GÜNEŞ ENERJİLİ EV SİSTEMİ TASARIMI VE PERFORMANS SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yağız Talha KAYNAK

Danışman
Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Ocak 2025

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİLİ EV SİSTEMİ TASARIMI VE PERFORMANS SİMÜLASYONU

Yağız Talha KAYNAK

Danışman
Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
Ocak 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Yağız Talha KAYNAK tarafından hazırlanan "Güneş Enerjili Ev Sistemi Tasarımı ve Performans Analizi" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca … / …. / ….. 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 **:** Doç. Dr. Güray SONUGÜR
Afyon Kocatepe Üniversitesi., Teknoloji Fakültesi

Üye **:** Doç. Dr. Ahmet BİÇER
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üni., Fen-Edebiyat Fakültesi

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

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.

07 / 01 / 2025

İmza

Yağız Talha KAYNAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Enerjili Ev Sistemi Tasarımı ve
Performans Simülasyonu

Yağız Talha KAYNAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

Bu araştırma, küresel enerji talebinin sürekli artışı ve çevresel sürdürülebilirlik kaygılarının yükselişi bağlamında, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin ev ölçeğinde kullanım potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Ankara ili Gölbaşı ilçesinde ikamet eden 4 kişilik bir ailenin enerji ihtiyacını karşılayacak bir fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemi tasarlanmış ve bu sistemin teknik ve ekonomik fizibilitesi detaylı olarak analiz edilmiştir.

Çalışmada, PVsyst yazılımı aracılığıyla tasarlanan sistemin enerji üretim kapasitesi, performans oranı ve enerji kayıpları simüle edilerek değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, sistemin yıllık enerji üretim potansiyelini sayısal verilerle ortaya koyarken, aynı zamanda sistemin enerji üretimindeki verimlilik düzeyini de göstermektedir. Tasarlanan güneş enerjili ev sisteminin teknik özelliklerinin yanı sıra, sistemin ekonomik fizibilitesi de kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda, PVsyst programı kullanılarak yapılan simülasyon, tasarlanan sistemin maliyet etkinliğini, yatırımın geri ödeme süresini, enerji tasarruf potansiyelini ve şebekeye elektrik satışı yoluyla elde edilebilecek potansiyel geliri değerlendirmek için kullanılmıştır.

Simülasyon çıktıları, saha koşullarıyla uyumlu gerçek fizibilite analizleriyle karşılaştırılmış, böylece teorik modelleme ile pratik uygulama arasındaki olası sapmalar

belirlenmiştir. Sistem tasarımında, güneş panelleri ve invertör gibi kritik bileşenler titizlikle seçilmiş, kayıp analizleri, optimum yönlendirme stratejileri ve farklı enerji tüketim senaryoları gibi faktörler dikkate alınmıştır. Ekonomik analiz boyutunda ise, sistemin maliyet etkinliği, yatırımın geri dönüş süresi, uzun vadeli yatırım getirisi ve fazla üretilen elektriğin şebekeye satılmasıyla elde edilebilecek kar potansiyeli değerlendirilmiştir.

Araştırma bulguları, Gölbaşı ilçesinde güneş enerjisi sistemlerinin hem teknik performans hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından uygulanabilir bir alternatif enerji kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, güneş enerjisi yatırımlarının bireysel ve toplumsal düzeyde benimsenmesini teşvik etmeyi ve yenilenebilir enerji projelerine yönelik somut bir yol haritası sunmayı hedeflemektedir. Bu analizler, gelecekteki enerji projelerinin daha gerçekçi ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacak ve bu projelerde şebekeye elektrik satışı yoluyla kar elde etme potansiyelini de dikkate alarak daha kapsamlı planlamalar yapılmasına olanak tanıyacaktır.

2025, xiii + 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Fizibilite, Fotovoltaik Sistem, Güneş Enerjisi, PVsyst Simülasyonu, Şebekeye Bağlı Sistem, Yenilenebilir Enerji.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Solar Home System Design and
Performance Simulation

Yağız Talha KAYNAK
Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Renewable Energy Systems Main Science
Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet YÖNETKEN

In the context of the continuous increase in global energy demand and the rise of environmental sustainability concerns, this research aims to examine the potential of using solar energy, one of the renewable energy sources, on a domestic scale. In this context, a photovoltaic (PV) solar energy system has been designed to meet the energy needs of a family of 4 people residing in Gölbaşı district of Ankara province and the technical and economic feasibility of this system has been analysed in detail.

In the investigation, the energy production capacity, performance ratio and energy losses of the designed system were simulated and evaluated by using PVsyst software. The simulation results reveal the annual energy production potential of the system with numerical data, while also showing the efficiency level of the system in energy production. In addition to the technical features of the designed solar home system, the economic feasibility of the system has also been comprehensively analysed. In this context, simulation using PVsyst software has been used to evaluate the cost-effectiveness of the designed system, the payback period of the investment, the energy saving potential and the potential income that can be generated through the sale of electricity to the grid.

The simulation outputs were compared with actual feasibility analyses in accordance with field conditions, thus identifying possible deviations between theoretical modelling

and practical implementation. In the system design, critical components such as solar panels and inverters were carefully selected and factors such as loss analyses, optimal routing strategies and different energy consumption scenarios were taken into account. In the economic analysis dimension, the cost-effectiveness of the system, return on investment, long-term return on investment and the profit potential that can be obtained by selling excess electricity to the grid were evaluated.

The research findings reveal that solar energy systems are a viable alternative energy source in Gölbaşı district in terms of both technical performance and economic sustainability. The results obtained aim to encourage the adoption of solar energy investments at individual and societal level and to provide a concrete roadmap for renewable energy projects. These analyses will contribute to a more realistic and comprehensive assessment of future energy projects and allow for more comprehensive planning, taking into account the potential for profit generation through the sale of electricity to the grid.

2025, xiii + 72 pages

Keywords: Economic Feasibility, Grid Connected System, Photovoltaic System, PVsyst Simulation, Renewable Energy, Solar Energy.

TEŞEKKÜR

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

Tez çalışmam boyunca tecrübesi ve deneyimleri ile analiz yapmam için bilgilerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Fatih Selim KOÇARLI'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu araştırma sürecinin gerçekleştirilmesinde önemli katkılarda bulunan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Sunduğunuz maddi ve manevi destek, karşılaştığım zorlukları aşmada büyük bir rol oynadı.

Değerli eşim Fatma YİĞİT KAYNAK'a, bu araştırma sürecinde gösterdiği sabır, anlayış ve destek için derin bir minnet borçluyum. Tezin yazım aşamasında yaşadığım zorluklar sırasında sağladığı duygusal destek, bu çalışmanın tamamlanmasında kritik bir rol oynamıştır. Kendisi, akademik yolculuğum boyunca en değerli ilham kaynağım olmuştur.

Yağız Talha KAYNAK
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
RESİMLER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ 4
2.1 Enerji 4
2.1.1 Yenilenemez Enerji 4
2.1.2 Yenilenebilir Enerji 5
2.2 Güneş Enerjisi 6
2.2.1 Güneş Enerjisinin Avantajları 7
2.2.2 Şebeke Bağlantılı ve Şebekeden Bağımsız Güneş Enerji Sistemleri 8
2.2.2.1 Şebeke Bağlantılı 8
2.2.2.2 Şebekeden Bağımsız 10
2.2.3 Türkiye'de ve Dünyada Güneş Enerjisi 11
2.2.4 Güneş Panelleri 12
2.2.4.1 Güneş Paneli Çeşitleri 14
2.2.4.2 Güneş Panelleri Çalışma Prensibi 15
2.3 Güneş Enerjili Ev Sistemi 16
2.3.1 Güneş Enerjili Ev Nedir? 16
2.3.2 Güneş Enerjili Ev Neden Kullanılır? 16
2.3.3 Güneş Enerjili Ev Tasarımı 16
2.3.4 Güneş Enerjili Ev Tasarımında Dikkate Alınması Gereken Unsurlar 17
2.4 Güneş Enerjili Ev Tasarımı Simülasyonu 17
2.4.1 Simülasyon Uygulamaları 18
2.4.1.1 Homer 18
2.4.1.2 SAM 19
2.4.1.3 PVGIS 20

2.4.1.4 PVSOL 20
2.4.1.5 PVsyst 21
2.5 Örnek Araştırmaların Taraması 22
2.5.1 Ulusal Çalışmalar 22
2.5.2 Uluslararası Çalışmalar 25
3. MATERYAL ve METOT 27
3.1 PVsyst Programı ile Sistem Tasarımı 27
3.1.1 PVsyst Programı ile Proje Tasarımı 28
3.1.1.1 Şebekeye Bağlı Sistem Sasarımı 29
3.1.1.2 Yönlendirme Bölümü 31
3.1.1.3 Sistem Bölümü 32
3.1.1.4 Kayıplar Bölümü 35
3.1.1.5 Öz Tüketim Bölümü 35
3.1.1.6 Horizon (Ufuk Çizgisi) Bölümü 37
3.1.1.7 Yakın Gölgelenmeler Bölümü 38
3.1.1.8 Ekonomik Değerlendirme Bölümü 40
3.2 Fizibilite Raporu Tasarımı 44
3.2.1 Fizibilite Raporu Genel Proje Bilgileri 44
3.2.2 Fizibilite Raporu Elektrik Üretimi Bilgileri 45
3.2.3 Fizibilite Raporu Sistem Raporu Bilgileri 46
4. BULGULAR 47
4.1 PVsyst Simülasyon Sonuçları 47
4.2 Fizibilite Sonuçları 61
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 63
6. KAYNAKLAR 68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
$	Dolar

Kısaltmalar

3D	3 Boyutlu
A	Akım
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
Ah	Amper Saat
a-Si	Amorf Silikon
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CdTe	Kadmiyum Tellür
CIGS	Bakır İndiyum Galyum Selenid
CO_2	Karbondioksit
CSP	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Enerji
DC	Doğru Akım
DOE	ABD Enerji Bakanlığı
E_t	Yıl (t) için elektrik üretimi
FMO	Fayda Masraf Oranı
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	Güneş Enerjisi Sistemleri
GÖS	Geri Ödeme Süresi
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
I_{mp}	Maksimum Güç Akımı
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
I_t	(t) yılı için yatırım ve harcamalar
İ	Alternatif yatırımlarda elde edilebilecek iskonto oranı
İKO	İç Kârlılık Oranı
kVA	Kilo Volt Amper
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt Saat
kWp	Kilowatt Peak
m^2	Metre Kare
mm	Milimetre
mono-Si	Monokristalin Silikon
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçisi
M_t	(t) yılı için işletme ve bakım harcamaları
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Saat
n	Sistemin yaşam süresi
NBD	Net Bugünkü Değer
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı

P_{max}	Maksimum Güç
PR	Performans Oranı
PV	Fotovoltaik
PVGIS	Photovoltaic Geographic Information System
r	Alternatif yatırımlarda kazanılabilecek iskonto oranı
R_t	Yıl (t) için net bakiye (gelir - gider)
SAM	System Advisor Model
TCA	Trikloroasetik Asit
tCO_2	Toplam Karbondioksit
TWh	Terawatt Saat
V	Voltaj
VA	Volt-Amper
V_{mp}	Maksimum Güç Gerilimi
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
W	Watt
W_{max}	Maximum Watt
Wp	Watt Peak

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

ŞEKİL 2.1 Şebekeye bağlı sistem 9
ŞEKİL 2.2 Şebekeden bağımsız sistem 10
ŞEKİL 2.3 PV hücrenin yapısı 13

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

ÇİZELGE 3.1 Fotovoltaik panel özellikleri 34
ÇİZELGE 3.2 İnverter özellikleri 35
ÇİZELGE 4.1 PVsyst detaylı ekomonik ekranı 60

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

RESİM 2.1 Türkiye'nin yıllık ışınım haritası 12
RESİM 3.1 PVsyst proje tasarım ekranı 29
RESİM 3.2 PVsyst proje yönetim panosu 30
RESİM 3.3 PVsyst hava data tablosu ve grafiği sayfası 31
RESİM 3.4 PVsyst eğim ve azimut açısı belirlenmesi 32
RESİM 3.5 PVsyst sistem bölümü 33
RESİM 3.6 Güneş panellerine ait verilerin yer aldığı PVsyst ekranı 33
RESİM 3.7 invertere ait detaylı verilerin yer aldığı PVsyst ekranı 34
RESİM 3.8 PVsyst kayıplar bölümü 36
RESİM 3.9 PVsyst günlük elektrik tüketim ekranı 36
RESİM 3.10 PVsyst saatlik elektrik tüketim ekranı 37
RESİM 3.11 PVsyst ufuk çizgisi sayfası görünümü ve değerleri 38
RESİM 3.12 PVsyst yakın gölgelemeler ekranı 39
RESİM 3.13 PVsyst tasarlanan evin perspektif görüntüsü 40
RESİM 3.14 Autocad genel yerleşim planı 40
RESİM 3.15 PVsyst kurulum maliyet ekranı 42
RESİM 3.16 PVsyst finansal parametreler ekranı 42
RESİM 3.17 PVsyst elektrik satış fiyatlandırma stratejisi ekranı 43
RESİM 3.18 PVsyst öz tüketim tasarrufu ekranı 43
RESİM 3.19 PVsyst mali sonuçlar ekranı 44
RESİM 3.20 Fizibilite genel proje ekranı 45
RESİM 3.21 Fizibilite elektrik üretim ekranı 45
RESİM 3.22 Fizibilite sistem kurulum ekranı 46
RESİM 4.1 PVsyst simülasyon ekranı 48
RESİM 4.2 PVsyst rapor ekranı 48
RESİM 4.3 PVsyst tek hat şeması ekranı 49
RESİM 4.4 PVsyst özet ekranı 50
RESİM 4.5 PVsyst şebekeye bağlı sistem için genel parametreler ekranı 51
RESİM 4.6 PVsyst ufuk tanımlaması ekranı 52
RESİM 4.7 PVsyst yakın gölgelemeler ekranı 53
RESİM 4.8 PVsyst izo gölgeleme diyagramı 54

RESİM 4.9 PVsyst genel sonuçlar ve performans analizi 55
RESİM 4.10 PVsyst kullanıcı ihtiyaçları ekranı 56
RESİM 4.11 PVsyst kayıplar grafiği ekranı 56
RESİM 4.12 PVsyst ön tanımlı grafikler 57
RESİM 4.13 PVsyst sistem maliyeti ekranı 58
RESİM 4.14 PVsyst finansal analiz ekranı 59
RESİM 4.15 PVsyst birikmiş nakit akışı ekranı 61
RESİM 4.16 Fizibilite rapor ekranı 62
RESİM 4.17 Fizibilite öz kaynak ekranı 62

1. GİRİŞ

Enerji, yaşamın sürdürülebilmesi için temel bir ihtiyaçtır ve teknoloji geliştikçe, küresel nüfus arttıkça enerji talebi de giderek artmaktadır. Günümüzde bu artan enerji talebinin büyük bir kısmı, çevresel kaygılara yol açan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yaygın kullanımı, karbondioksit emisyonlarını artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Yilmaz & Dincer, 2017). Fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve tükenebilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını daha da ön plana çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel kaygılara cevap vermekle kalmayıp, aynı zamanda çok yüksek enerji potansiyeline sahiptir. Bu kaynaklar arasında güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik enerji gibi çeşitli seçenekler bulunmaktadır.

Başlangıçta yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik üretiminde, daha çok hidroelektrik santralleri tercih edilmekteydi. Ancak, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, günümüzde rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleri de elektrik üretiminde yaygınlaşmış ve popüler hale gelmiştir. Bu değişimin arkasındaki başlıca faktörler; küresel ısınma, fosil yakıtların azalması ve rüzgâr ile güneş enerjisi teknolojilerinin maliyetlerindeki düşüş olarak sıralanabilir (Rüstemli & Tekev, 2021) (Dinçer, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, en öngörülebilir, tutarlı, sınırsız ve çevre dostu kaynak olarak güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Mevcut enerji kaynakları arasında en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisi, yıllık yaklaşık 1.500 milyon TWh üretim kapasitesine ulaşmaktadır (Sørensen, ve diğerleri, 2019). Temiz ve sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, konutlardan sanayi tesislerine kadar geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla, çevresel kirlilik yaratmaması ve sağlık açısından risk taşımaması, güneş enerjisini ideal bir çözüm haline getirmektedir.

Pew Research Center tarafından 2022 yılında yapılan bir araştırmaya göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde evlerdeki güneş paneli kurulumlarında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Bu eğilim, düşen maliyetler, hükümet teşvikleri ve artan çevresel

farkındalık gibi çeşitli faktörlerle tetiklenmektedir. Teknolojik gelişmeler ve ölçek ekonomileri, güneş enerjisini ev sahipleri için daha erişilebilir hale getirmiştir. Ayrıca, iklim değişikliğiyle ilgili artan endişeler ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talep, güneş panellerine yönelik ilgiyi artırmaktadır. Birçok ev sahibi, karbon ayak izini azaltmanın ve daha temiz bir çevreye katkıda bulunmanın güneş enerjisiyle mümkün olduğunu düşünmektedir (Leppert & Kennedy, 2022).

Bu tez çalışmasının temel amacı, Ankara ili Gölbaşı ilçesinde, konut ölçeğinde fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemi tasarımı gerçekleştirmek ve bu sistemin teknik ve ekonomik performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir. Güneş enerjisi, fotovoltaik paneller aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve bu sayede konutların enerji talebini karşılayabilmektedir. Söz konusu sistemlerin etkin tasarımı ve verimlilik analizleri, hem maliyet optimizasyonu hem de konutların enerji gereksinimlerinin sürdürülebilir bir şekilde karşılanması açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, üretilen fazla elektriğin şebekeye satılmasıyla gelir elde etme potansiyeli de bu sistemlerin ekonomik cazibesini artırmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinin uygulamaya geçirilmesinde, yalnızca teknik tasarım ve performans değerlendirmesi değil, aynı zamanda ekonomik fizibilite de önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, çalışmada tasarlanan PV sistemin teknik performansı kadar, ekonomik uygulanabilirliği ve üretilen fazla elektriğin şebekeye satılmasıyla elde edilebilecek gelir de titizlikle değerlendirilmiştir. Fizibilite çalışmaları, sistemin maliyet etkinliğini, yatırımın geri ödeme süresini, enerji tasarruf potansiyelini, uzun vadeli yatırım getirisini ve şebekeye elektrik satışı ile elde edilecek ek geliri analiz etmek için kritik bir araç olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda, PVsyst yazılımı ile yıllık bazda gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, yerel saha koşullarına dayalı gerçek veriler ile karşılaştırılarak, ekonomik fizibilite analizlerinin daha kapsamlı ve gerçekçi bir değerlendirmesi hedeflenmiştir. Bu değerlendirme, özellikle şebekeye satılacak elektrik miktarını ve bu satıştan elde edilecek potansiyel karı da içerecektir.

Bu çalışmada, öncelikle literatürde yer alan benzer çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenecek, ardından PVsyst yazılımı kullanılarak, bir konut ölçeğinde fotovoltaik

güneş enerjisi sistemi tasarlanacak ve simüle edilecektir. Yıllık simülasyon sonuçları üzerinden, sistemin teknik performansı detaylı bir şekilde değerlendirilecek ve ekonomik açıdan ne kadar uygulanabilir olduğu, şebekeye elektrik satışı dahil olmak üzere fizibilite analizleri aracılığıyla ortaya konulacaktır. Bu karşılaştırmalı ve çok yönlü yaklaşım, hem teknik hem de ekonomik açılardan kapsamlı bir analiz yapılmasına imkân sağlayacaktır. PVsyst simülasyon raporlarındaki teorik sonuçlar ile gerçek saha koşullarına dayalı elde edilen veriler karşılaştırılarak, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin konut ölçeğinde tasarımı, uygulanabilirliği, ekonomik sürdürülebilirliği ve üretilen fazla elektrikten elde edilebilecek gelir potansiyeli üzerine anlamlı çıkarımlar yapılması hedeflenmektedir.

Tezin nihai amacı, 4 kişilik bir ailenin enerji talebini karşılayabilecek bir fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin verimliliği, maliyet etkinliği, uzun vadeli performansı ve üretilen fazla elektriğin şebekeye satılmasıyla elde edilebilecek ekonomik fayda açısından ne derece etkin olduğunu bilimsel bir çerçevede ortaya koymaktır. Çalışmanın elde edeceği sonuçlar, konut ölçeğinde fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlayacak önemli bulgular sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, kapsamlı fizibilite analizleri ile bu tür projelerin ekonomik olarak sürdürülebilirliği, elektrik satışından elde edilecek kar dâhil olmak üzere değerlendirilerek, gelecekteki yenilenebilir enerji projelerine yönelik stratejik bir yol haritası sunulması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Enerji

Enerji, fiziksel bir sistemin iş yapabilme kapasitesini tanımlayan temel bir büyüklüktür. Bu kapasite, çeşitli işlemleri gerçekleştirme yeteneği olarak değerlendirilebilir ve hem doğal hem de yapay sistemlerde belirleyici bir rol oynar. Örneğin, bir cismin hareket ettirilmesi, ısıtılması veya mekanik iş yapılması için enerjiye ihtiyaç vardır. Dolayısıyla enerji, bir sistemin dinamik özelliklerini belirleyen kritik bir unsurdur.

Enerji, farklı formlarda bulunabilir ve bu formlar arasında dönüşüm gerçekleştirebilir. Isı enerjisi, kinetik enerji, potansiyel enerji ve elektrik enerjisi gibi çeşitli enerji türleri, farklı sistemlerde birbirine dönüşerek iş yapma kapasitesini sağlar. Bu dönüşümler, sistemlerin işlevselliğini sürdürmesine olanak tanır ve bu süreçlerde enerjinin bir formdan diğerine aktarılması temel bir mekanizmadır. Örneğin, bir elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek bir makinenin çalışmasını sağlar (Bobrowsky, 2021).

Enerjinin korunumu yasası, tüm bu süreçlerin temelinde yer alan bir ilkedir. Bu yasa, enerjinin ne yaratabileceğini ne de yok edilebileceğini, yalnızca bir formdan diğerine dönüşebileceğini belirtir. Bu kapsamda, kapalı bir sistemde toplam enerji miktarı sabit kalır; yani enerji kaybolmaz, sadece sistem içinde farklı formlar arasında dönüşüm gerçekleşir. Bu ilke, doğadaki tüm enerji süreçlerinin anlaşılmasında ve değerlendirilmesinde kilit bir rol oynar (Planck, 1927).

2.1.1 Yenilenemez Enerji

Yenilenemez enerji kaynakları, doğal yollarla hızlı bir şekilde yenilenemeyen ve tüketime ayak uyduramayacak derecede sınırlı olan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar, petrol, kömür ve doğalgaz gibi kaynaklar, milyonlarca yıl süren jeolojik süreçler sonucunda oluşmuş olup, bu kaynakların yeniden oluşumu insan yaşamı ölçeğinde mümkün değildir. Bu nedenle, yenilenemez enerji kaynakları, enerji üretiminde yaygın

olarak kullanılsa da, sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilemez (Elsevier, 2013).

Yenilenemez enerji kaynaklarının aşırı kullanımı, hem kaynakların hızla tükenmesine hem de çevresel bozulmalara yol açmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonları, iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi küresel çevre sorunlarının başlıca nedenlerindendir. Ayrıca, bu kaynakların çıkarılması ve taşınması sırasında doğal ekosistemler üzerinde ciddi tahribatlar meydana gelmektedir (Elsevier, 2013).

Bu kapsamda, yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımının sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılması, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Yenilenemez enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak, enerji güvenliğini sağlamak ve çevresel etkileri en aza indirmek için önemlidir.

2.1.2 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, insan faaliyetleri ya da doğal süreçler sonucunda doğal olarak kendini yenileyebilen ve tükenmeyen enerji kaynaklarını ifade eder. Bu tür enerji kaynakları, kullanım süreci boyunca doğada sürekli olarak yeniden oluştuğu için tükenme riski taşımamakta ve çevre üzerinde olumsuz etkilere yol açmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi gibi doğal kaynaklar örnek verilebilir (Asumadu-Sarkodie & Owusu, 2016).

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlar gibi sınırlı ve çevreye zarar veren enerji kaynaklarına sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri, karbon emisyonlarını azaltarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunurken, aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürme ve enerji güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016).

Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıca örnekleridir. Bu kaynaklar, hem çevresel açıdan düşük etkiye sahip olmaları hem de sürdürülebilir enerji üretimi sağlamaları nedeniyle, enerji politikalarının merkezinde yer almaktadır (Ellabban, Abu-Rub, & Blaabjerg, 2014).

2.2 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen radyasyonu kullanarak ısı üretme, kimyasal reaksiyonları tetikleme ve elektrik üretme kapasitesine sahip bir enerji türüdür. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin toplam miktarı, mevcut ve gelecekteki enerji taleplerini büyük ölçüde karşılayacak potansiyele sahiptir. Doğru teknolojiler ve stratejilerle kullanıldığında, bu geniş enerji kaynağı, gelecekteki tüm enerji ihtiyaçlarını sürdürülebilir bir şekilde karşılama potansiyeli taşımaktadır. Özellikle 21. yüzyılda, tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen bir kaynak olarak güneş enerjisi, kömür, petrol ve doğalgaz gibi sınırlı fosil yakıtlara kıyasla giderek daha cazip hale gelmektedir (Zeller-Silva, 2007).

Güneş panelleri, güneş ışığını elektriğe dönüştürme prensibi ile çalışmaktadır. Bir güneş paneli, üzerine çarpan güneş ışığını emen fotovoltaik hücrelerden oluşur. Bu hücreler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme kapasitesine sahiptir. Bir güneş panelinin verimliliği, kullanılan hücrelerin güneş ışığını elektriğe dönüştürme hızına bağlıdır. Güneş panelleri, fotonları emer ve bu süreç, elektrik akımını başlatır. Fotonların enerjisi, atomlardaki elektronları serbest bırakır ve bu elektronlar elektrik alanına doğru yönlendirilerek doğru akım oluşumuna yol açar. Güneş panelleri genellikle silikon, fosfor ve bor gibi malzemelerden üretilen fotovoltaik hücrelerden meydana gelir (Gencoglu & Cebeci, 2000).

Güneş enerjisi sistemleri, hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız uygulamalarda kullanılabilmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde, güneş panelleri tarafından üretilen elektrik gündüz depolanarak gece tüketilebilirken, şebekeden bağımsız sistemler bir şarj kontrolörü ve genellikle bir invertör gerektiren bileşenlerden oluşur. Güneş enerjisi, bol ve temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle tercih edilen bir

yenilenebilir enerji türüdür. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından dünya ülkelerine kıyasla avantajlı bir konuma sahiptir. Ancak, Avrupa'daki bazı ülkelerle karşılaştırıldığında, bu potansiyelin kullanım oranı daha düşük kalmaktadır. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve teşviklerle, Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanma oranı giderek artmaktadır (İnce, 2021).

Sabit ya da hareketli güneş enerji sistemlerinde, güneş ışınımlarının değeri, kurulum yerinin enlem ve boylamına, mevsime ve gün içerisindeki zamana göre değişiklik gösterir. Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin tasarımında, güneş açısı hesaplamaları dikkate alınarak çeşitli faktörler değerlendirilir. Güneş ışınımının yüzey üzerindeki etkisi, düzlemin yerleşimi ve eğimi gibi parametrelerle yakından ilişkilidir. Bu nedenle, güneşin konumunu doğru bir şekilde belirlemek, sistem tasarımında kritik bir rol oynar (Şenpınar, 2005).

2.2.1 Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş enerjisi sistemleri, enerji üretiminde sağladığı çeşitli ekonomik ve çevresel avantajlar nedeniyle cazip bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin genellikle 25 yıl gibi uzun bir ömre sahip olması, kurulum ve bakım maliyetlerinin uzun vadede geri kazanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin bakım gereksinimi oldukça düşüktür, bu durum işgücü maliyetlerini minimize ederek işletme masraflarını azaltmaktadır.

Güneş enerjisi, yakıt veya hammadde gereksinimi olmadığı için enerji üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. İlk kurulum maliyeti dışında işletme giderleri oldukça sabittir, bu da uzun vadede ekonomik güvence sunmaktadır. Enerji üretimi sırasında atık, sera gazı veya ses kirliliği gibi olumsuz çevresel etkilerin olmaması, güneş enerjisini çevre dostu bir enerji kaynağı olarak konumlandırmaktadır.

