

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK BİR SANTRAL TASARIMININ KURULUM ÖNCESİ VE
SONRASI TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN GÜNEŞ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2024

10664948

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK BİR SANTRAL TASARIMININ KURULUM ÖNCESİ VE
SONRASI TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN GÜNEŞ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2024

10664948

BEYAN

“Fotovoltaik Bir Santral Tasarımının Kurulum Öncesi Ve Sonrası Tekno-Ekonomik Karşılaştırmalı Analizi ” adlı yüksek lisans yeterlik tezi projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

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

Hüseyin GÜNEŞ

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Bu proje çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Hüseyin GÜNEŞ

2024



ÖZET

FOTOVOLTAİK BİR SANTRAL TASARIMININ KURULUM ÖNCESİ VE SONRASI TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Bu çalışmada Bilecik ilinde bulunan bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerji santralinin çatı üstüne kurulumu ele alınmıştır. Çalışmanın başında çatının üstüne kurulacak olan güç tespit edilerek “PVSYST” sistemi ile güneşlenme süresine, gölgelenmeye ve kurulacak gücü esas alınarak kullanılacak malzeme özelliklerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Malzemeler belirlendikten sonra maliyet hesabı yapılarak üretim gücüne göre amortisman süresi belirlenmiştir. Tasarımı yapılan söz konusu sistemin fabrikadaki sahada kurulumu yapıldıktan sonra bir yıl boyunca üretim verileri ve maliyet hesapları aylık olarak alınarak üretim değerleri ile kw/h ücreti ile hesaplanarak kazanç ücretleri elde edilmiştir. Kazanç ücretine göre amortisman süresi tekrar hesaplanarak maliyet açısından çatı üstü güneş enerji santralinin avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde ülkemizde fabrikaların çatı alanlarını değerlendirmenin enerji yönünden faydalı olacağı kanısına varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik Enerji, Fizibilite, Analiz.

ABSTRACT

FOR A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT, DESIGN BEFORE AND AFTER OF INSTALLATION TECHNOECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS

In this study, the installation of a solar power plant on the roof to meet the energy needs of a factory in Bilecik was discussed. At the beginning of the study, the power to be installed on the roof was determined and calculations were made with the pvsyst system according to the material properties to be used based on the sun exposure time, shading and the power to be installed. After the materials were determined, the cost calculation was made and the depreciation period was determined according to the production capacity. After the design of the system in question was installed on the field in the factory, production data and cost calculations were taken monthly for a year and profit wages were obtained by calculating the production values and kw/h fee. By recalculating the amortization period according to the earnings fee, it has been observed that the rooftop solar power plant is advantageous in terms of cost. As a result of the study, it is concluded that utilizing the roof areas of factories in our country will be beneficial in terms of energy.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic Energy, Feasibility, Analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	3
2.1. Fotovoltaik Sistemler.....	3
2.2. Güneş Enerji Santralleri Kurulum Tipleri	4
2.2.1. Çatı Tipi Güneş Enerji Santralleri	4
2.2.2. Arazi Tipi Güneş Enerji Santralleri.....	6
2.2.3. Güneş Bacası Enerji Santralleri.....	8
2.2.4. Tarımsal Güneş Enerji Santralleri	9
3. TEKNİK YETERLİLİKLERESASLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KURULUMU	11
3.1. Coğrafi Esaslı Güneşlenebilirlik.....	12
3.2. Şebekeye Yakınlık ve Uzaklık	12
3.3. Fotovoltaik Hücreler	13
3.4. Fotovoltaik Sistemler.....	14
3.4.1. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid Sistem).....	14
3.4.2. Şebekeye Bağlı Sistemler(On-Grid Sistem).....	15
3.5. PV Panellerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler.....	16
3.5.1. PV Panellerin Sıcaklığa Dayanımı.....	16
3.5.2. PV Panellerin Rüzgar Yüküne Dayanıklılığı.....	16
4. ÖRNEK FOTOVOLTAİK SİSTEM KURULUMUNA YÖNELİK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI	18
4.1. Kullanılacak Malzemelerin Teknik Özellikleri	18
4.1.1. Fotovoltaik paneller	18
4.1.2. İnverter	19
4.1.3. Optimizer	19
4.1.4. GES Ana Toplama Panosu	20
4.1.5. DC ve AC Kablolar	21
4.2. Güneş enerji santrali kurulumu için kullanılan Simülasyon programları	21
4.2.1. Pvsyst Simülasyonu	22
4.2.2. İz Gölgeleme Diyagramı	23
4.3. Fizibilite Çalışması	26

5. OF-GRİD VE ON-GRİD SİSTEM KULLANIMLARINDA ÜRETİME AİT GERÇEK UYGULAMA VERİLERİ İLE TAHMİNLERİN KARŞILAŞTIRILMALARI	29
5.1. Fizibilite ve Simülasyon Esaslı Olarak Gerçek Uygulama Verilerinin Değerlendirilmesi.....	29
5.2. Kurulum Sonrası On Grid Olarak Kullanılan Tesisteki Maliyet Hesabı	32
6. SONUÇ.....	35
KAYNAKÇA	37



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çatı üstü güneş enerji santrali uygulaması	6
Şekil 2.2. Arazi güneş enerji santrali uygulaması	8
Şekil 2.3. Güneş bacası enerji santralleri uygulaması.....	9
Şekil 2.4. Tarımsal sulama güneş enerji santrali uygulaması	10
Şekil 3.1. Fotovoltaik panel	14
Şekil 3.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler(Off-Grid sistem) örnek uygulama gösterimi.....	15
Şekil 3.3. Şebekeye Bağımlı Sistemler(On-Grid sistem) örnek uygulama gösterimi.....	15
Şekil 4.1. Saha da kullanılan panelin teknik bilgileri.....	19
Şekil 4.2. Saha da kullanılan optimizier teknik bilgileri	19
Şekil 4.3. Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu Tek Hat Şeması	19
Şekil 4.4. Güneş enerji santrali ana dağıtım panosu yerleşim planı.....	21
Şekil 4.5. PVsyst programı genel çalışma şeması	23
Şekil 4.6. İzo gölgelenme diyagramı	23
Şekil 4.7. Normal üretim ve kayıp faktörler	24
Şekil 4.8. Performans oranı aylık değişim grafiği	24
Şekil 4.9. Performans genel sonuçları.....	25
Şekil 4.10. Tüm yıl boyunca kayıp diyagramı	25
Şekil 4.11. Yıllara göre kazanç grafiği	27
Şekil 4.12. Gider-gelir oran grafiği	28
Şekil 5.1. Ölçülen değer kazanç grafiği	30
Şekil 5.2. Solaredge veri üretim grafiği	30
Şekil 5.3. Solaredge veri toplam üretim grafiği	32

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Sahada kullanılan kabloların teknik bilgileri	21
Tablo 4.2. Tahmini aylık tasarruf hesabı	26
Tablo 4.3. Kazanç tablosu	27
Tablo 5.1. Ölçülen değer OFF-grid sisteme göre kazanç tablosu	29
Tablo 5.2. Ölçülen değere göre OFF-grid sisteme göre diğer yılların kazanç tablosu	31
Tablo 5.3. Ölçülen değere göre On-grid sisteme göre kazanç tablosu	33
Tablo 5.4. Ölçülen değere göre ON-grid sisteme göre diğer yılların kazanç tablosu	34

KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
W	: Watt
KM	: Kilometre
GES	: Güneş Enerji Santrali
PV	: Fotovoltaik
PR	: PerformanceRatio
PV	: Fotovoltaik
E	: Enerji
kW	: KiloWatt
kWh	: KiloWatt×saat
m/s	: metre/saniye
T_c	: Panelin Hücre Sıcaklığı (°C)
T_a	: Hava Sıcaklığı (°C)
G	: Işınım Değeri (kW/m ²)
μp	: Panelin Özelliklerine Göre 0.38-0.45 Arasında Bir Değer
P_{m,STC}	: Standart Test Koşullarındaki Panel Gücü
V	: Güneş Panelinin Gerilimi (V)
IPV	: Güneş Panelinin Akımı (A)
IL	: Hücre Akımı (A)
IS	: Diyot Doyma Akımı (A)
Metreleme	: Mesafe ve Alan Ölçümleme

1. GİRİŞ

Fotovoltaik enerji sistemleri günümüzde giderek daha da yaygın olarak kurulan ve kullanılan yenilenebilir enerji sistemleri olarak popülerliğini arttıran uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Her mevki yada tesise, pratik fotovoltaik enerji sistemleri kurulabilmekle beraber, içlerinden bazılarının diğerlerine göre kurulum ve işletme maliyetleri bakımından daha avantajlı olduklarının göz ardı edilmemesi gerekir. Kurulum ve işletme maliyetleri bakımından daha avantajlı olan mevki yada tesislerin tespit edilerek, fotovoltaik enerji yatırımlarında değerlendirilmeleri; kurulum maliyetlerinin azalması, işletme giderlerinin düşürülmesi, enerji verimliliğinde artma ve tüm bunların sonucu olarak yapılacak yatırımın daha kısa sürede amorti edilmesi gibi avantajlar sağlayacaktır.

Burada gerçekleştirilen çalışma, kurulması planlanan fotovoltaik bir enerji tesisinin yukarıda belirtilen amaçlara uygunluğun tespitine yönelik aşamaları ve kurulum sonrasında bu tespitlerin ne derece yerinde yapıldığına dair analizleri içermektedir. Gerçekleştirilen tez çalışması ile fotovoltaik enerji sistemleri kurulumuna yönelik fizibilite çalışmalarının ne derece yerinde olduğu ve uygulama sonuçlarının önceden belirlenen amaçları ne derece karşılayabildiği açıklanmaya çalışılmıştır.

Konu kapsamında yapılan çalışmalar ele alındığında;

Behura vd. 2021 yılında yaptıkları “Towards beter performances for a novel roof top solar PV system” adlı çalışmalarında çatı tip fotovoltaik sistemin enerji performansını artırıcı önlemler üzerinde durmuşlardır. Burada gerçekleştirilen çalışma ise bir fotovoltaik sistemin komple tasarımı ve sonrasında uygulama sonuçlarının karşılaştırılması biçiminde gerçekleştirilmiştir.

Bolat vd. vd. 2020 yılında gerçekleştirdikleri “Lebit enerji güneş santralinin PVsyst programı ile analizi” adlı çalışmalarında 200kWp kurulu güce sahip, Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, PVsyst V6.67-TRIAL programında gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırılarak rapor hazırlanmış ve bu raporda sisteme ait kayıplar (termal kaybı, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, inverter kaybı vb.) analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık %0.56’lık bir fark olduğu belirtilmiştir.

Green ve Bremner 2017 yılında yaptıkları "Energy conversion approaches and materials for high-efficiency photovoltaics" adlı çalışmalarında literatürde konu ile ilgili

araştırması yaparak ayrıntılı bir derleme yapmışlardır. Çalışmada, nihai verimlilik beklentileri, malzeme gereksinimleri ve gelişimsel bakış açısına dayalı olarak, bu sınırları potansiyel olarak aşabilecek bir dizi yaklaşıma yönelik genel beklentiler değerlendirilmiştir.

Karki vd. 2012¹ yılında yaptıkları “Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst” adlı çalışmalarında Katmandu ve Berlin'deki şebekeye bağlı PV sistemlerinin PVsyst kullanılarak karşılaştırmalı analizini yaparak şebekeye beslenebilecek PV sistemin ürettiği toplam elektrik enerjisi miktarı ve sistemlerde meydana gelen farklı kayıplar analiz edilerek sonuçlar sunulmuştur. Katmandu ve Berlin'in şebekeye bağlı PV sistemlerinin PVsyst kullanılarak karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Şebekeye beslenebilecek PV sistemin ürettiği toplam elektrik enerjisi miktarı ve sistemlerde meydana gelen farklı kayıplar analiz edilerek sonuçlar tartışılmıştır.

Yiğit 2023 yılında yaptığı “Şebekeye bağlı 1 MW güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi” adlı çalışmasında çalışmada kullanılan 1 MW güneş enerji santrali ve bileşenleri detaylı olarak ele alınmış ve güneş enerjisi santrallerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kullanılan PV syst simülasyon yazılımı tanıtılmıştır. PVsyst simülasyon yazılımıyla, santralin günlük ve yıllık enerji üretim potansiyeli belirlenmiş ve simülasyon sonuçları dikkate alınarak sistemin performansı değerlendirilirken güneş paneli eğim açısı, yönü ve sistem konfigürasyonunun performansa etkisi araştırılmıştır. Farklı parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve en iyi performansı sağlamak için öneriler sunulmuştur. Performans parametreleri arasında güç üretimi, verimlilik, enerji kaybı ve karbon salınımı gibi faktörler bulunmaktadır. Bu parametreler, PVsyst simülasyonu ve saha ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Böylece, sistemin gerçek performansı ve simülasyon sonuçları arasındaki farklar analiz edilerek geliştirmeler önerilmiştir.

Vidur ve Jagwani 2022 yılında gerçekleştirdikleri “Design and Simulation of a Rooftop Solar PV System Using PVsyst Software” adlı çalışmalarında PVsyst yazılımını kullanarak maksimum güç, performans oranı ve verimlilik elde etmek için belirli bir alanın (konut binası) teorik analizini ve bir binanın yük koşullarına dayalı PV sisteminin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ise hesaplanan yük koşulları ve verimli bir güneş çatı üstü PV panelinin tasarlanmasına odaklanılmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak öne çıktığı için fosil yakıtlara alternatif olabilir; ayrıca, dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir ve yer ile atmosferdeki fiziksel olayları etkileyerek madde ve enerji akışlarını mümkün kılar.

Dünya ve Ülkemiz de 18. yüzyılda sanayileşme arttığından dolayı elektrik enerji ihtiyacımız arttıkça enerji kaynakları için farklı çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Dünya genelinde fosil yakıtların azalmış olması ve doğaya ve insanlara verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok tercih edilen enerji kaynakları ise güneş enerji santralleri ve rüzgar enerji santralleridir.

2.1. Fotovoltaik Sistemler

Güneş enerjisi, yıllar içinde çeşitli şekillerde kullanılmış olmasına rağmen, güneş enerjisinden elektrik üretmek için ilk çalışmaların 19. yüzyılın ortalarında başladığı gözlemlenmektedir. Fotovoltaik olayı, ilk defa 1839 yılında Fransız bilim adamı Becquerel tarafından keşfedildi; elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemlendi. Benzer bir olay, selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G. W. Adams ve R. E. Day tarafından gösterildi. Literatür taramaları, 1914 yılında fotovoltaik hücrelerin verimliliğinin %1 olduğunu göstermektedir. 1954 yılında ise Amerikalı bilim adamları Chapin, Fueller ve Pearson, silikon güneş hücresi üzerinde %6 verimliliğe ulaşarak güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümü ticarileştirme başarısına ulaştılar. Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi günümüzde ise bu verimlilik %22,8'lere kadar yükselmiştir, laboratuvarlar da %39,5 verimlilik dönüştürme oranı elde edilmiştir. Fakat ticari olarak kullanılmamaktadır (Behura, vd. ,2021).

