ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TASARIMI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ (HATAY İLİ ÖRNEĞİ)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsa KAMACI

Danışman

Doç.Dr. Ahmet YÖNETKEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

OCAK 2025

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TASARIMI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ (HATAY İLİ ÖRNEĞİ)

İsa KAMACI

Danışman
Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

OCAK 2025

TEZ ONAY SAYFASI

İsa KAMACI tarafından hazırlanan "Çatı Tipi Güneş Enerji Santrali Tasarımı, Ekonomik ve Çevresel Analizi (Hatay İli Örneği)" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30 /01 / 2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** / **oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri **Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

Başkan **:** Prof.Dr. Yüksel OĞUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye **:** Doç.Dr. Ahmet YÖNETKEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye **:** Dr.Öğr.Üyesi Turan ŞAHMARAN
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Kırıkhan Meslek Yüksekokulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... /..... /..... tarih ve
……. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

…….
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30 / 01 /2025

İsa KAMACI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TASARIMI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ (HATAY İLİ ÖRNEĞİ)

İsa KAMACI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

Çatı üstü güneş enerji santrali tasarımının ekonomik ve çevresel etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmamız, güneş enerjisi santrallerinin yerel ekonomiye katkısını ve çevresel sürdürülebilirliği değerlendirmeyi hedeflemektedir. Hatay ilinin iklim şartları ve enerji talepleri göz önünde bulundurularak çatı üstü güneş enerji santrali tasarımının ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. PVsyst programının 7.4 sürümü kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarla, yatırım maliyeti, elektrik üretimi ve geri dönüş süresi gibi ekonomik unsurlar üzerinde odaklanılmıştır. Çevresel analizde ise güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünün karbon emisyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarlanan sisteminin ömrü 25 yıl olarak varsayılmış ve simülasyon sonuçları yılda 352.043 kWh enerji üretimi, %81,20 performans oranı ve 4,2 yıl geri ödeme süreciyle çevresel ve ekonomik açıdan yüksek verimlilik sistem ömrü boyunca 3543,4 ton CO_2 emisyonunun önlenmesi ve enerji fazlasının şebekeye aktarılabilmesi, projenin çevresel ve ekonomik katkılarını ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları 2023 yılında gerçekleşen Kahramanmaraş depremleri sonrası yeniden yapılanma sürecinde olan bölgeler için güneş enerjisi projelerinin tasarımı ve uygulanmasında önemli bir rehber niteliği taşımakla birlikte yeniden yapılanma sürecinin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak Hatay örneğinde incelenmesi, sürdürülebilir yeniden yapılanma için benzer analizlerin diğer bölgeler için yapılmasına ve benzer sistemlerin uygulanmasına öncülük edebilir.

2025, x + 60(*) sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Çatı Güneş Enerji Santrali, İklim Değişikliği, Pvsyst, Sıfır Emisyon

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ROOFTOP SOLAR POWER PLANT DESIGN, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS (HATAY PROVINCE EXAMPLE)

İsa KAMACI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems

Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet YÖNETKEN

Our study, conducted to examine the economic and environmental impacts of rooftop solar power plant design, aims to evaluate the contribution of solar power plants to the local economy and environmental sustainability. By considering the climatic conditions and energy demands of Hatay province, the study seeks to assess the economic and environmental effects of rooftop solar power plant design. Using the PVsyst program version 7.4, simulations were carried out, focusing on economic factors such as investment cost, electricity generation, and payback period. In the environmental analysis, the impact of converting solar energy into electrical energy on carbon emissions was examined. The designed system was assumed to have a lifespan of 25 years, and the simulation results revealed an annual energy production of 352,043 kWh, a performance ratio of %81,20, and a payback period of 4.2 years. The system demonstrated high environmental and economic efficiency, preventing 3,543.4 tons of CO_2 emissions over its lifetime and enabling the transfer of excess energy to the grid, highlighting the project's environmental and economic contributions. Furthermore, the results of this study serve as an important guide for the design and implementation of solar energy projects in regions undergoing reconstruction after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. By examining the reconstruction process using renewable energy sources in the case of Hatay, this study can lead the way for similar analyses and the implementation of comparable systems in other regions, promoting sustainable reconstruction.

2025, x + 60(*) pages

Keywords: Renewable Energy, Rooftop Solar Power Plant, Climate Change, Pvsyst, Zero Emissions

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen eşime, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı çocuklarım Muhammed Yavuz ve Hacer Hüma'ya teşekkür ederim.

İsa KAMACI
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ 2
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 2
2.1.1 Hidrolik Enerji 2
2.1.2 Rüzgâr Enerjisi 3
2.1.3 Biyokütle Enerjisi 3
2.1.4 Jeotermal Enerji 4
2.1.5 Dalga- Gelgit Enerjisi 4
2.1.6 Hidrojen Enerjisi 5
2.1.7 Güneş Enerjisi 6
2.2 Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji 6
2.3 Fotovoltaik Piller ve Çeşitleri 8
2.3.1 Monokristal Güneş Hücreleri 10
2.3.2 Polikristal Güneş Hücreleri 10
2.3.3 İnce Film Güneş Hücreleri 11
2.4 Fotovoltaik Sistem Donanımları 12
2.4.1 Güneş Paneli 12
2.4.2 Şarj Kontrol Cihazı 13
2.4.3 İnvertörler 13
2.4.4 Akümülatörler 13
2.4.5 Kablolar 14
2.4.6 Çift Yönlü Elektrik Sayaçları 14
2.4.7 Diğer Ekipmanlar 14
2.5 Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar 14
2.5.1 Sıcaklık kayıpları 14

2.5.2 Gölgelenme kayıpları 15
2.5.3 Kirlenme 15
2.5.4 İnvertör kayıpları 15
2.5.5 Yansıma kayıpları 16
2.6 Fotovoltaik Sistem Tipleri 16
2.6.1 Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Fotovoltaik Sistem 16
2.6.2 Şebekeye Bağlı (On Grid) Fotovoltaik Sistem 17
2.6.3 Hibrit Fotovoltaik Sistemler 17
2.7 Fotovoltaik Sistem Performans Kriterleri 19
2.8 Literatürde yapılan çalışmalar 20
3. MATERYAL ve METOT 28
3.1 Hatay İli İklimsel Verileri 28
3.2 Binanın Fiziki Bilgileri ve Enerji Tüketim Verileri 30
3.3 Sistemin tasarlanması 32
4. BULGULAR 40
4.1 Ekonomik Analiz 46
4.2 Çevresel analiz 49
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 51
6. KAYNAKLAR 54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
CO_2	Karbonmonoksit
$MtCO_2$	Metrik Ton Karbondioksit
MW	Mega Watt
KW	Kilo Watt
Yr	Referans verim
H	Bell bir alana düşen güneş ışınımı
G	Referans ışınım
KWh	Kilo Watt Saat
m^2	Metre Kare
Yf	Nihai verim
E	Sisteme verilen enerji
P_o	Kurulu güç
Pr	Performans oranı
MWp	Mega Watt Peak
KWp	Kilo Watt Peak
°	Derece
SO_2	Kükürt Dioksit
NOx	Azot Oksit

Kısaltmalar

ÇTGES	Çatı Tip Güneş Enerji Santrali
HES	Hidroelektrik Santrali
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
BES	Biyokütle enerji santrali
YY	Yüzyıl
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi

PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
ÇTGES	Çatı Tip Güneş Enerji Santrali
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
PVsyst	Photovoltaic Sytems Software (PV Sistem Yazılımı)
PV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerjisi Santrali
OG	Orta Gerilim
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Hidroelektrik Santrali 2
Şekil 2.2 Rüzgâr Enerji Santrali 3
Şekil 2.3 Biyokütle Enerji Santrali 4
Şekil 2.4 Jeotermal Sistem ve bileşenleri 4
Şekil 2.5 Dalga ve Gelgit enerjisinin üretildiği türbinler 5
Şekil 2.6 Hidrojen yakıt hücresinin çalışma şekli 5
Şekil 2.7 Sektörlere göre küresel sera gazı emisyonları 6
Şekil 2.8 Fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonu 7
Şekil 2.9 Bell laboratuvarında geliştirilen güneş pili. 9
Şekil 2.10 Güneş pili 9
Şekil 2.11 Monokristal Güneş Paneli 10
Şekil 2.12 Polikristal Güneş Paneli 11
Şekil 2.13 İnce film Güneş Paneli 12
Şekil 2.14 Güneş Paneli 12
Şekil 2.15 Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem 17
Şekil 2.16 Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem şeması 18
Şekil 2.17 Hibrit güneş enerjisi sistem şeması 18
Şekil 3.1 Hatay İli Güneş Haritası 28
Şekil 3.2 Kırıkhan Global Radyasyon Değerleri 29
Şekil 3.3 Kırıkhan ilçesi güneşlenme süreleri 29
Şekil 3.4 Kırıkhan Fotovoltaik Panel Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji 30
Şekil 3.5 Kırıkhan Meslek Yüksekokulu uydu görüntüsü 31
Şekil 3.7 Pvsyst programı proje seçim ara yüzü 32
Şekil 3.8 Proje isimlendirme ve Hava Durumu Dosyasını oluşturma ara yüzü. 33
Şekil 3.9 Hava durumu veri tabanına erişim ara yüzü. 33
Şekil 3.10 Coğrafi konum parametrelerinin belirlendiği ara yüz. 34
Şekil 3.11 Hava durum verilerinin veri tabanlarıyla sentetik olarak oluşturulması. 34
Şekil 3.12 Sentetik olarak üretilen aylık hava durumu verileri. 35
Şekil 3.13 Panel yönlendirme alanının ara yüzü. 35
Şekil 3.14 Panel yönlendirmesinin yapılması. 36
Şekil 3.15 Panel ve İnvertör seçim ara yüzü. 36
Şekil 3.16 Kayıpların belirtildiği ara yüz. 38

Şekil 3.17 Öz tüketim verilerinin sisteme tanımlandığı ara yüz. 38
Şekil 3.18 Ufuk Çizgisi görünümü ve değerleri. 39
Şekil 3.19 3B boyutlandırma yapılarak gölgelenme sahnesinin yapımı 39
Şekil 3.20 Sistem raporunun alındığı ara yüz. 40
Şekil 4.1 Proje özet verileri 41
Şekil 4.2 Sistem Genel Parametreleri 41
Şekil 4.3 Kolektör Alan Bilgileri 42
Şekil 4.4 Dizi kayıpları 42
Şekil 4.5 IAM kayıpları 42
Şekil 4.6 AC kablolama kaybı 43
Şekil 4.7 Ufuk Tanımlaması 43
Şekil 4.8 Yakın gölgeleme sahnesi perspektifi 44
Şekil 4.9 İzo gölgeleme diyagramı 44
Şekil 4.10 Genel sonuçlar 45
Şekil 4.11 Kayıplar diyagramı 46
Şekil 4.12 CO_2 emisyon bilançosu 50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 2022 Yılı enerji tüketim verileri 32
Çizelge 3.2 Güneş panelinin elektriksel ve mekaniksel özellikleri 38
Çizelge 3.3 İnvertöre ait teknik özellikler ve genel bilgiler 38
Çizelge 4.1 Kurulum maliyetleri 49

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi dünya genelinde hızla artmakta ve bu artış, geleneksel fosil yakıt kaynaklarına olan bağımlılığımızı artırmaktadır. Bu durum hem çevresel sürdürülebilirliğimizi tehdit etmekte hem de enerji maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik ilgi ve araştırmalar büyük bir önem kazanmıştır.

Güneş enerjisi, temiz ve sınırsız bir enerji kaynağı olması nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir. Bu kaynak, çevresel etkileri en aza indirirken uzun vadede enerji maliyetlerini azaltma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyeli en üst düzeye çıkarmak için, güneş enerjisi sistemlerinin yerleşim yerlerine uygun bir şekilde tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Dünya çapında artan karbon emisyonları ve iklim değişikliği endişeleri, uluslararası toplumun karbon azaltma çabalarını hızlandırmasına neden olmuştur. Karbon emisyonlarının azaltılması için önemli bir adım, güneş enerjisi gibi temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve karbon salımını en aza indirmek için etkili politikalar geliştirmektir. Türkiye gibi büyük bir ülkenin, bu küresel tehdide karşı taahhütlerini yerine getirirken, aynı zamanda kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamak için temiz enerjiye yönelmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin karbon emisyonu politikalarını inceleyerek ve aynı zamanda uluslararası anlaşmaları göz önünde bulundurarak, çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulumunun hem çevresel hem de ekonomik faydalarını değerlendirmektedir. Türkiye'nin enerji sektöründe çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaştırılması, karbon emisyonlarını azaltma ve enerji bağımsızlığını artırma konusunda önemli bir adım olabilir.

Deprem sonrası yeniden yapılaşma sürecinde, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik önemli faktörlerden biridir. Güneş enerjisi kullanımı, çatıların yeniden inşası sırasında dikkate alınabilecek çevre dostu bir seçenektir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal ve sınırsız kaynaklardan elde edilen enerji türlerini ifade eder. Bu tür enerji genellikle çevreye daha az zarar verir ve sürdürülebilir enerji arzını sağlar. Güneş, rüzgâr, su, biyokütle ve jeotermal gibi çeşitli kaynaklar, bu kategoriye girer. Bu kaynaklar, tükenmeyen ve çevreye zarar vermeden kullanılabilen alternatifler sunarlar. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretiminde çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından önemli bir rol oynar ve giderek daha fazla tercih edilir hale gelir.

2.1.1 Hidrolik Enerji

Suyun kinetik ve potansiyel enerjisinin hidroelektrik santralleri vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santralleri baraj tipi ve akarsu tipi olmak üzere iki ana kategoride kurulurlar ve yatırım maliyetleri yüksek olup uzun ömürlüdürler. Enerji üretmek için su kullanıldığı için yakıt masrafı yoktur ve karbon emisyonu çok düşüktür. Hidroelektrik santralleri yüksek verimlilikte çalışan ve düşük işletme maliyeti olan yapılardır. Hidrolik enerji bu özellikleri barındırdığı için su kaynakları bakımından zengin ülkelerde rağbet gören bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Özel 2023). Şekil 2.1'de bir hidroelektrik santrali gösterilmiştir.

Şekil 2.1 Hidroelektrik Santrali (İnt. Kyn. 1)

2.1.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneş ışınlarının dünyamızı eşit bir şekilde ısıtmamasından oluşur. Atmosferimizde bulunan hava molekülleri ısınarak yükselir ve yükselen hava moleküllerinin yerine soğuk hava molekülleri gelerek bir hava akımı oluşturur. Bu hava akımı da rüzgardır. Hava akımının kinetik enerjisi rüzgâr türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgâr potansiyeli olan alanlarına rüzgâr türbinleri yerleştirilerek Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) kurulur ve bu yenilenebilir enerji kaynağından yararlanılır (İlkılıç 2016). Şekil 2.2'de bir rüzgâr enerji santrali gösterilmiştir.

Şekil 2.2 Rüzgâr Enerji Santrali (İnt. Kyn. 2)

2.1.3 Biyokütle Enerjisi

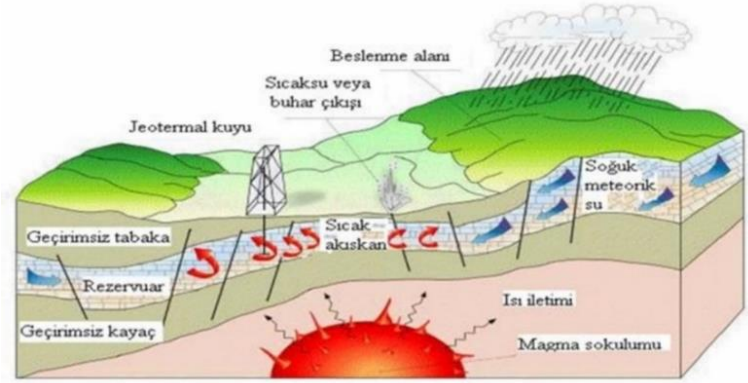
Biyokütle Enerjisi, bitki ve hayvan kaynaklı organik maddelerin iki çeşitle enerjiye dönüştürüldüğü bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Birinci yöntem ürünlerin direk yakılarak ısı elde edilmesidir buna klasik biyokütle enerjisi denir. (Örn: Odunun yakılmasıyla çıkan ısıdan yararlanma.) İkinci yöntemi ise modern biyokütle enerjisi olarak geçmektedir. Bu yöntemde bitki ve hayvan kaynaklı organik maddelerden klasik yönteme göre daha yenilikçi ve sürdürülebilir metotlarla enerji elde edilir. Bu metotlar termokimyasal (piroliz) organik maddeleri çeşitli kimyasal ve biyolojik işlemlere tabi tutmaktır (Aybek vd. (2015). Şekil 2.3'te hayvansal atıklardan elektrik enerjisi elde edilen bir biyokütle enerji santrali (BES) gösterilmiştir.

Şekil 2.3 Biyokütle Enerji Santrali (İnt. Kyn. 3)

2.1.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynaklar, yeraltındaki ısının doğal bir yansımasıdır. Bu ısının kaynağı, yerkabuğunun farklı derinliklerinde birikmiş çeşitli elementler ve sıcak su, buhar ve gazlar biçiminde bulunur. Jeotermal enerji ise bu derinliklerdeki kayaların içinde depolanan ve akışkanlar aracılığıyla taşınan ısıyı ifade eder. Sıcak su, buhar, kuru buhar ve yapay yöntemlerle elde edilen ısı enerjisi, jeotermal enerjinin çeşitli formlarını oluşturur (Kılıç 2013).

Şekil 2.4'te Jeotermal sistem ve bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Jeotermal Sistem ve bileşenleri (İnt. Kyn. 4)

2.1.5 Dalga- Gelgit Enerjisi

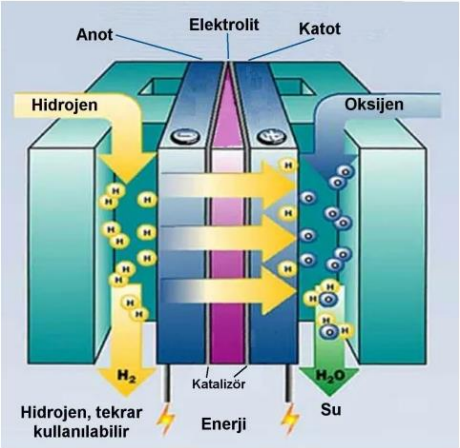
Deniz ve okyanuslar, rüzgâr, akıntı, dalga ve gelgit gibi etkenlerle sürekli hareket halindedir. Bu su kütlelerinin hareketi, muazzam miktarda kinetik enerji üretir ve bu da

yenilenebilir enerji elde etmek için büyük bir potansiyele dönüşür. Dalga enerjisi, deniz dalgalarının hareketinden ve basınç değişimlerinden faydalanarak türbinlerle elektrik üretirken, gelgit enerjisi de ay ve güneşin yerçekimi etkisiyle oluşan gelgit hareketlerini türbinleri döndürmek için kullanır. Her iki enerji türü de temiz, yenilenebilir ve öngörülebilir bir enerji kaynağıdır (Uygur vd. 2006). Şekil 2.5'te Dalga ve Gelgit enerjisinin üretildiği türbinler gösterilmektedir.

Şekil 2.5 Dalga ve Gelgit enerjisinin üretildiği türbinler (İnt. Kyn. 5)

2.1.6 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen fosil yakıtlarda olduğu gibi doğal yollarla oluşan bir yakıt çeşidi değildir, su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi kaynakların elektroliz, fotosentez ve termokimyasal süreçler sonucunda üretilen sentetik bir yakıt türüdür. Yanma ürünü su olduğu için temiz bir enerji olarak kabul edilir. Halen yüksek maliyetli bir enerji olduğu için geliştirme aşamasındadır (Kılıç 2023). Şekil 2.6'da bir hidrojen yakıt hücresinin çalışma şekli gösterilmiştir.



