T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST İLE SİMÜLASYONU VE PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatma YİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran - 2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma YİĞİT tarafından hazırlanan "**Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması 22 / 06 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA	……..
Danışman Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN	……..
Üye Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ	……..

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …./…/20.. gün ve …….. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül Kumcu
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza
Fatma YİĞİT
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Fatma YİĞİT

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2023, 63 Sayfa

Jüri
Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN
Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ

Bu çalışma, "Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi" başlığı altında gerçekleştirilmiştir. Tez, güneş enerjisi santrallerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kullanılan PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Öncelikle, çalışmada kullanılan 1 MW güneş enerji santrali ve bileşenleri detaylı olarak tanıtılmıştır. PVsyst simülasyon yazılımıyla, santralin günlük ve yıllık enerji üretim potansiyeli belirlenmiş ve simülasyon sonuçları dikkate alınarak sistemin performansı değerlendirilmiştir.

Çalışmada ayrıca, güneş paneli eğim açısı, yönü ve sistem konfigürasyonunun performansa etkisi araştırılmıştır. Farklı parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve en iyi performansı sağlamak için öneriler sunulmuştur. Performans parametreleri arasında güç üretimi, verimlilik, enerji kaybı ve karbon salınımı gibi faktörler bulunmaktadır. Bu parametreler, PVsyst simülasyonu ve saha ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Böylece, sistemin gerçek performansı ve simülasyon sonuçları arasındaki farklar analiz edilerek geliştirmeler önerilmiştir.

Sonuç olarak, bu tez güneş enerji santrallerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için PVsyst simülasyon yazılımının kullanımının önemini vurgulamaktadır. Çalışma, güneş enerjisi sektöründe enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek için önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Performans Değerlendirmesi, PVsyst Simülasyonu, Şebekeye Bağlı Sistem, 1 MW Güç Santrali

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

Simulation of Grid Connected 1 MW Solar Power Plant with PVsyst and Evaluation of Performance Parameters

Fatma YİĞİT

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGİNEERING

Advisor: Assistant Professor Dr. Ali Osman ÖZKAN

2023, 63 Pages

Jury
Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN
Assoc. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Assist. Prof. Dr. Mustafa Sacid ENDİZ

This study, titled "Simulation and Performance Evaluation of a 1 MW Grid-Connected Solar Power Plant Using PVsyst," aims to investigate the use of PVsyst simulation software to assess and optimize the performance of solar energy plants. Firstly, the 1 MW solar power plant and its components used in this study are introduced in detail. With the PVsyst simulation software, the daily and annual energy production potential of the plant is determined, and the performance of the system is evaluated based on the simulation results.

The study also explores the impact of solar panel tilt angle, orientation, and system configuration on performance. The results obtained by varying different parameters are analyzed, and recommendations are provided to achieve optimal performance. Performance parameters include power generation, efficiency, energy loss, and carbon emissions, among others. These parameters are evaluated through PVsyst simulations and field measurements. Thus, by analyzing the discrepancies between the actual performance of the system and simulation results, improvements are suggested. In conclusion, this thesis highlights the significance of using PVsyst simulation software to assess and optimize the performance of solar energy plants. It makes a valuable contribution to the solar energy sector by enhancing energy efficiency and promoting the utilization of sustainable energy sources.

Keywords: Grid-Connected System, Performance Evaluation, PVsyst Simulation, Solar Energy, 1 MW Power Plant

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimde desteklerini benden esirgemeyen, sürecin tamamında yanımda olan sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman Özkan' a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Lisans eğitimimden itibaren yoluma ışık olan sayın hocam Doç. Dr. Seyfettin Sinan Gültekin' e teşekkür ediyorum. Eğitim hayatım boyunca bana katkısı olan bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum. Tez çalışmam boyunca tecrübeleriyle yanımda olan Dr. Fatih Mehmet Dumanoğulları' na ve tezimde karşılaştırma yapmam için kurulu santral bilgilerini benimle paylaşan GETA Enerji Şirketi' ne teşekkürlerimi sunuyorum.

Her zaman yanımda olan canım aileme teşekkür ediyorum. Son olarak yaşadığım her zorlukta yanımda olan varlığıyla güç veren nişanlım Yağız Kaynak' a teşekkür ederim.

Fatma YİĞİT
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Literatür Taraması 1
1.2. Çalışmanın Amacı 6

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **7**

2.1. Güneş Enerjisi 7
2.1.1. Güneş açıları 8
2.1.2. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi 9
2.2. Türkiye Güneş Enerjisi Durumu 9
2.3. PV Sistem Elemanları 10
2.3.1. Güneş panelleri 11
2.3.2. İnverter 13
2.3.3. Panel taşıyıcı sistemler 14
2.3.4. Kablolar 14
2.3.5. AC-DC toplama panoları 15
2.4. Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar 15
2.4.1. Sıcaklık kayıpları 15
2.4.2. Gölgelenme kayıpları 15
2.4.3. Kirlenme 16
2.4.4. İnverter kayıpları 16
2.4.5. Yansıma kayıpları 17
2.4.6. Elektriksel kayıplar 17
2.5. Fotovoltaik Güneş Sistemleri 17
2.5.1. Şebekeye bağlı sistemler 17
2.5.2. Şebekeden bağımsız sistemler 18
2.5.3. Tarımsal sulama sistemleri 19

3. MATERYAL VE YÖNTEM **20**

3.1. PVsyst Programı ile Sistem Tasarımı 20
3.1.1. Ön tasarım bölümü 21
3.1.2. Proje tasarımı bölümü 22
3.2. Saha Verileri ve Kullanılan Ekipmanlar 36

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **46**

4.1. PVGIS Programı Verileri 56

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 58

6. KAYNAKÇA 61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde
° : Derece

Kısaltmalar

AC : Alternatif Akım
DC : Doğru Akım
GES : Güneş Enerji Santrali
kg : Kilogram
kW : KiloWatt
kWe : Elektriksel Güç
m^2 : Metre Kare
mm : Milimetre
mm^2 : Milimetre Kare
MW: MegaWatt
MWh : MegaWatt Saat
PV : Fotovoltaik
W : Watt
Wp : Watt Peak
YG : Yüksek Gerilim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Güneş açıları 8
Şekil 2.2 Türkiye'nin yıllık ışınım haritası (Enerji & Bakanlığı, 2017) 9
Şekil 2.3 Türkiye güneşlenme süreleri (saat) 10
Şekil 2.4 PV hücrenin yapısı (Öztürk, 2008) 11
Şekil 2.5 PV hücrenin çalışma prensibi (Öztürk, 2008) 12
Şekil 2.6 Şebekeye bağlı sistem (Akcan, Kuncan, & Minaz, 2020) 18
Şekil 2.7 Güneş enerjisinin sulamada kullanımı 19
Şekil 3.1 PVsyst programı genel çalışma şeması (Vidur & Jagwani, 2022) 21
Şekil 3.2 PVsyst programı ön tasarım sayfası 21
Şekil 3.3 Proje tasarım bölümü 22
Şekil 3.4 Proje verileri giriş sayfası 23
Şekil 3.5 Kurulum yeri seçimi 24
Şekil 3.6 Eğim ve azimut açısı belirlemesi 25
Şekil 3.7 Sistem bölümü 26
Şekil 3.8 Güneş panellerine ait detaylı verilerin yer aldığı PVsyst ekranı 26
Şekil 3.9 İnvertere ait detaylı PVsyst ekranı 27
Şekil 3.10 Kayıplar penceresi görünümü 28
Şekil 3.11 Ufuk çizgisi sayfası görünümü ve değerleri 29
Şekil 3.12 Yakın gölgelemeler PVsyst ekranı 30
Şekil 3.13 Güneş enerji santrali gölgelendirme analizi 30
Şekil 3.14 Güneş enerji santrali vaziyet planı 31
Şekil 3.15 Güneş panelleri modül dizilim ekranı 32
Şekil 3.16 Enerji yönetimi sayfası 33
Şekil 3.17 PVsyst ekonomik değerlendirme ekranı 34
Şekil 3.18 Veri tabanı sayfası 35
Şekil 3.19 Araçlar sayfası 36
Şekil 3.20 Kentsite vaziyet planı 38
Şekil 3.21 Arazi görünümü 38
Şekil 3.22 Yükseklik profili 39
Şekil 3.23 Genel görünüm 39
Şekil 3.24 Üstten görünüm 39
Şekil 3.25 Santralin kurulu olduğu zemin ve çevre yolları 40
Şekil 3.26 Taşıyıcı sistem topraklama bağlantıları 41
Şekil 3.27 Evirici topraklama bağlantısı 41
Şekil 3.28 PV modül teknik detayı 42
Şekil 3.29 Taşıyıcı sistem kurulum detayları -1 42
Şekil 3.30 Taşıyıcı sistem kurulum detayları- 2 43
Şekil 3.31 Aşırı ısınmaya bağlı oluşan PV modül hasarları 43
Şekil 3.32 Evirici kurulum detayı 44
Şekil 3.33 Evirici montaj detayı 44
Şekil 3.34 Voltmerk evirici izleme sistemi 45
Şekil 4.1 Tek hat şeması 46
Şekil 4.2 Proje özeti çıktısı 47
Şekil 4.3 Şebekeye bağlı sistem için genel parametreler 48
Şekil 4.4 Dizi kayıpları 49
Şekil 4.5 Dizi kayıpları ve sistem kayıpları 49
Şekil 4.6 Ufuk tanımlaması 50

Şekil 4.7 Yakın gölgelemeler için ayarlar 51
Şekil 4.8 İzo gölgeleme diyagramı 52
Şekil 4.9 Genel sonuçlar ve performans analizi çıktısı 53
Şekil 4.10 Kayıplar grafiği 54
Şekil 4.11 Ön tanımlı grafikler 55
Şekil 4.12: PVGIS parametrelerin giriş ekranı 56
Şekil 4.13: PVGIS programı PV output bölümü ekran çıktısı 57
Şekil 4.14: Sabit düzlem için aylık ışınım grafiği 57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 İllere göre yıllık güneş alma değerleri (Solar)..... 7
Çizelge 2.2 İllere göre yıllık güneş alma değerleri (Solar) (devamı) 8
Çizelge 3.1 Güneş paneli teknik özellikleri..... 37
Çizelge 3.2 İnverter teknik özellikleri 37

1. GİRİŞ

Enerji, modern çağın en temel ihtiyacı haline gelen ve gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç duyulan bir gereksinim haline gelmiştir. Mevcut durumda kullanılan enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Enerjiye duyulan ihtiyaç artarken fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Fosil yakıtların kullanım sırasında çevreye verdiği zarar ve hızlı tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmıştır. Güneş enerjisi bol ve temiz olması açısından en çok tercih edilen enerji kaynaklarındandır.

Güneş enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmasıyla giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu nedenle, güneş enerjisi santrallerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek, enerji verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu tezde, PVsyst simülasyon yazılımının kullanımıyla birlikte, bir 1 MW güneş enerji santralinin performansı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, PVsyst simülasyon yazılımını kullanarak güneş enerji santrallerinin performansını belirlemek, enerji üretim potansiyelini değerlendirmek ve performansı optimize etmek için kullanılabilirliğini araştırmaktır. Ayrıca, güneş paneli eğim açısı, yönü ve sistem konfigürasyonu gibi faktörlerin performansa olan etkisini analiz etmek ve en iyi performansı sağlamak için öneriler sunulması hedeflenmektedir.

1.1. Literatür Taraması

(Yolcan & Köse, 2020) yaptıkları çalışmada; güneş enerjisi santralleri için yer seçimi kriterleri üzerinde durmuşlardır. Yer seçiminin sistem verimini doğrudan etkilediğini ifade etmişlerdir. Sistemin verimine etki eden faktörlerin ve güneş enerjisi sisteminin kurulumu ile ilgili yasal düzenlemeler vurgulanmıştır. Çalışmalarında santral sahası belirlemek için algoritmaların kullanımından bahsetmişlerdir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Kampüsü içerisinde güneş enerjisi santrali kurulacak yerler belirlenmiştir. Bu kısımda gerçekleştirilen çalışmada Analitik Hiyerarşi Süresi Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda haritalar oluşturularak güneş enerjisi sistem kurulumu için uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır.

(Sari & Özyiğit, 2020) çalışmalarında; Sivas ilinin beş ayrı ilçesine kurulacak olan güneş enerjisi sistemlerinin tasarımını yapmışlardır. PVsyst programı kullanılarak kurulacak konum için güneş ışınım değerleri, panellerin yerleşimi, gereken yerleşim alanı ve diğer parametreler belirlenmiştir. Çalışmada monokristal ve polikristal paneller ile iki

farklı çalışma yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Monokristal panellerde verimin daha yüksek olarak alındığı sonuç çıktıları arasında belirtilmiştir. Ayrıca sistemler, enerji üretimi, maliyet, karlılık açısından da değerlendirilmiştir.

(Demiryürek, 2018) yaptığı tez çalışmasında; PVsyst programının detaylı anlatımını gerçekleştirmektedir. PVsyst programında adım adım izlenmesi gereken tüm aşamalar anlatılmıştır. PVsyst programıyla çalışma yapılmasının sebebi olarak kullanıcıya verilen detaylı sonuç raporu ve sistem bileşenlerinin tanımlanabilmesi gösterilmiştir. Çalışmada Siirt ilinde 200 kWp Lebit Enerji güneş santrali için alınan bilgilerle PVsyst programında tasarlanan sistemin çıktıları karşılaştırılmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucunda PVsyst programından alınan veriler ile gerçek veriler arasında % 0,56'lık küçük bir fark olduğu belirtilmiştir.

(Mathew & Hossain, 2017) yaptıkları çalışmada Hindistan Chandigarh'daki 25 MW'lık şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin performansı değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada simülasyon ağırlıklı bir analiz yapılmıştır. PVsyst programından alınan çıktılara göre en yüksek verime sahip modüllerin CIGS modülleri olduğu belirlenmiştir.

(Haydaroğlu & Gümüş, 2016) yaptıkları çalışmada Dicle Üniversitesi güneş enerji santrali verileriyle PVsyst programında modellenmesi sonucu alınan veriler değerlendirilmiştir. Simülasyon yapılmasının sistemin öngörülmesi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Yapılan simülasyon sonucu 30°'lik açıyla yerleştirilmesinin güneş ışıma miktarını % 11,7 artırdığı belirtilmiştir. PVsyst programıyla gerçek veriler karşılaştırıldığında Aralık ve Ocak ayında sonuçların birbirinden uzaklaştığı görülmüştür. Ocak ayı dışında ise gerçek üretim değerlerinin simülasyon değerlerinden büyük olduğu gözlemlemiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde ise verimin en yüksek Ağustos ayında olduğu belirtilmiştir.

(Mermoud & Wittmer, 2017) PVsyst programı kullanımı için bir doküman hazırlamışlardır. Bu çalışma PVsyst programı için kullanım kılavuzu niteliği taşımaktadır. Çalışmada programın şebeke tiplerine bağlı olarak tasarım aşamaları yer almaktadır. Çalışma program kullanımı yanında alınan raporun yorumlanmasını da içermektedir. Projede detaylı rapor alabilmek için girilmesi gereken parametreler, simülasyon tasarım aşamaları, kayıpların tanımlanması, gölge analizleri ve projenin değerlendirme parametreleri yer almaktadır.

(Güneş, 2021) yaptığı tez çalışmasında; güneş enerjisi sistemlerinden, fotovoltaik sistem donanımlarından detaylı olarak bahsetmiştir. 1 MW fotovoltaik güneş enerjisi

sistemi tasarımı için mevzuatta yer alan gerekliliklere yer verilmiştir. Sistemin kurulacağı yer, panel, inverter, kablo, trafo ve bara seçimlerinin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin bakım onarım ve işletme faaliyetleri son bölümde detaylı şekilde anlatılmıştır. Güneş sonuç kısmında enerjinin verimli kullanımı için fotovoltaik sistem elemanlarında yapılabilecek iyileştirmeler ve panellerin temizliğinin önemini vurgulamıştır.

(İnce, 2021) çalışmasında güneş enerjisi ile tasarlanan sistem örneklerini araştırarak çalışmasında bu örneklere değinmiştir. Güneş enerjisi ve güneş santrali konuları için araştırmalarını paylaşmış ve bir KOBİ için kurulan santralin hesaplama verileri ve grafiklerinden bahsetmiştir. Çalışmada İstanbul'da bulunan bir KOBİ için 1000 m^2'lik alanda üretilebilecek enerji ve sistem için gereken hesaplamaları yapmıştır. Çalışmasında 528 adet 77 Wp gücünde paneller için sistemin gücünü 40,656 Wp olarak hesaplamıştır. İzmir'de bulunan bir üretim tesisi için de gereken hesaplamaları açıklayarak sonuçları çalışmasında paylaşmıştır.

(Altınkök, 2021) yılında yaptığı tez çalışmasında fotovoltaik sistem türlerinin ve sistem bileşenlerinin anlatımına yer vermektedir. Çalışmada, Türkiye için güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi dağılımından bahsetmiştir. Sistem kurulumu için enerji ihtiyacının belirlenmesi ve güneşlenme saatinin etkisi üzerinde durmuştur. Çalışmada panel sayısı ve enerji ihtiyacı miktarı hesaplamaları programda yapılmadan önce manuel olarak yapılıp teze bölüm olarak eklenmiştir. Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası çatısına kurulacak olan fotovoltaik sistem PVSol programıyla simüle edilmiştir. Sistemin sonuç çıktısında Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin yıllık elektrik gereksinimin yaklaşık % 52'sinin karşılanacağı görülmüştür. Enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanmasının yıllar içerisinde maliyeti düşüreceği ve 64.588 kg CO_2 salınımının önlenebileceği belirtilmiştir.

(Öztürk, 2008) çalışmasında güneş enerjisinde verimliliğin artırılabilmesi için gerekli şartlar ve parametrelerden bahsetmiştir. Panel verimliliğine etki eden faktörleri sıralayarak bu faktörlerin sebeplerini ele almıştır. Güneş pillerinin hücre yapısı ve özelliklerine göre verimlerinin değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Panel üzerine düşen ışık yoğunluğunu artırmanın verimi % 15'e kadar yükselttiği ifade edilmiştir. Yoğunlaştırma işleminin ise optikler kullanılarak yapıldığı ve bu işlemin hücre verimini % 35'e çıkarabildiği söylenmiştir.

(Gökce, 2020) yaptığı tez çalışmasında; fotovoltaik sistemlerde panel verimini etkileyen parametrelerden bahsetmiştir. Bu etkileri incelemek adına Çukurova

Üniversitesi yerleşkesinde bulunan UZAYMER binası çatısına fotovoltaik sistem kurulmuştur. Bu sistem şebekeye bağlı sistem olup 32 adet 270 W gücünde polikristal güneş panellerinden oluşmaktadır. Gökçe çalışmasında verime etki eden parametrelerin tespiti ve etki miktarlarını görebilmek için sensörler kullanmıştır. Beş dakika aralıklarla ölçüm yapılan sistemde her parametrenin sistemde meydana getirdiği kayıplar incelenmiştir. Bu sistemde fotovoltaik panellerin elektrik üretiminin sıcaklık artışından olumsuz etkilendiği, gölgelenmenin ve tozlanmanın verimi düşürdüğü belirtilmiştir. Kurulan sistemin maliyet hesabı yapıldığında ise kendini geri ödeme (amorti) süresinin 9,32 yıl olduğu tespit edilmiştir.

(Vidur & Jagwani, 2022) yaptıkları çalışmada PVsyst programıyla tasarım aşamalarını ve elde edilen kayıp grafiklerini paylaşmıştır. Bu çalışmada HOMER Pro yazılımı ile fotovoltaik sistemin ekonomik fizibiliteyle şebeke bağlantılı bir mikro şebeke modeli tasarlanmıştır. Çalışmada iyi bir verim elde edilebilmesi için güneş enerjisi kurulumu tasarımının öneminden bahsetmiştir. Çalışmada PVsyst programının kullanım algoritmasını içeren bir şema ve açıklamaları yer almaktadır.

(Küpeli, 2005) yapmış olduğu tez çalışmasında; güneş pillerinin sınıflandırılmasından bahsetmektedir. Güneş pillerinin özellikleri baz alınarak verimleri incelenmiştir. Çalışmada güneş pillerinin üretiminden bugüne karşılaştırılması yapılmıştır. Küpeli çalışmada güneş pillerinin kullanımının yaygınlaşması gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada güneş pillerinin kullanım alanlarına da değinilerek yalnızca fotovoltaik sistemlerde kullanılmadığı vurgulanmıştır. Türkiye'deki güneş pili uygulamalarının durumu hakkında da bilgi verilmiştir.

(Özcan, 2020) yaptığı tez çalışmasında; şebekeye bağlı Bursa ili için 1 MW'lık bir fotovoltaik sistemi ele almaktadır. Fotovoltaik sistem PVsyst V6.86 ve PV*SOL Premium 2020 programları kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmanın gölgelenme analizi ise Google Sketchup programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PVsyst ve PV*SOL programları tanıtılarak projenin aşamaları ve kullanımından bahsedilmiştir. Yapılan simülasyon ve analizler sonucunda fotovoltaik sistemin en verimli olduğu dönem yaz aylarıdır. Şebekeye en fazla temmuz ayında, en az aralık ayında enerji sağlanmıştır. Özcan sonuç kısmında güneş enerjisi kullanımının karbon ayak izini azaltmak açısından önemli olduğunu vurgulamıştır.

(Akcan, Kuncan, & Minaz, 2020) yaptıkları çalışmada Batman ilinin güneş enerji potansiyelini ve çatı üstü bir uygulama ile tasarımını anlatmışlardır. Çalışmada PVsyst program kullanılmıştır. Batman ili için konum bilgileri Metonorm 7.2 veri tabanından

alınarak PVsyst programında kullanılmıştır. Uygulama yapılmadan önce PVsyst programıyla sistemin tasarlanarak öncesinde analiz edilmesinin avantaj sağladığı vurgulanmıştır. Çalışmada okulda üretilen 35,31 MWh yıllık enerji miktarını şebekeye satılması düşünülmüştür. Yazarlar tarafından çalışmanın bir okul çatısında yapılması öğrencilerin konu ile ilgili bilgi sahibi olması açısından önemli olduğu söylenmiştir.

(Yılmaz, 2018) yaptığı tez çalışmasında; fotovoltaik sistemlerden enerji eldesinde verimi etkileyen eğim açılarının hesabı ve hesaba göre panellerin konumlandırılmasını ele almıştır. Yapılan çalışmada elde edilen verilere göre Türkiye'nin tüm illeri için optimum eğim açıları 0° ile 65° arasında değişmektedir. Farklı parametrelere bağlı olarak her ay eğim açılarının değiştiği belirtilmiştir. Çalışmada güneş enerjisinden en yüksek verimde yararlanılabilmesi için eğim açılarına uygun yerleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Eğim açısı parametreleri çalışmada detaylı olarak değerlendirilip tablo şeklinde sonuçlar verilmiştir.

(Donuk, 2014) yaptığı tez çalışmasında; Elazığ ili için fotovoltaik sistemden elde edilecek güç tahmini YSA tahmin algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu fotovoltaik sistemden elde edilecek gücün tahmini % 2,8 hata oranı ile gerçekleştirilmiştir.

(Amin, 2022) yaptığı çalışmada PVsyst programının kayıplar bölümünü detaylı şekilde ele alarak tüm kayıp çeşitlerini anlatmıştır. Kayıp grafikleri üzerinde bulunan parametreleri anlatarak sebeplerine değinmiştir. Bu çalışma PVsyst alanında yapılacak projelerde kayıpların detaylı olarak anlaşılabilmesi için önem taşımaktadır.

(Rout & Kulkarni, 2020) yaptıkları çalışmada PVsyst yazılımının güneş PV sistemlerinin tasarımı ve performans analizi için nasıl kullanılabileceğini göstermişlerdir. Özellikle, Odisha'da önerilen 2 kW gücündeki PV çatı üstü sisteminin tasarımı ve performans değerlendirmesi üzerinde odaklanmaktadır. Makale, PVsyst kullanarak sistemin tasarımını optimize etmek, enerji üretimini tahmin etmek ve performansını değerlendirmek için gereken adımları ayrıntılı olarak açıklamaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, 1 MW güneş enerjisi sisteminin gerçek saha koşulları altında performansını değerlendirmek ve simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve performans analizi için yaygın olarak kullanılan PVsyst yazılımını kullanarak gerçekleştirilen simülasyonlar, saha koşullarının dikkate alındığı bir senaryo üzerinden yapılmıştır.