Türkiye, konumu gereği güneş enerjisi bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Yıllık 2,738 saatlik güneşlenme süresi ile ortalama günlük 7.5 saat güneşlenme süresine sahip olan Türkiye, Almanya'dan %60 daha fazla güneş ışığından faydalanır. Ancak, 2015 yılında kurulu güç kapasitesi artışı bakımından Türkiye, Almanya'nın binde 6'sı kadar ilerleme kaydetmiştir. Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli, yapılan hesaplamalara göre en az 500 bin MW olarak tahmin edilmektedir. Diğer 27 yenilenebilir enerji kaynağıyla karşılaştırıldığında, güneş enerjisi Türkiye'de en fazla potansiyele sahip olan kaynaktır. Elektrik üretiminde Türkiye'nin teknik potansiyeli 189 GWh/yıl iken, bu rakam İspanya ve Fransa gibi ülkelere kıyasla yaklaşık %30 daha yüksektir. Türkiye'nin güneş

enerjisi piyasası, özellikle 2014 yılından sonra %25'lik bir büyüme kaydetmiştir. 2015 yılında küresel ölçekte 50 GW'lık bir kapasite artışı gerçekleşmiş ve toplamda 227 GW kapasiteye ulaşılmıştır. Güneş enerjisi kurulu gücü bölgesel olarak Avrupa kıtasında en yüksektir ve Asya ile Kuzey Amerika kıtaları bunu takip etmektedir. Güneş fotovoltaik sistem kapasitesi bakımından dünya genelinde en fazla kapasiteye sahip olan ülkeler sırasıyla Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya'dır. Kişi başına düşen güneş fotovoltaik sistem kapasitesi bakımından ise Almanya, 2015 yılında ilk sıradadır, ancak Çin, Japonya ve ABD önemli kapasite artışları göstermektedir(Kern, J. ve Trieb, F. (2015).

2.2. Güneş Enerji Santralleri Kurulum Tipleri

Güneş enerji ile elektrik üretiminde kurulum için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kullanım kolaylığı için uygun olacak santraller seçilmektedir. Ülkemiz de ise EPDK'nın belirlediği şartlardan kaynaklı Çatı tipi Güneş enerji santrali daha çok tercih edilmektedir. Güneş enerji kurulum tipleri şunlardır;

- Çatı tipi güneş enerji santrali
- Arazi tipi güneş enerji santralleri
- Güneş bacası enerji santralleri
 - Dikey güneş bacaları
 - Yatay güneş bacaları
 - Esnek güneş bacaları
 - Eğik güneş bacaları
- Tarımsal Güneş enerji santralleri (Pandey, A. Vd. 2021).

2.2.1. Çatı tipi güneş enerji santralleri

Güneş enerjisi panelleri, çatılara monte edilerek evlerde ve işyerlerinde elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan yenilenebilir enerji sistemleridir. Bu paneller, güneş ışığından gelen enerjiyi elektriğe dönüştüren fotovoltaik hücreleri içerir. İşte çatılardaki güneş enerjisi sistemleriyle ilgili önemli bilgiler:

- Çatı tipleri ve uygunluk: Güneş panelleri genellikle çeşitli çatı tiplerine uygun olarak tasarlanmıştır. Asfalt shingle, metal, kiremit veya düz çatılar üzerine monte edilebilirler. Ancak, çatının durumu ve yüksekliği gibi faktörlerin incelenmesi gerekir.

- Montaj sistemleri: Güneş panelleri, çatılara farklı montaj sistemleri kullanılarak monte edilebilirler. Bazı sistemler çatıya monte edilen raf sistemleri kullanırken, düz çatılarda kullanılan ağırlıkla sabitlenen sistemler de mevcuttur.

- Yön ve eğim ayarı: Güneş panelleri, en iyi performansı elde etmek için belirli bir yöne ve eğim açısına ayarlanmalıdır. Bu durum, kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirme ve belirli bir eğim açısı anlamına gelir.

- Enerji üretimi: Güneş panelleri, güneş ışığından elektrik üreterek ev veya işyerinde kullanılabilir elektriği sağlar. Panel verimliliği, sistem boyutu ve güneş ışığı miktarı, enerji üretimini etkileyen önemli faktörlerdir.

- Finansal teşvikler: Birçok bölge, güneş enerjisi kullanımını özendirmek için çeşitli finansal teşvikler sunar. Bu teşvikler kurulum maliyetlerini düşürme veya geri ödeme süresini kısaltma amacını taşır.

- Çevresel avantajlar: Güneş enerjisi, fosil yakıtların kullanılmasına bağlı sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel olarak sürdürülebilirlik sunan bir enerji kaynağıdır.

- Bakım ve dayanıklılık: Güneş panelleri genellikle düşük bakım gerektirirler. Panel temizliği ve bağlantı kontrolü periyodik olarak yapılabilir.

- Kurulum maliyetleri: Güneş enerjisi sistemleri için kurulum maliyetleri, sistem boyutu, çatı tipi ve yerel koşullara bağlı olarak değişir. Ancak, teknolojiye ilerlemeler ve teşviklerle birlikte maliyetler genellikle düşmektedir (Islam, M. T. Vb. ,2021:25;29).

Çatı üstü güneş enerji santralleri, birçok avantajı nedeniyle tercih edilmelidir. İşte bu tercih sebeplerinden bazıları:

- Alan verimliliği: Çatı üstü güneş enerji santralleri, genellikle zaten kullanılmayan alanları değerlendirir. Böylece ek bir arazi kullanımına gerek kalmadan, mevcut binaların çatıları üzerinde enerji üretimi sağlanır.

- Düşük çevresel etki: Diğer enerji üretim yöntemlerine kıyasla güneş enerjisi üretimi düşük çevresel etkiye sahiptir. Çatı üstü sistemler, doğal kaynakları etkilemeden enerji üretebilir ve karbon ayak izini azaltabilir.

- Yatırımın hızlı geri dönüşü: Çatı üstü güneş enerji santralleri, kurulum maliyetleri düşük olduğu için genellikle hızlı bir geri dönüş süresine sahiptir. Finansal açıdan çekici olmaları, birçok kişiyi bu sistemleri tercih etmeye teşvik eder.

- Net metreleme olanakları: Birçok bölgede, çatı üstü güneş enerji sistemleri sayesinde elde edilen fazla enerjiyi şebekeye geri satma imkanı sunan bir uygulama olan, net

metreleme bulunmaktadır. Bu, kullanıcıların elektrik faturalarını düşürmelerine ve hatta enerji şirketlerine enerji sağlamalarına olanak tanır.

- Çatının güneşe en iyi yönlendirilmesi: Genellikle çatılar, güneşe en iyi şekilde yönlendirilebilecekleri bir konumda bulunurlar. Bu, güneş enerji sistemlerinin en iyi verimi elde etmelerine olanak tanır.
- Düşük bakım maliyetleri: Çatı üstü güneş enerji sistemleri, genellikle düşük bakım gereksinimlerine sahiptir. Panel temizliği ve periyodik kontroller dışında, sistemler genellikle otomatik olarak çalışır (Verma, A. & Singh, P. ,2020:368).
- Gelişmiş teknoloji ve entegrasyon seçenekleri: Çatı üstü güneş enerji sistemleri, hızla gelişen teknolojiye ayak uydurabilir ve çatı tasarımlarıyla uyumlu olarak entegre edilebilirler, hatta bazı durumlarda, güneş panelleri çatı kaplaması olarak kullanılabilir.
- Bağımsızlık ve güvenilirlik: Çatı üstü güneş enerji sistemleri, bireyleri ve işletmeleri enerji ihtiyaçlarını karşılamada daha bağımsız hale getirebilir. ayrıca, elektrik kesintilerine karşı dirençli olabilirler (Haurant, P. Vb. , 2021:279).
- Bu nedenlerle, çatı üstü güneş enerji santralleri, sürdürülebilir enerji üretimi için çevresel, ekonomik ve pratik bir tercih olarak öne çıkmaktadırlar. Şekil 2.1.'de çatı üstü panel yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çatı üstü güneş enerji santrali uygulaması

2.2.2. Arazi tipi güneş enerji santralleri

Arazi tipi güneş enerji santralleri, Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi genellikle büyük ölçekli enerji üretimi için kullanılan ve geniş arazilere kurulan güneş enerji sistemleridir. Bu

tür güneş enerji santralleri, geniş alanlarda güneş panellerinin dizilimine dayanarak elektrik üretirler. Arazi tipi güneş enerji santralleri hakkında bazı önemli bilgiler:

- Geniş alan kullanımı: Arazi tipi güneş enerji santralleri, genellikle tarım alanları, çöl bölgeleri veya büyük boş araziler gibi geniş bölgelerde kurulurlar. Bu, büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretme potansiyeli sağlarlar.

- Yüksek verimlilik: Bu tür santraller, geniş arazilerde güneş panellerinin optimum bir şekilde konumlandırılmasına izin verirler. Güneş panelleri genellikle izleme sistemleri ile güneşin hareketini takip ederek gün boyunca maksimum güneş ışığına maruz kalırlar, bu da daha yüksek bir enerji verimliliği sağlar (Green, vb. 2017:25-28).

- Büyük ölçekli kapasite: Arazi tipi güneş enerji santralleri, megavat düzeyinde güç üretebilen büyük ölçekli tesislerdir. Bu, şehirleri, endüstriyel tesisleri veya büyük enerji talepleri olan bölgeleri beslemek için kullanılırlar.

- Altyapı ihtiyacı: Büyük arazi tipi güneş enerji santralleri kurulumu, genellikle altyapı ve iletim hatları gibi büyük ölçekli projeleri içerir. Elektrik şebekeye bağlamak için genellikle özel iletim hatları ve transformatör istasyonları gerekebilir.

- Çevresel etki: Arazi tipi güneş enerji santralleri, genellikle büyük arazi alanlarına ihtiyaç duydukları için çevresel etki açısından dikkate alınmalıdır. Bu projelerin doğal habitatları etkileyebileceği ve tarım alanlarını azaltabileceği göz önüne alınmalıdır (Sovacool, vb. 2021:267).

- Fotovoltaik paneller ve yoğunluk: Arazi tipi güneş enerji santralleri genellikle fotovoltaik paneller kullanır. Bu paneller genellikle düşük yoğunluklu yerleşimlere sahiptir, yani birim başına daha az güç üretirler ancak geniş alanlarda bu dezavantajı telafi edebilirler.

- Rüzgar ve iklim koşulları: Güneş enerji santrallerinin performansı, bölgenin iklim koşullarına ve rüzgar hızına da bağlıdır. İdeal olarak, daha fazla güneş ışığı alınması ve rüzgarın olabildiğince düşük olması istenir.

- Arazi tipi güneş enerji santralleri: Büyük ölçekli enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve temiz enerji üretmek için etkili bir yol sağlarlar Ancak, bu tür projelerin planlanması ve uygulanması, çevresel etkileri ve yerel topluluklarla işbirliği içinde olunması gereken karmaşık konuları içerebilir (Kazem, vb. , 2020).



Şekil 2.2. Arazi güneş enerji santrali uygulaması

2.2.3. Güneş bacası enerji santralleri

1931 yılında Alman yazar Hanns Gunther'e ait olan güneş bacası sistemi, üç temel prensibe dayanmaktadır; sera etkisi, yoğunluk ve sıcaklık farkından kaynaklanan baca çekişi, ve kinetik enerji. Sistem, genellikle dairesel ya da dairesel kesite yakın bir kesitte oluşmuş sera alanı ve bu alanın merkezine yerleştirilmiş bir bacadan oluşur.

Dairesel cam konnektör altında bulunan hava, güneş ışınlamına maruz kalarak ısınır. Isınan hava, dış ortamda bulunan soğuk havayla arasındaki yoğunluk farkı nedeniyle kolektörün merkezine doğru hareket eder. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi kolektör merkezindeki dikey bacanın yardımıyla hava çekişi hızlanır ve hava, üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızlanan hava, bacaya doğru ilerleyerek bacadaki türbini döndürür ve bu türbine bağlı olan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretilir.

Bu döngü, güneş ışınlamı miktarı arttıkça daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Baca, aynı zamanda konnektör altındaki havayı emdiği için, açık bulunan konnektör yanlarından sürekli olarak hava sisteme girebilir, böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olur.

Güneş bacasından elde edilen güç, gelen güneş miktarı, baca yüksekliği ve konnektör alanı ile doğru orantılıdır. Aynı güç, yüksek bir baca ve nispeten küçük bir konnektör alanı veya daha kısa bir baca ve daha büyük bir konnektör alanı kullanılarak elde edilebilir. Bu sistem, güneş enerjisini kullanarak sürdürülebilir bir şekilde elektrik enerjisi üretmeye yönelik etkili bir çözüm sunar (Torabi, vd., 2021:4562).



Şekil 2.3. Güneş bacası enerji santralleri uygulaması

2.2.4. Tarımsal güneş enerji santralleri

Tarımsal güneş enerji santralleri, tarım alanlarında güneş enerjisi panellerinin kullanıldığı sistemlerdir. Bu tür santraller, hem tarım alanlarını koruma hem de enerji üretme amacını taşırlar. İşte tarımsal güneş enerji santralleri hakkında bazı önemli noktalar:

- Çift avantajlı kullanım avantajı: Tarımsal güneş enerji santralleri, tarım alanları üzerine yerleştirilen güneş panelleri sayesinde çift amaçlı kullanım sağlar. Tarım faaliyetleri devam ederken, aynı zamanda güneş enerjisi üretilir.
- Toprak kullanımı verimliliği: Tarım arazilerinin üzerine kurulan güneş enerji sistemleri, arazi kullanımında daha verimli bir yaklaşım sunar. Bu, enerji üretimi ve tarım faaliyetlerini aynı alanda sürdürmeyi mümkün kılar.
- Enerji ve su tasarrufu: Tarım alanlarındaki güneş enerji santralleri, genellikle sulama sistemleri ve diğer tarımsal ihtiyaçları desteklemek için kullanılabilir. Bu, enerji ve su tasarrufu sağlayarak sürdürülebilir bir çözüm sunar.
- Tarım ürünlerinin korunması: Güneş panelleri, tarım alanlarını doğal etmenlere karşı bir ölçüde koruyabilir. Bu paneller, örneğin aşırı güneş ışığından veya yağıştan kaynaklanan zararlı etkileri azaltabilir (McCall,vb.,2024).
- Tarımsal gelir çeşitliliği artırma: Tarımsal güneş enerji santralleri, çiftçilere ek gelir kaynakları sağlar. Elektrik üretimi ve enerji satışı, tarım gelirini çeşitlendirmek için kullanılabilir.

