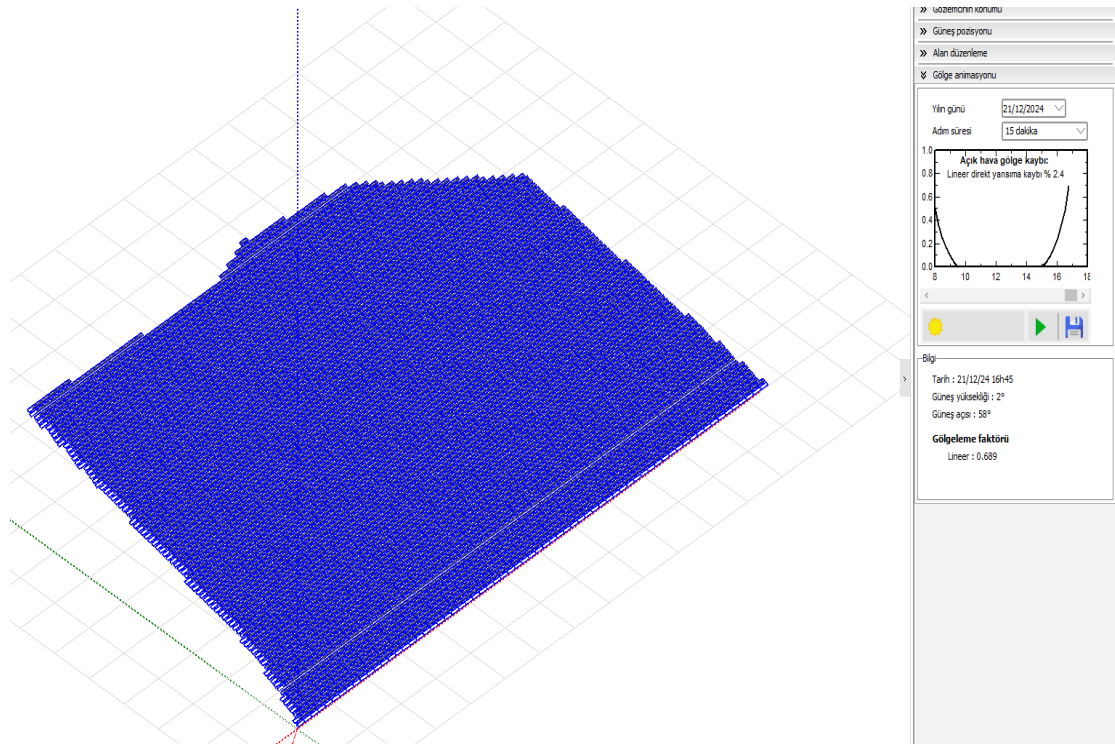
- İnverter verim kaybı (toplam): yaklaşık %1,4

Sonuç olarak, sistemin performansı; atmosferik, teknik ve donanımsal tüm kayıplar dikkate alındığında, yıllık 133,83 GWh enerji şebekeye aktarılabilir düzeyde üretilmiştir. Bu değer, sistemin performans oranı (PR) ve ekonomik fizibilite değerlendirmesi için kritik bir göstergedir.

6.3. Gölgeleme Analizi

Güneş enerjisi sistemlerinin verimli çalışabilmesi için panellerin mümkün olduğunca doğrudan güneş ışığı alması gereklidir. Ancak çevresel etkenler, yapıların

yerleşimi veya sistemin kendi bileşenleri nedeniyle panellerin üzerine gölgeler düşebilir. Gölgeleme analizi, bu tür durumların enerji üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılır. PVsyst simülasyon programında, panel veri tabanında yer alan fiziksel boyut bilgileri sayesinde panellerin yerleşimi ve kapladığı alan detaylı şekilde modellenenbilmektedir. Bu sayede gölgeleme analizleri gerçekleştirilerek, paneller arası mesafeye bağlı üretim kayıpları hesaplanabilmektedir (Çınaroğlu 2021). Bu çalışmada, PVsyst yazılımı kullanılarak sistemin yıllık gölgeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde, çevresel objeler dikkate alınarak panel dizilimleri 3D ortamda modellenmiş ve yılın farklı zamanlarında oluşabilecek gölgelerin enerji üretimine etkisi hesaplanmıştır. Sonuçlar, sistemde gölgeleme kaynaklı kayıpların minimum seviyede tutulduğunu ve panel yerleşimlerinin uygun şekilde tasarlandığını göstermektedir. Gölgeleme etkisinin düşük olması, üretim sürekliliği ve sistem verimliliği açısından olumlu bir sonuçtur.