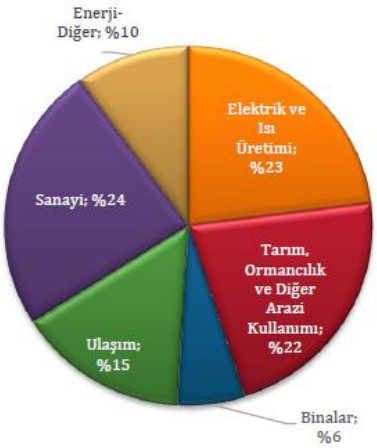
Şekil 2.6 Hidrojen yakıt hücresinin çalışma şekli (İnt. Kyn. 6)

2.1.7 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan ışınımın dünyamızda ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Isınmada kullanımı için güneş kolektör teknolojisi, elektrik enerjisine dönüştürmede fotovoltaik pil teknolojileri geliştirilmiştir (Erdem vd. 2015)

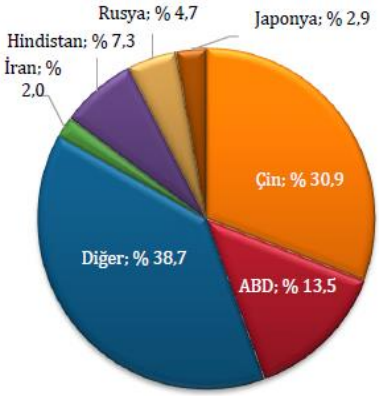
2.2 Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

18.yy sanayi devriminden sonra teknolojinin de hızla ilerlemesi ve insan nüfusunun artmasıyla bu sektörlerin enerjiye olan ihtiyacı devam etmektedir. Bu sektörlerin ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmı yenilenemez enerji kaynaklarından olan kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklı birincil enerjinin elektrik, mazot, benzin, LPG gibi ikincil enerji kaynaklarına dönüşümüyle karşılanmaktadır. Bu dönüşümde ortaya çıkan sera gazlarının ısı tutucu özelliği atmosferin sıcaklığını artırıp küresel ısınmaya yol açmaktadır. Sera gazları içerisinde en yüksek pay ise karbon emisyonlarına aittir. Ülkeler küresel ısınmayı önleme ve ekonomik büyümelerini devam ettirme adına ekonomik büyüme-karbon salımı ilişkisi üzerine politikalar geliştirmektedir. Ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması için karbon emisyonun azaltılması gerektiği ve bu azaltımın da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak sağlanabileceği belirlenmiştir (Kılınç ve Altıparmak 2020). Küresel sera gazı salımına %33 oranla enerji sektörünün etkisi görülmektedir. Elektrik ve ısı enerjisi üretiminin payı %23'tür. Şekil 2.7'de sektörlere göre küresel sera gazı emisyonları gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Sektörlere göre küresel sera gazı emisyonları (EÜAŞ 2022)

Dünyanın fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonu yayan ülkeler 2021 yılı sonu itibarıyla Çin, Amerika Birleşik Devleti (ABD), Hindistan, Rusya, Japonya ve İran sıralanmıştır. Ülkemizde 446 $MtCO_2$ değeriyle 13. Sırada bulunmaktadır (EÜAŞ 2022, EÜAŞ 2014). Şekil 2.8'de Fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonu (EÜAŞ 2022)

Bu veriler ışığında enerji kaynaklı karbon salımında en önemli pay elektrik enerjisi ve ısı üretiminde kullanılan fosil kaynaklı petrol, kömür ve doğalgazdır. Ülkemizin de 2022 yılı itibarıyla kurulu elektrik gücünün %58,03'ü fosil kaynaklı yakıtların kullanılmasıyla karşılanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerdeki gelişen teknoloji ile ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli ortaya çıkmaya başlamış ve 2014 yılında kurulu elektrik gücümüzün %0,06'lık kısmına tekabül eden 40,2 MW elektrik enerjisiyle hayatımıza girmeye başlamıştır (Birpınar 2022).

Güneş enerjisinin kullanımına ilişkin teşvikler ve oluşan farkındalık güneş paneli üretimi noktasında ülkemizde yatırımları artırmış ülkemizde güneş paneli üretim fabrikaları açılmıştır (EÜAŞ 2022). 2024 yılı sonu itibarıyla üretilen elektrik enerjisinin %53,59'u fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretim oranı ise %46,41'dir (İnt. Kyn.7). 2024 yılında güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi 23.579.425,696 MWh olarak kaydedilmiştir (İnt. Kyn. 8).

Ülkemiz yenilenebilir enerjisinin kullanımında teşviklere devam etmektedir. 2019 yılında yayınlanan Cumhurbaşkanlığı kararnamesi ile mesken abonelerinin 25 kW'a

kadar, elektrik tüketimi yüksek olan abonelerin ise bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücü iki katı sınır olmak kaydıyla kullandıkları enerjiyi lisanssız bir şekilde üreterek ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin de şebekeye verilmesi halinde 10 yıl boyunca alım garantisi vermiştir (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019). Bu kararla lisanssız üretimin tüketime özgünleşmiş üretim haline gelmesi amaçlanmaktadır. Üretimin tüketime özgünleşmesi modeli ülkemizin 2053 net sıfır emisyon politikasında güneş enerjisinin potansiyelini belirtmektedir.

2.3 Fotovoltaik Piller ve Çeşitleri

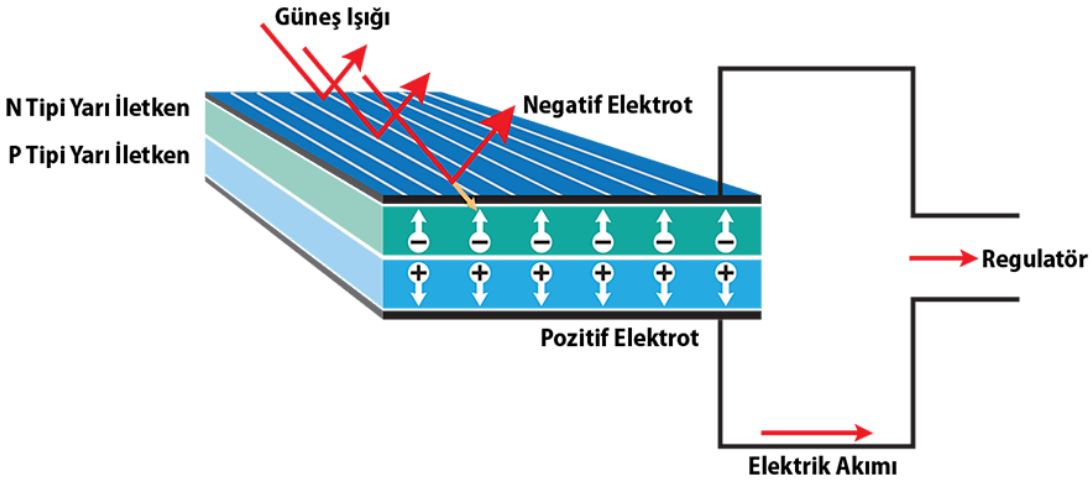
Fotovoltaik terimi, köken olarak Yunanca "photo" (ışık) ve "voltaic" (gerilim veya elektrik üreten) sözcüklerinin birleşiminden gelmektedir. Bu terim, ışıktan elektrik üretimi anlamına gelmektedir ve temelde fotovoltaik etki ile ilgilidir. Fotovoltaik etki, yarı iletken malzemelerin kullanıldığı fotovoltaik piller aracılığıyla güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanmaktadır. Bu süreç, güneş ışınlarının yarı iletken materyallerde elektronların hareketine neden olarak elektrik akımı oluşturması prensibine dayanır (Aksangör 2019). Bu fotovoltaik olayı ilk olarak 1839 yılında Fizikçi Edmond Becquerel elektrokimya alanında ışığın etkisini araştırırken hazırlamış olduğu elektrolitte ışık etkisiyle bir elektrik enerjisi üretebileceğini keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır.1873 yılında ise Willoughby Smith, selenyumun foto iletken özelliğini keşfetmiştir. 1883 yılında ise %1 verime sahip ilk güneş pili Charles Fritts tarafından geliştirilmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, 1954'te Bell Laboratuvarında silisyum kullanılarak %6 verim değerinde çalışan güneş pili üretilmiştir. 1957 yılında Hoffman Elektronik şirketinin de silisyumdan imal ettiği güneş pillerinin verimliği %9 seviyelerine ulaşmıştır. Aynı firmanın ürettiği güneş panellerinin uzay araçlarında kullanılmasıyla verimlilik üzerine çalışmaları artmıştır ve 1960 yıllarda verimlilik düzeyi %14 olan silisyum güneş panelleri geliştirilmiştir (Aksangör 2019). Şekil 2.9’da Bell Laboratuvarında geliştirilerek halka tanıtılan güneş pili gösterilmiştir.

Şekil 2.9 Bell laboratuvarında geliştirilen güneş pili. (İnt. Kyn. 9)

1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi sonunda güneş panellerine olan ilgi daha da artırmıştır. 1980'li yıllarda da büyük ölçekli güneş enerji santrallerinin kurumları yapılmıştır. Güneş panellerinin verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalarda bu süreçte devam etmiştir. New South Wales Üniversitesi araştırmacıları silisyumdan geliştirdikleri iki eklemli fotovoltaik hücrelerde %20 verime ulaşmışlardır. Araştırmacılar yine 2000'li yılların başlarında üç eklemli fotovoltaik hücreler geliştirmiş ve verimi %41,6'ya çıkarmışlardır (Çelik vd. 2020). Şekil 2.10'da bir güneş pili gösterilmiştir.

.



Şekil 2.10 Güneş pili (İnt. Kyn. 10)

2.3.1 Monokristal Güneş Hücreleri

Monokristal silisyum elde edilmesinde en yaygın kullanılan yöntem "Czochralski Metodu"dur. Bu yöntem, 1971 yılında Czochralski tarafından geliştirilmiş olup, küçük bir aşı kristalinin alınıp kristal malzeme içine batırılması ve bunun soğuk bir alana belirli aralıklarla yavaşça çekilmesi suretiyle uzun bir tek kristalli silindir elde edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu süreç, yüksek sıcaklıkların uygulanmasını gerektirir. Ardından, birkaç metre uzunluğunda ve 0,3 cm çapında silisyum silindirler oluşturulur ve dairesel, dikdörtgen veya çokgen şekillerde pah verilir. Daha sonra, bu silindirler 0,2-0,3 mm kalınlığında ince şeritlere kesilir. Bu işlemlerle oluşturulan ince şeritler, p-tipi malzemeyi oluşturur. N-tipi malzeme ise fosforun yayılmasıyla çok ince yapıda meydana gelir. P ve N tabakalar birleştirilerek birleştirici bağlantılarının montajı yapılır. Montaj işleminden sonra, yansımayı önlemeye yönelik cam tabaka ile yapıştırma işlemi için özel yapıştırıcılar kullanılır. Bu süreçler sonucunda fotovoltaik pil oluşturulur. Hücreler birleştirilerek güneş paneli oluşturulur (Şahin 2024). Şekil 2.11'de Monokristal Güneş Paneli gösterilmiştir.

Şekil 2.11 Monokristal Güneş Paneli (Şahin 2024)

2.3.2 Polikristal Güneş Hücreleri

Polikristal güneş hücrelerinin üretim sürecinde ilk adım, monokristal güneş hücrelerinde olduğu gibi başlar. Ancak, polikristal güneş hücreleri birden fazla kristal yapısına sahip

silikon malzemeden oluşturulur. Bu panellerin temel özellikleri, genellikle daha düşük verimlilik ve daha yüksek hücre kaybına sahip olmalarıdır. Görsel olarak, polikristal güneş hücreleri mavi renkte ve çeşitli kristal yapıların birleşiminden oluşan bir görünüme sahiptir. Daha sonra bu hücreler bir araya getirilerek güneş panelleri oluşturulur. Bu tür paneller genellikle ekonomik avantajları nedeniyle büyük ölçekli uygulamalarda tercih edilirler (Yiğit 2023). Şekil 2.12'de Monokristal Güneş Paneli gösterilmiştir.

Şekil 2.12 Polikristal Güneş Paneli (Şahin 2024)

2.3.3 İnce Film Güneş Hücreleri

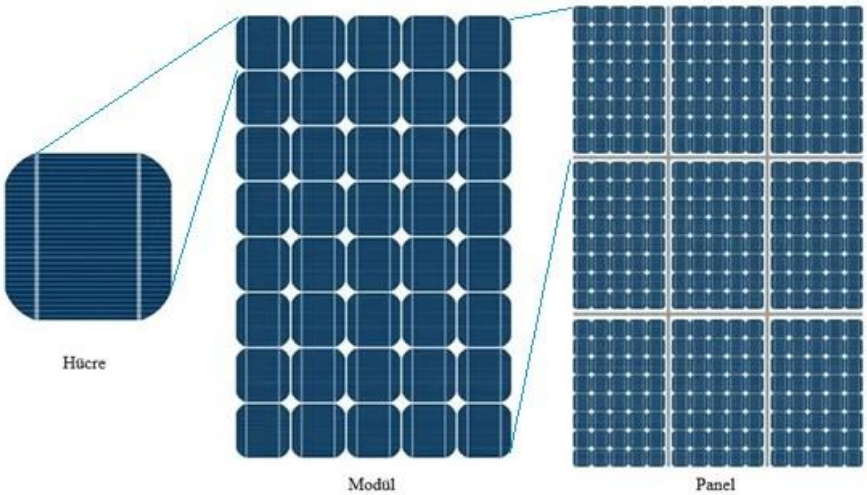
İnce film güneş hücreleri, üst üste yerleştirilen yarı iletken katmanlardan oluşan ikinci nesil güneş hücrelerinden oluşur. Bu güneş hücrelerinde 3 tip yarı iletken kullanılır. amorf silikon'dan imal edilen güneş hücrelerinin verimi % 6, kadmium tellür'den imal edilen güneş hücrelerinin verimi %9, bakır indiyum galyum selenid'den imal edilen güneş hücrelerinin verimi %10'dur.Bu güneş hücrelerinden oluşturulan panellerin verimi düşük olmasına karşın geleneksel silikon tabanlı panellere kıyasla daha düşük maliyetli bir üretim sürecine sahiptirler ve aynı zamanda esneklik, hafiflik ve yüksek sıcaklık performansı gibi avantajlara da sahiptirler. Bu özellikler, ince film panellerin özellikle mobil uygulamalar, çatı sistemleri ve mimari entegrasyon gibi alanlarda tercih edilmesini sağlamaktadır (Boz 2011). Şekil 2.13'te İnce Film Güneş Paneli gösterilmiştir.

Şekil 2.13 İnce film Güneş Paneli (Şahin 2024)

2.4 Fotovoltaik Sistem Donanımları

2.4.1 Güneş Paneli

Fotovoltaik sistemlerin en temel taşı güneş panelleridir. Güneş panelleri fotovoltaik hücrelerin birleştirilmesi ile meydana gelir. Fotovoltaik hücreler tek başlarına istenilen enerjiyi üretemezler bu sebeple seri bağlanarak modüller oluşturulur. Modüllerde de istenilen gerilim seviyesi için seri bağlantı istenilen akım değeri içinde paralel bağlanarak fotovoltaik sistemlerin en önemli unsuru güneş panelleri oluşmaktadır. (Atakul vd. 2015). Şekil 2.14'te Fotovoltaik hücrelerinin birleştirilmesiyle oluşan güneş paneli gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Güneş Paneli (İnt. Kyn. 11)

2.4.2 Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazları, güneş enerji sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisini düzenleyerek sistem ekipmanlarından olan akülerin aşırı şarj olmasını önleyen ve aynı zamanda aküden panellere ters akımın oluşmasını engelleyen önemli cihazlardır. Bu cihazlar genellikle iki temel prensip üzerine çalışır: Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) cihazı panellerden gelen enerjiyi düzenli darbe genişliği ile kontrol ederken Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) cihazı güneş panellerinden maksimum güç noktasını izleyerek en verimli enerji üretimini sağlar. Bu teknolojiler, genellikle şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemlerinde kullanılır ve fotovoltaik üretim sisteminin performansını ve ömrünü önemli ölçüde etkilerler (Çelik 2019).

2.4.3 İnvertörler

İnvertörler güneş panellerinde üretilen doğru akımı kullanıcı yüklerini besleyen alternatif akıma dönüştüren cihazlardır (Küçükgöze 2016). Güneş enerji sistemlerinde Şebekeye bağlı çalışan invertör ve Şebekeden bağımsız çalışan invertör olmak üzere iki tür invertör kullanılmaktadır.

Şebekeye bağlı çalışan invertör: Güneş enerji sisteminin şebekeye de bağlı olduğunu ifade eder. Bu invertör türünde sistem ihtiyacı olan gücü üretemediğinde şebekeden de enerji alınabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca sistemin ihtiyaç fazlası olarak üretilen elektriğin sistemde depolamaya ihtiyacı yoksa şebeke bağlantısı sayesinde dağıtım şirketlerine çift yönlü sayaç ile iletimini sağlamaktadır. Bu sistemin enerji üretimini ve tüketimini optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Şebekeye bağlı çalışan invertör: Güneş enerji sisteminin şebekeye bağlı olmadığını ifade eder. Bu invertör türünde sistem ihtiyacı olan gücü karşılar ve ihtiyaç fazlası enerjiyi daha sonra kullanmak üzere akülere depolar (Şahin 2024).

2.4.4 Akümülatörler

Aküler şebekeden bağımsız sistemlerde güneş panellerinde üretilen enerjinin güneşin olmadığı zamanlarda kullanabilmesini sağlayan sistem elemanlarıdır. Sistem tasarımcıları tarafından akü tercihinde maliyet/performans oranı yüksek, az bakım gerektiren, ömrü uzun, verimi yüksek, dış darbelere karşı mukavemetli, düşük şarj da

bile enerji depolama özelliği olan, insan sağlığına ve çevreye karşı güvenilir olması dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır (Çınaroğlu 2023).

2.4.5 Kablolar

Güneş enerji sistemlerinde AC kablolar ve DC solar kablolar kullanılmaktadır. DC solar kablolar güneş enerji sistemleri için özel olarak üretilmektedir. Akım taşıma kapasitesine göre 4mm, 6mm, 10mm gibi çaplarda üretilerek güneş panellerinde üretilen enerjisinin invertörü bağlantısını sağlamaktadır. Solar kablolar iklimsel değişikliklere, yangınlara karşı dayanıklı olup mekanik dayanımı ve çalışma gerilimleri yüksektir. AC kablolar ise invertörü şebekeye bağlamaktadır (Türkyılmaz 2023)

2.4.6 Çift Yönlü Elektrik Sayaçları

Çift yönlü elektrikli sayaçlar şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinde sistem tarafından üretilen enerjinin şebekeye aktarılması esnasında aktarılan enerjinin miktarını kaydeden cihazdır. Aynı zamanda güneş enerji sistemin enerji üretmediği zamanlarda şebekeden kullanılan enerjiyi de kaydetmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde bu iki veri sonucunda enerji sağlayıcı firma ile mahsuplaşmaya gidilmektedir.

2.4.7 Diğer Ekipmanlar

Güneş enerji sistemlerinde bu ekipmanlar haricinde bağlantı konnektörleri, güneş enerji sisteminin yerleştirilmesinde kullanılan konstrüksiyon malzemeleri, güç izleyicileri, yangın söndürme sistemleri, koruma ekipmanları, güneş izleme sistemleri gibi ekipmanlarda bulunur.

2.5 Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar

2.5.1 Sıcaklık kayıpları

Güneş enerji sistemlerinin elektrik enerji üretmesi güneş ışınımı ile alakalı olduğu için güneş panellerinin güneş ışınımından etkilenmesi kaçınılmazdır. Güneş panelinin sıcaklığının artması panel kısa devre akımını artırmakta ve panel gerilimini hızlı bir şekilde düşürmektedir. Bu sebepten ötürü gerilimdeki düşme oranı, akımın artış oranından daha fazla olduğundan panel çıkış gücü de düşmektedir (Bayrak vd. 2023).

2.5.2 Gölgelenme kayıpları

Gölgeleme, güneş enerji sistemlerinde güneş panellerinin işlevselliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Fotovoltaik hücrelerin gölge etkisiyle yaşadığı ışınım kaybı, fotovoltaik hücrelerin ürettiği enerjide azalmaya neden olur. Gölgelenen bir fotovoltaik hücre, diğer hücrelere kıyasla ters yönde polarize olmuş bir diyot etkisi gösterir, bu da hücrenin ters güç üretmesine yol açar. Bu durumda, gölgelenen hücrenin elektrik akımı üzerindeki etkisi artar ve bu da hücrede ani bir sıcaklık artışına neden olabilir. Gölge faktörü, sadece sistem tarafından üretilen enerjinin azalmasına değil, aynı zamanda hücrelerin aşırı ısınmasından dolayı fotovoltaik panellerin ömrünün kısalmasına veya kritik sıcaklık eşiğinin aşılması durumunda panelin hasar görmesine de yol açabilir. Bu nedenle, güneş enerji sistemlerinde gölgelenme faktörünün minimize edilmesi veya ortadan kaldırılması büyük önem taşır. Fotovoltaik sistemlerin tasarım aşamasında gölgelenme analizleri yapılarak, panellerin gölgelenme olasılığı en aza indirilmeye çalışılır. Bu yaklaşım, sistem verimliliğini artırmak ve panellerin uzun ömürlü olmasını sağlamak için temel bir stratejidir (Dere 2023).

2.5.3 Kirlenme

Güneş panellerinin verimini düşüren etkenlerden biri de panel yüzeyinin kirlenmesidir. Güneş panelin yüzeyine yerleşen toz ışınımı engellediği için panelin verimi düşmektedir. Güneş enerji sistemlerinin artık daha az yağış alan coğrafyalarda kullanıma başlamasıyla kirlenme sistem kayıpları açısından büyük problem oluşturmaktadır. Bu kirlenme problemini önlemek için birçok manuel ve mekanik temizleme yöntemi mevcuttur. Bu temizlik işlemi, modülün performansının artırılmasına ve daha yüksek enerji üretimine katkıda bulunur. Bulunduğu ortam olarak tozlu ve kirli güneş enerji sistemlerinin düzenli temizlenmesi sistem performansına olumlu katkı sağlayacaktır (Gümüş ve Çubukçu 2023).

2.5.4 İnvertör kayıpları

Güneş enerjisi sisteminde üretilen DC akımı kullanıcı yüklerini beslemek için AC akıma dönüştüren invertörlerin seçimi güneş enerjisi sisteminin verimini doğrudan etkilemektedir. Sistem tasarımına uygun ve kaliteli invertör seçimi yapılmadığı zaman

seçilen invertör sisteme uygun olmayıp üretilen enerjiyi kapasitenin altında dönüştürerek verim kaybına yol açmaktadır (Yiğit 2023).