Bu çalışmanın hedefleri arasında, PVsyst programının kullanımının incelenmesi, 1 MW güneş enerjisi sisteminin tasarımının gerçekleştirilmesi, sistemin performansının simülasyonlarla değerlendirilmesi ve gerçek verilerle karşılaştırılması yer almaktadır. Gerçek saha ölçümlerinden elde edilen veriler, PVsyst tarafından sağlanan simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılacak ve sistem performansının doğruluğu değerlendirilecektir. Elde edilen sonuçlar, güneş enerjisi projelerinin planlanması, tasarımı ve performans optimizasyonu süreçlerinde yol gösterici olacak ve sektöre pratik bir katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi bol ve temiz olması açısından en çok tercih edilen enerji kaynaklarındandır. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından diğer dünya ülkelerine nazaran oldukça avantajlıdır. Ülkemiz Avrupa'da yer alan büyük güneş enerji sahalarına ve potansiyeline sahip ülkelere kıyasla faydalanma oranı daha düşük olarak görülmektedir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve teşvikler ile ülkemizde güneş enerjisi kullanım potansiyeli giderek artmaktadır. (İnce, 2021)

Çizelge 2.1'de illerimizin yıllık güneş alma değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.1 İllere göre yıllık güneş alma değerleri *(Solar)*

İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon değeri (kWh/m^2-yıl)	İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon değeri (kWh/m^2-yıl)
Adana	2,953	1,564	İzmir	2,986	1,496
Adıyaman	2,961	1,595	Karabük	2,402	1,369
Afyonkarahisar	2,705	1,557	Karaman	3,007	1,66
Ağrı	2,778	1,570	Kars	2,537	1,472
Aksaray	2,886	1,578	Kastamonu	2,394	1,364
Amasya	2,427	1,392	Kayseri	2,842	1,588
Ankara	2,611	1,473	Kırıkkale	2,648	1,460
Antalya	3,011	1,646	Kırklareli	2,628	1,321
Ardahan	2,31	1,472	Kırşehir	2,769	1,509
Artvin	2,124	1,409	Kilis	2,975	1,575
Aydın	3,011	1,557	Kocaeli	2,373	1,329
Balıkesir	2,686	1,418	Konya	2,898	1,608
Bartın	2,376	1,307	Kütahya	2,559	1,490
Batman	2,873	1,576	Malatya	2,873	1,599
Bayburt	2,398	1,529	Manisa	2,84	1,486
Bilecik	2,424	1,412	K. Maraş	2,913	1,61
Bingöl	2,719	1,592	Mardin	3,033	1,588
Bitlis	2,69	1,604	Muğla	3,04	1,587
Bolu	2,402	1,416	Muş	2,686	1,591
Burdur	2,944	1,631	Nevşehir	2,834	1,537
Bursa	2,515	1,393	Niğde	2,93	1,620
Çanakkale	2,807	1,375	Ordu	2,263	1,303
Çankırı	2,514	1,432	Osmaniye	2,954	1,555
Çorum	2,511	1,419	Rize	2,124	1,403
Denizli	2,931	1,591	Sakarya	2,358	1,342
Diyarbakır	2,613	1,473	Samsun	2,314	1,335
Düzce	2,362	1,344	Siirt	2,828	1,591
Edirne	2,697	1,319	Sinop	2,347	1,328
Diyarbakır	2,613	1,473	Samsun	2,314	1,335
Düzce	2,362	1,344	Siirt	2,828	1,591
Edirne	2,697	1,319	Sinop	2,347	1,328
Elazığ	2,829	1,588	Sivas	2,653	1,538
Erzincan	2,595	1,555	Tekirdağ	2,606	1,337

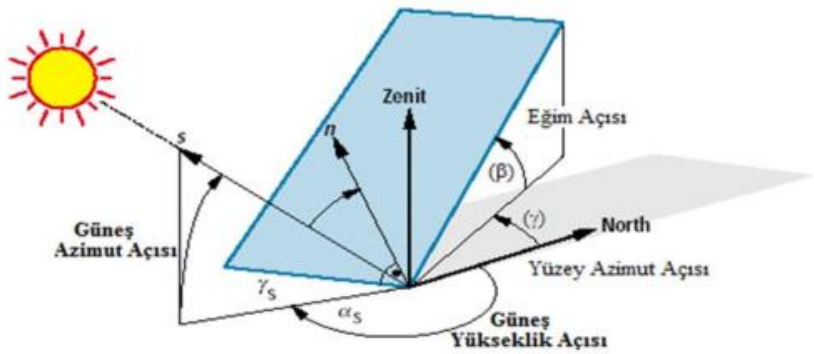
Çizelge 2.2 İllere göre yıllık güneş alma değerleri *(Solar)* (devamı)

İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon değeri (kWh/m^2-yıl)	İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon değeri (kWh/m^2-yıl)
Erzurum	2,504	1,393	Tokat	2,464	1,431
Eskişehir	2,479	1,472	Trabzon	2,132	1,394
Gaziantep	2,978	1,582	Tunceli	2,716	1,579
Giresun	2,285	1,435	Şanlıurfa	3,033	1,586
Gümüşhane	2,349	1,5	Şırnak	2,975	1,601
Hakkâri	3,508	1,610	Uşak	2,789	1,54
Hatay	2,997	1,536	Van	3,070	1,652
Isparta	2,858	1,612	Yalova	2,424	1,342
Iğdır	3,340	1,487	Yozgat	2,683	1,494
İçel	3,015	1,614	Zonguldak	2,38	1,313
İstanbul	2,446	1,612			

2.1.1. Güneş açıları

Sabit ya da hareketli sistemlerdeki güneş ışımalarının değeri düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla mevcut tarih ve güne ait zaman dilimi içerisinde değişiklik göstermektedir. Güneş enerjisi ile sistem tasarımlarında hesaplamalar güneş açısı değerleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Düzlemin yerleşimi ve eğimi gibi faktörler, güneşin yüzey üzerindeki ışınımını etkiler. Bu durum, doğrudan gelen güneş ışınlarını içeren güneşin konumunu belirlemeyi gerektirir. Hesaplamalar, düzlemin konumu ve eğimi gibi faktörleri dikkate alarak güneşin yüzey üzerindeki ışımasını değiştirir. Bu nedenle, güneşin pozisyonunu belirlemek önemlidir. (Şenpınar, 2005).

Şekil 2.1'de güneşin geldiği yöne göre güneş açıları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Güneş açıları

Güneş azimut açısı, dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki iz düşümünün, kuzey güney doğrultusu ile yapmış olduğu açı olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2018).

2.1.2. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi

Güneş ışınları, yeryüzüne direkt ve difüz radyasyon olarak ulaşmaktadır. Direkt radyasyon, saçılmaya uğramadan dünyaya doğrudan ulaşan ışımadır, difüz radyasyon ise atmosfer ve bulutlar tarafından saçılıp yeryüzüne ulaşan ışımadır. Global güneş radyasyonu, yeryüzüne gelen direkt ve difüz radyasyonun toplamını ifade eder. Bu radyasyon miktarı, aktinometre, aktinograf ve piranometre gibi cihazlarla ölçülebilir. Güneş enerjisi kurulumları için güç belirlerken, güneş radyasyonu ve güneşlenme süreleri gibi verilerin bilinmesi önemlidir.

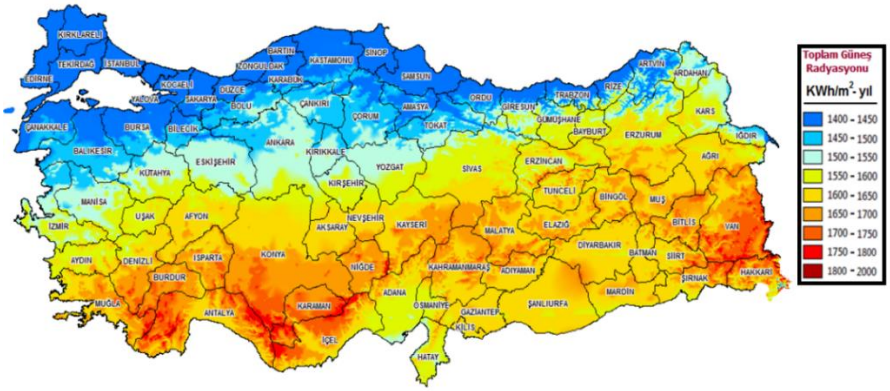
Güneşlenme süresi, bir bölgeye günlük, aylık veya yıllık olarak düşen güneş ışığı süresini ifade eden bir değerdir. Bu süre genellikle saat/gün veya ortalama saat/gün olarak ifade edilir.

Güneşlenme süresi, global, direkt ve difüz güneşlenme şiddeti parametrelerinin 1 dakikalık aralıklarla ölçülmesiyle elde edilir. Bu ölçümler, bölgedeki güneşlenme süresini ve güneşin o bölgedeki etkisini belirlemek için kullanılır (Kandilci, 2017).

2.2. Türkiye Güneş Enerjisi Durumu

GES santrallerinin verimliliği çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenlerden bir tanesi panellerin yerleştirileceği bölgenin sahip olduğu güneş enerji potansiyelidir. Türkiye güneş ışınımı açısından zengin bir konumda yer almaktadır (Yolcan & Köse, 2020).

Şekil 2.2'de Türkiye'nin illerdeki yoğunluğuna göre boyanmış yıllık ışınım haritası görülmektedir.



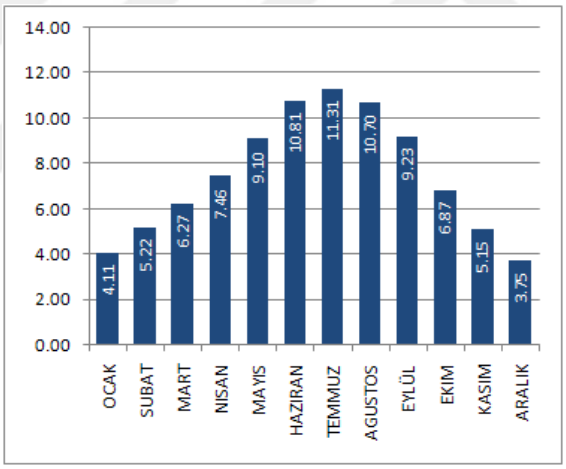
Şekil 2.2 Türkiye'nin yıllık ışınım haritası *(Enerji & Bakanlığı, 2017)*

Türkiye'nin yıllık ışınım haritasından da görüleceği gibi Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli coğrafi bölgelere göre farklılık göstermektedir. Güney bölgelerden Kuzeye

doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli azalmaktadır. Karadeniz Bölgesi, coğrafi konumu ve yağışlı hava koşulları nedeniyle en az güneşlenme potansiyeline sahip bölgedir. Marmara ve Ege bölgeleri orta düzeyde güneşlenme potansiyeline sahipken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri yüksek düzeyde güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerimizdir.

Bu bölgelerde güneş enerjisi yatırımları yapmak, daha verimli sonuçlar elde etmeyi sağlar. Yüksek güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerde güneş enerjisi santralleri daha fazla güneş ışığından faydalanarak daha yüksek enerji üretimi gerçekleştirebilir. Aynı zamanda yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi de diğer bölgelere göre daha kısa olabilir. Bu nedenle, bu bölgelerde güneş enerjisine yatırım yapmak, hem enerji verimliliğini artırma potansiyeli taşır hem de yatırım maliyetlerinin daha hızlı geri kazanılmasını sağlar (Özgür, 2020).

Şekil 2.3'te Türkiye'nin aylara göre saat cinsinden güneşlenme süreleri grafiği yer almaktadır.



Şekil 2.3 Türkiye güneşlenme süreleri (saat)

2.3. PV Sistem Elemanları

Güneş enerjisi sistemleri şebekeye bağlı sistemler için; güneş panelleri, inverter, panel taşıyıcı sistemler, kablolar, AC-DC toplama panoları temel bileşenleri ve alt bileşenlerden oluşmaktadır.

2.3.1. Güneş panelleri

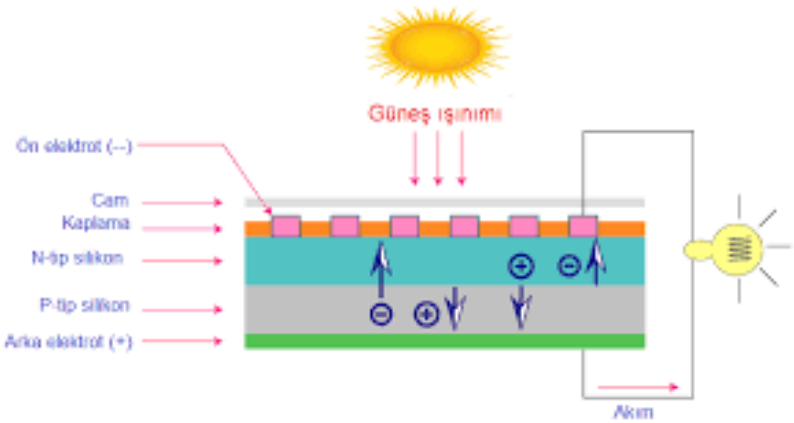
Güneş enerji panelleri P-N eklemli yarı iletkenlerin tasarımı ile gerçekleştirilen fotovoltaik malzemelerdir. Üzerlerine gelen güneş ışınlarının elektrik enerjisine çevirirler. P-N eklemli bu malzemelerin ürettiği gerilim ve akım değerleri çok küçük olduğu için üretilen enerjiyi direkt kullanmak yeterli olmamaktadır. Bu nedenle güneş enerji panelleri ihtiyaç olan enerjiye bağlı olarak seri ve paralel bağlantılar yapılarak sistem tasarımı gerçekleştirilir.

Güneş panellerinin yaklaşık kullanım ömrü 25 yıl olarak verilmektedir. Fakat panel verimi ilerleyen yıllarda düşebilmektedir (Doğanay, 2021).

2.3.1.1. Fotovoltaik hücreler

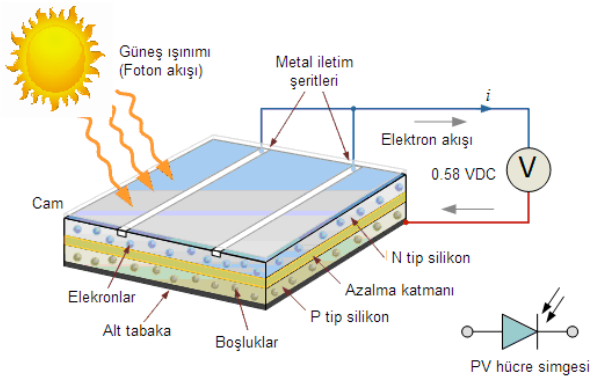
Fotovoltaik hücreler, yarı iletken malzemeler aracılığıyla güneş ışığını doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu hücrelerin iki ana türü vardır: monokristal ve polikristal silikon. Güneş panelinin performansı, kullanılan silikonun hücre tipi ve özelliklerine bağlıdır. PV hücresinin tabanı ise genellikle 0,1 mm kalınlığında çok ince bir levhadır ve pozitif P-tipi veya negatif N-tipi silikondan oluşur (Altınkök, 2021).

Şekil 2.4'te bir fotovoltaik hücrenin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4 PV hücrenin yapısı *(Öztürk, 2008)*

Şekil 2.5'te güneş ışınlarının panel üzerine düşmesi, panel katmanları ve elektron akışı görülmektedir.



Şekil 2.5 PV hücrenin çalışma prensibi *(Öztürk, 2008)*

2.3.1.2. Güneş Paneli Çeşitleri

Monokristal Silikon (Mono-Si) Paneller: Monokristal silikon paneller, tek bir kristal yapıya sahip silikon malzemeden üretilir. Bu panellerin karakteristik özelliği, yüksek verimlilik ve düşük hücre kaybıdır. Mono-Si paneller genellikle siyah renkte ve homojen bir görünüme sahiptir. Yüksek maliyetleri nedeniyle ticari uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polikristal Silikon (Poly-Si) Paneller: Polikristal silikon paneller, birden fazla kristal yapısına sahip silikon malzemeden üretilir. Bu panellerin karakteristiği, daha düşük verimlilik ve daha yüksek hücre kaybıdır. Poli-Si paneller, mavi renkte ve çeşitli kristal yapıların birleşiminden oluşan bir görünüme sahiptir. Daha ekonomik olmaları nedeniyle genellikle büyük ölçekli uygulamalarda kullanılırlar.

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

Organik Güneş Panelleri: Organik güneş panelleri, organik (karbon bazlı) malzemelerin kullanıldığı esnek ve hafif panellerdir. Bu paneller, düşük maliyet, kolay üretim ve esnek tasarım imkanı gibi avantajlara sahiptir. Ancak henüz ticari olarak yaygın olarak kullanılmamaktadırlar ve daha düşük verimlilikle sınırlıdırlar.

2.3.2. İnverter

İnverter yani dönüştürücüler, doğru akımı alternatif akıma veya tersine çeviren elektronik bileşendir. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler için üretilmektedir (Atalay, Yorgun, & Erdem).

PV evirici, şebekeye bağlı PV güç sistemlerinin temel unsurudur. Şebekeye bağlı inverterler, güç kapasitelerine göre; mikro, dizi ve merkezi inverter olarak üçe ayrılır (Teodorescu, Liserre, & Roriguez, 2010).

İnverter verimi ve doğru kapasite seçimi sistemin verimini de etkilemektedir. İnverter verimi alternatif akım çıkış gücünün, doğru akım giriş gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır (Belmahdi & Bouardi, 2020).

2.3.2.1. İnverter Çeşitleri

Merkezi İnverterler: Merkezi inverterler genellikle büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde kullanılır. Bu inverterler, birçok güneş panelinin DC çıkışını toplar ve merkezi bir inverter aracılığıyla AC güce dönüştürür. Yüksek verimlilik, düşük maliyet ve kolay bakım avantajlarına sahiptirler.

Dize İnverterler: Dize inverterler, birkaç güneş panelinin seri olarak bağlandığı dize (string) konfigürasyonunda kullanılır. Her bir dize için ayrı bir inverter kullanılır ve her dizeyi ayrı ayrı AC güce dönüştürür. Bu tür inverterler, modül seviyesinde izleme ve optimizasyon sağlama yeteneğine sahiptir.

Mikro İnverterler: Mikro inverterler, her bir güneş paneline tek tek entegre edilen küçük boyutlu inverterlerdir. Her bir panelin DC çıkışını doğrudan AC güce dönüştürürler. Mikro inverterler, her panelin performansını bağımsız olarak izleme ve optimizasyon yapabilme özelliğine sahiptir.

Güç Optimize Edici İnverterler: Güç optimize edici inverterler, her bir güneş panelinin çıkışını optimize eden ve modül seviyesinde izleme sağlayan cihazlardır. Güç optimize ediciler, güneş panellerinin farklı performans özelliklerini dengelemek ve güç kaybını en aza indirmek için kullanılır (Rashid, 2019).

2.3.3. Panel taşıyıcı sistemler

Güneş enerjisi kurulumları, çatı ve saha olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Türkiye'de yapılan kurulumların % 90'ı saha kurulumudur. Saha kurulumlarında, zemine sabitleme işlemi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilir. En yaygın tercih edilen yöntem ise çakım çelik kazık yöntemidir. Bu yöntemde, sistem doğrudan sahaya çakılarak sabitlenir (Genç).

2.3.4. Kablolar

Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde kullanılan 4 farklı kablo tipi vardır. Bunlar DC kablolar, AC kablolar ve topraklama kablolarıdır.

2.3.4.1. DC kablolar

Kablolar, hem fotovoltaik panellerin birbirleri ile hem de panellerin inverterlere bağlanmasını sağlar. Santralde duruma göre yer üstünden veya yer altından çekilebilir. Güneş, rüzgâr gibi etkenlere maruz kaldıkları için dış ortam şartlarına dayanıklı olarak üretilirler. Solar kablolar bakır veya alüminyumdan yapılmıştır. Bakırdan yapılmış kabloların maliyeti yüksek olduğundan alüminyum kablolar uygulamada yaygın kullanılmaktadır.

2.3.4.2. AC kablolar

AC kablolar, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde inverterlerden sonra kullanılan kablolardır. Fotovoltaik güneş santrallerde genellikle yer altında çekilirler. Büyük sistemlerde 3 faz ve bir nötr olmak üzere tek kabloda 4 damar kablo halinde çekilir.

2.3.4.3. Topraklama kablosu

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde topraklama kablosu bazen AC kablo içinde yer alırken bazen de ayrı çekilebilir. Ancak topraklama kablosu sadece AC tarafta değil tüm santralin içindeki cihazlar için topraklanması gerekmektedir (Güneş, 2021).

2.3.5. AC-DC toplama panoları

PV sistemlerinde kullanılan inverter tipine bağlı olarak, doğru gerilim toplama panosu veya alternatif gerilim toplama panosu kullanılması gerekmektedir. Merkezi inverter kullanıldığında doğru gerilim toplama panosu tercih edilirken, dizi inverter kullanıldığında alternatif gerilim toplama panosu kullanılır. Bu toplama panolarında biriktirilen enerji, tek bir kablo aracılığıyla ana toplama panosuna iletilir (Demiryürek, 2018).

2.4. Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar

Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin belli bir kısmı kayıplar sebebiyle kaybedilmektedir. Sistem bileşenlerinden kaynaklanan kayıplar, fotovoltaik hücrenin üretimine etki eden kayıplar ve çevresel etkenlerden kaynaklanan birçok kayıp sistem verimini düşürmektedir.

2.4.1. Sıcaklık kayıpları

Güneş pillerinin sıcaklıktan etkilenmeleri, PV hücrelerin yapı özelliklerinin bir sonucudur. Panel sıcaklığının artması panel akımını çok az miktarda arttırırken panel gerilimini orantılı bir şekilde düşürmektedir. Gerilimdeki düşme oranı, akımın artış oranına göre daha fazla olduğundan bu duruma bağlı olarak panel gücü de düşmektedir (Karafil, Kesler, & Özbay, 2016).

2.4.2. Gölgelenme kayıpları

Gölgelenme, PV panellerin çalışmasını ve verimini doğrudan etkileyen bir faktördür. Panel üzerine düşen gölge, PV hücrelere ulaşan ışığın azalmasına neden olur.

Bu azalan ışık miktarı, hücrelerin daha az enerji üretmesine yol açar. Tek bir hücrenin gölgelenmesi bile tüm panelin ürettiği enerjide büyük bir azalmaya sebep olabilir. Gölgelenen hücre, diğer hücrelere kıyasla çok az enerji üretir ve bir direnç etkisi gösterir. Bu durumda, diğer hücrelerin ürettiği elektrik akımı gölgelenen hücrenin üzerinden geçmeye başlar ve hücrede ani bir sıcaklık değişimi meydana gelir.

Gölgelenme, sadece üretilen elektrik miktarının azalmasına değil, aynı zamanda hücreler üzerindeki aşırı ısınma nedeniyle PV panellerin ömrünün de kısalmasına yol açar. Bu nedenle, gölgelenme probleminin minimize edilmesi veya tamamen engellenmesi önemlidir. PV sistem tasarımında gölgelenme analizleri yapılır ve panellerin gölge alması olasılığı en aza indirilmeye çalışılır. Ayrıca, optimizasyon teknikleri ve izleme sistemleri gibi yöntemler de kullanılarak gölgelenme etkileri azaltılabilir ve sistemin verimliliği artırılabilir (Gökçe, 2020).

2.4.3. Kirlenme

Fotovoltaik modüllerin verimliliğini etkileyen bir diğer faktörse, modül yüzeyinin kirlenmesidir. PV modüllerinin yüzeyinde güneş ışınımının bir kısmını bloke eden kir veya toz birikmesi olabilir. Bu durum, modülün verimini düşürür. Kirli yüzey nedeniyle hücrelere iletilen güneş ışınımı azalır. Bu azalma, hücrelerin soğurduğu ışık miktarını azaltır ve üretimde kayıplara yol açar. Modül yüzeyinde biriken kirlenme, yağışlar, tozlanma ve çevresel etkenler gibi faktörlerden kaynaklanabilir.