- Çevresel avantajlar: Güneş enerjisi, fosil yakıtların kullanılmasına bağlı olarak ortaya çıkan çevresel etkileri azaltır. Bu da çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantajdır.

- Teşvik ve destekler: Birçok bölge, tarımsal güneş enerji projelerini teşvik etmek amacıyla çeşitli mali teşvikler ve destekler sağlar. Bu, çiftçilere ve enerji şirketlerine bu tür projeleri çekici kılar (Chatzipanagi,vb.,2023).

Tarımsal güneş enerji santralleri, sürdürülebilir enerji üretimi ve tarım faaliyetlerinin bir arada sürdürülebilmesini sağlayarak çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sunar. Ancak, her proje benzersizdir ve yerel koşullar, çiftçilerin ihtiyaçları ve çevresel etkiler göz önüne alınarak planlanmalıdır. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi tarıma yakın alanlarda tercih edilirler.



Şekil 2.4. Tarımsal sulama güneş enerji santrali uygulaması

3. TEKNİK YETERLİLİKLERESASLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KURULUMU

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik panellerin etkili bir şekilde yerleştirilmesini ve entegre edilmesini içerir. Bu tür sistemlerin kurulumu için aşağıdaki temel adımlar ve teknik yeterlilikleri içerir:

- Alanın değerlendirilmesi: Kurulum öncesinde, güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için alanın değerlendirilmesi yapılmalıdır. Güneş ışığına en fazla maruz kalan bölgeler belirlenir ve panel yerleşimi buna göre planlanır.
- Enerji ihtiyacının belirlenmesi: Sistem, kurulacak yerin enerji ihtiyacına uygun olmalıdır. Elektrik tüketim paterni, sistem boyutu ve panellerin kapasitesi bu aşamada belirlenir.
- Finansal değerlendirme: Yatırım maliyeti, enerji tasarrufu ve varsa teşvikler gibi faktörler göz önüne alınarak finansal bir değerlendirme yapılmalıdır (IRENA, RenewableEnergyStatistics2020).
- Proje tasarımı: Fotovoltaik sistemin tasarımı, panel yerleşimi, invertör seçimi, kablo çekimi, montaj stratejileri ve güvenlik önlemleri içermelidir.
- Gerekli izinlerin alınması: Yerel düzenlemelere uygun olarak, kurulum için gerekli izinlerin alınması gerekmektedir. Bu, belediyeler, çevre koruma kuruluşları ve elektrik regülatörleri tarafından verilen izinleri içerir.
- Panellerin montajı: Panellerin montajı, tasarıma uygun olarak yapılmalıdır. Genellikle paneller, çatıya, zemin üzerine monte edilen destek yapılarına veya entegre güneş panelleri olarak tasarlanmış bina elemanlarına monte edilir.
- Elektrik bağlantıları: Paneller, invertörler ve diğer elektrik bileşenleri arasındaki bağlantılar profesyonelce ve yerel elektrik standartlarına uygun olarak yapılmalıdır.
- İnvertör seçimi ve bağlantı: İnvertör, panellerden gelen doğru akımı ev veya iş yerinde kullanılabilir alternatif akıma dönüştürür. İnvertörlerin seçimi ve bağlantıları, sistemin verimliliğini etkiler.
- Test ve bakım: Kurulum sonrası, sistemin doğru çalıştığını doğrulamak için testler yapılmalıdır. Ayrıca, düzenli bakım işlemleri planlanarak sistemin uzun ömürlü ve yüksek performanslı olması sağlanır.
- Eğitim ve dokümantasyon: Kullanıcıları bilgilendirmek ve sistemle ilgili bilgileri sağlamak için eğitim ve dokümantasyon sağlanmalıdır (Simpson, L. & Director, H., 2009).

3.1. Coğrafi Esaslı Güneşlenebilirlik

Coğrafi esaslı güneşlenme, bir bölgenin yıl boyunca güneş ışığına maruz kalma derecesini ifade eder ve fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen kritik bir faktördür. Coğrafi esaslı güneşlenme, genellikle güneşlenme potansiyeli veya güneşlenme haritası olarak adlandırılır ve aşağıdaki faktörlere dayanır:

- **Enlem:** Bir bölgenin yeryüzündeki konumunu belirtir ve güneş ışığına maruz kalma üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ekvatora daha yakın olan bölgeler genellikle daha fazla güneş enerjisi alır.
- **Yükseklik:** Deniz seviyesinden yukarıda olmayı ifade eder. Dağlık bölgeler daha fazla yüksekliğe sahip olabilir ve bu güneşlenme potansiyelini artırabilir.
- **Güneş yolunu anlamak:** Bir bölgedeki güneşin hareketini takip etmek anlamına gelir. Güneş yolunu bilmek, güneşin hangi saatlerde ve hangi açılarda görüleceğini belirleyerek fotovoltaik sistemlerin optimal konumunu planlamaya yardımcı olur.
- **Aydınlatma Süresi:** Bir bölgedeki güneşlenme potansiyelini değerlendirmek için günlük ışık süresi önemlidir. Aydınlatma süresi, bir günde belli bir süre boyunca görülen güneş ışığı miktarını belirtir. Bulut örtüsü ve hava durumu da güneşlenme potansiyelini etkiler. Daha az bulutlu günlerde ve az yağışlı dönemlerde güneş enerjisi üretimi daha etkili olabilir.
- **Coğrafi esaslı güneşlenme haritaları:** Bir bölgedeki güneşlenme potansiyelini görsel olarak gösteren haritalardır. Bu haritalar, fotovoltaik projelerin planlanması ve yerleştirilmesi için önemli bir araçtır. Fotovoltaik sistemlerin kurulumu ve performansının en iyi şekilde optimize edilebilmesi için coğrafi esaslı güneşlenme analizleri yapılmalıdır. Bu faktörler, bir bölgenin güneşlenme potansiyelini belirlemede temel rol oynarlar ve fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptirler. Coğrafi esaslı güneşlenme analizleri, fotovoltaik sistemlerin etkin bir şekilde planlanmasına ve optimize edilmesine yardımcı olurlar (Smith, J. & Johnson, A. ,2023).

3.2. Şebekeye Yakınlık ve Uzaklık

Güneş enerjisi santrallerinin (GES) şebekeye yakınlığı veya uzaklığı, bir dizi önemli faktörü içermektedir. GES'lerin enerji şebekesine yakın bir konumda olması, bir dizi avantajı beraberinde getirir. İlk olarak, iletim kayıpları minimize edilir. Daha kısa mesafeler boyunca enerji taşınması, enerji kayıplarını azaltabilir. Aynı zamanda, şebekeye yakın olmak, genellikle daha güçlü ve kapasiteli iletim altyapısına erişim sağlar, bu da GES'lerin daha büyük enerji miktarlarını daha etkili bir şekilde şebekeye entegre etmelerine olanak tanır.

Entegrasyon maliyetleri açısından da güneş enerjisi santralleri (GES) avantajlıdırlar. Tüketim bölgesine yakın olma, altyapının kurulumunu ve bağlantı işlemlerini daha ekonomik kılabilir. Şebekeye yakın konum, aynı zamanda güneş enerjisi sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu sağlamlaştırabilir, bu da enerji şebekesinin genel istikrarını artırabilir. Ayrıca, enerji şebekesine yakın konumlanmanın, enerji depolama sistemlerine olan ihtiyacı azaltabileceği düşünülebilir.

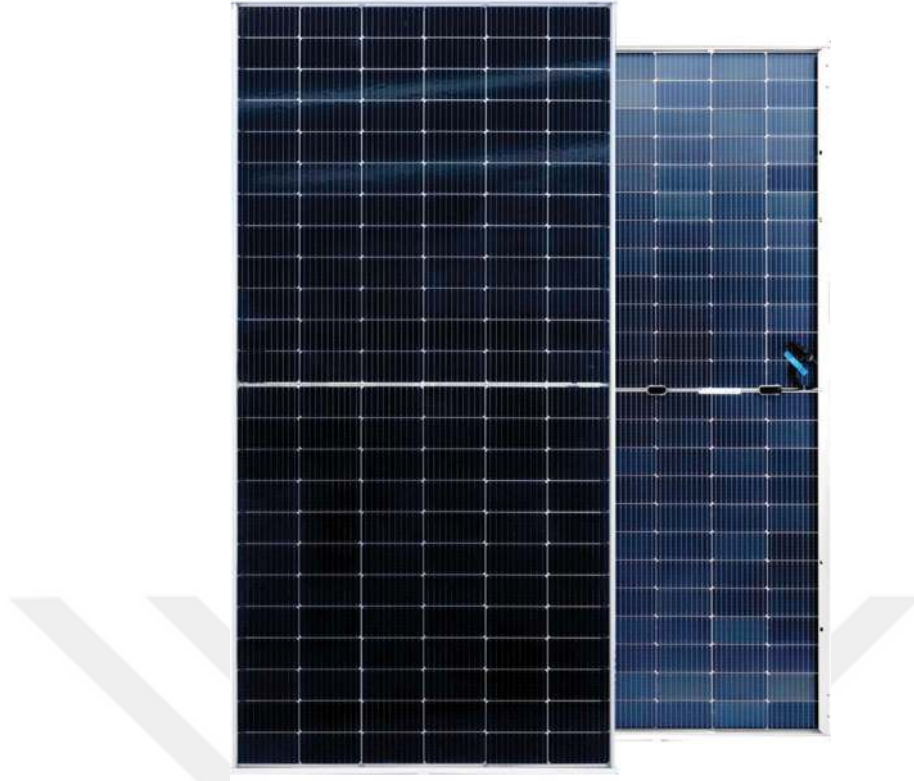
Ancak, şebekeye yakın olmanın getirdiği avantajlarla birlikte bazı zorluklar da bulunmaktadır. Öncelikle, lisanslama ve izin süreçleri, yerel düzenlemelere bağlı olarak değişebilir ve bu süreçlerin tamamlanması zaman alabilir. Enerji depolama teknolojileri ve stratejileri, özellikle güneş enerjisi kaynaklı harmoniksel dalgalanmaların düzenlenmesi ve enerji arzının dengelenmesi açısından önemli bir rol oynayabilir.

Diğer yandan, şebekeye uzak konumlanan GES'ler, iletim sırasında artan kayıplarla karşılaşabilir ve enerji şebekesinin kapasite sınırlamalarıyla başa çıkmalıdırlar. Bu durumda, enerji iletim altyapısının güçlendirilmesi veya yerel enerji depolama çözümlerinin entegrasyonu gibi stratejiler geliştirilmelidir. Öte yandan, şebekeye uzak olmanın bir avantajı, genellikle daha geniş arazilere sahip olma ve yerleşim birimleri ile çevresel etkileşimin azalmasıdır. Ancak, bu durumda, izole bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanması ve enerji şebekesine bağlanmanın sağladığı avantajlardan mahrum kalma riski bulunmaktadır.

Sonuç olarak, GES'lerin şebekeye yakınlığı veya uzaklığı, yerel koşullar, düzenlemeler, projenin özel ihtiyaçları göz önüne alınarak dikkatlice değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme, sürdürülebilir ve verimli bir güneş enerjisi entegrasyonunu sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Smith, J. & Johnson, A. ,2023).

3.3. Fotovoltaik Hücreler

Güneş enerji sistemi teknolojinin en önemli parçalarından biri fotovoltaik pillerdir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi fotovoltaik piller yarı iletken malzemeler ile üretilirler. Fotovoltaik pillerin çalışma prensibi güneş ışınlarından gelen görünür ışık, ultraviyole ışınları ve kızılötesi ışınlar yarı iletken malzemeler üzerine çarpması sonucu iki farklı malzemenin fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak meydana gelen potansiyel fark ile elektrik enerji üretirler (Gibilisco, S, vb. ,2001).



Şekil 3.1. Fotovoltaik panel

Fotovoltaik piller farklı boyutlarda ve farklı güçlerde üretilirler. Bir tesis kurulurken seçilen güneş pillerinin verimlilikleri önemlidir. Fotovoltaik piller yapı özelliğine göre %5 ile %35 arası verimlilikte güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilirler (Yerebakan, M. , 2010).

3.4. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler bağlantı durumuna göre iki ana başlık altında incelenmektedir. Bu sistemler bağlantı yapısından dolayı, kullanılan malzemelerde farklılıklar gösterebilmektedirler. Maliyet açısından amorti süresinin kısa olması, şebekeye bağımlı sistemler tercih edilmesine olanak sağlamaktadır.

3.4.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Off-Grid sistem)

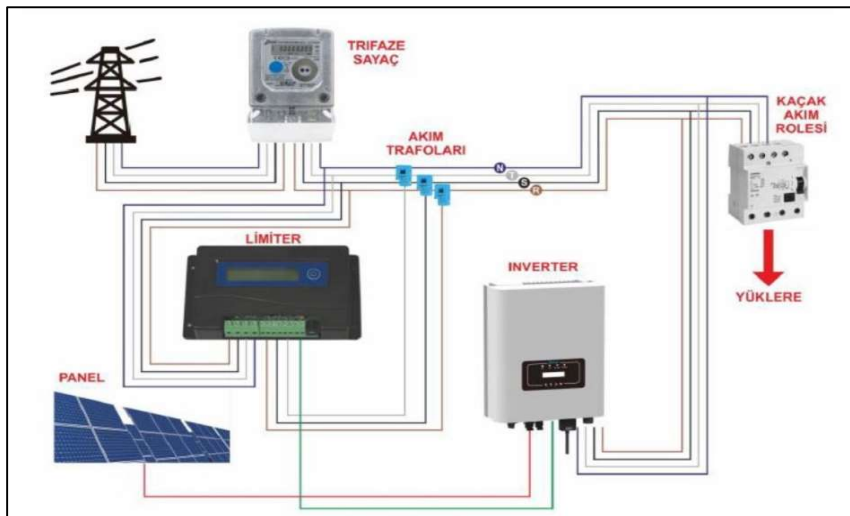
Şebekeden bağımsız sistemler (Off-Grid), elektrik şebekesine uzak olan noktalarda tercih edilen şebekeden bağımsız sistemlerdir. Bu sistemler genellikle küçük ölçekli yerlerde tercih edilirler. Bu sistemde güneş panelleri ile üretilen enerji aküler ile depolanarak inverter ile AC enerji dönüştürülüp ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılan sistemlerdir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bu sistem paneller, aküler, şarj kontrol cihazı ve inverterler olmak üzere 4 ana parçadan meydana gelir. (Brown, K. &Garcia,M. ,2019).



Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız sistemler (Off-Grid sistem) örnek uygulama gösterimi

3.4.2. Şebekeye bağımlı sistemler(On-Grid sistem)

Bu sistemler küçük ve büyük ölçekli yerlerde tercih edilirler. Bu sistemin kurulumunda şebekeye entegre edilmiş elektrik enerji sistemi esastır. Şekil3.3’de sistemin çalışma prensibi görülmekte olup, burada güneş panellerinden elde edilen enerji inverter ile düzenlenerek, elektrik hatlarına entegre edilecek biçimde dönüştürülür. Dönüştürülen bu enerji, küçük tesislerde direkt alçak gerilim şebekelerine bağlanırken, büyük tesislerde ise trafo yardımı ile yüksek gerilime dönüştürülerek şebekeye verilir. Bu sistemler fabrika çatılarına yapıldığında hem iç ihtiyacı karşılamak için kullanılırken, hem de fazla gelen enerji şebekeye verilerek satışı yapılabilir (Kumar, NM, vb. , 2018).



Şekil 3.3. Şebekeye bağımlı Sistemler(On-Grid sistem) örnek uygulama gösterimi

3.5. PV Panellerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

PV panellerin çalışması esnasında bazı faktörler etkilidir. Bu faktörler istenilen değerlerde ve seviyelerde olduğu sürece maksimum verim elde edilebilir. Bölgeden bölgeye bu faktörler değişse de, fotovoltaik tesis kurulacak olan alan için istenilen değerlere en yakın faktörlere göre tasarım yapılmalıdır. Bu faktörler aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. PV panellerin sıcaklığa dayanımı

PV panellerinde, güneşten gelen ışınların sahip olduğu enerjinin paneller üzerinde yer alan hücrelerdeki diyotlar ile elektrik enerjisine dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Güneş panellerinde elektrik enerjisi üretilirken, bu dönüşümün yanı sıra sıcaklıkta meydana gelir. Teorik olarak daha yüksek bir güneş ışınımında daha yüksek bir elektrik enerjisi üretimi meydana gelebileceği sanılsa da, yüksek ışınımında sıcaklık da artacağından, iç direnç artışı ve enerji dönüşümünde yavaşlamalar nedeniyle hücreler arasında oluşturmuş olduğu sıcaklıktan dolayı daha az bir verim meydana gelecektir.

Güneş panellerinin analizleri için standart koşullar baz alınarak testler yapılmaktadır. Bu testler yapılırken panellerin dayanıklılığı, gün içinde güneş ışınımının eğrisi, nem donması testi, nemli ışı testi, mekanik yükleme testi, malzemenin üretimi ve işlenimi vb. gibi birçok etken göz önüne alınmaktadır.

PV panel üreticileri, standart test koşullarında sıcaklık değerleri 1000 W/m^2 ışınlama da $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta test yapmaktadırlar. Bu sıcaklık güneş panelleri için maksimum verimin alındığı sıcaklık olarak da belirlenmiştir. Bu sıcaklık değeri yüksek olduğunda, güneşten gelen ışınım panel üzerindeki elektronları hareketi ile üretilen gerilimde azalmaya neden olur. Gerilimin azalması, panelde üretilen gücün de düşmesine neden olur. Bu olaya verim kaybı denilmektedir. Güneş paneli üreticileri, üretim yapıldıktan sonra üzerine yerleştirilen etiket bilgilerinde genellikle maksimum verimin $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de olduğunu belirtmektedirler.

3.5.2. PV panellerin rüzgar yüküne dayanıklılığı

Enerji tüketicileri için bina çatılarının üzerine GES kurulumu, son yıllarda en çok tercih edilen sistemlerdir. Bu sistem sayesinde, fotovoltaik yatırımcıları arazi bulma ve izin alma gibi sorunlardan kurtulmuşlardır. Çatı üstü GES kurulumlarında dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri de rüzgar yüküdür. Rüzgar kuvveti, panellerin soğutma amacı için kullanılan bir yöntemdir. Zemine bağlı panellerin rüzgar koşullarını analiz etmek için Reynolds ortalamalı, NavierStokes (RANS) izolasyonlarından yararlanılmışlardır.

Rüzgar yükü için yapılan hesaplamalara göre, “Kayma Gerilimi Taşıma (SST) $k-\omega$ ” modelinin, “Gerçekleştirilebilir $k-\epsilon$ ” modelinden daha üstün bir performans sergilediği görülmektedir. Özellikle tekli panel sistemlerinde maksimum aerodinamik kuvvetin 0° ve 180° için belirlendiği, bu amaçla yapılan analizlerde tespit edilmiştir (Shademan, vb. ,2014a. :733).

Araştırmacılar, bu incelemelerde özellikle zemine bağlı panellerin rüzgar etkileri üzerine odaklanmışlardır. Yapıların çatıya bağlı güneş panellerinin yarattığı etkiyi incelemeyi amaçlamışlardır. Rüzgar tüneline yapılan basınç ölçümleri, çatıya bağlı panellerin etkileşimi nedeniyle zemine bağlı panellerle arasındaki aerodinamik yük farklarını da ortaya çıkarmaktadır.

Abiola-Ogedengbe (2013), farklı panel eğim açıları ve rüzgar yönlerinde yapılan basınç testlerinin ortaya çıktığını rapor etmiştir. Özellikle 150° ve 180° rüzgar yönlerinde maksimum dayanıklılık gücünün kritik olduğu bulgusuna ulaşmıştır (Abiola-Ogedengbe, A. 2013). Hem rüzgar tüneli deneylerini, hem de “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)” laboratuvarını kullanarak zemine bağlı güneş panellerinin rüzgar yüklerine dayanıklılıklarını geometrik kesitlerini esas alarak incelemişlerdir. Farklı geometrik ölçeklerde yapılan analizlerde, standart sapmalarda ve yüksek basınç katlarında önemli değişiklikler gözlemlenmiştir (Aly, vb. , 2013).

Düz ve üçgen çatılar ile zemine bağlı güneş panellerinin rüzgar yüklerini programlamak için rüzgar tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla yapılan analizlerde zemine bağlı sistemler için maksimum ve minimum pik basınç katsayılarının sırasıyla 30° ve 135° rüzgar yönlerinde meydana geldiği belirlenmiştir (Shademan, vb., 2014:223)

4. ÖRNEK FOTOVOLTAİK SİSTEM KURULUMUNA YÖNELİK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Tez çalışmamızda Bilecik ilindeki bir fabrikanın çatısı üstüne, Bilecik ili konumu gereği yatayla $41,5^\circ$ açı yapacak biçimde güneye yönlendirilecek fotovoltaik panellerin tesis edilmesine yönelik planlamalara burada yer verilmiştir. On-Grid esaslı güç ihtiyacını karşılamak için kurulması planlanan güç santralinde AC güç değeri 3505 kW DC güç:4526 kW olarak belirlenerek gerekli fizibilite çalışmalarına başlanmıştır.

4.1. Kullanılacak Malzemelerin Teknik Özellikleri

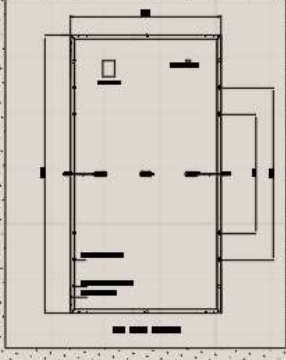
İstenilen güce göre 9368 adet 500 W gücünde panel, 36 adet 100kw gücünde inverter, 2 adet GES ana toplama panosu,1 adet otoprodüktör hücre, 2 adet sayaç, DC ve AC kablolar, panel kontrollerini sağlamak için 4684 adet optimizier ve panel montajı yapılabilmesi için sehpa kullanılması planlanmıştır.

4.1.1. Fotovoltaik paneller

Çalışmamızda Schmid Pekintaş spe 500 W tek kristal yapılı panel tercih edilmiştir. Kullanılan panel 12 yıl üretici garantili 25 yıl lineer çalışma garantilidir. Panelin teknik özellikleri olarak Şekil 4.1’de belirtilmiştir.

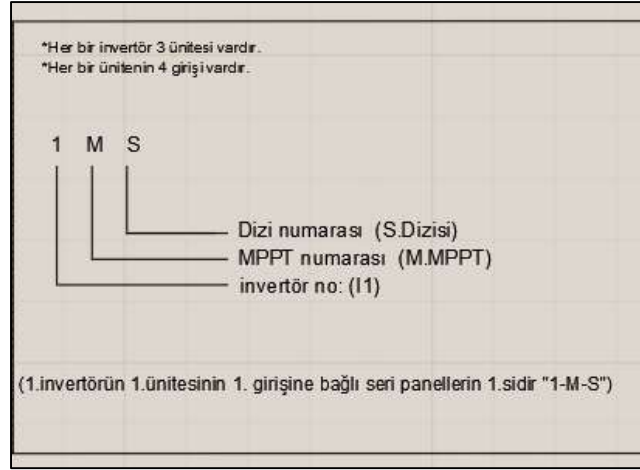
MODÜL TİPİ	MODÜL 500W
Toplam modül sayısı	9368 adet
Modül boyutları (LxWxH)	2100mm x 1140mm x35mm
Hücre sayısı	132 adet yarı hücre
Hücre boyutu	-
Kablo	2 adet solar kablo 4mm ²
Plug-in bağlantısı	MC4 EVO2

MODÜL ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ	
Panel maksimum gücü - P _{max}	500Wp
Güç toleransı	0~+5%
Maksimum güç gerilimi - U _{mpp}	38,46 V
Maksimum güç akımı - I _{mpp}	13,01 A
Açık devre gerilimi - V _{oc}	45,52 V
Kısa devre akımı - I _{sc}	13,80 A
Hücre Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ~ +85°C
Maksimum sistem gerilimi	1500VDC
Sıcaklık katsayısı [V] [I] [P]	-0,269%/°C 0,045% °C -0,341% °C
Maksimum ters akım	25A



Şekil 4.1. Sahada kullanılan panelin teknik bilgileri

İnverter arızalarında net konumlandırmanın belirtilebilmesi ve tespit edilebilmesi için numaralandırma yapılarak Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Panel kodlama örneği

4.1.2. İnverter

AC dönüştürücü inverter olarak solar edge SE100 KW kullanılması planlanmış olup, bu inverterin tercih edilme sebebi, 12 yıl üretici garantisi bulunması olarak ele alınmıştır. Bu inverter yapıya yönelik teknik özellikler şekil 4.3’de belirtilmiştir.

İNVERTÖR		İNVERTER 36 adet-100kW
Toplam invertör sayısı		36
Toplam dizi sayısı		319
Toplam panel sayısı		9368

İNVERTÖR ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ	
Giriş (DC)	
Maksimum sistem gerilimi	1000 V
Maksimum giriş akımı	48.25 A
Çıkış (AC)	
Maksimum AC güç	100 kW
Nominal AC gerilimi	3 / N / PE, 400/230 V
Maksimum çıkış akımı	145 A
Anma şebeke frekansı	50 Hz / 60 Hz

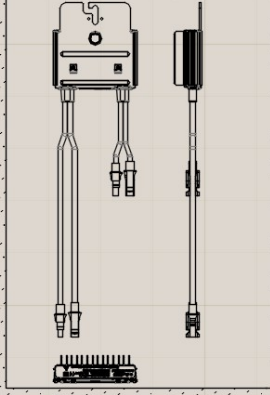
Şekil 4.3. Saha da kullanılan panelin teknik bilgileri

4.1.3. Optimizer

Optimizerler, PV modüllerine bağlanan DC-DC dönüştürücüler, modül düzeyinde bağımsız Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) sağlayarak enerji üretimini en üst düzeye çıkarmayı amaçlar. Bu sistem 2 panelde bir bağlantı yapılarak kontrollü sağlamak için kullanılmıştır. Bu sistem ile bir arıza meydana geldiğinde arıza tespitinin daha kolay

bulunmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada kullanılması planlanan optimize teknik bilgileri şekil 4.4’de belirtilmiştir.

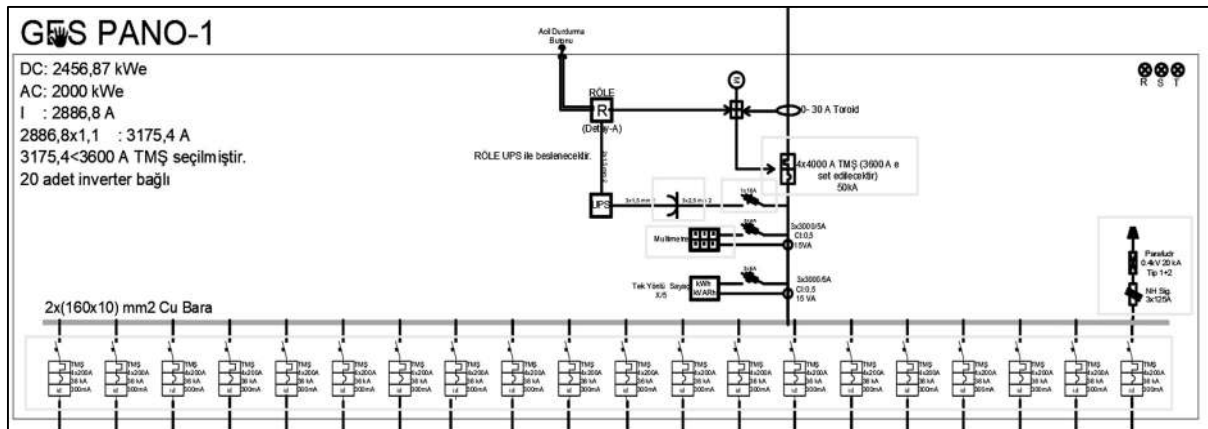
		OPTİMİZER P1100 3Faz
Toplam optimizör sayısı	4684	
Toplam dizi sayısı	319	
OPTİMİZER ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ		
Giriş (DC)		
Maksimum dizi DC güç	14450Wp	
Maksimum sistem gerilimi	125V	
Nominal çalışma gerilim aralığı	12.5-105V	
Maksimum giriş akımı	12.5A	
Maksimum invertör verimi	%99.5	
Çıkış (DC)		
Maksimum çıkış akımı	17A	
Maksimum çıkış gerilim	85V	