2.5.5 Yansıma kayıpları

Güneş enerji sisteminde kullanılan güneş panellerinin yüzeyine gelen güneş ışınımlarının bir kısmı güneş hücreleri tarafından emilirken bir kısmı da atmosfere geri yansır. Yansıma kaybı bu geri yansımadan ismini alır ve panellerin üretiminde kullanılan malzemenin kaliteli oluşuna, optik yansımasına, iletimdeki kayıpların azlığına ve emilen radyasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Bu kayıpları önlemek için güneş panelinin yüzeyindeki cam güneş radyasyonunun emiliminin en üst seviyeye çıkarmak ve yansımayı en aza indirmek için tasarlanmıştır. Aynı zamanda yansıyan ışınım güneş panellerinin yönlendirme açısına ve panellerin kırılma indisine bağlıdır. Normal şartlarda bir güneş paneli yüzeyine gelen güneş ışınımın %4'ünü geri yansıtır (Sülü 2019).

2.6 Fotovoltaik Sistem Tipleri

Güneş enerjisi 3 farklı sistem kullanılarak tasarlanabilmektedir. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit sistemler tanımlanabilir.

2.6.1 Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Fotovoltaik Sistem

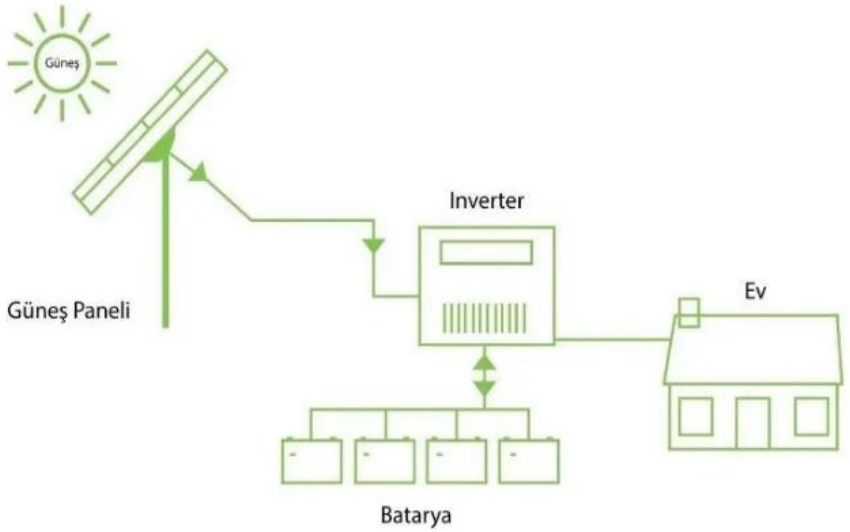
Şebekeden bağımsız olarak tasarlanan fotovoltaik sistem ekipmanları güneş paneli, akümülatör, şarj kontrol cihazı, invertördür. Bu sistemde gün içerisinde güneş panelleri vasıtasıyla üretilen DC akım şarj kontrol cihazı marifetiyle akülere depolanarak kullanım için hazır halde tutulur. Depolanan DC akım kullanıcının ihtiyacını karşılayan cihazları çalıştırmak için invertör vasıtasıyla AC akıma dönüştürülerek kullanılır (Gülsever 2020).

Şebekeden bağımsız sistemin özellikleri:

1- Sistemde üretilen enerji depolanarak kullanılacağı için sistem kurulum maliyeti akü kaynaklı yüksektir.
2- Aküler daima sistemi besleyecekleri için zamanla bakıma ihtiyaç duyacak ve bozulan aküler ekstra maliyet oluşturacaktır.

3- Elektrik şebekesine bağlı enerji arzının olmadığı yerlerde elektrik enerjisine erişimi sağlar.

Şekil 2.15'te Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem (İnt. Kyn. 12)

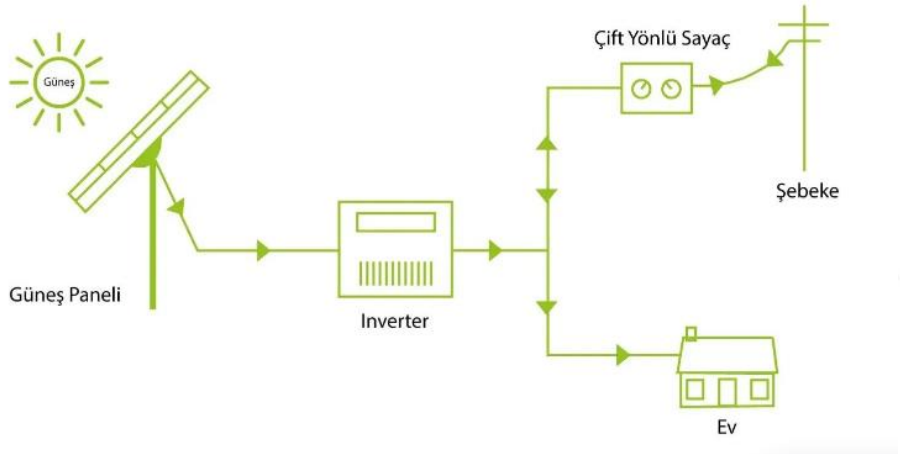
2.6.2 Şebekeye Bağlı (On Grid) Fotovoltaik Sistem

Şebeke bağlantılı olarak tasarlanan sistemin amacı güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin konutlarda ve iş yerlerinde kullanmak olup, kurulu olduğu tesiste ihtiyaç fazlası olan elektrik enerjisini şebekeye iletmektir. Bu sistemler küçük güç değerlerinde tasarlanabildiği gibi yüksek güç değerlinde de tasarlanabilmektedir. Eğer güneş enerji sistemi tesisin ihtiyacını karşılayamazsa şebekeden elektrik enerjisi almaktadır. Sistemde kullanılan çift yönlü sayaç sayesinde sistem enerjisi izlenmekle beraber tesisin şebekeden kullandığı ve şebekeye enjekte enerji şebekeyi yöneten firma tarafından takip edilmekte ve mahsuplaşma yoluna gidilmektedir (Çetin 2019). Şekil 2.16'da Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem şeması gösterilmiştir.

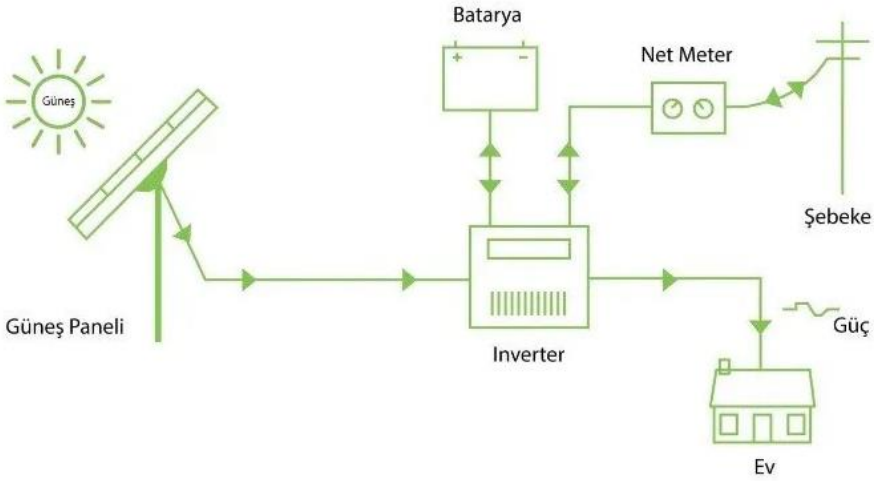
2.6.3 Hibrit Fotovoltaik Sistemler

Hibrit olarak tasarlanan güneş enerji sistemleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik panellerin yanı sıra rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ve fosil yakıtlı enerji üretim sistemlerinin entegrasyonuyla oluşan bir enerji çözümüdür.

Özellikle rüzgâr-güneş hibrit fotovoltaik sistemler sıkça tercih edilmektedir. Hibrit sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak tasarlanabilirler. Hibrit sistemlerin ortaya çıkışı, güneş enerjisinin ışınımında yıllık değişkenliklerin olmasıyla ilişkilidir. Bu sistemlerde ani enerji kesintilerinde veya üretim eksikliklerinde diğer enerji üretim kaynakları devreye girerek enerji sürekliliğini sağlamayı hedefler. Güneş panellerinden enerji elde edildiği zamanlarda sistemin enerjisinin tamamı fotovoltaik güneş enerji sistemlerinden karşılanabilir. Sistemin ürettiği fazla enerji akülerde depolanır ve enerji üretilemediği vakitlerde sistem akü tarafından beslenir. İhtiyacın karşılanamadığı durulmalarda ise sisteme bağlı ikinci enerji kaynağından kullanıcı ihtiyacı giderilir (Bayraktar 2013). Şekil 2.17'de Hibrit güneş enerjisi sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem şeması (İnt. Kyn. 13)



Şekil 2.17 Hibrit güneş enerjisi sistem şeması (İnt. Kyn. 14)

2.7 Fotovoltaik Sistem Performans Kriterleri

International Energy Agency (IEA) kurumu fotovoltaik güneş enerji santrallerinin performansını belirlemekte kullanılacak IEC 61724 standardını tanımlamıştır. Bu standart kapsamında bir fotovoltaik sistemin performansını belirlemekte kullanılacak parametreler belirlenmiştir. Bir Fotovoltaik sistemin performansının belirlenmesinde referans verim, nihai verim ve performans oranı parametreleri kullanılır. Bu parametrelerden referans verim, panel yüzeyine gelen toplam güneş ışınımının referans ışınıma kW/m² cinsinden oranı olup aşağıdaki denklemle tanımlanır.

$$Yr = \frac{\mathrm{H(kWh/m^2)}}{\mathrm{G(kW/m^2)}} \tag{2.1}$$

Yr: Referans verim

H: Güneş ışınımı

G: Referans ışınım

Diğer performans parametresi nihai verim, sisteme verilen enerjinin (E), kurulu güce P_0 oranı olup aşağıdaki denklemle tanımlanır.

$$\mathrm{Yf} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{P_o}} \tag{2.2}$$

Yf = Nihai verim

E = Sisteme verilen enerjinin

P_0 = Kurulu Güç

Bir diğer performans parametresi de Performans oranıdır. Performans oranı standart koşullarda nihai verimin referans verime oranıdır. Aşağıdaki denklemle tanımlanır (Haydaroğlu ve Gümüş 2016)

$$Pr = \frac{\mathrm{Yf}}{\mathrm{Yr}} \tag{2.3}$$

Pr = Performans oranı

Yf = Nihai verim

Yr = Referans verim

Performans oranı kurulu güç ve ışınım şiddetinden arındırılmış olmasından dolayı sistemin optimum verim elde edilecek şekilde tasarlandığını gösterir bir katsayıdır. Bu sebeple farklı teknoloji ve coğrafi alanlarda tasarlanan fotovoltaik sistemlerin performansları kıyaslanabilmektedir (Boztepe 2017).

2.8 Literatürde yapılan çalışmalar

PVsyst programı ile literatürde tasarlanmış birçok güneş enerji santralleri tasarımı mevcuttur. Kullanıcıların PVsyst programını tercih etmesinde, kullanıcı arayüzünün tasarım ve analizlerde işlevsel olması, gerçeğe en yakın sonuç vermesi önemli bir sebeptir. Ayrıca programın tasarımcılara sunmuş olduğu geniş veri tabanı sayesinde gerçeğe yakın tasarımlar yapılmaktadır. Literatür taramamız çalışmamıza daha iyi yol göstermesi için son yıllarda yapılan güncel çalışmalar dikkate alınarak yapılmıştır.

Akkaya ve Oy (2021), Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi, çalışmalarında; üç farklı simülasyon programıyla üç farklı güneş ışınım verisine sahip olan bölgede bulunan evler için günlük ortalama elektrik enerjisi tüketimi 7,2 kWh baz alınarak 3,5 ve 10 KW güçlerinde şebekeye bağlı santral tasarımı yapmışlardır. PVGIS, PVsyst ve HOMER programlarıyla yaptıkları tasarımların maliyet analizlerini yaparak yatırıma uygunluk seviyelerini belirlemişler ve 10 KW'lık santralin yatırıma uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Aksangör (2019), Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi adlı çalışmasında, bir üniversite kampüsünde bulunan bazı binaların enerji ihtiyacının güneş enerjisi kullanarak karşılanması durumunda şebekeye bağlı bir çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı gerçekleştirmiştir. 2160 adet 280 W güçte fotovoltaik paneli binanın uygun çatı alanı doğrultusunda yerleştirmiş ve 16 adet 32 kW gücünde invertör kullanarak sistemi tasarlamıştır. Tasarlamış olduğu sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı 712,3 MWh olup sistemin performans oranı %84,1 olarak belirtmiştir.

Çağlayan (2023), The Technical and Economic Assessment of a Solar Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System for a Dairy Farm adlı çalışmasında: yıllık ortalama 45.327 kWh enerji ihtiyacını karşılamak üzere bir süt çiftliği için tasarlanan şebeke bağlantılı 216 kWp çatı üstü güneş paneli sisteminin teknik ve ekonomik analizini değerlendirmektedir. Sistemin simülasyon sonuçlarına göre sistemden ortalama 326.819 kWh/yıl enerji elde edilebildiği, şebekeye ise öz tüketim harici 294.838 kWh/yıl enerji verilebileceği, şebekeden de alınması gereken enerji miktarı 25.013 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin performans oranı 0,808 olarak belirlenmiştir. Sistemin değeri 36.463,39 $ olarak hesaplanmış, elektrik üretim maliyeti ise 0,065 $ /kWh olarak saptanmıştır. Tasarlanan çatı üstü güneş enerji santralinin elektrik üretim miktarı 315.152 kWh/yıl olduğu, sistemin kurulumu ile yılda yaklaşık 127,419 ton CO_2 emisyon salımının önlenebileceğini değerlendirmektedir.

Çınaroğlu (2022), Bağımsız bir fotovoltaik sistemin PVsyst yazılımı kullanılarak tasarımı ve simülasyonu, çalışmasında, şebekeden bağımsız 550 Wp kurulu güce sahip bir güneş enerji sistemini 5 farklı takip sistemi (sabit, mevsimsel yatay ve dikey, çift eksen) ile PVsyst programının veri tabanını kullanarak maliyet ve performans açısından karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre çift eksen takipli güneş enerji sisteminin diğer takip sistemlerine göre en yüksek elektrik enerjisini 1049.9 kWh ürettiği ve 57.03 kWh ile en az elektrik enerji kaybına maruz kaldığını belirtmiştir. Sabit eksenli güneş enerji sisteminde de 764.77 kWh ile en düşük elektrik enerjisinin üretildiği ve en çok kayıp enerjinin 93.36 kWh le sabit eksenli güneş enerji sisteminde olduğunu belirtmiştir. Tasarlamış olduğu karşılaştırma sisteminde kullanıcı ihtiyacı haricinde oluşan fazla enerji de yine en yüksek çift takip eksenli güneş enerji sisteminde en düşük ise sabit eksenli güneş enerji sisteminde olmuştur. Çalışmasında şebekeye bağlı bir sistemde tasarlamış ve bu sistemin tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmıştır. Tasarlamış olduğu sistemin teknik analizinde yıllık 3,1 MWh elektrik enerjisi üretebileceği ve performans oranın %83,7 olduğu belirtilmiş. Ekonomik analizinde ise yatırım maliyetinin yaklaşık 12 bin TL ve bu maliyetin 5 yılda amorti edileceğini belirtmiştir.

Eiva vd. (2023), Design, performance, and techno-economic analysis of a rooftop grid-tied PV system for a remotely located building çalışmalarında: PVsyst programı kullanılarak bir üniversite binası için 135 kW gücünde çatı üstü güneş paneli sisteminin tasarımını ve modellemesini yapmışlardır. Sistemi iki farklı güce sahip invertör ile ekonomik olarak değerlendirmişlerdir. 17 KW olan invertörlü sistemin yatırım maliyeti 182.469,29 dolar geri ödeme süresi 4,6 yıl, 30 KW olan invertörde ise yatırım maliyeti 195.284,53 dolar geri ödeme süresi 3,7 yıl olarak sistemin ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır.

Eremkere ve Aktaş (2020), Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis çatısına uygulanabilecek fotovoltaik tasarımların teknik, ekonomik ve çevresel açılardan analizi, çalışmalarında; bir üretim tesisinin enerji ihtiyacını belirleyerek çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı yapmışlardır. Tasarımlarını PVsyst ve RETScreen programlarında simüle ederek analiz etmişlerdir. PVsyst programında güneş enerji panellerinin eğimini yıllık, yaz ve kış dönemi olarak belirlemiş ve 3 farklı panel çeşidiyle yapmışlar. Monokristal güneş panelleri ile yapmış oldukları tasarımda şebekeye 26,43 MWh elektrik enerjisi verilebileceği, sistemin performansını %85,15 olduğu ve 10,5 ton karbon emisyonu önleyebileceğini belirtmişlerdir. Polikristal güneş panellerinin kullanıldığı tasarımda şebekeye 26,61 MWh saat elektrik enerjisi verilebileceği, sistemin %84,39 performans oranına sahip olduğu ve 10,5 ton karbon emisyonunu önleyebileceğini belirtmişlerdir. İnce film güneş panelinin kullanıldığı tasarımda ise 9,22 MWh elektrik enerjisinin şebekeye verilebileceği, sistemin performans oranının %80,40 olduğu ve 4,9 ton karbon emisyonu önleyeceğini belirterek üç farklı panel tipinde yaptıkları çalışmanın maliyet analizinin ve veriminin yaklaşık sonuçlar olduğunu belirtmişlerdir.

Haydaroğlu ve Gümüş (2016), Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi, çalışmalarında bir kamu üniversitesi bünyesinde kurulu bir güneş enerji santralini modellemiş ve performans parametrelerini değerlendirmiştir. Güneş enerji santralinin üretim verilerinin Aralık 2015'ten beri kaydedildiği belirtilmiş ve Nisan 2016'ya kadar yapılan üretim verileri simülasyon ile karşılaştırılmıştır. Aralık ve Ocak aylarında simülasyon ve gerçek değer

sonuçlarının birbirinden uzaklaştığını sonraki aylarında ise %1'inn altında fark ile yakınlaştığını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları karşılaştırmada Ocak ayı haricinde gerçek üretimin simülasyon değerinden yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumunda sistemin yeni kurulu olmasından ötürü panellerin veriminin maksimum düzeyde olmasıyla açıklamışlardır.

Ismahane vd. (2023), Sizing and Techno-Economic analysis of a Photovoltaic Solar System for a Primary School using PVSYST. Çalışmalarında bir ilkokulda kullanılmak üzere PVSYST programı ile 20 adet 310 W'lık güneş paneli ve 6kW'lık bir invertör kullanarak toplam yatırım tutarı yatırım 821.000,00 Cezayir Dinarı olan ve ortalama geri ödeme süresini 8 yıl olarak belirlenen bir güneş enerji sistemi tasarımı yapmışlardır. İlkokul seçiminin, öğrencilerde yenilenebilir enerji konusunda farkındalık oluşturarak ülkenin geleceğini güvence altına almaya yardımcı olacağı belirtilmiştir. Çalışmalarında, devletlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapması durumunda petrol ve gaz yükünün azalacağı, elektrik sektöründe tasarruf sağlanacağı ve böylece dünya genelindeki diğer sanayileşmiş ülkelerle rekabet edilebileceği ifade edilmiştir.

Kamanja vd. (2022), Techno-Economic Analysis of a Rooftop Grid-connected Photovoltaic Solar System: A case study of Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology çalışmalarında: Jomo Kenyatta Tarım ve Teknoloji Üniversitesi bünyesinde yer alan Sino-Afrika Ortak Araştırma Merkezi'nde şebekeye bağlı çatı üstü güneş fotovoltaik sistemi kurulumunun fizibilitesini değerlendirmek üzere teknik-ekonomik bir değerlendirme yapmışlardır. 2019 yılı için tesisin enerji tüketiminin 31,7 kWp çatı üstü güneş fotovoltaik sisteminin bu talebi etkili bir şekilde karşılayabileceğini ortaya koymuştur. Sistemin yıllık enerji üretimi 48,828 MWh olarak tahmin edilirken, performans oranı %83'tür. Projenin ekonomik analizi, 0,10 USD/kWh elektrik maliyeti ile 4 yıllık indirimli geri ödeme süresi ve toplam proje maliyetinin 30.066,85 USD olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, belirtilen alanı için şebekeye bağlı çatı üstü güneş fotovoltaik sistemi kurulumunun hem teknik hem de ekonomik olarak uygun olacağını belirmişlerdir.

Mishra vd. (2024), PVSyst enabled real time evaluation of grid connected solar photovoltaic system çalışmalarında: 5 MWp kapasiteli bir güneş paneli sisteminin güç üretimi analizinin, PVsyst programı ile tasarım ve simülasyonunu yapmışlar ve daha sonra, simülasyonun tahmin ettiği performans ile aynı kapasiteye sahip kurulu bir güneş paneli sisteminin gerçek üretimi karşılaştırmışlardır. Analiz, gerçek ve simüle edilmiş sonuçlar arasında karşılaştırma yaparak PVsyst programının güvenilirliğini ve uygunluğunu test etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, IEC 61724 standardına göre temel performans göstergelerini değerlendirmektedirler. Çalışmanın sonuçları, tahmini ve gerçek sistem verimleri arasında güçlü bir bağlantı olduğunu ortaya koymaktadır. Gerçek sistem performans oranı %81,02 gösterirken, simüle edilmiş sistem ise performans oranı için %80,42 değerini göstermiştir. Bu sonuçlar ile PVsyst programının çatı üstü güneş paneli sistemlerini değerlendirmek ve iyileştirmek için güvenilir bir araç olduğu ve güneş enerjisi alanında yapılan çalışmalar için kara aşamasında gerçek değere daha yakın bilgiler sunduğunu belirtmişlerdir.