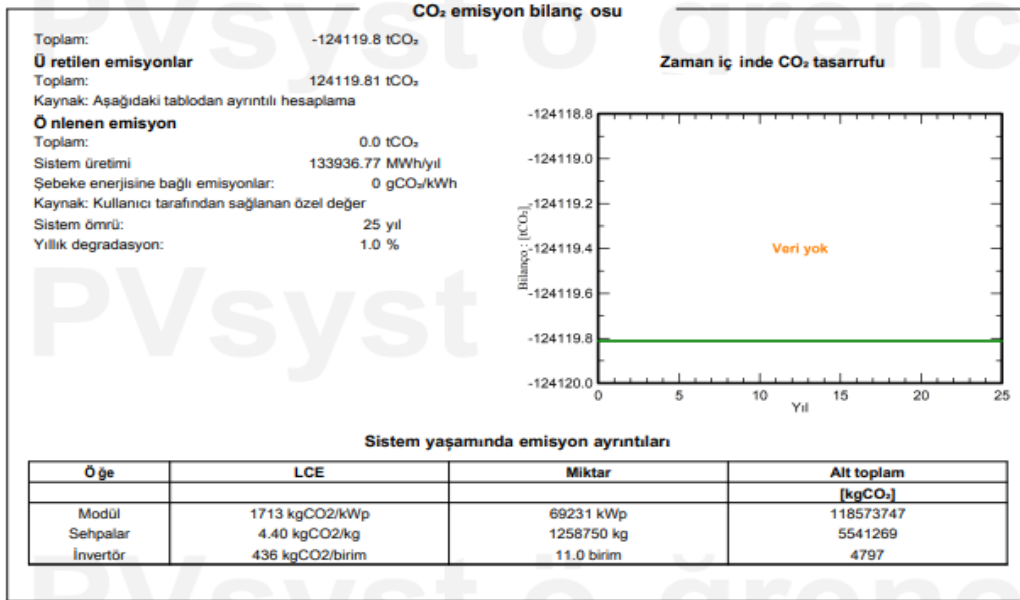


Şekil 6.5. Gölgeleme sahnesi 3D görünümü

Bu oran, güneş ışığının panel yüzeyine çarptığında küçük bir kısmının yansiyarak kaybolduğunu, ancak büyük çoğunluğunun elektrik üretimine katkı sağladığını göstermektedir. PV panellerin ışıyım açısına bağlı olarak meydana gelen yansıma kayıpları (IAM), sistem verimliliği üzerinde etkili parametrelerden biridir. PVsyst yazılımı, bu kayıpları detaylı biçimde analiz ederek, sistem çıktılarında %2–5 aralığında değişen değerler önermektedir (PVsyst, 2024). Bu değer sistemin panel yüzeyi ve eğim açısından uygun şekilde tasarlandığını göstermektedir.

6.4. Projenin çevresel etki ve sonuçları

Güneş enerjisi gibi güçlü yenilenebilir enerji kaynakları Fosil kaynaklı enerjiye olan bağımlılığın azaltılması ve karbon salınımlarının azaltılması gibi küresel iklim hedeflerine ulaşmada, güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşması kritik bir öneme sahiptir (Şahin, 2024). PVsyst’te yapılan simülasyon çalışmasında proje uygulandığı takdirde şekil 6.8’de görüldüğü üzere sistemin 25 yıllık ömrü boyunca **yaklaşık 124.119 ton CO₂** emisyonunun önüne geçilmesi öngörülmektedir.



Şekil 6.6. CO₂ Emisyon bilançosu

6.5. Sistemin Teknik Performans Değerlendirmesi

Tasarlanan santral sistemine ait performans analizleri PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem konfigürasyonu oluşturulurken Mardin'in iklim ve ışıınım verileri dikkate alınarak, panel eğim ve yön açıları optimize edilmiştir. PVsyst yazılımı ile yapılan analizlerde sistemin yıllık üretim kapasitesi, kayıp dağılımı ve performans oranı (PR) belirlenmiştir. Elde edilen PR değeri, literatürde belirtilen kabul edilebilir aralık olan %75–85 arasında kalmakta olup, sistemin verimli çalıştığını göstermektedir.

PVsyst yazılımı, fotovoltaik sistemlerin performans analizinde yaygın olarak kullanılan ve literatürde yüksek güvenilirlik düzeyiyle tanımlanan bir araçtır. Örneğin, Göksun Belediyesi'ne ait 1.179 MWp kurulu güce sahip bir güneş santralinde yapılan çalışmada, PVsyst simülasyonu ile gerçek üretim verileri arasında yalnızca %0,203'lük bir fark tespit edilmiştir (Şahin, Salihmuhsin). Benzer şekilde, Hakkâri Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesinde gerçekleştirilen 1 MWp kapasiteli bir PV sistemin PVsyst ile modellenmesinde sistemin performans oranı ve kayıpları başarıyla analiz edilmiştir (Yüzer, 2025). Bu çalışmalar, PVsyst yazılımı ile elde edilen sonuçların sahadaki gerçek üretim değerleriyle yüksek uyum içinde olduğunu ve simülasyon çıktılarının güvenilirliğini desteklemektedir.

6.6. Santralin Finansal Analizi

Bu bölümde, planlanan güneş enerjisi santralının finansal açıdan uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Yatırımın geri dönüş süresi, kârlılık oranı ve nakit akışı gibi temel finansal göstergeler üzerinden analiz yapılmıştır. Ayrıca farklı finansman modellerinin proje geri dönüş etkilerini görebilmek amacıyla üç ayrı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar; %100 öz kaynak kullanımı, %50 kredi – %50 öz kaynak kombinasyonu ve %100 kredi finansmanı şeklinde tasarlanmıştır. Her bir senaryo için net bugünkü değer (NPV), iç kârlılık oranı (IRR) ve yatırımın geri dönüş süresi (payback period) gibi göstergeler hesaplanarak karşılaştırmalı bir değerlendirme sunulmuştur.

Santralin planladığı arazinin enerji nakil hattına yakın konumda bulunması nedeniyle iletim kayıpları ve hat maliyetleri ihmal edilmiştir. Üretilen elektrik, doğrudan MARSU'nun enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde kullanılacaktır. Bu

nedenle, sistemden elde edilecek kWh başına gelir, MARSU'nun mevcut kWh başına ödediği birim fiyat üzerinden hesaplanmıştır. Ayrıca, santral alanı eğimli olmayıp, hafriyat gerektirmeyen bir yapıya sahiptir. Bu durum, panellerin konstrüksiyon üzerine kolay ve maliyetsiz şekilde yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Çınaroğlu, 2021). Bu çalışmada, Fotovoltaik (PV) santral tarafından üretilen enerjinin ekonomik değeri, geleneksel piyasa satış fiyatı üzerinden değil, öz tüketim modeli kapsamında değerlendirilmiştir. Kurumun toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %100'nün santral aracılığıyla karşılanması hedeflenmektedir. Planlanan GES Belediye mülkiyetinde olan bir bölge üzerinde kurulacak şekilde tasarlandığından arazi giderleri ekonomik analizde hesaplanmamıştır. 60 MW Santral kurulumu temel maliyet kalemleri piyasa koşulları araştırılarak Tablo 6.1'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 6.1. 60 MW yaklaşık maliyeti

Maliyet Unsuru	Açıklama	Tutar (ABD Doları)
Fotovoltaik Paneller	Monokristal	19.000.000 \$
İnvertörler	String invertör	10.000.000 \$
Montaj Sistemleri	Panel taşıyıcı konstrüksiyonlar (sabit veya takip sistemli)	4.000.000 \$
Elektrik alt Yapısı / Kabloalama	AC-DC kabloalama, topraklama, pano, kesici, trafo, OG bağlantı vb.	5.000.000 \$
Kurulum ve İşçilik		5.400.000 \$
İnşaat İşleri	Yol, saha düzenlemesi, çit, güvenlik, temel çalışmaları	1.400.000 \$
Mühendislik ve Fizibilite	Proje tasarımı, lisans, izinler, fizibilite ve danışmanlık	50.000 \$
Sigorta ve güvence	Tesis sigortası, performans garantileri	25.000 \$
Beklenmeyen Giderler	Yedek parça, fiyat değişiklikleri, kur riski vb.	100.000 \$
Toplam		45.000.000 \$