Sistemin arıza oranı düşük olmasına rağmen, olası arızalar durumunda kolayca onarılabilir olması, güneş enerjisi sistemlerinin uzun ömürlülüğünü ve güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, bu sistemler esnek bir yapıdadır ve talep edilen enerji miktarına

göre her ölçekte kurulabilme kapasitesine sahiptir. Elektrik şebekesinin ulaşamadığı bölgelerde şebekeden bağımsız sistemler oluşturulabilir, bu da enerjiye erişim sorununu çözmek için önemli bir avantaj sunmaktadır. Enerji talebi arttığında, güneş enerji sistemlerinin güç kapasitesi de kolayca artırılabilir. Güneş panellerinde kullanılan silisyumun doğada bol miktarda bulunması, bu teknolojinin erişilebilirliğini kolaylaştırmakta ve maliyetleri daha da düşürmektedir.

Sonuç olarak, güneş enerjisi sistemleri, enerji maliyetlerini azaltmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlayarak önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak gelecekteki enerji üretim süreçlerinde giderek daha büyük bir yer tutmaya devam edecektir.

2.2.2 Şebeke Bağlantılı ve Şebekeden Bağımsız Güneş Enerji Sistemleri

2.2.2.1 Şebeke Bağlantılı

Şebekeye bağlı çalışan güneş enerjisi sistemlerine "On Grid" sistemler adı verilmektedir. Bu sistemler, üretilen elektriğin depolanmadan, doğrudan üretildiği anda tüketilmesine ve fazlasının şehir şebekesine verilmesine dayalı olarak çalışmaktadır. On Grid sistemler, büyük ölçekli arazi ve çatı tipi uygulamalarının yanı sıra, bireysel konutların elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilecek mikro güneş enerjisi sistemleri (GES) olarak da kurulabilmektedir (İbiş, 2023).

Bu sistemlerde güneş panelleri tarafından üretilen elektrik, şehir şebekesine bağlı yüksek verimli inverterler aracılığıyla şebekeye iletilmektedir. Bu süreçte amaç, çatınızda üretilen elektrik sayesinde elektrik faturalarını düşürmek ve fazla üretilen elektriği satarak bir gelir elde etmektir. Sistemde depolama işlevi, bağlı olunan şehir şebekesi tarafından üstlenmekte olup, böylece güneş panellerinin ürettiği fazla enerji şebekeye aktarılabilmektedir (İbiş, 2023).

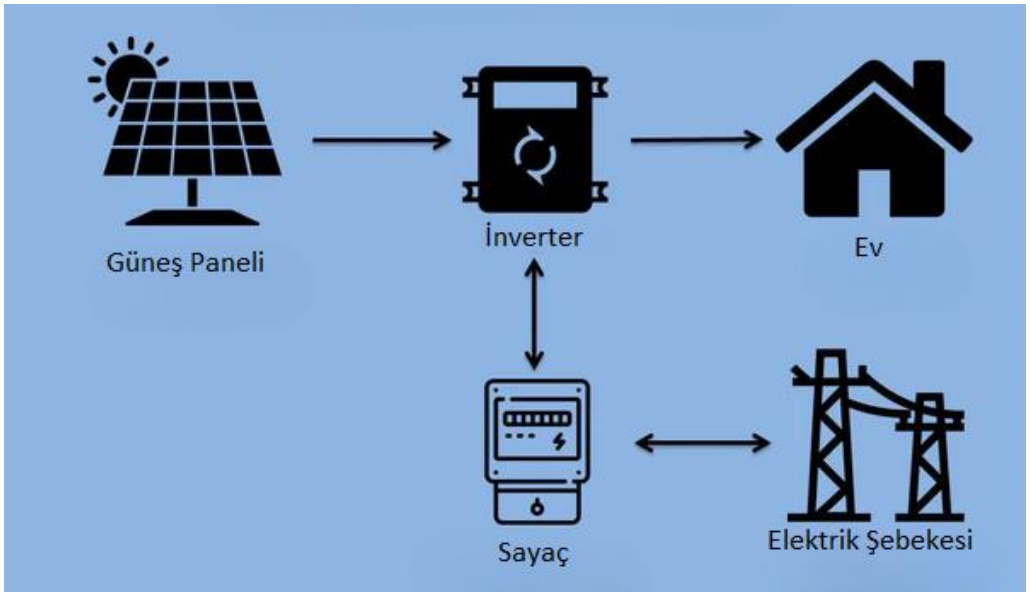
Güneş panelleri tarafından üretilen doğru akım (DC) elektrik, On Grid inverterler aracılığıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülür ve evdeki elektrikli cihazların tüketiminde öncelikle kullanılır. Kullanım fazlası ise çift yönlü sayaçlar aracılığıyla

şehir şebekesine aktarılmaktadır. Bu sistemlerde, aylık mahsuplaşma yöntemi uygulanmakta olup, fazla üretilen elektrik şebekeye satılabilir. Şebekede enerji olmadığı zaman, inverterler geri besleme yapmaz. İnverter, otomatik olarak kapalı moda geçerek, üretimi durdurur. Buradaki amaç, şebekedeki arıza-bakım sürecinde güvenliğini sağlamaktır (Donuk, 2014).

On Grid inverterler, Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT) teknolojisini kullanarak enerji dönüşümünü en verimli şekilde gerçekleştirir. MPPT, güneş enerjisinden maksimum verimi elde ederek, üretilen elektriğin en yüksek güç noktasında kullanılmasını sağlar. Bu teknoloji, güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin verimli şekilde elektrikli cihazlar tarafından kullanılmasına veya şebekeye iletilmesine katkıda bulunur (Nedimoğlu & Gümüş, 2019).

MPPT (Maximum Power Point Tracking), güneş panelleri ile üretilen enerjinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir tekniktir ve On Grid sistemlerde enerji üretiminin optimize edilmesinde kritik bir rol oynar (Donuk, 2014) (Nedimoğlu & Gümüş, 2019).

Şekil 2.1'de Şebekeye bağlı sistemin çalışmasına ait bir diyagram yer almaktadır.

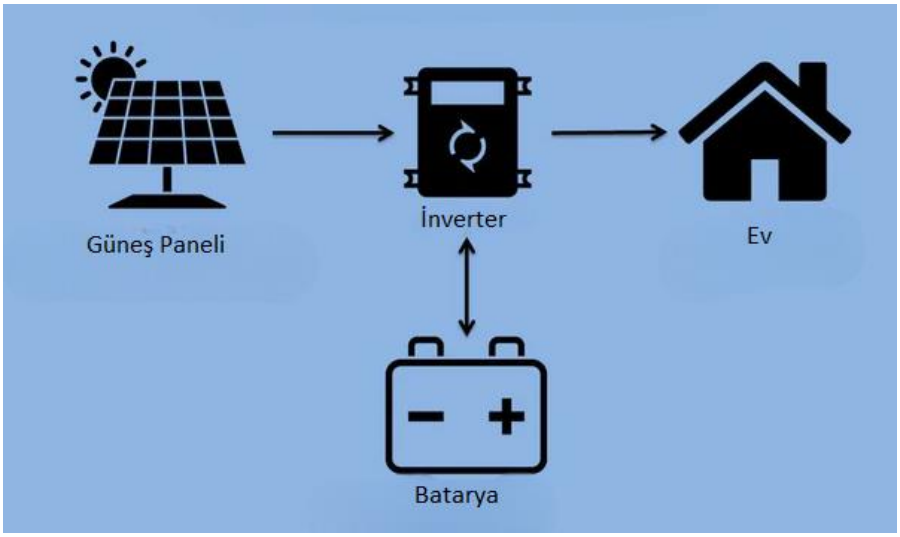


Şekil 2.1 Şebekeye bağlı sistem

2.2.2.2 Şebekeden Bağımsız

Off Grid sistemler, şebekeye bağlı olmayan, tamamen bağımsız ve depolamalı çalışan güneş enerjisi sistemleridir. Bu sistemler, enerji ihtiyaçlarının şebekeye bağlı olmaksızın karşılandığı yazlık, bağ evleri, kamplar gibi yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi panelleri tarafından üretilen elektrik, bataryalarda depolanarak güneş ışığının olmadığı zamanlarda da kullanılmaya hazır hale getirilir. Off Grid sistemler, sürekli bir enerji akışı sağlamak için güneş ışığı olmadığında bile tesisin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapasitede bataryalarla donatılmalıdır. Özellikle yayla, dağ evleri, çiftlikler, sinyalizasyon sistemleri, uzaktan bilgi sistemleri (örneğin otoyol tabelaları), baz istasyonları gibi yerlerde Off Grid sistemlerin kullanımı oldukça yaygındır. (Kutluca, 2020)

Bu sistemlerde güneş panelleri tarafından üretilen doğru akım (DC) elektrik, şarj kontrol cihazları yardımıyla bataryalarda depolanır. Güneş ışığının olduğu saatlerde, bataryalar dolduktan sonra üretilen enerji doğrudan elektrikli cihazları besleyebilir. Bataryalarda depolanan doğru akım elektriğin, günlük elektrikli cihazlarda kullanılabilmesi için şebekede kullanılan alternatif akıma (AC) çevrilmesi gerekir. Bu dönüşüm için sistemde inverter bulunmalıdır. İnverterler, depolanan enerjiyi elektrikli cihazlar için uygun hale getirerek enerji akışını sağlar. Şekil 2.2'de Şebekeden bağımsız sistemin çalışmasına ait bir diyagram yer almaktadır.



Şekil 2.2 Şebekeden bağımsız sistem

2.2.3 Türkiye’de ve Dünyada Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, küresel enerji kaynakları içinde giderek artan bir öneme sahiptir. Özellikle fotovoltaik (PV) modüllerin üretim ve kullanımında büyük bir büyüme görülmektedir. PV modüllerinin kümülatif satış miktarı, 1994 yılında 500 MW seviyesindeyken, 1998 yılında bu rakam 800 MW ye, 2000 yılında ise 1000 MW ye ulaşmıştır (Patel, 1999). Son 10 yılda, PV modül üretimi her yıl %15'ten fazla büyüme göstermiştir. Bu sistemler başlangıçta elektrik şebekesinin ulaşamadığı yerlerde ve kırsal bölgelerde küçük ölçekli enerji taleplerini karşılamak için kullanılmıştır (Gabler, 1998) (Vallvé & Serrasolses, 1997). Ancak son yıllarda şebekeye bağlı sistemlerin oranı hızla artmıştır (Tsujino, ve diğerleri, 1994).

2014 yılında PV piyasasında yer alan en büyük 10 ülkenin 3’ü Asya-Pasifik bölgesinde (Çin, Japonya, Avustralya), 6’sı Avrupa’da (Almanya, İtalya, Fransa, İspanya, Belçika, Birleşik Krallık) yer almıştır. Aynı yılda Almanya, PV kurulu gücüne 1,9 GW’lık kapasite ilâve ederek toplam 38,2 GW kurulu kapasiteye ulaşmış ve dünya toplam PV kurulu kapasitenin yaklaşık yüzde 21,6’sına sahip olarak liderlik konumunu devam ettirmiştir. Çin, 10,6 GW’lık ilâve kurulu kapasite ile toplam 28,1 GW kapasiteye ulaşmış ve 2014 yılında küresel piyasada ikinci sırada yer almıştır. Japonya ise ilâve 9,7 GW kurulu kapasite ile toplam 23,3 GW kurulu PV kapasiteye ulaşmış ve üçüncü sıraya yükselmiştir. İtalya ve ABD sırasıyla 18,5 GW ve 18,3 GW toplam PV kurulu kapasitesi ile dördüncü ve beşinci sıradaki ülkeler olmuştur. (Cebeci, 2017)

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça avantajlı bir coğrafi konumda yer almaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, yıllık toplam ışınım değeri ise 1527.46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (Yolcan & Köse, 2020). GEPA’da sunulan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama dünya çapında radyasyon dağılımı, Resim 2.1’de sunulmaktadır. Bu da, fotovoltaik sistemlerin kurulacağı bölgelerin seçimi ve sistem tasarımı için önemli bir referans kaynağıdır. Türkiye'nin bu yüksek güneş enerjisi potansiyeli, ülke ekonomisi için önemli bir fırsat sunarken, enerji bağımlılığını azaltma ve sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa etme hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Resim 2.1 Türkiye'nin yıllık ışınım haritası (Koçer, Şevik, & Güngör, 2016)

Türkiye'nin yıllık güneş ışınım haritasına göre, güneş enerjisi potansiyeli coğrafi bölgelere göre farklılık göstermektedir. Güney bölgelerden kuzeye doğru güneşlenme potansiyeli azalmaktadır. Karadeniz Bölgesi, yüksek yağış oranı nedeniyle en düşük güneşlenme potansiyeline sahipken, Marmara ve Ege bölgeleri orta düzeyde potansiyele sahiptir. İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ise yüksek düzeyde güneşlenme potansiyeline sahiptir.

Bu yüksek potansiyele sahip bölgelerde güneş enerjisi yatırımları, daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu gibi bölgelerde güneş enerjisi santralleri daha fazla güneş ışığından yararlanarak yüksek verimli enerji üretimi yapabilir. Bu durum, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresini kısaltmakta ve güneş enerjisine yapılan yatırımları daha cazip hale getirmektedir (Özgür, 2020).

Dünyada güneş enerjisine olan ilgi, teknolojinin gelişmesiyle birlikte artmaktadır. Türkiye de bu küresel trendi takip etmekte ve son yıllarda yapılan yatırımlar ile güneş enerjisinden daha fazla faydalanma potansiyelini artırmaktadır. Hem enerji verimliliğini artırma hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlama açısından Türkiye'nin güneş enerjisi geleceği parlak görünmektedir.

2.2.4 Güneş Panelleri

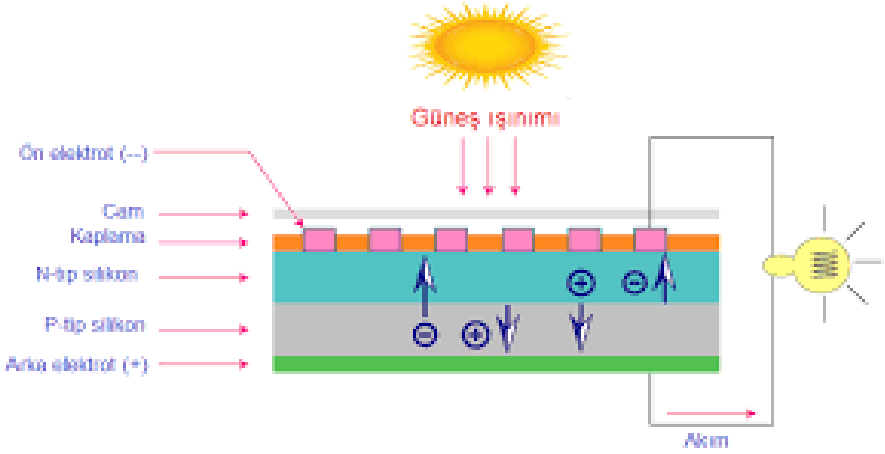
Güneş panelleri, güneş enerjisini emmek ve elektrik enerjisine dönüştürmek için güneş pilleri ile donatılmış bir enerji kaynağıdır. Güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için kullanılan bu paneller, üzerine gelen güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik (PV) hücre ile çalışır. Güneş panelinin verimliliği, hücrelerin güneş ışığını elektriğe dönüştürme hızına ve kullanılan malzemenin özelliklerine bağlıdır.

Güneş ışığı, enerji taşıyan "foton" adı verilen parçacıklardan oluşur. Güneş panelleri, bu fotonları emerek elektrik enerjisi üretir. Bu enerji, çeşitli uygulamalarda kullanılabilir; elektrik kabinleri, güç sistemleri, iletişim ekipmanları ve konut-ticari enerji sistemlerinde yaygın olarak tercih edilir (Gençoğlu, 2005).

Güneş enerji panelleri, P-N eklemli yarı iletkenlerden yapılmış fotovoltaik malzemeler içerir. Bu malzemeler, üzerlerine gelen güneş ışınlarını elektrik enerjisine çevirir. Ancak, bu malzemelerin ürettiği gerilim ve akım değerleri düşük olduğu için, panellerin sağladığı enerjiyi doğrudan kullanmak yeterli olmaz. Bu nedenle, enerji ihtiyacına göre güneş panelleri seri ve paralel bağlantılarla birleştirilerek sistem tasarımı yapılır (Doğanay, 2021).

Fotovoltaik hücreler, yarı iletken malzemeler aracılığıyla güneş ışığını doğrudan doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Güneş panelleri genellikle iki ana tip PV hücre kullanır: monokristal ve polikristal silikon. Güneş panelinin performansı, kullanılan hücre tipine ve özelliklerine bağlıdır. PV hücresinin tabanı genellikle 0,1 mm kalınlığında çok ince bir levha olup, pozitif P-tipi veya negatif N-tipi silikondan oluşur (Altınkök, 2021).

Bir fotovoltaik hücrenin temel yapısı Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 PV hücrenin yapısı **(Öztürk, 2008)**

2.2.4.1 Güneş Paneli Çeşitleri

Güneş panelleri, fotovoltaik (PV) hücreler aracılığıyla güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Farklı ihtiyaçlar ve uygulamalar için farklı türde güneş panelleri geliştirilmiştir. Bu panellerin her biri, enerji verimliliği, maliyet, kullanım alanı ve yapısal özellikleri açısından çeşitlilik gösterir. Dünyada en yaygın kullanılan güneş paneli çeşitleri aşağıdaki gibidir.

- *Monokristal Silikon Paneller*

Monokristal silikon paneller, tek bir kristal yapıdan oluşan fotovoltaik hücreler içerir. Bu hücreler, yüksek saflıkta silikon kullanılarak üretilir ve bu da yüksek verimlilik sağlar. Yani, aynı yüzey alanına sahip diğer panel türlerine göre daha fazla güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Monokristal panellerin avantajları arasında daha az yer kaplayarak daha fazla enerji üretme kapasitesi bulunur. Ancak, üretim maliyetleri yüksektir ve bu da panellerin fiyatını artırır. Genellikle siyah renkte ve homojen görünüme sahiptirler. Dar alanlarda yüksek enerji üretimi gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. (Askari, Abadi, & Mirhabibi, 2015)

- *İnce Film Paneller*

İnce film paneller, adından da anlaşılacağı üzere, ince bir fotovoltaik tabakanın cam, metal veya plastik gibi bir alt tabaka üzerine uygulanmasıyla üretilir. Bu paneller amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum galyum selenid (CIGS) gibi çeşitli yarı iletken malzemelerden oluşabilir. İnce film paneller, daha esnek ve hafif oldukları için çeşitli yüzeylere uygulanabilirler. Ayrıca, üretim maliyetleri monokristal ve polikristal panellere göre daha düşüktür. Bununla birlikte, verimlilikleri daha düşüktür, bu nedenle daha fazla alan gerektirirler. Esneklik ve düşük maliyet avantajları ile çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkat çekerler (Askari, Abadi, & Mirhabibi, 2015).

- *Polikristal Silikon Paneller*

Polikristal silikon paneller, birçok silikon kristalinin bir araya gelmesiyle oluşur. Üretim süreci monokristal panellere göre daha basittir ve bu nedenle daha ucuzdurlar. Ancak,

bu panel tipi verimlilik açısından monokristal panellere kıyasla daha düşüktür. Polikristal paneller genellikle mavi renkli ve köşeli hücre yapısına sahiptir. Fiyat-performans dengesi arayanlar için popüler bir seçenektir. (Askari, Abadi, & Mirhabibi, 2015)

- *Organik Güneş Panelleri*

Organik güneş panelleri, organik veya polimer malzemeler kullanılarak üretilir. Diğer panel türlerine kıyasla daha hafif ve esnektirler. Üretim maliyetleri daha düşük olmasına rağmen, bu paneller henüz geleneksel silikon tabanlı paneller kadar yüksek verimliliğe sahip değildir. Organik panellerin esnek yapısı, farklı yüzeylerde kullanım olanağı sağlar, ancak şu an için daha düşük enerji verimliliği nedeniyle yaygınlaşmamıştır.

2.2.4.2 Güneş Panelleri Çalışma Prensibi

Güneş panelleri, güneş ışığını toplayarak elektrik üretir. Bu süreç, güneş pillerinin (fotovoltaik hücreler) fotonları emmesiyle başlar. Fotonlar, güneş ışığını oluşturan enerji paketleridir ve güneş panelinin yüzeyine çarptıklarında, hücrelerin içindeki elektronların enerji kazanmasına neden olurlar. Bu enerji kazanan elektronlar, hücrelerin atomik yapısına bağlı olarak serbest bırakılır ve serbest bırakılan elektronlar, panellerin içyapısında özel bir yönlendirme ile hareket eder. (Gençoğlu, 2005)

Güneş pillerinin yapısı genellikle silikon, fosfor ve bor tabakalarından oluşur. Silikon, yarı iletken bir malzeme olarak fotovoltaik hücrelerin ana bileşenidir. Fosfor ve bor tabakaları, hücrelerin elektriksel özelliklerini düzenleyerek, serbest elektronların hareketini sağlar. Fotonların enerjisi, bu tabakalardan elektronların atomik yörüngeden koparak, elektrik alanına salınmasına ve böylece doğru akım (DC) oluşmasına neden olur (Gençoğlu, 2005).

Elektronlar, güneş panelinin içyapısında belirli bir yönde hareket ederek bir elektrik akımı oluşturur. Bu elektrik akımı, güneş panelleri üzerinden devredeki yükleri hareket ettirmek için kullanılır. Panellerden elde edilen elektrik, doğru akım (DC) şeklindedir. Ancak, evlerde ve iş yerlerinde kullanılan elektrik, alternatif akım (AC) olduğundan, bu

enerjiyi kullanılabilir hale getirmek için bir inverter kullanılarak DC akımı AC akıma dönüştürülür. Bu süreç, güneş enerjisinin evler, iş yerleri ve ticari alanlar için elektrik enerjisine dönüştürülmesinin temelini oluşturur.

2.3 Güneş Enerjili Ev Sistemi

2.3.1 Güneş Enerjili Ev Nedir?

Güneş enerjili evler, enerji üretimini güneşten sağlayan, elektrik üretimi veya ısıtma amaçlı güneş enerjisi kullanan konutlardır. Bu tür evler, genellikle çatılarına monte edilen güneş panelleri veya termal kolektörler sayesinde güneş ışığını doğrudan enerjiye dönüştürür (Haas, 1995). Güneş enerjili evler, çevre dostu bir enerji çözümü sunarak, uzun vadede enerji maliyetlerini azaltmayı hedefler. Karbonsuz enerji üretimi sayesinde, ev sahipleri çevresel etkilerini en aza indirirken, elektrik faturalarında da önemli tasarruflar sağlayabilir. Güneş enerjili evler, sürdürülebilir bir yaşam tarzı arayan bireyler ve topluluklar için cazip bir alternatif oluşturur. Güneş enerjisinin kullanılmasına bağlı olarak, bu tür evler hem elektrik hem de sıcak su üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak çevresel avantajlar sunar.

2.3.2 Güneş Enerjili Ev Neden Kullanılır?

Güneş enerjili evler çevresel sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu, enerji bağımsızlığı ve ekonomik faydalar gibi çeşitli önemli nedenlerden dolayı tercih edilir. Bu sebeplerden ötürü birçok kullanıcı, güneş enerji sistemlerini evlerine entegre ederek çevreye daha duyarlı ve enerji verimliliği yüksek bir yaşam tarzı benimsemek istemektedir (Abbasoğlu & Babatunde, 2015).

2.3.3 Güneş Enerjili Ev Tasarımı

Güneş enerjili ev tasarımı, güneş enerjisinin kullanıldığı ve enerji ihtiyacını karşılamak için güneş panelleri ile bütünleşmiş binaların planlanması ve inşasıdır. Bu tasarım yaklaşımı, güneş panelleri veya güneş kollektörleri gibi güneş enerjisi sistemlerini entegre ederek evin kendi enerjisini üretmesini ve enerji verimliliğini artırmasını

hedefler. Güneş enerjili ev tasarımının ana amacı, sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etmek ve çevresel etkileri azaltmaktır. Bu yaklaşım ayrıca enerji maliyetlerini azaltmayı ve enerji bağımsızlığını artırmayı da hedefler (Ouria & Almeida, 2021).

2.3.4 Güneş Enerjili Ev Tasarımında Dikkate Alınması Gereken Unsurlar

- *Güneş Panellerinin Konumlandırılması:* Güneş panellerinin doğru bir şekilde yerleştirilmesi ve en uygun açıya ayarlanması, güneş enerjisi üretimini maksimize etmek için kritik öneme sahiptir.
- *Enerji Depolama Sistemleri:* Güneş enerjisi üretiminin zaman içinde dalgalanabileceği göz önüne alındığında, enerji depolama sistemleri (örneğin, bataryalar) enerjiyi saklamak ve ihtiyaç duyulduğunda kullanmak için önemlidir.
- *Enerji Verimliliği:* Evlerin enerji verimliliğini artırmak, enerji tüketimini azaltmanın ve güneş enerjisi sistemlerinin daha etkili bir şekilde kullanılmasının anahtarıdır. İyi yalıtım, yüksek verimli ısıtma/soğutma sistemleri ve enerji tasarruflu aydınlatma gibi önlemler bu kategoriye girer.
- *Enerji İhtiyaçları:* Evlerin enerji ihtiyacını değerlendirmek ve arzu edilen enerji bağımsızlığı düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu, ev için gereken güneş paneli sisteminin boyutunu ve konfigürasyonunu belirlenmesine yardımcı olacaktır.
- *Bina Yapısı ve Konumu:* Güneş enerjili evlerin tasarımında, evin yapısı da önemlidir. Genellikle düşük enerji tüketimi için tasarlanmış yalıtımlı binalar tercih edilir. Evlerin iklimini ve coğrafi konumunu göz önünde bulundurmak önemlidir. Farklı bölgeler, güneş enerjisi yakalamayı ve termal performansı optimize etmek için özel tasarım hususları gerektirebilir.
- *İzleme ve Kontrol Sistemleri:* Güneş enerjisi sistemlerini izlemek ve kontrol etmek için otomasyon ve izleme sistemleri kullanmak, enerji verimliliğini artırabilir ve bakımı kolaylaştırabilir (Bana & Saini, 2017).

2.4 Güneş Enerjili Ev Tasarımı Simülasyonu

Güneş enerjisi, enerji üretiminde sürdürülebilir bir yaklaşım sunar ve ev tasarımı bu alanda önemli bir odak noktasıdır. Güneş enerjili ev tasarımı, mevcut enerji

kaynaklarının sınırlı olduğu ve çevresel sürdürülebilirliğin giderek daha fazla önem kazandığı bir dünyada büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, güneş enerjili evlerin tasarımı ve performans simülasyonu, birçok araştırmacı, mühendis ve tasarımcı için heyecan verici bir konu haline gelmiştir.

Güneş enerjili ev tasarımının temel amacı, güneş enerjisi sistemlerini kullanarak bir evin enerji ihtiyacını karşılamak veya azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektir. Bu tasarım yaklaşımı, bir dizi önemli avantaj sunar. Öncelikle, güneş enerjili evler, enerji maliyetlerini azaltma potansiyeli sunar. Güneş panelleri, güneş enerjisi sistemleri tarafından üretilen elektrik enerjisi sayesinde ev sahiplerinin enerji faturalarını azaltmalarını sağlar. Bu uzun vadede önemli miktarda tasarruf anlamına gelir. Ayrıca, güneş enerjili evler, enerji bağımsızlığını artırma fırsatı sunar. Ev sahipleri, kendi enerjilerini üreterek dış enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını azaltabilirler. Bu, enerji güvenliğini artırır ve enerji kesintilerine karşı daha dirençli hale gelirler. Güneş enerjili ev tasarımı aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği teşvik eder. Güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır, fosil yakıtların kullanımını azaltarak karbon ayak izini düşürmeye yardımcı olur ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunur. Güneş enerjisi sistemlerinin evlere entegrasyonu, yalnızca enerji maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakma çabalarına da destek verir. Değer artışı da güneş enerjili evlerin cazip bir özelliğidir. Sürdürülebilir enerji sistemlerine yatırım yapan ev sahipleri, evlerinin değerini artırabilirler. Bu, potansiyel alıcılar için çekici bir satış noktası olabilir. Güneş enerjili ev tasarımı aynı zamanda enerji verimliliğini artırmayı hedefler. İyi yalıtım, yüksek verimli ısıtma/soğutma sistemleri ve enerji tasarruflu aydınlatma gibi unsurlar, evin daha az enerji tüketmesini sağlar. Bu, enerji maliyetlerini daha da azaltabilir.

2.4.1 Simülasyon Uygulamaları

2.4.1.1 Homer

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen,

enerji sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi için kullanılan ücretsiz bir yazılım uygulamasıdır. HOMER, şebekeye bağlı ve şebeke dışı enerji sistemlerini teknik ve finansal açıdan analiz ederek, çeşitli yenilenebilir ve geleneksel enerji kaynaklarını entegre eden enerji projelerini optimize eder (Kassam, 2010).