Paudel vd. (2021), Techno-economic and environmental assessment of utilizing campus building rooftops for solar PV power generation, çalışmalarında: Nepal'de üniversite binalarının çatılarına güneş panelleri kurulumunun potansiyelinin yüksek olduğunu ama tekno-ekonomik ve çevresel yönleri değerlendiren bir rapor bulunmadığından Purwanchal kampüsü için 1 MW'lık çatı üstü güneş paneli sisteminin tasarımını PVsyst yazılımı kullanarak araştırmışlardır. Tasarımları sonucu sistemin yıllık elektrik üretimi tahmini 1.660 MWh olduğu, bunun %95'i şebekeye verilirken geri kalan kısım güneşli saatlerde kampüsün kendi ihtiyacını karşıladığı belirtilmiştir. Sistemin yaklaşık olarak 961.404 USD yatırım maliyeti ve yıllık 8.008 USD işletme maliyetinin yanı sıra performans oranı %76,6 olarak hesaplanmıştır. Sistemin geri ödeme süresi 8,4 yıl olduğunu öngörmektedirler. 1 MW'lık şebekeye bağlı çatı üstü güneş enerji santralinin Purwanchal kampüsü için uygun olduğu değerlendirilmektedirler.

Sancar ve Bayram (2023), Modeling and Economic Analysis of Greenhouse Top Solar Power Plant with Pvsyst Software, çalışmalarında PVsyst programını kullanarak bir sera üzerine farklı yönlerde farklı panel eğim açılarıyla gıda üretim alanlarının yenilenebilir enerji üretim potansiyelini gıda üretim işletmelerinin, bağlı olduğu ücret tarife tablosuna

göre analiz etmişlerdir. Analizleri sonunda yatırımın ortalama 1,14 yılda geri döndüğünü belirtmişlerdir. Tarım ve yenilenebilir enerji kullanımı noktasında tarımsal destek mekanizmalarının kullanılması durumunda yatırımın geri dönüş süresinin kısalabileceğini ve tarım yatırımcılarında tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelebilecekleri belirtilmiştir.

Serat vd. (2023), Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software çalışmasında: Afganistan'ın Gazni şehrinde işletmelerin enerji arz yetersizliği ve yüksek elektrik maliyetleri ile karşı karşıya kalmaları sonucu işletmelerin enerji taleplerini karşılamak için dizel jeneratörler kullandığı belirtilmişler. PVsyst yazılımından faydalanarak bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak adına bir çatı tipi güneş enerjisi fotovoltaik sisteminin tasarımı ve ekonomik analizi yapmışlardır. Tasarlamış oldukları çatı tipi güneş enerjisi sisteminin tahmini yıllık enerji üretiminin 19.323 kWh olduğunu ve bu sistemin kurulması için gereken ilk sermayenin 5213 ABD doları olduğunu ortaya koymaktadır. Geri ödeme süresinin 6,3 yıl olarak, yıllık 10,53 ton karbon salımını önleyeceği belirtilmiştir.

Sharma vd. (2023), Pragmatic analysis of solar photovoltaic system design in an institutional building in eastern India çalışmalarında: Siksha 'O' Anusandhan Deemed Üniversitesi'ne bağlı 25 metre yüksekliğindeki bir binaya 21° açıyla sabit eğimli 13 kWp'lik çatı üstü şebekeye bağlı güneş fotovoltaik sistemi kurmuş ve ölçülen performans özellikleri analiz edilmiş ve kampüsün binalarında kullanılabilirliğini belirlemek için PVSyst yazılımı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, şebekeye yıllık 17.79 MWh elektrik enerjisi verilebileceği ve sistemin performans oranı %82 olarak belirlenmiştir. Kurumda kurulan güneş sisteminin atmosferden yılda 17.443,02 kg CO_2, 22,07 kg SO_2 ve 46,1 kg NOx azaltacağı öngörülmektedirler. Kurulu sisteminin enerji maliyeti 9,408 INR/kWh olup geri ödeme süresi 9,8 yıl olarak belirtmişlerdir. Çalışmalarında kurumsal bir binanın çatısına şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri kurmanın tekno-ekonomik fizibilitesini sunarak ve güneş enerjisi uygulayıcılarına en verimli güneş fotovoltaik sisteminin boyutlandırılması ve tasarımında yardımcı olur.

Sitepu vd. (2024), Design and implementation of 232.2 KWp rooftop on grid solar power plant. Çalışmalarında Güneş enerjisinin güneş enerji santralleri aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilen umut verici bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu belirterek Endonezya hükümetinin yenilenebilir enerji politikasının 2035 yılına kadar yenilenebilir enerji kullanımını %57 artırmayı ve 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını %29 azaltmayı taahhüt ettiğini belirterek Endonezya hükümetinin taahhütlerini desteklemek amacıyla Widya Mandala Vakfı tarafından Widya Mandala Surabaya Katolik Üniversitesi'nin tüm kampüslerine Güneş Enerji Santralleri kurulduğunu bildirerek bu kampüslerden birinde bulunan 232,2 KWp çatı üstü ve şebeke bağlantılı Güneş Enerji Santralini incelemişlerdir. Güneş Enerji Santrali, 430 adet 540 Wp güneş paneli, 2 adet 110 KWac invertör kullanılarak tasarlanmış yıllık 363,5 MWh elektrik üretecektir. Uygulama sonuçlarına göre: Mayıs-Aralık 2022 döneminde 221,788 MWh elektrik üretilmiş ve 88,7 ton CO2 emisyonu önlenmiştir. Ardından Ocak 2023-Mayıs 2023 döneminde 145.400 MWh elektrik üretilmiş ve 58,2 ton CO_2 emisyonu önlenmiştir. 232,2 KWp Güneş Enerji Santrali'nin uygulanması çevre dostu enerjiye doğru önemli bir adım olduğu belirterek karbon ayak izinin azaltılmasına ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemeye katkıda bulunulduğu belirtmişlerdir.

Sommani vd. (2022), Solar Rooftop PV Power Generation for a Commercial Building in Thailand, çalışmalarında: 21.500 m^2 alana sahip bir fabrika çatısına şebekeye bağlı güneş enerji santrali kurulumunu değerlendirmişlerdir.1,85 MWp güce sahip sistemin simülasyon sonuçlarında yıllık 2.678 MWh enerji üretimi, 1.442 kWh/kWp/yıl özgül üretim oranı ve %80 performans oranı simüle edilmiştir. Ekonomik analizinde, tahmini enerji maliyeti tasarrufunun 269.317 $, geri ödeme süresinin 6,37 yıl olduğu belirtilmiştir. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda çatı üstü güneş santralinin teknik olarak uygulanabilir ve yatırım potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Suratno vd. (2023), Feasibility Study on Rooftop Solar Power Plant Installation in Vocational High School Workshop çalışmalarında Endonezya’nın güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu için elverişli olduğu ve özellikle kamu binalarına GES kurulumunu teşvik eden Ulusal Enerji Genel Planı ile daha da artıracağını belirterek bir

Meslek Yüksekokulu çatısına GES tasarlamışlardır. Tasarımlarını sadece yenilenebilir enerji kaynağı olarak değil öğrenciler için pratik öğrenme alanı olarak önemli olduğunu vurgulamaktadırlar. Meslek Yüksekokulu 300 Wp gücünde 80 adet güneş paneli kullanarak sistemi tasarlamışlar ve sistemin toplam maliyeti 304.060.000 Endonezya Rupisi olarak belirlenmiş ve yatırımın geri dönüş süresi 8 yıl olduğu hesaplanarak yatırımın uygun olduğu belirtmişlerdir.

Turan (2022), 1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması çalışmasında: PVsyst Ver:7.2 programını kullanarak bir çatı üstü güneş enerji santralinin tasarımını ve simülasyonunu yapmıştır. Yıllık enerji üretimi 1246 MWh olarak simüle edilmiş ve bu tesisin 14000 ton CO_2 salımını önleyerek iklim değişikliğine olumlu bir katkıda bulunacağı belirtilmiştir. Yerli katkı ve sabit ücretle alım garantisi ile ilk on yıl içinde 4.485.600 TL gelir elde edilebileceği tahmin edilmiş ve YEKDEM desteklerinin olmaması durumunda bile, tesisin 25 yıllık ömrü boyunca yatırımın avantajlı olacağı sonucuna varmıştır.
Zaro (2023), Technical and Economic Study of On-Gird Solar Rooftop PV system Using PV Syst Software: A Case Study çalışmasında: Filistin'in Hebron şehrinin enerji arz yetersizliği ve yüksek elektrik faturalarına çözüm olarak PVsyst yazılımını ile sistem tasarlanmış ve ekonomik analizi yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda, şebekede kullanılmak üzere planlanan çatı üstü güneş enerji santralinin 100 kW'lık bir kapasiteye sahip olduğunu ve potansiyel olarak yıllık 169 MWh enerji üretebileceğini ortaya çıkmıştır. Ekonomik analizde, sistemin ilk yatırım maliyeti 100.000 USD, geri ödeme süresi 5 yıl ve sistemin ömrü 25 yıl olarak kabul edildiğinde önlemiş olduğu CO_2 emisyonu 2300 tondur.

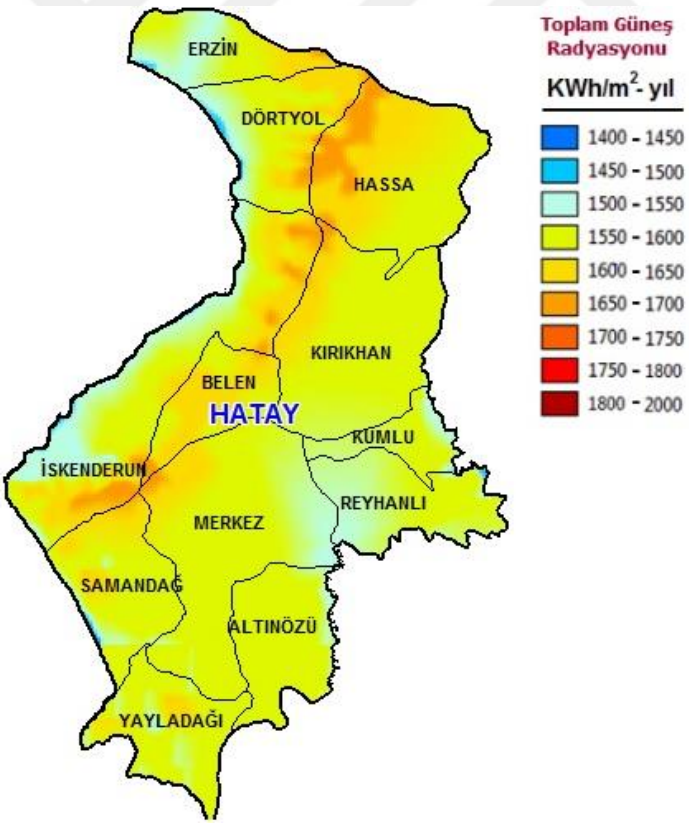
3. MATERYAL ve METOT

Çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı yapılabilen birçok simülasyon programı mevcuttur. Bu programalar arasından kolay kullanım, kullanıcı dostu arayüze sahip olan PVsyst programın 7.4.5 sürümü kullanılacaktır. Tasarımın yapılacak olduğu bina olarak Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Kırıkhan Meslek Yüksekokuludur.

3.1 Hatay İli İklimsel Verileri

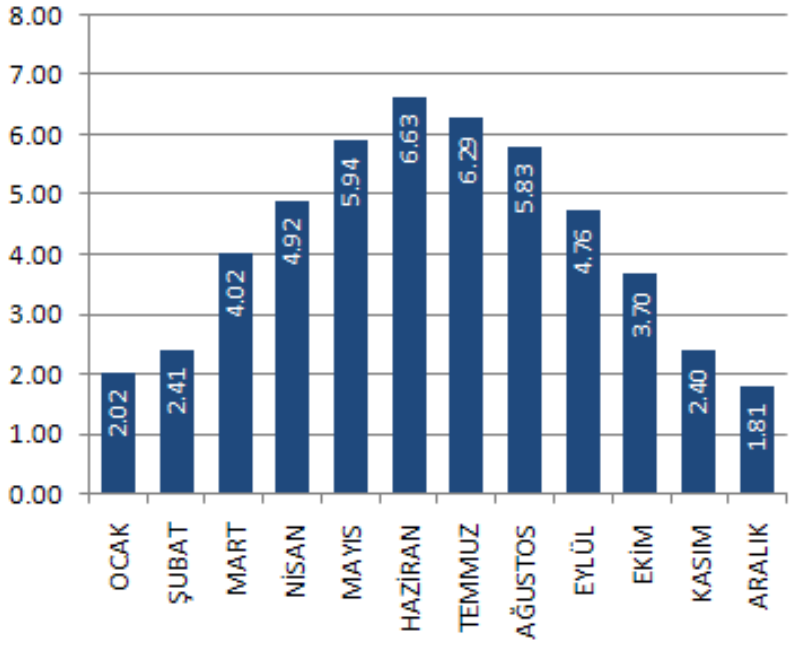
Hatay ili ülkemiz illerine göre ışınım miktarı ve güneşlenme süresi bakımından ortalama üzeri bir aralıktadır. Yıllık güneş radyasyon miktarı 1450-1750 kWh/m²-yıl aralığındadır (Geçen 2019).

Şekil 3.1'de Hatay ili güneş haritası gösterilmiştir.

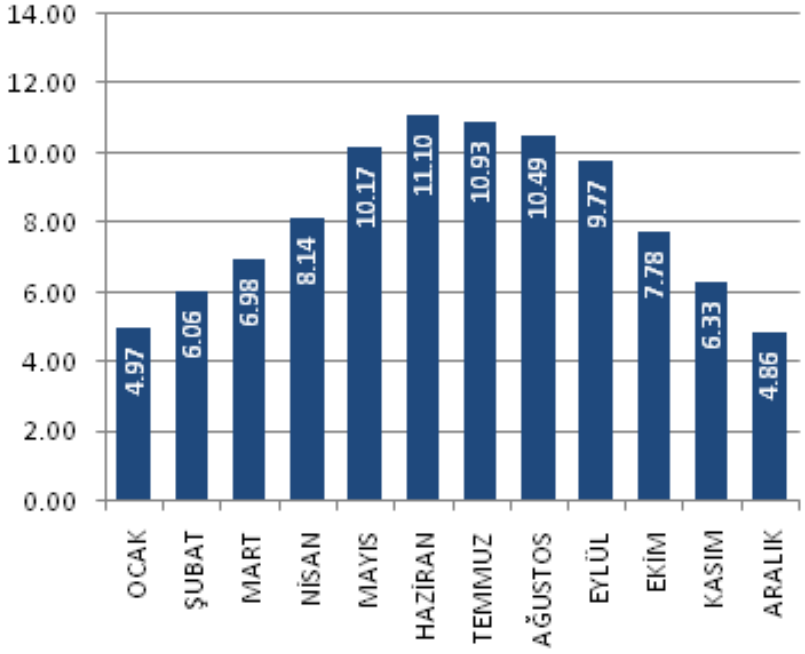


Şekil 3.1 Hatay İli Güneş Haritası (İnt. Kyn. 15)

Çalışmamız Hatay İli Kırıkhan ilçesinde yapılacaktır. Kırıkhan ilçesine ait Kırıkhan Global Radyasyon Değerleri Şekil 3.2'de, Kırıkhan İlçesi Güneşlenme Süreleri Şekil 3.3'te verilmiştir.



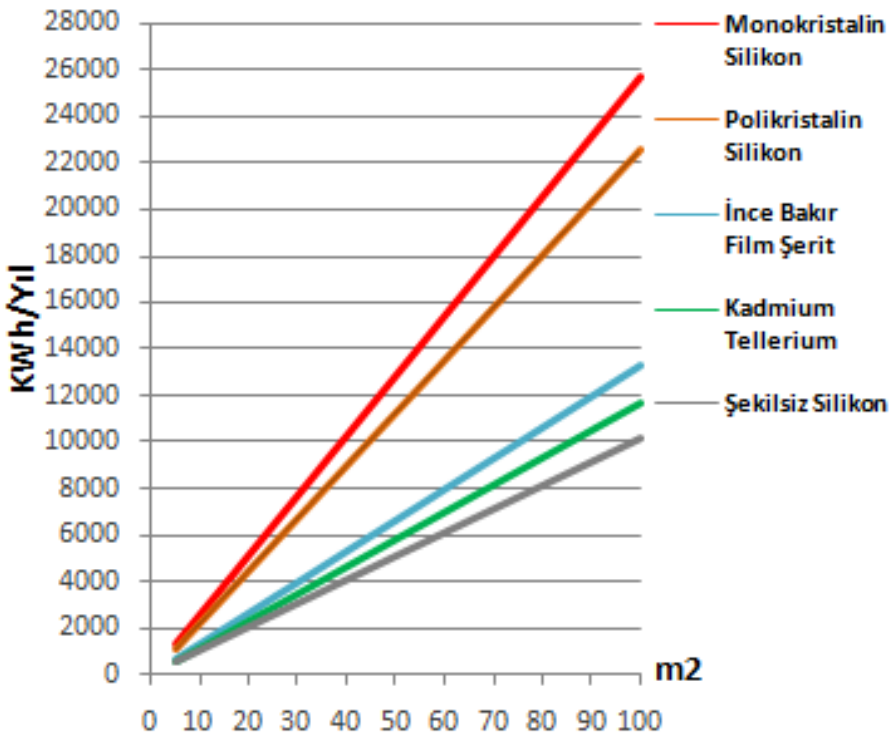
Şekil 3.2 Kırıkhan Global Radyasyon Değerleri (Kwh/ m²-Gün) (İnt. Kyn. 15)



Şekil 3.3 Kırıkhan ilçesi güneşlenme süreleri (Saat) (İnt. Kyn. 15)

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas'ında Kırıkhan İlçesi için fotovoltaik panel tiplerine göre metrekare başına göre üretilebilecek enerji Şekil 3.4'te Kwh-Yıl cinsinden verilmiştir.

Kırıkhan ilçesi için kullanıma en uygun Fotovoltaik panel çeşidi olarak Monokristal cinsi panel kullanımı daha verimli olacaktır.



Şekil 3.4 Kırıkhan Fotovoltaik Panel Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (Kwh-Yıl) (İnt. Kyn. 15)

3.2 Binanın Fiziki Bilgileri ve Enerji Tüketim Verileri

Tasarımımızı yapacak olduğumuz bina 2019 yılında hizmete giren Kırıkhan Meslek Yüksekokulu'na aittir. Bina birbirine bitişik 3 bloktan oluşmaktadır. Binanın çatı alanı 2537 m²'dir. Bina yüksekliği 13,5 metre olmakla birlikte doğal gölgelenme etkisi bulunmamaktadır. Çatı alanında gölgelenme etkisi yapacak iklimlendirme sisteminin dış üniteleri ve bina bloklarına ait bacalardır. Şekil 3.5'te binanın çatısını gösterir uydu görüntüsü verilmiştir.