PV modüllerin düzenli olarak temizlenmesi, kirlenme nedeniyle oluşan verim kayıplarının azaltılmasında önemlidir. Kirli yüzeylerin temizlenmesi, modülün üzerine düşen güneş ışınlarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu temizlik işlemi, modülün performansının artırılmasına ve daha yüksek enerji üretimine katkıda bulunur. Özellikle tozlu veya kirli ortamlarda bulunan PV sistemlerinde düzenli temizlik ve bakım işlemleri önemlidir (Öztürk, 2008).

2.4.4. İnverter kayıpları

Doğru akımı alternatif akıma dönüştüren sistemin temel elemanlarından olan inverter seçimi sistemin verimini etkilemektedir. Doğru inverter seçimi yapılmadığında sisteme yetersiz gelen inverter üretilen enerjiyi kapasitesinin altında dönüştürerek sistemde verim kaybına sebep olmaktadır.

2.4.5. Yansıma kayıpları

PV malzemelerde, ışık akısının bir kısmı emilir ve elektriğe dönüştürülür. Kullanılan malzemenin kalitesi, optik yansımasına, düşük iletim kaybına ve emilen radyasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Fotovoltaik modülün yüzeyindeki kaplamalı cam, emilimi en üst düzeye çıkarmak ve yansımayı en aza indirmek için tasarlanmış sertleştirilmiş bir yapıya sahiptir. Hücreler ayrıca ışığın yansımasını engelleyen yansıma önleyici bir kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Yansıtılan güneş radyasyonunun yoğunluğu, güneş ile fotovoltaik modül arasındaki açıya ve modülün kırılma indisine bağlıdır. Normal ışınım altında, güneş modülleri gelen ışığın % 4'ünü yansıtır (Gürbüz, 2018).

2.4.6. Elektriksel kayıplar

Bir güneş pilinin elektrik kaybını tanımlamanın en kolay yolu, güneş pilinin akım-voltaj eğrisini kullanmaktır. Çünkü elektriksel kayıplar akım ve gerilim kayıplarını içerir. Toplanıp çoğunluk taşıyıcılarına dönüştürülemeyen azınlık taşıyıcıları cari tüketimi belirler. Gerilim düşümü, açık devre geriliminin beklenen değerin altına düşmesi olarak tanımlanır. Seri ve paralel (şönt direnç) direnç kayıpları ve zayıf diyot karakteristikleri elde edilecek akım ve gerilim değerlerini düşürür (Küpeli, 2005).

2.5. Fotovoltaik Güneş Sistemleri

Güneş enerjisi 4 farklı sistem kullanılarak tasarlanabilmektedir. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, tarımsal sulama ve direkt üretilen doğru akımın kullanıldığı sistemlerdir.

2.5.1. Şebekeye bağlı sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin amacı, güneş pilleri tarafından üretilen elektriği evlerde ve işyerlerinde kullanmak ve fazla enerjiyi şebekeye göndermektir. Bu sistemlerde üretilen enerji talebi karşılayamaz ise şebeke devreye girerek elektrik ihtiyacını karşılar (Donuk, 2014). Bu sistemler aslında ne kadar büyük veya küçük olursa olsun bir santral sistemidir. Çünkü panellerde üretilen elektrik, tek fazlı veya üç fazlı

inverterler kullanılarak şebekeye satılmaktadır. Bir fotovoltaik şebekeye bağlı bir sistem; 4 temel unsurdan oluşur: güneş panelleri, invertörler, çift yönlü sayaçlar ve veri kaydediciler (Atalay, Yorgun, & Erdem).

Şebekeye bağlı bir fotovoltaik güneş enerji santralinde uygun sayıda fotovoltaik panelin seri bağlanmasıyla bir dizi ve bu dizilerin paralel bağlanmasıyla bir dizi oluşturulur. Dizilerde üretilen DC gerilimi, dizi inverterleri veya merkezi inverterler vasıtasıyla AC gerilime dönüştürülür. AC'ye dönüştürülen gerilim, uygun bir trafo yardımıyla yüksek gerilime dönüştürülerek şebekeye bağlanır (Nedimoğlu, 2019).

Şekil 2.6'da şebekeye bağlı bir sistemin bileşenleri yer almaktadır.

Şekil 2.6 Şebekeye bağlı sistem *(Akcan, Kuncan, & Minaz, 2020)*

2.5.2. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız olarak tasarlanan fotovoltaik sistemler;

- Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde,
- Şebeke iletim hatlarının ekonomik olmadığı durumlarda,
- Şebeke kesintilerinin sık olduğu ve uzun sürdüğü yerlerde, öncelik verilmektedir.

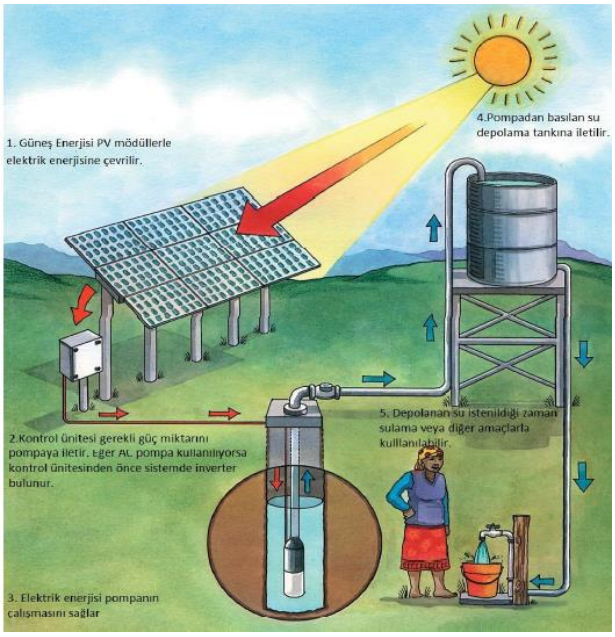
Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem; güneş panelleri, piller, şarj kontrolörleri, invertörler gibi cihazlardan oluşur. Bu sistemlerde gün içerisinde panellere gelen güneş ışınımı miktarı panel uçlarında elektrik üretir. Burada elde edilen elektrik

enerjisi, şarj kontrol cihazı ile akü paketinde kullanıma hazır halde depolanır. Depolanan bu enerji dönüştürülür ve kullanılır. AC gerilimle (220 V, 50 Hz) çalışan cihazlarda, aküdeki DC gerilim bir AC invertör yardımıyla dönüştürülür. Bu nedenle AC gerilim ile çalışacak makineler aktif olarak kullanılmaktadır (Kutluca, 2020).

2.5.3. Tarımsal sulama sistemleri

Tarımsal sulama elektriğin olmadığı tarım arazileri için güneş enerjisini kullanarak pompa sistemlerinin çalıştırılması ile gerçekleştirilir. Tarımsal sulamada dalgıç pompa güneş enerjisinden elde edilen enerji kullanılarak enerjilendirilir. Sistemde depolama iki farklı yolla yapılabilmektedir. Akü kullanılarak güneş enerjisinin yoğun olduğu saatlerde şebekeden bağımsız sistemler gibi depolama yapılarak kullanılabilmektedir. Diğer depolama yöntemi ise elde edilen suyun depolarda saklanarak kullanımı sayesinde gece veya güneş ışınlarının yeterli olmadığı saatlerde de sulama yapılabilmektedir (Güre, 2018).

Şekil 2.7'de güneş panellerinden üretilen enerjinin tarımsal sulamada kullanım aşamaları yer almaktadır.



Şekil 2.7 Güneş enerjisinin sulamada kullanımı

3. MATERYAL VE YÖNTEM

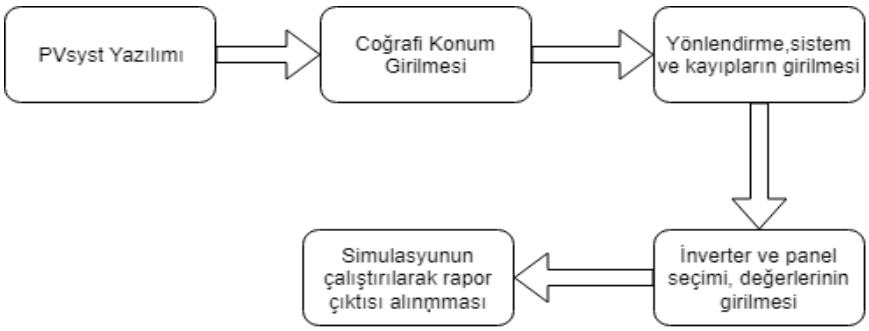
Bu tez çalışmasında, Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesinde kurulu olan 1 MW'lık güneş enerjisi santralinin üretim değerleriyle PVsyst programından elde edilen veriler ile karşılaştırma yapılacaktır. PVsyst programı güneş enerjisi sistemleri tasarımlarında kullanılan programlardan biridir. Programda dört ayrı bölümde projenin çıktıları değerlendirilmektedir. PVsyst programının şebekeye bağlı sistemler için bulunan kısımları kullanılacaktır. Programda tasarım yapılabilmesi iki şekilde mümkündür. Bunlardan birincisi ihtiyacımız olan enerji verilerini girmek, diğeriyse kurulumun yapılacağı alana göre maksimum enerji için verilerin belirlenmesidir.

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 kurulumuna 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 yöntemse 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 bahsi geçen 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).

Şekil 3.1'de şebekeye bağlı bir sistem tasarımı için PVsyst programı kullanımı anlatılmaktadır.

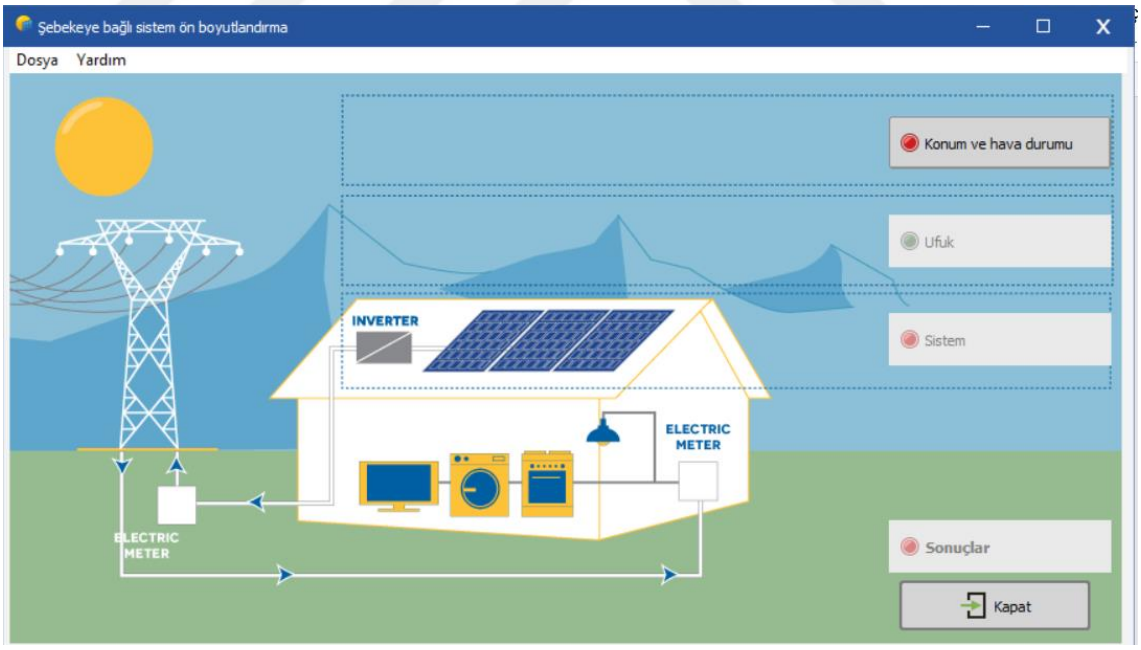


Şekil 3.1 PVsyst programı genel çalışma şeması *(Vidur & Jagwani, 2022)*

3.1.1. Ön tasarım bölümü

PVsyst programı ön tasarım bölümü tasarlanacak sistemin hızlı ve kabaca analizinin yapıldığı bölümdür. Sistemin genel yapısı ve değerlerinin hızlı değerlendirilmesi olarak adlandırılabilir. Ön tasarım bölümüne konum bilgisi ve üretilmek istenen enerji değeri girildikten sonra bir grafik çıktısı vermektedir.

Şekil 3.2'de PVsyst programına giriş yapıldığında karşılaşılan ana ekran görüntüsü yer almaktadır.

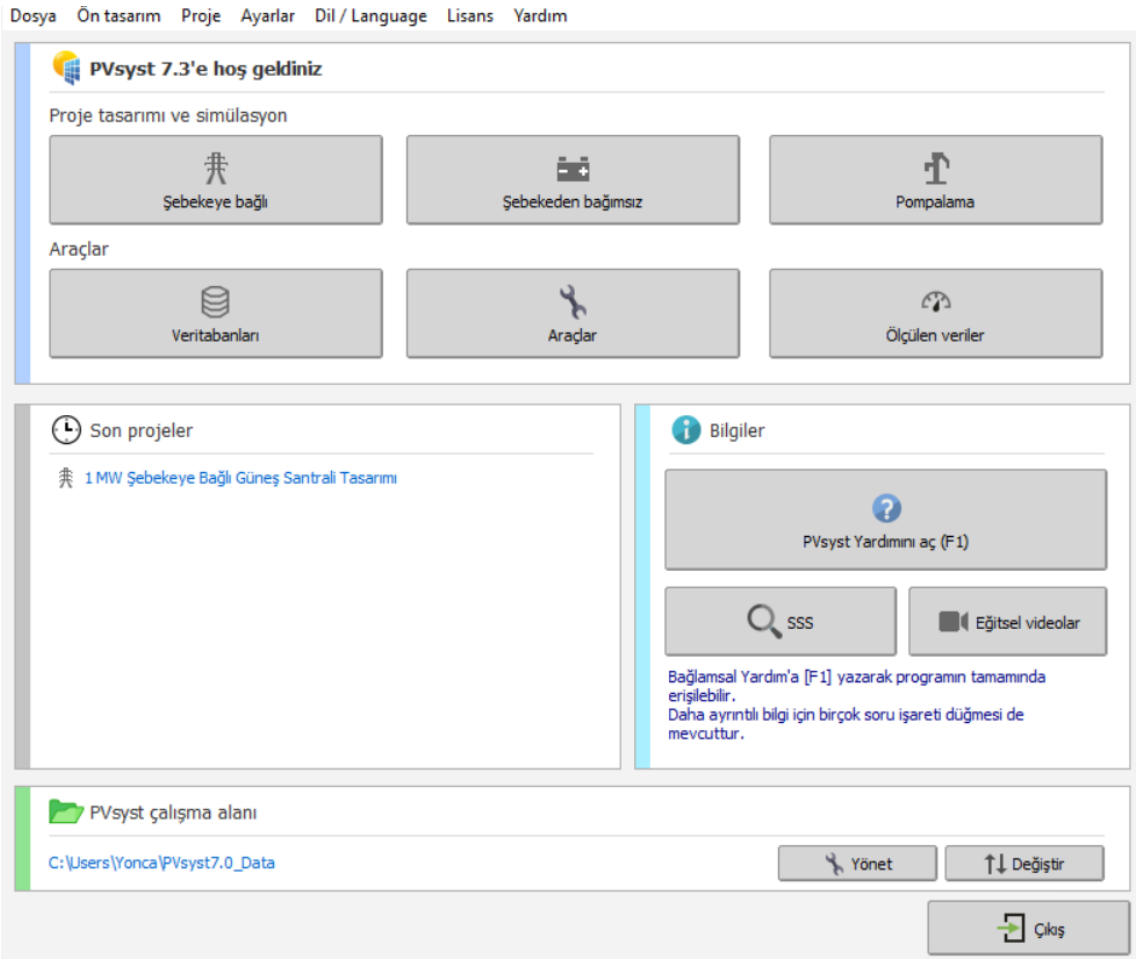


Şekil 3.2 PVsyst programı ön tasarım sayfası

3.1.2. Proje tasarımı bölümü

Projenin detaylı incelendiği ve analizinin yapıldığı bölümdür. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompa ve DC şebeke bölümlerini içermektedir.

Şekil 3.3'de projeyi tasarlamak için kullanılan ve 4 farklı tasarım seçeneğini gösteren ekran görüntüsü gösterilmiştir.



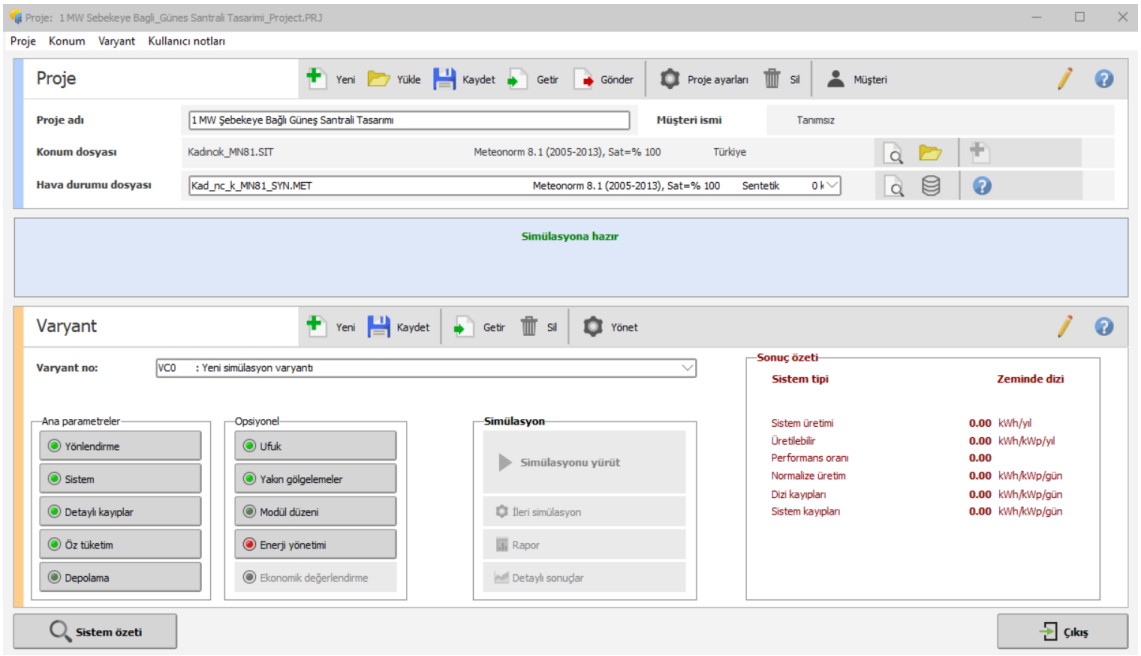
Şekil 3.3 Proje tasarım bölümü

3.1.2.1. Şebekeye bağlı sistem tasarımı

Şebekeye bağlı sistem tasarımı bölümü seçildikten sonra öncelikli olarak tasarımın yapılacağı yer seçimi yapılmaktadır. PVsyst programı veri tabanında istenilen yer yoksa koordinatlar girilerek veya Meteonorm gibi meteorolojik verilerin yer aldığı bir program kullanılabilir.

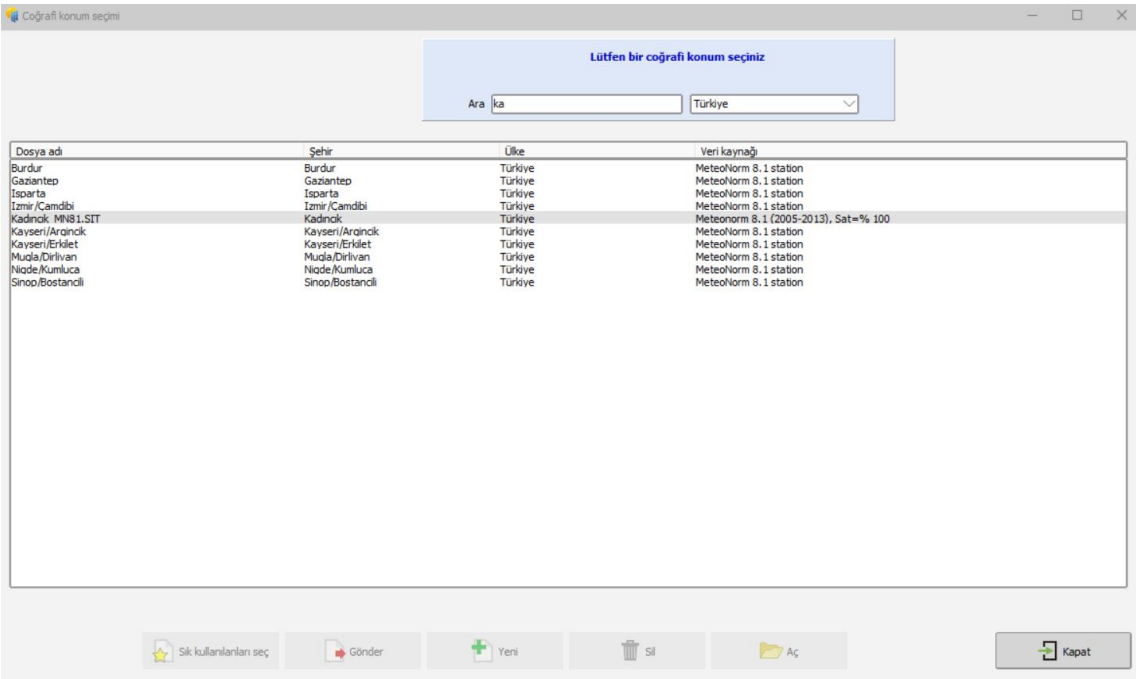
Sistemin asıl tasarımının yapıldığı proje tasarımı bölümünde de ön tasarım bölümünde olduğu gibi sistemin kurulacağı yerin konumu sisteme girilmektedir. Bu bölümde giriş parametreleri girilecektir. Giriş parametreleri ana parametreler ve opsiyonel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Ana parametreler sistem tasarımına devam edilebilmesi için girilmesi zorunlu olan parametrelerdir. Opsiyonel parametrelerin girilmesi sonuç raporunun daha detaylı alınabilmesi için girilmelidir. Sistem tasarımının bir diğer bölümü simülasyon yapılabilmesi için projenin tasarımın yapıldığı bölümdür. Bu bölümde sistemin kapladığı alana göre paneller ve sisteme etki eden diğer etkenler çizilerek sistem tasarımı detaylandırılmaktadır. Simülasyon bölümünde panel yerleşimlerinin sisteme nasıl etki ettiği ve kayıplar görülebilmektedir. Aynı zamanda sistem çevresinde bulunan yapılar ve gölge yapabilecek diğer cisimler bu bölümde gösterilebilmektedir.

Şekil 3.4'de kutu içerisinde belirtilen alandan yer seçimi yapılmaktadır.



Şekil 3.4 Proje verileri giriş sayfası

Şekil 3.5’te sistemin kurulacağı yer seçimi yapılmaktadır.