İlk yatırım maliyetlerinin yanı sıra, santralin işletiminde yatırımın ekonomik ömrü boyunca her yıl tekrar eden işletme ve bakım masrafları oluşmaktadır (Yalılı 2021). Yıllık işletme giderleri (OPEX) bir Güneş Enerjisi Santrali'nin (GES) çalışır

durumda kalması için her yıl düzenli olarak yapılan tüm harcamaları kapsar. Bu giderler sabit ve değişken masrafları içerir. Literatürde, 1 MW kapasiteli güneş enerjisi santrallerinin yıllık işletme ve bakım (OPEX) maliyetlerinin 14.000 – 30.000 USD arasında değiştiği belirtilmektedir. Ancak, bu değerler santralin bulunduğu bölge, kullanılan teknoloji ve bakım stratejilerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Genel bilgilerden yola çıkılarak 60 MW’lık bir santral için 800.000-1.500.000 USD/Yıl olması beklenir. PVsyst programında bu değer öz kaynak modeli için 847.295,99 USD/Yıl olarak girilmiştir. Bu çalışmada güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilitesi değerlendirilirken çeşitli teknik ve mali varsayımlar yapılmıştır. Analizde kullanılan başlıca kabul ve varsayımlar Tablo 9 ‘da özetlenmiştir.

Tablo 6.2. GES kurulum ve işletmesinde yapılan bazı kabuller

Santralin Kurulu Gücü	60 MWe
Ges santralinin ömrü	25 yıl
Santralin Faaliyet Türü	Şebekeye OG baradan bağlı, mahsuplaşma maksatlı
Santralin veriminde yıllık yıpranma payı	%0.5
Maliyet analizin de kullanılan para birimi	ABD Doları
Dolar Kuru	38.0641 (15.04.2025 merkez bankası dolar kuru)
Maliyet analizin de kullanılan yöntemler	Geri ödeme süresi, Net Bugün ki Değer (NBD), İç Karlılık (İKO), Yatırımın geri Dönüşü(ROİ),
Elektrik alım fiyatı	4,8780 TL/kWh (EPDK Tarafından Onaylanan ve 5 Nisan 2024 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler)
Kredi seçeneği ve faiz oranı	Geri ödemeli 10 yıllık. TCMB Tarafı Döviz Depo Faiz Oranları (22.04.2025)
Dağıtım Bedeli	0,369322TL/kWh LUY Yönetmeliği Kapsamında Üretilen her bir kWh Elektrik için Ödenecek Dağıtım Bedeli
Satışa Esas Birim Fiyat	2,9329 TL/kWh
Risk Parametresi	%1
İskonto Oranı	%5

PVsyst yazılımında Finansal analiz, güneş enerjisi santralinin mali fizibilitesinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Bu süreçte ilk olarak yatırım maliyetleri belirlenir; bu maliyetler panel, inverter, montaj ekipmanları, altyapı ve mühendislik giderleri gibi kalemleri kapsar. Ardından, işletme ve bakım giderleri (O&M) yıllık

olarak girilir; bu giderler, tesisin temizliği, teknik bakımı, izleme sistemleri ve güvenlik hizmetlerini içerebilir. Elektrik satış fiyatı, sistemden elde edilen enerjinin birim satış değeri olarak tanımlanır ve mahsuplaşmalı sistemlerde fazla enerjinin farklı birim fiyattan değerlendirileceği durumlar ayrıca dikkate alınmıştır. Ek olarak, tesisin ekonomik ömrü, yıllık panel verim kaybı (degradasyon), iskonto oranı ve varsa enflasyon gibi finansal varsayımlar girilir. Finansman modeli kapsamında öz kaynak ve kredi oranları, faiz oranı ve kredi geri ödeme süresi tanımlanarak farklı senaryolar analiz edilebilir.

6.7. Finansal Analizde Kullanılan Yöntemler

Projelerin finansal açıdan değerlendirilmesinde ve yatırım kararlarının alınmasında, statik (paranın zaman değerini dikkate almayan) ve dinamik (paranın zaman değerini dikkate alan) analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Sürertaş & Yılmaz, 2025). PVsyst simülasyon yazılımı kapsamında, statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS); dinamik yöntemlerden ise net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık oranı (İKO) ve fayda/masraf oranı (FMO) yöntemleri kullanılarak yatırımın finansal kârlılığı değerlendirilmektedir. Bu yöntemler;

- Geri Ödeme Süresi Yöntemi: Bu yöntem ile yatırımın geri ödeme süresi, yıllık net kâr tutarları toplamının ilk yatırım maliyetine göre eşitlendiği ve pozitif net gelir elde edilmeye başlandığı yıl olarak hesaplanır. Yıllara esas toplanan yıllık kazançların ilk yatırım maliyetini karşıladığı yıl yatırımın geri ödeme süresini karşıladığı anlamına gelmektedir (Yalılı 2021).
- Net Bugün ki Değer: Net Bugünkü Değer (NBD), bir yatırımın ekonomik ömrü boyunca getiri sağlayacağı tüm nakit girişlerinin bugünkü değerinden, yatırım ve işletme giderlerinin bugünkü değerinin çıkarılmasıyla elde edilir. Bu projelerde önemli bir ekonomik göstergedir. Yani net bugünkü değer; yatırımın nakit girişlerinin bugünkü değeri ile nakit çıkışlarının bugünkü değeri arasındaki farka eşit olacaktır (Kahraman, 2018). NBD, bir projenin finansal olarak kârlı olup olmadığını değerlendirmede temel göstergelerden biridir. Bu hesaplama, proje süresince elde edilmesi beklenen nakit akışlarının bugünkü değerini belirlemek amacıyla belirli bir iskonto oranı kullanılarak yapılır. İskonto oranı, paranın zaman değerini yansıtır ve genellikle piyasa faiz oranı, sermaye maliyeti

ya da yatırımcının beklediği getiri oranına göre belirlenir. Kamu projeleri veya düşük riskli öz kaynak yatırımlarında, %5 gibi düşük bir oran tercih edilebilir. Pozitif bir net bugünkü değer, projenin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu ve yatırımın, belirlenen iskonto oranının üzerinde bir getiri sağlayacağını gösterir. Negatif bir NBD ise, yatırımın ekonomik açıdan cazip olmadığını ortaya koyar.