Şekil 3.5 Kırıkhan Meslek Yüksekokulu uydu görüntüsü (Google Maps, 2024)

Tasarımımızda kullanacak olduğumuz elektrik tüketim miktarı verileri 2022 yılına aittir. 2021 yılı pandemi döneminde ve 2023 yılı deprem sebebiyle elektrik kullanım verileri binanın tam kapasitesini belirtmediği için 2022 yılı verileri kullanılmış olup 2022 yılına ait elektrik tüketimi verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

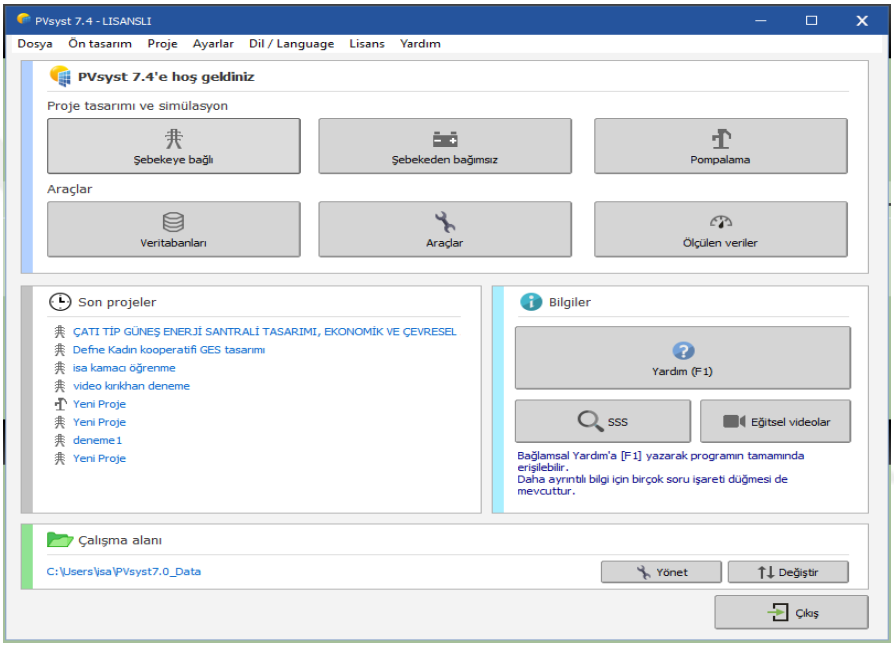
Çizelge 3.1 2022 Yılı enerji tüketim verileri

2022 Yılı	AYLIK (kWh)	GÜNLÜK (kWh)
OCAK	36906,66	1191
ŞUBAT	24856,02	888
MART	32751,18	1056
NİSAN	13951,98	465
MAYIS	12453,84	402
HAZİRAN	15062,04	502
TEMMUZ	10788,12	348
AĞUSTOS	12380,76	399
EYLÜL	17152,38	572
EKİM	18062,1	583
KASIM	18809,28	627
ARALIK	28410,48	917

3.3 Sistemin tasarlanması

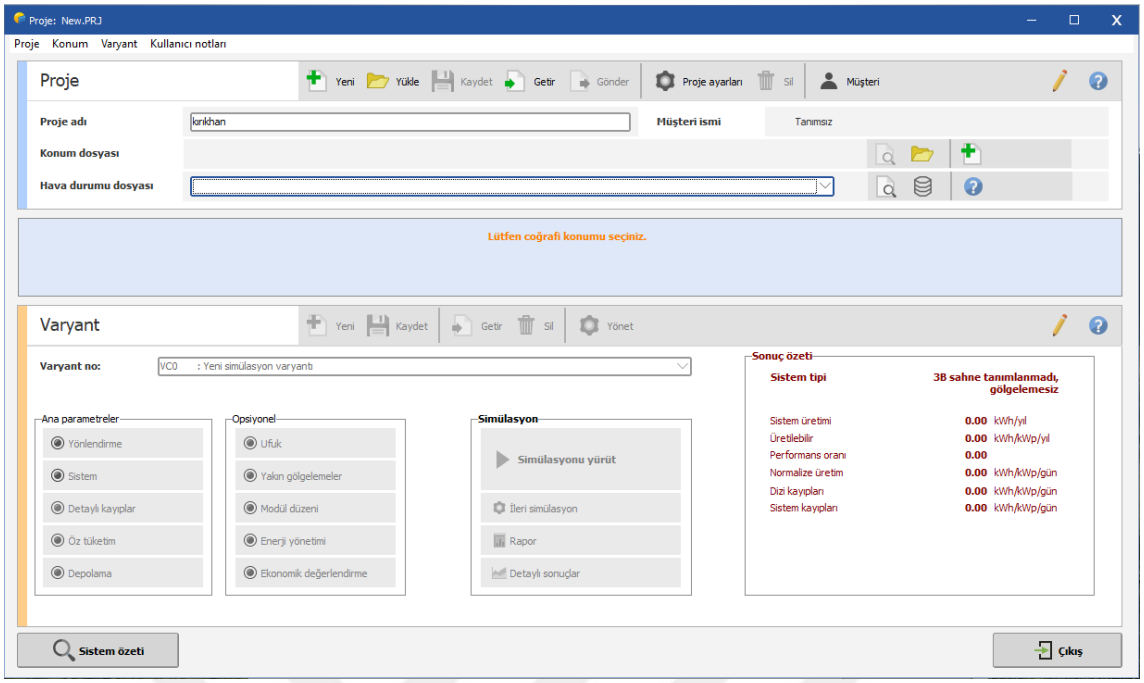
Güneş enerji santralimizi tasarlarken PVsyst programın ara yüzünde seçim yaparak başlıyoruz. Projemiz şebekeye bağlı bir sistem olduğu için Şebekeye Bağlı seçimiyle tasarım aşamamızın birinci adımını tamamlıyoruz. Şebekeden bağımsız depolamalı bir sistem tasarlamak istenirse Şebekeden Bağımsız seçimi ile Pompalama seçimiyle de sulama sistemlerinin tasarımı yapılabilmektedir.

Şekil 3.6'da Pvsyst programı proje seçim arayüzü verilmiştir

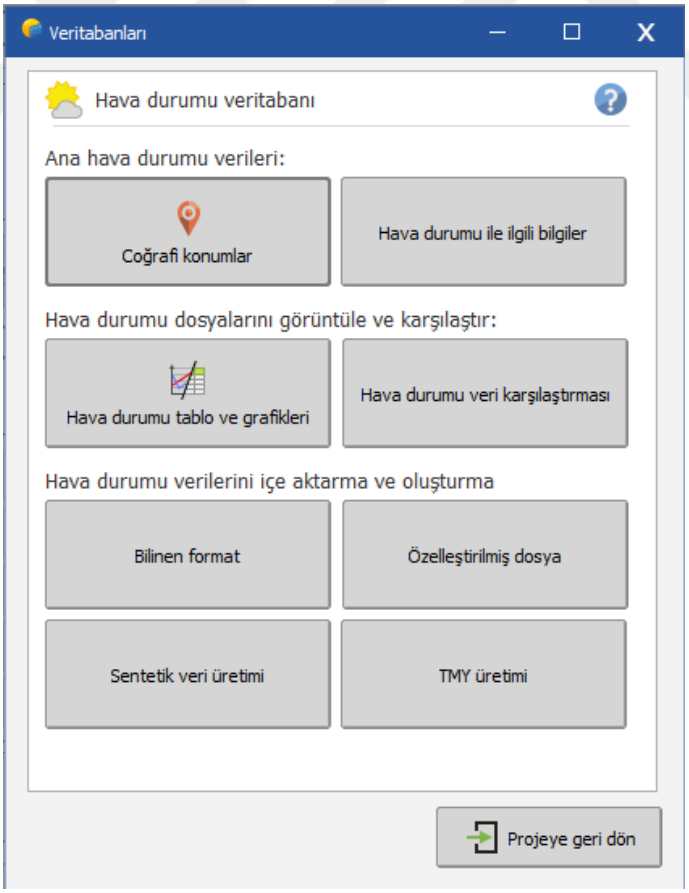


Şekil 3.6 Pvsyst programı proje seçim ara yüzü

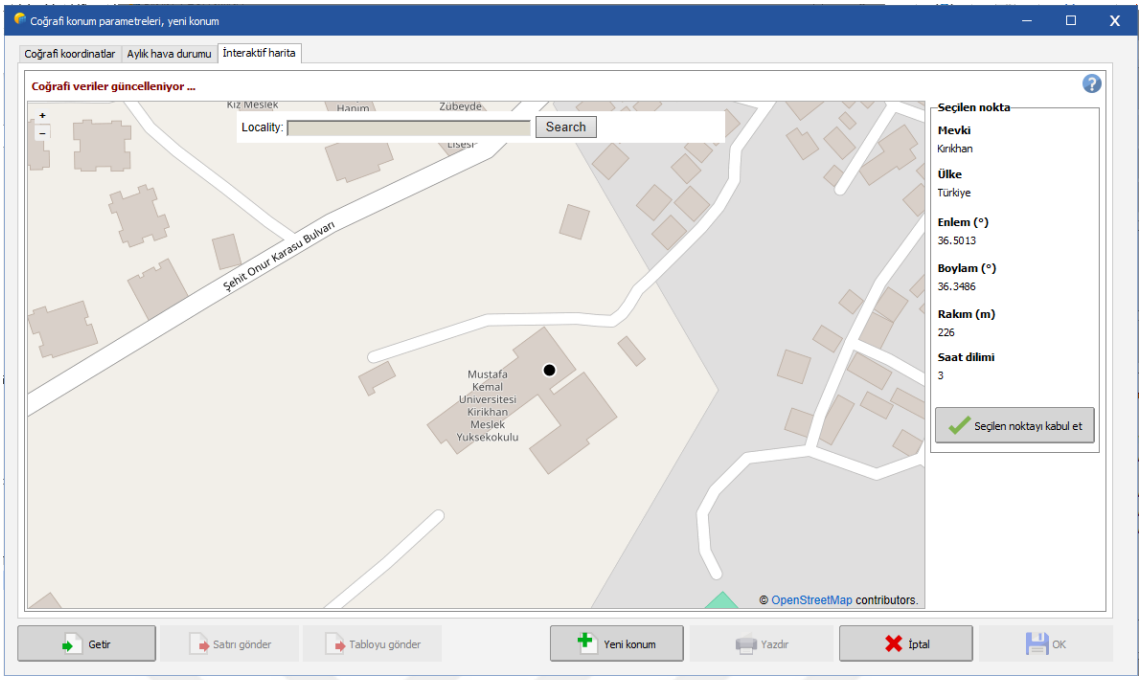
Proje tasarım türü seçildikten sonra projeyi isimlendirmek ve meteorolojik verileri sentetik olarak üretmek için Şekil 3.7'de belirtilen ara yüz kullanılarak Şekil 3.8'deki hava durumu ana veri tabanına erişim için coğrafi koordinatlar seçilir. Şekil 3.9'da açılan pencereden coğrafi konum parametreleri belirlenir enlem ve boylam olarak belirlenen veriler istenirse program arayüzü sayesinde sisteme yerel kaynaklardan alınan veriler de işlenebilir. Aynı zamanda interaktif harita kullanarak enlem ve boylam verileri alınarak hava durumu verilerinin oluşturulması için sonraki aşamaya geçilir. Şekil 3.10'da seçilen koordinat için hava durum verilerini meteonorm 8.1, Nasa-Sege, Pvgis veri tabanları kullanılarak sentetik olarak oluşturulur.



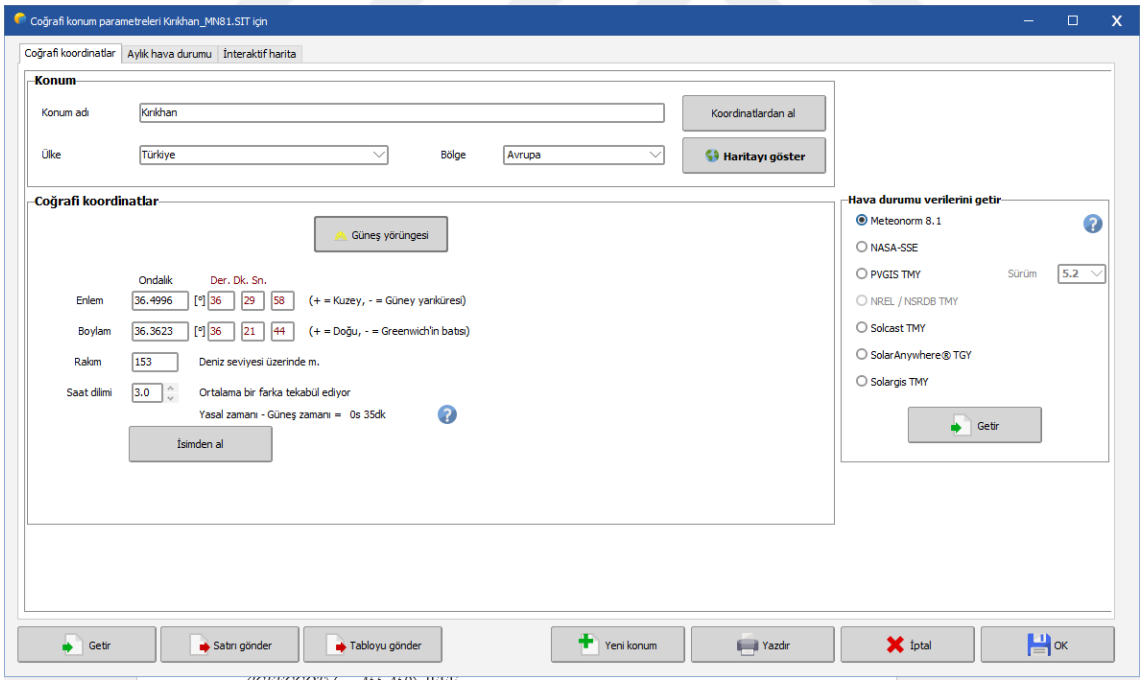
Şekil 3.7 Proje isimlendirme ve Hava Durumu Dosyasını oluşturma ara yüzü.



Şekil 3.8 Hava durumu veri tabanına erişim ara yüzü.

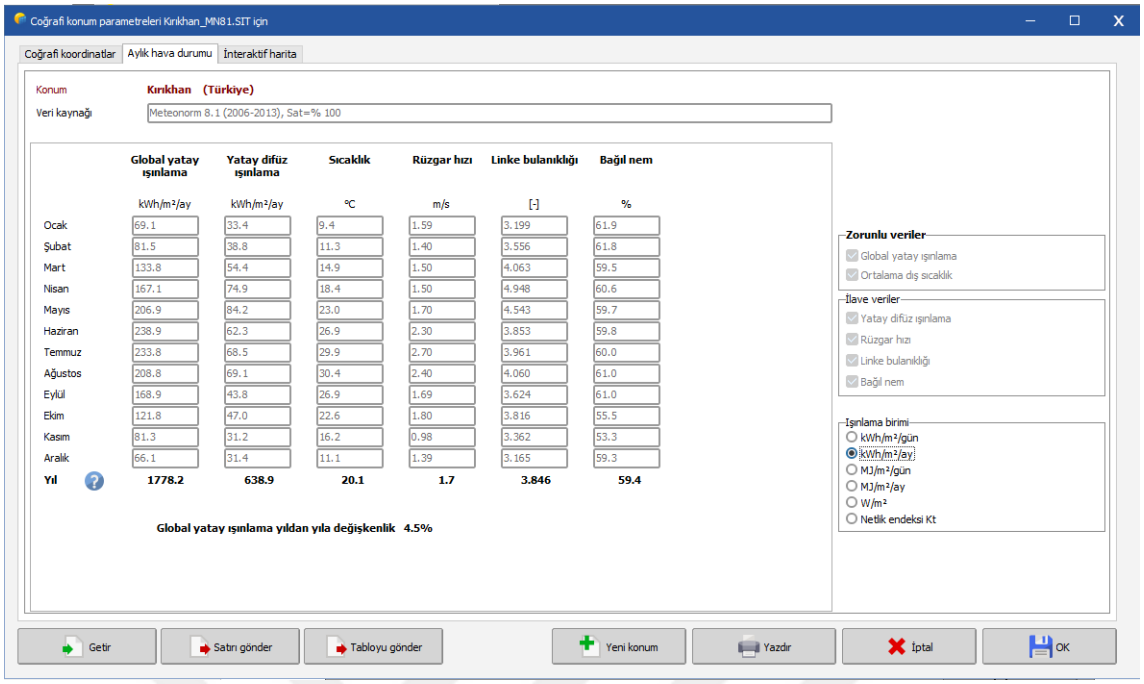


Şekil 3.9 Coğrafi konum parametrelerinin belirlendiği ara yüz.



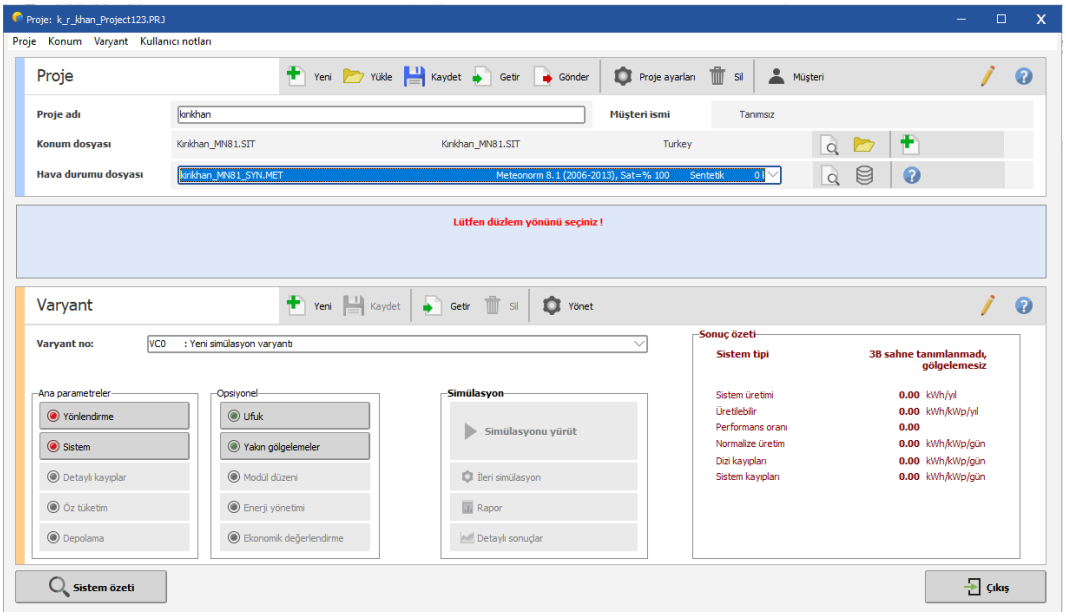
Şekil 3.10 Hava durum verilerinin veri tabanlarıyla sentetik olarak oluşturulması.

Şekil 3.11'de tasarımımızda Meteonorm 8.1 veri tabanından oluşturduğumuz sentetik hava durum bilgileri verilmiştir.



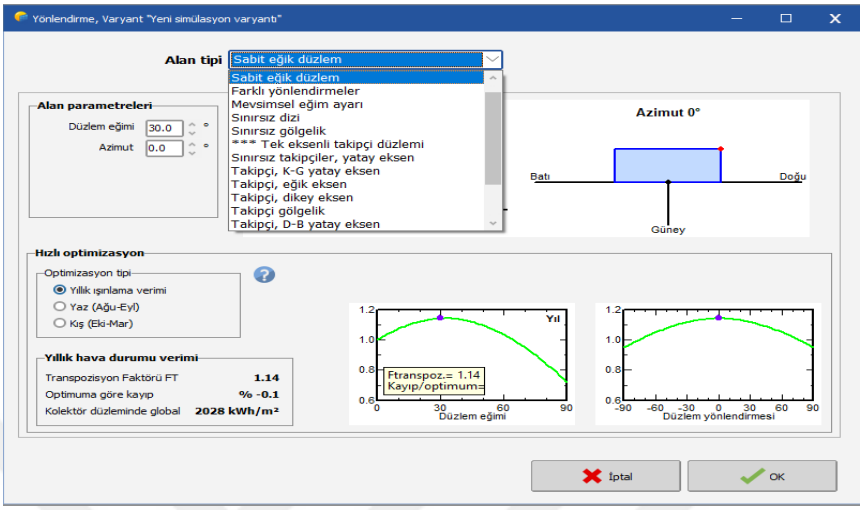
Şekil 3.11 Sentetik olarak üretilen aylık hava durumu verileri.

Hava durumu verileri coğrafi koordinatlar kullanılarak oluşturulduktan sonra sistemimize kullanacak bileşenlerden olan panellerin yönlendirilmesi aşamasına Şekil 3.12'de ana parametreler kısmında bulunan Yönlendirme butonuyla geçilerek panel yönlendirme işlemleri yapılır.



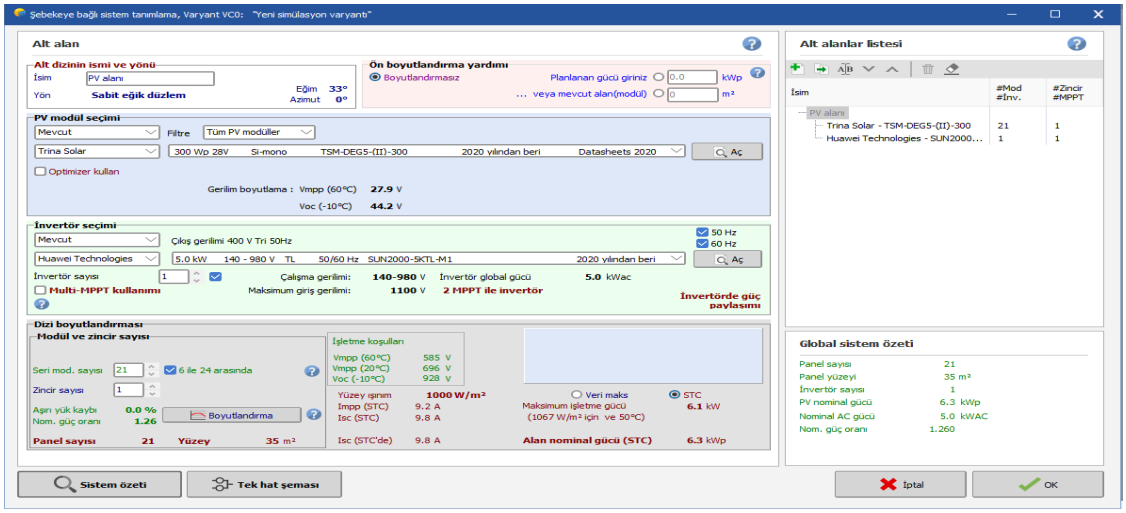
Şekil 3.12 Panel yönlendirme alanının ara yüzü.

Şekil 3.12’de Yönlendirme butonuyla açılan Şekil 3.13’te bulunan pencereden panelimizin alan tipini seçiyoruz. Tasarımımızda sabit eğik düzlemi seçilmiştir. Alan parametrelri kısmından panellerimizin eğimi ve azimut açılarını belirliyoruz.



Şekil 3.13 Panel yönlendirmesinin yapılması.