1993 yılında ABD Enerji Bakanlığı (DOE) için geliştirilen HOMER, enerji üretim konfigürasyonları arasındaki dengeleri anlamak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla, yenilenebilir enerji ile ilgilenen sistem tasarımcılarının artan talebi doğrultusunda, NREL yazılımın halka açık bir sürümünü sunmuştur. Günümüzde HOMER, yenilenebilir ve geleneksel enerji teknolojilerini modellemek için güçlü bir araç haline gelmiştir. Yazılım, uzak, bağımsız ve dağıtık enerji üretim uygulamalarını optimize etmek için kullanılır (Kassam, 2010). HOMER, enerji sistemlerinde gelecekteki belirsizliklerle başa çıkabilmek için, yakıt fiyatlarındaki değişiklikler ve mevsimsel belirsizlikler gibi çeşitli faktörleri dikkate alır. Yazılım, her saat için performans analizi yaparak en uygun enerji üretim sistemini belirler (Özcan, 2009).

2.4.1.2 SAM

System Advisor Model (SAM), araştırmacılar, mühendisler ve yatırımcılar için fotovoltaik (PV) enerji sistemlerinin performans ve ekonomik analizini sağlayan bir yazılım aracıdır. SAM, farklı PV sistemlerinin maliyetlerini, performanslarını ve ekonomik etkilerini analiz ederek yatırımcılara değişen piyasa koşullarına karşı daha doğru hesaplamalar yapma imkânı sunar (Wang, ve diğerleri, 2023). Yazılım, ekonomik değişkenlerin sistem maliyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmek için de kullanılabilir. SAM, fotovoltaik enerji sistemleri (PV), yoğunlaştırılmış fotovoltaik enerji (CSP), parabolik oluk, çanak-stirling sistemleri gibi çeşitli güneş enerji sistemlerinin kurulumunu ve simülasyonunu yapmayı mümkün kılar. Konut ve ticari pazarlara yönelik olarak PV sistemlerinin maliyet ve performans analizini sunar (Gilman, ve diğerleri, 2008).

Yazılım, yıllık simülasyon verileriyle enerji üretimini değerlendirir ve doğalgaz veya termal enerji kaynaklarını da simülasyon verilerine entegre edebilme yeteneğine sahiptir

(Guzman, Henao, & Vasquez, 2014). SAM, bu yönüyle enerji projelerinde yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında önemli bir karar destek aracı olarak öne çıkar.

2.4.1.3 PVGIS

Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS), kullanıcılara geniş coğrafi bölgelerdeki herhangi bir konumda fotovoltaik (PV) enerji üretimi tahmini yapmalarına olanak tanıyan çevrimiçi bir araçtır. Bu araç, Avrupa, Afrika, Asya'nın büyük bir kısmı ve Amerika'da fotovoltaik enerji potansiyelini değerlendirmek için kullanılmaktadır ve 15 yılı aşkın bir süredir başarılı bir şekilde çalışmaktadır. PVGIS, güneş radyasyonu ve PV enerji çıktısı için coğrafi veri setlerini indirilebilir hale getirerek, bölgesel ve ülkesel bazda özet istatistikler üretmektedir (Commission & Centre, 2017). PVGIS, aynı zamanda coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçlarıyla da entegre çalışabilen bir platformdur. Avrupa Komisyonu, 2030 enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği projesi kapsamında bu aracı geliştirmiştir (Psomopoulos, 2015).

Bu araç, iklim veri tabanı olarak Google'ın harita sistemini kullanmakta ve kullanıcının seçtiği enlem ve boylama göre enerji üretim parametrelerini belirlemektedir. PV panelin montaj özellikleri, açıları ve performans oranı gibi parametreler, panel türü ve toplam kapasite değeri dikkate alınarak hesaplanır. Böylece yıllık ve aylık bazda enerji üretimi değerleri tahmin edilerek, bir enerji sisteminin verimliliği kolayca hesaplanabilmektedir (Bayrakçı & Gezer, 2019).

2.4.1.4 PVSOL

PVSOL, hibrit enerji sistemlerinin performansını değerlendiren bir yazılım modelidir. Özellikle biyokütle ve jeotermal jeneratörlerin enerji üretim verilerini hesaplamak için kullanılır (Sharma & Gidwani, 2017). Fotovoltaik (PV) enerji sistemlerinin tasarımını ve performans değerlendirmesini gerçekçi bir şekilde yapabilen bu yazılım, çatı tipi ve saha uygulamaları için uygundur. PVSOL, yıllık bazda PV sistemlerinin enerji üretim değerlerini hesaplayarak, bu sistemlerin verimliliğini değerlendirme olanağı sunar (Tolgay, Yakut, Özden, & Akınoğlu, 2023). PVSOL'un "Expert" arayüzü, kullanıcıya 3D modelleme yaparak gölge hesaplaması yapma imkânı sağlar. Bu modelleme

sayesinde, çatı üstü PV sistemlerinin kurulumu için ön çalışmalar yapılabilir. Yazılım, günlük, aylık veya yıllık gölge seyrindeki değişiklikleri simüle ederek kullanıcıya detaylı analizler sunar (Bahgat, Helwa, Ahamd, & Shenawy, 2004).

PVSOL yazılımında ayrıca 3D menü navigasyonu mevcuttur. Bu menü, saha detaylarını, kullanılan elemanlara ait görüntüleri, panellerin kapladığı alanı, montaj ve tasarım seçeneklerini, kablo konfigürasyonlarını görselleştirme imkânı sunar. İklim verisi olarak MeteoSyn veri tabanını kullanarak, sistemin bulunduğu bölgedeki iklim koşullarını dikkate alır ve enerji üretim simülasyonları buna göre yapılır (Ledmaoui, Maghraoui, & Chebak, 2023).

2.4.1.5 PVsyst

PVsyst, fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulum öncesi üretim verilerinin analizi, boyutlandırılması ve modellemesi için kullanılan ücretli bir simülasyon yazılımıdır. Bu yazılım, hem şebekeye bağlı (on-grid) hem de şebekeden bağımsız (off-grid) enerji sistemlerinin panel, inverter, ışınım ve meteorolojik verilerini kullanarak simülasyon yapar ve sistemin performansı hakkında sonuç raporları sunar. Yatırımcıya, kurulacak sistemden elde edilebilecek kazançlar ve kayıplar hakkında bilgi sağlar.

PVsyst'in 3D modelleme uygulaması, fotovoltaik enerji sistemlerinin gölgeleme etkilerini simüle ederek, bu etkilerin sisteme olan kayıplarını hesaplayabilme olanağı sunar. Bu da sistemin performansına yönelik daha doğru öngörüler elde edilmesini sağlar. Yazılım, şebekeye bağlı veya bağımsız PV sistemlerinin teknik ve ekonomik tasarımını yaparken, santralin aylık ve yıllık üretebileceği toplam elektrik enerjisi değerini ve maliyetini hesaplar. Ayrıca, olası enerji kayıplarını belirler ve yatırımcıyı bu kayıplar konusunda bilgilendirir (Carrasco & Hunfeld, 2010).

PVsyst'in en önemli özelliklerinden biri, kapsamlı bir veri tabanına sahip olmasıdır. Yazılım, üç boyutlu tasarım yapabilme imkânı sunarken, meteorolojik verileri de detaylı bir şekilde işleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu sayede, sistemin performans analizleri daha doğru ve kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

2.5 Örnek Araştırmaların Taraması

Bu bölümde, güneş enerjisi kullanılarak enerjilendirilen ev sistemi tasarımları üzerine yapılan ulusal ve uluslararası literatürdeki çalışmalar değerlendirilmektedir. Bu bölümdeki literatür incelemesi, güneş enerjili ev sistemleri üzerine yapılan mevcut araştırmaları analiz ederek, gelecekteki çalışma alanları ve araştırmalar hakkında fikir vermeyi amaçlar.

2.5.1 Ulusal Çalışmalar

(Şahin, Dinçer, & Yılmaz, 2022) çalışmalarında, dört kişilik bir ailenin günlük elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla, Kahramanmaraş ili Göksun ilçesinde bir çatı tipi şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarlanmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ailenin günlük enerji tüketimi hesaplanmış ve bu doğrultuda evin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik panellerin yerleşimi yapılmıştır. PVsyst programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonucunda, sistemin yıllık enerji üretimi ve performans oranı değerlendirilmiş; fazla üretilen enerjinin şebekeye geri satılabileceği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, tasarlanan sistemin evin enerji ihtiyacını büyük ölçüde karşıladığı ve güneş enerjisi potansiyelinin bölgede verimli bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

(Yolcan & Köse, 2020), güneş enerjisi santrallerinde yer seçiminin, sistem verimliliği üzerindeki doğrudan etkisine odaklanmışlardır. Çalışmalarında, sistem verimine etki eden faktörlerin yanı sıra, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu ile ilgili yasal düzenlemeleri ele almışlardır. Ayrıca, santral sahası belirleme sürecinde kullanılan algoritmaların önemine değinmişlerdir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Kampüsü'nde yapılacak güneş enerjisi santrali için uygun yerler belirlenmiş ve bu süreçte Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, uygunluk değerlendirmeleri yapılarak haritalar oluşturulmuştur.

(Bayar & Atılgan, 2015) çalışmalarında, çevre dostu bir yapı olan yeşil evin tasarım süreci ve enerji analizleri ele alınmıştır. Tasarım, enerji verimliliğini artırmak amacıyla

yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu üzerine kurulmuştur. Elektrik enerjisi üretimi için fotovoltaik güneş panelleri, ısıtma ve soğutma için toprak kaynaklı ısı pompaları ve sıcak su üretimi için güneş kollektörleri kullanılmıştır. Ek olarak, yağmur suyu toplama sistemleriyle su tüketiminde tasarruf sağlanmıştır. Çalışmanın ana amacı, bu sistemlerin yeşil evlerde uygulanabilirliğini ve ekonomik faydasını incelemektir. Ev, şebekeye bağlı fotovoltaik sistem kullanılarak tasarlanmıştır. Bu sayede, fazla üretilen elektrik şebekeye satılabilir ve böylece enerji maliyetlerinde önemli bir azalma sağlanabilir. Fotovoltaik sistemin ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuçlar, yeşil ev tasarımının uzun vadede hem çevresel fayda sağladığını hem de ekonomik olarak avantajlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yeşil evin inşaatı sırasında kullanılan malzemelerin geri dönüştürülebilir olmasına ve düşük enerji tüketen elektrikli cihazların kullanımına özen gösterilmiştir. Çalışma, bu tür tasarımların sürdürülebilir enerji kullanımı açısından uygulanabilir olduğunu ve gelecekte genişletilebileceğini ortaya koymaktadır.

(Akcan, Kuncan, & Minaz, 2020) çalışmalarında Batman ilinde kurulması planlanan 30 kW kapasiteli şebeke bağlantılı fotovoltaik (PV) sistemin PVsyst yazılımı kullanılarak modellenmesini ve simülasyonunu ele almaktadır. Çalışmada, çevre dostu elektrik üretimi üzerine artan talep göz önünde bulundurularak güneş fotovoltaik sistemlerinin etkinliği ve verimliliği değerlendirilmiştir. Güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu Batman ilinde, bir okulun enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla çatı tipi bir PV sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin performans analizi IEC 61724 standartlarına göre gerçekleştirilmiş, bölgeye ait meteoroloji verileri Meteonorm 7.2 veritabanından alınmıştır. Yapılan simülasyonlarda sistem performans oranı, PV modül kayıpları ve inverter kayıpları gibi önemli parametreler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, sistemin yıllık enerji üretimi ve kayıpları detaylı olarak analiz edilmiş ve Batman ili için PV sistemin ekonomik olarak uygulanabilir bir seçenek olduğu görülmüştür.

(Aksangör, Martin, & Boran, 2019) çalışmalarında Ankara ilindeki bir eğitim kampüsünde çatı tipi şebeke bağlantılı bir fotovoltaik (PV) sistemin PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak performans analizini yapmayı hedeflemektedirler. Sistemin tasarımı ve kurulumu sırasında, yerel coğrafi veriler ve güneşlenme değerleri dikkate

alınarak, mono-Si PV paneller ve yerel üretim inverterler tercih edilmiştir. Çalışmada, 604,8 kWp kurulu güce sahip PV sistemi için simülasyonlar gerçekleştirilmiş, yıllık enerji üretimi ve performans oranı analiz edilmiştir. Simülasyon sonucunda, sistemin yıllık enerji üretimi 729,67 MWh olarak hesaplanmış, şebekeye verilen yıllık enerji ise 712,3 MWh olarak tespit edilmiştir. Sistemin performans oranı %84,1 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, sistemin en yüksek verimi kış aylarında, en düşük verimi ise yaz aylarında gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, PV sistemlerin Ankara gibi güneşlenme potansiyeli yüksek bölgelerde uygulanabilirliğini ve maliyet etkinliğini vurgulamaktadır.

(Yalılı, 2021) çalışmasında Van ili Edremit ilçesinde 1 MW gücünde lisanslı ve şebekeye bağlı bir fotovoltaik güneş enerji santrali (GES) yatırımının günümüz ekonomik koşulları altında finansal analizini sunmaktadır. Van ilinin güneş enerjisi potansiyeli, PVGIS veri tabanı kullanılarak analiz edilmiş ve bu veriler ışığında yatırımın yıllık elektrik üretim miktarı hesaplanmıştır. Çalışmada, yatırımın ekonomik ömrü boyunca panel veriminde yıllık %0.7 oranında lineer bir düşüş öngörülmüştür. Finansal analiz için geri ödeme süresi (GÖS), net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık oranı (İKO) ve fayda/masraf oranı (FMO) yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yatırımın öz sermaye ile yapılması durumunda NBD pozitif, FMO 1'den büyük ve İKO %22.35 olarak hesaplanmış ve geri ödeme süresi 4 yıl olarak bulunmuştur. Kredi kullanımı durumunda ise NBD negatif, FMO 0.928, İKO %6.76 ve geri ödeme süresi 9 yıl olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar, yatırımın öz sermaye ile yapılmasının kârlı olacağını, kredi kullanılması durumunda ise yatırımın finansal açıdan uygun olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik analizinde kullanılan yöntemlerin yatırım kararlarında önemli bir rol oynadığını ve Van ili gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde bu tür yatırımların öz sermaye ile yapılmasının avantajlı olabileceğini ortaya koymaktadır.

(Demiryürek H. K., 2018) çalışmasında 200 kWp kurulu güce sahip Lebit Enerji Güneş Santrali'nin PVsyst programı kullanılarak tasarımını ve üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmasını ele almaktadır. Çalışmada, PV sistemin kurulum aşamasında elde edilen aylık ve yıllık radyasyon değerleri, üretim verileri ve çeşitli

kayıplar (termal kayıplar, kablolama kayıpları, gölgeleme kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, tozlanma ve karlanma kayıpları, panel ve inverter kayıpları vb.) analiz edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen üretim değerleri, gerçek üretim değerleri ile karşılaştırılmış ve yaklaşık %0.56 oranında bir fark tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları, PV sistemlerin tasarım aşamasında gerçekleştirilen fizibilite çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır ve yenilenebilir enerji yatırımlarında ekonomik fizibilitenin değerlendirilmesinde kullanılabilecek değerli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, özellikle PVsyst programının, bölge ve panel seçimi gibi çeşitli tasarım seçenekleri sunarak, gerçek üretim verilerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmesine olanak tanıdığını göstermektedir.

2.5.2 Uluslararası Çalışmalar

(Layarda, Yandri, & Hiendro, 2024) yaptıkları çalışmada PVsyst programı kullanılarak ev ölçeğinde bir güneş enerji santralinin planlanmasını ele almışlardır. Endonezya'nın ekvatoral konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması, bu tür enerji yatırımlarını cazip hale getirmektedir. Çalışmada, 900 VA ve 1300 VA güç kapasitelerine sahip evler için güneş enerji santrali bileşenlerinin manuel hesaplamalar ve PVsyst simülasyonları ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda, her iki kapasite için de 10 adet Luxor Ecoline Half Cell 280 Wp güneş paneli, 12 adet Narada EosG 2000 Ah batarya, 1 adet Victron Energy Mppt 250/100 şarj kontrol cihazı ve 1 adet Victron Multiplus Compact 24/1200/25 inverter gerektiği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, PVsyst yazılımının simülasyon sonuçlarının manuel hesaplamalarla büyük ölçüde uyumlu olduğunu ve bu yazılımın ev ölçeğindeki güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, enerji kullanım miktarları ve bileşen kapasiteleri açısından 900 VA ve 1300 VA ev yüklerinin benzer olduğu görülmüştür. Bu durum, ortalama günlük enerji tüketim farkının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma, ev tipi yenilenebilir enerji sistemlerinin planlanması ve uygulanması konusunda önemli bilgiler sunmaktadır.

(Kumar, Rajoria, Sharma, & Suhag, 2020) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Rajasthan eyaletinde bulunan bir mühendislik kolejindeki mekanik bölümünün enerji ihtiyacını

karşılamak amacıyla, PVsyst yazılımı kullanılarak bağımsız bir güneş enerjisi sistemi tasarlanmış ve simüle etmişlerdir. Çalışmanın temel amacı, ofisin yıllık enerji gereksinimini karşılayacak şekilde güneş fotovoltaik (PV) sistemi tasarımı yapmak ve bu sistemin performans oranı ile enerji kayıplarını analiz etmektir. Çalışma sonucunda, ofisin yıllık enerji gereksinimi 1086.24 kWh olarak hesaplanmış, güneş panelinden elde edilen enerji ise 1143.6 kWh olarak bulunmuştur. Ancak kullanıcıya iletilen enerji miktarı 1068.12 kWh olup, bu miktar çeşitli kayıplar nedeniyle ihtiyaç duyulan enerjinin biraz altında kalmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, sistemin en yüksek performans oranı (PR) %86 ile Aralık ayında, en düşük PR ise %64 ile Nisan ayında kaydedilmiştir. Yıllık ortalama PR ise %72.8 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, çalışmada PVsyst yazılımı ile tasarlanan bağımsız güneş enerjisi sisteminin performansı detaylı bir şekilde incelenmiş ve enerji kayıplarının azaltılması için önerilerde bulunulmuştur. Çalışma, küçük ölçekli endüstriler ve yerleşim yerlerinde güneş enerjisi sistemlerinin uygulanabilirliğini artırmak adına önemli bilgiler sunmaktadır.

(Mohammadi & Gezegin, 2022) çalışmalarında Afganistan'ın Ghor bölgesinde 5 MW kapasiteli bir güneş enerji santralinin tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Projede, PVSYST, PVGIS ve HOMER yazılımları kullanılarak güneş enerjisi sisteminin performansı analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, yıllık enerji üretimi PVSYST ile 11.938 MWh, HOMER ile 11.698 MWh ve PVGIS ile 10.673 MWh olarak hesaplanmıştır. PVSYST, diğer yazılımlara göre daha yüksek enerji üretimi öngörmektedir. Elde edilen sonuçlar, Ghor bölgesinde ulusal elektrik şebekesine bağlantı planı olmaması sebebiyle, yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrifikasyonun en uygun çözüm olduğunu ortaya koymaktadır. Güneş enerji santrali kurulumu, bölgenin enerji ihtiyacını karşılamada sürdürülebilir bir seçenek olarak önerilmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında, Ankara ili Gölbaşı ilçesinde kurulması planlanan güneş enerjisiyle çalışan bir ev sisteminin performans değerleri, PVsyst programından elde edilen verilerle analiz edilecektir. PVsyst, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve performans simülasyonu için yaygın olarak kullanılan güçlü bir modelleme aracıdır. Şebekeye bağlı sistemler için enerji üretim tahminleri sunmakta ve farklı modelleme seçenekleri ile sistem performansını değerlendirmektedir. Program, tasarım aşamasında ihtiyaç duyulan enerji verilerini kullanarak veya belirli bir alanda maksimum enerji üretimini sağlayacak parametreleri hesaplayarak esnek bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu çalışmada, PVsyst yazılımından elde edilen teknik verilerle birlikte ekonomik fizibilite analizleri de gerçekleştirilmiştir. Fizibilite çalışması, tasarlanan sistemin enerji üretim potansiyelini değerlendirmenin ötesinde, yatırımın ekonomik sürdürülebilirliğini analiz etmek için kritik bir araçtır. Bu kapsamda, sistemin maliyet etkinliği, geri ödeme süresi, enerji tasarruf potansiyeli ve yatırımın uzun vadeli getirileri incelenmiştir. Yıllık simülasyon sonuçları, PVsyst programı kullanılarak oluşturulan ekonomik fizibilite raporu ile gerçek saha koşullarına uygun şekilde hazırlanan bir fizibilite raporu ile karşılaştırılacaktır. Fizibilite analizi, güneş enerjisi yatırımlarının hem bireysel ev sahipleri hem de toplumsal düzeyde uygulanabilirliğine ışık tutacak önemli sonuçlar sunmayı amaçlamaktadır.

3.1 PVsyst Programı ile Sistem Tasarımı

Güneş enerjisi sistemleri tasarlanmadan önce sistemin panel sayısı, kaplayacağı alan, inverter gücü ve sayısı, sistem kayıpları gibi parametreler hesaplanmalıdır. Bu bilgiler doğrultusunda bir maliyet analizi yapılarak sistemin kurulmasına karar verilmesi daha doğru olacaktır. Çalışmaya sistemin kurulu olduğu yerin tanımlanması ile başlanacaktır. Bu aşama için farklı bir program kullanılarak konum bilgileri alınabilmektedir. Bir diğer yöntem ise konum bilgileri biliniyorsa elle girilerek tanımlama yapılabilmektedir.

PVsyst, fotovoltaik (PV) sistemlerin incelemesi, boyutlandırılması ve veri analizi için

bir bilgisayar yazılımı paketidir (Karki, 2012). PVsyst programı söz konusu parametreler ve sistemin simülasyonunu yaparak kullanıcıya kurulum öncesi bilgi vermektedir. Bahsedilen parametrelerin ve sistem simülasyonunun kullanıcılara kurulum öncesi bilgi sağlamak amacıyla gerçekleştirildiği PVsyst programı, Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Bu program sayesinde şebekeye bağlı veya bağımsız, pompa ve DC üretim sistemlerinin tasarımları ayrı ayrı yapılabilmektedir (Demiryürek, Arifoğlu, & Bolat, 2020). Tasarlanan güneş enerji sisteminde, güneş panellerine düşen gölgeler gerçek zamanlı olarak güneşin doğuşu ve batışı sırasında görülebilir (Haydaroğlu & Gümüş, 2016).

3.1.1 PVsyst Programı ile Proje Tasarımı

PVsyst uygulaması açıldığında ana sayfaya erişim sağlanmaktadır. Bu ana sayfada, programın ana bölümüne erişim sağlanmaktadır;

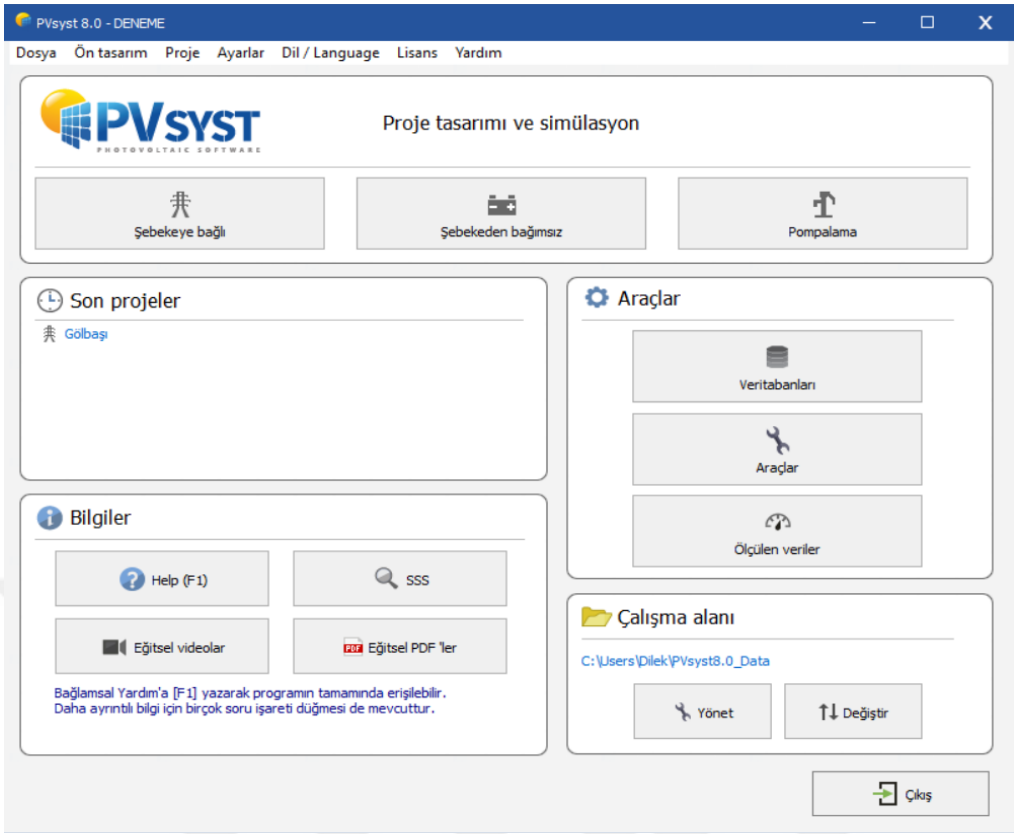
- Proje tasarım ve simülasyon
- Son projeler
- Dökümantasyon
- PVsyst kullanıcı çalışmaları

Proje tasarımı ve simülasyonu bölümü;

- Şebekeye bağlı
- Şebekeden bağımsız
- Pompalama

olmak üzere 3 ana başlıktan oluşmaktadır.

PVsyst uygulaması başlatıldığında, kullanıcılar doğrudan programın ana sayfasına yönlendirilir. Bu ana sayfa, yazılımın tüm temel işlevlerine erişim noktası olarak hizmet eder. Kullanıcılar bu merkezden, PV sistem projelerini tasarlayıp simüle edebilir, daha önce oluşturdukları projelere kolayca ulaşabilir, programın kullanımına dair kapsamlı dokümantasyona erişebilir ve hatta diğer PVsyst kullanıcıları tarafından paylaşılan çalışmaları inceleyebilirler. Resim 3.1'de PVsyst uygulamasında proje tasarlamak için kullanılan ve tasarım seçeneklerinin yer aldığı ekran görüntüsüne yer verilmiştir.



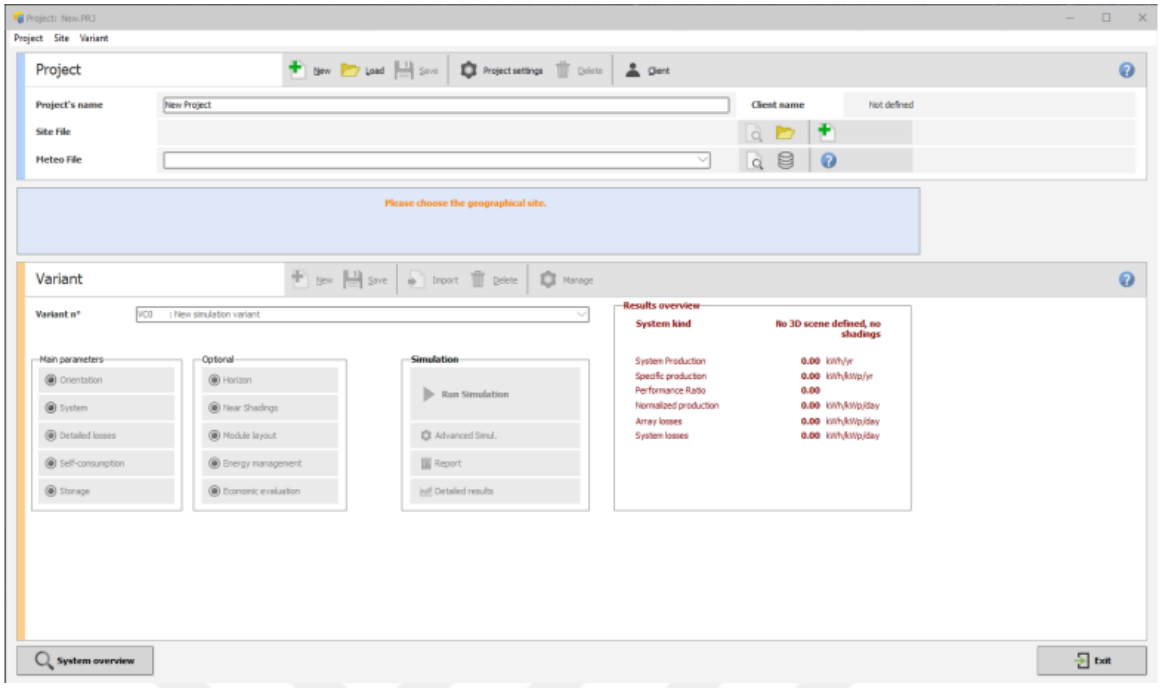
Resim 3.1 PVsyst proje tasarım ekranı

3.1.1.1 Şebekeye Bağlı Sistem Tasarımı

Yapılan projenin amacı doğrultusunda proje tasarımı ve simülasyonu bölümünde yer alan şebekeye bağlı sistem tasarımı seçilmiştir.