- İç Karlılık (İKO): Literatürde “iç karlılık oranı”, “iç getiri oranı”, “sermayenin marjinal verimliliği”, “yatırımın marjinal verimliliği” olarak da adlandırılan iç verim oranı (İVO), yatırım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir orandır (Kahraman 2028). Başka bir deyişle İKO/İVO bir yatırımın gelecekte sağlayacağı gelirler ile maliyetlerini dengeleyen ve net bugünkü değeri sıfıra eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanır (Yalılı 2021). Bu oran, projenin beklenen getiri düzeyini ifade ederken aynı zamanda yatırımın ne ölçüde ekonomik katma değer yarattığını da ortaya koyar. Eğer iç verim oranı, yatırımcı tarafından kabul edilen iskonto oranından yüksekse, proje finansal açıdan uygulanabilir kabul edilir.
- Yatırımın Geri Dönüş Oranı (ROI): Bir yatırımın etkinliğini veya kârlılığını ölçmek amacıyla kullanılan temel finansal göstergelerden biridir. Bu oran, yatırım sonucunda elde edilen net kazancın, yatırım maliyetine oranlanmasıyla hesaplanır. ROI, özellikle farklı yatırım alternatiflerinin kârlılık düzeylerini karşılaştırmak için yaygın biçimde tercih edilmektedir.

6.8. Finansal Analizde Yaklaşık Maliyet ile Yapılan Kabullerin Programa Girilmesi

PVsyst yazılımında “Ekonomik Değerlendirme” sekmesi aracılığıyla, fotovoltaik enerji sistemine ilişkin maliyet ve sermaye bileşenleri tanımlanabilmektedir. “Yatırım ve Giderler” bölümünde; panel, invertör, akü, montaj ekipmanları, kurulum, uzaktan izleme, sigorta, saha bedeli, proje-keşif giderleri ile birlikte varsa kredi ve faiz oranı gibi yatırım kalemleri girilmektedir. Ayrıca bakım ve işletme maliyetleri de bu alanda tanımlanır. Projenin finansal ömrü, enflasyon oranı gibi parametreler ise “Finansal Parametreler” sekmesinden sisteme entegre edilmektedir. Bu sayede

Sistem özeti

Proje: Marsu 60 MW

PV alanı, Pnom = 72001 kWp

Öz tüketim

Satılan enerji beşebbeye

Beşebbeye bağı sistem

54.4 MWh/yıl

133810 MWh/yıl

Mali özet

Kurulum maliyetleri

Yıllık toplam maliyet

LCOE

Geri ödeme süresi

55,000,000.00 USD

847,295.99 USD/yıl

0.0315 USD/kWh

5.2 yıl

Kredi süresi ve faizini belirleyiniz

Yatırım ve giderler

Finansal parametreler

Elektrik satışı

Öz tüketim tasarrufu

Mali sonuçlar

Karbon dengeleme

Değerler

☒ Global

☐ Wp başı

☐ m² başı

Döviz

USD - United States Dollar

Kurlar

Kurulum maliyetleri

Açıklama	Miktar	Birim fiyatı	Toplam
PV modül			19,636,500.00 USD
Invertör			10,000,000.00 USD
SUN2000-330KTL-H1	200.00	50,000.00	10,000,000.00 USD
Diğer parçalar			6,326,600.00 USD
Etüt ve analizler			50,000.00 USD
Mühendisk	1.00	10,000.00	10,000.00 USD
Ruhsat ve diğer idari ücretler	1.00	10,000.00	10,000.00 USD
Çevre etütleri	1.00	10,000.00	10,000.00 USD
Ekonomik analiz	1.00	20,000.00	20,000.00 USD
Kurulum			2,514,100.00 USD
Sigorta			6,472,800.00 USD
Bina sinortası	1.00	6,472,800.00	6,472,800.00 USD
Toplam kurulum maliyeti			45,000,000.00 USD
Amortismanına tabi			31,636,500.00 USD

İşletme maliyetleri (yıllık)

Açıklama	Yıllık maliyet
Bakım	715,000.00 USD
Arazi kirası	0.00 USD
Sigorta	25,000.00 USD
Banka masrafları	0.00 USD
İdari masraflar	10,000.00 USD
Vergiler	0.00 USD
Teşvikler	- 0.00 USD
İşletme maliyetleri (OPEX)	750,000.00 USD/yıl

Sistem özeti

İptal

OK

Simülasyon Çalışmasında varsayılan değerlerin girildiği sayfanın ekran görüntüsü de Şekil 6.8 ‘de görüldüğü gibidir.

Ekonomik değerlendirmesi

Sistem özeti

Proje: Marsu 60 MW

PV alanı, Pnom = 72001 kWp

Öz tüketim

Satılan enerji başına

Şebekeye bağlı sistem

54.4 MWh/yıl

133810 MWh/yıl

Mali özet

Kurulum maliyetleri

Yıllık toplam maliyet

LCOE

Geri ödeme süresi

45,000,000.00 USD

847,295.99 USD/yıl

0.0315 USD/kWh

5.2 yıl

Kredi süresi ve faizini belirleyiniz

Yatırım ve giderler

Finansal parametreler

Elektrik satış

Öz tüketim tasarrufu

Mali sonuçlar

Karbon dengeleme

Simülasyon dönemi

Proje süresi

25 yıl

Başlangıç yılı

2026

Öngörülen değişimler

Enflasyon

1.00 %/yıl

İskonto oranı

5.00 %/yıl

Üretim varyasyonu (yaşlanma)

Lineer

-0.50 %/yıl

Yaşlanma aracı

Gelire bağlı giderler

Gelir vergisi

0.00 %/yıl

Temettü

0.00 %/yıl

Diğer gelir vergisi

0.00 %/yıl

Amortisman

Varlık	Tip	Amortisman süresi	Amortismanına tabi
☒ PV modül			
☒ İnvertör			
☒ Diğer parçalar			
Toplam amortismanına tabi			31,636,500.00 USD