Şekil 3.14’te belirtilen bölümde tasarladığımız sistemde kullanacak olduğumuz PV modül ve invertör seçimini programın geniş veritabanı kullanarak belirlenmiştir. Çizelge 3.2’de sistemde kullanılacak güneş paneline ait elektriksel ve mekaniksel özellikler Çizelge 3.3’te invertöre ait özellikler verilmiştir.



Şekil 3.14 Panel ve İnvertör seçim ara yüzü.

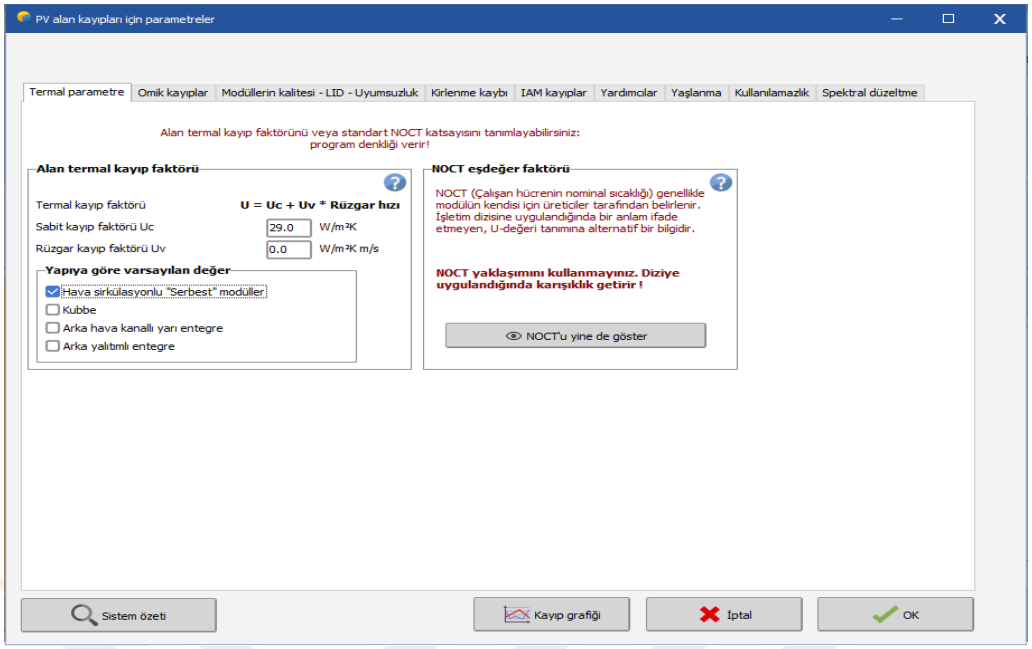
Çizelge 3.2 Güneş panelinin elektriksel ve mekaniksel özellikleri

Model: CW Enerji-CWT670-132PM12 670 Wp	
Elektriksel Özellikler	
Maksimum Güç (Pmax)	670Wp
Modül Verimi (%)	21.57
Kısa Devre Akımı (Isc)	18.51
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	38.30
Maksimum Güç Akımı (Imp)	17.50
Açık Devre Gerilimi (Voc)	46.00
Kısa Devre Akımı (Isc)	18.51
Mekaniksel Özellikler	
Hücre Boyutu(mm)	210x105
Ağırlık(kg)	34.5
Panel Boyutu(mm)	2384x1303x35
Hücre Sayısı(adet)	132 (6x22)

Çizelge 3.3 İnvertöre ait teknik özellikler ve genel bilgiler

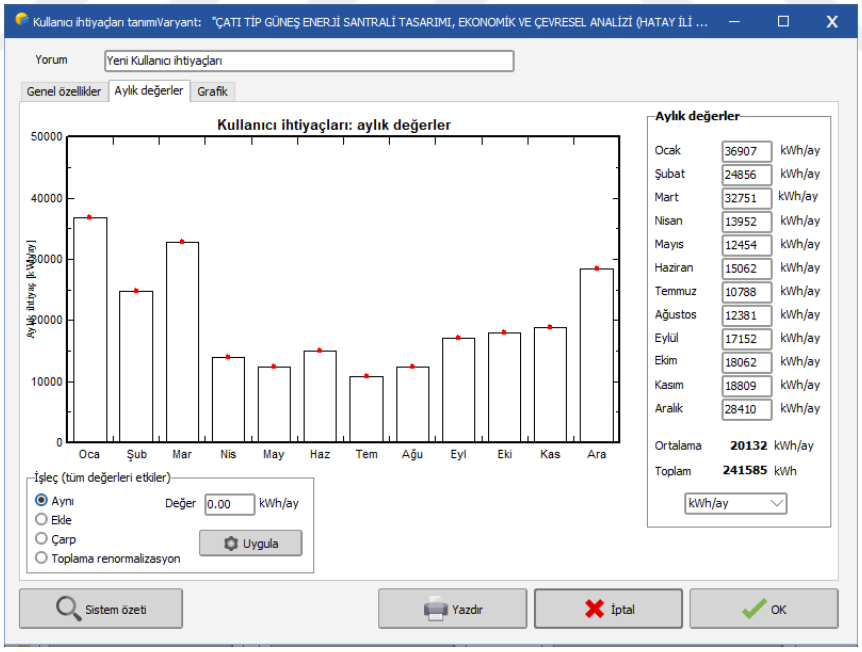
Model: Huawei sun2000-100ktl-m1	
Teknik Özellikler	
Maks. Verimlilik	%98,8 @480 V
	Giriş
Maks. Giriş Gerilimi	1.100 V
MPPT Başına Maks. Giriş Akımı	26 A
MPPT Başına Maks. Kısa Devre Akım	40 A
Başlangıç Gerilimi	200 V
MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı 2	200 V ~ 1.000 V
Nominal Giriş Gerilimi	720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac
MPPT Adedi	10
	Çıkış
Nominal AC Aktif Güç	100.000 W
Maks. AC Görünür Güç	110.000 VA
Maks. AC Aktif Güç (cosφ=1)	110.000 W
Nominal Çıkış Gerilimi	480 V/ 400 V/ 380 V, 3W+(N)+PE
Nominal AC Şebeke Gerilimi	50 Hz / 60 Hz
Nominal Çıkış Akımı	120,3 A @480 V, 144,4 A @400 V, 152,0 A @380 V
Maks. Çıkış Akımı	133,7 A @480 V, 160,4 A @400 V, 168,8 A @380 V
	Genel Bilgiler
Boyutlar (E x Y x D)	1,035 x 700 x 365 mm
Ağırlık (Askı aparatı ile)	90 kg
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-25°C ~ 60°C
Soğutma	Akıllı Havalı Soğutma

Şekil 3.15'te güneş enerji santralinin kayıplarının belirlendiği arayüz gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Kayıpların belirtildiği ara yüz.

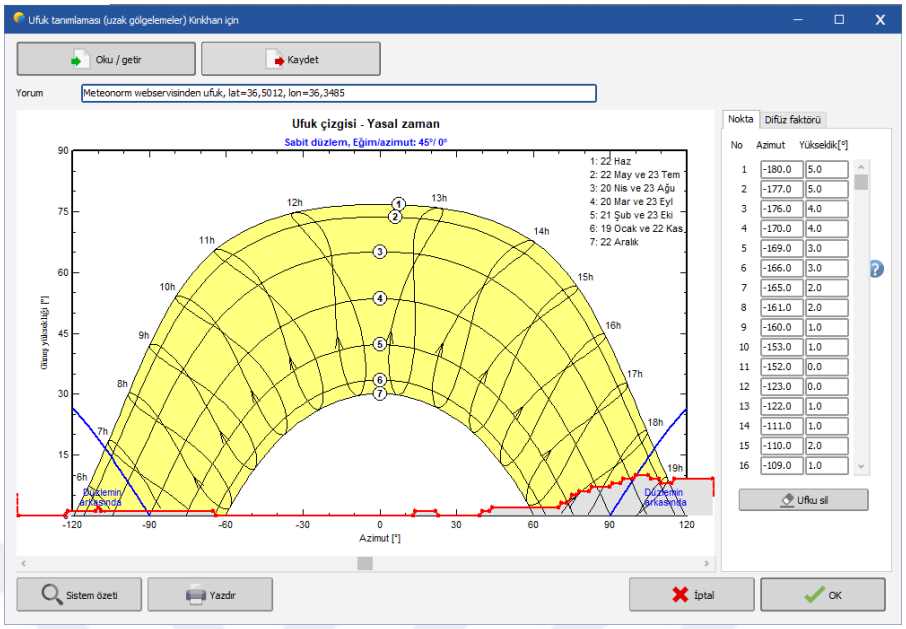
2022 yılına ait elektrik faturalarından elde edilen yıllık kullanım miktarını Şekil 3.16'da belirtilen Öz Tüketim ara yüzünden sisteme tanımlanması yapılmıştır.



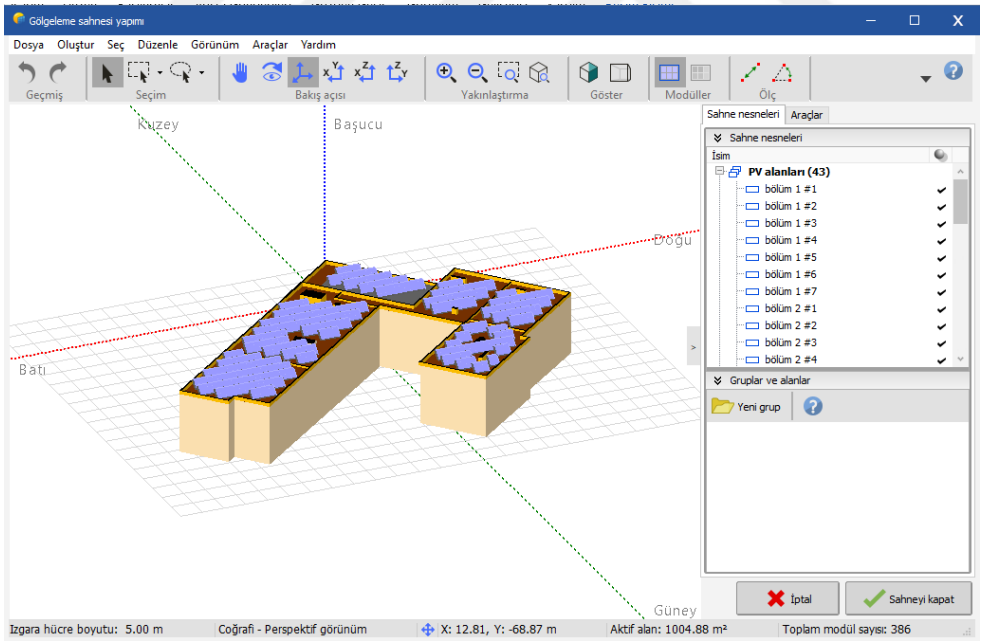
Şekil 3.16 Öz tüketim verilerinin sisteme tanımlandığı ara yüz.

Şekil 3.17'de Meteornorm web servisinden ederek tanımladığımız ufuk çizgisini belirleme ara yüzü gösterilmiştir. Ufuk çizgisi analizimizin gerçeğe yakın bir tahmin

sunmaktadır.



Şekil 3.17 Ufuk Çizgisi görünümü ve değerleri.

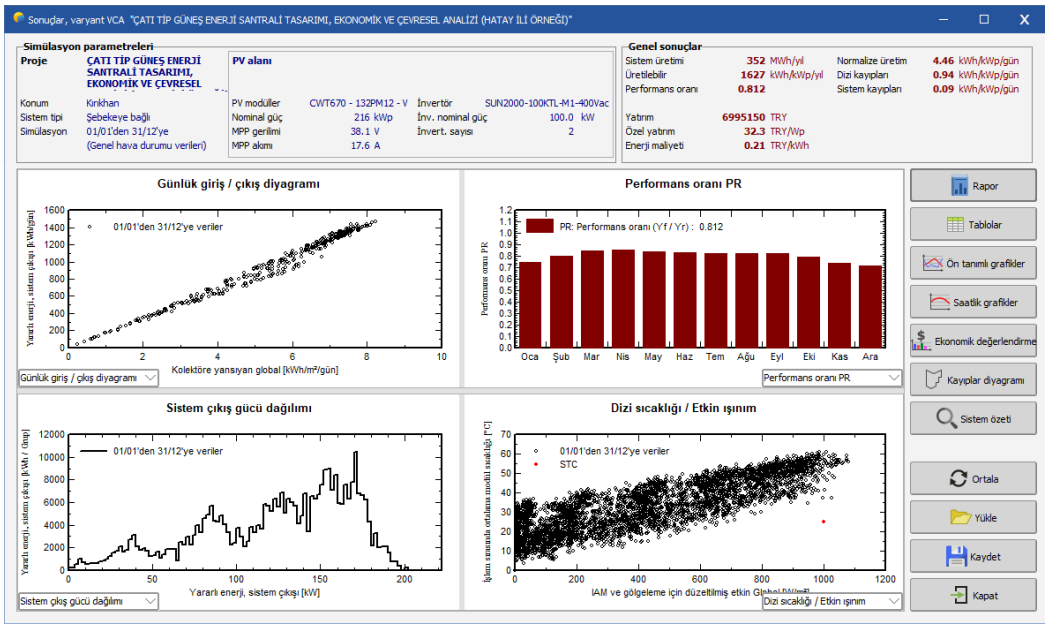


Şekil 3.18 3B boyutlandırma yapılarak gölgelenme sahnesinin yapımı

Şekil 3.18'de güneş panellerini kuracağımız alanlarda oluşacak gölgelenme etkisi simüle edilmiştir. Tasarımımızı yaptığımız binaya doğrudan etki eden doğal bir gölge faktörü bulunmamaktadır. Çatı da sadece iklimlendirme sistemine ait üniteler ve bina

çatı bacaları bulunmaktadır. Gölgelenme sahnesi simüle edilerek bu gölge faktörlerinin panellerimiz üzerindeki etkisi sistemimize tanımlanmıştır.

Şekil 3.19'da tasarımın bütün aşamaları bittikten sonra simülasyonunun çalıştırılıp sistem raporunun alındığı ara yüz gösterilmiştir. Bu arayüzde sistem raporunu alabilir aynı zamanda ekonomik değerlendirme kısmından tasarımımızın ekonomik değerlendirmesini de yapılabilmektedir.



Şekil 3.19 Sistem raporunun alındığı ara yüz.

4. BULGULAR

Seçilen coğrafi konum Hatay ilinde olmakla beraber belirlenen koordinatlara göre hava durumu ve güneş ışınım verileri Meteonorm veri tabanından çekilerek sentetik olarak oluşturulmuştur. Bu veriler ışığında sistemimiz panel eğim açısı 33° ile yıllık üretilen enerji 352,0 MWh olduğu ve performans oranı %81,20 olduğu simüle edilmiştir. Şekil 4.1'de Proje özet verileri belirtilmiştir.

Proje özeti

Coğrafi konum	**Konum**		**Proje ayarları**	
Kırıkhan	Enlem	36.50 °N	Albedo	0.20
Turkey	Boylam	36.35 °E		
	Rakım	227 m		
	Saat dilimi	UTC+3		

Hava durumu verileri
Kırıkhan
Meteonorm 8.1 (2006-2013), Sat=% 100 - Sentetik

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem		**Bina üzerinde**			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi		**Yakın gölgelemeler**		**Kullanıcı ihtiyaçları**	
Sabit düzlem		Lineer gölgelemeler : Hızlı (tablo)		Aylık değerler	
Eğim/Azimut	33 / 0 °				
Sistem bilgisi					
PV alanı			**İnvertör**		
Panel sayısı	323 adet		Öğe sayısı		2 adet
Toplam nom. güç	216 kWp		Toplam nom. güç		200 kWac
			Nom. güç oranı		1.082

Sonuçların özeti

Üretilen enerji	352042 kWh/yıl	Üretilebilir	1627 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	81.20 %
Tüketilen enerji	241585 kWh/yıl			Güneş enerjisi oranı (SF)	38.12 %

Şekil 4.1 Proje özet verileri

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem		**Bina üzerinde**			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi					
Yönlendirme		**Dizi ayarları**		**Kullanılan modeller**	
Sabit düzlem		Dizi sayısı	43 adet	Transpozisyon	Perez
Eğim/Azimut	33 / 0 °	Farklı dizi. ort.		Difüz	Perez, Meteonorm
		Boyutlar		Circumsolar	ayrı
		Dizi aralığı	3.02 m		
		Kolektör eni	2.38 m		
		Arazi kullanım oranı (GCR)	79.0 %		
		Etkisiz üst şerit	0.02 m		
		Etkisiz alt şerit	0.02 m		
		Gölgeleme açı sınırı			
		Profil açı sınırı	52.5 °		
Ufuk		**Yakın gölgelemeler**		**Kullanıcı ihtiyaçları**	
Ortalama yükseklik	2.8 °	Lineer gölgelemeler : Hızlı (tablo)		Aylık değerler	

Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıl	
36.9	24.9	32.8	14.0	12.5	15.1	10.8	12.4	17.2	18.1	18.8	28.4	242	MWh/ay

Şekil 4.2 Sistem Genel Parametreleri

Şekil 4.2'de sistemimize ait kolektör yönlendirmesi, dizi ayarları, ufuk bilgisi, gölgelenme bilgisi, vb. bilgilerinin bulunduğu genel parametreler belirtilmiştir. Şekil 4.3'te kolektör alanımızın bilgileri olan tasarımda kullanmış olduğumuz PV modül

bilgileri ve invertörümüze ait teknik özellikleri verilmiştir.

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		**İnvertör**	
Üretici	Generic	Üretici	Generic
Model	CWT670 - 132PM12 - V	Model	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
(Orijinal PVsyst veritabanı)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	670 Wp	Birim gücü	100 kWac
PV modül sayısı	323 adet	İnvertör sayısı	2 adet
Nominal (STC)	216 kWp	Toplam güç	200 kWac
Modül	19 zincir x 17 Seri	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (=>33°C)	110 kWac
Pmpp	198 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	1.08
U mpp	592 V	İnvertörde güç paylaşımı	
I mpp	334 A		
Total PV gücü		**İnvertör toplam gücü**	
Nominal (STC)	216 kWp	Toplam güç	200 kWac
Toplam	323 modül	Maks güç	220 kWac
Panel yüzeyi	1003 m²	İnvertör sayısı	2 adet
Hücre yüzeyi	940 m²	Nom. güç oranı	1.08

Şekil 4.3 Kolektör Alan Bilgileri

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te sistemimizin çalışma esnasında maruz kalacağı termal kayıplar, DC kablolama kayıpları, modül kalite kaybı, modül uyumsuzluk kayıpları ve dizi uyumsuzluk kaybı ve IAM (ışınım) kayıpları verilmiştir.

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü		**DC kablolama kaybı**		**Modül kalite kaybı**	
Işınıma göre modül sıcaklığı		Global alan direnci	29 mΩ	Kayıp oranı	-0.8 %
Uc (sabit)	29.0 W/m²K	Kayıp oranı	1.5 STC'de%		
Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K/m/s				
Modül uyumsuzluk kaybı		**Dizi uyumsuzluk kaybı**			
Kayıp oranı	2.0 MPP'de%	Kayıp oranı	0.2 %		

Şekil 4.4 Dizi kayıpları

Dizi kayıpları

IAM kayıp faktörü

Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, yansıma önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Şekil 4.5 IAM kayıpları

Şekil 4.6'da sistemimizin ürettiği enerjiyi sisteme dahil ederken maruz kalacağı AC kablolama kaybı verilmiştir.

AC kablolama kaybı

İnv. çıkışından enjeksiyon noktasına

İnvertör gerilimi	400 Vac tri
Kayıp oranı	0.53 STC'de%
İnvertör: SUN2000-100KTL-M1-400Vac	
Kablo kesiti (2 İnv.)	Bakır 2 x 3 x 95 mm²
Ortalama kablo uzunluğu	40 m

Şekil 4.6 AC kablolama kaybı

Şekil 4.7'de sistemimizi tasarlarken Meteonorm web servisinden elde ettiğimiz Ufuk bilgileri gösterilmiştir.