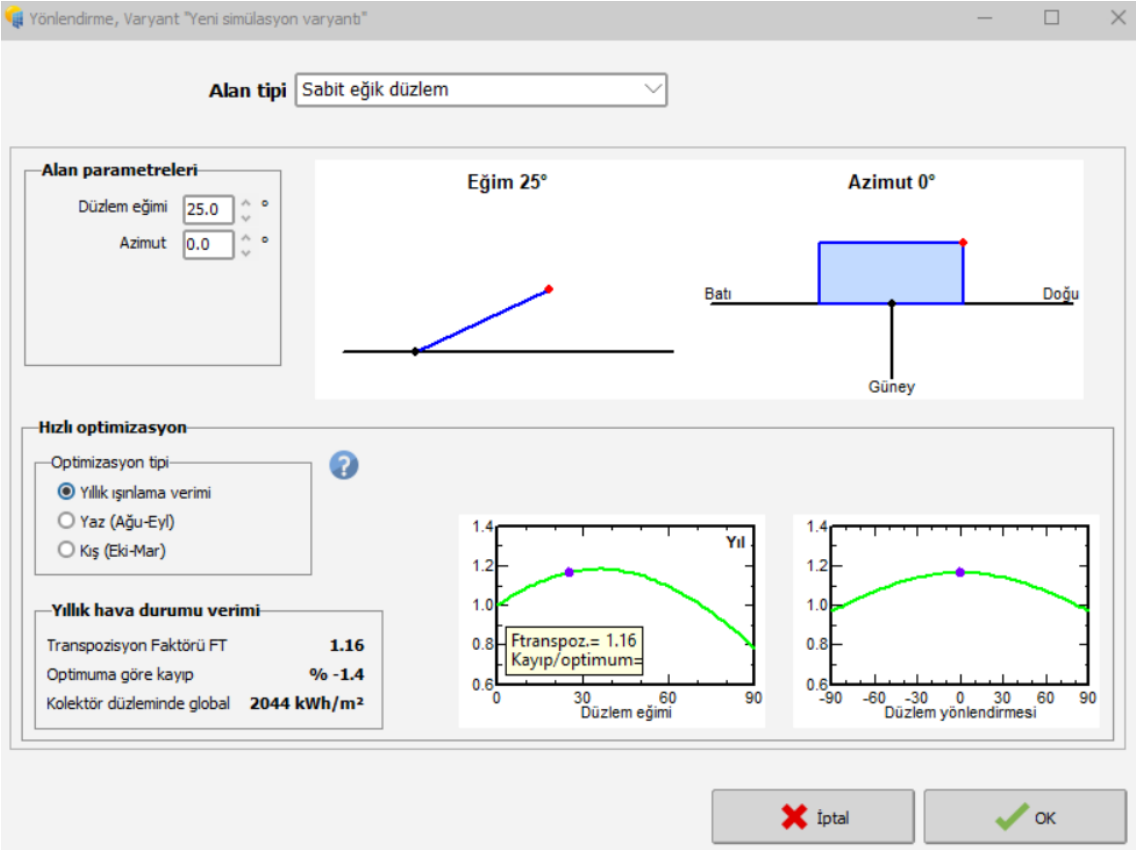


Şekil 3.5 Kurulum yeri seçimi

3.1.2.2. Yönlendirme bölümü

Panellerin zeminle olan açısı tilt (eğim) açısı olarak adlandırılmaktadır. Panel yerleşiminin açısını vermektedir. 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. Enlem açısının kendisi veya enlem açısından 4° çıkarılarak bulunan değer dikkate alınmaktadır. Bu değerler arası denenerek en verimli yerleşim açısı bulunur. 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 (Mathew & Hossain, 2017).

Şekil 3.6’de eğim ve azimut açıları sistemin kurulacağı koordinatlara göre değiştirilerek optimuma göre fark % 0 olacak şekilde yapılmaktadır.



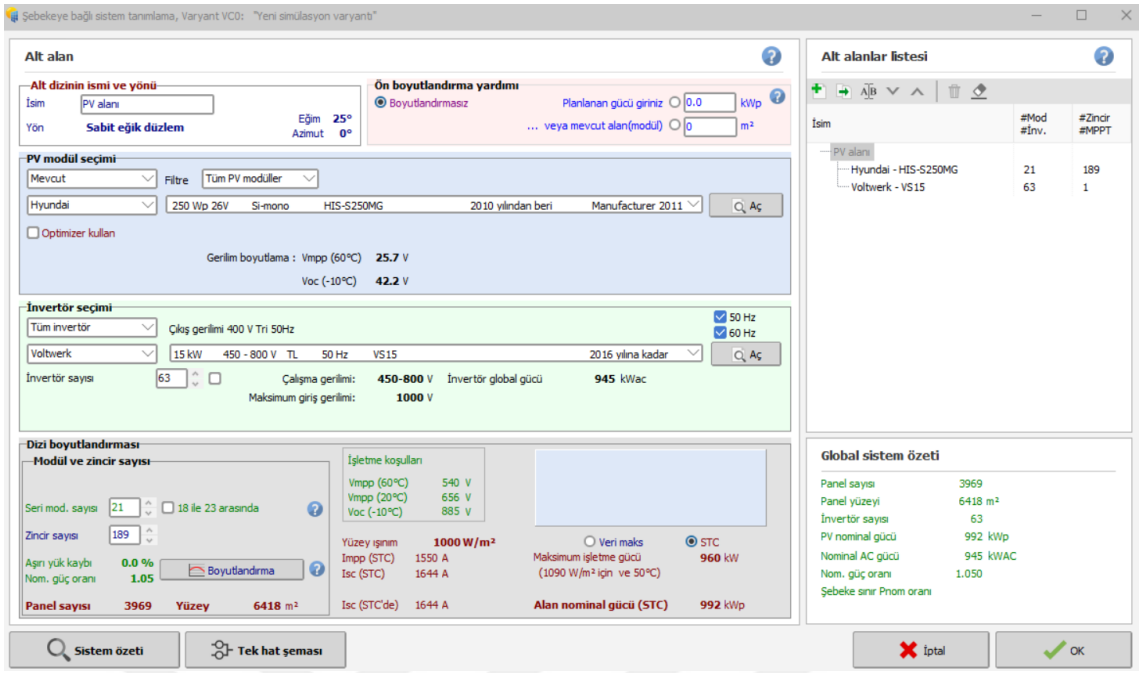
Şekil 3.6 Eğim ve azimut açısı belirlemesi

3.1.2.3. Sistem bölümü

Sistem bölümünde tasarım iki farklı seçenek ile yapılmaktadır. Kurulumun yapılacağı alan sabit ve maksimum verim alınacak bir sistem düşünülüyor ise mevcut alan (m^2) girilmektedir. Mevcut alan girildiğinde planlanan güç miktarı program tarafından hesaplanmaktadır. Fakat alan sıkıntısı yoksa ve elde edilmek istenen mevcut bir güç kapasitesi varsa planlanan güç (kWp) girilerek gerekli alan program tarafından hesaplanır. İki durumda da program gerekli PV modül sayısını hesaplamakta, modül ve dizi sayısı bölümünde seri - paralel bağlantı durumunu vermektedir.

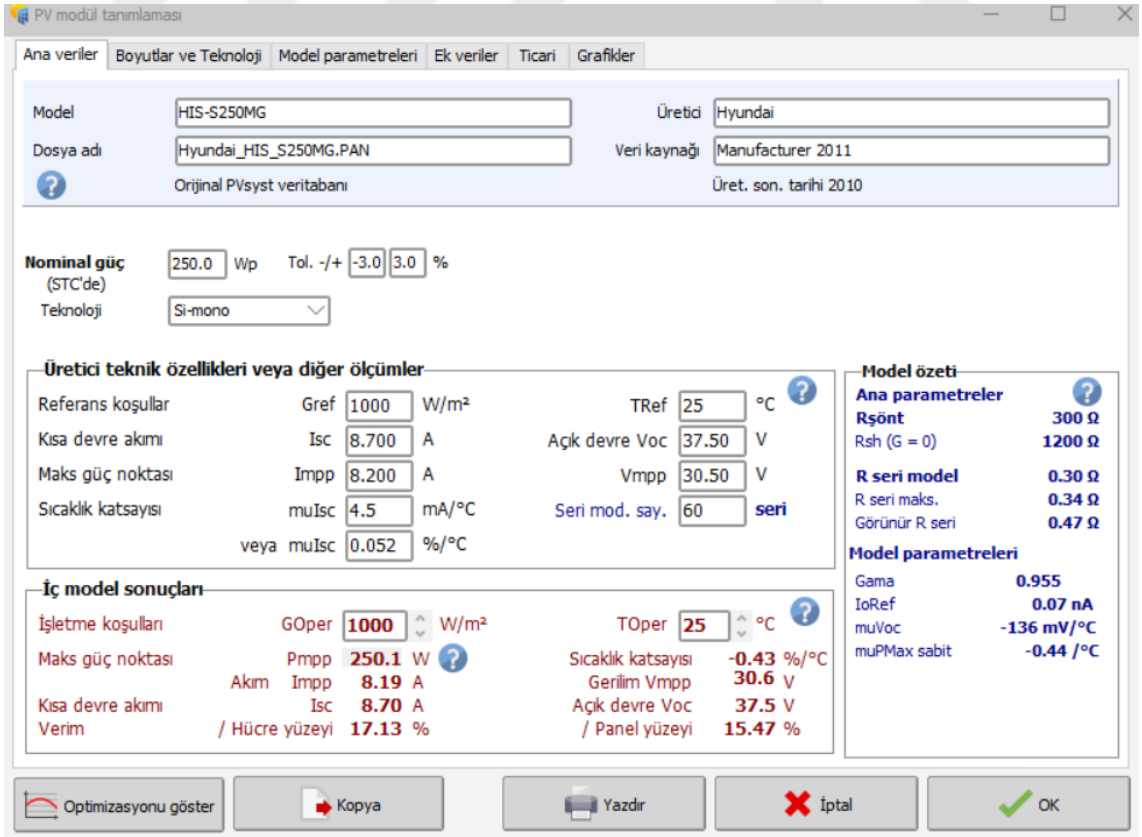
Bu bölümde kullanılacak PV modül modeli, gücü, voltaj değerleri seçilmektedir. Aynı şekilde kullanılacak invertör için de seçim yapılmaktadır. Bu özelliklerin doğru seçilmesi, sistemin doğru şekilde tasarlanması ve performansının en üst düzeyde olması için önemlidir. Program girilen tüm bu veriler neticesinde sistemin uygunluk durumunu göstermektedir.

Şekil 3.7'de gerçek değerler dikkate alınarak PVsyst sistemine girilen değerler ve değerlerin girildiği ekran görüntüsü gösterilmiştir.

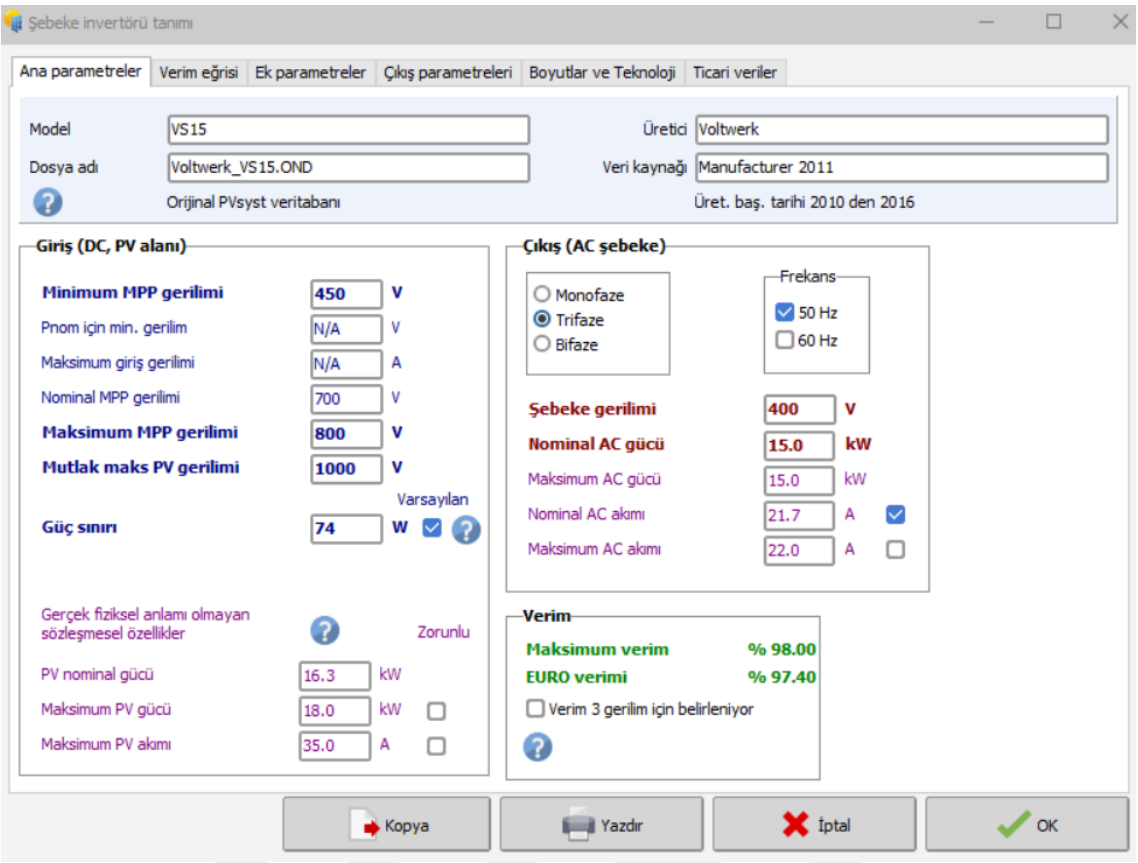


Şekil 3.7 Sistem bölümü

Güneş paneli ve inverter marka, model ve teknik bilgileri veri tabanından alınarak gerçek verilere uygun seçim yapılmıştır. Şekil 3.8'de PV modül tanımlaması ekranı, Şekil 3.9'da ise inverter tanımlama ekranı gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Güneş panellerine ait detaylı verilerin yer aldığı PVsyst ekranı

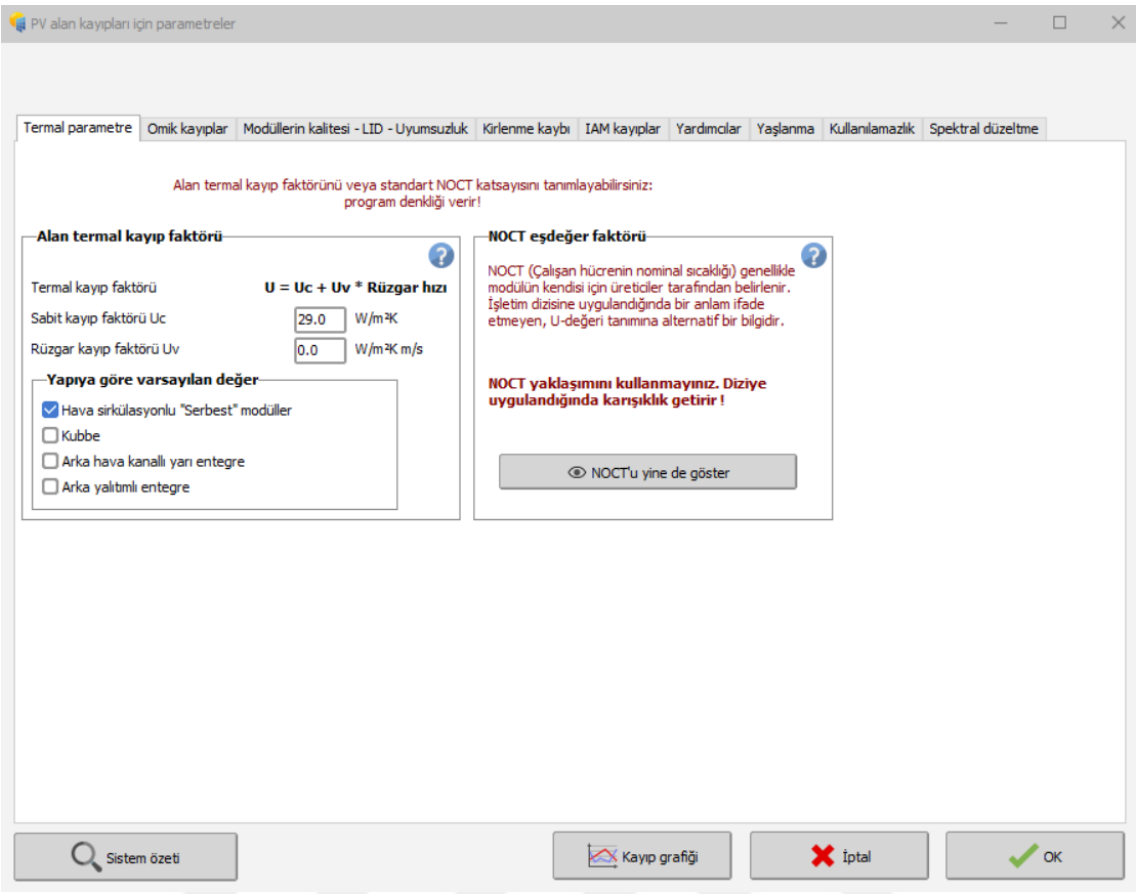


Şekil 3.9 İnvertere ait detaylı PVsyst ekranı

3.1.2.4. Kayıplar bölümü

Bu bölümde, PVsyst programına kablo kayıpları, panel kayıpları, tozlanma kayıpları gibi santral kayıplarının nasıl girildiğinden bahsedilecektir.

Şekil 3.10'da termal (sıcaklık) kayıpları, omik kayıpları (DC kablolama, AC kablolama ve trafo bağlantı kablolarından kaynaklanan), panel kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, tozlanma/karlanma kayıpları, yansıma kayıpları, harici ekipman kayıpları (lamba, kamera, klima vb.), panel yaşlanma kayıpları ve arıza bakım kayıpları olarak sisteme aktarılır (Demiryürek, Arifoğlu, & Bolat, 2020).



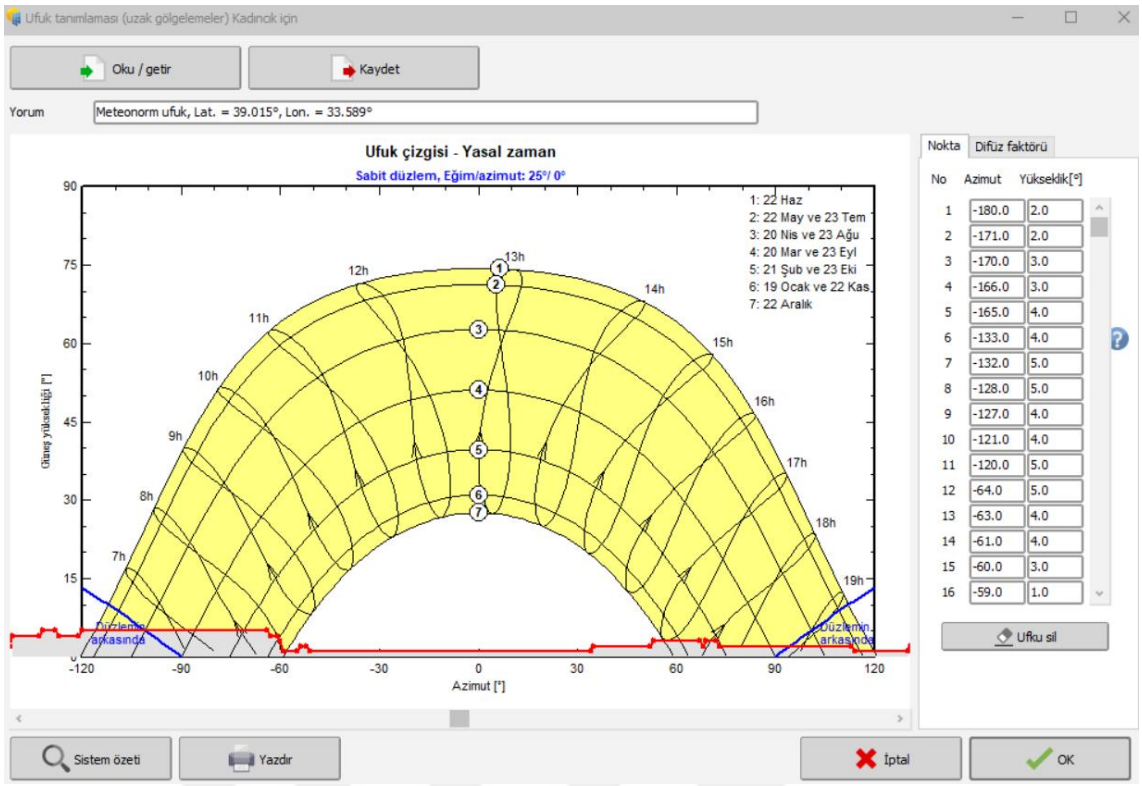
Şekil 3.10 Kayıplar penceresi görünümü

3.1.2.5. 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 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.

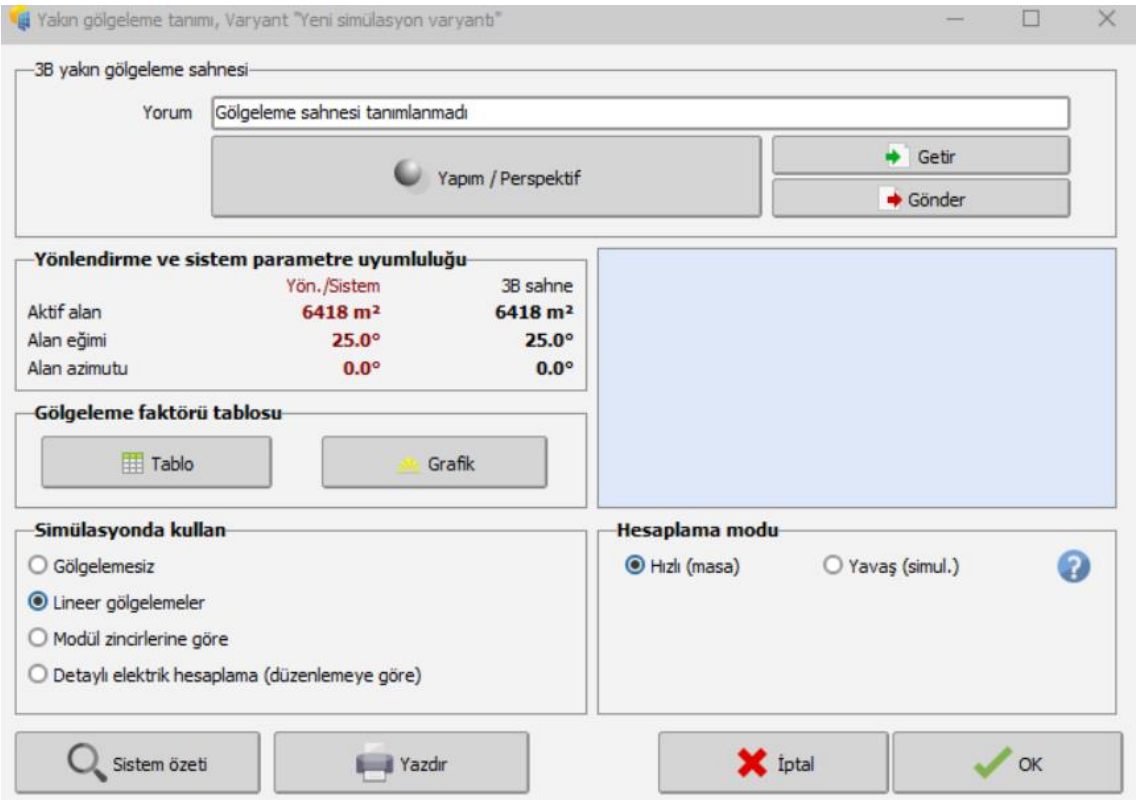
Bu değerler programa tablo üzerinden elle değiştirilerek yapılabileceği gibi oku/getir bölümünden direkt horizon dosyası olarak yüklenebilmektedir (PVsyst, 2014). Şekil 3.11'de konuma göre düzenlenmesi gereken ufuk çizgisi değerlerinin yer aldığı pencere görülmektedir.