Finansman

Yatırım

45,000,000.00 USD

Öz kaynak

45,000,000.00 USD

Tesvikler

0.00 USD

Krediler

+

Epit takisti

0.00 EUR

10 yıl

5.00 %

Öz kaynak

100 %

Sistem özeti

İptal

OK

61

Ekonomik değerlendirme

Sistem özeti
Proje: Marsu 60 MW
PV alanı, Pnom = 72001 kWp Şebekeye bağlı sistem
Öz tüketim 54.4 MWh/yıl
Satılan enerji şebekeye 133810 MWh/yıl

Mali özet
Kurulum maliyetleri 45,000,000.00 USD
Yıllık toplam maliyet 847,295.99 USD/yıl
LCOE 0.0315 USD/kWh
Geri ödeme süresi 5.2 yıl

Yatırım ve giderler Finansal parametreler Elektrik satışı Öz tüketim tasarrufu Mali sonuçlar Karbon dengeleme

Tarife modu
☒ Sabit tarife ☐ Değişken tarife
☐ Saatlik puant/ucuz tarife
☐ Mevsime göre tarife
☐ CSV dosyasından tarife Getir ?

Diğer genel parametreler
Yıllık bağlantı vergisi 0.000 USD/yıl
Yıllık tarife varyasyonu 3.00 %/yıl
Tarife garantisi süresi 10 yıl
Tarife garantisi süresi sonunda alım fiyatı düşüşü 0.0 %

Şebekeye satış tarifesi
Sabit satış tarifesi 0.07700 USD/kWh

Şekil 6.9. PVsyst satış parametrelerinin girilmesi

Ekonomik değerlendirme

Sistem özeti
Proje: Marsu 60 MW
PV alanı, Pnom = 72001 kWp Şebekeye bağlı sistem
Öz tüketim 54.4 MWh/yıl
Satılan enerji şebekeye 133810 MWh/yıl

Mali özet
Kurulum maliyetleri 45,000,000.00 USD
Yıllık toplam maliyet 847,295.99 USD/yıl
LCOE 0.0315 USD/kWh
Geri ödeme süresi 5.2 yıl

Yatırım ve giderler Finansal parametreler Elektrik satışı Öz tüketim tasarrufu Mali sonuçlar Karbon dengeleme

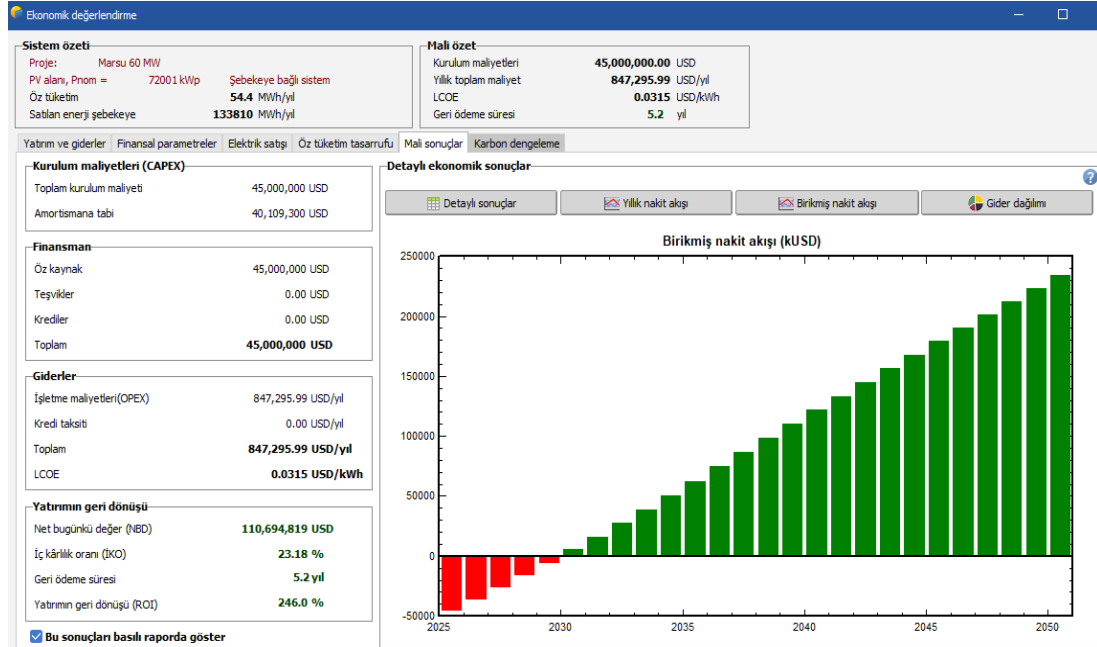
Tarife modu
☒ Sabit tarife ☐ Değişken tarife
☐ Saatlik puant/ucuz tarife
☐ Mevsime göre tarife
☐ CSV dosyasından tarife Getir ?

Tüketim tarifesi
Sabit tüketim tarifesi 0.12800 USD/kWh
Yıllık tarife varyasyonu 1.00 %/yıl

Şekil 6.10. PVsyst yapılan kabullerin girilmesi

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da yer alan PVsyst ekran çıktıları, 60 MW kapasiteli bir fotovoltaiik (PV) santral için yapılan ekonomik modellemeye ilişkin kritik satış ve tüketim parametrelerini ortaya koymaktadır. Bu analiz kapsamında sabit satış tarifesi 0.07700 USD/kWh, sabit tüketim tarifesi ise 0.12800 USD/kWh olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca yıllık tüketim tarifesini artış oranı %1 olarak öngörülmüştür. Bu durum, öz tüketim oranı yüksek olan projelerde zamanla artan elektrik maliyetleri karşısında daha büyük tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir.



Şekil 6.11. PVsyst mali analiz sonuçlarının olduğu sayfa

6.9. Finansal Analiz Senaryolarının Karşılaştırılması ve Değerlendirme

Bu bölümde, güneş enerjisi santralının performansı üç farklı finansman modeli altında değerlendirilmiştir. Amaç, öz sermaye ve dış kaynak (kredi) kullanım oranlarının yatırımın kârlılığı, geri ödeme süresi ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Her bir senaryoda Net Bugünkü Değer (NBD), İç Verim Oranı (İVO), Geri Dönüş Süresi (PB), Yıllık İşletme Maliyeti ve Yatırımın Geri Dönüş Oranı (ROI) gibi temel performans göstergeleri esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Böylece, Mardin Su ve Kanalizasyon idaresi açısından en uygun finansman modelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Tablo 6.3'te Farklı yatırım senaryoları karşılaştırmaları detaylı olarak görülmektedir.