Şebekeye bağlı sistem tasarımı seçildiğinde, Resim 3.2'de yer alan proje yönetimi panosu görülmektedir.

Proje Yönetimi Panosu genellikle projenin genel bilgilerinin girilmesi, coğrafi konumun belirlenmesi, sistemin teknik özelliklerinin tanımlanması ve simülasyon parametrelerinin ayarlanması gibi adımları içerir. Bu panonun sunduğu detaylı kontrol imkânları, kullanıcılara projelerini ihtiyaçlarına en uygun şekilde tasarlama ve optimize etme esnekliği sağlar. Panoya erişim, projenin başlangıcından sonuna kadar geçen tüm süreçte, kullanıcının proje üzerinde hâkimiyet kurmasını ve sonuçları etkili bir şekilde değerlendirmesini mümkün kılar.



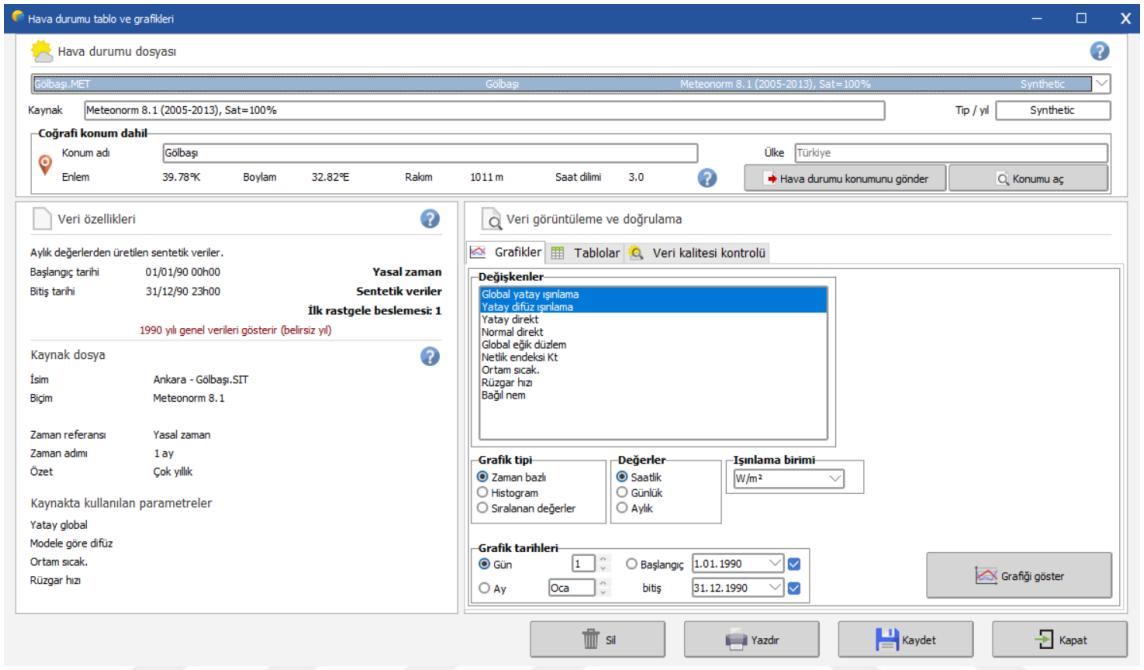
Resim 3.2 PVsyst proje yönetim panosu

Öncelikli olarak projenin yapılacağı bölgenin belirlenmesi gereken bu bölümde, PVsyst uygulaması veri tabanında yer alan bölgeler incelenmeli ve seçim yapılmalıdır. Söz konusu bu veri tabanında projenin yapılmak istendiği yer yok ise o yerin koordinatları girilerek veya Meteonorm gibi meteorolojik verilerin yer aldığı uygulamalar kullanılarak istenilen yerin PVsyst programına entegrasyonu sağlanabilmektedir. Proje tasarımının ilk ve hayati adımlarından biri, fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgenin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu aşamada, PVsyst uygulaması içerisinde yer alan geniş coğrafi veri tabanı, kullanıcılara çeşitli bölgeler arasından seçim yapma imkânı sunar. Kullanıcılar, bu veri tabanını dikkatlice inceleyerek projenin hayata geçirileceği bölgeyi tespit etmelidirler.

Resim 3.3'te projenin tasarlandığı Ankara ilinin Gölbaşı ilçesine Meteonorm uygulamasından alınan verilerin girildiği hava data tablosu ve grafiği sayfasına ait görüntü yer almaktadır.

Projenin uygulanacağı sahayı ve meteorolojik girdisini tanımladıktan sonra, ilk varyantı oluşturmaya devam edilebilecektir. Başlangıçta kırmızı ışık ile uyarı veren iki düğme olduğu fark edilecektir. Bunlar; yönlendirme ve sistem. Kırmızı renk, projenin bu

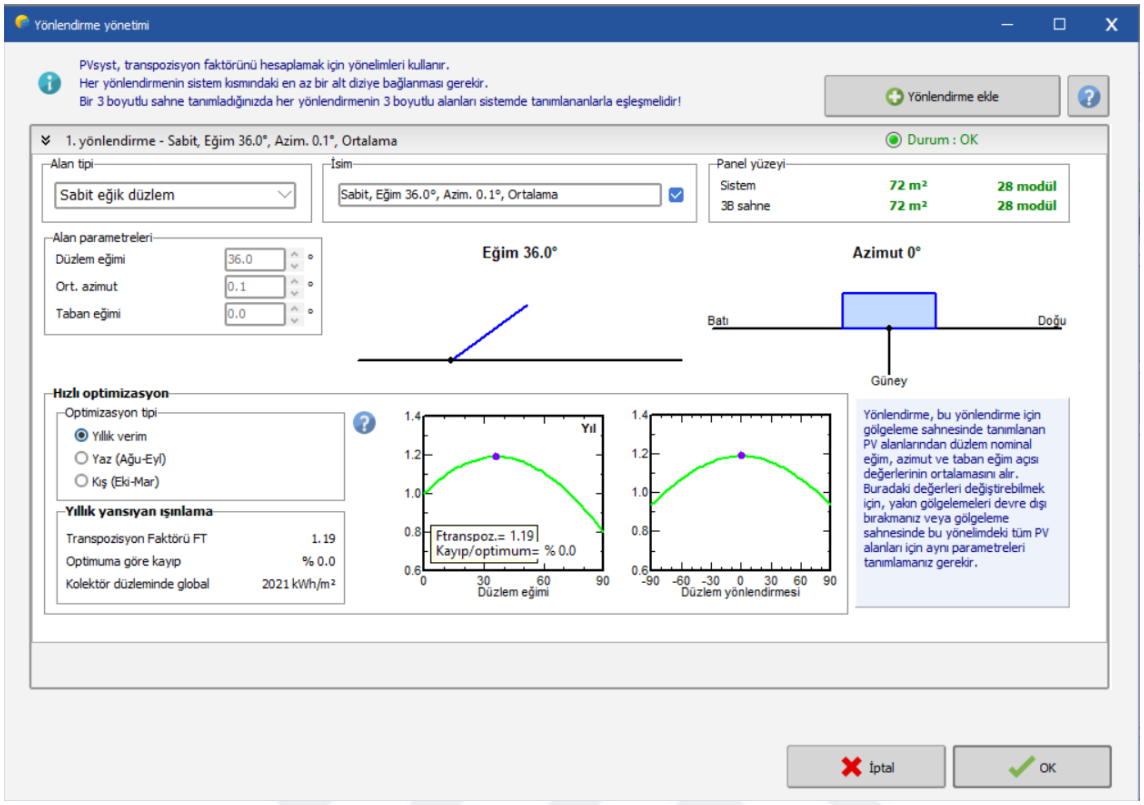
varyantının henüz simülasyon için hazır olmadığı, ek girdilerin gerekli olduğu anlamına gelmektedir. Herhangi bir varyant için tanımlanması gereken ve henüz belirtilmeyen temel parametreler güneş panellerinin yönü, PV modüllerinin tipi ve sayısı ile kullanılacak invertörlerin tipi ve sayısıdır.



Resim 3.3 PVsyst hava data tablosu ve grafiği sayfası

3.1.1.2 Yönlendirme Bölümü

İlk olarak, Yönlendirme butonu üzerine tıklanır. Açılan bu ekranda, güneş enerjisi kurulumu için alan tipi ile eğim ve azimut açıları için değerlerin girilmesi gereken alan görülecektir. Panellerin zeminle olan açı, tilt (eğim) açısı olarak adlandırılmaktadır. Optimuma göre kayıp kısmı en verimli yerleşim için olması gereken açıyı bulmamıza olanak sağlar. En doğru açı için yerleşim yapılacak yerin enlem açısı dikkate alınmaktadır. Azimut açısı ise panelin kendi yönü olarak tanımlanmaktadır. Güneş paneli performansı, eğim açısı ve azimut açısından etkilenir. Eğim açısı ve azimut açısı güneş paneline gelen güneş radyasyonunu etkilemektedir. Resim 3.4'de eğim ve azimut açıları, projenin kurulacağı koordinatlara göre değiştirilerek optimuma göre kayıp %0 olacak şekilde yapılandırılır.



Resim 3.4 PVsyst eğim ve azimut açısı belirlenmesi

3.1.1.3 Sistem Bölümü

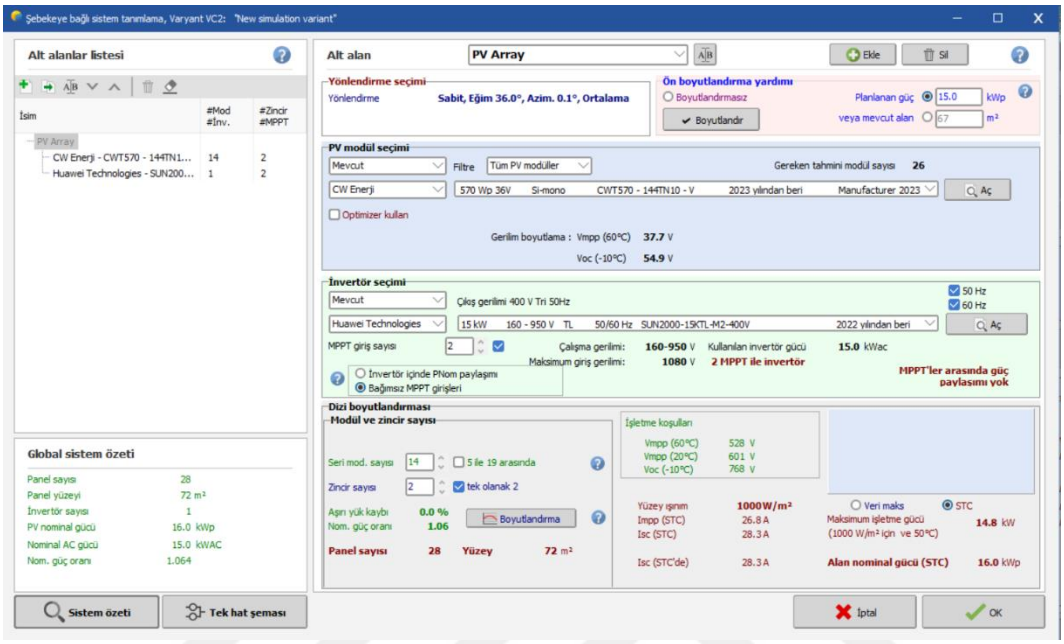
Sistem, PV dizisini oluşturan bileşenler kümesi olarak tanımlanır. Sistem bölümünde öncelikli olarak projenin mevcut alana göre mi tasarlanacağının yoksa planlanan bir güce göre mi çalışacağının belirlenmesi ve programa girilmesi gerekmektedir. Kurulumun yapılacağı alan sabit ve maksimum verim alınarak bir sistem tasarlanmak istenirse mevcut alan (m^2) girilmelidir. Mevcut alan girilmesi durumunda planlanan güç miktarı program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Aksi halde, projenin planlandığı yerde alan sorunu yoksa ve elde etmek istenen mevcut güç kapasitesi varsa, planlanan güç (kWp) girilmesi gerekmektedir. Planlanan güç girilmesi durumunda, proje için gerekli alan program tarafından otomatik olarak hesaplanır. Resim 3.5'de gerçek değerler dikkate alınarak, 4 kişilik bir ailenin kullanması için üretilmesi planlanan güç 15 kWp olacak şekilde girilen sisteme ait bilgiler yer almaktadır.

PVsyst programının veritabanında yer alan güneş paneli ve inverter marka, model ve teknik bilgiler detaylı şekilde incelenerek;

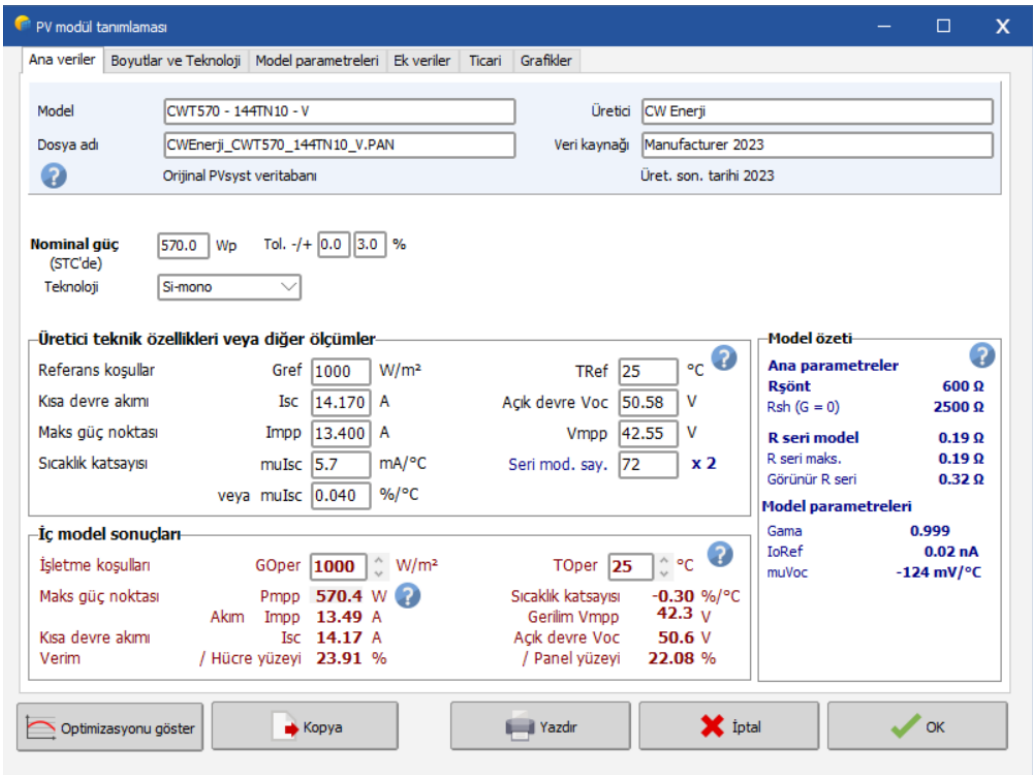
- Güneş Paneli; CW Enerji markasının CWT570 - 144TN10 - V modeli

– İnverter; Huawei markasının SUN2000-15KTL-M 2 modeli

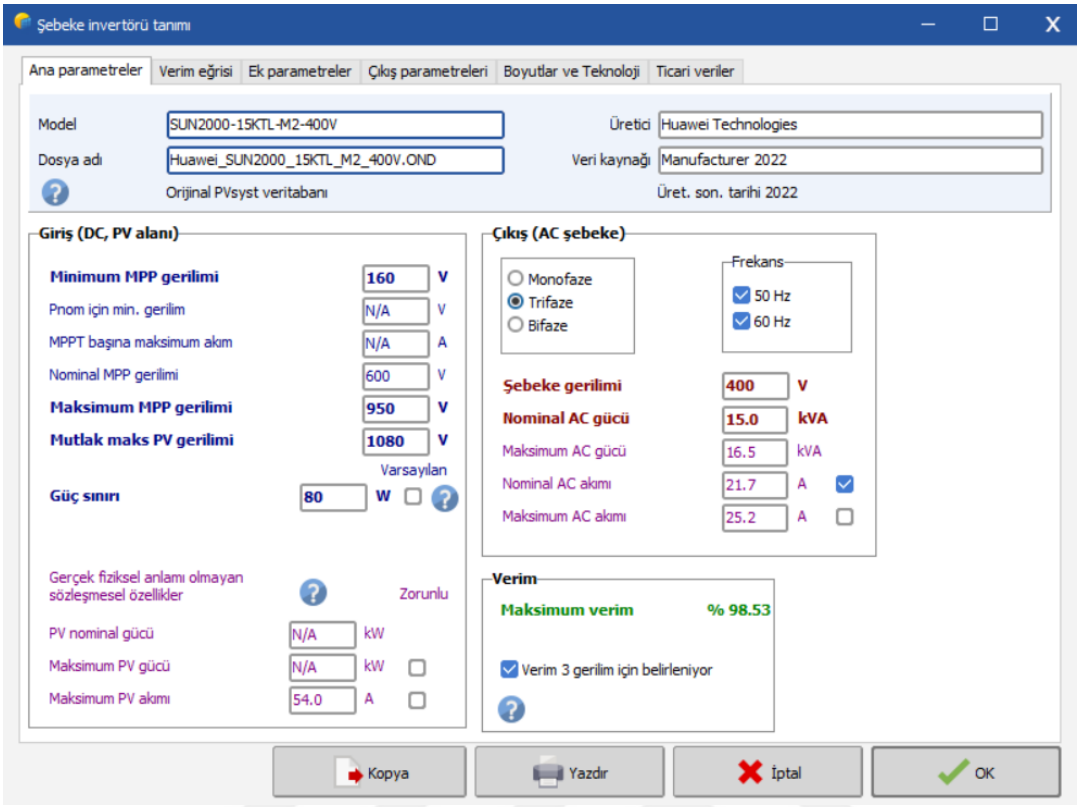
tercih edilmiştir. Söz konusu güneş paneli ve inverter hakkında teknik özellikler Resim 3.6, Resim 3.7, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Resim 3.5 PVsyst sistem bölümü



Resim 3.6 Güneş panellerine ait verilerin yer aldığı PVsyst ekranı



Resim 3.7 İnvertere ait detaylı verilerin yer aldığı PVsyst ekranı

Çizelge 3.1 Fotovoltaik Panel Özellikleri *(CW Enerji, 2024)*

Özellik	**Bilgi**
Model Tipi	CWT570 144TN10
Maksimum Güç (Pmax)	570 Wp
Modül Verimliliği	22.07
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	42.55
Maksimum Güç Akımı (Imp)	13.40
Açık Devre Gerilimi (Voc)	50.58
Kısa Devre Akımı (Isc)	14.17
Güç Toleransı	0~+5W
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1500V DC
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C

Çizelge 3.2 İnverter Özellikleri *(Solar Huawei, 2019)*

Özellik	**Bilgi**
Model Tipi	SUN2000-15KTL-M 2
Maksimum Güç (Pmax)	22500 W
Maksimum DC Voltaj (Vmax)	1080 V
MPPT Gerilim Aralığı (V)	160-950
Nominal Giriş Gerilimi (V)	600
Başlangıç Gerilimi (V)	200
Maks. Giriş Akımı (A)	27
Maks. Kısa Akım (A)	39

Modül tipini, invertörü ve dizinin tasarımını tanımladıktan sonra, iletişim kutusunun sağ alt kısmındaki mavi panel ya boş ya da turuncu olmalıdır. Kırmızı bir hata mesajı alınması durumunda, yapılan tüm seçimlerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

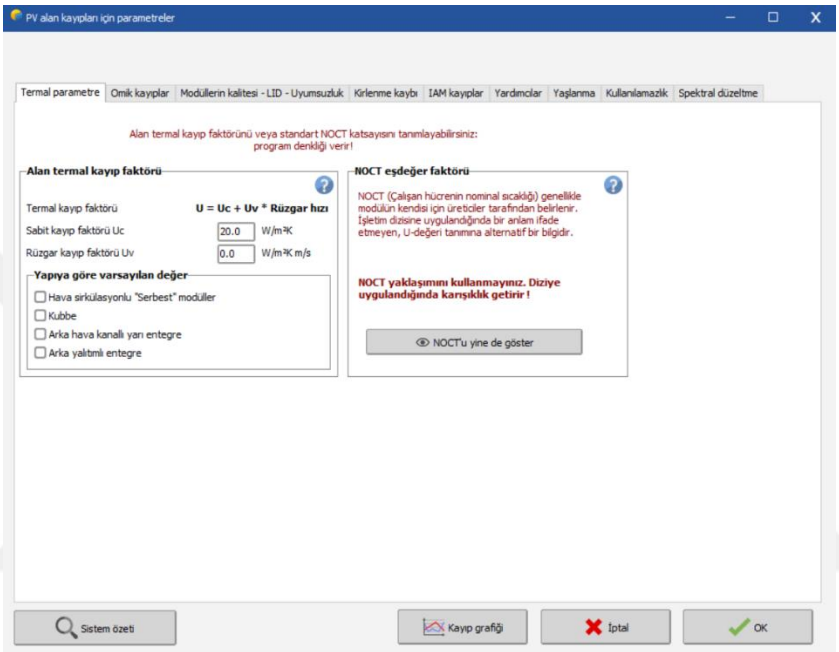
3.1.1.4 Kayıplar Bölümü

PVsyst tarafından simülasyon için makul varsayılan değerlerle başlatılan, ancak simülasyona daha fazla doğruluk katmak için sisteminizin özelliklerine göre değiştirmeniz gereken birkaç parametre vardır. Bu parametrelere proje panosundaki Kayıplar bölümü ile erişilebilir. Bu bölümde kablo kayıpları, panel kayıpları, tozlanma kayıpları gibi santral kayıplarının nasıl çözülebileceğinin yolları aranmaktadır. Bu bölüm; Termal Parametreler, Ohmik Kayıplar, Modül Kalitesi, LID, Uyumsuzluk, Kirlenme Kaybı, IAM Kayıpları, Yardımcı Maddeler, Yaşlanma, Kullanılamazlık ve Spektral düzeltme olmak üzere 9 sekmeden oluşmaktadır. Resim 3.8'de Kayıplar bölümünde yer alan 9 ana başlık ve bu ana başlıklardan olan Termal Parametreler başlığı altındaki değerler gösterilmektedir.

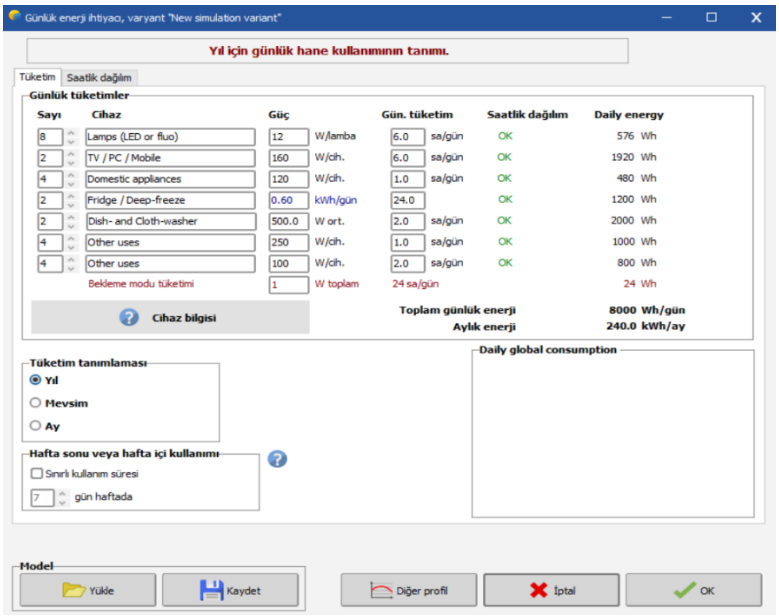
3.1.1.5 Öz Tüketim Bölümü

Bu bölüm projede kullanılan panellerin üretmiş olduğu elektriğin ne kadarlık bir kısmını tasarlanan sistem kullanacağını ne kadarını şebekeye verip hesaplamak için kullanılmaktadır. 7 ana başlıktan oluşan bu bölümde, kullanıcıların isteği doğrultusunda üretilen elektrik enerjisinin nasıl kullanılacağı belirlenmektedir. Projede kullanılan ev

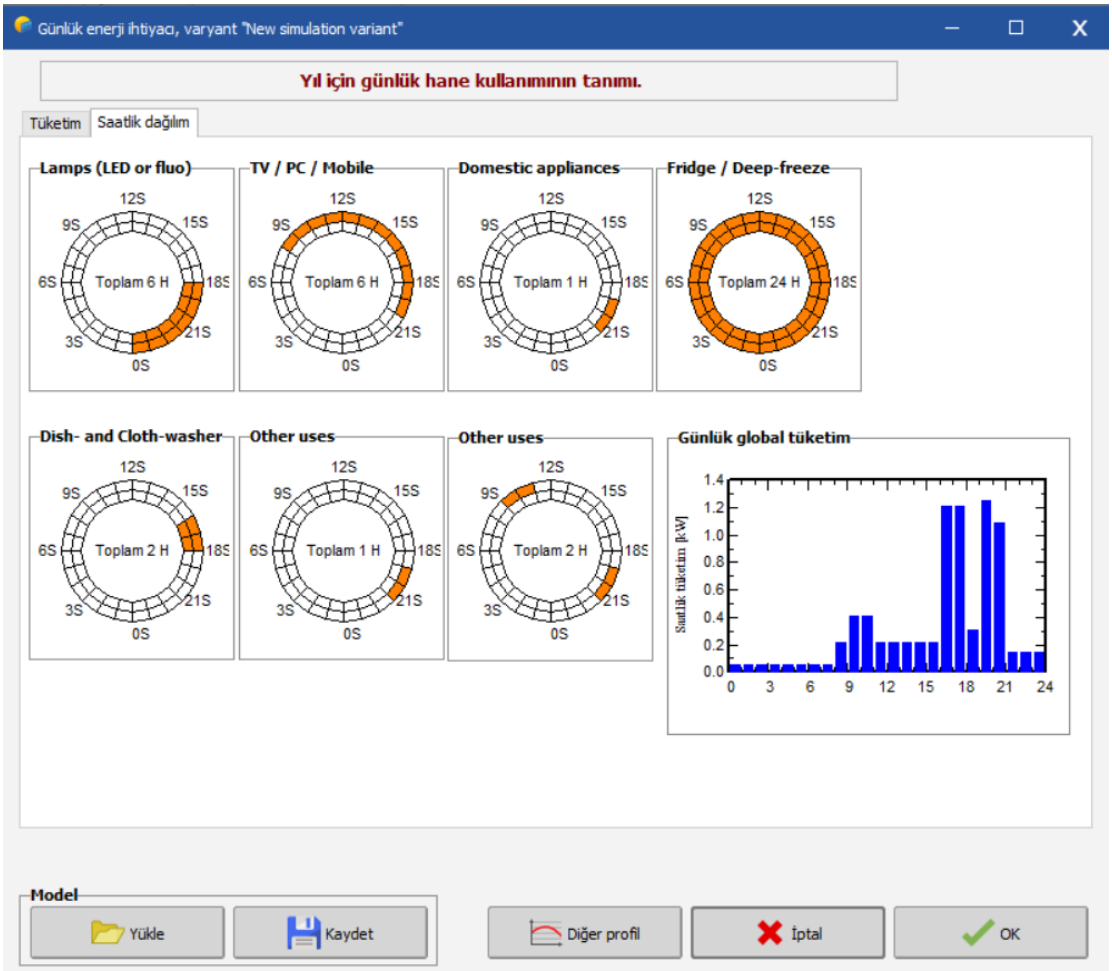
tüketicileri bölümünde güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin ev içerisinde hangi cihazlar tarafından ne kadar süre ile kullanılacağının tasarımı yapılır. Bir ev içerisinde elektrik ile çalışan eşyalar belirlenip bu eşyaların günde ne kadar saat çalıştığı ve ne kadar enerji tüketimi sağladığını ev tüketicileri bölümüne veri olarak girilir. Resim 3.9 ve Resim 3.10'da tasarlanan ev sistemi için programa girilen günlük ve saatlik tüketim verileri gösterilmiştir.