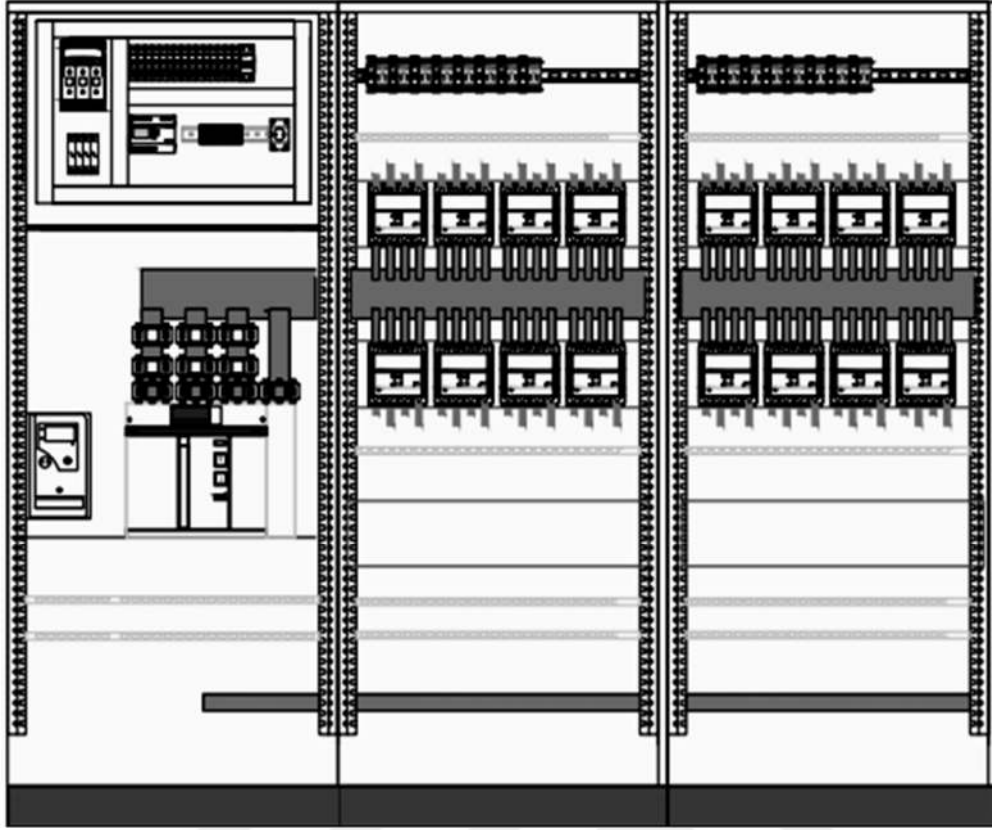
Şekil 4.4. Saha da kullanılan optimizör teknik bilgileri

4.1.4. GES Ana Toplama Panosu

GES ana toplama panoları, inverterlerden dönüştürülüp elde edilen AC gerilimin sisteme verilmesi için tüm inverterlerdeki gücün toplandığı panodur. Bu panoda inverterleri korumak için kullanılan termik manyetik şalterler, kaçak akımları önleme ve sisteme zarar vermenin önüne geçmek için troid, açtırma rölesi ve açtırma bobinleri bulundurmaktadırlar. Ayrıca, üretim değerlerini ölçebilme için elektronik sayaç, sebeke izleme rölesi vb. üniteler bulunmaktadır. Panoda şebekeden enerji kesilmesi sonrasında, iş güvenliği nedeniyle ana termik manyetik şalterin açması gerektiğinden, program buna uygun planlanmıştır. Böylece şebeke izleme rölesi ile şebekede enerji kesildiğinde otomatik olarak enerjiyi keserek üretimi durdurabilmektedir. Tekrar enerji geldiğinde ise sistemi tekrar devreye alabilmektedir. Bu sistem ile ilgili tek hat çizimi şekil 4.5.’de, pano montaj görünüşü ise şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu Tek Hat Şeması



Şekil 4.6. Güneş enerji santrali ana dağıtım panosu yerleşim planı

4.1.5. DC ve AC kablolar

Panel ile inverter arası kullanılacak DC kabloların kesiti kullanılan panelin gücüne göre değişen değerlerde planlanmıştır. AC kablolar ise, inverter ile GES ana toplama panosu ve GES ana toplama panosu ile sistem arasında kullanılacak biçimde ele alınmıştır. Kullanılacak olan kabloların teknik özellikleri ise tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Sahada kullanılan kabloların teknik bilgileri

KABLO	KABLO TİPİ	KABLO KESİTİ (mm ²)	DIŞ ÇAPİ (mm)	KAPASİTESİ (A)	ANMA GERİLİMİ (V)	ÇALIŞMA SICAKLIĞI (°C)
DC KABLO	H1z2z2-K	1x6mm ²	6.1mm	70A	1000V	-40/+120
INVERTÖR AC KABLO	NA2XH	4x95mm ²	40mm	232A	0.6/1kV	-40/+70
PANO AC KABLO (GES~MEVCUT)	NA2XH	1x240mm ²	26mm	475A	0.6/1kV	-40/+70

4.2. Güneş enerji santrali kurulumu için kullanılan Simülasyon programları

Güneş enerji santrali kurulumunda genellikle aşağıdaki programlar tercih edilebilir:

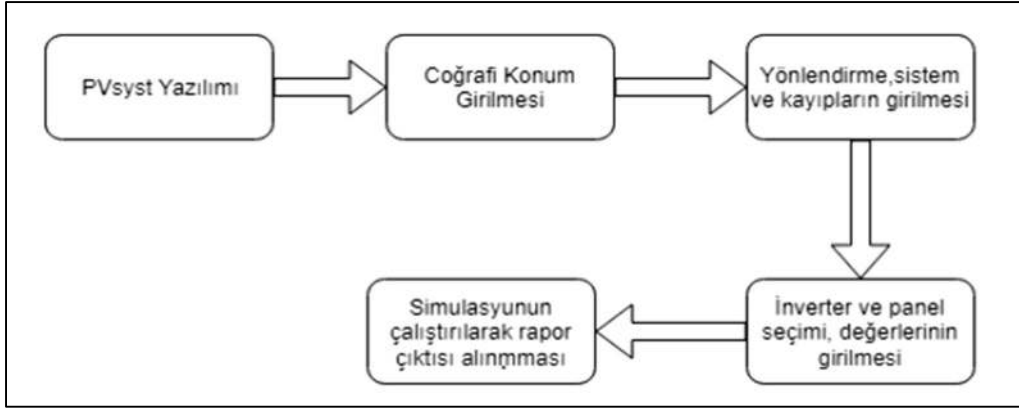
- EzDesigner Programı, EzDesigner, panel ve inverter uyumluluğunu kontrol eden, inverter üreticisi GoodWe firmasının tasarım programıdır.

- PVsol programı, PVsol, Alman menşeli güneş enerjisi sistemleri tasarım programıdır. Yazılım, arazi tipi, çatı uygulamalı, şebekeye bağlı (on-grid), şebekeden bağımsız (of-grid) gibi güneş enerji santrallerinin çeşitli türlerinde tasarım yapmamıza olanak sunmaktadır.
- Helio Scopeprogramı , Amerika merkezli Falsom Labs tarafından geliştirilen bir tasarım aracıdır. Pvsyst yazılımının birçok özelliğini içermesinin yanı sıra, AutoCAD programı ile entegre çalışabilme yeteneği de sunmaktadır.
- PVGIS Programı, Avrupa Birliği Bilim Merkezi bünyesinde bulunan bir güneş enerjisi yazılım programıdır. Bu internet sitesi, güneş radyasyonu ve fotovoltaik (PV) sistemler hakkında bilgi sağlamaktadır.

4.2.1. PVsyst simülasyonu

Güneş enerji santrallerinde sistem tasarımı yapılırken ilk önce istenilen güce göre kurulacak alanın yeterliliğine bakılmalıdır. İstenilen güce uygun olacak şekilde panel sayısı, inverter sayısı, sistem kayıpları (ısınma, gölgelenme vb.) parametreler hesaplanmalıdır. Bu bilgiler neticesinde kurulacak tesisin gelir gider hesaplarını yaparak sistemin kurulumuna karar verilmesi en doğru karar olur. Bu hesaplamalar yapılırken, bu tür programları kullanarak minimum hata ile doğru oranda üretim değerlerini hesaplamak gerekir. Bu çalışmada kullanılan uygulama PVsyst programı olmuştur.

PVsyst, fotovoltaik (PV) sistemlerin analizi, boyutlandırılması ve veri analizi için bir bilgisayar yazılımı paketidir (Karki, vb., (2012). Comparative Study of Grid-Tied Photovoltaic (PV) System in Kathmandu and Berlin Using PVsyst). PVsyst programı, kullanıcıya kurulum öncesi bilgi vermek için bahsedilen parametrelerin ve sistem simülasyonunun gerçekleştirildiği bir araçtır. Bu yazılım, Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. PVsyst kullanılarak, şebekeye bağlı veya bağımsız, pompa ve DC üretim sistemlerinin tasarımları yapılabilir (BOLAT, vb. , 2020). Tasarlanan güneş enerji sisteminde, güneş panellerine düşen gölgelerin gerçek zamanlı olarak güneşin doğuşu ve batışı sırasında gözlemlenebileceği belirtilmektedir (Haydaroğlu & Gümüş, 2016). Fabrikanın Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi bir PVsyst programının şebekeye bağlı bir sistemin tasarımını kullanımı Şekil 4.7’de anlatılmıştır.

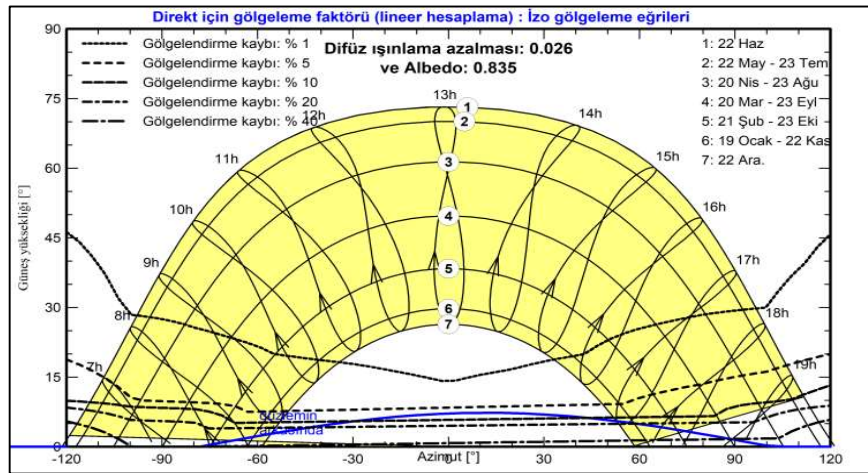


Şekil 4.7. PVsyst programı genel çalışma şeması

Kaynak:(Vidur&Jagwani, 2022)

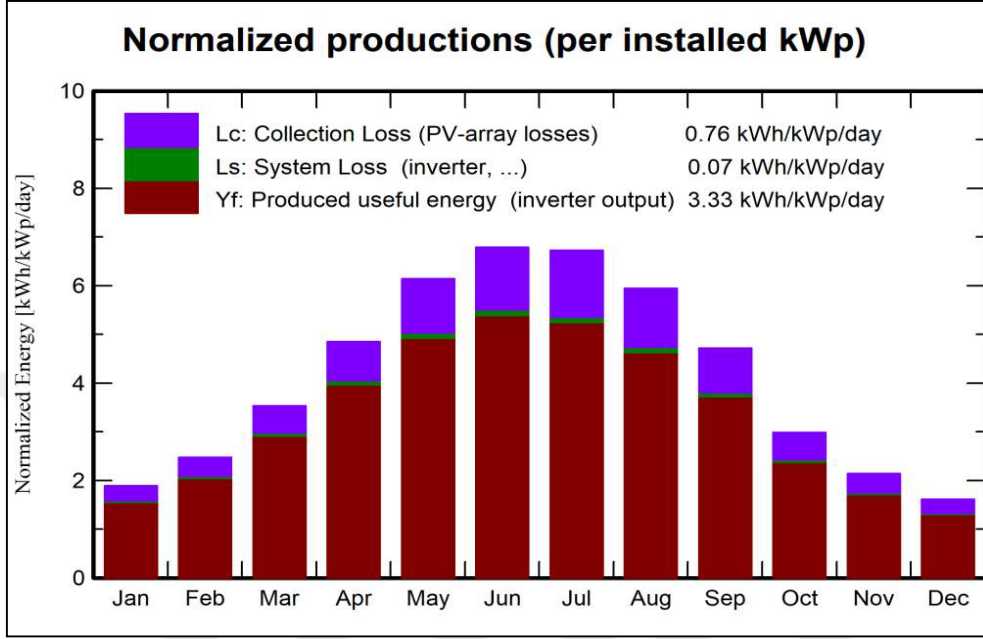
4.2.2. İzo gölgeleme diyagramı

İzo gölgeleme diyagramı, güneşin doğuşundan batışına kadar olan süreçte günlere ve aylara göre seçilen bölge ya da alanın gölgelenme oranını hesaplar. Günlere ve saatlere göre güneş enerjisi verimi ve geliş açısı değişir ve bu, azimut ve güneşin yüksekliğine bağlıdır. Azimut, panellerin güneşe olan konumunu ifade ederken, yükseklik ise güneşin konumunu ifade eder. Bu değerler geçmiş yılların verileri kullanılarak uygulanan bir metottur. Bu metot kullanılarak kurulacak tesisin maliyet yönünde daha uygun, üretim yönünden de en iyi verimi almayı sağlayan gerçeğe yakın sonuçların tahmin edilmesini sağlamasını yapmamızın en iyi yöntemlerinden biridir. Bu değerler, programın kullanıcı arayüzünde tablo üzerinden elle değiştirilebileceği gibi, "oku/getir" bölümünden doğrudan bir horizon dosyası olarak yüklenebilir (Yiğit, F. (2023). Şekil 4.8'de tesisin konumuna göre izo gölgelenme diyagramı gösterilmiştir.



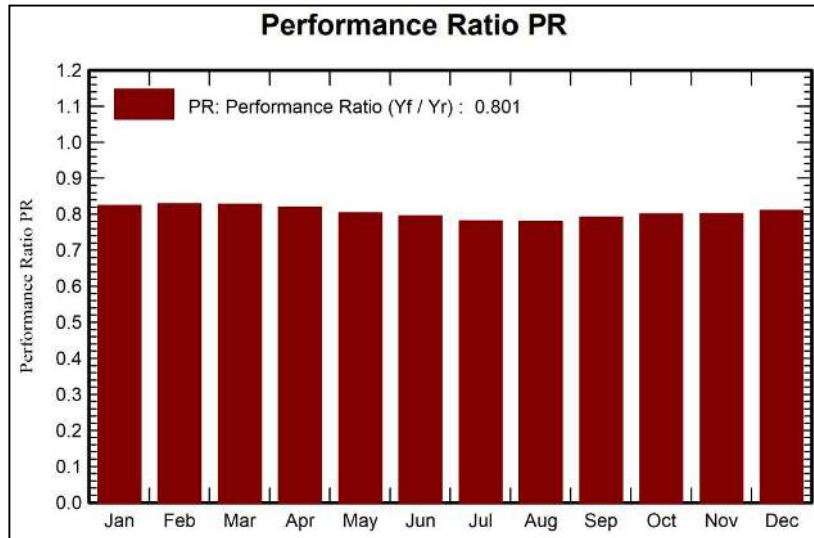
Şekil 4.8. İzo gölgelenme diyagramı

İzo gölgelenme tasarımı sonrası, tesisin maksimum performans oranı hesaplanır. Bu performans oranı tesisinin aylara göre yüzde kaç verim ile çalışacağı esaslı olarak hesaplanabilir ve böylece aylara göre şekil 4.9’da gösterildiği gibi tahmini normalize üretim verileri elde edilebilir.