Tablo 6.3: Karşılaştırmalı senaryo sonuçları

Finansman Senaryosu	Net Bugünkü Değer (NBD)	İç Verim Oranı (İVO)	Geri Dönüş Süresi (yıl)	Yatırımın Geri Dönüş Oranı (ROI)	Kredi Tutarı	Faiz Maliyeti
%100 Öz Kaynak	110,694,819\$	23,18%	5.2	246.0%	Yok	Yok
%50 Kredi - %50 Öz Kaynak	84,775,477\$	28,51%	6.3	188.4%	22,500,000.00 \$	10,654,503\$
%100 Kredi	81,674,449\$	0,00%	7.1	181.1%	45,000,000.00 \$	21,309,006 \$

Tablo 6.3’de %100 öz kaynak, %50 kredi - %50 öz kaynak ve %100 kredi olmak üzere üç farklı finansman senaryoları karşılaştırılmıştır.

Yatırımın finansman şekli, projenin ekonomik verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre en yüksek Net Bugünkü Değer (NBD) 110.694.819 USD ile %100 öz kaynaklı senaryoda elde edilmiştir. Bu durum, faiz maliyeti olmayan yatırımların, uzun vadede en yüksek mutlak getiriyi sağladığını göstermektedir. Ancak, aynı senaryoda iç verim oranı (%23,18), %50 kredi içeren hibrit modele (%28,51) kıyasla daha düşüktür. Bu fark, finansal literatürde “kaldıraç etkisi” olarak adlandırılan olgunun bir yansımasıdır (Brealey, Myers & Allen, 2020). Sermayeye dış kaynak eklenmesi, öz sermaye getirisini artırmakta, dolayısıyla İVO oranı yükselmektedir.

Ancak, kredi kullanımına bağlı faiz maliyeti giderek artmakta ve %100 kredi senaryosunda 21.309.006 USD gibi önemli bir düzeye ulaşmaktadır. Bu durum, NBD'yi sınırlamakta ve yatırımın iç verim oranını 0,00% seviyesine kadar düşürmektedir. Geri ödeme süresi açısından incelendiğinde, öz kaynaklı modelde 5.2 yıl olan geri dönüş süresi, %50 kredi senaryosunda 6.3 yıla, %100 kredi senaryosunda ise 7.1 yıla yükselmektedir. Farkın yaklaşık 1.9 yıl ile sınırlı kalması, dış finansmanın ekonomik sürdürülebilirlik açısından hâlâ tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

Finansal karar verme sürecinde, sadece yatırımın toplam getirisi değil, aynı zamanda bu getirinin nasıl ve hangi kaynaklarla elde edildiği de önemlidir. Bu nedenle, yüksek öz sermaye gerektiren modeller her ne kadar uzun vadeli değer yaratımı açısından güçlü sonuçlar sunsa da; daha dengeli ve maliyet etkin çözümler için kredi destekli hibrit modellerin uygulanabilirliği daha yüksektir. Bu durum, yatırımcılar ve yöneticiler açısından sermaye tahsisini optimize eden, riskleri kontrol altında tutan ve uzun vadeli finansal sürdürülebilirliği destekleyen bir yapı ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, Marsu gibi, yüksek enerji maliyetleri ve finansman kısıtlılığı olan kurumlarda uzun vadeli yatırım hedefleri göz önünde bulundurulduğunda, hibrit finansman modeli hem makul bir risk düzeyi hem de güçlü finansal performans (yüksek İVO ve ROI) sunmaktadır. Dolayısıyla, yüksek öz kaynak gereksinimi olan tam öz sermayeli model yerine, düşük faizli dış kaynaklarla desteklenen kredi-öz sermaye karması bir yapı daha uygulanabilir ve etkili olabilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan tez çerçevesinde, Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU) özelinde yapılan bu çalışma, Marsu'nun elektrik enerjisini karşılaması amacıyla planlanan güneş enerji santralinin hem teknik modellemesi hem de finansal analiz açısından kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Yapılan çalışmada Marsu'nun bağlı olduğu Mardin Büyükşehir Belediyesine ait Artuklu ilçesine bağlı Cevizlik Mahallesinde bulunan 110,87 hektar gibi büyük arazide, PVsyst simülasyonu ile gerçekleştirilen analiz sonucunda, 72 MWp kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santrali ile yaklaşık 60 MWe düzeyinde yıllık üretim kapasitesine ulaşılabileceği, performans oranının ise %82,4 seviyesinde gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Bu üretim kapasitesi, MARSU'nun artan yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının üzerinde bir potansiyele sahiptir.

Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresine ait elektrik tüketimi 2021 yılında yaklaşık 97,7 milyon kWh iken, 2024 yılı itibarıyla bu değer 112,9 milyon kWh'ye yükselmiştir. Bu artış trendi, kurumun enerjiye olan bağımlılığının önümüzdeki yıllarda da süreceğini ve hatta daha da artacağını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, elektrik giderlerini minimize etmeye yönelik sürdürülebilir enerji yatırımları, sadece çevresel değil aynı zamanda ekonomik açıdan da stratejik bir zorunluluk hâline gelmiştir.

Finansal senaryolar üzerinden yapılan değerlendirmelerde ise, %100 öz kaynak ile gerçekleştirilen yatırımın Net Bugünkü Değer (NBD) ve yatırımın geri dönüş oranı (ROI) açısından en yüksek performansı sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte, %50 oranında kredi kullanımını içeren hibrit finansman modeli, “kaldıraç etkisi” sayesinde en yüksek iç verim oranını (%28,51) sağlayarak sermaye verimliliği açısından güçlü bir alternatif sunmaktadır. Üstelik geri ödeme süresi açısından değerlendirildiğinde, öz kaynak ve kredili modeller arasında dramatik farklar bulunmamakta, bu da dış finansman seçeneklerinin kamu kurumları için uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi gibi yüksek enerji tüketimine sahip kamu kurumlarının yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelmesi, yalnızca enerji maliyetlerini düşürmekle kalmayacak, aynı zamanda bütçe üzerinde oluşan enerji gideri baskısını azaltarak daha fazla proje üretebilecek, altyapı ve içme suyu projelerine daha fazla yatırım yapılmasının da önünü açacaktır. Özellikle mevcut ekonomik koşullarda enerji

giderlerini kendi üretimiyle dengeleyebilen bir yapıya kavuşmak, kurumsal mali sürdürülebilirlik açısından stratejik bir kazanım olacaktır.