Resim 3.8 PVsyst kayıplar bölümü



Resim 3.9 PVsyst günlük elektrik tüketim ekranı



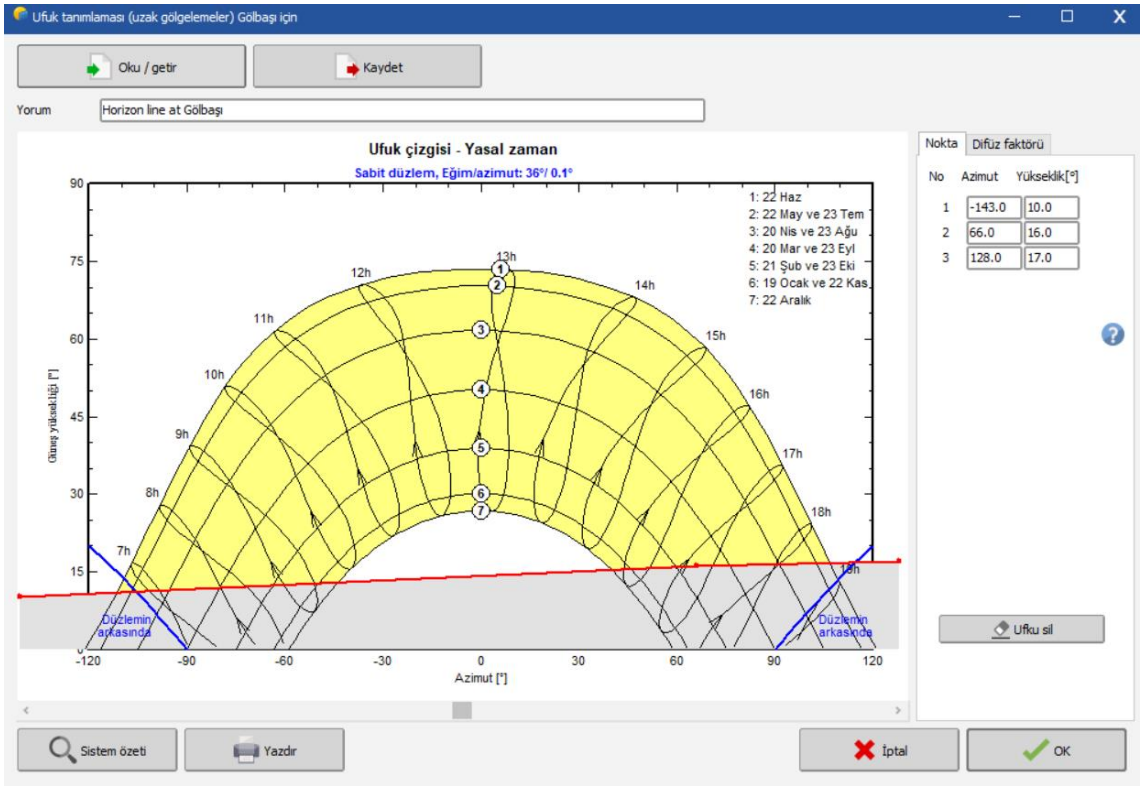
Resim 3.10 PVsyst saatlik elektrik tüketim ekranı

3.1.1.6 Horizon (Ufuk Çizgisi) Bölümü

Ufuk çizgisi grafiği güneşin belli bir saatten (doğuşu) batışına kadar olan süreçte enerjisinin gösterildiği grafiktir. Farklı saatler için güneş enerjisi kalitesi değişmektedir.

Daha önce maddelerde bahsedildiği gibi, azimut güneş panelinin güneşe olan yönünü vermektedir. Yükseklik ise, güneşin farklı saatlerdeki bulunduğu konuma göre yüksekliğidir. Bu değerler programa girildiğinde daha ekonomik ve gerçeğe yakın bir sonuç tahmini yapılmaktadır.

Resim 3.11'de konuma göre düzenlenmesi gereken ufuk çizgisi değerlerinin yer aldığı pencere görülmektedir.



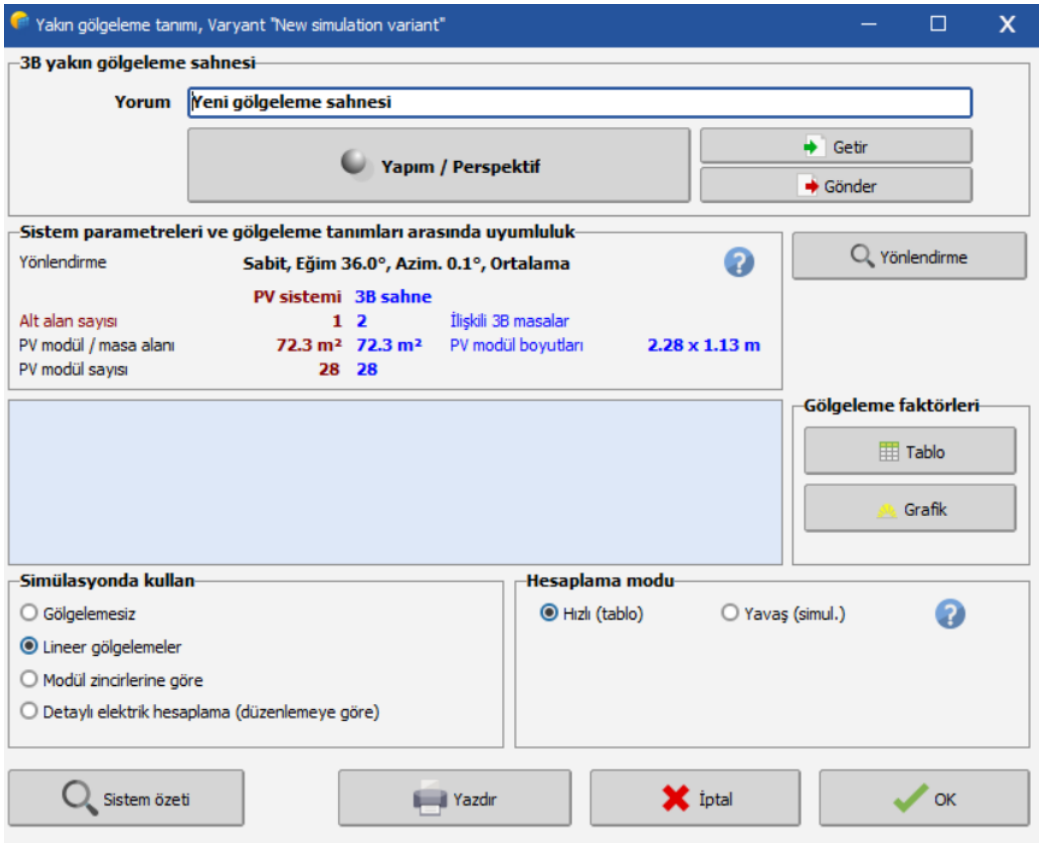
Resim 3.11 PVsyst ufuk çizgisi sayfası görünümü ve değerleri

3.1.1.7 Yakın Gölgelenmeler Bölümü

Yakın gölgelemeler bölümü PVsyst programının en önemli bölümlerinden biridir. Bu bölümde, tasarlanan fotovoltaik panellerin üzerine düşen gölgeler incelenmekte ve bu gölgelerin panellerin performansı üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirilmektedir. Gölgelenmenin neden olduğu verim kayıplarını minimize etmek amacıyla gerekli düzenlemeler yapılmakta ve sistem tasarımı optimize edilmektedir.

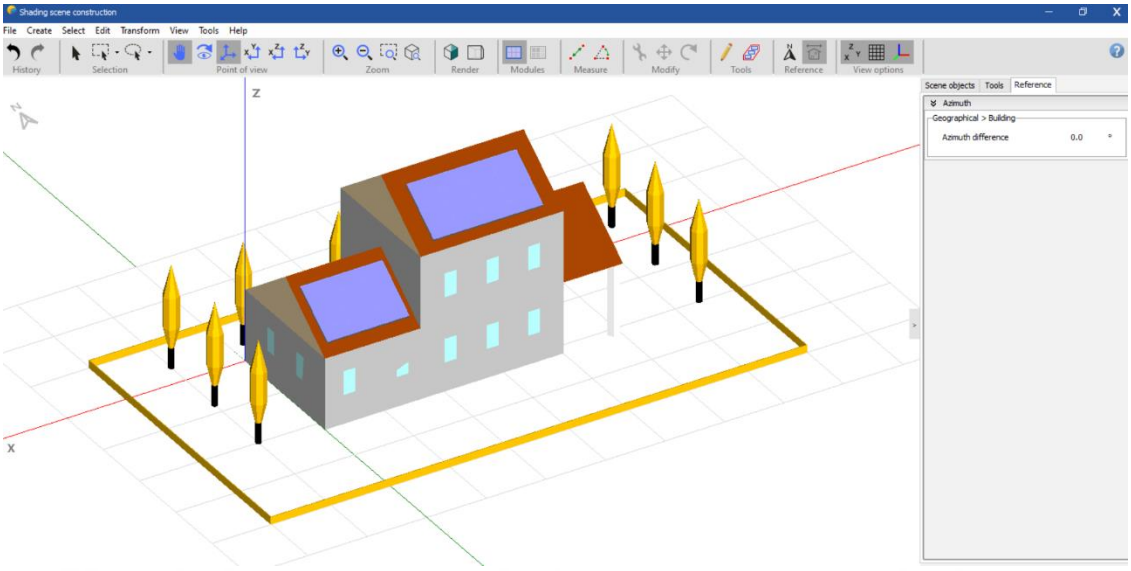
Fotovoltaik sistemlerin verimli bir şekilde çalışabilmesi için, güneş panellerinin mümkün olduğunca az gölgelenmeye maruz kalması kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, PVsyst uygulaması kullanıcılarına gelişmiş gölgelendirme analiz araçları sunar. Kullanıcılar, bu araçlar sayesinde projenin yapılacağı alandaki potansiyel gölgelendirme kaynaklarını (ağaçlar, binalar, diğer yapılar, antenler, vb.) detaylı bir şekilde modelleyebilirler. Bu modelleme sürecinde, her bir gölgelendirme kaynağının konumu, yüksekliği, genişliği ve diğer boyutları hassas bir şekilde belirlenebilir. Bu sayede, paneller üzerindeki gölgelenmenin tam olarak nerede, ne zaman ve ne kadar süreyle

meydana geleceği simüle edilebilir. Modelleme yapılırken tercih edilen güneş paneli ve inventer modelleri ve bu bölümde yer alan modül, dize sayısı ve alan bilgileri dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Resim 3.12'de yakın gölgelemeler ekranı görülmektedir.

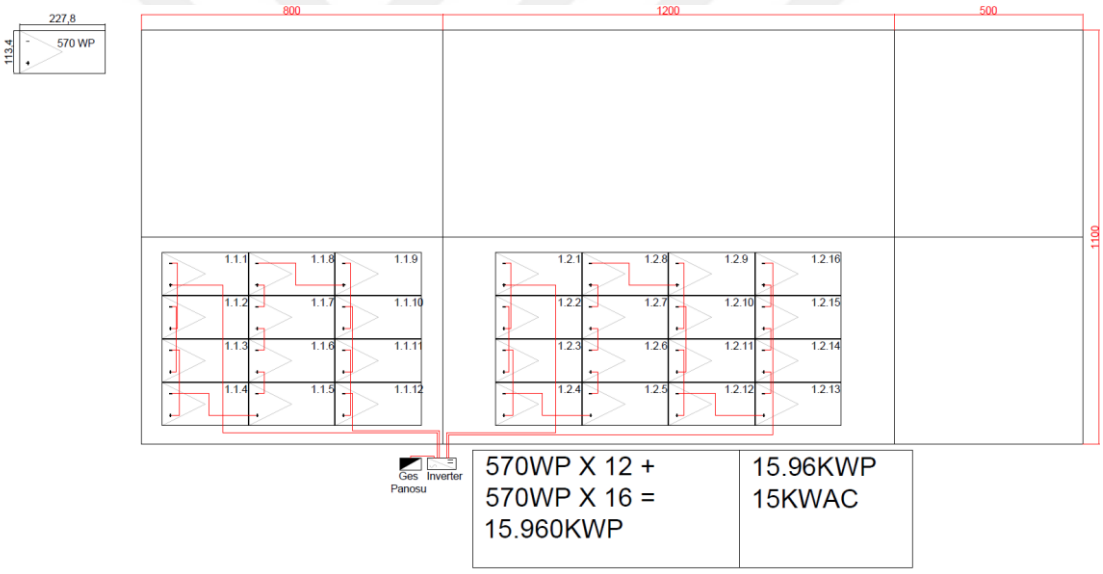


Resim 3.12 PVsyst yakın gölgelemeler ekranı

Bu çalışma kapsamında, güneş enerjili bir ev sisteminin tasarımı, projenin ana odak noktasını oluşturmaktadır. Bu sistemin detaylı bir şekilde analiz edilebilmesi ve enerji performansının doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için PVsyst programının gelişmiş modelleme araçlarından yararlanılmıştır. Resim 3.13'te, bu tasarım sürecinin PVsyst programı içerisindeki yansımaları gösterilmektedir. Özellikle, "Yapım/Perspektif" bölümü kullanılarak evin üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinden güneş panellerinin yerleşimi, gölgelenme analizleri ve enerji üretim hesaplamaları gibi önemli parametreler üzerinde çalışılmıştır. Bu bölüm, kullanıcıya evin gerçek dünya koşullarına en yakın modelini oluşturma ve potansiyel sorunları önceden tespit etme imkânı sunar.



Resim 3.13 PVsyst tasarlanan evin perspektif görüntüsü



Resim 3.14 Autocad genel yerleşim planı

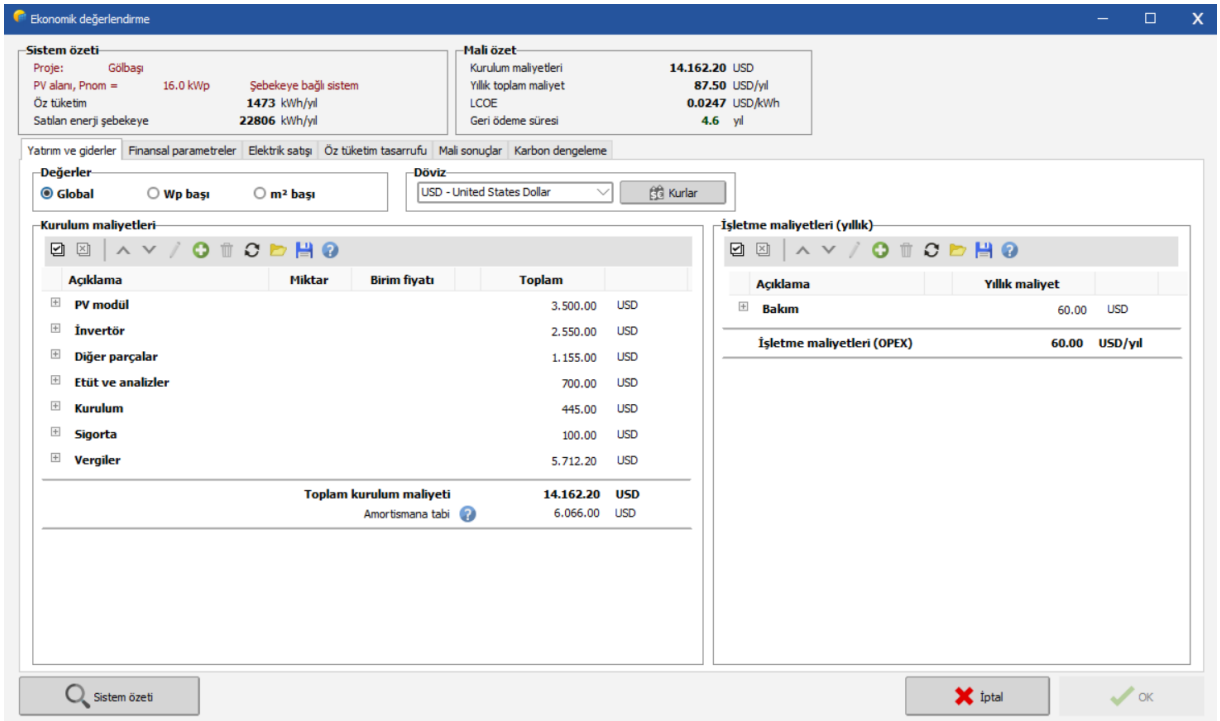
3.1.1.8 Ekonomik Değerlendirme Bölümü

Fotovoltaik sistem tasarımının sadece teknik yönü değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da değerlendirilmesi büyük önem taşır. PVsyst programının "Ekonomik Değerlendirme" bölümü, bu ihtiyacı karşılamak üzere tasarlanmış kapsamlı araçlar sunar. Bu bölüm, kullanıcılara projelerinin ekonomik fizibilitesini analiz etme, toplam yatırım maliyetini belirleme, yıllık işletme maliyetlerini hesaplama ve enerji

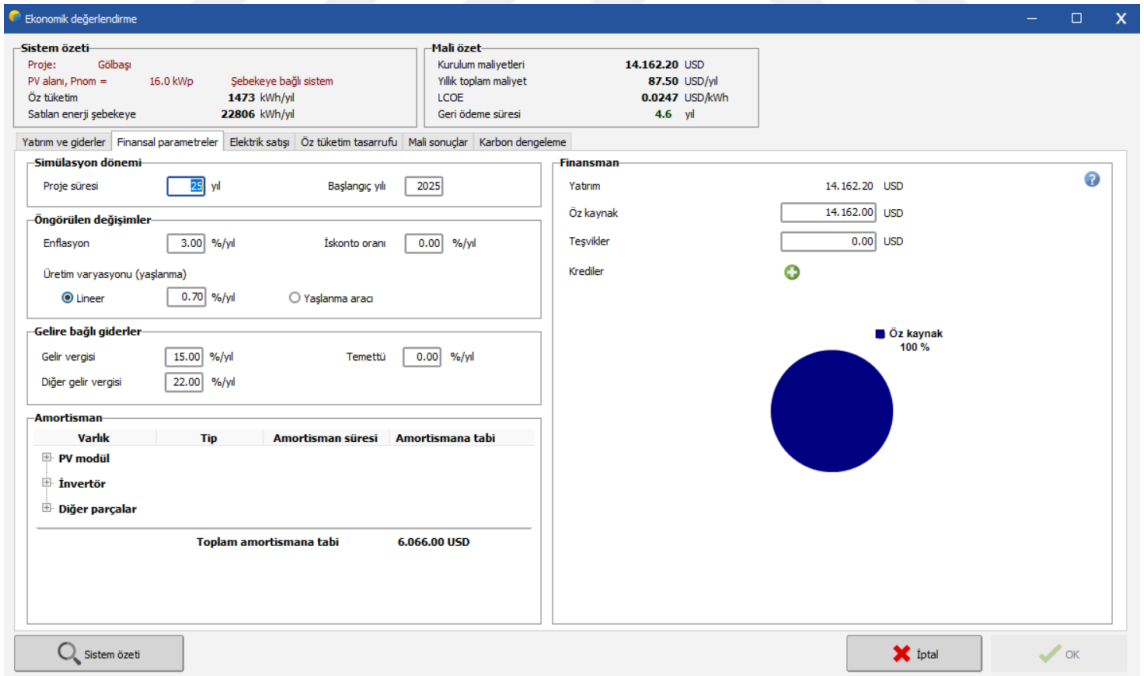
maliyetlerini detaylı bir şekilde inceleme imkanı tanır. Kullanıcılar, bu bölümdeki parametreleri kullanarak, sistem bileşenlerinin maliyetini (adet başına, kurulu güç başına veya metrekare başına) tanımlayabilir ve proje özelinde en uygun maliyet analizini yapabilirler.

Ekonomik değerlendirme bölümü, sistemin hem doğrudan hem de dolaylı tüm kurulum maliyetlerini kapsamlı bir şekilde hesaplar. Bu maliyetler, sadece güneş panelleri, inverterler ve kablolar gibi temel bileşenlerin fiyatını değil, aynı zamanda kurulum çalışmaları, mühendislik analizleri, proje izinleri ve idari ücretler gibi maliyetleri de içerir. Ayrıca, sistemin vergilendirme süreçleri ve diğer ilgili masrafları da bu bölümde dikkate alınır. Bu kapsamlı yaklaşım, projenin gerçek maliyetinin belirlenmesinde ve yatırım kararlarının daha sağlıklı bir şekilde alınmasında kritik bir rol oynar.

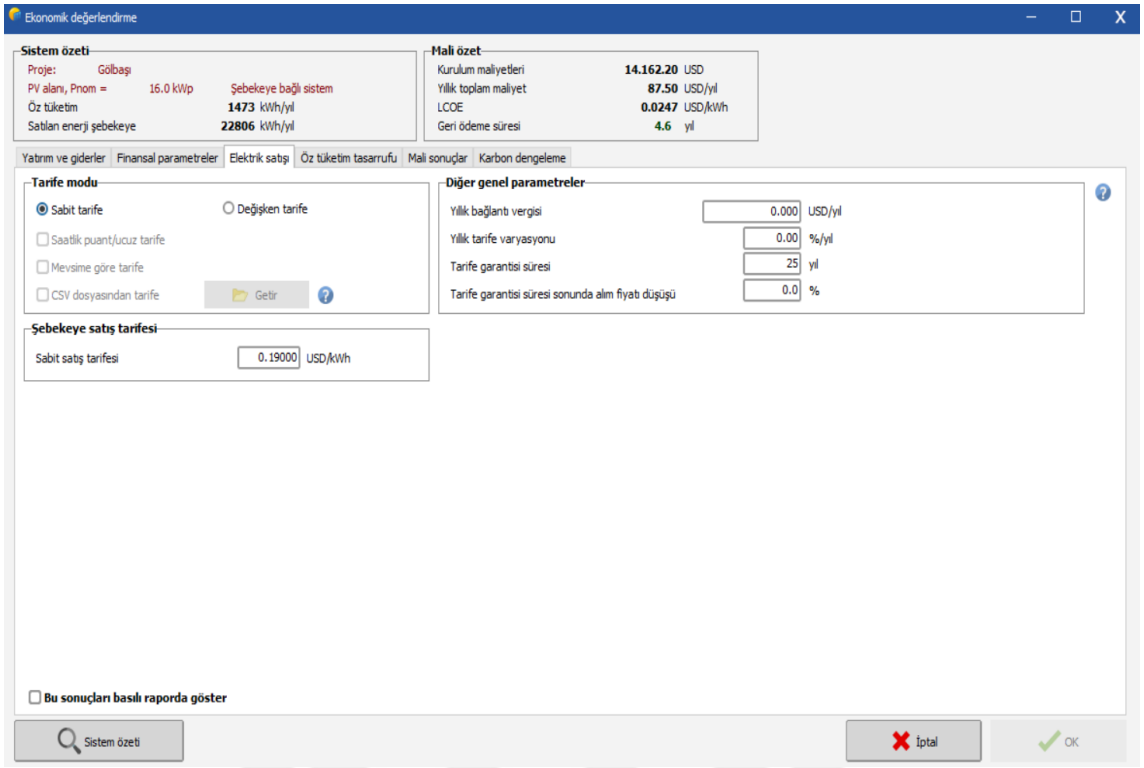
Resim 3.15'te, tasarlanan fotovoltaik sistemin kurulum maliyetlerinin detaylı olarak görüldüğü ekran yer almaktadır. Bu ekran, kullanıcılara her bir maliyet kalemini ayrı ayrı inceleme ve maliyetlerin toplam yatırım üzerindeki etkisini görme olanağı sağlar. Resim 3.16'da ise, projenin finansal parametrelerinin belirlendiği ekran sunulmaktadır. Bu ekranda, faiz oranları, amortisman süreleri ve diğer finansal değişkenler tanımlanarak, projenin ekonomik performansı detaylı bir şekilde değerlendirilir. Resim 3.17'de, üretilen elektriğin satış fiyatının belirlendiği ve farklı fiyatlandırma stratejilerinin analiz edildiği ekran bulunmaktadır. Bu ekran, projenin gelir potansiyelini en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olur. Resim 3.18'de, sistemin kendi tüketimini karşılayarak sağlayacağı tasarrufların detayları gösterilmektedir. Öz tüketim tasarrufu, sistemin işletme maliyetlerini düşürmede önemli bir rol oynar. Son olarak, Resim 3.19'da, tasarlanan sistemin tüm ekonomik performansının özetlendiği bir ekran bulunmaktadır. Bu özet ekranında, projenin karlılığı, net bugünkü değeri (NPV), geri ödeme süresi (payback period) ve yatırımın geri dönüş oranı (IRR) gibi temel finansal göstergeler sunulur. Bu bilgiler, kullanıcılara projenin ekonomik açıdan ne kadar cazip olduğunu hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirme imkanı verir. Bu kapsamlı ekonomik analiz sayesinde, fotovoltaik sistem yatırımlarının finansal riskleri minimize edilir ve uzun vadeli ekonomik başarı potansiyeli artırılır.



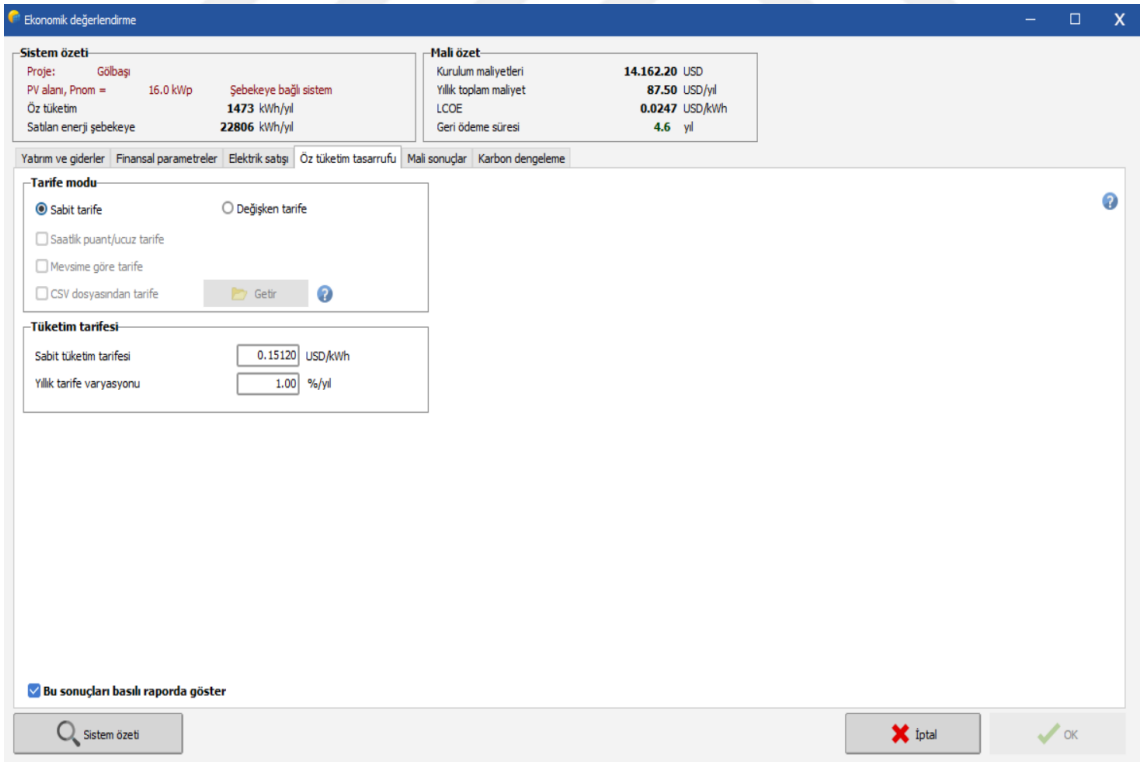
Resim 3.15 PVsyst kurulum maliyet ekranı



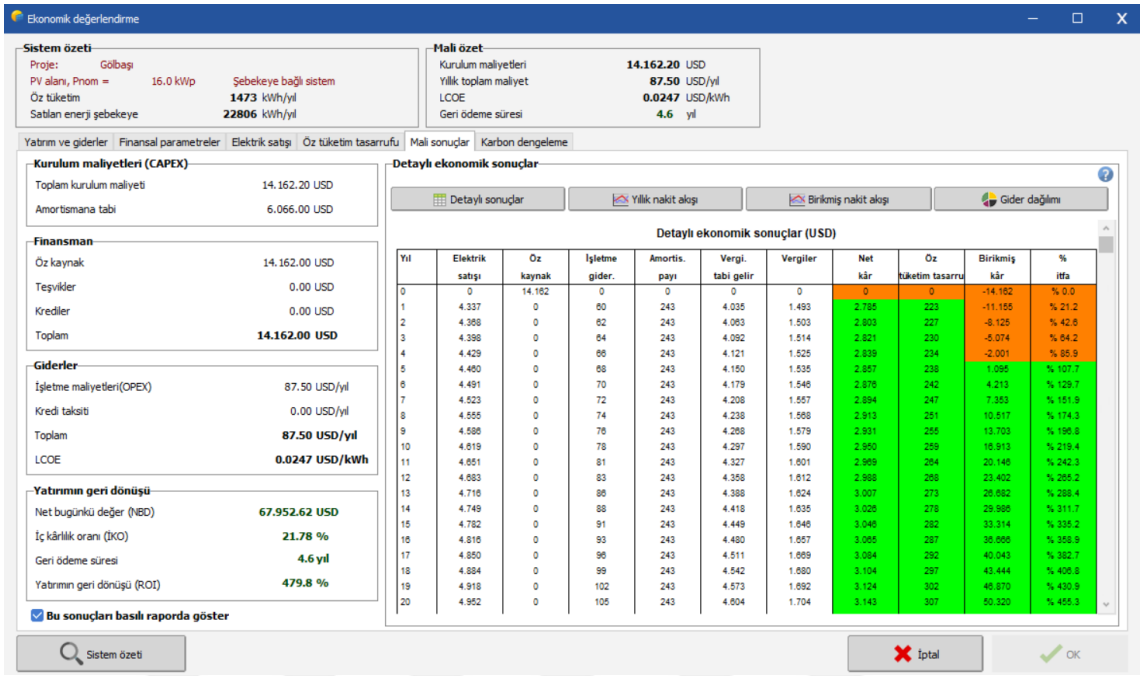
Resim 3.16 PVsyst finansal parametreler ekranı



Resim 3.17 PVsyst elektrik satış fiyatlandırma stratejisi ekranı



Resim 3.18 PVsyst öz tüketim tasarrufu ekranı



Resim 3.19 PVsyst mali sonuçlar ekranı

3.2 Fizibilite Raporu Tasarımı

Bu tez çalışmasında, Ankara ili Gölbaşı ilçesinde kurulması planlanan güneş enerjisiyle çalışan bir ev sisteminin ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Fizibilite raporu, enerji üretim kapasitesi, yatırım maliyetleri, işletme ve bakım giderleri, geri ödeme süresi ve uzun vadeli ekonomik getirilere ilişkin verileri içermektedir.