Şekil 4.9. Tahmini Normal üretim ve kayıp faktörler

Şekil 4.10’da ise yine tahmini olarak yıl boyunca 3,33 (kWh / gün) toplam inverter çıkışı, 0,76 (KWh /KWp/ gün) PV toplama kaybı ve 0,07 (KWh / KWp/gün) olan panel, sistem, inverter kayıpları gösterilmektedir. Şekil 4.11.’de yıl içinde aylara göre performans oranı tahmini olarak hesaplanarak grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada 0. 801 ortalama performans oranı elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Performans oranı aylık değişim grafiği

Balances and main results								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	58.6	29.93	0.90	58.5	52.9	230.4	225.6	0.824
February	69.3	34.66	2.85	69.3	63.4	274.3	268.5	0.829
March	109.6	56.76	6.95	109.4	101.7	432.8	423.7	0.828
April	145.6	69.47	11.12	145.4	136.0	569.5	557.4	0.820
May	190.4	72.83	16.34	190.2	178.9	730.7	715.0	0.803
June	203.7	80.84	20.24	203.5	191.7	773.9	757.4	0.796
July	208.5	77.42	23.77	208.3	195.9	777.8	761.2	0.781
August	184.5	60.67	23.69	184.3	173.2	687.2	672.5	0.780
September	141.3	46.66	18.69	141.4	131.8	534.9	523.4	0.792
October	92.4	46.21	13.25	92.4	85.0	353.2	345.8	0.800
November	64.2	27.52	7.44	64.2	58.0	245.8	240.6	0.801
December	50.0	23.14	2.59	49.9	44.6	193.1	188.9	0.810
Year	1518.2	626.10	12.37	1516.8	1413.1	5803.7	5680.0	0.801

Legends

GlobHor

DiffHor

T_Amb

GlobInc

GlobEff

Global horizontal irradiation

Horizontal diffuse irradiation

Ambient Temperature

Global incident in coll. plane

Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray

E_Grid

PR

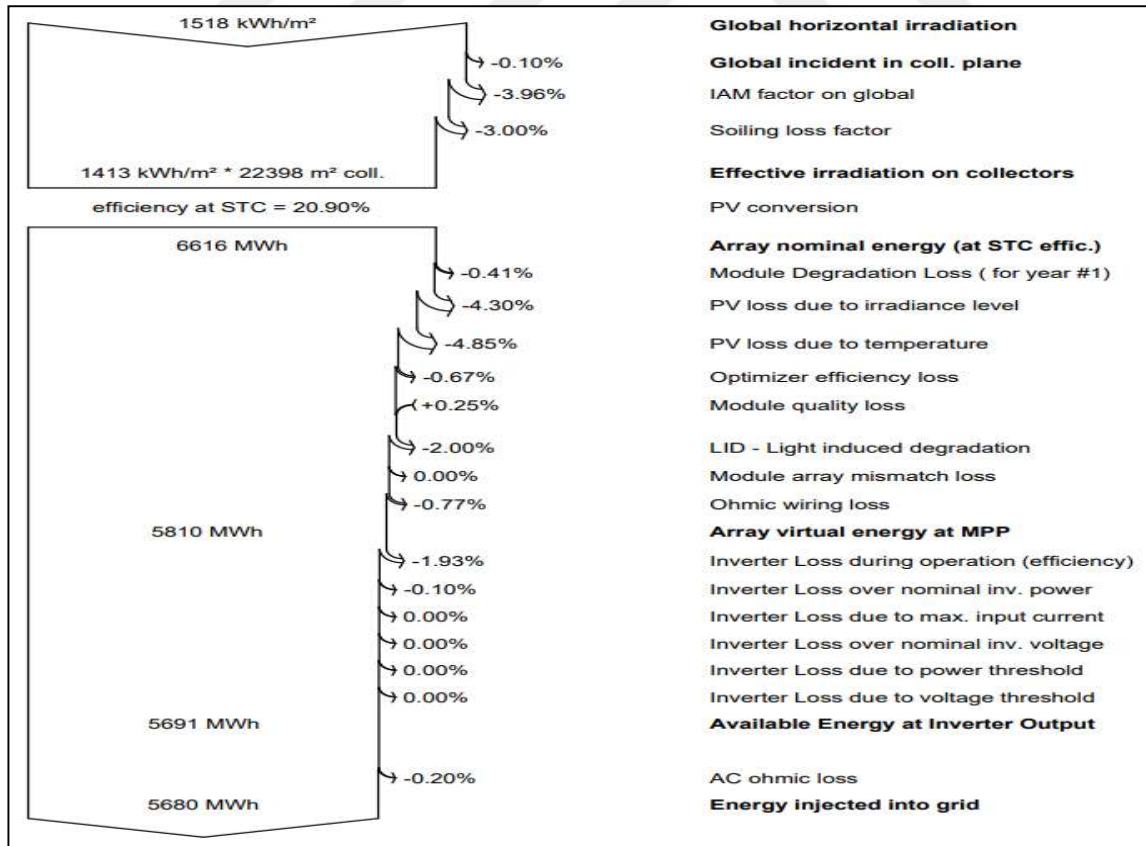
Effective energy at the output of the array

Energy injected into grid

Performance Ratio

Şekil 4.11. PVsyst performans tahmini genel sonuçları

Tüm bu kayıp kazanımların gösterildiği, PVsyst programı yardımıyla tesisin üretimi için elde edilmiş tahmini yıllık kayıp diyagramı şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. PVsyst tüm yıl boyu performans tahmini kayıp diyagramı

4.3. Fizibilite Çalışması

Geçmiş yılın tüketim verileri baz alınarak aylık yaklaşık tasarruf maliyetinin tahmini olarak hesaplanması mümkündür. Bu hesap yapılırken, kurulacak tesiste aylara göre üretim tahminini göz önüne alarak, üretim ile tüketim arasındaki ücretlendirme hesaplarını birbirine oranla karşılama oranı tahmin edilebilir. Bu işlem ile yıllık ne kadar bir miktarda tahmini kazanç sağlandığını bulmak mümkündür. Amortisman ile ilgili tahmini hesaplama tablosu tablo 4.2’de verilmiştir.

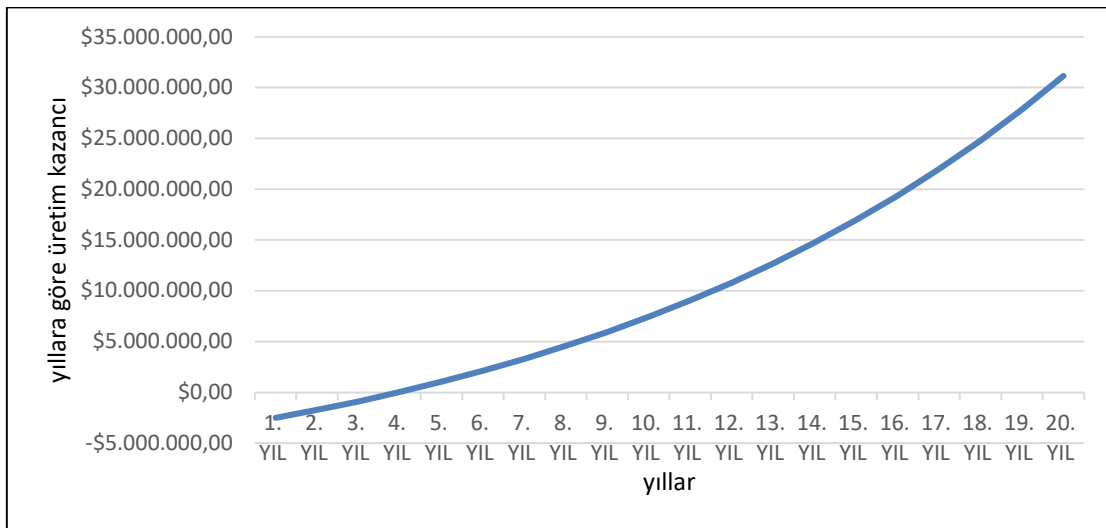
Tablo 4.2. PVsyst tahmini aylık tasarruf hesabı

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Tesis Tüketimi kWh	1.010.974,2	920.111,6	1.205.102,3	1.089.661,8	1.052.443,2	1.018.978,2	985.161,3	1.042.995,0	1.008.483,3	1.042.995,0	1.023.265,7	1.116.075,6	12.516.127,05 kWh
Santral Üretim Değerleri	225.600,0	268.500,0	423.700,0	557.400,0	715.000,0	757.400,0	761.200,0	672.500,0	573.400,0	345.800,0	240.600,0	188.900,0	5680000,0
Karşılama Oranı %	22%	29%	35%	51%	68%	74%	77%	64%	52%	33%	24%	17%	Ortalama 46%
Yatırım Öncesi Fatura &	2.162.271,62	1.967.934,58	2.577.472,69	2.330.568,66	2.250.965,52	2.179.390,57	2.107.062,99	2.230.629,38	2.156.944,08	2.230.629,38	2.188.560,57	2.387.062,49	426.769.492,53
Yatırım Sonrası Fatura &	1.679.758,3	1.393.666,8	1.671.263,1	1.138.401,5	721.723,5	559.463,5	479.008,4	792.286,4	1.037.496,2	1.491.032,3	1.673.965,3	1.983.043,2	414.621.108,53
Şebekeye Satış &	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,00
Aylık Tasarruf &	482.513,3	574.267,8	906.209,6	1.192.167,1	1.529.242,0	1.619.927,1	1.628.054,6	1.438.343,0	1.119.447,9	739.597,0	514.595,3	404.019,3	412.148.384,00

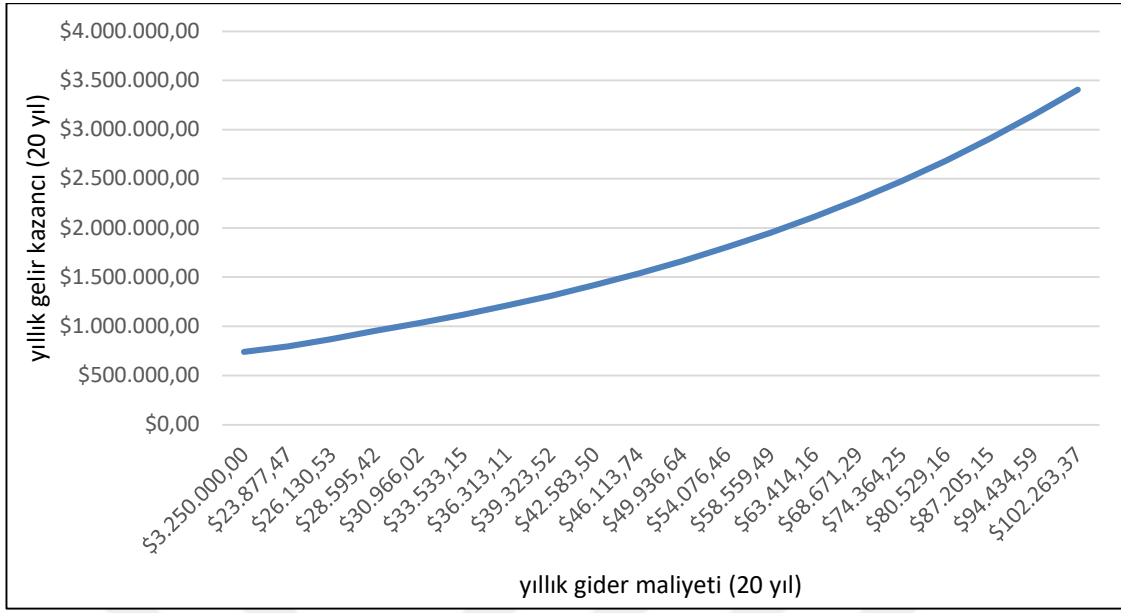
Tesiste kullanılacak malzemelerin maliyeti ve yaklaşık amortisman süreleri hesaplanmıştır. Bu çalışma yapılırken kullanılacak malzemelerin özelliklerine ve markalarına göre maliyet çıkarılmıştır. Maliyet hesabı çıkarıldıktan sonra üretim tahmini göre kazanç hesaplanıp, bu hesaplar ile amortisman süresi belirlenmiştir. Tesisin yıllara göre PVsyst tahmini kazanç değişimi tablo 4.3.’de verilmiştir. Bu çalışmaya göre 4. Yılda Şirketin kar edeceği tahmin edilmiştir. Yıllık bakım masrafı %3 olarak öngörülmüştür. Elektrik birim fiyatına yıllık %10 zam olarak öngörülmüştür. Bu çalışmada ki hesaplar Ocak 2023 yılında yapılmış ve dolar kuru (1TL/19,00\$) baz alınmıştır. Yıllara göre PVsyst esaslı tahmini kazanç grafiği şekil 4.13.’de, yıllara göre PVsyst esaslı tahmini gider-gelir oran grafiği ise 4.14.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. PVsyst tahmini yıllara göre kazanç tablosu

YILLAR	GİDER	GELİR	KAZANÇ
1. YIL	\$3. 250. 000,00	\$742. 112,65	-\$2. 507. 887,35
2. YIL	\$23. 877,47	\$795. 915,81	-\$1. 735. 849,01
3. YIL	\$26. 130,53	\$871. 017,61	-\$890. 961,93
4. YIL	\$28. 595,42	\$953. 180,61	\$33. 623,26
5. YIL	\$30. 966,02	\$1. 032. 200,77	\$1. 034. 858,01
6. YIL	\$33. 533,15	\$1. 117. 771,82	\$2. 119. 096,68
7. YIL	\$36. 313,11	\$1. 210. 436,84	\$3. 293. 220,41
8. YIL	\$39. 323,52	\$1. 310. 783,93	\$4. 564. 680,82
9. YIL	\$42. 583,50	\$1. 419. 449,96	\$5. 941. 547,28
10. YIL	\$46. 113,74	\$1. 537. 124,57	\$7. 432. 558,11
11. YIL	\$49. 936,64	\$1. 664. 554,58	\$9. 047. 176,05
12. YIL	\$54. 076,46	\$1. 802. 548,74	\$10. 795. 648,33
13. YIL	\$58. 559,49	\$1. 951. 982,84	\$12. 689. 071,68
14. YIL	\$63. 414,16	\$2. 113. 805,25	\$14. 739. 462,77
15. YIL	\$68. 671,29	\$2. 289. 042,99	\$16. 959. 834,47
16. YIL	\$74. 364,25	\$2. 478. 808,21	\$19. 364. 278,43
17. YIL	\$80. 529,16	\$2. 684. 305,26	\$21. 968. 054,53
18. YIL	\$87. 205,15	\$2. 906. 838,34	\$24. 787. 687,72
19. YIL	\$94. 434,59	\$3. 147. 819,76	\$27. 841. 072,89
20. YIL	\$102. 263,37	\$3. 408. 778,91	\$31. 147. 588,43