Şekil 3.11 Ufuk çizgisi sayfası görünümü ve değerleri

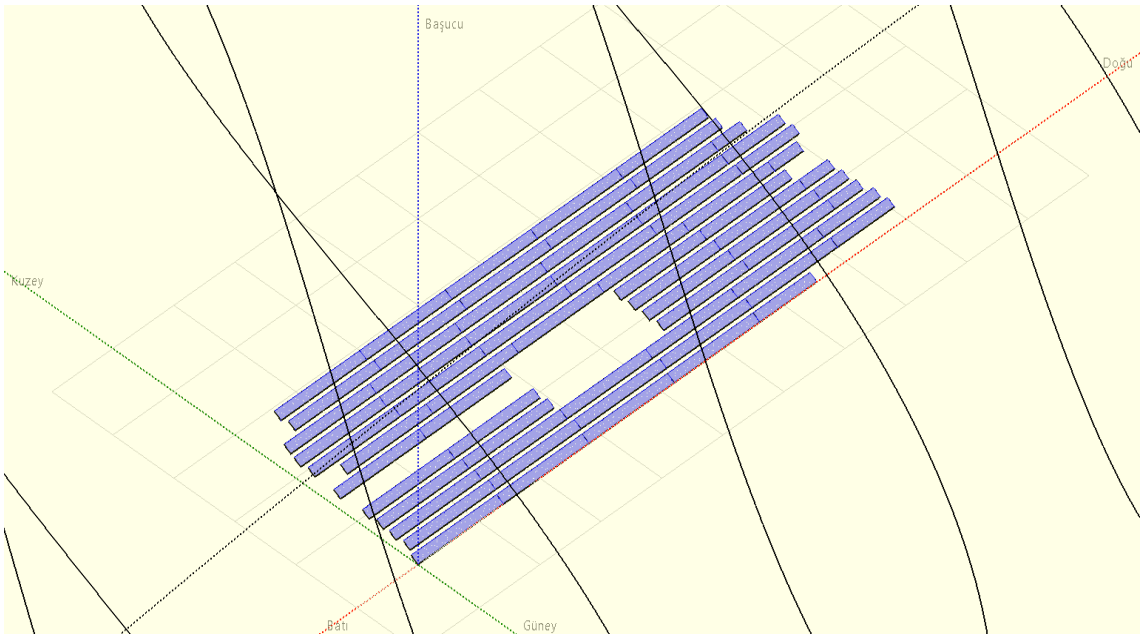
3.1.2.6. Yakın gölgelemeler

Bu bölüm, güneş paneli alanlarında gölgeleme etkilerini simüle ederek, gölgeleme kaynaklı kayıpların belirlenmesine olanak sağlar. Bu bölüm, güneş paneli alanlarında meydana gelen gölgelere bağlı olarak panellerin üretim performanslarını etkileyen faktörleri analiz etmek için kullanılır. Kullanıcılar, çeşitli gölgeleme kaynaklarının (ağaçlar, binalar, yapılar vb.) pozisyonlarını ve boyutlarını belirleyebilir, böylece paneller üzerindeki gölgelenme etkisini simüle edebilirler. Panellerin üzerine düşen gölgeler panelin enerji üretememesine ve verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bu bölümde panellerin yerleşimi, etrafında olan binalar ve panellere gölge yapacak tüm nesneler modellenebilmektedir. Programın bizim için çıkardığı hesaplamalara göre PV panel seri ve paralel sayısına göre yerleşimi yapılmaktadır. Sonuç olarak, kullanıcılar, gölgeleme kaynaklarının konumlandırılması ve yüksekliği gibi değişkenleri değiştirerek, en verimli panellerin kurulum yerini belirleyebilirler. Şekil 3.12'de yakın gölgelemeler ekranı görülmektedir.



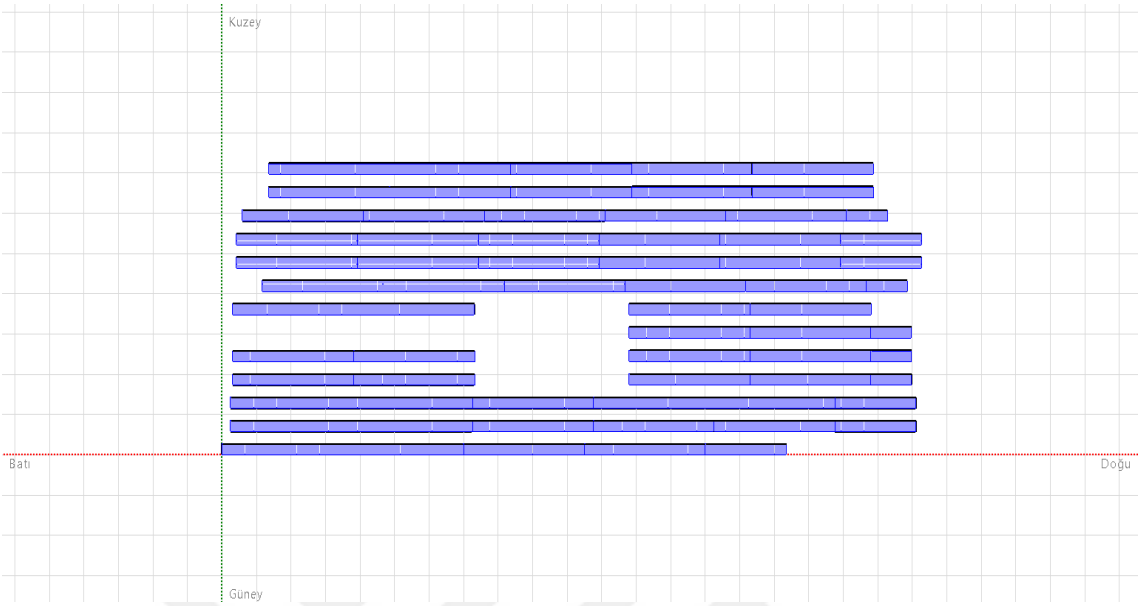
Şekil 3.12 Yakın gölgelemeler PVsyst ekranı

Panel yerleşimleri sahadan alınan verilere göre PVsyst programı tasarım kısmında oluşturularak gölgelenme analizinin doğru şekilde yapılması hedeflenmiştir. Şekil 3.13'de program üzerinden yapılan tasarım görülmektedir.



Şekil 3.13 Güneş enerji santrali gölgelendirme analizi

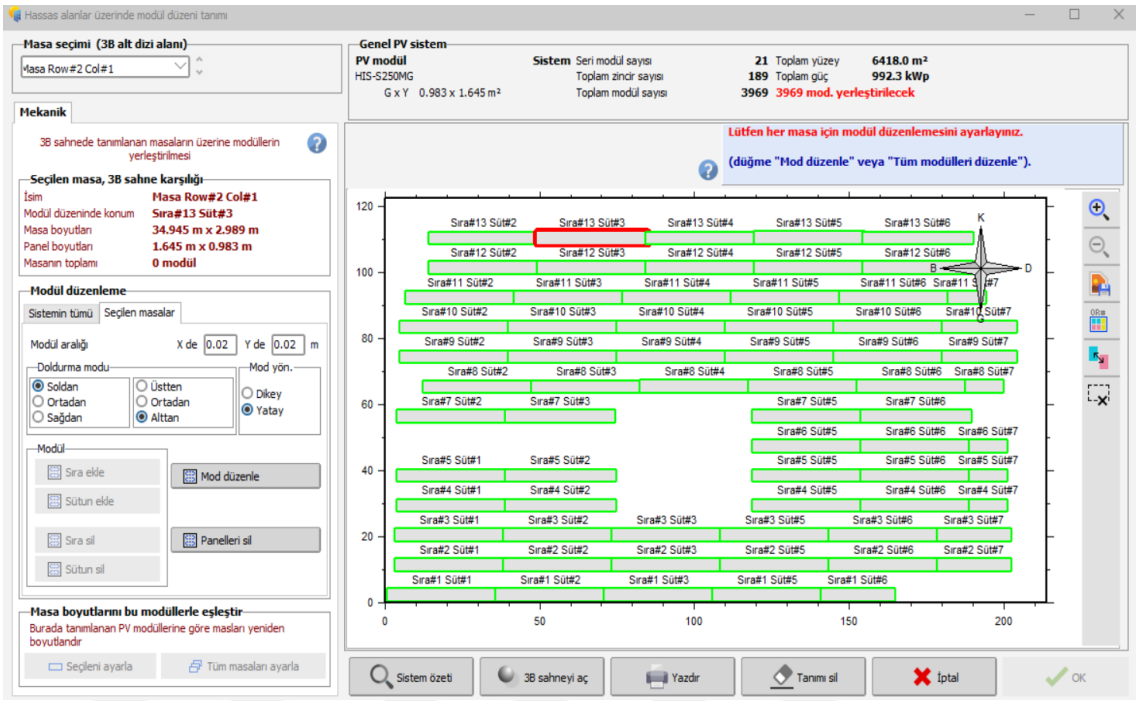
Şekil 3.14'de incelendiğinde sahanın vaziyet planında görülen yerleşime uygun olarak tasarlandığı görülmektedir.



Şekil 3.14 Güneş enerji santrali vaziyet planı

3.1.2.7. Modül düzeni

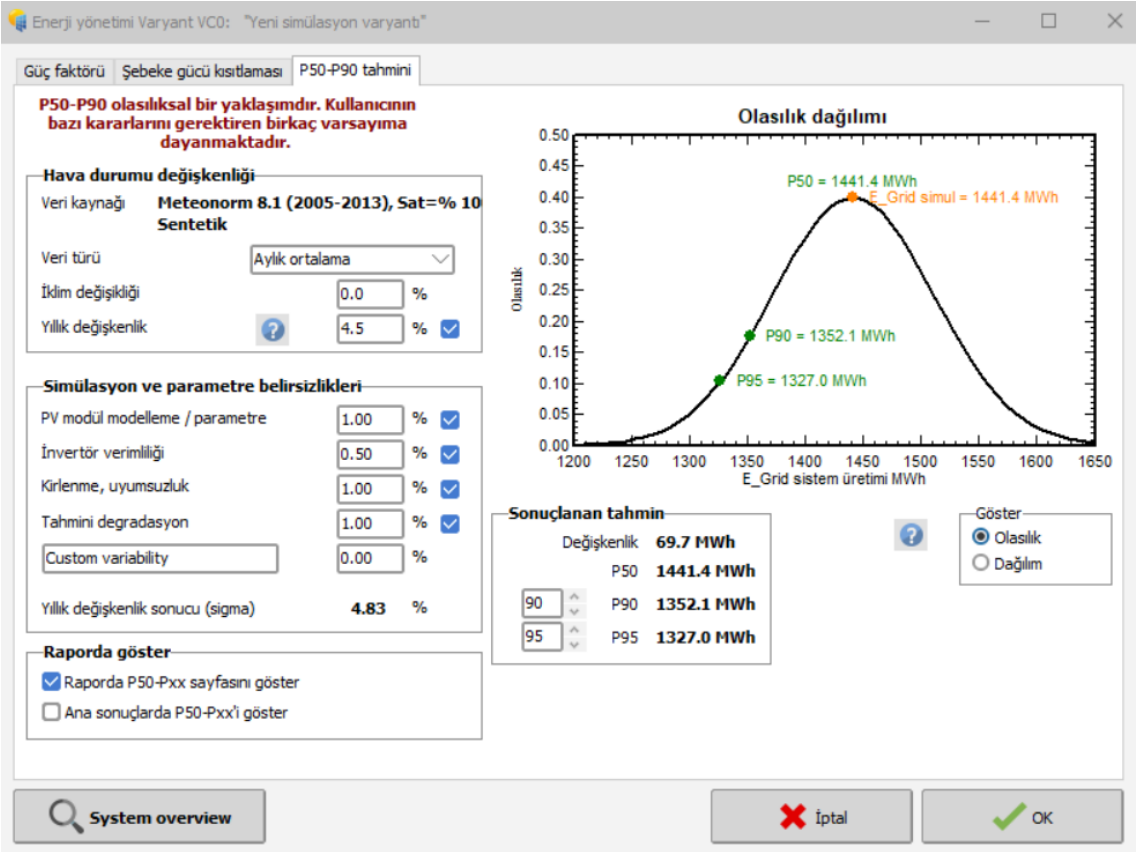
Modül düzeni tasarımı, PV sisteminin toplam performansını ve enerji üretimini etkileyen önemli bir faktördür. Doğru bir şekilde belirlenen eğim açısı, azimut açısı, aralıklar ve sıralama, sistemin güneş ışınlarından maksimum verimi elde etmesine yardımcı olur. Aynı zamanda, gölgelenme etkisini azaltır ve panel ömrünü uzatır. Bu çalışmada hali hazırda kurulu sistem göz önünde bulundurularak paneller yerleştirilmiş ve analiz sonuçları paylaşılmıştır. Şekil 3.15'de güneş panellerinin modüller halinde diziliminin yer aldığı ekran görülmektedir.



Şekil 3.15 Güneş panelleri modül dizilim ekranı

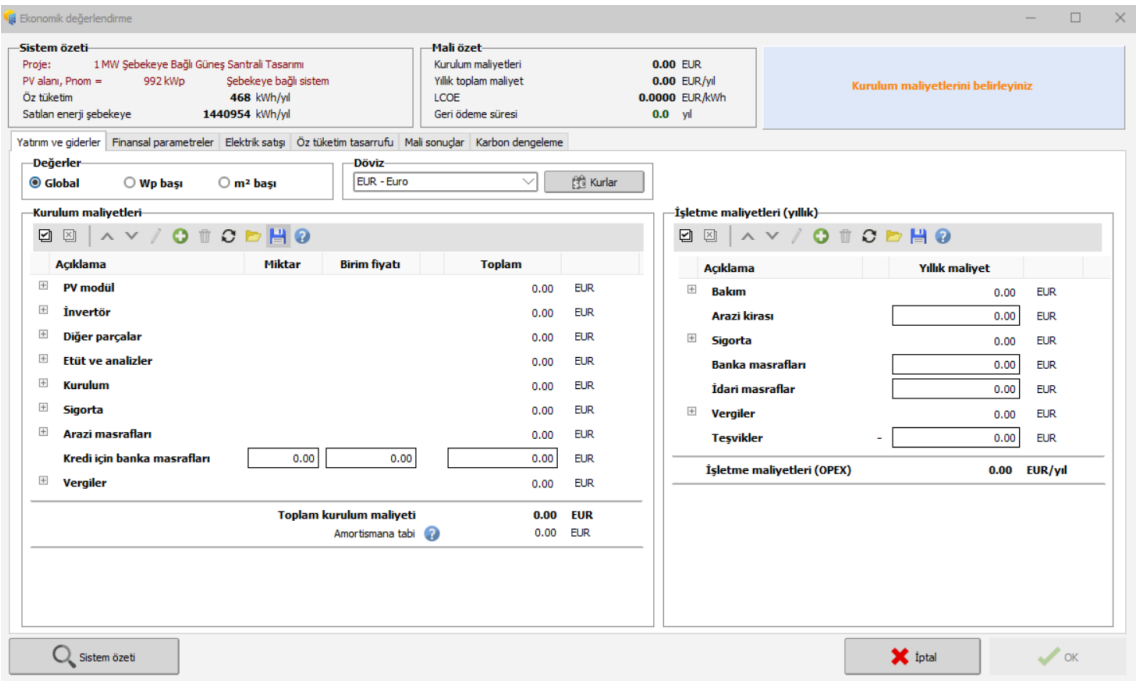
3.1.2.8. Enerji yönetimi ve ekonomik değerlendirme

Enerji yönetimi; inverter sıcaklığı, güç faktörü, şebeke gücü kısıtlaması ve P50-P90 tahmini seçeneklerinin olduğu bölümdür. Şekil 3.16'da bahsedilen seçenekler ve enerji yönetimi sayfası görülmektedir. Kurulacak sistem bilgileri doğrultusunda girilecek bu değerler gerçeğe en yakın tahmin için kullanılabilir.



Şekil 3.16 Enerji yönetimi sayfası

Ekonomik değerlendirme bölümü; yatırım ve giderler belirlendikten ve sisteme girildikten sonra tarifeler, mali sonuçlar ve karbon dengeleme bölümlerinin programa aktarıldığı kısımdır. Şekil 3.17'de ekonomik değerlendirme bölümü sayfası görülmektedir.



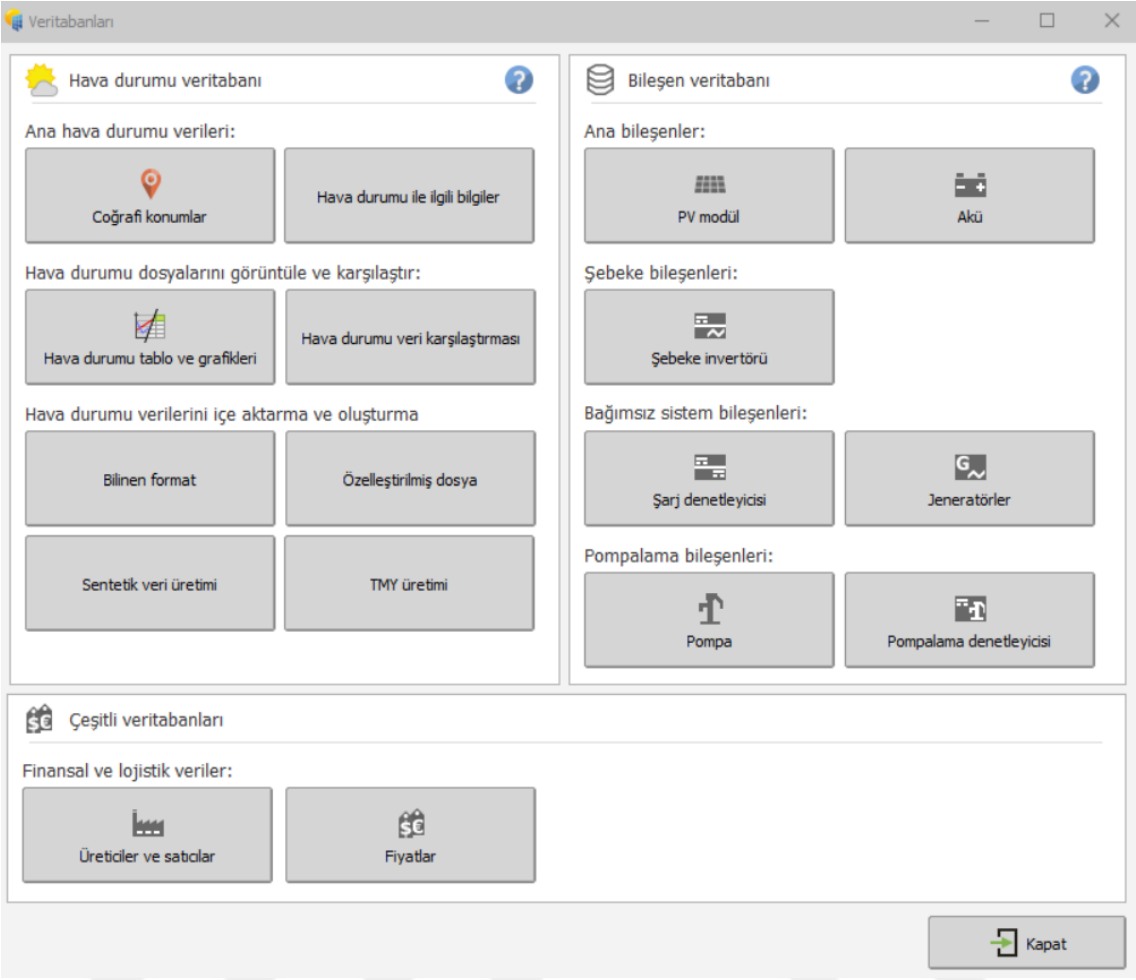
Şekil 3.17 PVsyst ekonomik değerlendirme ekranı

3.1.2.9. Databases (Veri Tabanları)

PV sistemlerinin tasarımı yapılacağı bölgeye ait meteorolojik verilerin ve PV sistemlerinde kullanılan ekipmanlara ait bilgilerin olduğu ya da eklenebildiği bölümdür. PVsyst, güneş enerjisi sistemleri için çeşitli veri tabanlarına sahiptir. Bu veri tabanları, bölgenin iklim koşulları, güneşlenme süreleri, sıcaklık profilleri, rüzgâr hızları ve diğer meteorolojik veriler gibi faktörlerle ilgili bilgileri içerir. PVsyst programı, yer bilgilerini ve iklim verilerini elde etmek için Meteonorm adlı bir veri tabanı kullanır. Meteonorm, dünya genelindeki farklı iklim bölgeleri için güncel ve doğru iklim verilerini sağlayan bir kaynaktır. Bu veri tabanı, güneş enerjisi sistemlerinin performansını analiz etmek için önemli bir kaynaktır.

"Veri tabanları" bölümünde, PVsyst programının hangi veri tabanlarını kullandığı, nasıl erişim sağlandığı ve bu veri tabanlarının nasıl güncellendiği gibi bilgiler yer alır. Ayrıca, kullanıcıların doğru veri tabanını seçme ve doğru iklim verilerini girmek için nasıl adımlar izlemesi gerektiği de açıklanır.

Bu bölüm, PVsyst programının güncel ve doğru verilerle çalışmasını sağlamak için önemli bir role sahiptir. Veri tabanları, güneş enerjisi sistemi tasarımı ve performans analizi için temel bir kaynak olarak kullanılır. Şekil 3.18'de PVsyst uygulamasına ait veri tabanı sayfası yer almaktadır.



Şekil 3.18 Veri tabanı sayfası

3.1.2.10. Tools (Araçlar)

Araçlar bölümü içerisinde güneş araç kutusu içerisinde; güneş geometrisi için tablo ve grafikler, modeller, PV dizilerin elektriksel davranışları, belirlenen verileri ve farklı koşullar için düzlem yönlendirme, aylık hava durumu hesaplaması ve işletme voltajı optimizasyonu bölümleri bulunmaktadır.

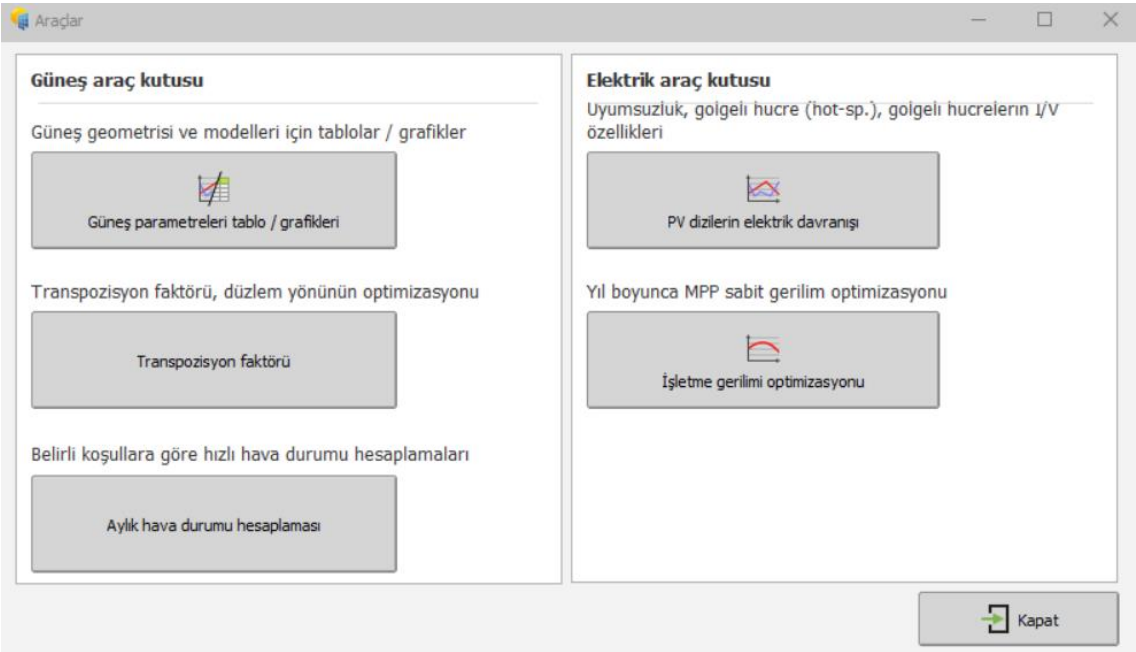
Ölçülen değerler kısmında; gerçek bir sistemde ölçülen verilerin analizi bulunmaktadır. Özel dosyalardan veri alma, ölçülen veri dosyalarının görüntülenmesi ve analizi, simülasyon değerleri (ölçülen veri analizi) yer almaktadır.

PVsyst programında veri tabanları ve araçlar bölümü daha detaylı veriler girerek gerçek sisteme yakın sonuçlar elde etmek için önemli bölümlerdir. Bu çalışmada kayıpların ve grafiklerin gerçeğe daha yakın sonuçlar vermesi adına bu bölümler de detaylandırılacaktır. Yapılacak çalışma PVsyst programından alınacak sonuç raporunun eklenmesi ile tamamlanacaktır. Sonuç raporu sistemin tüm bilgilerini içeren ve karşılaştırmanın yapılmasını sağlayacak olan bölümdür. Bu aşamadan sonra sahadan

alınan gerçek veriler ve program çıktısı olarak alınan veriler karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma sonrası programın verdiği sonuçların doğruluk oranı görülebilecektir.

Programdan alınacak olan kayıp bilgileri ile ilgili çıktılar, grafikler, sistemin kapasite bilgileri, tasarım alanı görünümü ve gölgelenme analizi bilgileri raporda yer alacaktır. Bu sonuçların tamamı çalışmada paylaşılacaktır.