Fizibilite çalışmasında kullanılan veriler, yerel piyasa koşullarına göre şekillendirilmiştir. Sağlanan Excel tablosu, bu verilerin detaylı finansal analizini içermektedir.

3.2.1 Fizibilite Raporu Genel Proje Bilgileri

Hazırlanan fizibilite çalışmasında, tasarlanan projeye dair bilgilerin yer aldığı Genel Proje Bilgileri ekranı yer almaktadır. Bu ekranda; sistem için yapılacak olan inşaat işlemlerinin başlangıç-bitiş tarihleri, tasarlanan projenin ömrü, ekonomik girdiler (vergiler) ve bakım ücretleri gibi bilgiler yer almaktadır. Resim 3.20'de fizibilite raporundaki genel proje bilgilerinin yer aldığı ekran yer almaktadır.

Genel Proje Bilgileri		
Tarihsel Girdiler		
İnşaat Başlangıc Tarihi		1.Ara.24
İnşaat Süresi	Ay	1,00
Tesis Devreye Alma	Tarih	1.Oca.25
Tesisin Ömrü	Yıl	25
Tesis Operasyon Bitiş	Tarih	1.Oca.50
Ekonomik Girdiler		
TÜFE	Yıllık	8,00%
Amortisman	Sene	10,00
Kurumlar Vergisi Oranı	Yüzde	22%
KDV	Yüzde	20%
Gösterge Faiz Getirisi	Yıllık	11,00%
USD Bazlı Enflasyon	Yüzde	1,0%
Eurbond Getiri	Yüzde	5,6%
Elektrik Satış Fiyatı MWh	TRY	450,00
USDTRY	Kur	33,00
TRY Değer Kaybı		
3 Yıl	Yüzde	8%
5 Yıl	Yüzde	6%
Kalan Yıllar	Yüzde	6%
Operasyonel Giderler		
Bakım İşletme Gideri	$/kWp	6,00

Resim 3.20 Fizibilite genel proje ekranı

3.2.2 Fizibilite Raporu Elektrik Üretimi Bilgileri

Hazırlanan fizibilite çalışmasında, tasarlanan sisteme dair elektrik üretimi hakkında bilgilerin yer aldığı alan bulunmaktadır. Bu alanda sistemin kurulu gücü, spesifik üretimi, PV sistemin yıllık üretim miktarı ve modülün yıllık performans kaybı bilgileri yer almaktadır. Resim 3.21'de fizibilite raporundaki elektrik üretim bilgilerinin yer aldığı ekran yer almaktadır.

Enerji Tüketimi ve Üretimi		
Toplam Elektrik Üretimi		
Kurulu Güç	kWp/DC	15,00
Spesifik Üretim	kWh/kWp	1.600
PV sistemi yıllık üretim mikt	kWh/yıl	24.000
PV modülü yıllık performans	%	0,7%

Resim 3.21 Fizibilite elektrik üretim ekranı

3.2.3 Fizibilite Raporu Sistem Raporu Bilgileri

Hazırlanan fizibilite çalışmasında, tasarlanan sisteme dair sistem kurulum maliyet ve finansman bilgilerin yer aldığı alan bulunmaktadır. Bu alanda sistemin MW başına maliyeti, toplam yatırım tutarı gibi bilgileri yer almaktadır. Resim 3.22'de fizibilite raporundaki sistem kurulum maliyeti ve finansman bilgilerinin yer aldığı ekran yer almaktadır.

Sistem Kurulum Maliyeti ve Finansman		
Finansman Yöntemi		Kurumsal Kredi
Leasing Kiralama Süresi		1
MW Başına Maliyet	USD	950.000
Toplam Yatırım Tutarı	USD	14.250,0
Leasing Toplam Maliyet		-
Borç (Finansman) Oranı	%	0,0%
Kredi	USD	-
Özkaynak tutarı	USD	14.250
Faiz / finansman oranı	%	0,0%

Resim 3.22 Fizibilite sistem kurulum ekranı

4. BULGULAR

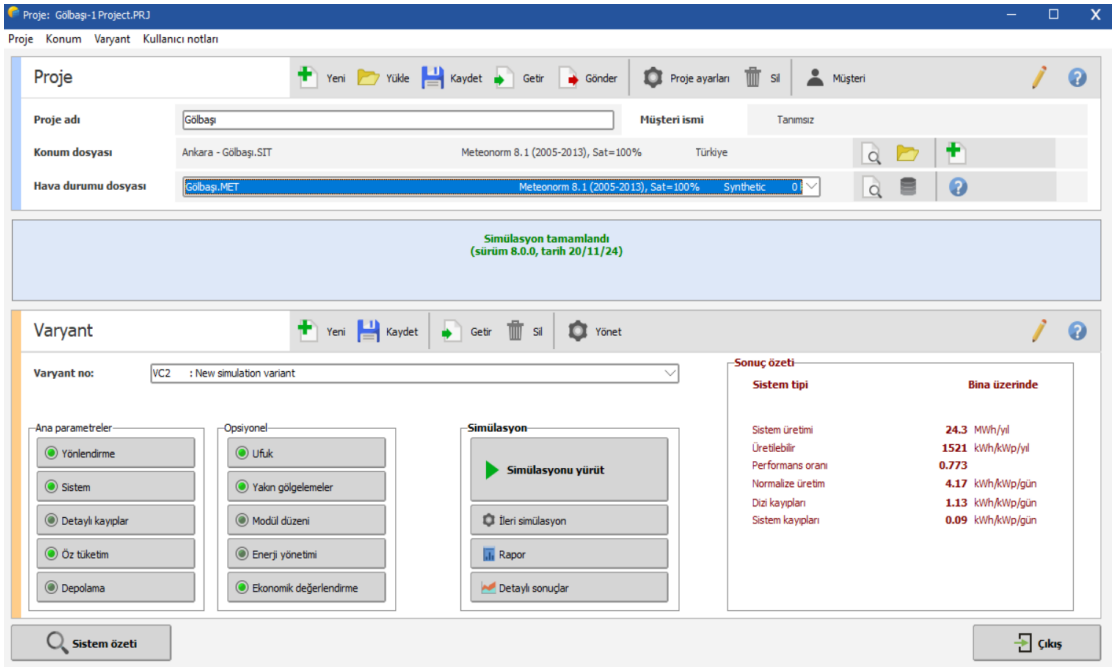
Ankara ili Gölbaşı ilçesinde kurulması planlanan güneş enerjisiyle çalışan bir ev sistemine ilişkin PVsyst ve gerçek verilere uygun şekilde hazırlanan fizibilite raporlarına ait bulgular bu bölümde açıklanacaktır.

4.1 PVsyst Simülasyon Sonuçları

Güneş enerjisi sistemlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde çalışması, doğru bir proje değerlendirmesiyle başlar. Bu değerlendirme sürecinde, sistemin performansı üzerinde doğrudan etkisi olan birçok faktör dikkatlice göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler arasında, kullanılan güneş panellerinin sayısı, inverterlerin sayısı ve kapasitesi, panellerin ve inverterlerin marka ve model bilgileri, sistemin kurulum şekli, panellerin eğimi ve yönelimi, coğrafi konum ve panellerin günlük güneş ışığına maruz kalma süresi gibi unsurlar yer alır. Bu parametrelerin her biri, sistemin enerji üretim kapasitesini, verimliliğini ve dolayısıyla projenin genel başarısını önemli ölçüde etkiler.

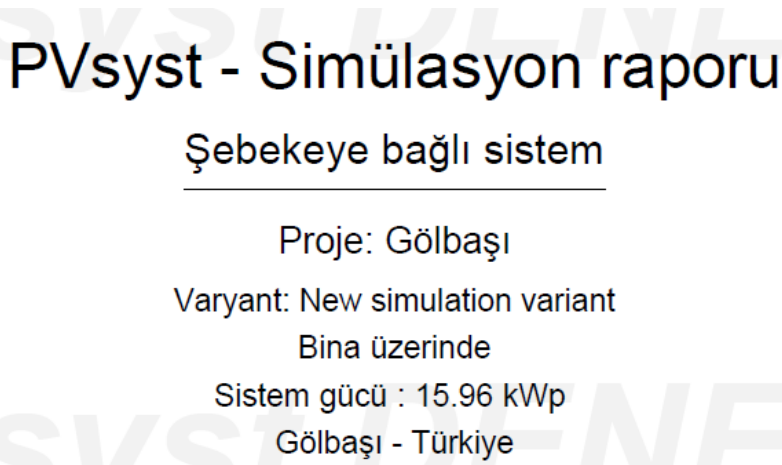
Bu çalışmada, gerçeğe en yakın sonuçlar elde edebilmek ve sistem performansını doğru bir şekilde analiz edebilmek amacıyla, öncelikle detaylı bir ev tasarımı yapılmış ve bu tasarım PVsyst programına uygun verilerle beslenerek bir simülasyon oluşturulmuştur. Bu simülasyon süreci, sistemin yıllık enerji üretim kapasitesini ve performansını değerlendirmek için kritik bir adım olarak kabul edilmiştir. Programda girilen veriler, sistemin her bir bileşeninin özelliklerini, coğrafi konumu ve çevresel faktörleri dikkate alarak, sistemin enerji üretimini ve verimliliğini hassas bir şekilde tahmin etmeye olanak tanımıştır. Bu sayede, tasarım kararlarının etkileri gerçekçi bir şekilde değerlendirilmiş ve olası sorunlar önceden tespit edilmiştir.

Resim 4.1'de, PVsyst programında girilen verilerle oluşturulan simülasyonun nasıl çalıştırılacağına dair örnek bir ekran görüntüsü sunulmuştur. Bu örnek, kullanıcıların simülasyonun ne gibi verilere dayandığını ve nasıl bir süreç izlediğini anlamalarına yardımcı olur. Simülasyon süreci, güneş enerjisi sisteminin farklı çalışma koşulları altında nasıl bir performans göstereceğini modellemeyi amaçlar.

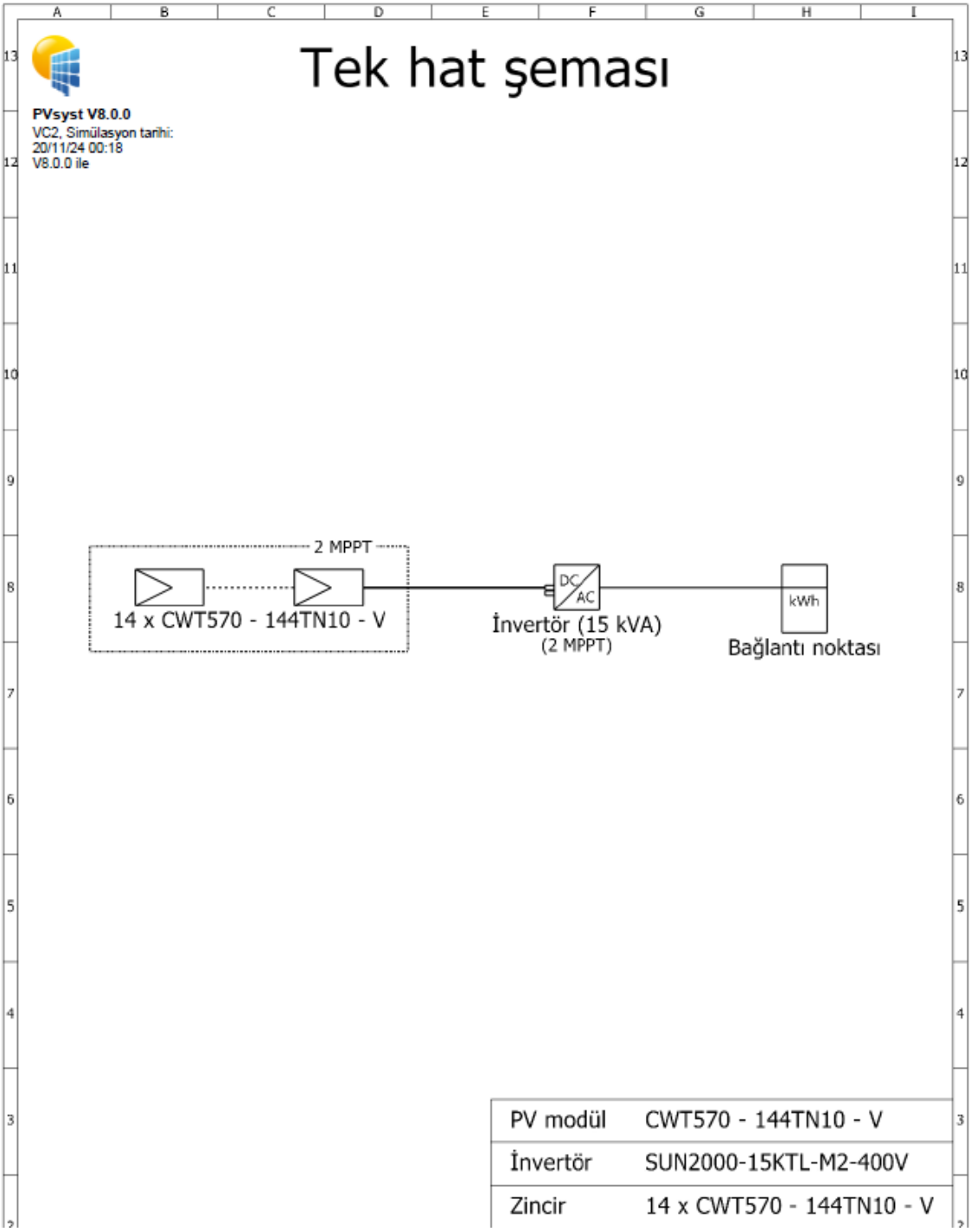


Resim 4.1 PVsyst simülasyon ekranı

Simülasyon çalıştırılıp analiz yapıldıktan sonra rapor kısmından tasarlanan sistemin tüm sonuçları verilmektedir. Resim 4.2'de PVsyst programı tarafından oluşturulan rapor ekranının ilk sayfasına ait görüntü yer almaktadır. Bu ekranda projenin ismi, tasarlanan sistemin gücü gibi bilgiler yer almaktadır. Sistemi genel olarak görebilmemizi sağlayan tek hat şeması Resim 4.3'de gösterilmiştir.



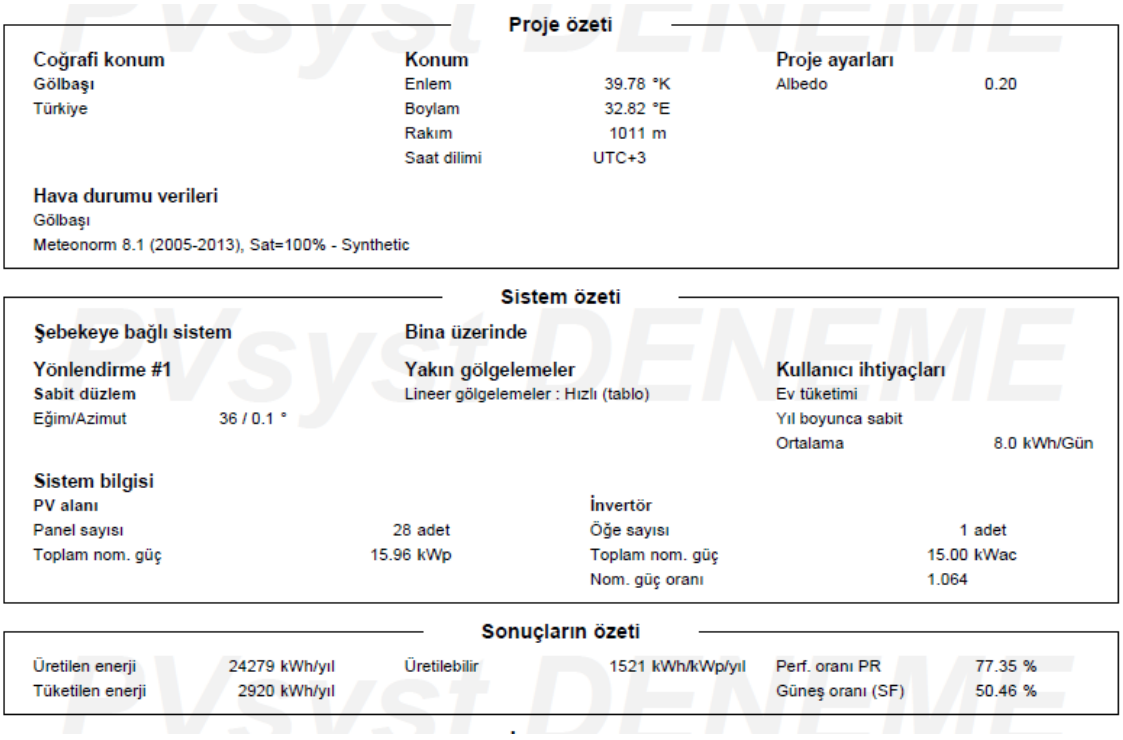
Resim 4.2 PVsyst rapor ekranı



Resim 4.3 PVsyst tek hat şeması ekranı

Resim 4.4'de PVsyst programında oluşturulan projeye ait genel bilgileri içeren özet kısmı yer almaktadır. Bu ekran, projenin özeti, sistemin özeti, sonuçların özeti ve içindekiler olmak üzere 4 ana başlıktan oluşmaktadır. Projenin özeti başlığı altında; tasarlanan projenin coğrafi konumu, koordinat bilgisi, rakımı, saat dilimi, alpedo

(yansıtabilirlik) etkisi bilgileri yer almaktadır. Sistem özeti başlığı altında; tasarlanan sistemin şebekeye bağlı olup olmadığını, projede yer alan güneş panellerinin eğim açısı, toplam panel ve invertör sayısı gibi bilgiler yer almaktadır. Sonuçların özeti başlığı altında; üretilen enerji, tüketilen enerji, üretilebilir, performans oranı ve güneş oranı hakkında bilgiler yer almaktadır.



Proje özeti

Coğrafi konum	Konum		Proje ayarları	
Gölbaşı	Enlem	39.78 °K	Albedo	0.20
Türkiye	Boylam	32.82 °E		
	Rakım	1011 m		
	Saat dilimi	UTC+3		

Hava durumu verileri
Gölbaşı
Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem		Bina üzerinde		
Yönlendirme #1		**Yakın gölgelemeler**	**Kullanıcı ihtiyaçları**	
Sabit düzlem		Lineer gölgelemeler : Hızlı (tablo)	Ev tüketimi	
Eğim/Azimut	36 / 0.1 °		Yıl boyunca sabit	
			Ortalama	8.0 kWh/Gün

Sistem bilgisi

PV alanı		İnvertör	
Panel sayısı	28 adet	Öğe sayısı	1 adet
Toplam nom. güç	15.96 kWp	Toplam nom. güç	15.00 kWac
		Nom. güç oranı	1.064

Sonuçların özeti

Üretilen enerji	24279 kWh/yıl	Üretilebilir	1521 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	77.35 %
Tüketilen enerji	2920 kWh/yıl			Güneş oranı (SF)	50.46 %

Resim 4.4 PVsyst özet ekranı

Denklem 4.1'de, sistemin toplam gücünün hesaplanmasına ilişkin eşitlik sunulmaktadır. Denklem 4.2'de, sistemin üretilebilir enerjinin hesaplanmasına ilişkin eşitlik yer almaktadır. Denklem 4.3'te, sistemin performans oranının hesaplanmasına yönelik eşitlik ifade edilmektedir. Denklem 4.4'te, güneş oranının hesaplanmasına yer verilmiştir. Bu oran, PV sisteminin ürettiği enerjiden doğrudan tüketilen miktarın, toplam tüketilen enerjiye oranını ifade etmektedir.

$$Toplam\ Nominal\ Güç\ =\ Panel\ Sayısı\ *\ Panel\ Gücü \tag{4.1}$$

$$Üretilebilir\ = Üretiken\ Enerji\ /\ Toplam\ Nominal\ Güç \tag{4.2}$$

$$Performans\ Oranı\ (PR)\ =\ \frac{AC\ enerji\ üretimi}{STC\ sistem\ gücü\ *\ Yüzeyde\ toplam\ ışınım} \quad (4.3)$$

$$Güneş\ Oranı =\ PV\ Enerji\ Kullanımı\ /\ Tüketilen\ Enerji \quad (4.4)$$

Resim 4.5'te PV modül ve inverter için teknik özellikler ve kullanım adetlerine ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır. Bu bölümde; kolektör alanın özellikleri ve dizi kayıpları hakkında bilgiler yer almaktadır.

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem — **Bina üzerinde**

Yönlendirme #1
Sabit düzlem
Eğim/Azimut 36 / 0.1 °

Dizi ayarları
Dizi sayısı 2 birim
Masa seti
Gölgeleme açı sınırı
Profil açı sınırı °

Boyutlar
Dizi aralığı 0.00 m
Kolektör eni 4.60 m
ortalama GCR %
Etkisiz üst şerit 0.02 m
Etkisiz alt şerit 0.02 m

Kullanılan modeller
Transpozisyon Perez
Difüz Perez, Meteonorm
Circumsolar ayrı

Ufuk
Ortalama yükseklik 13.8 °

Yakın gölgelemeler
Lineer gölgelemeler : Hızlı (tablo)

Kullanıcı ihtiyaçları
Ev tüketimi
Yıl boyunca sabit
Ortalama 8.0 kWh/Gün

Kolektör alanının özellikleri

PV modül
Üretici Generic
Model CWT570 - 144TN10 - V
(Orijinal PVsyst veritabanı)
Birim gücü 570 Wp
PV modül sayısı 28 adet
Nominal (STC) 15.96 kWp
Modül 2 zincir x 14 Seri
İşletme şartlarında (50°C)
Pmpp 14.77 kWp
U mpp 545 V
I mpp 27 A

İnvertör
Üretici Generic
Model SUN2000-15KTL-M2-400V
(Orijinal PVsyst veritabanı)
Birim gücü 15.0 kWac
İnvertör sayısı 2 * MPPT 50% 1 adet
Toplam güç 15.0 kWac
Çalışma gerilimi 160-950 V
Maks güç (=>58°C) 16.5 kWac
Nom. güç oranı (DC:AC) 1.06
MPPTler arasında güç paylaşımı yok

Total PV gücü
Nominal (STC) 16 kWp
Toplam 28 modül
Panel yüzeyi 72.3 m²
Hücre yüzeyi 66.8 m²

İnvertör toplam gücü
Toplam güç 15 kWac
İnvertör sayısı 1 adet
Nom. güç oranı 1.06

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü
Işınıma göre modül sıcaklığı
Uc (sabit) 20.0 W/m²K
Uv (rüzgar) 0.0 W/m²K/m/s

DC kablolama kaybı
Global alan direnci 329 mΩ
Kayıp oranı 1.5 STC'de%

Modül kalite kaybı
Kayıp oranı -0.8 %

Modül uyumsuzluk kaybı
Kayıp oranı 2.0 MPP'de%

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

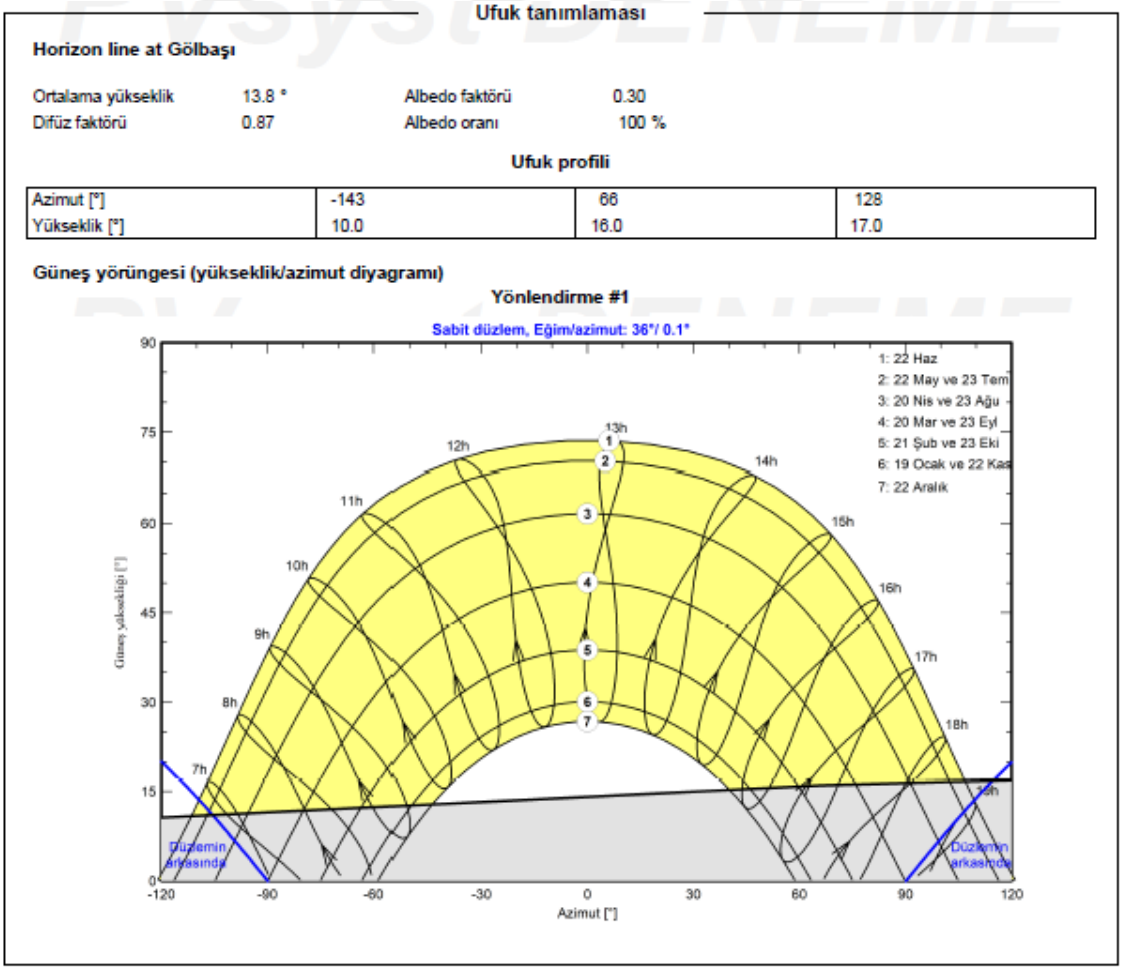
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000

Resim 4.5 PVsyst şebekeye bağlı sistem için genel parametreler ekranı

Denklem 4.5'te, sistemde kullanılan kablolamadan kaynaklanan kayıpların hesaplanmasına ilişkin eşitlik yer almaktadır.