Şekil 4.13. PVsyst tahmini yıllara göre tahmini kazanç grafiği



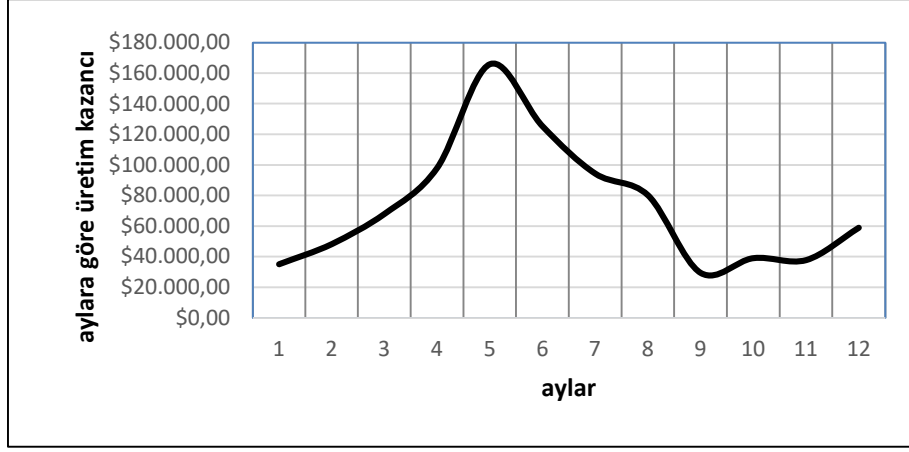
Şekil 4.14. PVsyst tahmini yıllara göre gider-gelir oran grafiği

5. OF-GRİD ve ON-GRİD SİSTEM KULLANIMLARINDA ÜRETİME AİT GERÇEK UYGULAMA VERİLERİ İLE TAHMİNLERİN KARŞILAŞTIRILMALARI

Kurulumu yapılan tesis, aylık olarak üretim verileri göz önüne alınarak bir yıllık üretim verileri hazırlanmıştır. Kazanç değerleri hesaplanırken 2023 yılının dolar kuru (1TL/19,00\$) baz alınmıştır. Bir yıllık veriler göz önüne alındığında Tesis dağıtım şirketine enerji satmadan kendi içinde kullanımında \$881. 063,40 kazanç elde edilebildiği tablo 5.1’te görülmektedir. Şekil 5.1’de ölçülen değerler esaslı kazanç grafiği verilmiştir.

Tablo 5.1. OFF-grid sistem esase Ölçülen değer göre kazanç tablosu

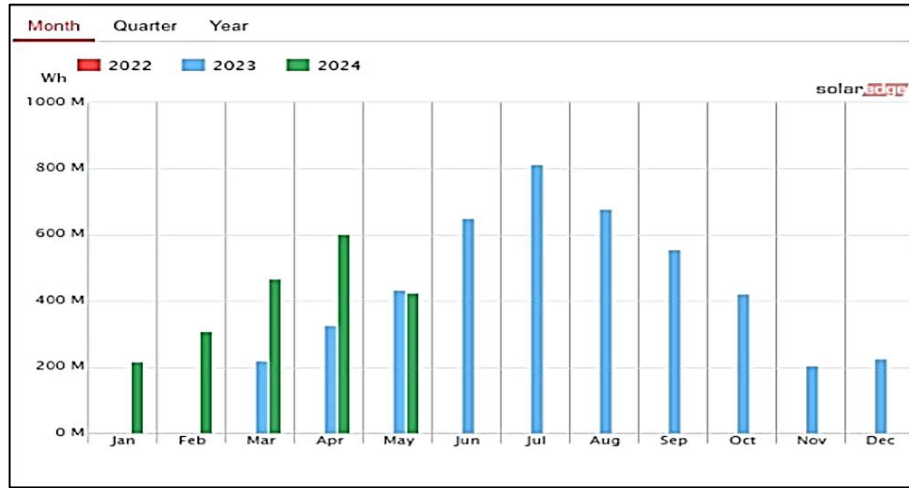
TARİH	OSB FATURA MİKTARI (kW)	GERÇEK TOPLAM TÜKETİM (kW)	TÜM VERGİLER DAHİL BİRİM FİYAT (\$)	OSB FATURA TUTARI (\$)	GES TOPLAM ÜRETİM (Kw)	GES KAZANIM (\$)
03 2023	1. 012. 995,90	1. 203. 637,55	\$0,16	\$162. 165,67	219. 011,00	\$35. 041,76
04 2023	771. 649,43	1. 048. 064,48	\$0,15	\$114. 123,37	327. 306,00	\$48. 406,83
05 2023	789. 984,45	1. 161. 477,40	\$0,16	\$123. 677,36	435. 487,00	\$68. 073,49
06 2023	584. 102,25	1. 048. 205,52	\$0,15	\$88. 188,51	650. 129,00	\$98. 203,70
07 2023	200. 955,60	1. 013. 999,60	\$0,20	\$41. 061,71	813. 044,00	\$166. 032,14
08 2023	451. 870,65	1. 129. 870,65	\$0,18	\$83. 537,40	678. 000,00	\$125. 251,58
09 2023	534. 567,15	1. 090. 169,15	\$0,17	\$90. 827,04	555. 602,00	\$94. 452,34
10 2023	626. 863,28	1. 049. 438,28	\$0,19	\$118. 691,42	422. 575,00	\$80. 066,84
11 2023	797. 871,15	1. 004. 179,15	\$0,14	\$114. 132,43	206. 308,00	\$29. 534,62
12 2023	859. 013,78	1. 085. 112,78	\$0,17	\$148. 800,76	226. 099,00	\$39. 150,83
01 2024	841. 972,50	1. 050. 834,50	\$0,18	\$153. 076,37	208. 862,00	\$37. 924,94
02 2024	741. 458,48	1. 051. 586,48	\$0,19	\$140. 868,28	310. 128,00	\$58. 924,32
03 2024	620441,1	1087848,1	\$0,21	\$132. 167,88	467. 407,00	\$99. 631,49
04 2024	355931,33	957745,33	\$0,22	\$79. 517,05	601. 814,00	\$134. 299,55
TOPLAM	9. 313. 716,62	12. 936. 575,54		\$5. 698. 320,12	6. 121. 772,00	\$1. 114. 994,43



Şekil 5.1. Ölçülen değerler esaslı kazanç grafiği

5.1. Fizibilite ve Simülasyon Esaslı Olarak Gerçek Uygulama Verilerinin Değerlendirilmesi

Kurulan tesiste bir yıllık veriler göz önüne alındığında, \$881. 063,40 kazanç elde edildiği görülmüştür. Simülasyon programında ise ilk yıl için \$742. 112,65 kazanç elde edileceği tahmin edilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği üzere tahminin de üzerinde bir kazanç elde edildiği gözlemlenmiştir. Yıllara göre kW/\$ zam oranına değişimine göre 2023 yılı ile 2024 yılı arasındaki oran ve diğer yıllar hesaplandığında, yatırım maliyeti amorti süresinin 4. yılda gerçekleşeceği tablo 5.2’den de anlaşılabileceği üzere tahmin edilmektedir.

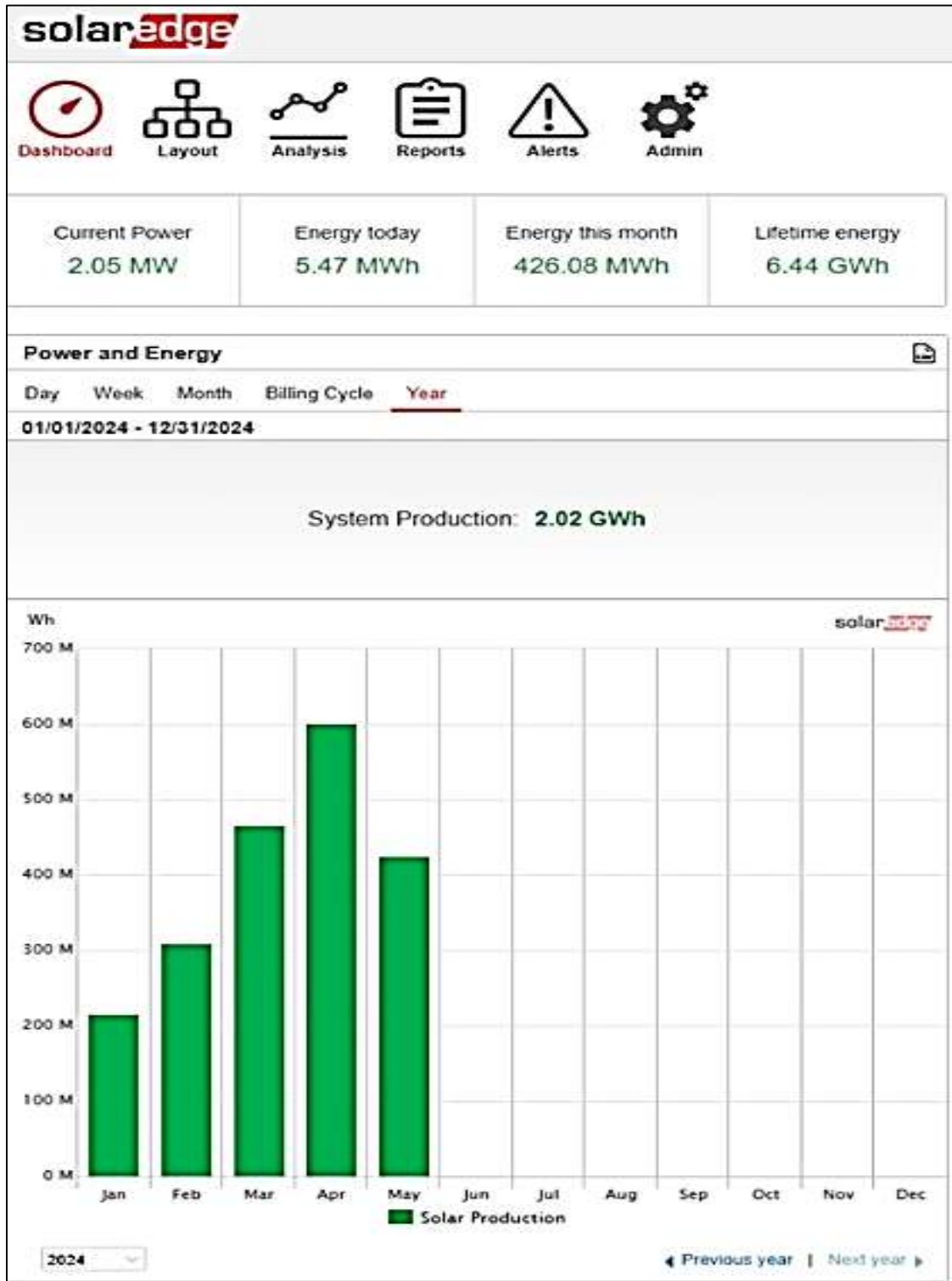


Şekil 5.2. Solaredge veri üretim ölçüm grafiği

Tesiste kullanılan inverter markasının kendi veri programından alınan değerlere göre tesisinin aylara göre solaredge ölçümleri ile veri-toplam üretim grafikleri şekil 5.2 ve şekil 5.3’te gösterilmektedir.

Tablo 5.2. İlk yıl ölçümleri ve sonrası için tahmin edilen değerler esaslı off-grid sistemde yıllara bağlı kazanç tablosu

YILLAR	GİDER	GELİR	KAZANÇ
1. YIL	\$3. 250. 000,00	\$881. 063,40	-\$2. 368. 936,60
2. YIL	\$23. 877,47	\$1. 145. 382,42	-\$1. 247. 431,66
3. YIL	\$26. 130,53	\$1. 488. 997,14	\$215. 434,96
4. YIL	\$28. 595,42	\$1. 935. 696,28	\$2. 122. 535,82
5. YIL	\$30. 966,02	\$2. 516. 405,17	\$4. 607. 974,97
6. YIL	\$33. 533,15	\$3. 271. 326,72	\$7. 845. 768,54
7. YIL	\$36. 313,11	\$4. 252. 724,74	\$12. 062. 180,16
8. YIL	\$39. 323,52	\$5. 528. 542,16	\$17. 551. 398,80
9. YIL	\$42. 583,50	\$7. 187. 104,80	\$24. 695. 920,11
10. YIL	\$46. 113,74	\$9. 343. 236,24	\$33. 993. 042,61
11. YIL	\$49. 936,64	\$12. 146. 207,12	\$46. 089. 313,09
12. YIL	\$54. 076,46	\$15. 790. 069,25	\$61. 825. 305,88
13. YIL	\$58. 559,49	\$20. 527. 090,03	\$82. 293. 836,42
14. YIL	\$63. 414,16	\$26. 685. 217,04	\$108. 915. 639,30
15. YIL	\$68. 671,29	\$34. 690. 782,15	\$143. 537. 750,16
16. YIL	\$74. 364,25	\$45. 098. 016,80	\$188. 561. 402,71
17. YIL	\$80. 529,16	\$58. 627. 421,84	\$247. 108. 295,38
18. YIL	\$87. 205,15	\$76. 215. 648,39	\$323. 236. 738,62
19. YIL	\$94. 434,59	\$99. 080. 342,90	\$422. 222. 646,93
20. YIL	\$102. 263,37	\$128. 804. 445,77	\$550. 924. 829,33



Şekil 5.3. Solaredge ölçümleri ile veri-toplam üretim grafiği

5.2. Kurulum Sonrası On Grid Olarak Kullanılan Tesisteki Maliyet Hesabı

Bu çalışmada kurulan tesis On Grid olarak tasarlanmış, kurulmuş ve pratikte de On Grid çalışmasına rağmen, tesisin iç ihtiyaçları için gerekli enerji ihtiyacının karşılanması

nedeniyle şebekeye enerji aktarımı yapılmamış, hatta şebekeden takviye enerji alınmıştır. 2023 yılı dağıtım bedeli 0,02\$/kWh göz önüne alındığında, yapılan tahminlerden farklı olarak, değişen fiyatlara bağlı olarak maliyet değişiklikleri olduğu gözlemlenmiştir. Dağıtım bedeli farklılıklarından dolayı, Tablo 5.3'te kurulum sonrası ölçülen değerlere göre on-grid sistem için kazanç tablosu esas alındığında, beklenen kazançlarda bir miktar azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.3. Kurulum sonrası ölçülen değerlere göre on-grid sistem için kazanç tablosu