Bunun yanı sıra, çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde de bu yatırımın oldukça önemli kazanımlar sağladığı görülmektedir. PVsyst simülasyonu sonuçlarına göre, sistemin 25 yıllık ömrü boyunca yaklaşık 124.119 ton CO₂ emisyonunun önüne geçilmesi öngörülmektedir. Bu değer, Türkiye'nin karbon nötr hedefleri doğrultusunda önemli bir katkı anlamına gelmektedir. Ayrıca proje süresince sistem bileşenlerinin üretimi kaynaklı karbon ayak izi (yaklaşık 1.258 ton CO₂) dikkate alındığında bile, yatırım çevresel açıdan son derece olumlu bir denge sergilemektedir.

Bu bağlamda, söz konusu güneş enerjisi yatırımının yalnızca ekonomik ve finansal açıdan değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da yüksek katkı sunduğu anlaşılmaktadır. MARSU gibi kamu kurumlarının bu tür yenilenebilir enerji yatırımlarını hayata geçirmesi; enerji bağımsızlığı, bütçe verimliliği ve çevresel sorumluluk ilkeleri açısından örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Akar, A. (2016). *Bir güneş enerji santralinin kurulumu ve performansının analizi* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Al-Shagea, E., Sezen, S. ve Özdemir, E. (2021). Lisanssız elektrik üretiminde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin performans analizi. *International Marmara Sciences Congress (Spring)*, 209–217.
- Aydınlatma.org. (2019, Aralık 26). 81 il için önerilen güneş paneli eğim açısı. <https://aydinlatma.org/81-il-icin-onerilen-gunes-paneli-egim-acisi.html>
- Aydınlatma.org. Güneş paneli (solar panel) açısı nasıl hesaplanır? <https://aydinlatma.org/gunes-paneli-solar-panel-acisi-nasil-hesaplanir.html>
- Bekdemir, Ü., Kocaman, S. ve Polat, S. (2015). Yeni Büyükşehir Yasası sonrasında Türkiye’de şehir nüfusu ve şehir yerleşmeleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 19(32), 277–297.
- Beyoğlu, M. F. (2023). Analitik ve derin öğrenme yöntemleriyle Balıkesir koşullarında şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin modellenmesi ve verimlilik analizi [Yayınlanmamış doktora tezi]. *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Biberici, M. A., Özhüner, E. ve Çelik, M. B. (2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarının belediyelerde kullanımı. *Şehir Düşünce Dergisi*, 11, 80–93.
- Brealey, R. A., Myers, S. C. ve Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13. baskı). McGraw-Hill Education.
- Canpolat, E. ve Bozdoğan, M. (2019). Beyazsu Havzası’nın (Mardin) flüvyal jeomorfolojisi ve hidrografik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 73, 96–105.
- Ceylan, O. ve Taşdelen, K. (2018). Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 895–903.
- Climate-Data.org. (2024). Mardin iklimi (Türkiye). <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/mardin/mardin-288/>
- Çınaroğlu, H. (2023). Bağımsız bir fotovoltaik sistemin PVsyst yazılımı kullanılarak tasarımı ve simülasyonu [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Demir, A. ve Yılmaz, M. (2018). Güneş enerjisi santrallerinde arazi seçimi ve verimlilik analizi. *Enerji ve Çevre Dergisi*, 5(2), 45–58.

- Doğanay, M. M. (2021). Mardin Bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 86–117.
- Elmas, I. E. (2024). An analysis of the financial viability of renewable energy investments: A case study on residential solar and battery solutions [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonomi Anabilim Dalı*.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2024, Temmuz 1). EPDK tarafından onaylanan ve 1 Temmuz 2024 tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (Erişim tarihi: 14.01.2025)
- Ersoy, T. ve Akın, R. (2022). Yenilenebilir enerji yatırımlarında çevresel etki değerlendirme süreçleri: Güneş enerjisi santrali örneği. *Çevresel Araştırmalar ve Politikalar Dergisi*, 10(1), 23–37.
- Etcı, A. (2022). PVsyst programı ile modellenen Konya ve Van illerinde GES santrallerinin üretim verilerinin karşılaştırılması [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Gezer, T. ve Bayrakçı, H. C. (2019). Bir güneş enerjisi santralının maliyet analizi: Aydın ili örneği. *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 46–54.
- Gezici, M. (2017). Güneş enerjisiyle çalışan alternatif biyodisk arıtma uygulamaları (Mardin / Savur / Sürgücü Biyodisk Arıtma Tesisi) [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Girgin, M. H. (2011). Bir fotovoltaik güneş enerji santralının fizibilitesi: Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerji santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*.
- Göbeloğlu, E. D. ve Urgan, M. C. (2023). AHP-VIKOR hibrit yöntemi ile güneş enerjisi santrali yer seçimi. *Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 95–109.
- Gündoğmuş, S. (2023). Kayseri GMK güneş enerji santralının projelendirilmesi ve uygulanan işletme ve bakım metotlarına göre performans analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Güneş, S. ve Hacıoğlu, R. (2024). Enerji gereksinimlerine dayalı fotovoltaik güneş enerji santrali analizi ve tasarımı. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14(2), 97–110.
- Haydaroğlu, C. ve Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491–500.

- Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kaimbekova, A. (2020). Güneş enerji santrali kurulumuna uygun alanların uzaktan algılama ve CBS yöntemleri ile belirlenmesi (Türkistan ve Karaganda, Kazakistan) [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Kanat, H. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi yatırımlarını etkileyen faktörler: Konya güneş enerjisi yatırımları analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Karakuş, B. (2021). Fotovoltaik sistemlerin arazi kullanımı açısından değerlendirilmesi. *Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma*, 7(3), 78–92.
- Kaya, O. ve Çetin, S. (2019). Elektrik şebekesine entegrasyon açısından güneş enerji santrallerinin konumlandırılması. *Enerji Politikaları ve Planlama Dergisi*, 6(4), 101–115.
- Kocagöz Demir, B. (2022). Fotovoltaik güç sistemlerinde performansı etkileyen parametrelerin incelenmesi: Bayburt güneş enerji santrali örneği [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Koçak, M. E. (2018). Büyükçekmece ilçesindeki güneş enerji santralinin tasarımı ve ekonomik analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kumruoğlu, L. C. ve Ateş, S. B. (2022). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve İskenderun için örnek üretim projeksiyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 293–305.
- Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MARSU). (2024). 2025–2029 Stratejik plan. (Erişim tarihi: 15.02.2025)
- Mermoud, A. ve Wittmer, B. (2017). Bifacial shed simulations with PVsyst. *Renewable Energy*, 107, 473–482.
- Meteotest AG. (2023). Meteororm software documentation. <https://www.meteororm.com>
- Obut, Z. (2016). Göksun ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS yöntemi ile belirlenmesi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Ölmez, Y. C. (2017). Determination of solar power potential in Turkey and impact of solar power plant in Karapınar on the grid [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- PVsyst SA. (2024). IAM loss – Incidence angle modifier losses. *PVsyst Documentation*. https://www.pvsyst.com/help-pvsyst7/iam_loss.htm
- Resmi Gazete. (2012, Aralık 6). On üç ilde büyükşehir belediyesi ve yirmi altı ilçe kurulmasına dair kanun. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121206-1.htm> (Erişim tarihi: 14.01.2025)
- Retgen. (n.d.). Yenilenebilir enerji çözümleri. <https://retgen.com/> (Erişim tarihi: 14.01.2025)
- Sarı, V. ve Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 517–526.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaiik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89–106.
- Seymur, M. (2024). Azerbaycan/Bakü şartlarında mega ölçekli şebeke bağlantılı bir güneş enerji santralinin PVsyst programı kullanılarak performans analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275–291.
- Sinha, S. ve Chandel, S. S. (2014). Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri için yazılım araçlarının incelenmesi. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 32, 192–205.
- Srivastava, R. ve Giri, K. V. (2017). Design of grid connected PV system using PVsyst. *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 9(2), 92–96.
- Şahin, A. (2023). Bir güneş enerjisi santralinin PVsol ve PVsyst programları aracılığıyla tasarım ve analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin, M., Yıldız, E., & Doğan, H. (2020). Güneş enerji santrali yer seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı. *Mühendislik Bilimleri ve Uygulamaları*, 8(2), 56–70.
- Şahin, Z. R. (2024). Gerçekten sanala: 1 MWp güneş santralinin PVsyst simülasyon programıyla performans analizi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(23), 203–215.
- Şahin, Z. R. (2024). PVsyst ile güneş santrali simülasyonu: Detaylı inceleme ve performans analizi [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. *Kahramanmaraş Sütçü*

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Bilgi merkezi – Güneş enerjisi. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim tarihi: 14.01.2025)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: 14.01.2025)
- Tanırkulu, Y. S. (2023). Güneş enerji santrali yatırımları için yer seçimi analizi: Denizli ili örneği [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı.
- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM). (2025). Parsel sorgulama sistemi [Web uygulaması]. Erişim adresi: <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr>
- Tekdamar, D. A., & Tekdamar, K. (2024). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak güneş enerji santrali yer seçimi: Mardin ili örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 199–212.
- Tuğcu, A. (2023). PVSYST simülasyon aracı kullanılarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi şebeke bağlantılı güneş enerjisi santralinin tasarımı ve ekonomik analizi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 9(2), 397–417.
- Türkiye Büyük Millet Meclisi. (2024). Bazı kanun ve kanun hükmünde kararnamelerde değişiklik yapılmasına dair kanun. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr> (Erişim tarihi: 12.02.2025)
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (n.d.). Resmî istatistikler. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 18.02.2025)
- Ulusoy, T. (2017). Yenilenebilir enerji finansmanına güncel yaklaşımlar. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 433–443.
- Yalılı Kılıç, M., & Kurtaran, M. (2024). Sürdürülebilir enerji üretimi için fotovoltaik sistem tasarımı ve PVsyst programı ile simülasyonu: Bursa ili örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(1), 239-248.
- Yalılı, M. (2021). Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1055–1074.
- Yıldız, E. (2017). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları, uygulama: Güneş enerji santrali ve rüzgâr enerji santrali kuruluş maliyetleri. [Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]. Edirne.
- Yiğit, A., Arslanoğlu, N., & Eker, B. S. (2019). Fotovoltaik sistemlerin projelendirme, kurulum ve işletilmesinde önemli faktörler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 483-490.

- Yiğit, F. 2023, Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralının PVsyst İle Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*,12-15.
- Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215.
- Yüzer, E. Ö. (2025). Güneş enerji potansiyeli yüksek bir bölgede PVsyst yazılımı kullanarak PV sistemin tasarımı ve performans değerlendirmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 21(1), 1-12.

EKLER

EK-1 Marsu Verilerin kullanımına ilişkin izin belgesi

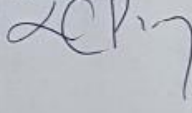
 T.C.
MARDİN BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
Tesisler Dairesi Başkanlığı

Konu : TOPLAM ENERJİ GİDERLERİ HK

Sayın FATMA SÜRER TAŞ
(13 Mart Mahallesi 46.Cadde 12.Sokak Tulga Yapı Deniz Rezidans Apartmanı Kat:5 No:17
Artuklu/Mardin)

İlgi : 08.01.2025 tarihli dilekçeniz.

İlgili sayılı dilekçenizde MARSU Genel Müdürlüğüne ait enerji tüketim verilerini 2020-2024 kapsayacak şekilde "Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Enerjisinin GES santrallerinden karşılanması İçin Model oluşturulması ve uygulanabilirliğinin Finansal Analizi" Mardin Büyükşehir Belediyesi Mali Hizmetler Daire Başkanlığında görevli 32450143440 T.C. numaralı personel Fatma Sürer Taş'ın tez eserinizde kullanmak üzere talep edilmiştir. Söz konusu veriler yazının ekinde tezde kullanılmak üzere paylaşılabileceği hususunu bildirir;
Gereğini rica ederim.

Ferid DEMİRCAN
Şube Müdür V.


Ek : MARSU 2020-2024 Enerji Giderleri Tablosu