Ufuk tanımlaması

Meteonorm webservisinden ufuk, lat=36,5012, lon=36,3485

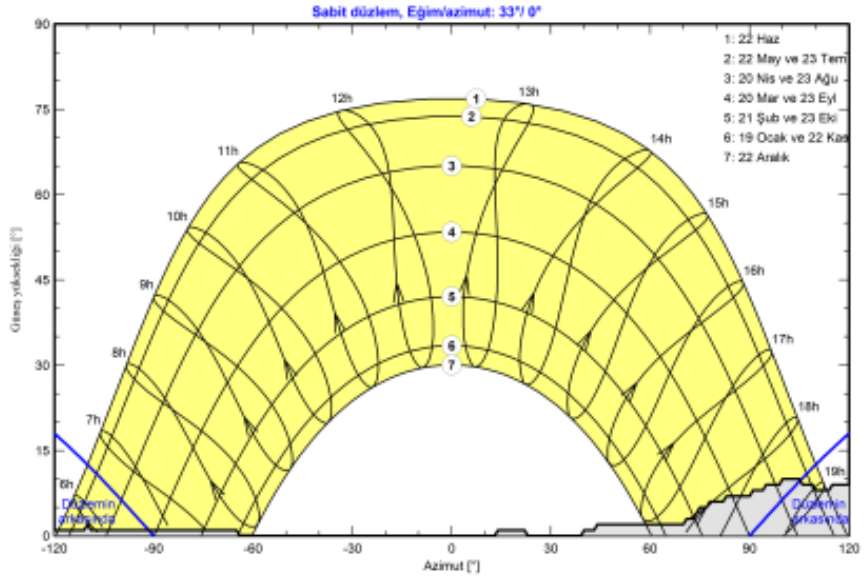
Ortalama yükseklik	2.8 °	Albedo faktörü	0.98
Difüz faktörü	1.00	Albedo oranı	100 %

Ufuk profili

Azimut [°]	-180	-177	-176	-170	-169	-166	-165	-161	-160	-153	-152	-123	-122	-111
Yükseklik [°]	5.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0
Azimut [°]	-110	-109	-65	-64	13	14	22	23	39	40	43	44	70	71
Yükseklik [°]	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0
Azimut [°]	73	75	77	78	82	83	90	91	94	95	99	100	105	106
Yükseklik [°]	3.0	5.0	5.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	9.0
Azimut [°]	109	110	114	115	133	134	142	143	171	172	177	178	179	
Yükseklik [°]	9.0	8.0	8.0	9.0	9.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	6.0	5.0	5.0	

Güneş yörüngesi (yükseklik/azimut diyagramı)

Sabit düzlem, Eğim/azimut: 33°/ 0°

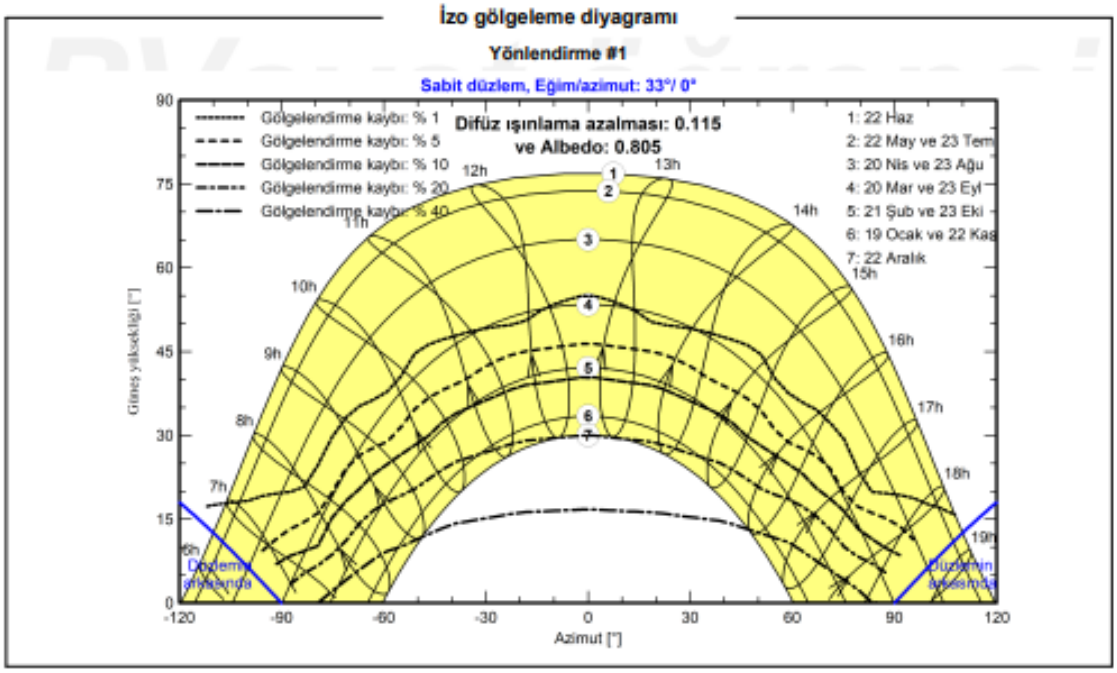


Şekil 4.7 Ufuk Tanımlaması

Şekil 4.8'de yakın gölgelemeler alanında yapmış olduğumuz 3B tasarımımız sistem raporunda yakın gölgeleme sahnesi perspektifi olarak gösterilmektedir.

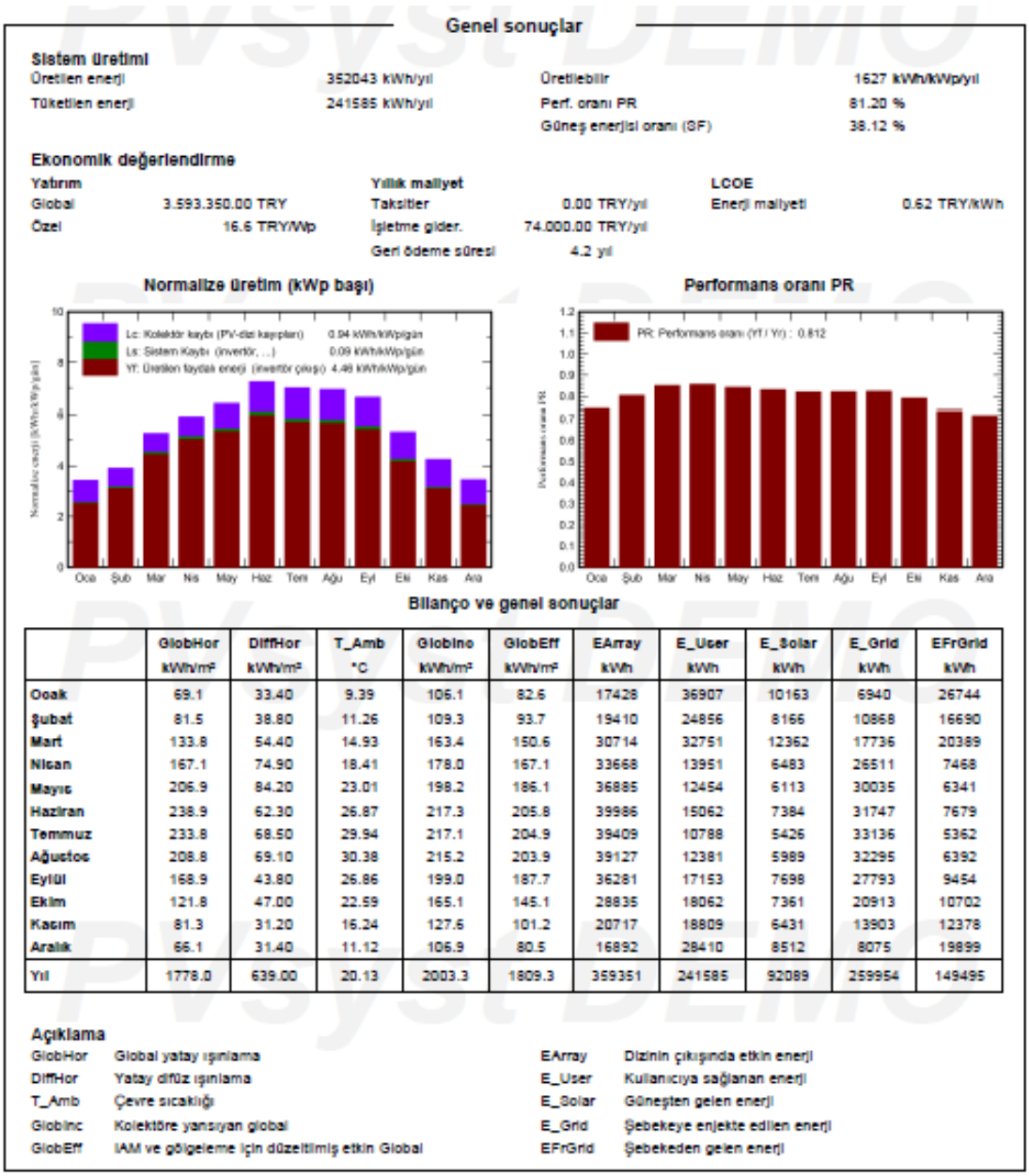
Şekil 4.8 Yakın gölgeleme sahnesi perspektifi

Şekil 4.9'da güneş panelleri üzerinde oluşan gölgelemenin hangi tarihlerde ne kadar oranda olacağının tahminlendiği izo gölgeleme diyagramı belirtilmiştir.



Şekil 4.9 İzo gölgeleme diyagramı

Şekil 4.10'da normalize üretim, performans oranı, bilançonun verildiği genel sonuçlar kısmı verilmiştir.



Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji	352043 kWh/yıl	Üretilebilir	1627 kWh/kWp/yıl
Tüketilen enerji	241585 kWh/yıl	Perf. oranı PR	81.20 %
		Güneş enerjisi oranı (SF)	38.12 %

Ekonomik değerlendirme

Yatırım		Yıllık maliyet		LCOE	
Global	3.593.350.00 TRY	Taksitler	0.00 TRY/yıl	Enerji maliyeti	0.62 TRY/kWh
Özel	16.6 TRY/Wp	İşletme gider.	74.000.00 TRY/yıl		
		Geri ödeme süresi	4.2 yıl		

Normalize üretim (kWp başı)

Performans oranı PR

Bilanço ve genel sonuçlar

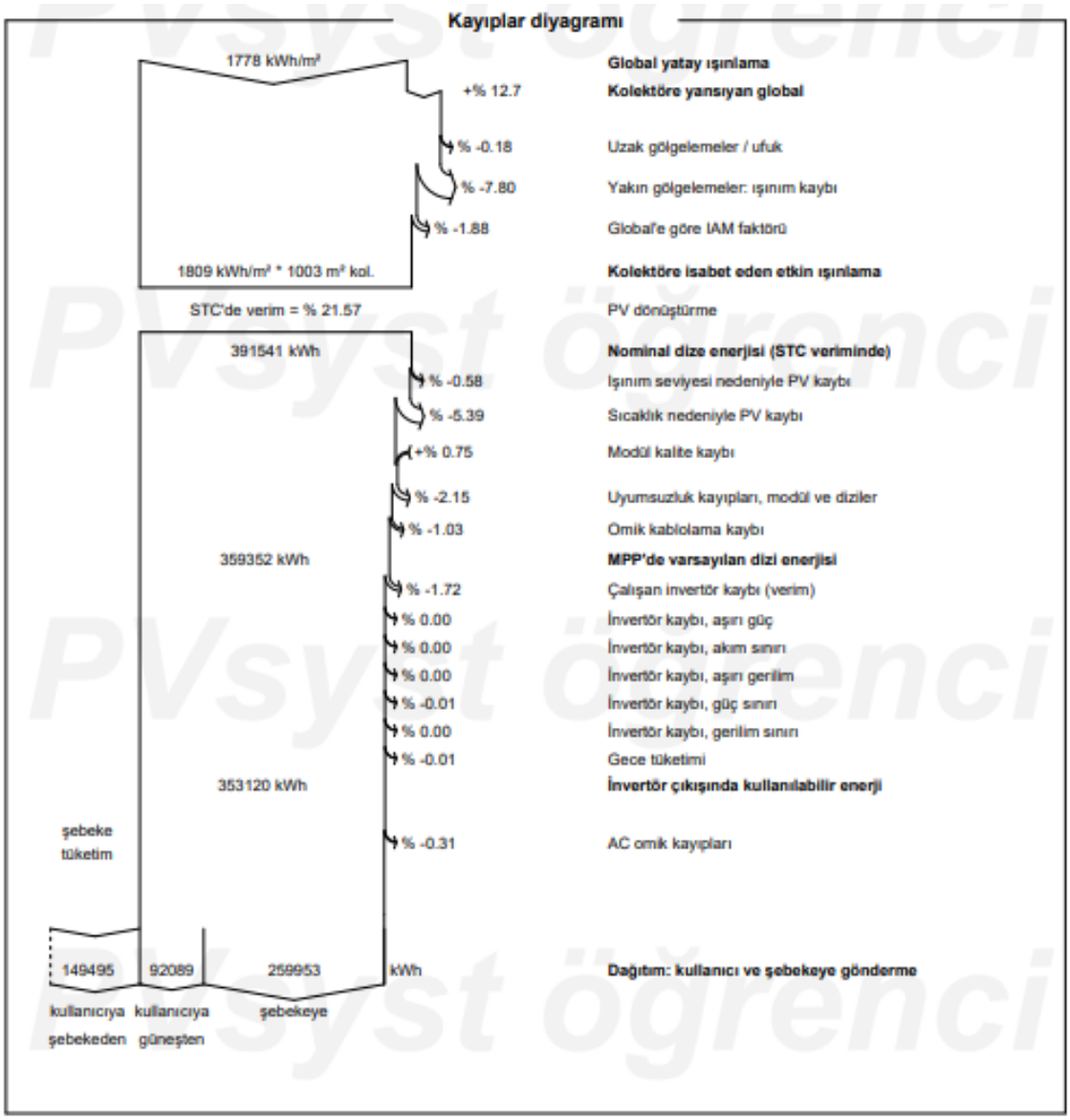
	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Ocak	69.1	33.40	9.39	106.1	82.6	17428	36907	10163	6940	26744
Şubat	81.5	38.80	11.26	109.3	93.7	19410	24856	8166	10868	16690
Mart	133.8	54.40	14.93	163.4	150.6	30714	32751	12362	17736	20389
Nisan	167.1	74.90	18.41	178.0	167.1	33668	13951	6483	26511	7468
Mayıs	206.9	84.20	23.01	198.2	186.1	36885	12454	6113	30035	6341
Haziran	238.9	62.30	26.87	217.3	205.8	39986	15062	7384	31747	7679
Temmuz	233.8	68.50	29.94	217.1	204.9	39409	10788	5426	33136	5362
Ağustos	208.8	69.10	30.38	215.2	203.9	39127	12381	5989	32295	6392
Eylül	168.9	43.80	26.86	199.0	187.7	36281	17153	7698	27793	9454
Ekim	121.8	47.00	22.59	165.1	145.1	28835	18062	7361	20913	10702
Kasım	81.3	31.20	16.24	127.6	101.2	20717	18809	6431	13903	12378
Aralık	66.1	31.40	11.12	106.9	80.5	16892	28410	8512	8075	19899
Yıl	1778.0	639.00	20.13	2003.3	1809.3	359351	241585	92089	259954	149495

Açıklama

GlobHor	Global yatay ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	E_User	Kullanıcıya sağlanan enerji
T_Amb	Çevre sıcaklığı	E_Solar	Güneşten gelen enerji
GlobInc	Kolektöre yansıyan global	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global	EFrGrid	Şebekeden gelen enerji

Şekil 4.10 Genel sonuçlar

Şekil 4.11'de kayıplar diyagramı verilmiştir. Diyagramda tasarımın etkilendiği ışınım kayıpları, dizi kayıpları ve sistem kayıpları belirtilmiştir.



Şekil 4.11 Kayıplar diyagramı

4.1 Ekonomik Analiz

Bir güneş enerji santralinin ekonomik olarak analizi ve yatırım kararının alınabilmesi için statik (paranın zaman değerini dikkate almayan) ve dinamik (paranın zaman değerini dikkate alan) yöntemler kullanılır (Yalılı 2021). Tasarlanan sistemin ekonomik analizinde statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi kullanılmıştır.

Tasarlanan sistemin geri ödeme süresi ilk yatırım tutarının yıllık toplam net karlarının eşitlendiği ve net kar elde etmeye başlanılan yıl olarak (4) numaralı formül ile hesaplanır (Yıldırım ve Aksu 2021).

$$GÖS = \frac{Yatırım\ Tutarı}{Yıllık\ Ortalama\ Net\ Kar} \tag{4.4}$$

Sistemde dinamik değerlendirme yöntemlerinden net bugünkü değer (NBD) yöntemi kullanılmıştır. Net bugünkü değer yöntemi, bir yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin, belirlenen iskonto oranı (beklenen asgari getiri oranı) kullanılarak bugünkü değerine dönüştürülmüş toplamı ile yatırım için yapılan nakit çıkışlarının aynı iskonto oranıyla bugüne indirgenmiş toplamı arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu yöntem, bir yatırımın maliyetine kıyasla yaratacağı değeri ölçmek için (5) numaralı formül ile ifade edilir (Gündüz 2019).

$$NBD = \left[\sum_{t=0}^{n} \frac{A}{(1+r)^t}\right] - C \tag{4.5}$$

t : Yatırımın süresi içindeki takvim yılı

n : Yatırım ömrü

A: Yatırımdan sağlanacak net nakit akışları

r : İskonto oranı

C : Başlangıçtaki yatırım miktarı

Sistemde dinamik değerlendirme yöntemlerinden diğeri olan İç Karlılık Oranı (İKO) yöntemi kullanılmıştır. İç karlılık oranı, İç kârlılık oranı yöntemi, net bugünkü değer yöntemine oldukça benzerdir; aralarındaki temel fark, iskonto oranının ele alınış biçimidir. İç kârlılık oranı, bir projenin nakit giriş ve çıkışlarını dengeleyen iskonto oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, bu yöntem, bir yatırım projesi boyunca elde edilen toplam nakit girişlerinin bugünkü değerini, aynı dönemde gerçekleşen nakit çıkışlarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranını belirlemeyi amaçlar. Bu oran, net bugünkü değerin sıfır olduğu noktayı ifade eder ve (6) numaralı formül ile ifade edilir (Aytekin 2005).

$$İKO = \left[\sum_{t=0}^{n} \frac{A}{(1+r)^t}\right] - C = 0 \quad (4.6)$$

Sistemin ekonomik analizinde kullanılan bir diğer yöntemde yatırımın geri dönüşü (ROI) parametresidir. Bir yatırımın getirisi ile maliyeti arasındaki ilişkiyi yüzdesel olarak ifade eder. (7) numaralı formül ile ifade edilir.

$$ROI = \frac{Yatırım\ Getirisi - Yatırım\ Maliyeti}{Yatırım\ Maliyeti} x100 \quad (7)$$

Sistemde kullanılan ekipmanlara ve kurulum maliyetlerine ilişkin kabuller Çizelge 4.1'de belirtilen oranlarda kabul edilmiştir (İnt. Kyn. 16).

Çizelge 4.1 Kurulum maliyetleri.

Öğe	Miktar	Birim Maliyeti	Tutar TL
PV Modül			
(CWT670-132PM12-V)	323	6.600,00	2.131.800,00
Panel Sehpaları	323	1.000,00	323.000,00
İnvertör			
(SUN2000-100KTL-M1-400Vac)	2	170.000,00	340.000,00
Diğer Parçalar			
Donatılar, Bağlantılar, vidalar	300	16,00	4.800,00
Kablolama	60	65	3900
Birleştirici Kutu	19	1.000,00	19000
İzleme Sistemi	1	25.000,00	25.000,00
Parafudr	1	3.000,00	3.000,00
Etüt, Analizler ve Kurulum			
Mühendislik	1	20.000,00	20.000,00
Ruhsat ve İdari Ücretler	1	20.850,00	20.850,00
Ekonomik Analiz	1	20.000,00	20.000,00
Modül Başına Kurulum	323	2.000,00	646.000,00
İnvertör Başına Kurulum	2	2.000,00	4.000,00
Sevkiyat	1	32.000,00	32.000,00

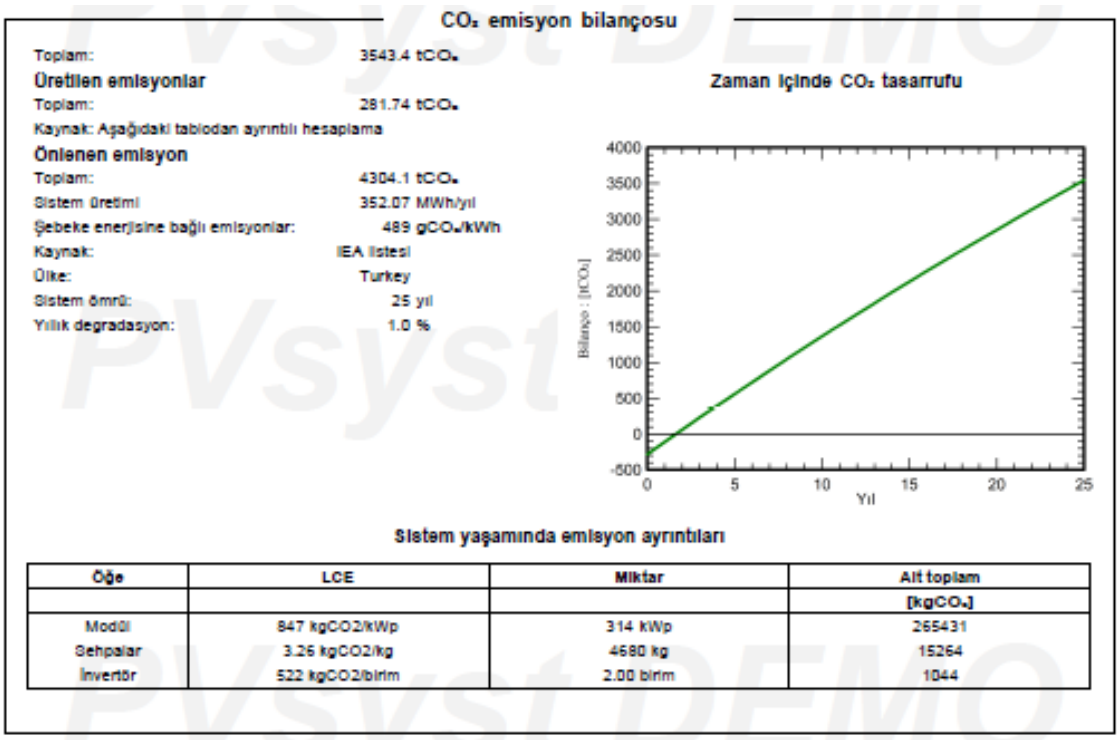
Sistemde kullanılan ekipmanlara panel ve panel sehpaları için 2.454.800,00 TL, invertörler için 340.000,00 TL, izleme sistemi, bağlantı ve kablolama işlemleri için ise 55.700,00 TL maliyet belirlenmiş ve programa tanımlanmıştır. Kurulum maliyeti 682.000,00 TL olarak hesaplanmış ve sisteme eklenmiştir. Etüt ve analiz giderleri (mühendislik, ruhsat ve idari ücretler dahil) için 60.850,00 TL tanımlanmıştır. Yıllık bakım maliyeti kapsamında yalnızca panel temizlik gideri için 10.000,00 TL öngörülmüş, diğer bakım giderleri öngörülmediği için sisteme dahil edilmemiştir. Kurulumun kurum çatısında yapılması planlandığından arazi masrafı oluşmamış ve bu kalem programa eklenmemiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, sistemin toplam kurulum maliyeti 3.593.350,00 TL olarak hesaplanmıştır.

Kurulum maliyetinin öz sermaye ile karşılandığı ve simülasyonu yapılan sistemin 2025 yılında hayata geçeceği varsayılmıştır. Sistemde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ) tarafından duyurulan 01 Mayıs 2023 tarihli 32177 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan 7189 Karar Sayılı Cumhurbaşkanı Kararına istinaden 01.07.2021 tarihinden 31.12.2030 tarihine kadar işletmeye girecek Yenilenebilir Kaynak Belgeli yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri için uygulanacak fiyatlar baz alınarak şebekeye satılacağı varsayılmıştır (İnt.Kyn. 17).

4.2 Çevresel analiz

Şekil 19'da sunulan CO_2 emisyon bilançosu, yılda 352,07 MWh enerji üreten bir fotovoltaik (FV) sistemin, 25 yıllık ömrü boyunca Türkiye'deki şebeke enerjisine (489 g CO_2/kWh emisyon faktörü) kıyasla toplamda 3543,4 ton CO_2 emisyonunu önlediğini göstermektedir. Sistem, üretim, kurulum ve işletim aşamalarında toplam 281,74 ton CO_2 emisyonu üretmekte olup, zaman içinde doğrusal bir şekilde artan CO_2 tasarrufu sağlamaktadır. Sistemin yaşam döngüsü emisyonları (LCE) bileşen bazında incelendiğinde, modüllerin 265.431 kg CO_2, sehpaların 15.264 kgCO_2 ve invertörlerin 1.044 kgCO_2 emisyona neden olduğu görülmektedir. Bu bulgular, toplam emisyonların %93'ten fazlasının modüllerin üretim aşamasından kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Yıllık %1'lik degradasyon göz önüne alındığında, sistem, Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşma çabalarına anlamlı bir katkı sunmaktadır. Önlenen

3543,4 ton CO_2 emisyonu, ortalama bir otomobilin yıllık 2-3 ton CO_2 emisyonu ürettiği varsayımıyla yaklaşık 1477 otomobilin yıllık emisyonuna eşdeğer bir tasarruf sağlamaktadır. Bu miktar, Türkiye'nin enerji sektörünün dekarbonizasyonu, emisyon azaltım hedeflerine ulaşılması, sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve teknolojik inovasyonun teşvik edilmesi bağlamında kritik bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, bu tür projelerin yaygınlaştırılması, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etme hedeflerine ulaşması açısından stratejik bir öneme sahiptir.



CO_2 emisyon bilançosu

Toplam: 3543.4 tCO_2

Üretilen emisyonlar

Toplam: 281.74 tCO_2

Kaynak: Aşağıdaki tablodan ayrıntılı hesaplama

Önlenen emisyon

Toplam: 4304.1 tCO_2

Sistem üretimi 352.07 MWh/yıl

Şebeke enerjisine bağlı emisyonlar: 489 gCO_2/kWh

Kaynak: IEA listesi

Ülke: Turkey

Sistem ömrü: 25 yıl

Yıllık degradasyon: 1.0 %

Zaman içinde CO_2 tasarrufu

Sistem yaşamında emisyon ayrıntıları

Öğe	LCE	Miktar	Alt toplam
			[$kgCO_2$]
Modül	847 kgCO2/kWp	314 kWp	265431
Sehpalar	3.26 kgCO2/kg	4680 kg	15264
İnvertör	522 kgCO2/birim	2.00 birim	1044

Şekil 4.12 CO_2 emisyon bilançosu

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Hatay ili Kırıkhan ilçesinde bulunan bir kamu kurumu binası için çatı tipi güneş enerji santrali (GES) tasarımı, PVsyst 7.4.5 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, 216 kWp nominal güce sahip olup, toplamda yılda 352.043 kWh enerji üretimi öngörmektedir. Sistem performans oranı (PR), bir güneş enerji sisteminin gerçek çıktısının teorik potansiyeline kıyasla ne kadar verimli çalıştığını gösteren bir ölçüttür. Bu çalışmada, sistemin performans oranı %81,20 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sistemin optimum performans seviyesine yakın bir şekilde çalıştığını ve enerji üretiminde verimli bir performans sergilediğini göstermektedir. Tasarlanan sistemin çevresel etkileri incelendiğinde, üretilen enerjinin, 489 g CO_2 /kWh emisyon faktörüne sahip şebeke enerjisine alternatif olarak kullanılmasıyla, 25 yıllık ömrü boyunca 3543,4 ton CO_2 emisyonunun önlendiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sistemin üretim, kurulum ve işletim aşamalarından kaynaklanan toplam CO_2 emisyonu 281,74 ton olarak hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü emisyonlarının bileşen bazlı analizi, modüllerin 265.431 kg CO_2, sehpaların 15.264 kgCO_2 ve invertörlerin 1.044 kg CO_2 emisyona neden olduğunu göstermiştir. Modüllerin toplam emisyonlardaki %93'lük payı, çevresel iyileştirme çalışmalarında odak noktasının bu bileşene yönelik olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sistem, 2022 yılında bina tarafından tüketilen toplam 241.585 kWh elektrik enerjisinin %145,7'lik bir fazlasını üreterek, büyük çapta kendi ihtiyacını karşılayabildiğini ve fazla enerjinin şebekeye aktarılabileceğini göstermiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, sistem tasarımı hem mevcut enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir hem de fazla enerji üretimiyle ekonomik bir kazanç sağlamaktadır. Yıllık %1'lik degradasyon oranı dikkate alındığında bile, sistemin uzun vadede bina enerji ihtiyacını karşılama kapasitesini koruduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin bina ölçeğinde sürdürülebilir bir enerji çözümü sunduğunu doğrulamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ülkelerin ekonomisinin ve dünya ekosisteminin sürdürülebilirliği için artırılmalıdır. Fotovoltaik sistemlerin gelişimi, yatırım maliyetlerinin düşmesi ve gelişen fotovoltaik panel teknolojisi sayesinde güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi daha ulaşılabilir seviyeye gelmiştir. Artık birçok alanda küçük, orta ve büyük ölçekte güneş panelleri sistemleri görmekteyiz ve bu

üretimin tüketime özgünleşmesi haline gelmekte ve devletimiz de bu modeli benimsemektedir. Bu çalışmamızda bir kamu binasının fotovoltaik sistem üretim kapasitesi tüm yönleriyle ele alınmıştır. Bu çalışmada, 323 adet 670 Wp gücünde CW Enerji monokristal panel ve 2 adet 100 kW gücünde Huawei invertör kullanılarak tasarlanan sistemin performansı analiz edilmiştir. Yıllık 352 MWh enerji üreten sistemin panel eğim açısının 45 derece olarak değiştirilmesi durumunda, yıllık enerji üretiminin 333,9 MWh ve performans oranının %78,85 olduğu görülmüştür. Bu durum, panel yönlendirmesinin enerji verimliliği üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

Turan (2022), tasarlamış olduğu 1 MWp'lik çatı tip güneş enerji santralinde 1246 MW enerji üretimi, 14000 ton CO_2 emisyonu önlediği ve performans oranının %81,80 olarak görülmüştür. Çalışmada fabrika çatısına eğimsiz olarak yerleştirilen paneller kirlenme kayıplarının sisteme daha fazla yansımasına sebebiyet verdiği görülmüştür. Sommani vd. (2022), çalışmalarında 1,85 MWp'lik bir güneş enerji santrali tasarımını yapmışlar ve yıllık 2.678 MWh enerji üretimi, %80 performans oranını simüle edilmiştir. Paudel vd. (2021), yaptıkları çalışmada bir üniversite kampüsüne 1 MW'lık çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı simüle etmişlerdir. Tasarımları sonucu sistemin yıllık elektrik üretimi tahmini 1.660 MWh olduğu sistemin yaklaşık olarak 961.404 USD yatırım maliyeti ve yıllık 8.008 USD işletme maliyetinin yanı sıra performans oranı %76,6 olarak simüle edilmiştir. Sistemin geri ödeme süresi 8,4 yıl olduğunu öngörmektedirler. Tasarlamış oldukları 1 MW'lık çatı üstü güneş enerji santralinin Purwanchal kampüsü için uygun olduğu değerlendirilmektedirler. Zaro (2023), çalışmasında enerji arz yetersizliği ve yüksek faturalara karşı yıllık 169 MWh enerji üretebilecek sistem tasarlamıştır. Sistemin ekonomik değerlendirmesinde ilk yatırım maliyeti 100.000 USD, geri ödeme süresi 5 yıl hesaplanmıştır. Sistemin ömrünü 25 yıl olarak baz almış ve sistemin ömrü boyunca önleyecek olduğu CO_2 emisyonu 2300 ton olarak simüle etmiştir. Çağlayan (2023), çalışmasında, yıllık tüketimi 45,327 kWh olan bir süt çiftliğine çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı yapmıştır. Sistemin gücü 216 kWp'tir. Sistemin yıllık ürettiği enerji 315,15 MWh ve sistemin performans oranı %80,8 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ömrü 25 yıl olarak tasarlanmış ve ömrü boyunca 3.185,48 ton CO_2 emisyonunu önleyeceği simüle edilmiştir.

PVsyst programı V7.2 ve V7.4 ile tasarlanan belirttiğimiz çalışmalar ve literatürde değinemediğimiz onca çalışmalar doğrultusunda güneş enerji sistemlerinin artık çiftliklerde, fabrikalarda, eğitim kurumlarında vb. alanlarda daha yaygın bir şekilde kullanım için tasarlandığı, ekonomik ve çevresel etkilerinin hesaplandığını görmekteyiz. PVsyst programı ile yapılan her bir çalışmanın hem teknik hem ekonomik hem de çevresel etkisi bakımından tasarlandıkları alanlara uygun ve ülke enerji sürdürülebilirliğini desteklediği görülmektedir.

Güneş enerjisi kullanımı ülkemizin enerji politikaları doğrultusunda her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda bireysel kullanıcıların da üretiminin tüketime özgün model ile sisteme dahil olduğu bir çerçevede çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik sağlanmış olacaktır. Çalışmamızın öncelikle yeniden yapılaşma sürecinde olan deprem bölgeleri ve mevcut diğer bölgelerdeki yapılar için bir örnek teşkil edeceğini düşünmekteyiz.
Ekonomik analizler, sistemin toplam kurulum maliyetinin 3.593.350 TL olduğunu ortaya koymuştur. Tasarlanan sistemin ekonomik analizinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir: Geri Ödeme Süreci (GÖS): 4,2 yıl, Net Bugünkü Değer (NBD): 17.898.103 TL, İç Karlılık Oranı (IKO): %23,81, Yatırımın Geri Dönüşü (ROI): %498,1.

Sonuç olarak, bu çalışma ile Hatay ilindeki iklim şartları ve enerji ihtiyacına uygun bir çatı üstü güneş enerji sistemi tasarımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemin hem ekonomik hem de çevresel performansı, bölge özelinde diğer yapılara uygulanabilecek bir model sunmaktadır. Simülasyon sonuçları, tasarımın ilgili binanın enerji ihtiyacını karşılama konusunda yüksek bir uygunluğa sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, benzer projelerin ülke genelinde yaygınlaştırılması, sürdürülebilir enerjiye geçişi hızlandıracak ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasında önemli bir adım olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Akkaya, S, Oy S A, 2021, Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 759-773.

Aksangör, N N, 2019, Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Programı Yardımı ile Performans Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 96s, Ankara.

Atakul, Ş, Kalender, M, Gezici M, Eliçin A K, 2015, Güneş Tarlası Kurulumu, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 11(1), 55-60.

Aybek, A, Üçok S, Bilgili M E, İspir M A, 2015, Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(2).

Aytekin A, 2005, Yatırım Projelerinin Bilgisayar Paket Programı ile Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7(7), 62-71.

Bayrak M, Aslan E, 2023, Türkiye'deki Lisanssız Güneş Enerjisi Santrallerinde Üretim Kayıplarının Belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 233-240, https://doi.org/10.17780/ksujes.1210936.

Bayraktar K, 2013, Küçük Ölçekli Hibrit (Rüzgâr-Güneş) Enerji Santrali Denetimi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 132s, Zonguldak.

Birpınar M E, 2022, Küresel Sorun: İklim Değişikliği "Gelişimi, Uluslararası Müzakereler ve Türkiye'', Çevre Şehir ve İklim Dergisi, 1(1), 20-36.

Boz O H, 2011, Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Balıkesir.

Çağlayan N, 2023, The Technical and Economic Assessment of a Solar Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System for a Dairy Farm, Energies, 16(20), 7043.

Çelik M, 2019, Yükselten Çevirici Topolojisine Sahip Lityum İyon Piller İçin Mppt

Solar Şarj Kontrol Cihazı, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Bursa.

Çelik A, Koç F, 2020, Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Validasyonu. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(4), 2491-2515. https://doi.org/10.29130/dubited.789691

Çetin H, 2019, Fotovoltaik Güneş Santrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, Isparta.

Çınaroğlu H, 2023, Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı ve Simülasyonu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Bilecik.

Eiva U R J, Fahim T M, Islam S S, Ullah, M A, 2023, Design, performance, and techno-economic analysis of a rooftop grid-tied PV system for a remotely located building, IET Renewable Power Generation.

Eremkere M, Aktaş T, 2020, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 7(1), 275-294.

EÜAŞ, “2014 Yıllık Faaliyet Raporu”, Ankara 2014.

EÜAŞ, “2022 Yıllık Faaliyet Raporu”, Ankara 2022.

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 30772, 12 Mayıs 2019.

Geçen R, 2019, Hatay İlinde Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanlarının Belirlenmesi.

Gülsever M, 2020, Güneş Enerjisi Destekli Evsel Elektrik İhtiyacının Matematiksel Modellenmesi-Sistemin Performans Analizi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Bingöl.

Gümüş H, Çubukçu M, 2023, Fotovoltaik Modüllerde Elektrostatik Temizleme Yöntemiyle Tozlanma Kayıplarının Azaltılması Üzerine Deneysel Bir

Çalışmanın Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25(73), 205-216. https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257317.

Gündüz M S, 2019, Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Tekno-Ekonomik Analizi; Kütahya-Simav Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 109.

Haydaroğlu C, Gümüş B, 2016, Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 491-500.

Ismahane S Z, Zohra A F, Mouhoub B, Mahammedi N A, Bechouat M, 2023, Sizing And Techno-Economic Analysis of a Photovoltaic Solar System for a Primary School Using PVSYST. In 2023 2nd International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM) (Vol. 1, pp. 1-6). IEEE.

İlkılıç Z, 2016, Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Enerji Sistemlerinin Gelişimi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 6(2/2), 1-13.

Kamanja, L, Komarala V, Dutta V, Waita S, Wachira, K, 2022, Techno-Economic Analysis of a Rooftop Grid-connected Photovoltaic Solar System: A case study of Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology (SAJOREC), In 2022 IEEE PES/IAS PowerAfrica (pp. 1-5), IEEE.

Kılıç F, 2023, Alternatif Bir Kaynak Olarak Türkiye'de Hidrojen Enerjisi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s. Karabük.

Kılınç E C, Altıparmak H, 2020, Çevre Vergilerinin CO2 Emisyonu Üzerindeki Etkisi Üzerine Bir Uygulama, Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 10 (1) , 217-227.

Küçükgöze O M, 2016, Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Erzincan.

Mishra P R, Rathore S, Jain V, 2024, Pvsyst Enabled Real Time Evaluation of Grid Connected Solar Photovoltaic System, International Journal of Information Technology, 16(2), 745-752.

Özel S, 2023, Çevre ve Enerji Kaynaklarını Korumada Sivas'ın Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Enerji Talebini Karşılamanın İncelenmesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, vol.1, no.2, 105-117.

Paudel B, Regmi N, Phuyal P, Neupane D, Hussain M I, Kim D H, vd, 2021, Techno-Economic and Environmental Assessment of Utilizing Campus Building Rooftops for Solar PV Power Generation, International Journal of Green Energy, 18(14), 1469-1481.

Sancar M R, Bayram A B, 2023, Modeling and Economic Analysis of Greenhouse Top Solar Power Plant with Pvsyst Software, International Journal of Engineering and Innovative Research, 5(1), 48-59.

Serat Z, Fatemi S A Z, Shirzad, 2023, Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software, Archives of Advanced Engineering Science, 1(1), 63-76.

Sharma R, Goel S, Lenka S R, 2023, Pragmatic Analysis of Solar Photovoltaic System Design in an İnstitutional Building in Eastern India, Frontiers in Energy Research, 11, 943207.

Sitepu R, Joewono A, Yuliati Y, Angka P R, Teja B, Pranjoto H, 2024, Design and İmplementation of 232.2 Kwp Rooftop on Grid Solar Power Plant. In E3S Web of Conferences (Vol. 475, p. 03005). EDP Sciences.

Sommani P, Nookwan J, Lothongkum A W, 2022, Solar Rooftop PV Power Generation for a Commercial Building in Thailand. In International Conference on Green Energy and Environment Engineering (pp. 83-92).

Suratno S, Sutikno E, Aprillia H, 2023, Feasibility Study on Rooftop Solar Power Plant Installation in Vocational High School Workshop. In 2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA) (pp. 821-826). IEEE.

Sülü M, 2019, Fotovoltaik Güç Santrallerinde Enerji Kaybı ve Verimlilik Entegrasyonu,

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Kilis.

Şahin A, 2024, Bir Güneş Enerjisi Santralinin Pvsol ve Pvsyst Programları Aracılığıyla Tasarım Ve Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s. İstanbul.

Turan O, 2022, 1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 609-626. https://doi.org/10.35234/fumbd.1104455

Türkyılmaz A, 2023, Çatı Uygulamalı Bir Güneş Enerji Santralinin Farklı Yazılımlarda Optimizasyon Çalışması; Bursa Örneği, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 167s, Kütahya.

Uygur İ, Demirci R, Saruhan H, Özkan A, 2006, Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 7-13.

Yalılı, M, 2021. Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(3), 1055-1074.

Yıldırım, H H, Aksu M, 2021, Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Santral Yatırımlarının Ekonomik Performanslarının Değerlendirilmesi. Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 4(1), 53-75. https://doi.org/10.52736/ubeyad.933756

Yiğit F, 2023, Şebekeye Bağlı 1 Mw Güneş Enerji Santralinin Pvsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Konya.

Zaro F, 2023, Technical and Economic Study of On-Gird Solar Rooftop PV system Using PV Syst Software: A Case Study, International Journal of Environmental Engineering and Development, 1, 127-133.

İnternet Kaynakları

1- http://www.tkdkuzey.com/s-3-dogankent-hes.html, 20.03.2024

2- http://www.belen.gov.tr/ruzgar-enerji-santaralleri, 20.03.2024

3- https://www.kayseri.bel.tr/haberler/buyuksehirin-biyogaz-tesisinden-6-bin-421-hanenin-ihtiyacini-karsilayacak-enerji16372, 20.03.2024

4- https://www.yesilodak.com/jeotermal-enerji-nedir-, 22.03.2024

5- https://www.yesilist.com/turkiyede-bir-ilk-zonguldaka-doga-dostu-dalga-enerjisi-geliyor/, 32.03.2024

6- https://www.amatorteknik.com/yakit-hucresi-nasil-calisir/, 22.03.2024

7- https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf (18.01.2025)

8- https://seffaflik.epias.com.tr/electricity/renewables-support-mechanism/licensed-generation-amount/real-time-generation, (19.01.2025)

9- https://www.ibsolar.co.in/blogs/in-1954-bell-laboratories-built-the-first-ever-silicon-solar-cell/, 25.03.2024

10- https://www.antalyaenerji.com/gunes-fotovoltaik-pili-nedir-ve-nasil-calisir/, 30.03.2024

11- https://solaravm.com/solar-gunes-paneli#/noFilterApplied, 30.03.2024

12- https://solaravm.com/off-grid-gunes-enerji-sistemleri, 30.03.2024

13- https://solaravm.com/on-grid-gunes-enerji-sistemleri,30.03.2024

14- https://solaravm.com/hibrit-sistemler, 30.03.2024

15- https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/31.aspx, 01.04.2024

16- https://solaravm.com/, (19.01.2025)

17- https://www.epias.com.tr/tum-duyurular/piyasa-duyurulari/elektrik/kayit-ve-uzlastirma/01-07-2021-tarihinden-31-12-2030-tarihine-kadar-isletmeye-girecek-yek-belgeli-yenilenebilir-enerji-kaynaklarina-dayali-elektrik-uretim-tesisleri-icin-uygulanacak-fiyatlar-hk-18/, (15.01.2025)