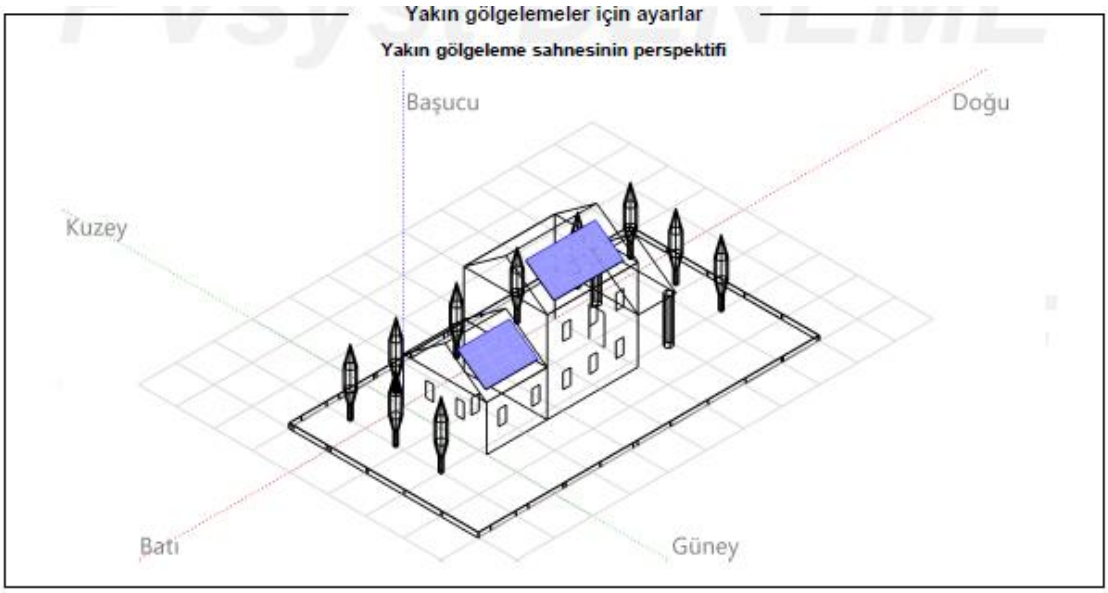
$$Kayıp\ Oranı\ = \frac{\frac{(Kablo\ Direnci\ x\ Akım^2)}{1000}}{Üretilen\ Enerji} \tag{4.5}$$

Resim 4.6'da yer alan ufuk tanımlanması bölümü PV modüllerinin optimum güneş ışığı alımını sağlamak için doğru eğim ve yönlendirme ayarlarının yapılmasına yardımcı olur. Ufuk tanımlaması, PV sisteminin kurulu olduğu coğrafi konumun enlem ve boylam bilgilerini kullanır. Bu bilgiler, güneşin yıl boyunca değişen yükseklik ve açısal konumunu belirlemek için kullanılır. PVsyst, yerel zaman dilimini ve gün ışığı tasarrufu uygulamalarını da dikkate alarak güneşin konumunu hesaplar.



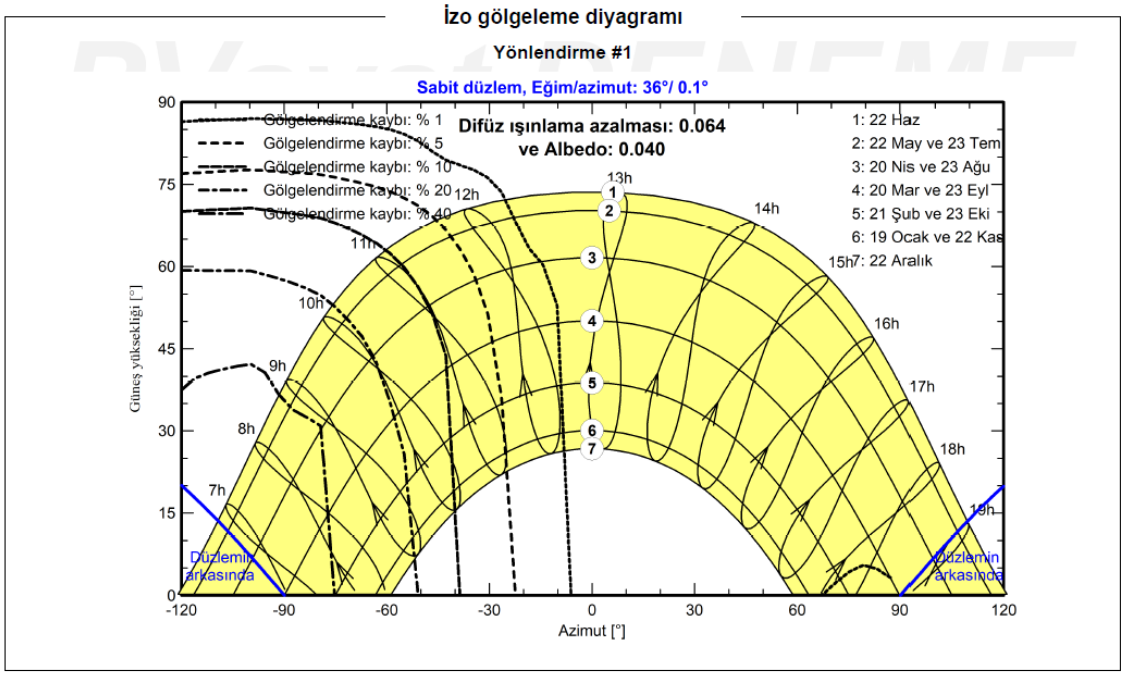
Resim 4.6 PVsyst ufuk tanımlaması ekranı

Resim 4.7’de PVsyst yakın gölgelemeler bölümünden yapılan ayarlar ve panel yerleşiminin yapıldığı ekran çıktısı yer almaktadır.



Resim 4.7 PVsyst yakın gölgelemeler ekranı

Fotovoltaik (PV) sistemlerin verimliliği, güneş panellerinin doğrudan güneş ışığına maruz kalma süresiyle yakından ilişkilidir. Gölgeleme, bu doğrudan ışık alımını engelleyerek panel verimliliğini önemli ölçüde düşürebilir. Gölgeleme, tek bir panelden kaynaklanabileceği gibi, birden fazla panel, ağaçlar, binalar veya diğer yapılar gibi çevresel faktörlerden de kaynaklanabilir. İzo gölgeleme grafiği, bu farklı gölgelendirme kaynaklarının panel üzerindeki etkilerini ayrı ayrı değerlendirmeye olanak tanır. İzo gölgeleme grafiği sayesinde, kullanıcılar sadece mevcut gölgelenme sorunlarını değil, aynı zamanda gün boyunca güneşin hareketine bağlı olarak değişen gölgelenme durumlarını da gözlemleyebilirler. Bu, özellikle sistemin farklı saatlerdeki enerji üretimini değerlendirirken ve sistem tasarımını daha verimli hale getirirken önemlidir. Grafik, sadece tek bir güne ait gölgelenme verilerini değil, aynı zamanda yıl boyunca farklı mevsimlerdeki gölgelenme verilerini de gösterebilir, böylece kullanıcılara daha kapsamlı bir analiz yapma imkânı sunar. Resim 4.8'de ise, tipik bir güneş paneli gölgelenme analizine dair bir örnek sunulmaktadır, bu da izo gölgeleme grafiğinin pratikte nasıl kullanıldığını gösterir. Bu analiz, tasarlanan sistemin verimliliğini artırmak ve enerji üretimini optimize etmek için önemli bir adımdır.



Resim 4.8 PVsyst izo gölgeleme diyagramı

Performans değerlendirme yöntemlerinden biri performans oranıdır (PR). Performans oranı, PV santralinin performansı olarak verilmektedir. Performans oranı aylara göre sistemin enerji çıktısının oranıdır (Yadav, Kumar, & Chandel, 2015). Resim 4.9'da performans oranı ve genel sonuçların yer aldığı enerji üretim analizi çıktısı yer almaktadır. Denklem 4.5'te, Üretilen Enerji Maliyeti denklemi yer almaktadır. Bu denklem, bir enerji üretim sisteminin tüm yaşam döngüsü boyunca ürettiği her bir birim enerji için maliyeti hesaplamak amacıyla kullanılır.

$$Üretilen\ Enerji\ Maliyeti = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{It} + \mathrm{Mt}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{Et}}{(1+r)^t}} \tag{4.6}$$

I_t = (t) yılı için yatırım ve harcamalar

M_t = (t) yılı için işletme ve bakım harcamaları

E_t = Yıl (t) için elektrik üretimi

r = Alternatif yatırımlarda kazanılabilecek iskonto oranı

n = Sistemin yaşam süresi

Genel sonuçlar

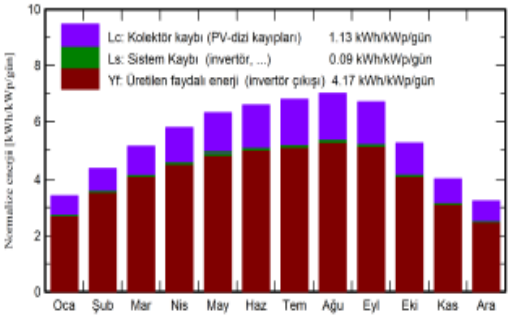
Sistem üretimi

Üretilen enerji	24279 kWh/yıl	Üretilebilir	1521 kWh/kWp/yıl
Tüketilen enerji	2920 kWh/yıl	Perf. oranı PR	77.35 %
		Güneş oranı (SF)	50.46 %

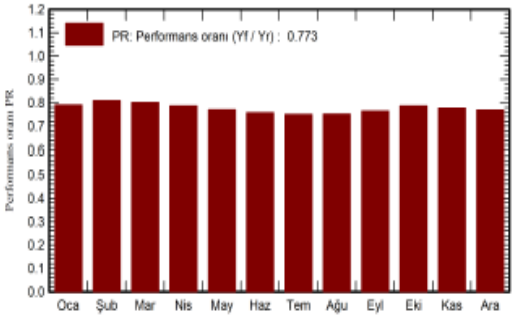
Ekonomik değerlendirme

Yatırım		Yıllık maliyet		LCOE	
Global	14.162.20 USD	Taksitler	0.00 USD/yıl	Enerji maliyeti	0.02 USD/kWh
Özel	0.89 USD/Wp	İşletme gider.	87.50 USD/yıl		
		Geri ödeme süresi	4.6 yıl		

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

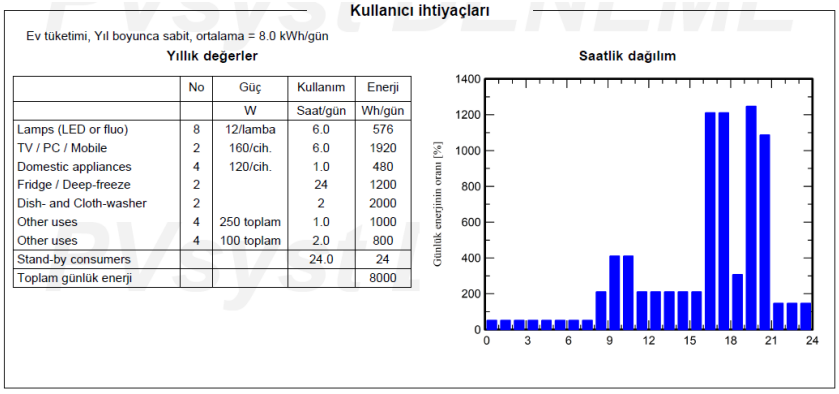
	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Ocak	63.2	26.36	0.06	106.2	88.7	1370	248.0	84.8	1256	163.2
Şubat	82.0	31.36	2.03	123.0	105.5	1620	224.0	97.8	1490	126.2
Mart	127.2	50.82	6.32	158.9	138.1	2076	248.0	137.6	1897	110.3
Nisan	161.8	69.54	10.97	173.5	148.6	2221	240.0	142.5	2035	97.5
Mayıs	204.4	74.88	15.91	195.6	167.8	2457	248.0	154.9	2253	93.1
Haziran	219.1	65.82	20.12	197.6	169.3	2437	240.0	153.9	2235	86.1
Temmuz	226.3	67.41	24.19	210.5	181.3	2572	248.0	159.1	2361	88.9
Ağustos	208.9	56.18	24.35	217.3	188.7	2659	248.0	150.6	2454	97.4
Eylül	165.3	41.58	18.92	200.9	175.5	2500	240.0	136.0	2315	104.0
Ekim	113.8	41.17	12.87	162.1	141.1	2080	248.0	108.2	1929	139.8
Kasım	73.8	30.56	6.53	120.6	100.8	1526	240.0	78.5	1417	161.5
Aralık	56.5	25.48	1.65	100.5	81.5	1262	248.0	69.3	1165	178.7
Yıl	1702.5	581.16	12.05	1966.8	1687.0	24781	2920.0	1473.3	22806	1446.7

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

Resim 4.9 PVsyst genel sonuçlar ve performans analizi

Resim 4.10'da PVsyst programında kullanıcının tasarlanan projede elektriksel ihtiyaçlarına ait tablo ve grafik yer almaktadır.



Kullanıcı ihtiyaçları

Ev tüketimi, Yıl boyunca sabit, ortalama = 8.0 kWh/gün

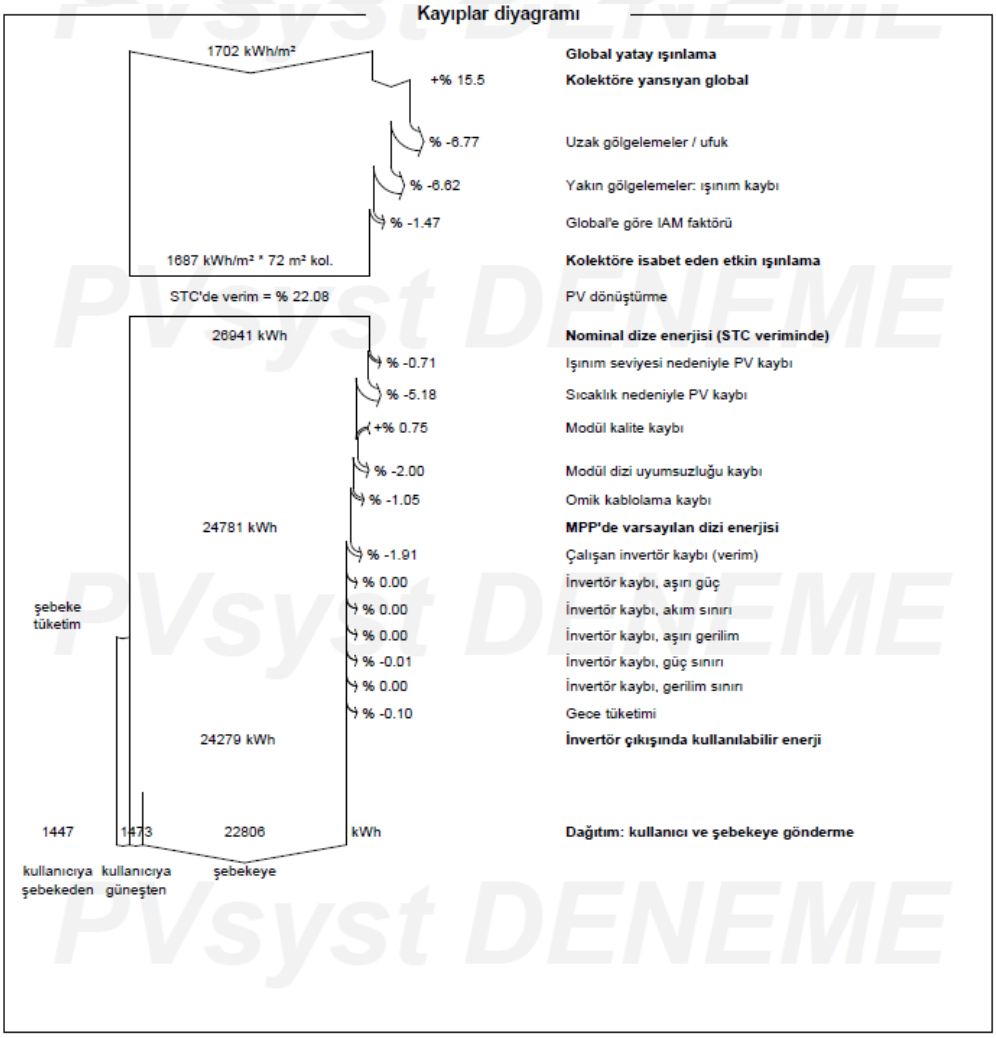
Yıllık değerler

	No	Güç	Kullanım	Enerji
		W	Saat/gün	Wh/gün
Lamps (LED or fluo)	8	12/lamba	6.0	576
TV / PC / Mobile	2	160/cih.	6.0	1920
Domestic appliances	4	120/cih.	1.0	480
Fridge / Deep-freeze	2		24	1200
Dish- and Cloth-washer	2		2	2000
Other uses	4	250 toplam	1.0	1000
Other uses	4	100 toplam	2.0	800
Stand-by consumers			24.0	24
Toplam günlük enerji				8000

Saatlik dağılım

Resim 4.10 PVsyst kullanıcı ihtiyaçları ekranı

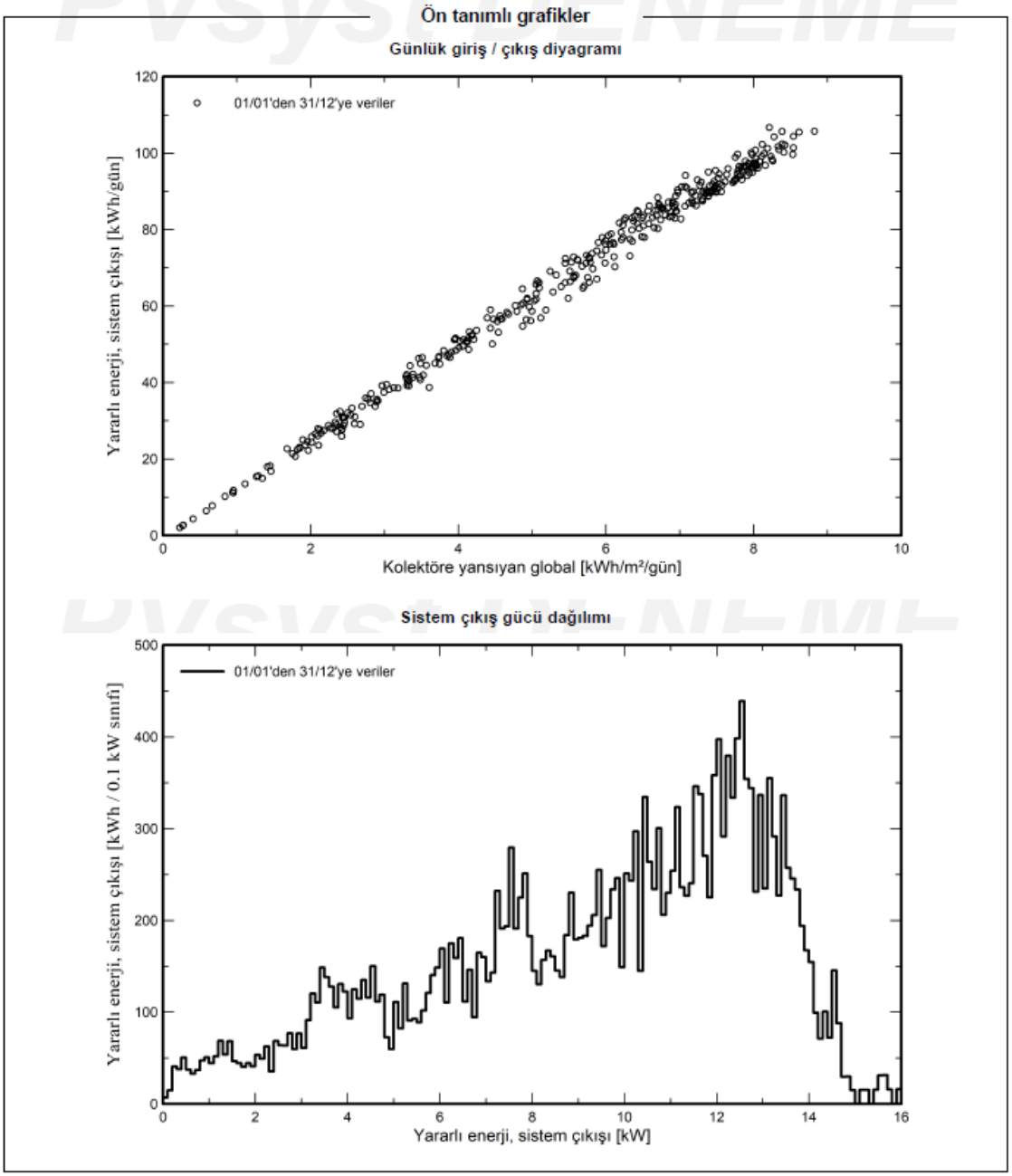
Resim 4.11'de görülen kayıplar grafiği yorumlandığında ilk kayıp bölümü optik kayıpları, ikinci kısım dizi kayıplarını, üçüncü kısım sistem kayıplarını göstermektedir.



Kayıplar diyagramı

Resim 4.11 PVsyst kayıplar grafiği ekranı

Resim 4.12'de yer alan ön tanımlı grafikler bölümü PV sisteminin performansını analiz etmek, verimlilik kaynaklarını belirlemek, sorunları teşhis etmek ve iyileştirmeler yapmak için önemli bir araçtır. Grafikler, veri trendlerini izlemek, sezonluk değişimleri görmek, günlük veya saatlik varyasyonları analiz etmek ve sistem performansının zaman içindeki değişimini değerlendirmek için kullanılır.



Resim 4.12 PVsyst ön tanımlı grafikler

Resim 4.13'de yer alan sistem maliyeti ekranında; sistemin kurulumu ve işletmesi için yapılan harcamaları detaylandırır. Maliyetler iki ana başlık altında toplanmıştır: kurulum maliyetleri ve işletme maliyetleri. Bu ekranda PV Modül, İnvertör, Kablolar ve Elektrik Donanımları, Mühendislik ve İdari Giderler, Kurulum ve Sevkiyat bilgilerinin detaylı maliyeti açıklanmıştır.

Sistem maliyeti

Kurulum maliyetleri

Öğe	Miktar birim	Maliyet USD	Toplam USD
PV modül			
CWT570 - 144TN10 - V	28	123.21	3.450.00
Panel sehpaları	28	1.79	50.00
İnvertör			
SUN2000-15KTL-M2-400V	1	2.550.00	2.550.00
Diğer parçalar			
Donatılar, bağlantılar, vidalar	112	0.14	16.00
GES Pano	1	800.00	800.00
AC Kablo	10	28.00	280.00
DC Kablo	25	2.00	50.00
Topraklama Kablosu	10	0.90	9.00
Etüt ve analizler			
Mühendislik Bedeli	1	300.00	300.00
Ruhsat ve diğer idari ücretler	1	400.00	400.00
Kurulum			
Genel Kurulum İşçiliği	1	350.00	350.00
Sevkiyat	1	20.00	20.00
Şebeke bağlantısı	1	75.00	75.00
Sigorta			
Sigorta Hizmetleri	1	100.00	100.00
Vergiler			
KDV	1	0.00	1.690.00
TÜFE	1	0.00	676.00
Gösterge Faiz Getirisi	1	0.00	929.50
Kurumlar Vergisi	1	0.00	1.859.00
USD Bazlı Enflasyon	1	0.00	84.50
Eurbond Getiri	1	0.00	473.20
		Toplam	14.162.20
		Amortismana tabi	6.066.00

İşletme maliyetleri

Öğe	Toplam USD/yıl
Bakım	
Bakım İşletme Gideri	60.00
Toplam (OPEX)	60.00
Enflasyon dahil (% 3.00)	87.50

Sistem özeti

Toplam kurulum maliyeti	14.162.20 USD
İşletme maliyetleri (enflas. dahil % 3.00/yıl)	87.50 USD/yıl
Kullanılan güneş enerjisi	1473 kWh/yıl
Şebekeye satılan enerji	22806 kWh/yıl
Üretilen enerji maliyeti (LCOE)	0.0247 USD/kWh

Resim 4.13 PVsyst sistem maliyeti ekranı

Resim 4.14’de yer alan finansal analiz ekranında; sistemin ekonomik performansı değerlendirilmiştir.

Finansal analiz

Simülasyon dönemi

Proje süresi	25 yıl	Başlangıç yılı	2025

Zaman içinde gelir değişimi

Enflasyon	3.00 %/yıl
Üretim varyasyonu (yaşlanma)	0.70 %/yıl
İskonto oranı	0.00 %/yıl

Gelire bağlı giderler

Gelir vergisi oranı	15.00 %/yıl
Diğer gelir vergisi	22.00 %/yıl
Temettü	0.00 %/yıl

Amortismana tabi

Varlık	Amortisman tipi	Amortisman süresi (yıl)	Hurda değeri (USD)	Amortismana tabi (USD)
PV modül				
CWT570 - 144TN10 - V	Normal	25	0.00	3.450.00
Panel sehpaları	Normal	25	0.00	50.00
İnvertör				
SUN2000-15KTL-M2-400V	Normal	25	0.00	2.550.00
Donatılar, bağlantılar, vidalar	Normal	20	0.00	16.00
		Toplam	0.00	6.066.00

Finansman

Öz kaynak	14.162.00 USD

Elektrik satışı

Şebekeye satış tarifesi	0.19000 USD/kWh
Tarife garantisi süresi	25 yıl
Yıllık bağlantı vergisi	0.00 USD/kWh
Yıllık tarife varyasyonu	0.0 %/yıl
Tarife garantisi süresi sonunda alım fiyatı düşüşü	0.00 %

Öz tüketim

Tüketim tarifesi	0.15120 USD/kWh
Tarife değişimi	+1.0 %/yıl

Yatırımın geri dönüşü

Geri ödeme süresi	4.6 yıl
Net bugünkü değer (NBD)	67.952.62 USD
İç kârlılık oranı (İKO)	21.78 %
Yatırımın geri dönüşü (ROI)	479.8 %

Resim 4.14 PVsyst finansal analiz ekranı

Denklem 4.7, bu analizin temelini oluşturan Net Bugünkü Kâr Değerinin nasıl hesaplandığını açıklar. Çizelge 4.1'de sunulan detaylı ekonomik sonuçlar ekranı, tasarlanan fotovoltaik sistemin ekonomik performansına dair kapsamlı bilgiler içerir. Bu ekran, sistemin yıllık gelirlerini, giderlerini, vergi yükümlülüklerini ve net kârını ayrıntılı olarak gösterir. Gelirler, üretilen elektriğin satışı veya öz tüketim yoluyla elde edilen tasarruflar olarak hesaplanır.

$$Birikmiş\ Kâr = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{Rt}{(1+i)^t} \tag{4.7}$$

R_t = Yıl (t) için net bakiye (gelir - gider)

İ = Alternatif yatırımlarda elde edilebilecek iskonto oranı

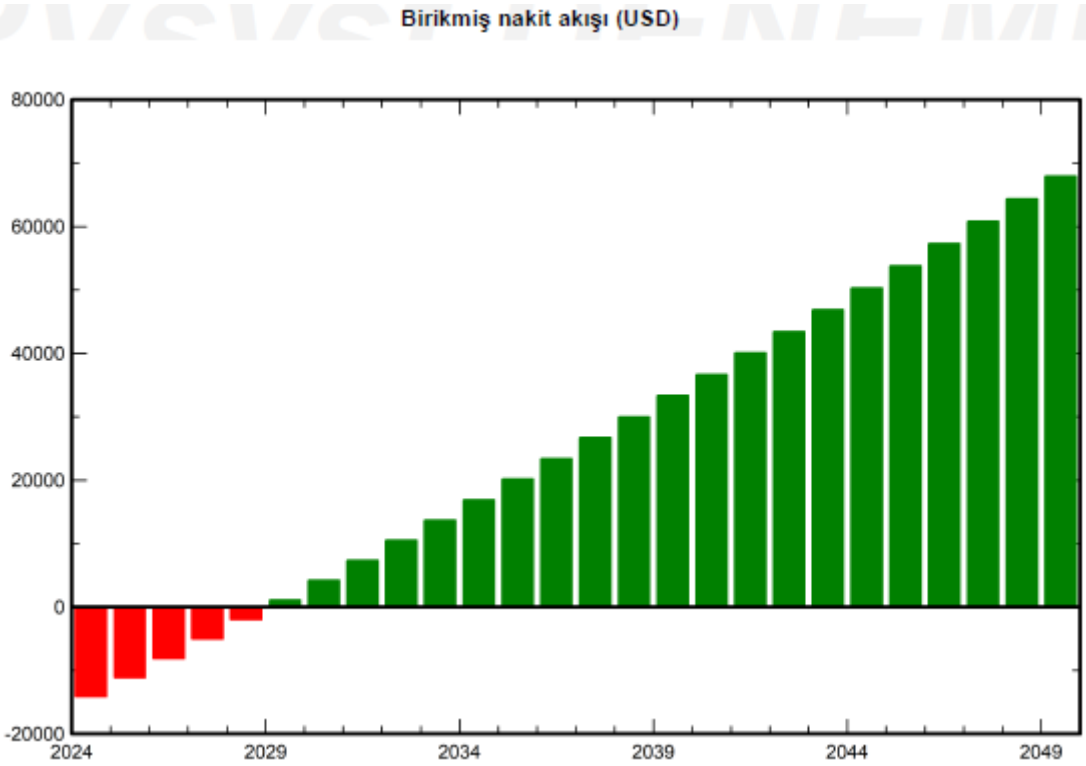
E_t = Yıl (t) için elektrik üretimi

n = Sistemin ömrü

Çizelge 4.1 PVsyst detaylı ekomonik ekranı

Yıl	Elektrik Satışı	Öz Kaynak	İşletme Gider	Amortis. Payı	Vergi tabi gelir	Vergiler	Net Kar	Öz Tüketim Tasarrufu	Birikmiş Kar	%
0	0	14.162	0	0	0	0	0	0	-14.162	%0.0
1	4.337	0	60	243	4.035	1.493	2.785	223	-11.155	%21.2
2	4.368	0	62	243	4.063	1.503	2.803	227	-8.125	%42.6
3	4.398	0	64	243	4.092	1.514	2.821	230	-5.074	%64.2
4	4.429	0	66	243	4.121	1.525	2.839	234	-2.001	%85.9
5	4.460	0	68	243	4.150	1.535	2.857	238	1.095	%107.7
6	4.491	0	70	243	4.179	1.546	2.876	242	4.213	%129.7
7	4.523	0	72	243	4.208	1.557	2.894	247	7.353	%151.9
8	4.555	0	74	243	4.238	1.568	2.913	251	10.517	%174.3
9	4.586	0	76	243	4.268	1.579	2.931	255	13.703	%196.8
10	4.619	0	78	243	4.297	1.590	2.950	259	16.913	%219.4
11	4.651	0	81	243	4.327	1.601	2.969	264	20.146	%242.3
12	4.683	0	83	243	4.358	1.612	2.988	268	23.402	%265.2
13	4.716	0	86	243	4.388	1.624	3.007	273	26.682	%288.4
14	4.749	0	88	243	4.418	1.635	3.026	278	29.986	%311.7
15	4.782	0	91	243	4.449	1.646	3.046	282	33.314	%335.2
16	4.816	0	93	243	4.480	1.657	3.065	287	36.666	%358.9
17	4.850	0	96	243	4.511	1.669	3.084	292	40.043	%382.7
18	4.884	0	99	243	4.542	1.680	3.104	297	43.444	%406.8
19	4.918	0	102	243	4.573	1.692	3.124	302	46.870	%430.9
20	4.952	0	105	243	4.604	1.704	3.143	307	50.320	%455.3
21	4.987	0	108	242	4.636	1.716	3.163	313	53.796	%479.9
22	5.022	0	112	242	4.668	1.727	3.183	318	57.297	%504.6
23	5.057	0	115	242	4.700	1.739	3.203	323	60.823	%529.5
24	5.092	0	118	242	4.732	1.751	3.223	329	64.375	%554.6
25	5.128	0	122	242	4.764	1.763	3.243	334	67.953	%579.8
Toplam	**118.054**	**14.162**	**2.188**	**6.066**	**109.800**	**40.626**	**75.240**	**6.874**	**67.953**	**%579.8**

Resim 4.15'de yer alan birikmiş nakit akışı ekranında; sistemin her yıl sonunda projenin toplam ekonomik durumunu özetler.