Şekil 3.19'da araçlar sayfası ekranı yer almaktadır.



Şekil 3.19 Araçlar sayfası

3.2. Saha Verileri ve Kullanılan Ekipmanlar

Ankara ili, Şereflikoçhisar ilçesi, Kadıncık köyü, 112 Ada 33 parselde işletmede olan 992,25 kWp / 945 kWe kurulu gücünde güneş enerjisi santrali için PVsyst programı verileri karşılaştırılacaktır. Program üzerinden doğru değerlendirme yapılabilmesi için gerçek saha koşulları program üzerinde tanımlanmıştır. Proje sahasında 21 adet seri bağlı PV modülden oluşan 189 adet PV modül dizisi yer almaktadır. Bu diziler 63 adet eviriciye bağlanmıştır. Sahada kullanılan panellere ve inverterlere ilişkin teknik detaylar aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 3.1'de güneş panellerinin teknik özellikleri, Çizelge 3.2'de ise inverter teknik özellik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Güneş paneli teknik özellikleri

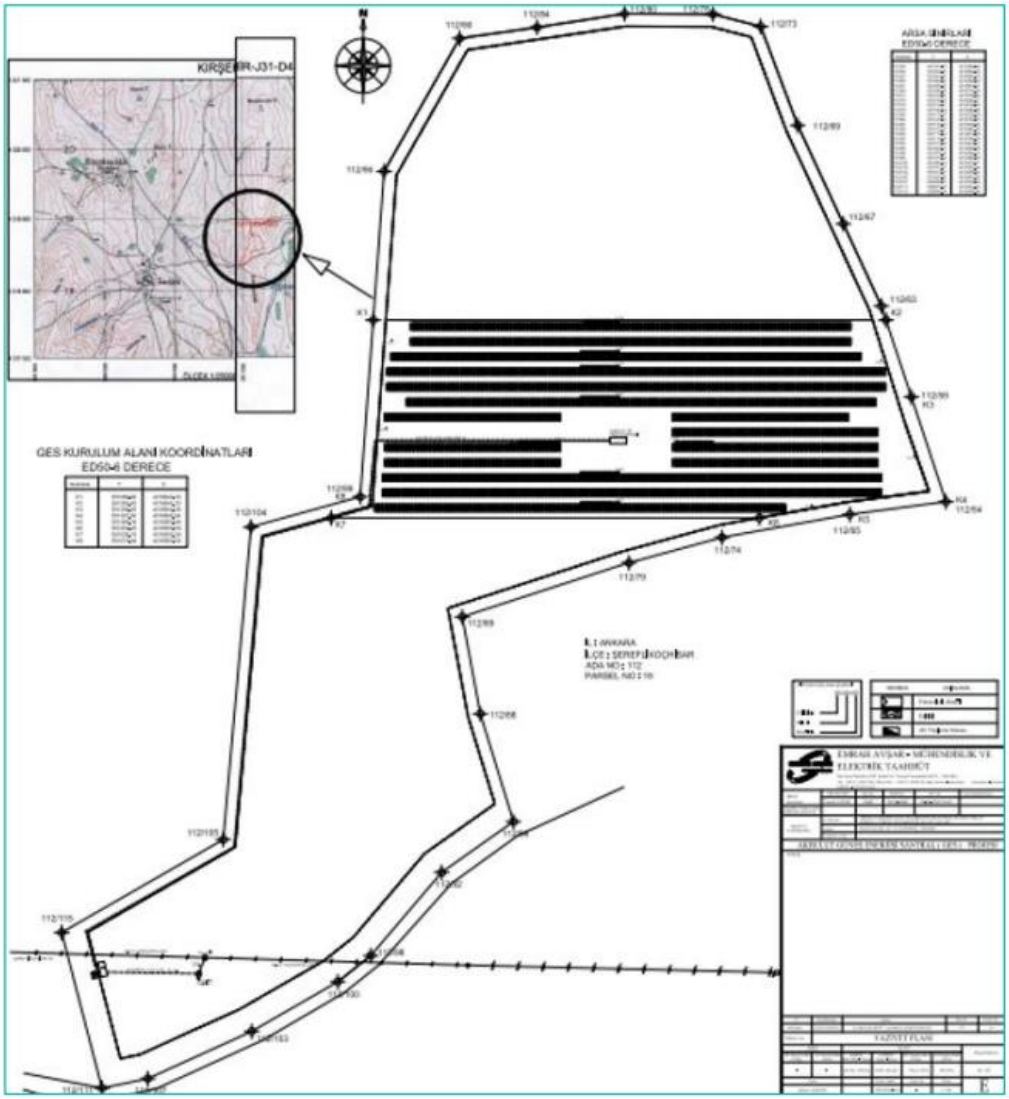
Üretici Firma	Hyundai HIS-M250MG
Maksimum Modül Gücü	250Wp
Boyutları	983 mm (W) × 1,645 mm (L) × 35 mm (H)
Toplam Modül Sayısı	3969
Verim	%15.46

Çizelge 3.2 İnverter teknik özellikleri

Üretici Firma	Voltwerk VS 15
Tipi	String
Toplam Evirici Sayısı	63
Maksimum Giriş Gerilimi	1000 V DC
Çıkış Gücü (AC)	15 kW
Verim	%98

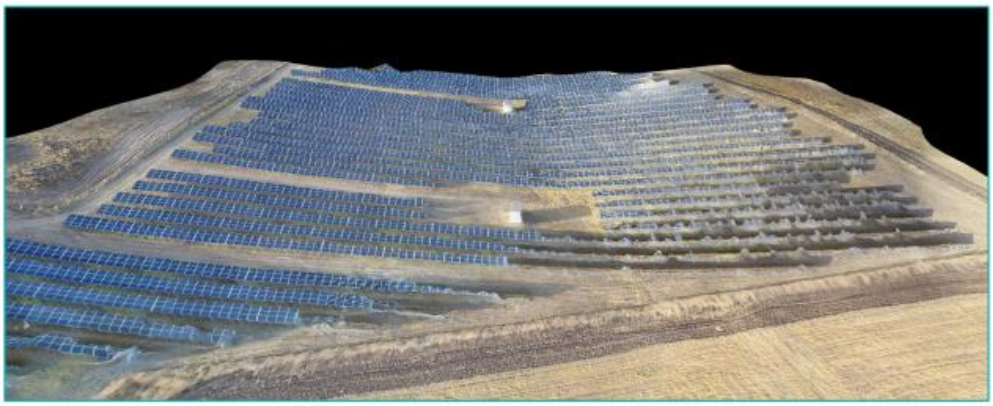
Proje sahasının kurulumu, 2014 yılında planlama çalışmalarında belirtilen parsel içerisine yapılmıştır. Proje sahası, toplam 3 adet GES uygulamasının bulunduğu bir kompleks içerisindedir. Çevresinde gölgelenme oluşturacak herhangi bir yapı gözlenmemiştir. Arazi doğu ve batı eğimli bir vadi yapısındadır. Ancak, üretimde belirgin sınırlamalar oluşturacak eğimler yoktur.

Şekil 3.20’de proje sahasına ait Kentsite vaziyet planı yer almaktadır.



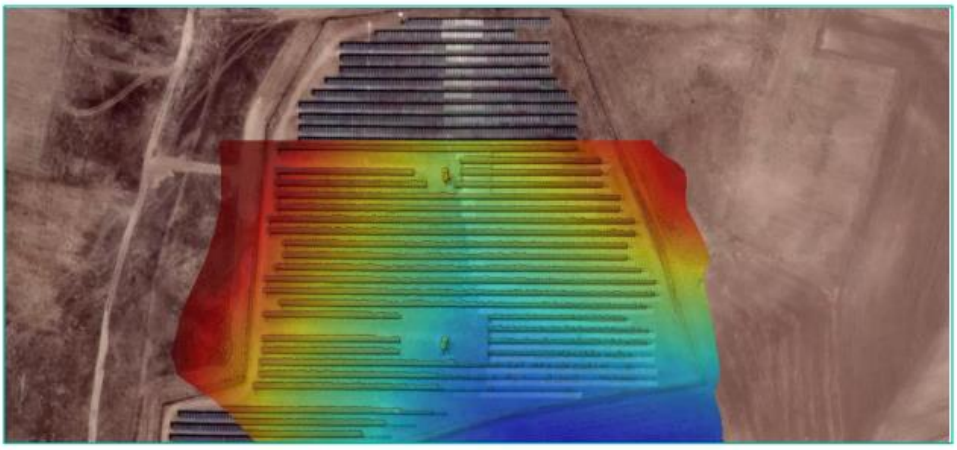
Şekil 3.20 Kentsite vaziyet planı

Şekil 3.21'de sahaya ait havadan çekilen görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.21 Arazi görünümü

Şekil 3.22 proje sahasına ait yükseklik analiz görüntüsü verilmiştir.

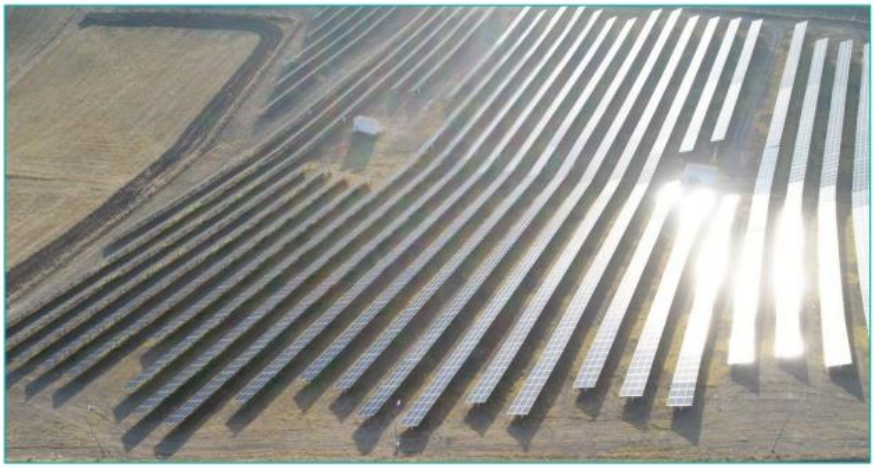


Şekil 3.22 Yükseklik profili

Şekil 3.23'de proje alanına ait genel görünümü verilmiştir.

Şekil 3.23 Genel görünüm

Şekil 3.24'de santral sahasının üstten görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Üstten görünüm

Santralin zemini ise toprak kaplıdır. Sahadaki tüm santrallerin çevresini dolaşan ve trafo köşkerine ulaşımı sağlayan yollar açılmış, ancak toprak zemin çakılla güçlendirilmemiştir. Proje sahasında kısmen otlanma gözlenmiştir, ancak üretime olumsuz bir etkisi olmayacağı değerlendirilmektedir. Şekil 3.25'de proje sahasının çevresine ait bir görüntü yer almaktadır.

Şekil 3.25 Santralin kurulu olduğu zemin ve çevre yolları

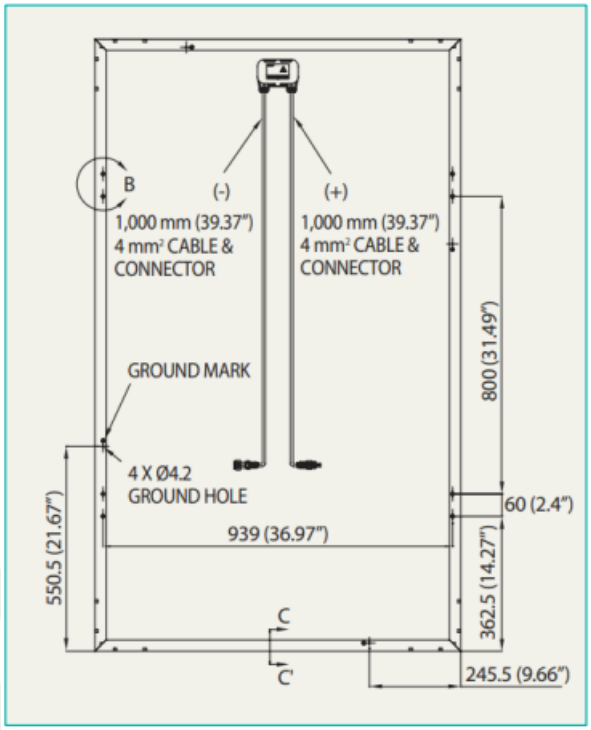
Santral sahasının tamamında topraklama yapılmıştır. Projeye uygun bir şekilde aynı sıradaki tüm sehpalar birbirlerine ve uçlarından 8 mm çaplı galvanizli iletkenle tel çite bağlanmıştır. Galvanizli iletkenin taşıyıcı sisteme cıvata-somun çiftiyle sabitlenmesi zamanla gevşeme nedeniyle temasın azalması hatta kopmasına neden olmaktadır. İnvertör metal gövdesi vidayla taşıyıcıya bağlanarak topraklama sağlanmıştır. Trafo hücresi 30x3,5 mm^2 galvaniz şeritle topraklama barasına bağlanmıştır. Proje sahasında kullanılan PV modüllerin montaj kılavuzunda PV modüllerin koruyucu topraklama bağlantılarının yapılması gerektiği belirtilmiştir. PV modül çerçevelerinde 4 adet 4,2 mm çapında topraklama bağlantısı bulunmaktadır. Şekil 3.26'da taşıyıcı sisteme ait topraklama bağlantıları yer almaktadır.

Şekil 3.26 Taşıyıcı sistem topraklama bağlantıları

Şekil 3.27'de eviriciye ait topraklama bağlantısı gösterilmiştir.

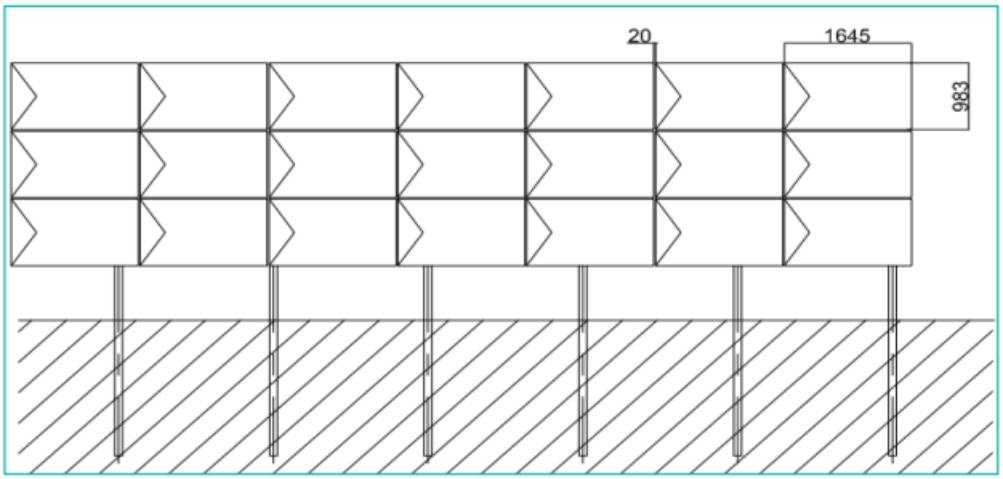
Şekil 3.27 Evirici topraklama bağlantısı

Şekil 3.28'de güneş paneli modülüne ait teknik detaylara yer verilmiştir.

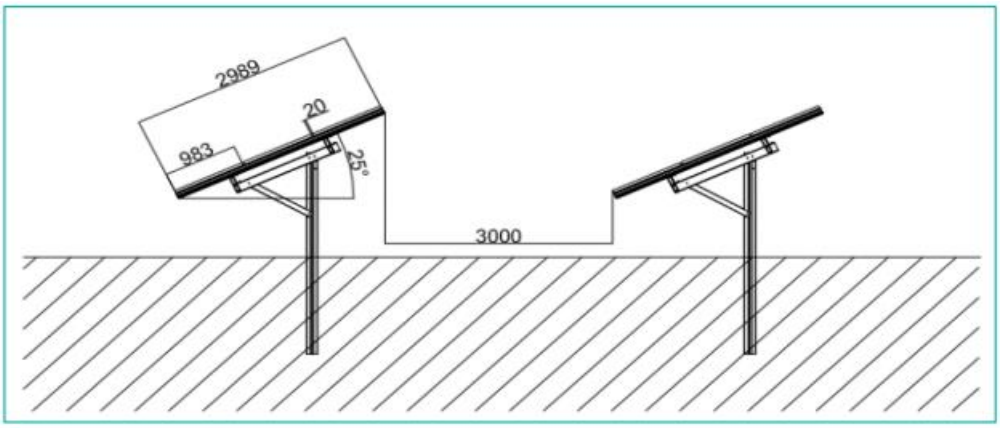


Şekil 3.28 PV modül teknik detayı

Taşıyıcı sistem; güney yönünde, yatayla 25° açılı sabit bir sistem olarak tasarımlanmıştır. PV modüller, 2 m aralıkla çakılmış tek sıra kolonlar tarafından taşınan iki sıra kiriş üzerine, panellerin kısa kenarlarını tutan aşıklarla sabitlenmiştir. Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da taşıyıcı sistemin kurulum detayı yer almaktadır.



Şekil 3.29 Taşıyıcı sistem kurulum detayları -1



Şekil 3.30 Taşıyıcı sistem kurulum detayları- 2

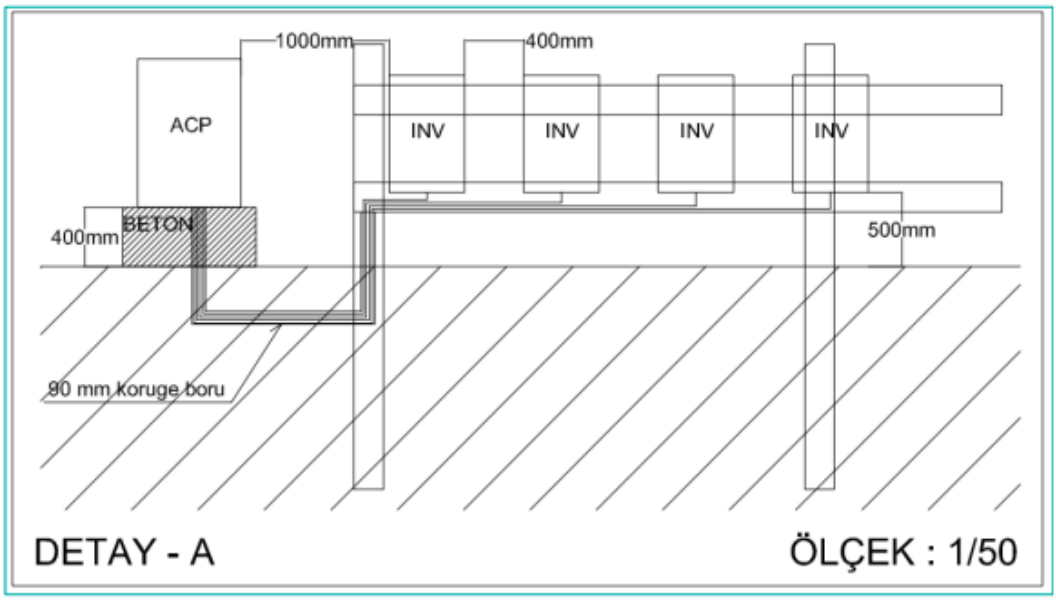
Taşıyıcı sistemde, gölgelenme mesafeleri 3 m olarak planlanmış, ancak uygulamada daha yüksek mesafeler bırakıldığı gözlenmiştir.

Proje sahasında, 250 W gücünde Hyundai HIS-M250MG PV modül kullanılmıştır. PV modüller 3 yatay konfigürasyonda monte edilmiştir. PV modül dizileri eviricilere 21 seri olacak şekilde bağlanmıştır. PV modüllerin sahada meydana gelebilecek hasarları gözlemlendiğinde bunların başında sıcaklık kaynaklı yıpranmalar gelmektedir. Bu kapsamda yapılan saha gözlemlerinde panellerin yaklaşık % 10'unda sıcaklık hasarı gözlenmiş, ancak termal denetim ve I-V testlerinde bu hasarla ilişkili bir üretim kaybına rastlanmamıştır. Şekil 3.31'de güneş enerji panelinde oluşabilecek olan ısınmaya bağlı arızaya ait görüntüler gösterilmiştir.

Şekil 3.31 Aşırı ısınmaya bağlı oluşan PV modül hasarları

PV modüllerin üzerinde kuş pislikleri gözlenmiştir. Santralin Tuz gölüne yakın olması kuş sürülerinin göç yolu üzerinde olduğunu düşündürmektedir. Eviriciler için Voltwerk marka bir izleme sistemi mevcut olup sahanın yüksek verimde çalışmasını

sağlamaktadır. Aynı zamanda evirici izleme sistemi santralin bakımının yapılması işlemini kolaylaştırmaktadır. Şekil 3.32'de eviricinin kurulum detayı, Şekil 3.33'de eviricinin montaj detayı ve Şekil 3.34'de ise evirici sistemin izlenme sistemine ait görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.32 Evirici kurulum detayı

Şekil 3.33 Evirici montaj detayı

Şekil 3.34 Voltmerk evirici izleme sistemi

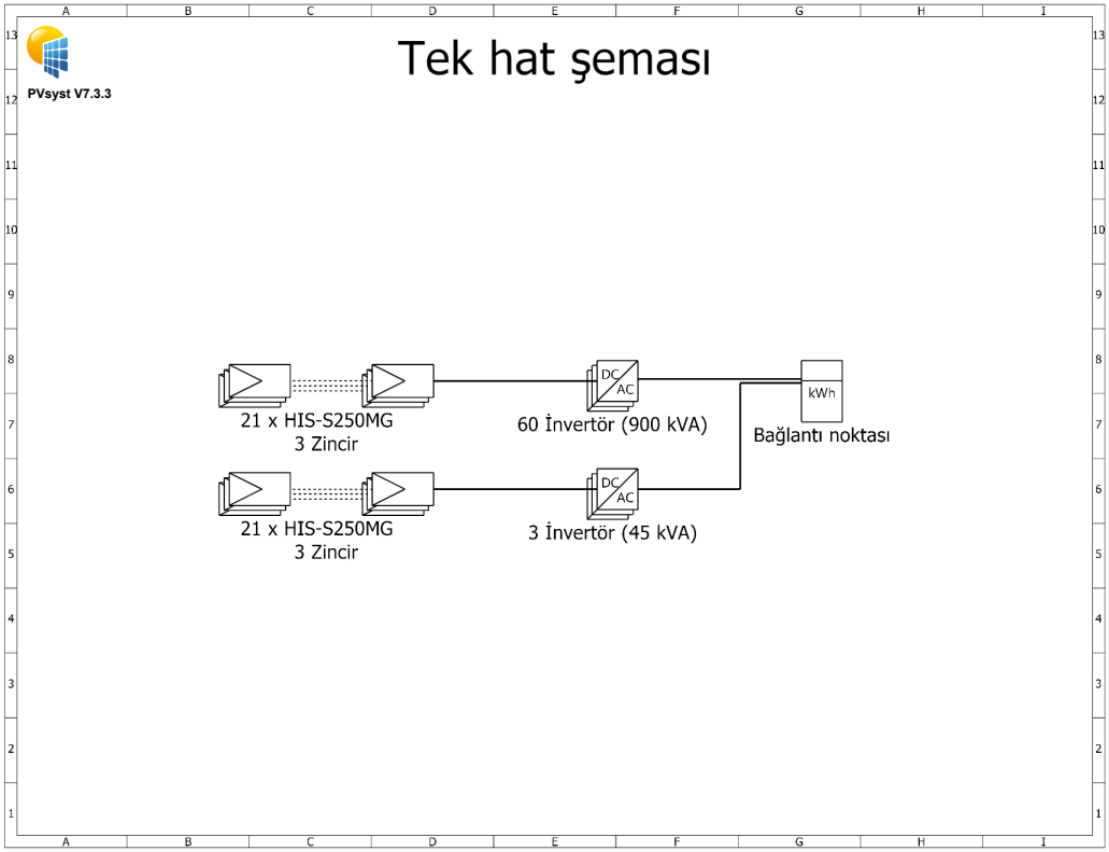
Proje sahasında 15 kW kapasiteli Voltwerk VS 15 dizi eviriciler kullanılmıştır. Saha 63 adet eviriciyle devreye alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Projenin doğru değerlendirilmesi için gerçek verilere uygun panel sayısı, inverter sayısı, panel ve inverterlerin kapasitesi, kurulumun yerleşim şekli, panel eğimi, yönelimi, güneş ışığına maruz kalma süresi ve saatindeki farklılıklar da incelenmelidir. Bu çalışmada gerçeğe uygun olması için gerçek saha koşulları programa girilerek doğru değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

Simülasyon çalıştırılıp analiz yapıldıktan sonra rapor kısmından tasarlanan sistemin tüm sonuçları verilmektedir. Rapor ilk sayfasında sistemin kurulacağı alan bilgileri, masa ayarları, PV model özellikleri, PV alanı kayıp faktörleri yer almaktadır.