TARİH	OSB FATURA MİKTARI (kW)	GERÇEK TOPLAM TÜKETİM (kW)	TÜM VERGİLER DAHİL BİRİM FİYAT	OSB FATURA TUTARI	GES TOPLAM ÜRETİM (Kw)	DAĞITIM BEDELİ BİRİM FİYAT	DAĞITIM BEDELİ TOPLAM MALİYETİ	GES KAZANIM
03 2023	1.012.995,90	1.203.637,55	\$0,16	\$162.165,67	219.011,00	\$0,02	\$3.963,44	\$31.078,32
04 2023	771.649,43	1.048.064,48	\$0,15	\$114.123,37	327.306,00	\$0,02	\$5.923,26	\$42.483,57
05 2023	789.984,45	1.161.477,40	\$0,16	\$123.677,36	435.487,00	\$0,02	\$7.881,01	\$60.192,48
06 2023	584.102,25	1.048.205,52	\$0,15	\$88.188,51	650.129,00	\$0,02	\$11.765,38	\$86.438,32
07 2023	200.955,60	1.013.999,60	\$0,20	\$41.061,71	813.044,00	\$0,02	\$14.713,66	\$151.318,48
08 2023	451.870,65	1.129.870,65	\$0,18	\$83.537,40	678.000,00	\$0,02	\$12.269,77	\$112.981,81
09 2023	534.567,15	1.090.169,15	\$0,17	\$90.827,04	555.602,00	\$0,02	\$10.054,73	\$84.397,61
10 2023	626.863,28	1.049.438,28	\$0,19	\$118.691,42	422.575,00	\$0,02	\$7.647,34	\$72.419,50
11 2023	797.871,15	1.004.179,15	\$0,14	\$114.132,43	206.308,00	\$0,02	\$3.733,56	\$25.801,06
12 2023	859.013,78	1.085.112,78	\$0,17	\$148.800,76	226.099,00	\$0,02	\$4.091,71	\$35.059,12
01 2024	841.972,50	1.050.834,50	\$0,18	\$153.076,37	208.862,00	\$0,02	\$4.167,84	\$33.757,10
02 2024	741.458,48	1.051.586,48	\$0,19	\$140.868,28	310.128,00	\$0,02	\$6.188,60	\$52.735,72
TOPLAM	9.313.716,62	12.936.575,54		\$5.698.320,12	6.121.772,00			\$788.663,09

Yukarıdaki tabloda “OSB Fatura Miktarı (Kw)” dağıtım şirketi tarafından fabrikaya kesilen faturadaki tüketim değerini açıklamaktadır. “Gerçek Toplam Tüketim (Kw)” sayaç üzerinden alınan bilgilere göre tüketim bedelini açıklamaktadır. “Tüm Vergiler Dahil Birim Fiyat” dağıtım şirketinin tüketim için kW başına ücretlendirdiği bedeli açıklamaktadır. “OSB Fatura Tutarı” dağıtım şirketinin fabrikaya tüketim için kestiği bedeli açıklamaktadır. “GES Toplam Üretim (Kw)” Aylık GES’in üretim bedelini açıklamaktadır. “Dağıtım Bedeli Birim Fiyat” dağıtım şirketinin enerji dağıtımı için uyguladığı kW başına birim fiyatı açıklamaktadır. “Dağıtım Bedeli Toplam Maliyeti” aylık dağıtım şirketine ödenmesi gereken bedel olarak açıklanmıştır. “GES Kazanım” ise aylık GES’den kazanılan bedel olarak açıklanmıştır.

Tablo 5.4. İlk yıl ölçümleri ve sonrası için tahmin edilen değerlere göre on-grid sistemde yıllara göre öngörülen kazanç tablosu

	GİDER	GELİR	KAZANÇ
1. YIL	\$3.250.000,00	\$788.663,09	-\$2.461.336,91
2. YIL	\$23.877,47	\$1.145.382,42	-\$1.339.831,96
3. YIL	\$26.130,53	\$1.488.997,15	\$123.034,66
4. YIL	\$28.595,42	\$1.935.696,29	\$2.030.135,53
5. YIL	\$30.966,02	\$2.516.405,18	\$4.515.574,68
6. YIL	\$33.533,15	\$3.271.326,73	\$7.753.368,26
7. YIL	\$36.313,11	\$4.252.724,75	\$11.969.779,90
8. YIL	\$39.323,52	\$5.528.542,17	\$17.458.998,55
9. YIL	\$42.583,50	\$7.187.104,83	\$24.603.519,88
10. YIL	\$46.113,74	\$9.343.236,27	\$33.900.642,41
11. YIL	\$49.936,64	\$12.146.207,15	\$45.996.912,93
12. YIL	\$54.076,46	\$15.790.069,30	\$61.732.905,77
13. YIL	\$58.559,49	\$20.527.090,09	\$82.201.436,37
14. YIL	\$63.414,16	\$26.685.217,12	\$108.823.239,33
15. YIL	\$68.671,29	\$34.690.782,25	\$143.445.350,29
16. YIL	\$74.364,25	\$45.098.016,93	\$188.469.002,97
17. YIL	\$80.529,16	\$58.627.422,01	\$247.015.895,82
18. YIL	\$87.205,15	\$76.215.648,61	\$323.144.339,29
19. YIL	\$94.434,59	\$99.080.343,20	\$422.130.247,90
20. YIL	\$102.263,37	\$128.804.446,16	\$550.832.430,68

Tablo 5.4'te masraf maliyetleri çıkarıldıktan sonra yıllık %30 zam gelmesi durumunda amortisman süresi belirtilmiştir. Tabloya bakıldığında, ilk yıl ölçümleri ve sonrası için tahmin edilen değerlere göre on-grid sistemde yıllara göre öngörülen kazanç değerleri verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde amortismanın 3 yıl içinde olacağı ön görülmektedir. Üretim değerleri hesaplanırken panel üretici firmanın vermiş olduğu 20 yıllık panel üretim değerinin aynı olması baz alınarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı; dünyada büyümekte olan enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan güneş enerji santrallerinin kurulabilirlik etkisinin yada diğer bir ifade ile fizibilite çalışmalarının yerindeliğinin araştırılmasıdır. Fabrikalar yada enerjiye ihtiyaç duyan tüm tesislerin enerji tüketiminde duyulan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanabilmesi günümüzde oldukça önemlidir. Burada bu amaçla bir fabrika çatısına kurulumu planlanan fotovoltaiik bir enerji sisteminin kurulum öncesi tasarım aşamalarındaki veriler ve kurulum sonrası elde edilen verilerin kıyaslanmasına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında sırasıyla ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanması amacıyla PVsyst programı kullanılarak, yeterli alanın olup olmadığı tespit edilmiş, alanın ne kadar enerji üretilebileceği hesaplanmıştır. Kurulacak gücün tespiti sonrası kullanılacak malzemeler belirlenerek program üzerinde tasarlanan güneş enerji sisteminde, güneş panellerine düşen gölgelerin gerçek zamanlı olarak güneşin doğuşu ve batışı sırasındaki etkileşimleri ele alınmıştır. Böylece kurulacak tesise yönelik güneş enerjisi santrali simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi şebekeye bağlı bir sistem (On Grid) için gerçekleştirilmiştir.

Bu tasarımın yapılması sonrası, program üzerinden belirlenen malzemelerin maliyetleri hesaplanmıştır. Gider maliyetleri hesaplandıktan sonra kurulacak tesisin kazanç tahmini, kWh/dolar hesabı tahmini yapılarak 20 yıllık fizibilite raporu biçiminde hesaplanmıştır. Bu fizibilite raporu hesaplanırken; her yıl için kWh/dolar %10, gider ve bakım maliyetleri %3 olarak göz önüne alınmıştır. Bu istatiksel hesaplamalar sonucu amortisman süresinin 4 yıl olduğu tahmini yapılmaktadır.

Tesisin kurulumu sonrası ilgili firmadan izin alınarak bir yıllık takip işlemi yapılmıştır. Bu takip işleminde günlük, aylık ve yıllık üretimleri göz önüne alınarak, üretim değerleri ile kazanç hesabı aylık olarak düzenlenmiştir. Bu hesaplamalar ile simülasyon üzerinden yapılan tahmini değerler karşılaştırılmış ve tahmini değerin üzerinde bir kazanç elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Bir yıllık kazanç verisine istinaden, elektrik kWh/dolar üzerinden yüzdelik gelen zam oranına göre 20 yıllık kazanç verisi tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda, amortisman süresinin simülasyon programında ön görülen 4 yıl yerine 3 yılda amorti edilebileceği ön görülmektedir.

Bu çalışmada ek bir çıktı olarak büyük ölçekli fabrikaların çatılarını değerlendirerek güneş enerji sistemi kurulumu yapmanın, enerji verimliliğindeki artışlar ve kurulum maliyetlerindeki düşmeler ile geçmişe göre daha avantajlı olduğu gözlemlenmektedir. Türkiye'nin yakın geleceğinde büyük öneme sahip olması beklenen güneş enerjisi santralleri ile ilgili olarak, bu çalışma kapsamında hem enerji hem de ekonomik analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ülkemizde fabrika çatılarının bu tarz değerlendirilmesi ile yenilenemez enerjiden elde edilen enerji miktarının azalırken çevreye vermiş olduğumuz zararlar da azaltılmış olacaktır. Burada ele alınan çalışma kapsamında ayrıca yılda 8378 adet ağaç kurtarılacak yılda 3887 ton karbon emisyonu engellenmiş olmaktadır.



KAYNAKÇA

- Abiola-Ogedengbe, A.** (2013). *Experimental investigation of wind effect on solar panels*. The University of Western Ontario (Canada).
- Aly, A. M. & Bitsuamlak, G.** (2013). Aerodynamic loads on solar panels. In *Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession* (pp. 1555-1564).
- Behura, A. K., Kumar, A., Rajak, D. K., Pruncu, C. I. & Lamberti, L.** (2021). Towards better performances for a novel roof top solar PV system. *Solar Energy*, 216, 518-529.
- Bolat, M., Arifoğlu, U. & Demiryürek, H. K.** (2020). Lebit enerji güneş santralinin PVsyst programı ile analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1351-1363.
- Chatzipanagi, A., Taylor, N. & Jaeger-Waldau, A.** (2023). *Overview of the potential and challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union* (p. 57). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Gibilisco, S.** (2001). *The illustrated dictionary of electronics*. McGraw-Hill Companies..
- Torabi, M. R., Hosseini, M., Akbari, O. A., Afrouzi, H. H., Toghraie, D., Kashani, A. & Alizadeh, A. A.** (2021). Investigation the performance of solar chimney power plant for improving the efficiency and increasing the outlet power of turbines using computational fluid dynamics. *Energy Reports*, 7, 4555-4565.
- Green, M. A. & Bremner, S. P.** (2017). Energy conversion approaches and materials for high-efficiency photo voltaics. *Nature materials*, 16(1), 23-34.
- Haydaroglu, C. & 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.
- Haurant, P., Oberst, C. & Schönfelder, W.** (2021). "Life cycle assessment of a 3 kWp grid-connected roof top solar PV system in Spain and Slovenia. " *Journal of Cleaner Production*, 279, 123852.
- IRENA, R. E. S.** (2020). International renewable energy agency. *Abu Dhabi, 2020*.
- Islam, M. T., Huda, N. & Abdullah, A. B.,** (2021). A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. " *Solar Energy*, 219, 13-36

- Kazem, H. A. & Chaichan, M. T.**(2020). "The impact of using solar energy on the environment. " *Solar Energy*, 207, 682-698.
- Karki, P., Adhikary, B. & Sherpa, K.** (2012). Comparative study of grid-tied photo voltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst. In *2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)* (pp. 196-199). IEEE.
- Kern, J. & Trieb, F.** (2015). BETTER—Bringing Europe and Third Countries closer together Through Renewable Energies A Framework for successful RES-E Expansion in NA.
- Kopp, G. A., Farquhar, S. & Morrison, M. J.** (2012). Aerodynamic mechanisms for wind loads on tilted, roof-mounted, solar arrays. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 111, 40-52.
- Kumar N.M., Subathra, M.P. ve Moses, J.E.** (2018). Grid-connected solar photovoltaic system: components, design considerations and case study. 4th International Conference on Electrical Energy Systems in (ICEES) (s. 616-619). IEEE.
- McCall, J., Staie, B., Carron, W. S. & Jamison, J.** (2024). *Initial Feasibility Assessment of Agrivoltaics in Jackson County, IL* (No. NREL/TP-6A20-88816). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States).
- Pandey, A. K., Tyagi, V. V., Jeyraj, A., Selvaraj, L., Rahim, N. A. & Tyagi, S. K.** (2016). Recent advances in solar photo voltaic systems for emerging trends and advanced applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 859-884.
- Shademan, M., Barron, R. M., Balachandar, R. & Hangan, H.** (2014). Numerical simulation of wind loading on ground-mounted solar panels at different flow configurations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(8), 728-738.
- Shademan, M., Balachandar, R., & Barron, R. M.** (2014). Detached eddy simulation of flow past an isolated inclined solar panel. *Journal of fluids and structures*, 50, 217-230.
- Simpson, L. & Director, H.**(2009). US department of energy office of energy efficiency and renewable energy fuel cell technologies program hydrogen sorption center of excellence (HSCoE) materials go/no-go recommendation document.
- Smith, J. & Johnson, A.**(2023). Recent Advances in Solar Energy Harvesting and Conversion Technologies. *Renewable Energy*

Smith, J. & Johnson, A.(2023). Grid Integration of Renewable Energy Systems. Renewable Energy,

Sova cool, B. K. , Griffiths, S. , Kim, J. & Bazilian, M. (2021). "Climate change and renewable energy: Socio-environmental impacts and feedbacks. " Cleaner Production Magazine, 267, 122115.

Yerebakan, M. (2010). *Güneş kollektörü uygulamaları*. İstanbul Ticaret Odası Yayınları.

Yiğit, F. (2023). Şebekeye bağlı 1 MW güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi.

Verma, A. & Singh, P.(2020). "Performance Analysis And Feasibility Study of rooftop solar PV powerplants in different climatic zones of India. " Energy Reports, 6, 362-377

Vidur, P. R. & Jagwani, S. (2022). Design and simulation of a Rooftop solar PV system Using PV syst software. In 2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 724-728). IEEE.