Resim 4.15 PVsyst birikmiş nakit akışı ekranı

4.2 Fizibilite Sonuçları

Bu bölümde, güneş enerjisi ile çalışan ev sistemi için yapılan fizibilite çalışmasının sonuçları sunulacaktır. Fizibilite raporunun temel çıktıları, enerji üretimi, maliyet analizi, sistemin ekonomik verimliliği ve finansal sürdürülebilirliği üzerinde odaklanmaktadır. Yapılan analizler, projenin uygulanabilirliğini ve uzun vadeli faydalarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Resim 4.16'da tasarlanan sistemin fizibilite raporuna göre öz kaynak geri dönüş süresi, toplam proje büyüklüğü, sistem kurulum için toplam maliyet gibi çeşitli bilgiler yer almaktadır.

Toplam Proje Büyüklüğü		015 kWp DC
Toplam Maliyet	$	14.250,00
Finansman yöntemi		Kurumsal Kredi
Borç Oranı		0%
Vade		1
Kredi Taksiti	$	-
Toplam İnşaat Dönemi Faiz Ödemesi	$	-

Tarihsel Girdiler		
İnşaat Başlangıc Tarihi	0	1.12.2024
İnşaat Süresi	Ay	1
Tesis Devreye Alma	Tarih	1.01.2025
Tesisin Ömrü	Yıl	25
Tesis Operasyon Bitiş	Tarih	1.01.2050
Ekonomik Girdiler		
TÜFE	Yıllık	8,00%
Amortisman	Sene	10
Kurumlar Vergisi Oranı	Yüzde	22%
KDV	Yüzde	20%
Gösterge Faiz Getirisi	Yıllık	11%
USD Bazlı Enflasyon	Yüzde	1%
Eurbond Getiri	Yüzde	6%
Elektrik Satış Fiyatı MWh	TRY	450
USDTRY	Kur	33
TRY Değer Kaybı		
3 Yıl	Yüzde	8%
5 Yıl	Yüzde	6%
Kalan Yıllar	Yüzde	6%
Bakım İşletme Gideri	$/kWp	$ 6,00

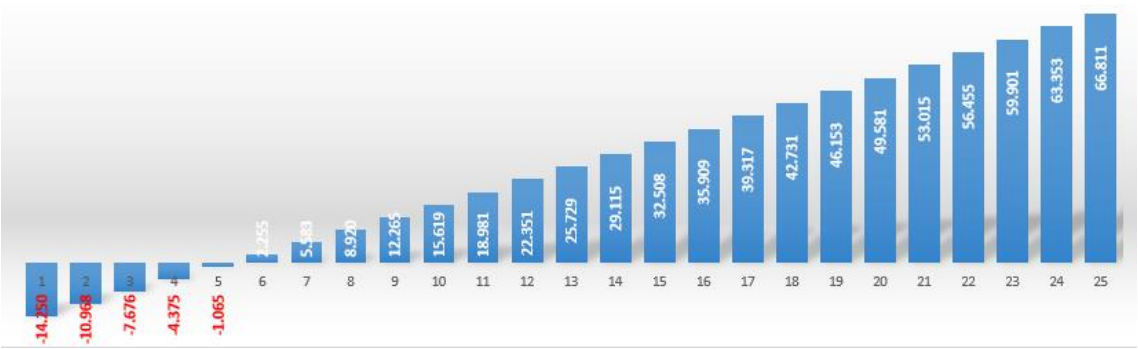
Özkaynak Geri Dönüş Süresi (Yıl)		4,68
Özkaynak-IRR		23,15%
NPV -SNA Özkaynak	$	30.499,91
NPV -Vergi kalkanı	$	133.684,14
Toplam NPV	$	164.184,05

Toplam Elektrik Üretimi		
Kurulu Güç	kWp/DC	15,000
Spesifik Üretim	kWh/kWp	1.600,00
PV sistemi yıllık üretim miktarı	**kWh/yıl**	**24.000,00**
PV modülü yıllık performans kaybı	%	0,70%

Sistem Kurulum Maliyeti ve Finansman			
Finansman Yöntemi			Kurumsal Kredi
Leasing Kiralama Süresi	(leasing var ise) / YIL		1
kWp başına maliyet	**USD**	**$**	**950,00**
Toplam Yatırım Tutarı	**USD**	**$**	**14.250,00**
Leasing Toplam Maliyet	(leasing var ise)		$ -
Borç (Finansman) Oranı			**0%**
Kredi	USD		$ -
Özkaynak tutarı	USD		$ 14.250,00
Faiz / finansman oranı			0%
Kredi Vadesi	Yıl		1
Ödeme Sıklığı	Dönem (Aylık)		12
Toplam Ödeme Sayısı	Sayı		12
Anapara Ödemesiz Zaman	Ay		3
İlk Kredi Çekim tarihi	Tarih		1.11.2024
Kredi Faiz Ödemesi Başlangıcı	Tarih		1.12.2024
Kredi Faiz Ödemesi Bitiş	Tarih		28.02.2026
Kredi Anapara Ödemesi Başlangıcı	Tarih		1.03.2025
Kredi Anapara Ödemesi Bitiş	Tarih		28.02.2026

Resim 4.16 Fizibilite rapor ekranı

Resim 4.17'de tasarlanan sistem için kullanıcının sahip olduğu öz kaynakların zaman içinde biriktirilmiş toplamını gösteren grafik yer almaktadır.



Resim 4.17 Fizibilite öz kaynak ekranı

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, Ankara ili Gölbaşı ilçesinde kurulması planlanan güneş enerjisiyle çalışan bir ev sisteminin performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, PVsyst programı kullanılarak tasarlanan sistemin yıllık verimliliği, enerji üretim kapasitesi ve ekonomik değerlendirme simüle edilmiştir. Ayrıca, fizibilite raporunda sunulan maliyet analizleri ile bu veriler karşılaştırılarak sistemin ekonomik ve teknik açıdan uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, sistemden elde edilen fazla elektriğin şebekeye satılarak gelir elde etme potansiyelini de kapsamaktadır.

Projenin gerçek saha koşullarına uygun bir değerlendirme yapılabilmesi için, tasarımda kullanılan panel sayısı, inverter sayısı, panel ve inverterlerin kapasitesi, kurulumun yerleşim şekli, panel eğimi, yönelimi, güneş ışığına maruz kalma süresi ve güneş ışığını alma saatlerindeki değişiklikler gibi faktörler, planlanan kurulum koşullarına göre belirlenmiş ve optimize edilmiştir. Bu tasarım, Gölbaşı ilçesindeki iklim koşullarına ve yerel güneş ışınımı verilerine dayanarak en verimli enerji üretimi sağlamak amacıyla yapılmıştır.

Tasarlanan güneş enerjili ev sisteminde; 570 W_p 28 adet güneş paneli PVsyst programına tanımlanmıştır. Panel yerleşimi yapıldığında, bu sistemin kapladığı alan 72 m^2 olmaktadır. PVsyst programına girilen bir diğer sistem elemanı olan inverter 1 adet 15kW güç değerindedir.

Panel yerleşimi yakın gölgelemeler bölümünde eğim açısı 36° ve güney yönünde tasarlanmıştır. Analizin doğru sonuçlar verebilmesi için Meteonorm 8.1 uygulamasındaki veriler incelenerek PVsyst programına tanıtılmış ve panel yerleşimi yapılmıştır.

Güneş enerjili ev sistemi, 15 kW'lık bir planlanan güç için tasarlanmıştır. Planlanan bu tasarım PVsyst uygulamasına girilmiş ve sistem 28 panel için toplam gücün 15.96 kW'lık toplam nominal güce sahip olacağı analiz edilmiştir.

PVsyst uygulamasına tanımlanan veriler neticesinde güneş enerjili ev sisteminden üretilen yıllık enerjinin 24279 kWh olacağı simüle edilmiştir. Gerçek saha koşullarına uygun şekilde hazırlanan fizibilite raporunda ise güneş enerjili ev sistemin yıllık üretim miktarı 24000 kWh olacak şekilde gözlemlenmiştir. Bu veriler karşılaştırıldığı zaman PVsyst programından alınan yıllık üretilen enerji değerinin, gerçek saha koşullarına uygun fizibilite raporuna göre sapma oranı yaklaşık %1.16 olarak hesaplanmıştır. PVsyst programı yıllık üretilen elektrik enerjisinin, gerçek saha koşullarına göre hazırlanan fizibiliteye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sapma oranı kabul edilebilir bir doğruluk değeri olarak değerlendirilmektedir.

PVsyst programında kullanıcı ihtiyacı belirlenmiştir. Bu ihtiyaçlar, yıllık ortalama tüketim verileri göz önünde tutularak, günlük olarak 8 kWh olarak tanımlanmıştır. Bu ihtiyaçlarda, PVsyst programının kullanıcıya veri girişi için izin verdiği 7 kalem, lamba, televizyon, buzdolabı, ev aletleri, bulaşık-çamaşır makinesi ve diğer kullanımlar olarak tanımlanan, her evde ihtiyaca binaen kullanılan ev eşyalarının güç değerleri ve kullanım saatleri programa işlenmiştir.

PVsyst programında tasarlanan sistemin performans kaybı çeşitli etkenlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Elde edilen verilere göre, kolektöre yansıyan global kayıp değeri %15.5 olarak hesaplanmıştır. Güneş ışığının bir kısmı, panel yüzeyinden yansır ve bu da enerji kaybına neden olur. Bu kayıp literatürde, kolektöre yansıyan global kayıp olarak geçmektedir. Uzak Gölgeleme / Ufuk kaybı %6.77'lik, Yakın Gölgeleme %6.62'lik, IAM Faktörü %1.47'lik, Sıcaklık Kaybı %5.18'lik, Modül Kalite Kaybı %0.75'lik, Modül Dizisi Uyumsuzluğu %2.00'lık, Omik Kablolama Kaybı %1.05'lik, İnvertör Kaybı %1.91'lik, Gece Tüketimi %0.10'luk olmak üzere kayıplar hesaplanmıştır. Toplam kayıplar, sistemin nominal potansiyel üretiminden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu kayıpların analizi, sistemin verimliliğini artırmak için gerekli iyileştirmeleri belirlemek açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek performans oranı ve güneş oranı, sistemin genel verimliliğinin iyi olduğunu gösterirken, kayıpların detaylı analizi, gelecekteki sistem tasarımlarında dikkate alınması gereken önemli faktörler sunmaktadır.

Tasarlanan güneş enerjili ev sistemi için maliyet hesabı hem PVsyst programında hem de fizibilite raporunda hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çalışmalarda iki uygulamaya da PV modül, inverter, diğer parçalar, etüt ve analiz, kurulum, sigorta, vergiler ve işletme kalemleri girilmiştir. Bu girilen kalemlere göre PVsyst uygulamasında toplam yatırım tutarı 14.162$ olmasına karşın, gerçek saha koşullarına uygun şekilde hazırlanan fizibilite raporunda bu tutar 14.250$ olarak hesaplanmıştır. PVsyst programı ile fizibilite raporu arasındaki toplam yatırım tutarı sapma oranı %0.62 olarak ortaya çıkmıştır. Bu oran neredeyse eşit sayılabilecek ve kabul edilebilecek bir sapma oranıdır.

Hem PVsyst uygulamasında hem de fizibilite raporunda detaylı ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi için her iki uygulamada elektrik satış oranı, işletme giderleri, vergiler, net kar, öz tüketimden tasarruf gibi bulgulara yer verilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde PVsyst programında sistemin ömrü olan 25 yıl sonucunda toplam birikmiş kâr 67.953$ iken, fizibilite raporunda 66.811$ olarak hesaplanmıştır. İki uygulama arasındaki birikmiş kâr oranı yaklaşık %1.71 olarak hesaplanmıştır. PVsyst uygulamasındaki birikmiş kâr oranı, fizibilite raporundaki birikmiş kâr oranına göre yüksek olmasına karşın, sapma oranı kabul edilebilir düzeydedir. 25 yıllık veriler göz önünde bulundurulduğu zaman, her yıl için iki program arasındaki birikmiş kâr oranındaki sapma kabul edilebilir düzeydedir.

Tasarlanan ev sistemi, ekonomik verilere göre maliyet olarak kendisini amorti etmesi gerekmektedir. Tanımlanan ekonomik veriler neticesinde, PVsyst programına göre tasarlanan sistem kendisini 4.6 yılda amorti etmektedir. Aynı şartlar altında, gerçek koşullarına uygun şekilde hazırlanan fizibilite raporunda ise bu değer 4.68 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar neticesinde, sistemin kendisini amorti edip kullanıcıya kâr elde ettirebileceği yıl süresi aynı çıkmıştır. Bu kâr hesabı, üretilen fazla elektriğin şebekeye satılmasıyla elde edilecek geliri de içermektedir.

PVsyst programı tarafından elde edilen sonuçlar neticesinde üretilen enerji yıllık 24279 kWh ve tüketilen enerji yıllık 2920 kWh olduğu gözlemlenmiştir. Bu veriler, sistemin yıllık enerji üretiminin, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak için gereken enerjiden çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca, PVsyst programı, üretilebilir enerji miktarı

1521 kWh/kW$_p$/yıl olarak hesaplamış olup bu değer sistemin nominal gücüne göre hesaplanan potansiyel enerji üretimini ifade eder.

PVsyst uygulamasından elde edilen verilere göre sistemin gerçek enerji üretiminin, teorik maksimum üretime oranını yani performans oranı %77,35 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sistemin verimliliği hakkında önemli bilgiler sunarken, yüksek bir performans oranı, sistemin iyi çalıştığını ve enerji kayıplarının düşük olduğunu gösterir. Sistemin ürettiği enerjinin, toplam enerji ihtiyacına oranını ifade edilen güneş oranı ise PVsyst programında %50,46 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sistemin kendi tüketimini karşılamak için yeterli enerji ürettiğini, ancak şebekeye de önemli miktarda enerji gönderdiğini gösterir. Şebekeye gönderilen bu fazla enerji, elektrik satışı yoluyla ek gelir elde etme imkânı sunmaktadır.

Bilindiği üzere güneş enerji sistemi CO_2 (karbondioksit) salınımının önüne geçmektedir. PVsyst programından alınan sonuçlara göre CO_2 emisyon bilançosu hesaplanmıştır. PVsyst programına göre, sistemin kurulumu ve işletimi sırasında doğrudan ortaya çıkan emisyon 28.57 tCO_2, güneş enerjisi sisteminin, geleneksel fosil yakıt kaynaklarına göre sağladığı enerji ile önlediği emisyonu ise 297.1 tCO_2 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi sisteminin CO_2 emisyon bilançosu, hem üretilen hem de önlenen emisyonları dikkate alarak çevresel etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu tür sistemler, sürdürülebilir enerji çözümleri olarak, fosil yakıtların yerine geçerek önemli ölçüde emisyon azaltımı sağlar. Bu bilgiler, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele açısından kritik öneme sahiptir.

PVsyst'te elde edilen raporlar, fizibilite raporlarıyla büyük oranda örtüşmekte ve bu durum, sistemin ekonomik ve çevresel etkilerini artırmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi projelerinde PVsyst'in kullanımı, güvenilir ve geçerli sonuçlar elde edilmesi açısından önem taşımaktadır.

Çalışma sonucunda, PVsyst programında tasarlanan güneş enerjili ev sisteminin performansının, gerçek dünya koşullarına yakın bir şekilde analiz ve tahmin etme yeteneğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Panel sayısı, inverter sayısı, panel ve inverter

kapasiteleri, kurulumun yerleşim şekli, panel eğimi ve yönelimi gibi tasarım parametrelerinin enerji üretimine etkileri belirlenmiştir. Sistem performansının analizi, enerji üretimini optimize etmek için tasarım ve konfigürasyon değişikliklerinin yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Ayrıca, PVsyst programında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, panel eğimi ve yöneliminin enerji üretimi üzerindeki önemli etkisini gözler önüne sermektedir. Optimal panel eğimi ve yönelimi seçimi, güneş ışığının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır ve bu durum, enerji üretimini artırmaktadır. Güneş enerjili ev sisteminin performansı, kullanılan panel ve inverterlerin kalitesiyle de doğrudan ilişkilidir; yüksek kaliteli bileşenlerin seçilmesi, enerji verimliliğini ve sistemin güvenilirliğini artırmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, güneş enerjili ev sistemi projelerinin planlama ve tasarım aşamalarında karar vericilere, mühendislere ve uzmanlarına önemli bir katkı sağlamaktadır. PVsyst programının gerçek saha koşullarına uygun şekilde hazırlanan fizibilite raporları ile karşılaştırılması, programın gerçekçi sonuçlar elde etme kapasitesini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, PVsyst simülasyonu ve analizi, güneş enerjisi santrali projelerinin planlama aşamasında kullanılabilecek önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

Abbasoğlu, S., & Babatunde, A. A., 2015, Evaluation Of Field Data and Simulation Results of a Photovoltaic System in Countries with High Solar Radiation. *Turkish Journal Of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 1608-1618.

Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R., 2020, PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 248-261.

Aksangör, N. N., Martin, K., & Boran, K., 2019, PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara'da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans Analizi. *SETSCI Conference Proceedings*, 217-220.

Altınkök, S., 2021, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İhtiyaçlarına Uygun Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*.

Askari, M. B., Abadi, V. M., & Mirhabibi, M., 2015, Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 94-113.

Asumadu-Sarkodie, S., & Owusu, P. A., 2016, A Review of Renewable Energy Sources, Sustainability Issues and Climate Change Mitigation. *Cogent Engineering*.

Bahgat, A., Helwa, N., Ahamd, G., & Shenawy, E., 2004, Estimation of The Maximum Power and Normal Operating Power of a Photovoltaic Module by Neural Networks. *Renewable Energy*, 443-457.

Bana, S., & Saini, R., 2017, Identification of Unknown Parameters of a Single Diode Photovoltaic Model Using Particle Swarm Optimization with Binary Constraints. *Renewable Energy*, 1299-1310.

Bayar, U., & Atılgan, A. İ., 2015, Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi için Uygulama Örneği. *Mühendis ve Makina*, 41-52.

Bayrakçı, H. C., & Gezer, T., 2019, Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 46-54.

Bobrowsky, M., 2021, SCIENCE 101: Q: What Is Energy? *Science and Children*, 61–65.

Carrasco, M., & Hunfeld, R., 2010, PV*SOL 5.0 Standalone. Simulation of a Standalone AC System. Germany.

Cebeci, S., 2017, Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *T.C. Kalkınma Bakanlığı*.

Commission, E., & Centre, J. R., 2017, Practical Handbook for Regional Authorities. *Publications Office*.

CW Enerji., 2024, Topcon Monokristal 144TN10. CW Enerji.

Demiryürek, H. K., 2018, 200KWP Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst ile Tasarımı ve Üretim Değerleri ile Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması.

Demiryürek, H. K., Arifoğlu, U., & Bolat, M., 2020, Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi. *Araştırma Makalesi.*

Dinçer, F., 2021, Lifetime and Performance Alteration of Photovoltaic Panels, the Case of Aerzen, Germany. *DÜMF MD*, 591-594.

Doğanay, M. M., 2021, Mardin Bölgesi Güneş (Fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi . *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 86-117.

Donuk, K., 2014, Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemlerde Üretilen Enerjinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini.

Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F., 2014, Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects and Their Enabling Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 748-764.

Elsevier., 2013, Earth Systems and Environmental Sciences.

Gabler, H., 1998, Autonomous Power Supply with Photovoltaics: Photovoltaics for Rural Electrification - Reality and Vision. *Renewable Energy*, 512-518.

Gencoglu, & Cebeci., 2000, The Place and Importance of Solar Energy Among Turkey's Energy Resources. *8th Energy Congress of Turkey*, 63-73 .

Gençoğlu, M., 2005, Solar Water Pumping Systems. *3e Electrotech*, 94-97.

Gilman, P., Blair, N., Mehos, M., Christensen, C., Janzou, S., & Cameron, C., 2008, Solar Advisor Model User Guide for Version 2.0. *Solar Advisor Model User Guide for Version 2.0*.

Guzman, L., Henao, A., & Vasquez, R., 2014, Simulation and Optimization of a Parabolic Trough Solar Power Plant in the City of Barranquilla by Using System Advisor Model (SAM),. *Energy Procedia*, 497-506.

Haas, R., 1995, The Value of Photovoltaic Electricity for Society. *Solar Energy*, 25-31.

Haydaroğlu, C., & Gümüş, B., 2016, Güneş Enerjisi Santralinin Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi *Mühendislik Dergisi*, 491-500.

İbiş, M., 2023, Cumhuriyetin 100. Yılında Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi ve Verilen Teşvikler. İstanbul Gedik Üniversitesi.

İnce, İ. T., 2021, Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimine Örnek Uygulamalar. *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 1-10.

Karki, P., 2012, Comparative Study of Grid-Tied Photovolatik(PV) System in Kathmandu and Berlin Using PVsyst. *Sustainable Energy Technologies (ICSET,*

Kassam, A., 2010, May 13, HOMER Software Training Guide for Renewable Energy Base Station Design. *Green Power for Mobile*.

Koçer, A., Şevik, S., & Güngör, A., 2016, Ankara Ve İlçeleri İçin Güneş Kolektörü Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi . *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 63-78.

Kumar, R., Rajoria, C., Sharma, A., & Suhag, S., 2020, Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. *Materials Today: Proceedings*.

Kutluca, M., 2020, Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı Ve Analizi.

Layarda, B., Yandri, & Hiendro, A., 2024, Solar Power Plant Planning for Household Scale by The Aid PVsyst Program. *Telecommunications, Computers, and Electricals Engineering Journal*, 306-318.

Ledmaoui, Y., Maghraoui, A. e., & Chebak, A., 2023, Solar Charging Station for Electric Vehicles with IoT Solution for Monitoring Energy Production. *International Conference on Smart Applications and Data Analysis*, 63-77.

Leppert, R., & Kennedy, B., 2022, October 14, Pew Research Center. *Home solar panel adoption continues to rise in the U.S.*

Mohammadi, S. A., & Gezegin, C., 2022, Design and Simulation of Grid-Connected Solar PV System Using PVSYST, PVGIS and HOMER Software. *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*.

Nedimoğlu, E., & Gümüş, B., 2019, Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin

Harmoniklerine Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 919-931.

Ouria, M., & Almeida, A., 2021, How to Decarbonize Developing Cities by 2050: A case from Tabriz-Iran. *Renewable Energy*, 620-638.

Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S., 2016, A Review of Renewable Energy Sources, Sustainability Issues and Climate Change Mitigation. *Cogent Engineering*.

Özcan, H., 2009, Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*.

Özgür, E., 2020, Türkiye'de Güneş Enerjisi. *Türkiye'nin Enerji Görünümü*, 297-315.

Öztürk, P. D., 2008, *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları.* Birsen Yayınevi.

Patel, M., 1999, *Wind and Solar Power Systems.* CRC-Press.

Planck, M., 1927, Treatise on Thermodynamics. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 408-408.

Psomopoulos, C. I., 2015, A Comparative Evaluation of Photovoltaic Electricity Production Assessment Software . *Environmental Processes*, 175–189.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century., 2014, *Renewables 2014 Global Status Report*. Renewable Energy.

Rüstemli, S., & Tekev, S., 2021, Güç Sistemindeki Harmoniklerin Bilgisayar Destekli Modellenmesi. *DÜMF MD*, 711-718.

Sharma, R., & Gidwani, L., 2017, RTU Kota Kampüs Hostelleri İçin Pvsol Premium Simülasyon Aracını Kullanarak Şebekeye Bağlı Güneş Pv Sistemi Tasarımı ve Hesaplaması. *Uluslararası Devre, Güç ve Hesaplama Teknolojileri Konferansı*.

Solar Huawei., 2019, 05 12, Smart PV Controller. Solar Huawei.

Sørensen, B., Breeze, P., Storvick, T., Yang, S., da, A. V., & Gupta, H. K., 2019, Renewable Energy Focus Handbook. *Oxford: Academic Press*, 519.

Şahin, Z. R., Dinçer, F., & Yılmaz, A. S., 2022, 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Enerjisi İhtiyacı için Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı ve Simülasyonu. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 46-56.

Şenpınar, A., 2005, Doktora Tezi. *Fırat Üniversitesi*.

Tolgay, D., Yakut, M. S., Özden, T., & Akınoğlu, B., 2023, Assessment of photovoltaic module temperature estimation for four years with four different software.

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 32-46.

Tsujino, N., T.Ishida, Takeoka, A., Makino, Y., Sakoguchi, E., Ohsumi, M., . . . Kuwano, Y., 1994, Residential Photovoltaic Power Generating System Connected to Utility Line. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 497-502.

Vallvé, & Serrasolses., 1997, Design and Operation of a 50 Kwp PV Rural Electrification Project for Remote Sites in Spain. *Solar Energy*, 111-119.

Wang, C., Guo, S., Pei, H., He, Y., Liu, D., & Li, M., 2023, Rolling Optimization Based on Holism for the Operation Strategy of Solar Tower Power Plant. *Applied Energy*, 331.

Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. S., 2015, Simulation and Performance Analysis of a 1kwp Photovoltaic System Using Pvsyst. *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication* , 358-363.

Yalılı, M., 2021, Lisanslı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Yatırımının Finansal Analizi: Van İli Örneği.

Yilmaz, S., & Dincer, F., 2017, Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 344-352.

Yolcan, O. O., & Köse, R., 2020, Türkiye' Nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 196-215.

Zeller-Silva, G., 2007, Zu schnell zu groß. *Die Zeit*.