Sistemi genel olarak görebilmemizi sağlayan tek hat şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Tek hat şeması

Şekil 4.2'de PVsyst programının oluşturduğu projeye ait genel bilgileri içeren özet kısmı yer almaktadır.

Proje özeti

Coğrafi konum	**Konum**		**Proje ayarları**	
Kadıncık	Enlem	39.01 °N	Albedo	0.20
Türkiye	Boylam	33.59 °E		
	Rakım	1084 m		
	Saat dilimi	UTC+3		

Hava durumu verileri
Kadıncık
Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=% 100 - Sentetik

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem
Yıl no 10 için simülasyon

Zeminde dizi

Kolektör düzleminin yönlendirmesi		**Yakın gölgelemeler**	**Kullanıcı ihtiyaçları**
Sabit düzlem		Lineer gölgelemeler	Sabit yük
Eğim/Azimut	25 / 0 °		114 W
			Global
			999 kWh/Yıl

Sistem bilgisi

PV alanı		**İnvertör**	
Panel sayısı	3969 adet	Öğe sayısı	63 adet
Toplam nom. güç	992 kWp	Toplam nom. güç	945 kWac
		Şebeke güç sınırı	992 kWac
		Şebeke sınır Pnom oranı	1.000

Sonuçların özeti

Üretilen enerji	1458651 kWh/yıl	Üretilebilir	1470 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	73.27 %
Tüketilen enerji	999 kWh/yıl			Güneş enerjisi oranı (SF)	46.84 %

Şekil 4.2 Proje özeti çıktısı

Şekil 4.3’ te PV modül ve inverter için teknik özellikler ve kullanım adetlerine ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır.

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem — **Zeminde dizi**

Kolektör düzleminin yönlendirmesi

Yönlendirme		**Dizi ayarları**		**Kullanılan modeller**	
Sabit düzlem		Dizi sayısı	68 adet	Transpozisyon	Perez
Eğim/Azimut	25 / 0 °	Dizi alan, özdeş		Difüz	Perez, Meteonorm
		Boyutlar		Circumsolar	ayrı
		Dizi aralığı	5.80 m		
		Kolektör eni	2.99 m		
		Arazi kullanım oranı (GCR)	51.5 %		
		Gölgeleme açı sınırı			
		Profil açı sınırı	22.2 °		

Ufuk		**Yakın gölgelemeler**	**Kullanıcı ihtiyaçları**
Ortalama yükseklik	2.4 °	Lineer gölgelemeler	Sabit yük 114 W Global 999 kWh/Yıl

Şebeke gücü kısıtlaması

Aktif güç	992 kWac
Nom. güç oranı	1.000

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		**İnvertör**	
Üretici	Generic	Üretici	Generic
Model	HIS-S250MG	Model	VS15
(Orijinal PVsyst veritabanı)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	250 Wp	Birim gücü	15.0 kWac
PV modül sayısı	3969 adet	İnvertör sayısı	63 adet
Nominal (STC)	992 kWp	Toplam güç	945 kWac
Modül	189 Zincir x 21 Seri	Çalışma gerilimi	450-800 V
İşletme şartlarında (50°C)		Nom. güç oranı (DC:AC)	1.05
Pmpp	883 kWp		
U mpp	568 V		
I mpp	1554 A		

Total PV gücü		**İnvertör toplam gücü**	
Nominal (STC)	992 kWp	Toplam güç	945 kWac
Toplam	3969 modül	İnvertör sayısı	63 adet
Panel yüzeyi	6418 m²	Nom. güç oranı	1.05
Hücre yüzeyi	5652 m²		

Şekil 4.3 Şebekeye bağlı sistem için genel parametreler

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te kurulan santralin sürece bağlı olarak meydana gelecek dizi kayıplarını içeren detayları içermektedir. Dizi kayıpları, PV modülünün çalışma sıcaklığı, modül arka yüzeyinde biriken kiri veya tozu, güneş ışınlarının düşme açısı ve gölgeleme gibi etkenlerden kaynaklanabilir. Bu faktörler, PV modülünün güç çıkışını azaltabilir ve dolayısıyla sistem performansını etkiler.

Dizi kayıpları

Alan kirlenmesi
Kayıp oranı 3.0 %

Termal kayıp faktörü
Işınıma göre modül sıcaklığı
Uc (sabit) 29.0 W/m²K
Uv (rüzgar) 0.0 W/m²K/m/s

DC kablolama kaybı
Global alan direnci 6.2 mΩ
Kayıp oranı 1.5 STC'de%

Seri diyot kaybı
Gerilim düşüşü 0.7 V
Kayıp oranı 0.1 STC'de%

LID - "light Induced degradation"
Kayıp oranı 2.0 %

Modül kalite kaybı
Kayıp oranı 1.5 %

Şekil 4.4 Dizi kayıpları

Dizi kayıpları

Modül uyumsuzluk kaybı
Kayıp oranı 2.0 MPP'de%

Dizi uyumsuzluk kaybı
Kayıp oranı 0.2 %

Modül ortalama degradasyon
Yıl no 10
Kayıp faktörü 0.4 %/yıl
Degradasyon nedeniyle uyumsuzluk
Imp RMS dağılımı 0.4 %/yıl
Vmp RMS dağılımı 0.4 %/yıl

IAM kayıp faktörü
ASHRAE Parametre: IAM = 1 - bo (1/cosi -1)
bo param. 0.05

Spektral düzeltme
FirstSolar modeli
Bağıl nemden hesaplanan yoğuşabilir su

Katsayısı seti	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0,85914	-0,02088	-0,0058853	0,12029	0,026814	-0,001781

Sistem kayıpları

Sistemin kullanılamazlığı
Zaman oranı 2.0 %
7.3 gün,
3 dönemler

Yardımcı kayıpları
Gece ardımcı tüketimi 2.00 kW

AC kablolama kaybı

İnv. çıkışından enjeksiyon noktasına
İnvertör gerilimi 400 Vac tri
Kayıp oranı 0.14 STC'de%
İnvertör: VS15
Kablo kesiti (63 İnv.) Alü 63 x 3 x 95 mm²
Ortalama kablo uzunluğu 44 m

Şekil 4.5 Dizi kayıpları ve sistem kayıpları

Şekil 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.

Ufuk tanımlaması

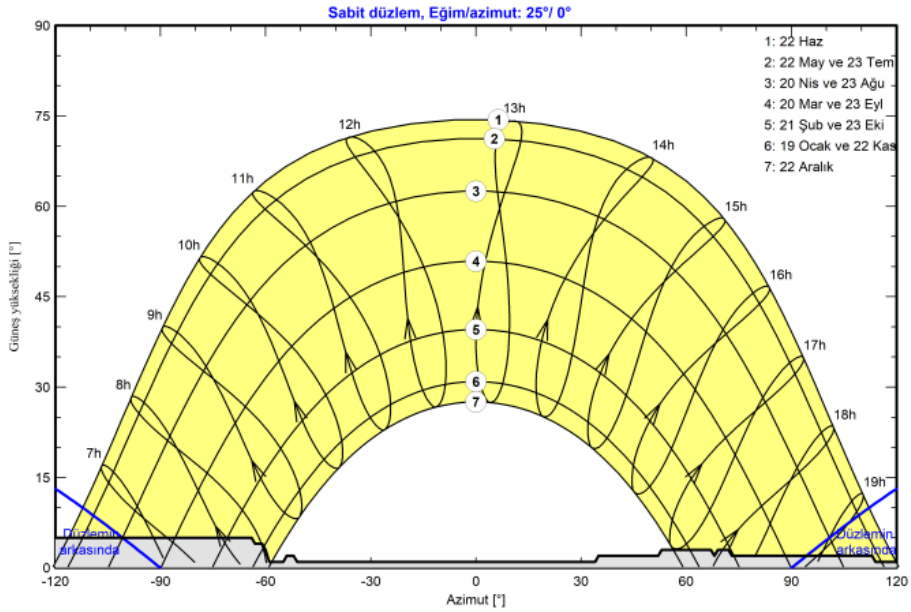
Meteonorm ufuk, Lat. = 39.015°, Lon. = 33.589°

Ortalama yükseklik	2.4 °	Albedo faktörü	0.94
Difüz faktörü	0.99	Albedo oranı	100 %

Ufuk profili

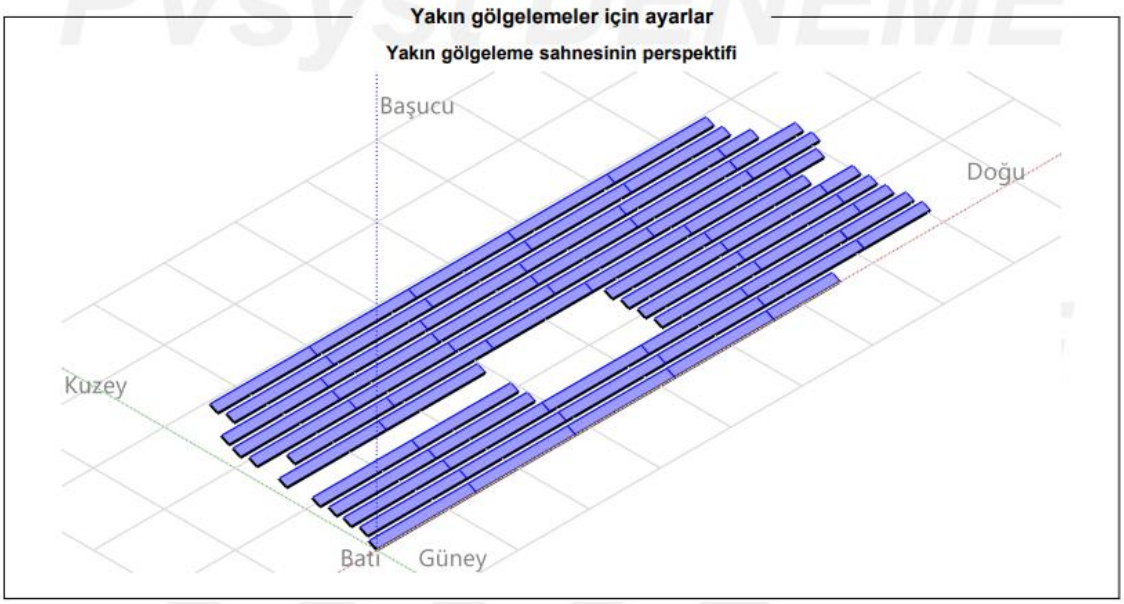
Azimut [°]	-180	-171	-170	-166	-165	-133	-132	-128	-127	-121	-120	-64
Yükseklik [°]	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0	5.0
Azimut [°]	-63	-61	-60	-59	-55	-54	-52	-51	34	35	52	53
Yükseklik [°]	4.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0
Azimut [°]	67	68	69	72	73	113	114	178	179	180		
Yükseklik [°]	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0		

Güneş yörüngesi (yükseklik/azimut diyagramı)



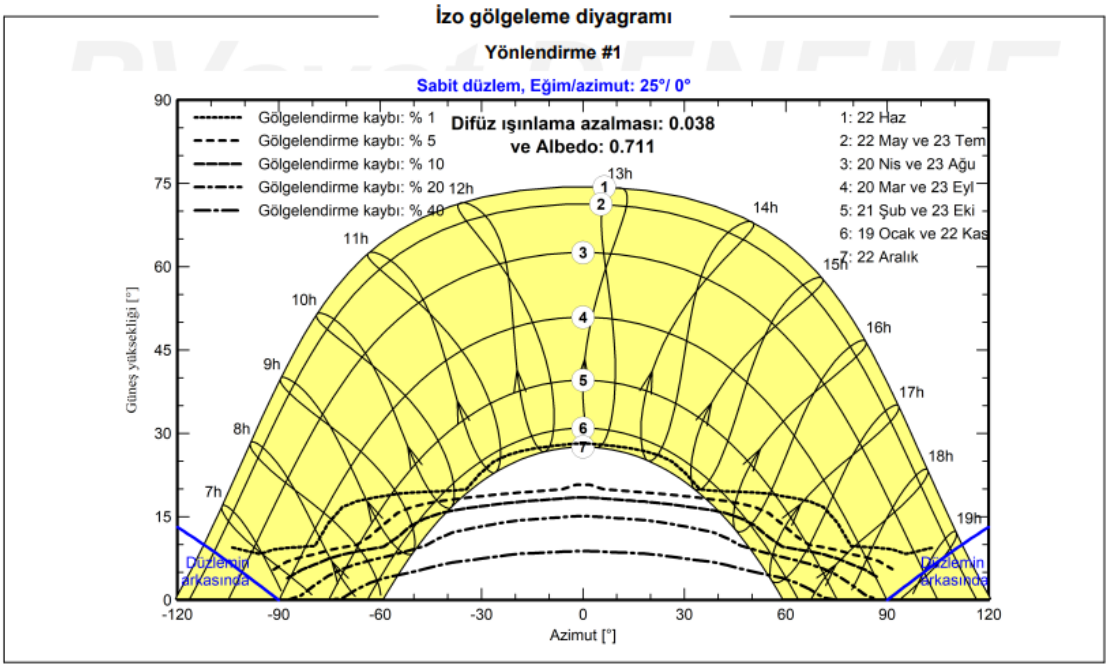
Şekil 4.6 Ufuk tanımlaması

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



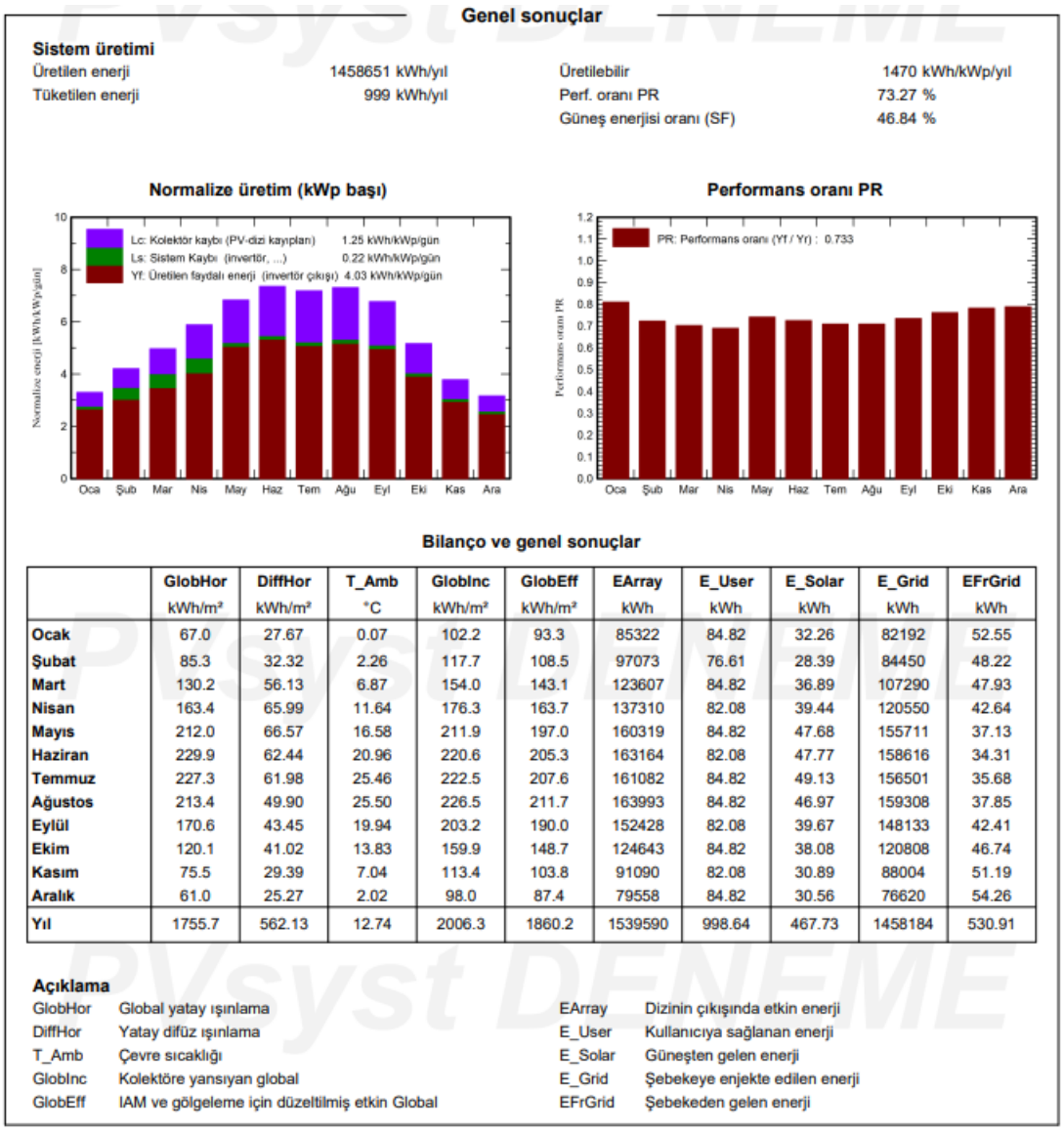
Şekil 4.7 Yakın gölgelemeler için ayarlar

İzo gölgeleme grafiği, gölgelenmenin güneş panelleri üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılır. Gölgeleme, bir veya birden fazla panelden kaynaklanabilir ve panel verimliliğini düşürebilir. İzo gölgeleme grafiği, hangi panellerin, hangi saatlerde ve hangi açılarda gölgelendiğini göstererek, tasarım sürecinde gölgelenme problemlerini belirlemeye yardımcı olur. Bu grafik, gölgeleme analizinin görsel bir temsili olduğu için, tasarım sürecinde gölgelenme riskini değerlendirmek ve sistemin optimum verimlilik için nasıl optimize edilebileceğini anlamak için kullanılır. Şekil 4.8'de güneş panelleri gölgelenme analizini göstermektedir.



Şekil 4.8 İzo gölgeleme diyagramı

Değerlendirme yöntemlerinden biri için performans oranı (PR) kullanılır. PV santralinin performansı olarak verilmektedir. Performans oranı aylara göre sistemin enerji çıktısının oranıdır (Yadav, Kumar, & Chandel, 2015). Şekil 4.9' da performans oranı ve genel sonuçların yer aldığı enerji üretim analizi çıktısı yer almaktadır.



Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji	1458651 kWh/yıl	Üretilebilir	1470 kWh/kWp/yıl
Tüketilen enerji	999 kWh/yıl	Perf. oranı PR	73.27 %
		Güneş enerjisi oranı (SF)	46.84 %

Normalize üretim (kWp başı)

Performans oranı PR

Bilanço ve genel sonuçlar

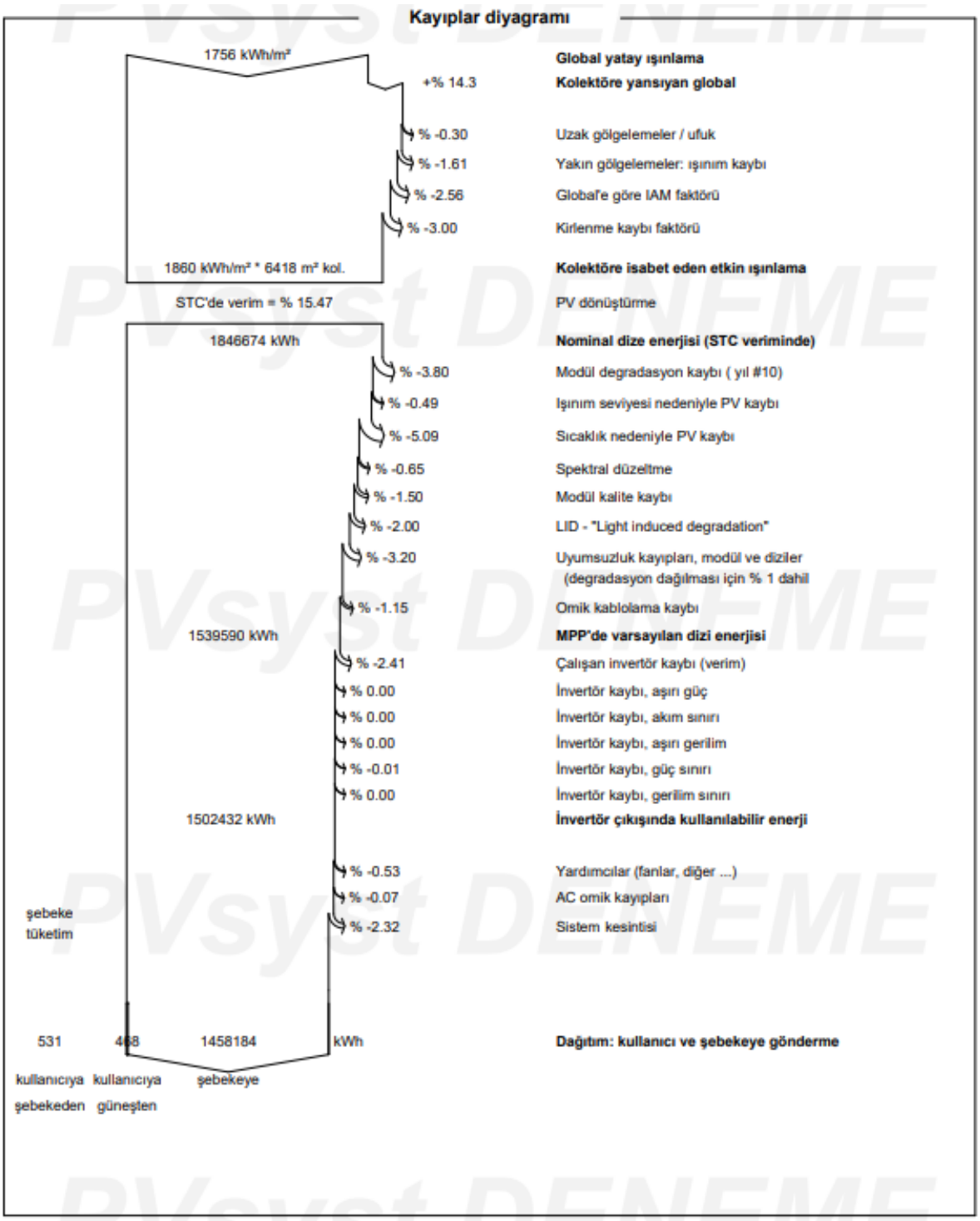
	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Ocak	67.0	27.67	0.07	102.2	93.3	85322	84.82	32.26	82192	52.55
Şubat	85.3	32.32	2.26	117.7	108.5	97073	76.61	28.39	84450	48.22
Mart	130.2	56.13	6.87	154.0	143.1	123607	84.82	36.89	107290	47.93
Nisan	163.4	65.99	11.64	176.3	163.7	137310	82.08	39.44	120550	42.64
Mayıs	212.0	66.57	16.58	211.9	197.0	160319	84.82	47.68	155711	37.13
Haziran	229.9	62.44	20.96	220.6	205.3	163164	82.08	47.77	158616	34.31
Temmuz	227.3	61.98	25.46	222.5	207.6	161082	84.82	49.13	156501	35.68
Ağustos	213.4	49.90	25.50	226.5	211.7	163993	84.82	46.97	159308	37.85
Eylül	170.6	43.45	19.94	203.2	190.0	152428	82.08	39.67	148133	42.41
Ekim	120.1	41.02	13.83	159.9	148.7	124643	84.82	38.08	120808	46.74
Kasım	75.5	29.39	7.04	113.4	103.8	91090	82.08	30.89	88004	51.19
Aralık	61.0	25.27	2.02	98.0	87.4	79558	84.82	30.56	76620	54.26
Yıl	1755.7	562.13	12.74	2006.3	1860.2	1539590	998.64	467.73	1458184	530.91

Açıklama

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

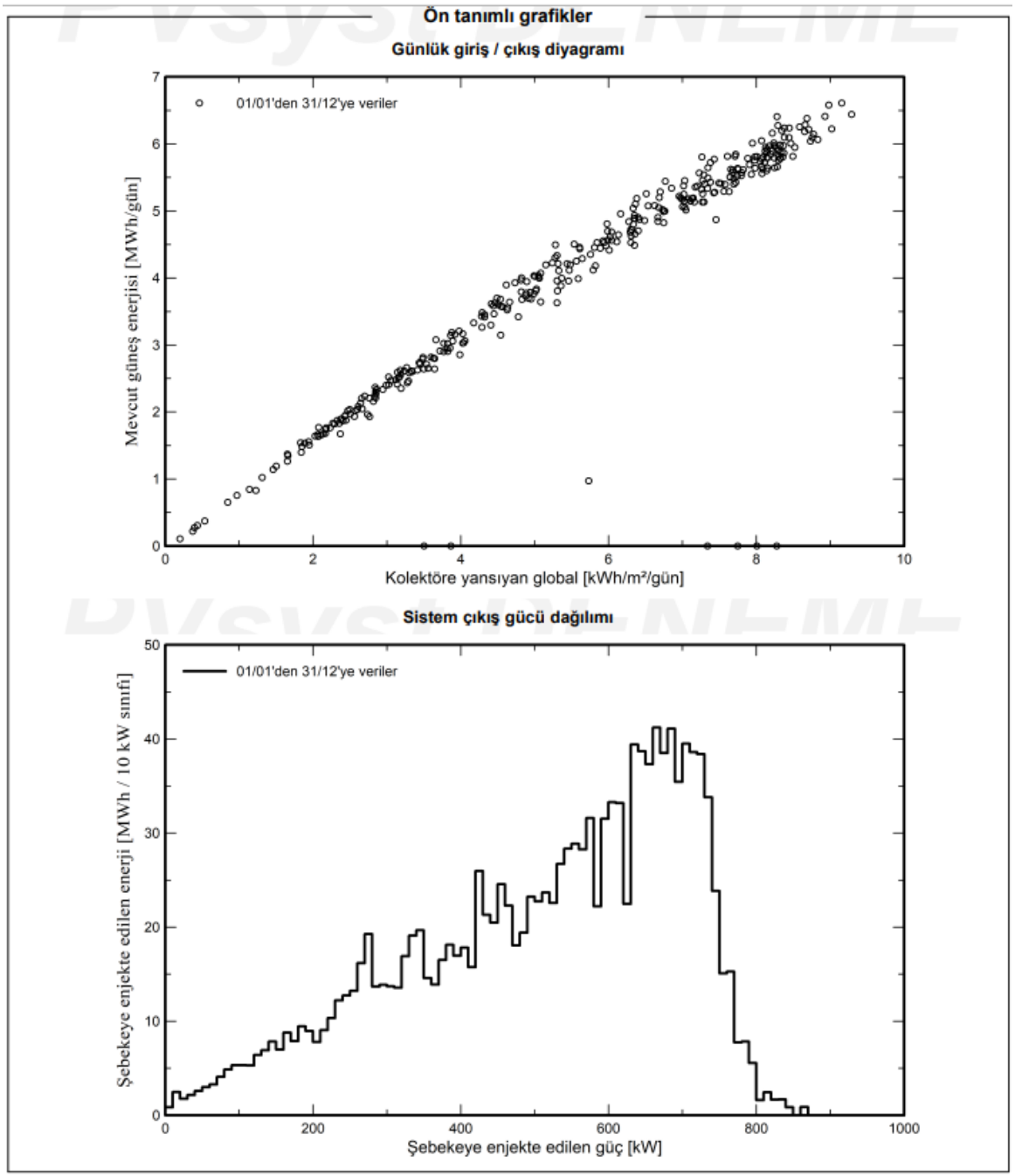
Şekil 4.9 Genel sonuçlar ve performans analizi çıktısı

Şekil 4.10'da görülen kayıplar grafiği yorumlandığında ilk kayıp bölümü optik kayıpları, ikinci kısım dizi kayıplarını, üçüncü kısım sistem kayıplarını göstermektedir (Amin, 2022).



Şekil 4.10 Kayıplar grafiği

Şekil 4.11'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.

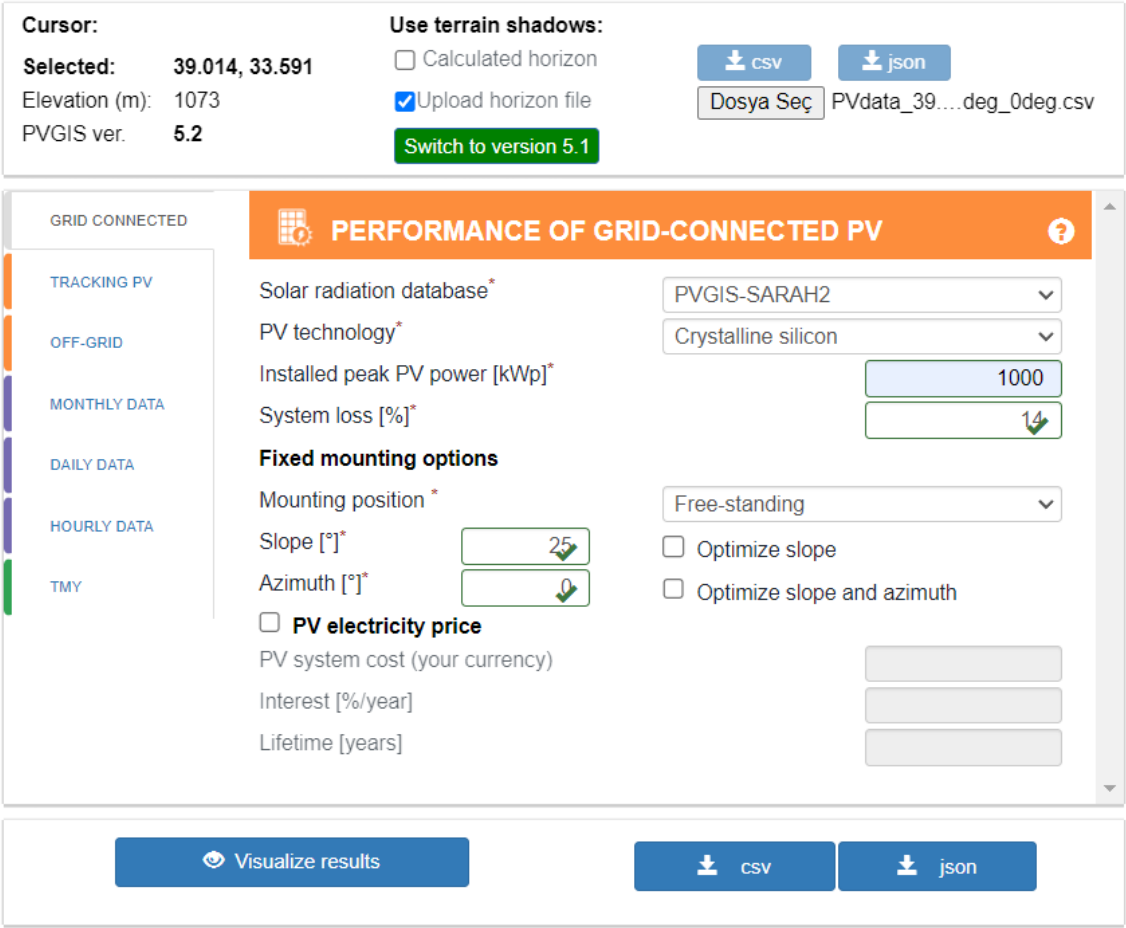


Şekil 4.11 Ön tanımlı grafikler

4.1. PVGIS Programı Verileri

PVGIS'in online bölümü, kullanıcılara coğrafi konum temelli olarak güneş ışınımı, hava sıcaklığı, radyasyon, eğim, açı, gölgeleme analizi gibi verileri sunar. Bu veriler, PV sistemlerinin verimliliğini tahmin etmek ve performanslarını optimize etmek için önemli bilgiler sağlar.

Şebekeye bağlı 1MW sistem için PVGIS programı online bölümü ile tasarım yapılarak alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4.12' de PVGIS programı giriş parametreleri ekranı görülmektedir.

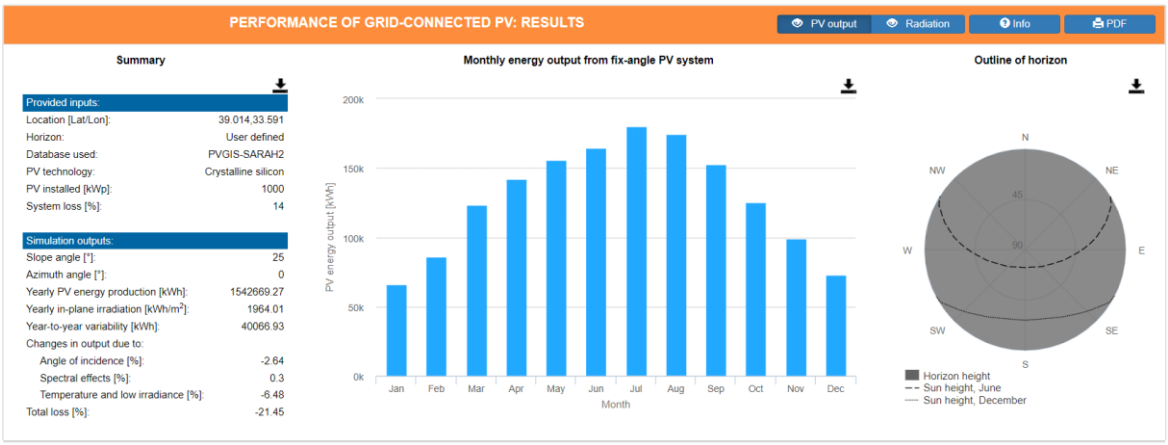


Şekil 4.12: PVGIS parametrelerin giriş ekranı

PV output, PV sistemlerinin tahmini enerji üretimini ve performansını gösteren bir çıktı bölümüdür. PV output, PVGIS ve benzeri yazılımlar tarafından sağlanan bir rapordur ve kullanıcıların belirli bir coğrafi konum için PV sistemi performansını tahmin etmelerine olanak sağlar.

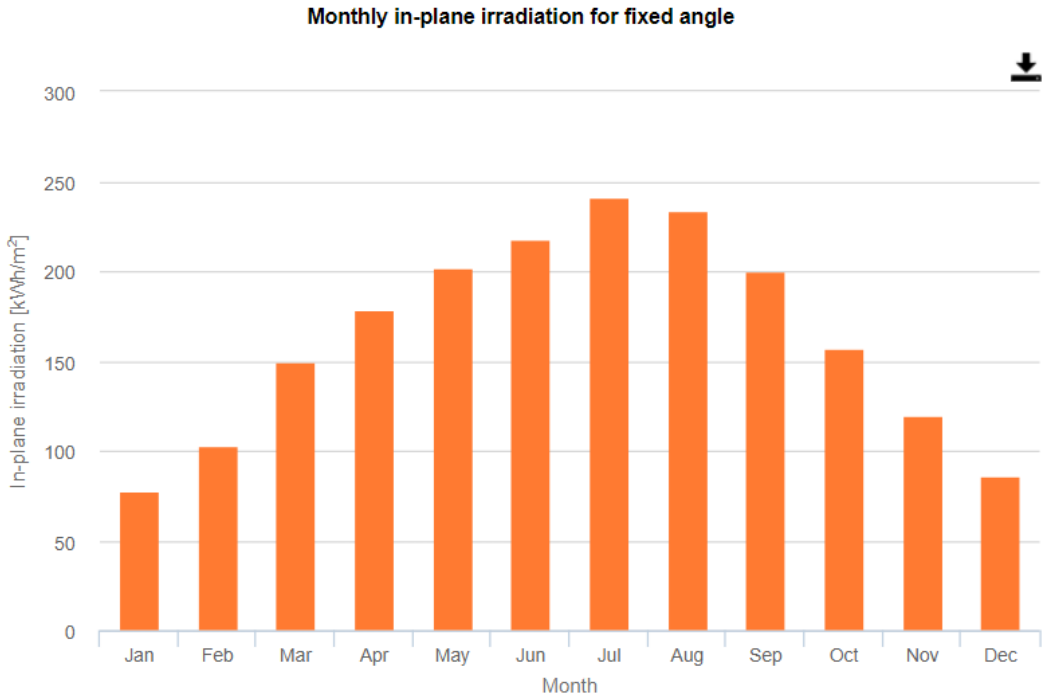
PV output bölümü, güneş ışınımı verilerini, hava sıcaklığını, rüzgar hızını ve diğer çevresel parametreleri kullanarak PV sisteminin yıllık, aylık veya saatlik enerji üretimini tahmin eder. Bu tahminler, PV sistemi tasarımının optimizasyonunda, performans analizinde ve enerji yönetiminde önemli bir rol oynar.

Şekil 4.13' te aylık enerji çıkış grafiği ve çıktıların yer aldığı ekran verilmektedir.



Şekil 4.13: PVGIS programı PV output bölümü ekran çıktısı

Şekil 4.14' te sabit düzlem için aylık ışınım grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.14: Sabit düzlem için aylık ışınım grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, PVsyst simülasyonu kullanılarak tasarlanan 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin benzetimi yapılarak çeşitli sonuçların elde edildiği bir araştırmayı kapsamaktadır. Projenin gerçek saha koşullarını dikkate alarak doğru bir değerlendirme yapmak amacıyla panel sayısı, inverter sayısı, panel ve inverterlerin kapasitesi, kurulumun yerleşim şekli, panel eğimi, yönelimi, güneş ışığına maruz kalma süresi ve saatindeki farklılıklar gibi faktörler gerçek verilere dayanarak incelenmiştir.

Gerçek saha verileri dikkate alınarak 250 Wp 3969 adet güneş paneli sisteme tanıtılmıştır. Sisteme bağlantı şekli 21'li seriler halinde 189 adet paralel diziden oluşmaktadır. Panel yerleşimi yapıldığında sistemin kapladığı alan 6418 m^2 olmaktadır. PVsyst sistem bölümüne girilen bir diğer sistem elemanı olan inverter 63 adet 15 kW güç değerindedir.

Panel yerleşimleri yakın gölgelemeler bölümünde saha yerleşimine uygun olarak dizilmiş olup eğim açısı 25° ve güney yönünde yerleştirilmiştir. Analizin doğru sonuçlar vermesi için gerçek saha verileri programa tanıtılmış ve panel yerleşimleri yapılmıştır.

Güneş santrali 1 MW sistem için tasarlanmış olup kurulum yapılacak alan dikkate alınarak yapılan hesaplama sonucu 945 kWe olarak verilmiştir. Programa sahada kullanılan panel sayısı ve inverter değerleri girildiği için değerlendirme 945 kWe üzerinden yapılmıştır. Sonuçları karşılaştırmak ve doğruluk analizi yapmak hedeflendiği için ve ayrıca santralin güç değerinin 1 MW güç değerine yakınlığı da göz önünde bulundurularak analizler yapılmıştır.

PVsyst verilerine göre santralden alınacak yıllık toplam elektrik enerjisi değeri 1458184 kWh olup saha incelemeleri sonucu yıllık toplam elektrik enerjisi değeri 1528217 kWh olarak verilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında PVsyst programından alınan yıllık toplam elektrik enerjisi değerine göre sapma oranı yaklaşık % 4,6 olarak hesaplanmıştır. PVsyst programı yıllık üretilen toplam elektrik enerjisi gerçek verilere göre daha düşük olarak hesaplamıştır. Bu, kabul edilebilir bir doğruluk değeri olarak değerlendirilebilir. PVGIS programında yapılan çalışma yıllık toplam elektrik enerjisi değerini 1542669 kWh olarak hesaplamıştır. PVGIS programından alınan verilere göre sapma oranı %0, 943 olarak hesaplanmıştır. PVGIS programı çıktılarına göre yıllık üretilen toplam elektrik enerjisi gerçek değerden fazla olarak hesaplanmıştır. Yapılan

analizler ve değerlendirmeler dikkate alındığında PVGIS programının gerçek üretim değerine daha yakın bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Saha ölçüm verilerine göre, 157 adet dizide % 0 ile % 5, 22 adet dizide % 5 ile % 10 arasında ve 2 adet dizide % 10 ile % 25 arasında performans kaybı ölçülürken 5 adet dizede % 0 ile % 1 arasında değişen oranlarda yüksek performans ölçülmüştür. PVsyst programı kayıpların hesaplanması konusunda detaylı analizler yapan bir program olduğu için detaylı PV kayıp grafiği oluşturmuştur. Sonuçları ise yaşlanmaya bağlı modül degradasyon kaybı % 3,8, ışınım seviyesi nedeniyle PV kaybı % 0,49, sıcaklık nedeniyle PV kaybı % 5,09 olarak hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler her bir panel için paylaşılmış olup program çıktıları genel saha için hesaplanmıştır. Alınan sonuçlar değerlendirildiğinde PVsyst programı kayıp grafikleri değerlendirilerek gerçek saha kayıpları ile ilgili fikir sahibi olunabilmektedir.

Sonuçlar, PVsyst simülasyonunun tasarlanan güneş enerji santralinin performansını gerçek dünya koşullarına yakın bir şekilde tahmin etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. 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 değişiklikleri yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Ayrıca, panel eğimi ve yönelimi üzerinde yapılan analizlerin enerji üretiminde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Optimal panel eğimi ve yönelimi seçimi, güneş ışığının en verimli şekilde kullanılmasını sağlar ve dolayısıyla enerji üretimini artırır. Güneş enerji santralinin performansı, panel ve inverterlerin kalitesiyle de doğrudan ilişkilidir. Yüksek kaliteli bileşenlerin seçimi, enerji verimliliğini ve sistemin güvenilirliğini artırır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, güneş enerji santrali projelerinin planlama ve tasarım aşamalarında karar vericilere ve mühendislere rehberlik etmek amacıyla önemli bir katkı sağlamaktadır. Gerçek saha verilerinin simülasyonlarla birleştirilmesi, daha gerçekçi sonuçlar elde etmeyi mümkün kılarak projelerin başarısını artırır. PVsyst simülasyonu ve analizi, güneş enerji santrali projelerinin planlama aşamasında kullanılabilecek önemli bir araç olarak değerlendirilebilir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Panel sayısı ve inverter sayısı, sistem performansını etkileyen kritik faktörlerdir. Dolayısıyla, panel ve inverter kapasiteleri enerji taleplerine uygun şekilde optimize edilmelidir. Panel ve inverterlerin yeterli sayıda kullanılması, enerji üretiminin maksimum düzeyde olmasını sağlar.
- Panel eğimi ve yönelimi, maksimum güneş ışığı alımını sağlamak için dikkatlice belirlenmelidir. Yerel iklim koşulları ve enerji üretimi açısından en uygun pozisyonlar göz önünde bulundurularak panel eğimi ve yönelimi seçilmelidir. Bu şekilde, güneş ışığından en iyi şekilde yararlanılır ve enerji üretimi artırılır.
- Sistemin kurulum yerleşimi ve saha düzeni, gölgeleme etkilerini en aza indirmek ve maksimum güneş ışığına maruz kalmayı sağlamak için optimize edilmelidir. Ağaçlar, binalar veya diğer yapılar tarafından oluşturulan gölgelerin panel üzerindeki etkisi minimize edilmelidir. Saha düzeni ve kurulum, gölgelenmeyi en aza indirgeyerek enerji üretimini optimize etmelidir.
- Periyodik bakım ve temizlik rutinleri düzenli olarak uygulanmalıdır. Panel ve inverterlerin düzenli bakımı ve temizliği, enerji verimliliğini artırmak amacıyla yapılmalıdır. Toz, kir, yapraklar ve diğer engeller panel yüzeyini kaplayarak verimliliği olumsuz etkileyebilir. Düzenli temizlik ve bakım işlemleri, panel performansının korunmasına ve enerji üretiminin maksimum düzeyde devam etmesine yardımcı olur.
- İzleme ve analiz sistemleri kullanılarak sistem performansı sürekli olarak takip edilmeli ve gerektiğinde iyileştirmeler yapılmalıdır. Güneş enerji santralinin performansını izlemek için uygun izleme ve analiz sistemleri kullanılmalıdır. Bu sistemler, günlük, haftalık veya aylık verileri toplayarak sistemin performansını analiz etmek için kullanılabilir. Elde edilen veriler, gerekli iyileştirmeleri yapmak için önemli bilgiler sağlar.
- Enerji verimliliğini artırmak için panel ve inverterlerin düzenli bakım ve temizlik rutinleri yapılmalıdır. Düzenli temizlik ve bakım işlemleri, panel performansının korunmasına ve enerji üretiminin maksimum düzeyde devam etmesine yardımcı olur.

6. KAYNAKÇA

Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R. (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu.

Altınkök, S. (2021). Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İhtiyaçlarına Uygun Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Analizi.

Amin, S. A. (2022). PVsyst Modeling Systems Losses in PVsyst.

Atalay, Ö., Yorgun, B., & Erdem, R. (tarih yok). Fotovoltaik (PV) Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları .

Bagher, A. M., Vahid, M. M., & Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application.

Belmahdi, B., & Bouardi, A. E. (2020). Solar Potential Assessment using PVsyst Software in the Northern Zone of Morocco.

Demiryürek, H. K. (2018). 200kWp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin PVsyst ile Tasarımı ve Üretim Değerleri ile Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*.

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

Doğanay, M. M. (2021). Mardin Bölgesi Güneş (Fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi. *Araştırma Makalesi*.

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

Enerji, & Bakanlığı. (2017).

Genç, M. (tarih yok). Güneş Paneli Taşıyıcı Sistemlerinde Sık Karşılaşılan Problemler.

Gökce, İ. (2020). Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi .

Gökçe, İ. (2020). Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Adana.

Güneş, C. (2021). Fotovolatik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi .

Gürbüz, D. (2018, Mart). Kir ve Tozlanmanın Fotovolatik Sistem Verimi Üzerindeki Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*.

Güre, B. (2018, Mayıs). Tarımsal Sulama İçin 2.2 kW Gücündeki Bir Fotovoltaik Sistemin Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Batman.

Haydaroğlu, C., & Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi.

İnce, İ. T. (2021). Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimine Örnek Uygulamalar.

Kandilci, G. N. (2017, Haziran). Türkiye için Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması. *Yüksek LİSans Tezi*.

Karafil, A., Kesler, M., & Özbay, H. (2016, Mayıs). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi.

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

Kutluca, M. (2020, Haziran). Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*.

Küpeli, A. Ö. (2005). Günrş Pilleri ve Verimleri.

Mathew, M., & Hossain, J. (2017). Analysis of a Grid Connected Solar Photovoltaic System with Different PV Technologies.

Mermoud, A., & Wittmer, B. (2017). Bifacial Shed Simulations With PVsyst.

Nedimoğlu, E. (2019, Temmuz). Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin Harmonik Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Diyarbakır.

Özcan, Ö. (2020). Sebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Performan Analizi.

Özgür, E. (2020, Mart 17). Türkiye'de Güneş Enerjisi.

Öztürk, H. H. (2008). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. İstanbul: Birsen Yayınevi.

PVsyst. (2014). PVsyst User's Manuel.

Rashid, M. H. (2019). Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications.

Rout, t. K., & Kulkarni, P. (2020). Design and Performance evaluation of Proposed 2 zkW Solar PV Rooftop on Grid System in Odisha using PVsyst. IEEE.

Sari, V., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi.

Solar, G. (tarih yok). Türkiye Güneş Haritası. *GNS Solar*.

Şenpınar, A. (2005). Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü. *Doktora Tezi*. Elazığ.

Teodorescu, R., Liserre, M., & Roriguez, P. (2010). Photovoltaic Inverter Structures.

Vidur, P. R., & Jagwani, D. (2022). Design and Simulation of a Rooftop Solar PV System Using PVsyst Software.

Vidur, P., & Jagwani, D. S. (2022). Design and Simulation of a Rooftop Solar PV System Using PVsyst Software.

Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. (2015). Simulation and Performance Analysis of a lkWp Photovoltaic System Using PVsyst.

Yılmaz, G. (2018). Türkiye'deki Güneş Panellerinin Optimum Eğim Açılarının Analizi.

Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler.