

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ve UYGULAMALARI
ANABİLİM DALI



SAMSUN'DAKİ ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOELEKTRİK
SİSTEM PERFORMANSININ FARKLI SİMÜLASYON
PROGRAMLARI KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI: YEŞİLYURT DEMİR ÇELİK MYO
ÖRNEK OLAY İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Abdiljabbar Rafi HOMOOD

Danışman
Dr. Öğr Üyesi Engin ÖZBAŞ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdiljabbar Rafi HOMOOD tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ** danışmanlığında hazırlanan “**Samsun’daki Şebeke Bağlantılı Fotoelektrik Sistem Performansının Farklı Simülasyon Programları Kullanılarak Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması: Yeşilyurt Demir Çelik MYO Örnek Olay İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 06.07.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oybirliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yeşilyurt Demir Çelik MYO		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Bahadır ACAR Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
...../...../2021
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

08 /07 / 2021
Abdiljabbar Rafi HOMOOD

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : “Samsun'daki Şebeke Bağlantılı Fotoelektrik Sistem Performansının Farklı Simülasyon Programları Kullanılarak Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması: Yeşilyurt Demir Çelik MYO Örnek Olay İncelenmesi”.

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 14.06.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %10

Tek kaynak oranı : %1 çıkmıştır.

08 /07 / 2021

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

ÖZET

SAMSUN'DAKİ ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOELEKTRİK SİSTEM PERFORMANSININ FARKLI SİMÜLASYON PROGRAMLARI KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI: YEŞİLYURT DEMİR ÇELİK MYO ÖRNEK OLAY İNCELENMESİ

Abdiljabbar Rafi HOMOOD

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim dalı

Yüksek Lisans, Temmuz/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

Maliyet, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımının önündeki en büyük engeldir, Bununla birlikte yapılan çalışmalar ve araştırmalar, yenilenebilir temiz enerji kullanımının en iyi çözüm olduğunu göstermektedir. Enerji verimliliği, enerji tüketiminde iyileştirmeler sağladığı için yenilenebilir enerji kaynaklarıyla büyük oranda uyumlu bir yöntemdir. Fotovoltaik sistemleri iyileştirmek ve yüksek kurulum maliyetini azaltmak adına güneş sistemlerine yönelik çeşitli simülasyon yazılımları geliştirilmiştir. Bu simülasyon yazılımlarının kullanılması, proje için bir ön fizibilite çalışması sağlamanın yanı sıra, gerekli güneş enerjisi sisteminin büyüklüğünün belirlenmesini, teknik ve ekonomik analizleri de sağlar. Bu çalışmada, en popüler üç simülasyon yazılımının özellikleri, geliştiricileri ile birlikte tartışılmıştır. Sözkonusu yazılımlar; PVsol, Pvsyst ve Solargis'tir.

Bu çalışmanın temel amacı, araştırmacılar için etkili bir yazılım tanımlama ve bir PV sistemin verimliliğinin performans analizinin yanı sıra kurulacak projeler için bir ön fizibilite çalışması sunma ihtiyacına dikkat çekmektir. Bu simülasyon araçları kullanılarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi kampüsü çatısında 55kW şebeke bağlantılı PV sistemin performans analizi üzerine bir vaka çalışması yapılmıştır. Simülasyonun sonuçları daha sonra araştırma ve geliştirme için en uygun ve en etkili yazılımı belirlemek için PV sistemin gerçek verileriyle karşılaştırılmıştır.

Yıllık ortalama PV enerji üretimi ve performans oranının gerçek verileri sırasıyla (58.558 MW) ve (% 74) olarak bulunmuştur. Tüm yazılımların gerçek durumu, yetenekleri, sınırlamaları ve kullanılabilirliği de tartışılmıştır. PV * sol ve Solargis yazılımları, performans analizi için en iyi ve en uygun yazılım seçeneği olarak belirlenmiştir. Sonuçlar mevcut ve ideal durumda ve güneş sisteminin performans oranını iyileştirme olasılığında karşılaştırıldı. Bu çalışma, bir PV enerji santralinin performansının analiz edilmesi ve iyileştirme için farklı fotovoltaik simülasyon araçlarının karşılaştırılması ve en uygun simülasyon yazılımının belirlenmesi ve yazılımı seçerek kullanılması için geliştirilen bir simülasyondur.

Anahtar Kelimeler: fotovoltaik sistem, simülasyon yazılımı, performans oranı, PV * sol, Pvsyst ve Solargis.

ABSTRACT

EVALUATING AND COMPARING THE PERFORMANCE OF THE GRID-CONNECT PHOTOELECTRIC SYSTEM IN SAMSUN BY USING DIFFERENT SIMULATION PROGRAMS: CASE STUDY YEŞİLYURT DEMİR ÇELİK MYO.

Abdiljabbar Rafi HOMOOD

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Renewable Energy and Applications

Master, July/2021

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin ÖZBAŞ

Cost is the biggest obstacle to the widespread use of renewable energy sources. However, studies and research show that the use of renewable clean energy is the best solution. Energy efficiency is a method that is largely compatible with renewable energy sources, as it provides improvements in energy consumption. Various simulation software for solar systems have been developed to improve photovoltaic systems and reduce high installation costs. The use of these simulation software not only provides a pre-feasibility study for the project, but also provides technical and economic analyzes to determine the size of the required solar energy system. In this study, the features of the three most popular simulation software are discussed with their developers. The software in question; PVsol is Pvsyst and Solargis.

The main purpose of this study is to draw attention to the need for researchers to describe an effective software and present a pre-feasibility study for the projects to be established, as well as a performance analysis of the efficiency of a PV system. Using these simulation tools, a case study was conducted on the performance analysis of a 55kW grid connected PV system on the campus of Ondokuz Mayıs University. The results of the simulation are then compared with the actual data of the PV system to determine the most suitable and effective software for research and development.

Actual data of annual average PV energy generation and performance ratio were found as (58,558 MW) and (74%) respectively. The actual status, capabilities, limitations and usability of all software are also discussed. PV * sol and Solargis software were determined as the best and most suitable software option for performance analysis. The results were compared in the current and ideal state and the possibility of improving the performance ratio of the solar system. This study is a simulation developed to analyze the performance of a PV power plant and to compare different photovoltaic simulation tools for improvement and to determine the most suitable simulation software and to use the software by selecting it.

Keywords: photovoltaic system, simulation software, performance ratio, PV * sol, Pvsyst and Solargis.

ÖNZÖZ VE TEŞEKKÜR

Araştırma sürecinin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli ve saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ ve Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları bölüm başkanı Prof. Dr. RECEP TAPRAMAZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım. Başta aileme olmak üzere yardımlarını esirgemeyen tüm dostlara teşekkürü bir borç bilirim. Kendimi ve bilgilerimi geliştirmemde her zaman bana destek olan Özellikle annem, eşim ve kuzenim HAMEED MARİE'e şükranlarımı sunarım.

Abdiljabbar Rafi HOMOOD



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNZÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISATMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji	3
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
1.2.1. Hidroelektrik	4
1.2.2. Güneş Enerjisi	4
1.2.2.1. Fotovoltaik (FV)	5
1.2.2.2. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi	5
1.2.3. Rüzgar Enerjisi	6
1.2.4. Jeotermal Enerji	7
1.2.5. Hidrojen Enerjisi	8
1.2.6. Biyoenerji	9
1.2.7. Okyanus Enerjisi	10
1.2.7.1. Dalga Enerjisi	10
1.2.7.2. Tuzluluk Gradyan Enerjisi	10
1.2.7.3. Okyanus Termal Enerjisinin	11
1.3. Enerji Verimliliği	11
1.4. Enerji Tasarrufu	13
1.5. Amaçlar ve Hedefler	14
2. ENERJİ BİNASI	16
2.1. Güneş Enerjisi	16
2.2. Solar Aktif Fotovoltaik (FV) Sistemler.....	18
2.2.1. Şebekeye Bağlı (GC) FV Sistemleri	20
2.2.2. Bağımsız Fotovoltaik (FV) Sistemler	21
2.3. Güneş Pili Teknolojisi.....	21
2.4. FV Modülleri.....	23
2.4.1. FV Modül Teknolojisi	24
2.4.1.1. Çok Kristalli Silikon (multi-c-Si) Güneş Pilleri.....	24

2.4.1.2. Monokristal Silikon (Mono-c-Si) Güneş Pilleri.....	24
2.4.1.3. İnce Film Güneş Enerjisi Teknolojisi	25
2.5. İnvörtörler.....	25
2.5.1. Dizi İnvörtörleri	26
2.5.2. Merkezi İnvörterler	26
2.5.3. Mikro İnvörtörler	27
2.6. FV Sistem Montajı	27
2.6.1. Sabit Eğim.....	27
2.6.2. Azimut İzleme.....	27
2.6.3. Tek Eksenli.....	28
2.6.4. Çift Eksen.....	28
2.7. FV Sistem Performans Parametreleri.....	28
2.7.1. Enerji Üretimi	29
2.7.2. Spesifik Verim	29
2.7.3. Performans Oranı.....	29
2.7.4. Kapasite Faktörü	30
2.7.5. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE).....	30
2.8. Kayıplar veya İndirgeme Faktörleri	31
2.8.1. FV Modülü İçin Değer Kaybı Faktörü	31
2.8.2. İnvörtör ve Transformator İçin Değer Kaybı Faktörü	32
2.8.3. Uyumsuzluk Kayıpları.....	32
2.8.4. Diyotlar ve Bağlantılar İçin Değer Kaybı Faktörü	33
2.8.5. DC Ohmik İçin Kaybı Faktörü	33
2.8.6. Kirlenme İçin Kaybı Faktörü.....	33
2.8.7. Sistem Kullanılabilirliği İçin Değer Kaybı Faktörü	34
2.8.8. Işınım Seviyeleri İçin Kaybı Faktörü.....	34
2.8.9. Geliş Açısı Değiştirici (IAM) İçin Kaybı Faktörü.....	35
2.8.10. Gölgeleme İçin Kaybı Faktörü	35
2.9. Literatür Taraması.....	38
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	42
3.1. FV Modülü.....	42
3.2. İnvörtör.....	44
3.3. Hava İstasyonu	46
3.4. Pvsyst Yazılımı	47
3.5. PV*SOL Yazılımı	48
3.6. Solargis Yazılımı.....	48
3.7. Vaka Çalışması.....	49

4. SİMÜLASYON	50
4.1. PVsyst 7.1 Kullanılarak Yapılan Simülasyon.....	50
4.1.1. PVsyst 7.1 Kullanılarak Yapılan Simülasyon (ideal parametrelerle)	55
4.2. PV*SOL Kullanılarak Yapılan Simülasyon.....	57
4.2.1. PV*SOL Yazılımını Kullanarak Yapılan Simülasyon (İdeal Parametrelerle). 60	
4.3. Solargis Kullanılarak Yapılan Simülasyon (Sürüm 2.5.0).....	61
4.3.1. Solargis Kullanılarak ideal parametrelerle Yapılan Simülasyon	68
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
5.1. Performans Oranı	71
5.2. Enerji Çıktısı	72
5.3. Özel Yıllık Üretim.....	73
5.4. Eğim Açısı.....	74
5.5. Gölge Etkisi.....	75
5.6. Termal Faktör.....	76
6. SONUÇ	77

SİMGELER VE KISATMALAR

SİMGELER

θ	Sabit Açısı Eğim
φ	Azimut Açıları
T_{amb}	Çevre sıcaklığı °C
T_{cell}	Hücre sıcaklığı °C
η	Verimlilik (%)

KISALTMALAR

DC	Sabit Akım
AC	Alternatif akım
PV	Fotovoltaik
STC	Standart test koşulları
CSP	Sabit güneş enerjisi potansiyeli
EGS	Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler
Ar-Gr	Germanyum Arsenik
RES	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
GCPV	Şebeke Bağlantısı Fotovoltaik Sistemi
DG	Üretilen enerji dağıtımı
MMP	Maksimum güç noktası
EMF	Elektromotor kuvvet
CdTe	Kadmiyum Tellür
TFPV	İnce film fotovoltaik
CIGS	Bakır indiyum galyum selenid
PR	Performans Oranı
GHI	Küresel yatay kWh/m ² ışınım (GHI)
CF	Capacity Factor
LCOE	Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
CM	Devre Uyuşmazlığı
IAM	Geliş Açısı Değiştirici
GHI	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)
GTI	Küresel düzlem içi veya eğimli ışınım (kWh/m ²)
DIF	Diffüz Yatay Işınlama (kWh/m ²)
FT	Transpozisyon Faktörü
GHG	Sera Gazları
Earray	Dizin Çıkışında Etkin Enerji (kWh)
E-User	Kullanıcıya Sağlanan Enerji (kWh)
E Grid	Şebekeye enjekte edilen Enerji (kWh)
ALB	Yüzey Albedosu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektrik üretim teknolojisi karbon yoğunluğu, ilgili teknoloji tarafından üretilen elektrik (kWh) başına gram karbon emisyonu olarak verilmiştir(CO2 Emissions Intensity of Electricity Generation Methods Tableau Public 2021.....	4
Şekil 1.2. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Örgütü'nün bir raporuna göre Türkiye'degüneş enerjisi teknolojisinin kullanımını gösteren bir grafik (Solar energy 2021).	6
Şekil 1.3. Türkiye'deki rüzgar türbini teknolojisinin son on yılda karadaki büyüme çizgisi(Wind energy, 2021.).....	7
Şekil 1.4. Türkiye'de son yılda jeotermal teknolojisi kullanımındaki artış,(Geothermal energy,2020).	8
Şekil 1.5.Türkiye’de biyokütle teknolojisinin son on yılda ki kullanımı(Bioenergy, 2021)	10
Şekil 1.6. Tunsten tel yerine LED teknolojisi kullanılarak aynı güçten %20 oranında enerji verimi fakat aynı şiddette ışık elde edilebilmektedir.	11
Şekil 1.7. Enerji verimliliğinin birincil enerji kaynağı olduğunun gösterilmesi.....	12
Şekil 1.8. Enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki uyum ve uyumun gerekliliği.	14
Şekil 2.1. Kaynaktan ana şebekeye enerji akış diyagramı	19
Şekil 2.2. 1992-2018 yılları arasında Fotovoltaik sistemlerin gelişiminin gösterilmesi(Growth of photovoltaics - Wikipedia, 2021).	20
Şekil 2.3. Şebekeye bağlı FV sistemlerinin basitleştirilmiş bir çizimi.	21
Şekil 2.4. Kristaldeki Enerji bandının gösterimi.....	22
Şekil 2.5. İzolatörlerin, iletkenlerin ve yarı iletkenlerin enerji bandının gösterimi. ..	22
Şekil 2.6. FV hücre teknolojilerinin gösterilmesi	25
Şekil 2.7. FV modül türleri	25
Şekil 2.8. FV dizisinde montaj yöntemlerinin gösterilmesi.....	28
Şekil 2.9. Radyasyonun güneş sisteminin performansı üzerindeki etkisi	34
Şekil 2.10. Eğim açısının güneş paneli tarafından soğurulan güneş ışınımı miktarı üzerindeki etkisi.	35
Şekil 2.11. Kuzey yarımkürede güneş penceresi (solar window).....	36
Şekil 2.12. 21 Aralık'ta ki zemin ile güneş radyasyonunun yaptığı açının gösterilmesi.	36
Şekil 2.13. Değişen ışık yoğunluğunda sıcaklık ile modul verimliliği ilişkisi.....	37
Şekil 3.1. Performans eğrisinin gösterimi.	43
Şekil 3.2. Polikristal güneş panelinin (AES60P 250W) bozulma yönünün gösterilmesi.	44
Şekil 3.3. Eviriciye ait bir resim.....	45
Şekil 3.4. Eviricinin verimliliğini gösteren bir grafik.....	46
Şekil 3.5. Bu çalışmada kullanılan PV sisteminde ki VSN800-14 hava istasyonuna ait bir resim.	47
Şekil 3.6. Kampüs binasını ve binanın çatısına kurulan FV sisteminin gösterilmesi.49	
Şekil 4.1. FV sisteminin eğiminin gösterilmesi.	50
Şekil 4.2. Simülasyonun genel sonuçlarına ek olarak, simülasyon sürecinde sistemde kullanılan en önemli parametrelerin gösterilmesi.	51
Şekil 4.3. Fotovoltaik sistemin konumunu ve panel sıralarının oluşturduğu gölgelerin birbiri üzerindeki etkisinin gösterilmesi.....	52
Şekil 4.4. Panel üzerine düşen radyasyon miktarı ve sistem performans oranına ek olarak fotovoltaik sistemin performansı ile ilgili önemli sonuçların gösterilmesi.....	53

Şekil 4.5. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar ve tüm kayıpların nedeni.	54
Şekil 4.6. Gün boyunca meydana gelen güç dağılımı ve sistemden geri dönen enerji miktarının gösterilmesi.	55
Şekil 4.7. Sistemin ideal oryantasyonu ve yıl içindeki en iyi güneş radyasyonu transpozisyonu faktörünün elde edilmesinin gösterilmesi.	56
Şekil 4.8. İdeal parametreler kullanılarak elde edilen bir simülasyonun sonuçları.	56
Şekil 4.9. Güneş panelleri ve alanlarına ek olarak bu simülasyonda benimsenen güneş sisteminin eğim ve yönelim açısı.	57
Şekil 4.10. CO2 emisyon azaltım miktarının yanı sıra sistem büyüklüğü, yıllık enerji verimi, performans oranı açısından güneş sistemi simülasyonunun sonuçları.	57
Şekil 4.11. Güneş sisteminin ulusal şebekeye sağladığı aylık net çıktılar.	58
Şekil 4.12. Bir FV sisteminin enerji kalitesinin ve güvenilirliğinin bir gösterimi.	58
Şekil 4.13. Yatay yüzeye gelen güneş ışınımı ile güneş panellerinin eğimli yüzeyine gelen ışınım arasındaki ilişki.	59
Şekil 4.14. Güneş sistemini çevreleyen ortam sıcaklığı ile güneş paneli sıcaklığı arasındaki fark.	59
Şekil 4.15. PV*SOL yazılımının fotoelektrik sistemin yönelimine ve meteoroloji istasyonlarının veri tabanına gelen en büyük güneş radyasyonu miktarına bağlı olarak seçtiği ideal eğim açısının hesaplanmasını gösteren arayüz.	60
Şekil 4.16. FV sisteminin ideal performans oranı, yıllık enerji geri dönüşü, spesifik yıllık sarım olan eğim açısı ve herhangi bir gölge etkisinin olmamasının gösterilmesi.	61
Şekil 4.17. Gerçekçi eğim açısı ile fotoelektrik sistemin oryantasyonunu gösteren meteoroloji istasyonlarının görüntüleri ve konum koordinatları.	62
Şekil 4.18. Bir FV sistemin performansının ana hatlarını temsil eden küresel ışınlama, hava sıcaklığı, spesifik fotovoltaik güç çıkışı ve performans oranı için yıllık oranlar.	62
Şekil 4.19. GES proje konumu, Güneş yolu ufku, gün ışığı hattı ve güneş ışığı açısı.	63
Şekil 4.20. Bu proje için güneş radyasyonu bileşenlerinin yıllık oranı ve meteorolojik verileri gösterir tabl.	63
Şekil 4.21. Eimli yüzeye düşen güneş radyasyonuna ek olarak fotovoltaik sistemin yıllık enerji çıkışı ortalamalarını ve performans oranının gösterilmesi.	64
Şekil 4.22. Aylara göre güneş radyasyonun ve hava sıcaklığı profilleri için alınan verilerin ortalaması.	65
Şekil 4.23. GES FV elektriği saatlik veriler.	66
Şekil 4.24. Performans oranı ile belirli bir fotovoltaik güç çıkışı arasındaki ilişki. ..	67
Şekil 4.25. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar ve tüm kayıpların nedenlerinin gösterilmesi.	67
Şekil 4.26. Optimize edilmiş eğim açısı ile bu çalışma için FV sistemin oryantasyonunu gösteren meteoroloji istasyonlarının görüntüleri ve konum koordinatları.	68
Şekil 4.27. Optimize edilmiş açılı ve gölgesiz bir FV sistemin performansı için yıllık oran, hava sıcaklığı özel FV güç çıkışı ve performans oranı.	68
Şekil 4.28. Eğimli yüzeye düşen radyasyona ek olarak en uygun açıyla enerji çıktısının yıllık ortalamaları ve FV sistemin performans oranının gösterilmesi.	69
Şekil 4.29. Performans oranı ve belirli FV güç çıkışı arasındaki ilişkiye ait grafik. .	69
Şekil 4.30. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar tüm nedenleri.	70
Şekil 5.1. Türkiye güneş radyasyonu haritası	71

Şekil 5.2. FV sistemin gerçek koşullardaki performans oranı, simülasyon yazılımlarının sağladığı performans oranı ile gerçek ve ideal koşullarda yapılan karşılaştırma.	72
Şekil 5.3. FV sisteminin ortalama aylık enerji üretim oranları gösterilmesi.	73
Şekil 5.4. Gerçek ve ideal koşullarda yıllık geri dönüş enerji üretim oranının gösterilmesi.	73
Şekil 5.5. Kurulu GES'in Google Earth'den alınmış görüntüsü.	75
Şekil 5.6. Yerel olarak ölçülen sıcaklık ile çalışmanın yapıldığı lokasyon için meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen sıcaklık arasındaki fark.....	76



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Enerji boşluğunu geçmek için gereken enerjiye bağlı farklı malzeme türler (izolatörler ve yarı iletken).....	23
Tablo 3.1. Polikristal güneş paneli (AES60P 250 W) elektriksel özelliklerinin gösterimi.....	42
Tablo 3.2. Polikristal güneş paneli (AES60P 250W) mekanik özelliklerinin gösterilmesi.	43
Tablo 3.3. Bir eviricinin mekanik boyutlarının gösterimi.....	44
Tablo 3.3.4. Eviricinin teknik özelliklerinin gösterimi.	45
Tablo 3.5. VSN800-14 meteoroloji istasyonunun boyutlarının açıklanması.	47
Tablo 5.1. Simülasyonu yazılımları ve Samsun fotovoltaik haritasının sağladığı spesifik yıllık verimin gösterimi.	74
Tablo 5.2. İdeal eğim açısı nedeniyle güç çıkışı verimindeki artış.	75



1. GİRİŞ

Enerji, herhangi bir ülkenin sosyoekonomik kalkınmasında ihtiyaç duyulan önemli anahtar kavramlardan birisidir. Bu nedenle enerji eksikliği ülkelerin büyümesini ciddi şekilde engelleyebilir. Enerjinin farklı kaynakları ve üretim yöntemleri olmakla birlikte bir milletin sosyo-ekonomik olarak hızlı bir şekilde kalkınması için gerekli olan en kritik enerji biçimi elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisinin önemli üretim (bunlarla sınırlı olmamak üzere) formlarının başında, elektrokimya, fotovoltaik sistemler, rüzgar, Termik santraller ve hidroelektrik santralleri vb gelmektedir. Bu formlar aynı zamanda Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminin ve kullanımının yaygın yöntemleridir.

Elektrik üretimi için kömür gibi fosil yakıtların tüketilmesi, küresel ısınmaya yol açan ve çevreyi etkileyen büyük sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır.(Makarova 2017). Sera gazı emisyonlarını en aza indirme ihtiyacı ve geleneksel enerji kaynaklarındaki büyük bir fiyat artışı, çoğu ülkenin yeni enerji politikaları tasarlamasına yol açtı. Bu politikalar, elektrik sektöründe yenilenebilir enerjiyi teşvik etme amaçlı tasarlanmıştır. (Kizito 2017)Fosil yakıt ekonomisinden yenilenebilir enerji ekonomisine (RET) geçişin önemi, olumsuz iklim değişikliği etkilerinin mevcut ve potansiyel tahminlerini, kalan fosil yakıt kaynaklarının nihai fizibilitesini ve devam eden bağımlılığın doğru sonuçlarını dikkate almayı içerir. Kömür ve yağ gibi fosil yakıtların yoğun kirletici ekonomisinden daha sürdürülebilir, düşük karbonlu (veya sıfır karbonlu) bir çevreye geçme ihtiyacı, acil bir toplumsal girişim haline gelmiştir.

Yukarıda ana hatlarıyla belirtildiği gibi, iklim değişikliği, fosil yakıt çıkarımı, devam eden kömür, gaz ve petrol kullanımıyla ilgili problemler bu çağın modern sorunlarında baş rol oynamaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir enerji üretimi ve tüketimi yöntemlerine geçişi, gerekli ve uygun hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji geçişi kavramı; yöneticiler, hükümetler ve ülkeler için fosil yakıt bağımlılığından uzaklaşıp yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımına yönelik teşvik amaçlı çabaları göstermektedir. Yenilenebilir Enerji karbon salımını minimize etmenin yöntemi ve teknolojisi haline dönüşmüştür.

İnsan eylemleri ve fosil yakıtların tüketimi sonucunda atmosfere salınan CO₂ hacmi üzerindeki küresel çevre sorunları, rüzgar, güneş, hidro veya gelgit gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllar içinde büyümesini, araştırılmasını ve

kullanımını teşvik etmiştir. Güç, Ayrıca hibrit yöntem olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının sentezi, yenilenebilir enerji uygulamalarında giderek daha fazla ilgi görmektedir (Gurupira 2018).Aşağıda, bu tezin önemli katkıları sunulmaktadır:

Bölüm 1: En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarının ve son on yılda Türkiye'deki kullanımlarının kapsamının bir sunumunu yapmak ve ayrıca bu tezin temel amaçlarından biri olan enerji verimliliğinin önemi ve bununla yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki pratik uyum ve ek olarak yenilenebilir kaynaklarından enerji üretim maliyetlerinin azaltılmasındaki rolünü belirlemek.

Bölüm 2: Binalarda enerji tüketiminin paylaşılmasına yönelik küresel eğilim, binaları ve konut komplekslerini besleyen ana ve etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin rolünün belirlenmesi ve güneş sisteminin en önemli bileşenleri ve türleri ile fotovoltaik sistemin performansını etkileyen faktörlerin tanıtılması. Ayrıca çeşitli simülasyon yazılımlarının kullanımı yoluyla fotovoltaik sistemlerin performansının değerlendirilmesi ile ilgili en önemli ve en son yapılan çalışmaların dahil edilmesi.

Bölüm 3: Güneş sisteminin en önemli bileşenleri olan mekanik ve teknik özelliklerini, açıklamasıyla birlikte değerlendirmek. Bu çalışmada ki FV sistemin performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan yazılımların kısa bir açıklamasını sunmak.

Bölüm 4: Bu yazılımlar tarafından sağlanan gerçek eğim açısı ve ideal eğim açalarına göre PVsyst, PV*SOL ve Solar Gis yazılımını kullanan bir fotovoltaik sistemin simülasyonu.

Bölüm 5: Fotoelektrik sistemin performansının simülasyonu ve değerlendirme sonuçlarının tartışılması, analiz edilmesi ve bunların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması.

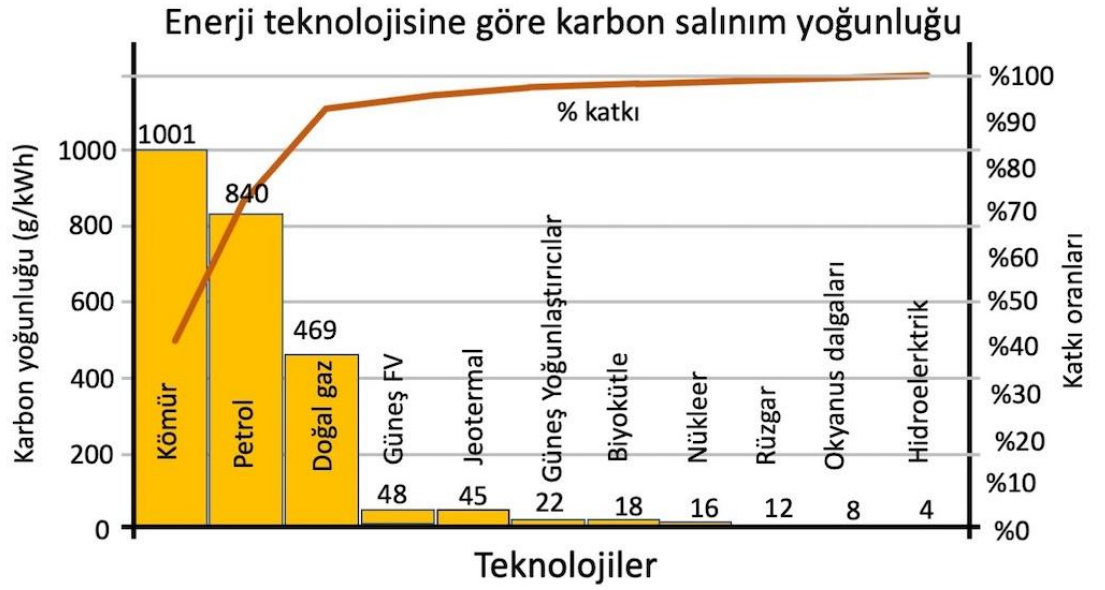
Bölüm 6: Bu programların, güneş sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde ve Samsun ilinin iklimine en uygun olanlarının belirlenmesinde güvenilirliğinin açıklanması, Güneş sisteminin performansının iyileştirilmesi ile elde edilebilecek bu tezin en önemli çıktılarının sunulması, Türkiye genelinde ve özelde bu çalışmanın yapıldığı alanı çevreleyen alanlarda herhangi bir fotoelektrik sistemin kurulması için bir fizibilite çalışması sunmak.

1.1. Yenilenebilir Enerji

Dünya çapında temiz enerji teknolojilerinin tanıtımı için yoğun bir çaba sarfedilmektedir. Küresel enerji piyasası, artan elektrik talebini düzenlemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedir. Talepteki bu artışın nedeni, öncelikle küresel nüfusun büyümesi ve dünya çapında gelişmekte olan bazı ekonomilerin büyümesinden kaynaklanmaktadır. Daha da kötüsü, talebin büyük kısmı, düşüşleri nedeniyle, küresel çapta birincil enerji üretiminin büyük bir kısmını oluşturan fosil yakıtlardır. Bu nedenle yeşil enerji kaynakları, daha güvenli ve çeşitlendirilmiş bir iklime sahip olabileceklerinden bu taleplere uygun konumdadır. Fosil yakıtlar dünyanın sera gazı emisyonlarının başlıca nedenini oluşturmaktadır.

Her iki sektör de ki elektrik arzı ve iletimi, geleneksel elektrik santrallerinin sürekli kullanımının iklim için uygun olmadığı zamanla anlaşılmıştır. Fosil yakıtların yoğun tüketimi, stoklarının tükenmesi, iklimin olumsuz etkilenmesi ve tüketiciler için rahatsız edici çevre problemlerine yol açmaktadır. Endüstrilerden gelen yoğun talep, yenilenemeyen geleneksel kaynakların tükenmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, küresel ısınma ve kirlilik gibi sorunlar da hayatımızı etkilemeye başlamış durumdadır. Dünyanın dört bir yanındaki yöneticiler, hava kalitesini artırmak ve sağlıklı yaşamı teşvik etmek için sera gazı emisyonlarını azaltmak ve karbon oranlarını azaltmak için gerekli adımların atılması gerektiğini dile getirmektedirler.

Dünya çapında karbon emisyonlarını en aza indirmek için, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması da hayati önem taşımaktadır. Bu kirleticiler, fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan ısıyı yakalar ve tehlikeli bir küresel ısınma sürecine yol açarak atmosfer, iklim ve sağlığımızı etkiler. Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan özel bir rapora göre, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, yenilenebilir enerji ile ilgili yaşam döngüsü küresel karbon emisyonları, fosil yakıtlar tarafından üretilenlere göre çok daha azdır(CO2 Emissions Intensity of Electricity Generation Methods | Tableau Public 2021). (Zurba and Bullock, 2020).



Şekil 1.1. Elektrik üretim teknolojisi karbon yoğunluğu, ilgili teknoloji tarafından üretilen elektrik (kWh) başına gram karbon emisyonu olarak verilmiştir(CO2 Emissions Intensity of Electricity Generation Methods | Tableau Public 2021).

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.2.1. Hidroelektrik

Hidroelektrik, akan sudan elde edilen enerjidir ve suyun türbinleri beslemek için kullanılması, hidrogücün temel konseptidir. Hidroelektrik santraller iki özel konfigürasyon kullanılması dan oluşur: baraj ve rezervuarlı veya barajsız. Rezervuarlardaki büyük hidroelektrik barajlar, kısa veya uzun süreler boyunca yüksek talebi karşılamak için su tutabilir. Hem sulama hem de elektrik üretimi için gece veya gündüz kullanımı, mevsimlik depolama veya soğutma için tersine çevrilebilir pompa istasyonları gibi farklı nedenlerle, tesisler daha küçük göllere de ayrılabilir. Barajlar ve rezervuarlar olmadan hidroelektrik, tipik olarak akışına müdahale etmeden bir nehir üzerinde çalışacak şekilde inşa edilmiş bir sistemden daha küçük ölçekli bir üretim gerçekleştirecektir. Bu nedenle çoğu k işi, sınırlı bir su alternatifini daha çevre dostu olarak görmektedir.

1.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, bulutlu durumlar haricinde doğrudan güneşten elde edilebilir. Güneş enerjisi dünya çapında kullanılmaktadır ve elektrik üretimi veya su ısıtma ve tuzdan arındırma gibi amaçlarla kullanımından dolayı giderek yaygınlaşmaktadır. İki farklı yoldan güneş enerjisi üretilebilir:

1.2.2.1. Fotovoltaik (FV)

Güneş pilleri olarak da adlandırılan, güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren elektrikli cihazlardır. Evlere ve hesap makinelerine monte edilen panellerde, mevcut güneş pili şüphesiz çoğu kişinin bileceği bir resimdir. 1954'te Birleşik Devletler'deki Bell Telefon Laboratuvarlarında icat edildi. Günümüzde FV, yeşil enerji alanında en büyüyen yeniliklerden biridir ve gelecekteki küresel enerji üretimi ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamaya hazırdır. Solar FV projelerini endüstriyel ölçekte enerji sağlamak için entegre etmek veya bunları mini şebekeler veya kişisel kullanım için daha küçük konfigürasyonlarda yapılandırmak mümkündür. Mini şebekelere güç sağlamak için solar FV kullanımı, özellikle olağanüstü güneş enerjisi kaynaklarına sahip gelişmekte olan ülkelerde, elektrik iletim hatlarının yakınında yaşamayan insanlara, elektriğe erişim olanağı sağlaması açısından mükemmel bir yöntemdir.

1.2.2.2. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi

Konsantre Güneş Enerjisi (KGE) aynalar, güneş ışınlarını belirli noktaya yoğunlaştırmak için kullanılır. Bu ışınlar, bir türbin için enerji üretmek ve çalıştırmak için buhar üreten sıvıyı ısıtır. Büyük ölçekli enerji santrallerinde, KGE elektrik üretmek için kullanılır. Tipik olarak, bir KGE enerji santrali, ışınları uzun, ince bir antene yönlendiren bir ayna görünümüne sahiptir. Bir KGE enerji santralinin bir güneş FV enerji santraline göre en önemli avantajlarından biri, güneş battıktan sonra enerji üretilmesi için ısı biriktirebilen erimiş tuzlarla donatılabilmesidir. Türkiye, şekil 1.2 'te gösterildiği gibi, özellikle son beş yılda yenilenebilir enerji kullanımında dikkate değer bir artış kaydetmiştir(Solar energy,2021).



Şekil 1.2. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Örgütü'nün bir raporuna göre Türkiye'de güneş enerjisi teknolojisinin kullanımını gösteren bir grafik (Solar energy 2021).

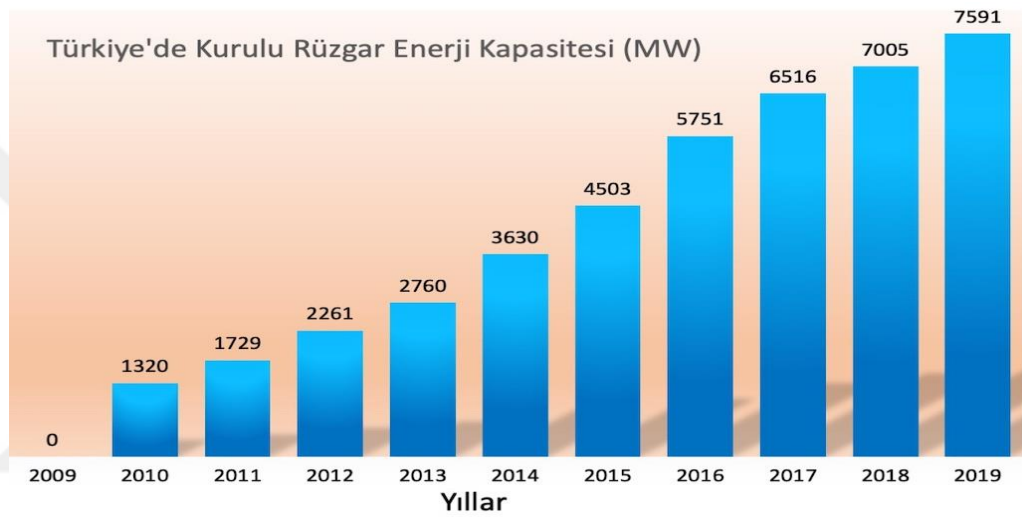
1.2.3. Rüzgar Enerjisi

Yeşil enerji üretimi için en hızlı büyüyen teknolojilerden birisi de rüzgar enerjisidir. Küresel olarak, kısmen fiyatlar düştüğü için talep sürekli artmaktadır. IRENA'nın (International Renewable Energy Agency-Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı) son rakamlarına göre, küresel kurulu kara ve açık deniz rüzgar üretim kapasitesi, son yirmi yılda yaklaşık 75 kat artarak 1997'de 7,5 gigawatt'tan (GW) 2018'e kadar 564 GW' a kadar yükseldi. Rüzgar enerjisi üretimi 2009 ve 2013 yılları arasında ikiye katlandı ve rüzgar enerjisi 2016'da yenilenebilir kaynaklarından üretilen elektriğin %16'sını oluşturuyordu. Gezegeğin birçok bölgesinde yüksek rüzgar hızları mevcut, ancak genellikle izole bölgeler, rüzgar enerjisi üretimi için en iyi yerlerdir. Açık denizdeki rüzgar enerjisi bizlere muazzam bir fırsat sunmaktadır.

Rüzgar, hareket halindeki havanın ürettiği kinetik enerjiyi kullanarak, enerji üretimini gerçekleştirir. Rüzgar türbinleri veya rüzgar enerjisi dönüştürme cihazları kullanılarak elektrik enerjisinin üretilmesi sağlanır. Rüzgar önce bir türbinin kanatlarına çarpar ve onlara bağlı olan türbini döndürmelerine ve dönüştürmelerine izin verir. Bu, bir jeneratöre bağlı bir şaftı hareket ettirerek ve elektromanyetizma yoluyla elektrik enerjisi oluşturarak kinetik enerjiyi dönme enerjisine dönüştürür. Rüzgardan elde edilebilecek elektrik miktarı, Türbinin büyüklüğüne ve kanatlarının uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Çıktı, rotorun ölçümlerine ve rüzgar

hızının küpüne eşittir. Teorik olarak, rüzgar hızı iki katına çıktıkça rüzgar gücünün kapasitesi sekiz kat artar.

Zamanla rüzgar türbinlerinin kapasitesi geliştirilerek arttırıldı. Tipik türbinler 1985 yılında 0.05 megawatt (MW) nominal kapasiteye ve 15 metre rotor çapına sahipti. Günümüzün en son rüzgar enerjisi girişimlerinin türbin potansiyeli yaklaşık 2 MW kara ve 3-5 MW açık denizdir. Türkiye geniş deniz alanlarına sahip olmasına rağmen, deniz kıyısında rüzgar santrallerinin kurulmasından hâlâ yoksundur, ancak Şekil 1.3 'te gösterildiği gibi karada rüzgar türbinlerinin kurulmasında dikkate değer bir gelişme görülebilmektedir(Wind energy, 2021).



Şekil 1.3. Türkiye'deki rüzgar türbini teknolojisinin son on yılda karadaki büyüme çizgisi(Wind energy, 2021.)

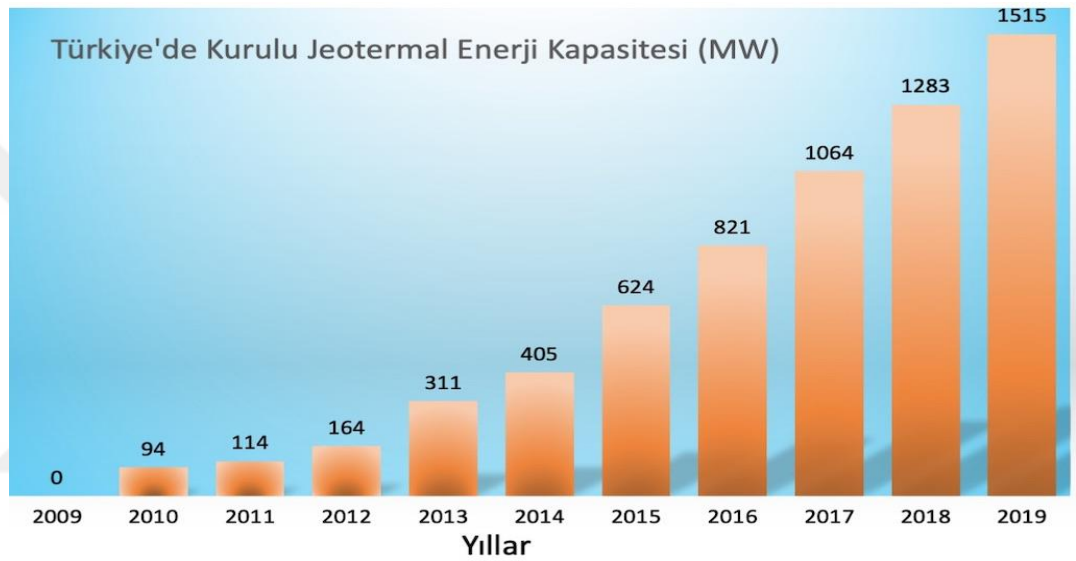
1.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, dünyanın yer kabuğunun alt yüzeyinde bulunan kırık fay hatlarındaki ısıdan elde edilir. Jeotermal enerji dünya yüzeyine su ve / veya buharla taşınır. Jeotermal enerji, özelliklerine bağlı olarak ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılabilir veya yenilenebilir elektrik üretmek için dönüştürülebilir. Ancak, elektrik üretimi için tektonik olarak aktif alanların yakınında bulunan yüksek veya orta sıcaklıkta üretim hizmetleri gereklidir.

Farklı gelişmişlik seviyelerinde, çok sayıda jeotermal teknoloji vardır. Bu teknolojiler yaygın olarak kullanılmaktadır ve bölgesel ısıtma, jeotermal ısı pompaları, seralar ve diğer birçok uygulama gibi doğrudan uygulamalar için kurulmuş yöntemler vardır. Doğal olarak yüksek geçirgenliğe sahip hidrotermal

rezervuar elektrik üretim teknolojisi halihazırda olgun ve verimlidir ve 1913'ten beri kullanılmaktadır.

Günümüzde hizmette olan enerji santrallerinin çoğu, 180° C'nin üzerindeki sıcaklıklardan yararlanan kuru buhar veya flaş santralleridir (tekli, çiftli ve üçlü). Kapalı bir döngüdeki proses sıvısı, orta sıcaklık alanları, enerji üretimi veya kombine ısı, güç için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca tanıtım aşamasında olan Gelişmiş Jeotermal Sistemler dahil yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Türkiye, şekil 1.4'de gösterildiği gibi, son üç yılda jeotermal teknoloji kullanımında dikkate değer bir artışa tanık olmuştur(Geothermal energy 2021).



Şekil 1.4. Türkiye'de son yılda jeotermal teknolojisi kullanımındaki artış, (Geothermal energy,2020).

1.2.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, yalnızca bir proton ve yörüngesinde bir elektron bulunan en temel atomdur. Dünyanın en bol atomlarından biridir ve yerkabuğunda bol miktarda bulunmakla birlikte serbest halde bulunması zordur ve genellikle bileşik halindedir. Hidrojenin molekül şeklindeki aşırı hafifliği nedeniyle, esas olarak atmosferin üst katmanlarında bulunur. Oksijenle birlikte su üreten atomdur. Ayrıca, uzaydaki tüm yıldızlar, özellikle Güneş olmak üzere büyük hidrojen rezervuarlarıdır. Hidrojen füzyon reaksiyon zincirinde diğer atomları oluşturur reaksiyon nedeniyle radyasyon yayar (Hernández and Fontes, 2020)

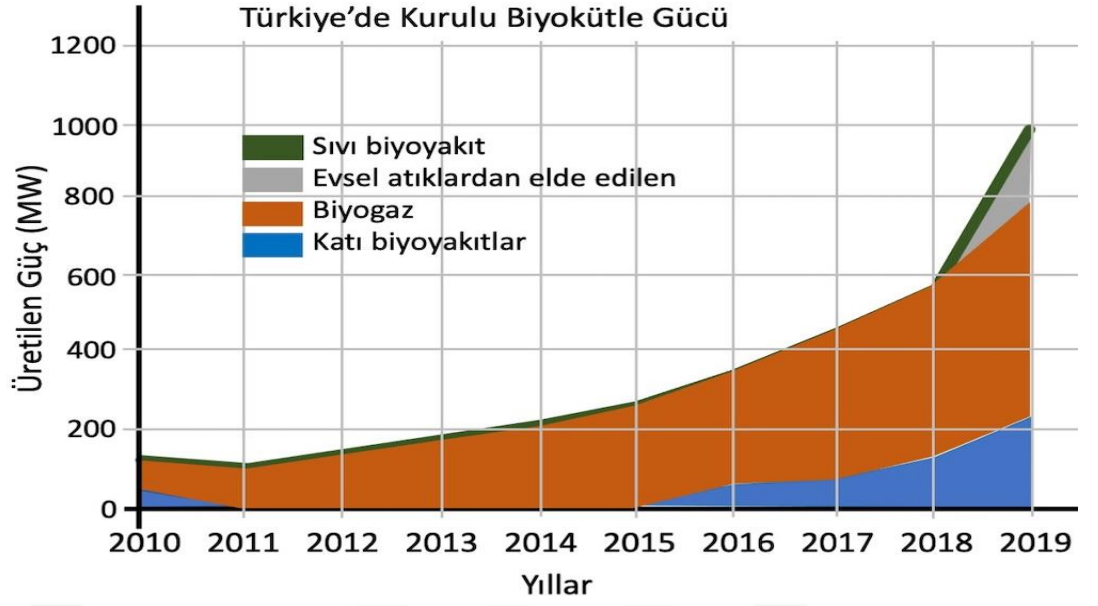
Elektrik gibi, hidrojen (yakıt olarak kullanıldığında) bir enerji kaynağı yerine bir enerji taşıyıcısıdır. Kullanılabilir tüm enerji kaynakları (doğal gaz, petrol yağı,

kömür, güneş ve rüzgar elektrolizi, biyokütle ve diğerleri dahil) hem elektrik hem de hidrojen üretebilir. Sera gazı açısından nötr kaynaklardan olan hidrojen elektrik üretilerek iklim değişikliği ve kentsel hava kalitesi sorunları çözülebilir. Hidrojen, elektrikte olduğu gibi, rüzgar veya güneş enerjisiyle çalışan elektroliz gibi temiz evsel ve yenilenebilir enerji kaynaklarından da üretilebilir, bu da kaynaklarımızı uzun vadeli korumamızı artırır.

1.2.6. Biyoenerji

Biyokütle, yenilenebilir elektrik, termal enerji veya ulaşım yakıtları (biyoyakıtlar) üretmek için kullanılabilir. Biyokütle, canlı veya yakın zamanda ölmüş organizmalar ve bu organizmaların, bitki veya hayvan kalıntılarının herhangi bir yan ürünü olarak tanımlanır. (Zurba and Bullock, 2020).

Biyoenerji kullanımı iki ana sınıfa ayrılır: "geleneksel" ve "yeni". Biyokütlenin kereste, hayvan atığı ve geleneksel odun kömürü gibi biçimlerde yakılmasına geleneksel kullanım değinilmektedir. Mevcut biyoenerji teknolojileri arasında küspe ve diğer bitkilerden üretilen sıvı biyoyakıtlar, biyokütle gazlaştırma, anaerobik kalıntı sindirimi ile üretilen biyogaz, odun peletleri için ısıtma sistemleri, ve diğer teknolojiler bulunur. Biyoenerji, yaygın biçimde kullanılmaktadır ve bunun yarısından fazlası geleneksel biyokütle üretiminden oluşmaktadır. 2015 yılı sonunda biyoenerji, toplam enerji kullanımının yaklaşık %10'unu ve küresel elektrik üretiminin %1,4'ünü oluşturuyordu. Gelişmiş ülkelerde biyokütle talebin artmakta, fakat artan üretimi karşılamak için oldukça büyük üretim tesisler gerekmektedir. Isınma veya elektrik üretimi için doğrudan yakılabilir veya petrol veya gaz yerine ikame edilebilir. Taşımacılık alanında, benzinin çok yönlü bir alternatifi olan sıvı biyoyakıtlar sıklıkla kullanılmaktadır. Türkiye'de biyokütle teknolojisinin kullanımı Şekil 1.5 'da gösterildiği gibi hala düşük bir alanla sınırlı kalmıştır(Bioenergy,2021).



Şekil 1.5. Türkiye’de biyokütle teknolojisinin son on yılda ki kullanımı (Bioenergy, 2021)

1.2.7. Okyanus Enerjisi

Enerji üretimi için gelgitler, dalgalar ve rüzgarlar kullanılabilir. Hala Ar-Ge seviyesinde olmasına ve henüz ticari olarak uygulanabilir olmamasına rağmen, heyecan verici okyanus enerji teknolojileri şunlardan oluşmaktadır:

1.2.7.1. Dalga Enerjisi

Dönüştürücülerin elektrik üretmek için okyanus dalgalarında bulunan enerjiyi emdiği ve kullandığı dalga enerjisidir. Bir türbini hareket ettirmek için salınlı su kolonları, dalga hareketini kullanan salınlı dönüştürücüler ve yükseklik dönüştürücüleri kullanılır.

Gelgit Elektriği; Bu işlem gelgit teknikleri vasıtasıyla, yüksek gelgit ile düşük gelgit arasında enerji toplamak amacıyla bir baraj veya bir bariyer kullanılarak gerçekleştirilir, yani gelgit akımı veya gelgit akımı teknolojileri olarak adlandırılır.

1.2.7.2. Tuzluluk Gradyan Enerjisi

Tuzluluk gradyan enerjisi, bir nehir okyanusa boşaldığında olduğu gibi, değişen tuz konsantrasyonlarından kaynaklanır. Basınç geciktirmeli ozmoz "tatlı suyun bir tuzlu su tankındaki basıncı yükseltmek için bir zardan hareket ettiği deneysel programlar ve alternatif sodyum ve tatlı su rezervuarlarından geçen tuz iyonlarının "ters elektro diyalizi" için kullanılır.

1.2.7.3. Okyanus Termal Enerjisinin

Dönüşümü; Sıcak yüzeydeki deniz suyu ile soğuk deniz suyu arasındaki sıcaklık farkından faydalanarak 800-1.000 metre derinlikte enerji oluşturan okyanus termal enerjisinin dönüşümüdür. Birçok denizi gören coğrafi konumuyla. Türkiye'de bu teknolojinin parlak bir geleceğe sahip olacağı öngörülmektedir.

1.3. Enerji Verimliliği

En temel şekliyle enerji verimliliği, aynı miktarda yararlı çıktı elde etmek için daha az girdi enerji kullanarak enerji tüketimini azaltma yöntemini ifade eder. Örneğin, enerji tasarruflu 12,5 watt'lık bir LED ampul, 60 watt'lık geleneksel bir ampulden% 80 daha az enerji kullanmasına rağmen aynı düzeyde ışık sağlar. Bu durumun bir karşılaştırması şekil 1.6 'de gösterildiği gibidir.



Akkor lamba
Güç: 60 W
Işık: 800 lümen
Ömrü: 1200 saat



Floresans lamba
Güç: 14 W
Işık: 800 lumen
Ömrü: 10000 saat



LED lamba
Güç: 12,5 W
Işık: 800 lumen
Ömrü: 25000 saat

Şekil 1.6. Tunsten tel yerine LED teknolojisi kullanılarak aynı güçten %20 oranında enerji verimi fakat aynı şiddette ışık elde edilebilmektedir.

Artan enerji maliyetleri ve sera gazı emisyonlarının neden olduğu çevre sorunları nedeniyle verimli enerji kullanımı yükselen bir trend olmuştur. Bu yeşil enerji eğilimi, tüketicilere satılmak amacıyla üretilen enerji verimli ürün ve cihazlarda kendini daha fazla hissettirmektedir. Bu eğilim evlere de uzanmaktadır: Giderek artan sayıda müstakil ev sahibi, mülkü satın almaya karar vermeden önce enerji derecelendirmesi talep etmeye başlamaktadır.

Enerji verimliliği, bir makineye veya sisteme toplam enerji girdisinin yararlı bir işte tüketilen ve yararsız ısı veya başka şekilde israf edilmeyen kısmıdır. İstenilen seviyedeki performansı sağlamak için herhangi bir sistem veya ekipman tarafından

ne kadar enerji kullanıldığını ölçer. Günümüzde, enerji verimliliği dünya çapında bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir, çünkü yüksek verimle bir nevi enerji üretme kabiliyetine sahiptir ve birincil enerji kaynaklarından elde edilebilecek elektrik üretimini tasarruf etmektedir.

Araştırmacılar, enerji verimliliğini "gizli yakıt" veya "görünmez güç" olarak tanımlamaktadırlar. Enerji verimliliği en başta enerji üretmeye gerek olmadığı için en ucuz enerji kaynağıdır. Son yıllarda, araştırmacılar enerji verimliliğini "ilk yakıt" ve başlı başına bir kaynak olarak ele almaktadırlar. Bununla birlikte enerji verimliliğinin enerji yoğunluğunu azaltmadaki etkisini fark etmek ve dünya çapında enerji güvenliği politikası yapımcılarını daha geniş ulusal altyapı planlamasına entegre etmeyi planlamaktadır. Şekil 1.7'de gösterildiği gibi, enerji verimliliğinin kendisi temel altyapı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.7. Enerji verimliliğinin birincil enerji kaynağı olduğunun gösterilmesi

Enerji verimliliği, Uluslararası Para Fonu ve diğer ekonomik kurumlar tarafından kullanılan altyapı tanımını karşılamaktadır. Çünkü geleneksel olarak kabul edilen diğer altyapılara benzer şekilde, enerji verimliliği uzun ömürlü sermaye stokudur, çok çeşitli mal ve hizmetlere girdi sağlar ve ekonominin diğer sektörlerine yük getirir. Tasarruf edilen enerji, üretilen enerji gibidir, bu nedenle enerji verimliliği, küresel olarak, sera gazı emisyonunu azaltmanın yanı sıra sürdürülebilir enerji sağlamanın en uygun maliyetli yolu olarak kabul edilir.

Endüstriyel kuruluşlar tarafından kârlı ve teorik olarak mümkün olan enerji tasarrufu önlemlerinin neden alınmadığı sorusu, rasyonellik hakkındaki klasik

varsayımlara meydan okuyor. Palm ve Thollander, “Endüstriyel aktörler yalnızca rasyonel hareket etseydi, bu boşluk olmazdı” demektedir (König, 2020). Enerji verimliliği, bir sürece konulan enerjiden kaynaklanan enerji veya işin yüzdesi olan ölçülebilir bir miktardır. Verimlilik, 0 ile 100 arasında bir yüzde olarak ifade edilir; örneğin, %95 verimliliğe sahip (çok verimli) bir süreç, enerji girdisinin %95'ini faydalı işe dönüştürür.

$$\text{Verimlilik} = [E (\text{çıkış}) / E (\text{giriş})] \times 100$$

1.4. Enerji Tasarrufu

Enerji tasarrufu, çevreyi korumak ve tüketimden tasarruf etmek amacıyla bireylerin ve toplumların çevreye karşı sorumluluklarını artırarak tüketilen her türlü enerji miktarında azalmaya yol açan bir davranıştır. Teknolojinin daha az enerji tüketerek aynı enerji hizmetini elde edebilceğinden dolayı, bu hedefe, enerjinin verimli kullanılmasıyla ulaşılabilir.

Enerji tasarrufu hakkında çeşitli yorumlar bulunmaktadır, bunlar:

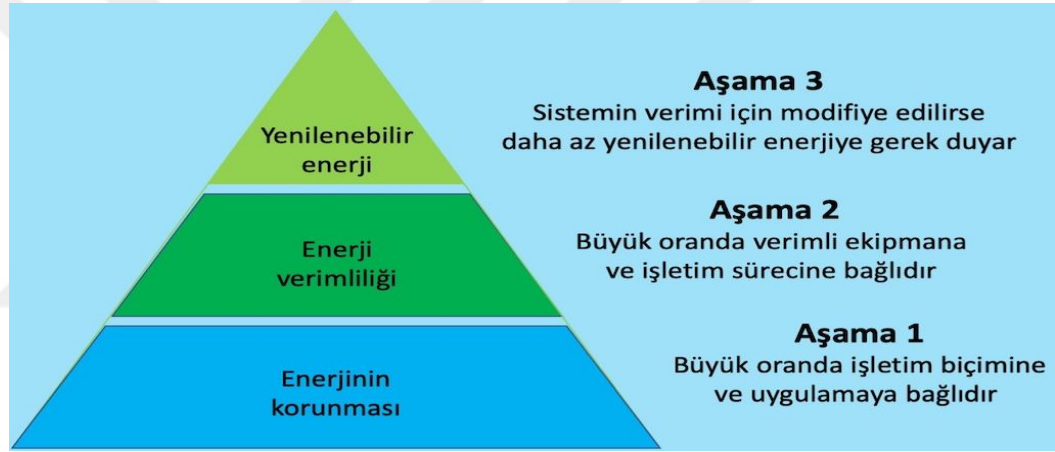
1. Daha az enerji ile ekonomik çıktıyı korumak veya artırmak için enerji kullanımının verimliliğini veya üretkenliğini artırmak.
2. Gereksiz Enerji kullanımını azaltarak uygun davranış göstermek.
3. Daha bol enerji kaynaklarına geçiş.

Günümüzde enerji tasarrufunun en yaygın anlamıyla enerji verimliliği, belirli bir konfor düzeyini daha azıyla sağlamak için teknolojik değişimi içerir. Enerji verimliliği bazen enerji yoğunluğu veya bir ürün veya hizmet birimi üretmek için gereken enerji miktarı olarak ölçülür. Enerji tasarrufu ve enerji verimliliği bilgi (örneğin, cihazların etiketlenmesi), teknolojik ilerleme (araştırma ve geliştirme) ile teşvik edilebilir.

Bir ekonomi ve politikadaki enerji tasarrufu, enerji tasarrufuna olan ilgiden dolayı değil, iklim değişikliği de dahil olmak üzere ekonomik, güvenlik ve çevresel kaygılardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu bağlamda enerji tasarrufu, atıkların azaltılması yoluyla enerjinin akıllıca kullanılması anlamına gelir. Bu nedenle, çıktı ve girdi enerjisine bağlı olarak enerji verimliliğini artırmaya yönelik üretim tekniklerinde stratejik bir değişikliğe ihtiyacımız bulunmaktadır.

Enerji tasarrufu, daha az enerji kullanarak enerji tüketimini daha az hale getirmek için yapılan çalışmalardır. Enerji tasarrufu, sınırlı kaynakların mümkün

olduğu kadar uzun süre dayanmasını sağlamakla ilgili değildir; bu, enerji kaynakları tamamen bitene kadar bir krizi uzatmaktan başka bir şey yapmadığınız anlamına gelir. Kullanılan enerjiyi azaltmak, aynı işi en az miktarda enerji tüketebilen modern teknolojilerin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Enerji tüketimini rasyonelleştirerek ve tasarruf sağlayarak, evlerimizde, iş yerlerimizde, endüstrilerimizde ve ulaşımda kullanılmaktadır. Başlıca enerji tüketim kaynakları şunlardır: Endüstriyel, imalat (%31), tarım, madencilik ve inşaat için kullanılan tesis ve ekipmanlarından oluşur. Finansal sermayede artış, daha iyi çevresel sonuçlar, ulusal güvenlik, kişisel güvenlik ve insan konforu ile sonuçlanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları hala nispeten yüksek maliyetlerde olduğundan, şekil 1.8'da gösterildiği gibi enerji tasarrufu ve enerji verimliliğinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan koşulların ve teknolojilerin sağlanması gerekli hale gelmiştir.



Şekil 1.8. Enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki uyum ve uyumun gerekliliği.

1.5. Amaçlar ve Hedefler

Bu çalışmanın amacı, bazı fabrika tasarımcılarının şu anda iyileştirme alanları bulmak için kullandıkları iyileştirme yaklaşımını analiz etmektir. Bu metodoloji, örneğin belirli bir konumda güneş sisteminin eğim açısını ve optimum eğimini ölçmek gibi fotovoltaik sistemlerin tasarımında ve simülasyonunda en son yazılımın kullanılmasını içerir ve optimum gücü üretmek için güneş sistemini tasarlamadan önce bu iki parametreyi diğer konfigürasyon değişkenleriyle birlikte değiştirmek ve ardından maliyet ölçüm enerjisini iyileştirmek için simülasyonları uygulamak.

- Güneş sistemlerinin tasarımında ve simülasyonunda kullanılan programların çalışmalarını anlamak, değerlendirmek, daha etkili ve daha faydalı olacak çerçeveleri geliştirmek için çalışmak.
- Fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve yapımı için güvenilir bir ön fizibilite çalışması gerçekleştirmek.
- Bu yazılımları güneş enerjisi sistemleri için performans iyileştirme araçları olarak maliyetine oranla verimini maksimum hale getirmek.
- Performansının iyileştirilebileceği en önemli belirleyicileri belirlemek için bu çalışmada kullanılan simülasyon programlarının sonuçlarını gerçekçi sonuçlarla karşılaştırmak ve değerlendirmek.

2. ENERJİ BİNASI

Son yıllarda, tek tek yapı elemanlarının (yani cihazlar ve ekipman) verimliliğine ve daha yakın zamanda tüm binanın verimliliğine odaklanarak bina enerji performansının artırılmasında büyük ilerleme kaydedilmiştir. Bir bina sistemleri metodolojisi, bina sistemleri içindeki ve bina sistemleri arasındaki bileşenlerin etkileşimlerini, bileşen ve tüm bina verimliliği arasında bir orta yol olarak ve ayrıca farklı binalar arasındaki ve bina ile elektrik şebekesi arasındaki etkileşimleri de dikkate alır. Yapılaşmanın olduğu çevrelerde önemli ve uygun maliyetli bir enerji tasarrufu elde etmek için gelecekte bir makine görünümü uygulamak giderek daha önemli hale gelecektir

Dünyanın her yerinde binalar, uzun vadeli bir enerji yatırımı olmanın yanı sıra başlıca enerji tüketicileridir. Bu nedenle, birçok ülkede yapı sektörü, birçok enerji tasarrufu projesinin odak noktası olmuştur. Gezegen genelinde, inşaat sektörü toplam nihai enerji tüketiminin %36 ve enerjiyle ilgili CO₂ emisyonlarının %40 sorumlusudur. Ayrıca, küresel enerji tasarrufu çabaları, nüfus artış hızı ve yapılaşma alanıyla birlikte inşaat sektörüyle ilişkili enerji tüketimindeki artışların azalmasıyla sonuçlanmıştır. Nitekim, kat alanı başına nihai enerji tüketimi 2000 yılında 200 kWh/m² iken, 2017 yılında 150 kWh/m²'ye gerilemiştir Bu durum enerji tüketiminin %25 oranında azaldığını göstermektedir (Tunc, vd., 2019).

Güneş enerjisi aynı zamanda bir şantiyede yenilenebilir elektriğin en çok kullanılan ve en yaygın şeklidir. Buna karşılık, enerji tasarrufu, bir binanın net sıfır enerji durumuna ulaşmasında kilit bir faktör olarak görülmektedir. Bu, küresel ve bölgesel düzeylerde enerji tasarrufu ve güneş enerjisinin(Net-Zero Energy Building- Net-Sıfır Enerjili Bina) NZEB'e iletimi arasındaki sinerjinin değerini göstermemize yol açar .Bu dengenin sağlanabilmesi için yapı sektöründeki enerji talebinin yanı sıra coğrafi konumu, şekli ve iklim koşulları da dengede olmalıdır(Tunc vd., 2019).

2.1. Güneş Enerjisi

Yaklaşan bir petrol kriziyle başa çıkmak için güneş enerjisi sistemleri, özellikle gelişmekte olan bir ekonomide daha ucuz ve daha basit bir seçenektir (Çolak, vd., 2020). Türkiye, ideal enerji çözümü olduğu için mevcut ve gelecekteki güneş enerjisi projelerini desteklemeye ve teşvik etmeye devam eden ülkelerden biridir. Güneş enerjisi sistemlerinin kurulum sahası, sahanın coğrafi yapısı ve iklim koşulları ile

projenin ekonomik fizibilitesi de dahil olmak üzere ana faktörlerin güçlü bir şekilde araştırılmasını gerektirir. Türkiye yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretmek için büyük adımlar atmıştır. 2016 sonunda Türkiye elektrik ihtiyacının %88,81'ini yerli ve yenilenebilir kaynaklardan karşılarken, yenilenebilir enerji kullanımı 36 GW'a ulaşmış bulunmaktadır. Bu elektrik talebi büyük ölçüde hidrolik güçten karşılanmaktadır (Alsadi and Khatib, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları hem ekonomik hem de çevresel olarak sürdürülebilir olduğundan, Türkiye gibi yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkelerin enerji politikalarını güneş enerjisine yönlendirmeleri akıllıcadır (Al Garni and Garni, 2018). Türkiye önemli enerji kaynaklarına sahiptir ve yeşil enerji kaynakları açısından çok zengin bir bölge olarak kabul edilmektedir. Türkiye son yıllarda güneş enerjisine odaklanarak bu alandaki geleceği değerlendirmeye başlamış ve avantajlarından yararlanmak için adımlar atmıştır. Güneş enerjisi, dünyadaki en yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve bu nedenle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla enerji sağlar. IEA önümüzdeki 30 yıl içinde dünyanın elektrik ihtiyacının yüzde 11'inin güneş enerjisi ile karşılanacağını iddia etmektedir. Ancak 2030 yılına kadar temiz enerji kaynaklarında önemli bir artışın gerçekleşeceği tahmin edilmekte ve bu artışın yıllık yüzde 7,6 olması beklenmektedir. Türkiye ile ilgili olarak, enerji pazarı hızla büyümektedir ve bu durum elektrik ve diğer birincil enerji kaynakları dahil olmak üzere enerji kaynaklarının korunması, Hükümetin gündeminin en üst sıralarında yer almaktadır. Sonuç olarak Türkiye, enerji verimliliğini artırmak, yerli ve yenilenebilir kaynakları kullanmak ve kurulum sayısını artırmak için bir enerji stratejisi geliştirmiştir (Çolak vd., 2020). Türkiye, yenilenebilir enerjinin önemli bir rolünü temsil eden yenilikçi bir gelecek için enerji politikası uygulamaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu, 26° -45 derece doğu meridyenleri ile 36°- 42° kuzey paralelinde bulunmasından dolayı bu ülkeye bol miktarda güneş ışığı düşmektedir. Bu açıdan Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle diğer bazı ülkelere göre farklılık göstermektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirerek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkararak temiz enerjinin geleceği için öncü bir iklim stratejisi sunmaktadır.

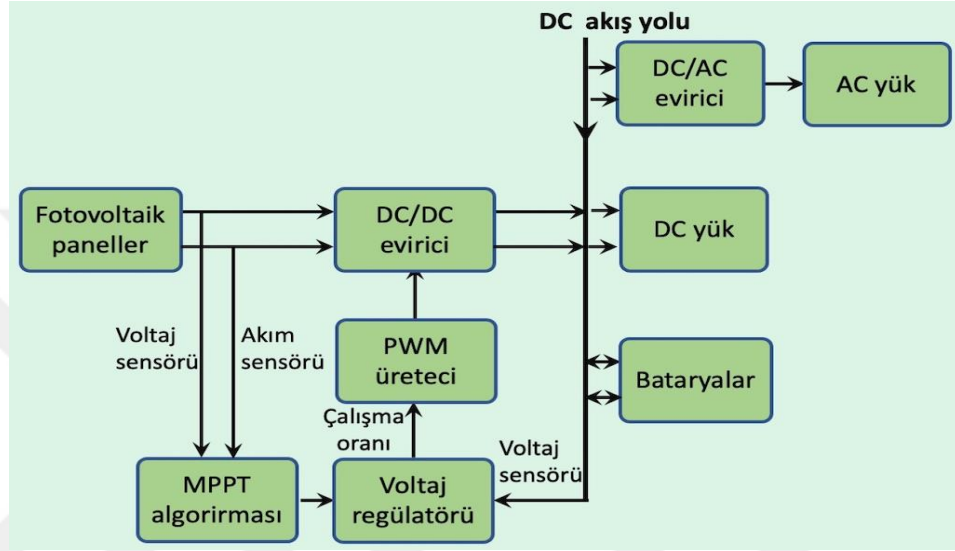
2.2. Solar Aktif Fotovoltaik (FV) Sistemler

Fotovoltaik Güneş enerjisi teknolojisi, yirmi yılı aşkın süredir muazzam ve sürdürülebilir büyüme ile enerji teknolojilerinde ön plana çıkmış, 2017 yılı sonunda yaklaşık 402 MW güneş enerjisi üretmiştir. Güneş pilleri çevreyi kirletmedikleri ve gürültü üretmedikleri için güvenilir cihazlar haline gelmiştir. Düşük karbon geliştirme yollarının küresel yaklaşımı nedeniyle, güneş enerjisi teknolojisi ekstra önem kazanmaktadır. Tüm bu nedenlerle güneş enerjisi teknolojisinin kullanımı yüksek maliyetine rağmen her geçen gün artmaktadır. Verimi %100 olan ideal bir sistem yoktur. İster tasarlanmış ister çevre koşullarının bir parçası olsun, değer düşürücü faktörler bulunmalıdır (Al Garni and Garni, 2018).

Kömür, gaz ve petrol gibi fosil yakıtların önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının yol açtığı çevre sorunları ve iklimsel bozulmalar, temiz enerji kaynaklarının kullanımına yönelik dönüm noktasını temsil etmektedir. Bu dönüşüm, ister araştırmacıları, işçileri ve tüketicileri, ister hükümetlerden ve siyasi karar alıcılardan gerekli desteği içersin, buna ulaşmak için tüm çabaları birleştirmeyi gerektirmektedir. Bu dönüşüm için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi tükenmez bir kaynaktır ve elektrik üretmek ve zararlı gaz emisyonlarını azaltmak için en umut verici enerji kaynaklarından biridir. Belirli bir lokasyonda mevcut olan güneş enerjisinin yıl boyunca aynı olmadığı ve lokasyondan lokasyona değişiklik gösterdiği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, bir güneş sistemi kurmadan önce iklim verilerini bilmek önemlidir. Bir FV panel tarafından elde edilen güneş enerjisini etkileyen temel faktörler, FV panelinin coğrafi konumu, hava sıcaklığı, görünürlük indeksi ve eğimidir. Bu nedenle, bir FV sisteminin ön tasarımında bu tür meteorolojik verilerin araştırılması çok önemlidir. Gölgeleme etkisi, kabloların azaltma faktörü, cihaz bileşenleri ve konfigürasyonlardaki kayıplar gibi diğer değişkenlerde üretilen elektriğe etki edebilir (Alsadi and Khatib, 2018).

Şebekeye bağlı ve bağımsız sistemler iki tip FV güç sistemidir. Fotovoltaik şebekeye bağlı ağlar, (Grid connected Photovoltaics, GCPV) FV teknolojilerini elektrik şebekesi ağıyla birleştirir. Bir evirici, FV modülleri tarafından üretilen DC elektriği GCPV sistemi içinde AC elektriğe dönüştürür (Sharma and Gidwani, 2017). FV sistemlerinin olağanüstü popüleritesinin ardındaki açıklama, varlıklarının çoğalması ve artan taleple birlikte fosil yakıtların yok olmasıyla ilgili dünya

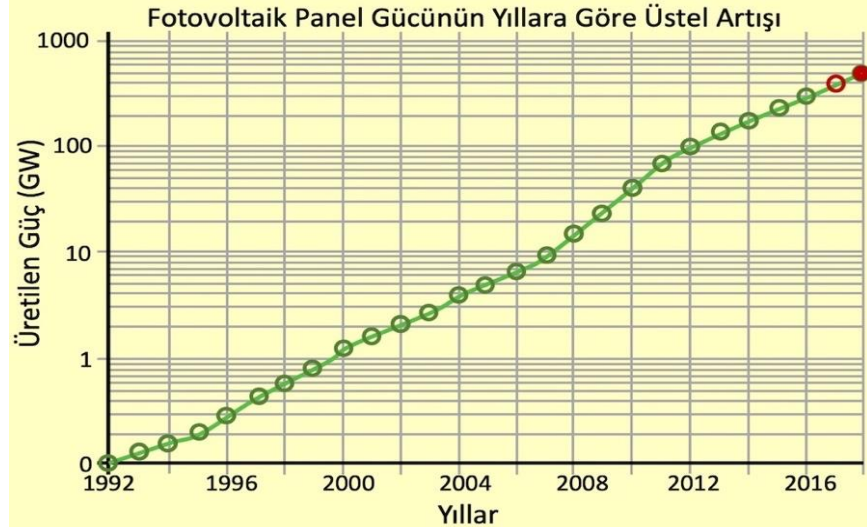
çapındaki endişedir. Başlangıçta masraf büyük bir zorluktu, ancak şimdi FV modülleri uygun maliyetlidir ve dağıtımli üretim sistemleri ile bir güç elektroniği dönüştürücüsünden oluşur. Güneş enerjisinin en bol enerji olduğu bilinen bir gerçektir. Güneş enerjisinin dünyanın yıllık enerji tüketiminin 15.000 katı olarak ölçüldüğünü hatırlamak da fayda vardır. Maliyet düşüşüyle birlikte, FV teknolojisi, genişlemekte olan elektrik piyasası için umut verici bir yenilenebilir enerji kaynağı olabilir (Verma, 2019).



Şekil 2.1. Kaynaktan ana şebekeye enerji akış diyagramı

Fotonun momentumu nedeniyle, güneş radyasyonu fotovoltaik plakanın yüzeyine düştüğünde Elektromotor kuvvet üretilir. Bu, güneş enerjisinin elektriğe ve FV dizisinden elektrik yüküne, akım dönüşümlerine dönüştürülmesiyle sonuçlanır. Güneş panelleri DC formunda elektrik üretir. Yük ayarına bağlı olarak, fotoelektrik cihaz bağımsız, şebekeye bağlı ve karma olarak sınıflandırılabilir. Şebekeye bağlı FV sistemleri için, sağlanan tüm elektrik doğrudan elektrik şebekesine iletilir. AC şebekesinden bağımsız olarak, yalıtımlı PV sistemlerinin çalıştığı bilinmektedir ve tipik olarak elektriksel DC / AC yükler ile donatılmıştır.

Çünkü güç şebekelerinde gücü artırmak için en etkili çözüm, voltaj seviyelerini iyileştirerek akımı azaltmak ve kayıpları ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle, FV sistemlerinde bir dizi birbirine bağlı güneş paneli kullanılırken, eğilim düşük voltajdan orta voltaja değişir. Evirici, FV dizisi tarafından üretilen DC gücünü AC formuna dönüştürdüğü için şebekeye bağlı FV sistemlerinin ana bileşenidir.

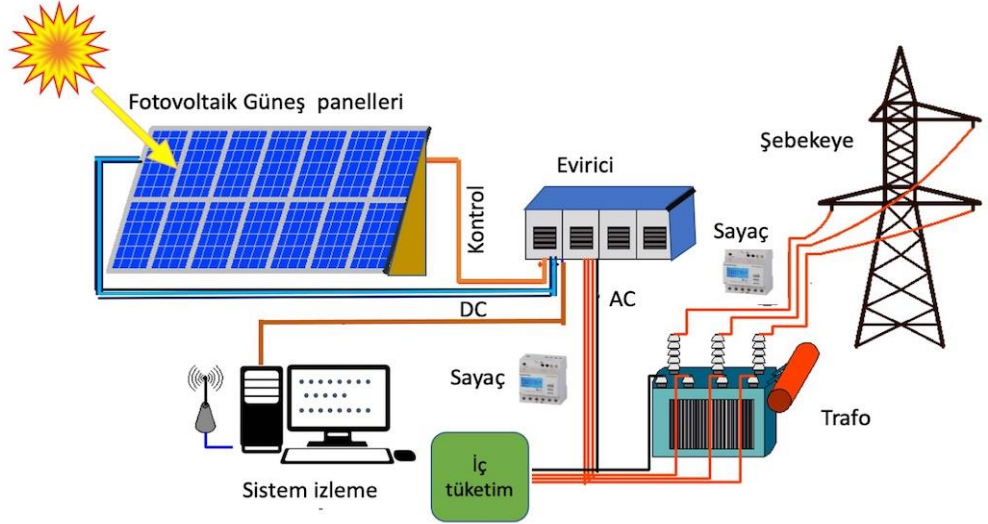


Şekil 2.2. 1992-2018 yılları arasında Fotovoltaik sistemlerin gelişiminin gösterilmesi(Growth of photovoltaics - Wikipedia, 2021).

2.2.1. Şebekeye Bağlı (GC) FV Sistemleri

Genel olarak, şebekeye bağlı FV ağları, bir güç kaynağına sahip tek fazlı çatı sistemleridir. Şebeke arayüzlü FV sistemleri, uygun maliyetli olmaları, düşük bakım gerektirmeleri ve depolama bataryalarına ihtiyaç duymamaları nedeniyle bağımsız sistemler tarafından tercih edilir. FV gücünü etkin bir şekilde tüketmek ve daha fazla elektrik üretmek için kullanılır. Bunların birincil gereksinimi, şebeke geriliminin dalga biçimiyle uyumlu sinüzoidal çıktının üretilmesidir. FV sistemi ve transformatörler, filtreler ve dönüştürme teknolojileri gibi çeşitli çevresel bileşenler, şebekeye bağlı bir sistemin ana hatlarını oluşturur. Güç elektroniği tabanlı DC/AC ters çevirme, şebekeye bağlı FV sisteminin temel özelliğidir. Öncelikle evirici dizisi, merkezi invertör ve invertör, mikro invertör veya AC modülüne ayrılmıştır.

Çalıştırma, güç seviyesi ve sistem kurulumuna bağlı olarak sınıflandırılabilir. Şebekeye bağlı farklı güç eviricilerinin tanımı Şekil 1.4'te açıklanmıştır. FV arabirim mikroinverter modülleri, modüllerin en yüksek güç noktasında (MPP) çalışmasını sağlamalı ve şebekeye sinüzoidal akım pompalanmalıdır. FV mikro eviriciyi şu şekilde de sıralamak mümkündür: (1 Güç dekuplaj türleri), (2 kademeli olarak güç işleme aşaması aralığı), (3 transformatörlü veya transformatörsüz) ve şebekeye bağlı 4 çeşit güç aşaması (Hasan, vd., 2017)



Şekil 2.3. Şebekeye bağlı FV sistemlerinin basitleştirilmiş bir çizimi.

2.2.2. Bağımsız Fotovoltaik (FV) Sistemler

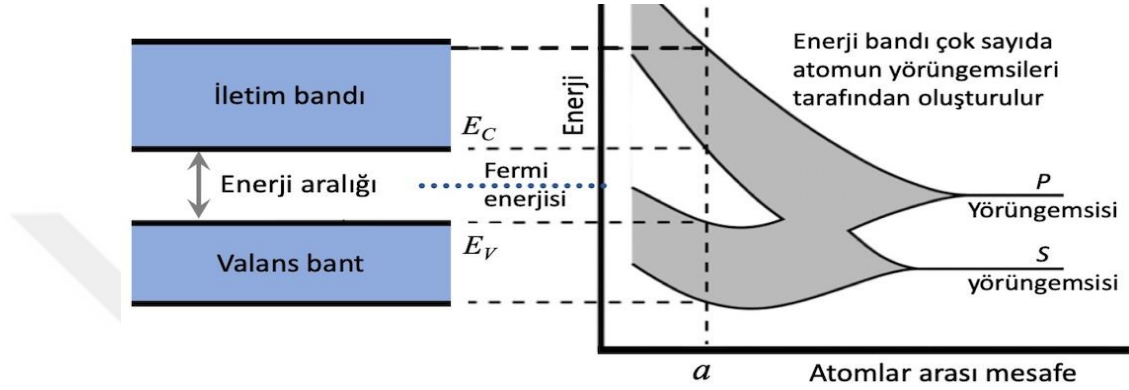
Şebekeden bağımsız güneş sistemi olarak da adlandırılan bağımsız bir sistem, şebekeye bağlı değildir ve kendi kendini idame ettiren bir şekilde çalışır. Pilleri şarj etmek için kullanılan PV bileşenlerinden oluşur. Bu şarj edilebilir kurşun piller, depolama cihazları olarak hizmet eder ve depolanan elektrikle birlikte elektrik yükü sağlar. Ayrıca kontrol ünitesi olarak bir şarj kontrolörü ve bir AC yük DC/AC dönüştürücü sağlar. Kabinler, motorlu arabalar, güneş enerjili su pompaları, acil durum telefonları ve şebekenin olmadığı kırsal alanlarda benzeri birçok uygulamalar için de kullanılabilir.

Bu nedenle bağımsız PV sistemleri kırsal elektrifikasyonda ve benzeri güneş enerjili evlerde etkili olmuştur. Düşük maliyetli, daha verimli, daha uzun ömürlü, dayanıklı ve düşük bakım gerektirmeleri nedeniyle faydalı olmalarına rağmen, maliyetli olmaları, kurulumları açısından bir engel teşkil etmektedir. Böylece, net kurulu gücün %99'u şebekeye bağlı FV sistemlerinin payı olurken, kalan yüzde 1'i bağımsız sistemlerden üretilir (Hasan vd., 2017). Bu yöntemin, Uzak bölgelerde elektrik ihtiyacını karşılamada en iyi seçim olduğu kanıtlanmıştır.

2.3. Güneş Pili Teknolojisi

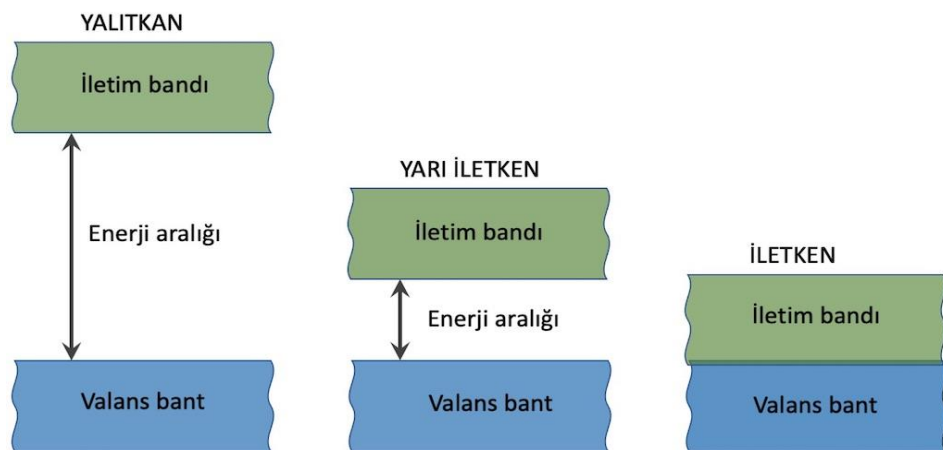
Solar FV hücrelerinin büyük kısmı yarı iletken silikondan yapılmıştır. Bohr postülaları, elektronun yalnızca gerçek bir atom düşünülduğünde, genellikle enerji düzeyleri olarak adlandırılan bu tür farklı enerji düzeylerindeki kabuklardan geçeceğini varsayar. Ve bir elektronun bir kabuktan diğerine yer değiştirmesi,

yalnızca elektromanyetik radyasyon emildiğinde veya dışarı atıldığında gerçekleşir. Birkaç atom birleştirilir ve ayrı kabukları bir enerji bandı oluşturması için kaynaştırılır. Ve şimdi enerji bantları arasında elektron transferi gerçekleşebilir. Grubun iki biçimi vardır: bir iletim bandı ve bir değerlik bandı. Değerlik bandı, değerlik elektronlarının (diğer atomlardaki elektronlarla bağlantıya eğilimli elektronlar) lokalize olduğu yerdir. İlk boş bant iletim bandıdır. Aralarındaki alan yasak bölge olarak bilinir.



Şekil 2.4. Kristaldeki Enerji bandının gösterimi.

Bant aralığı, yasak alandan geçmek için tüketilen veya salınan enerji miktarıdır. Yasaklı alanın genişliğine göre üç türe ayrılır: yalıtkanlar, iletkenler ve yarı iletkenler. İzolatörler, çok geniş bir bant aralığına sahip malzemelerdir: genellikle (3eV'den fazla). 0 ile 3eV arasında bant aralığına sahip malzemeler yarı iletken olarak kabul edilir ve iletkenler negatif bant aralığına sahip malzemelerdir.



Şekil 2.5. İzolatörlerin, iletkenlerin ve yarı iletkenlerin enerji bandının gösterimi.

Bant aralığı, yasak alandan geçmek için tüketilen veya salınan enerji miktarıdır. Yasaklı alanın genişliğine göre üç türe ayrılır: yalıtkanlar, iletkenler ve yarı

iletkenler. İzolatörler, çok geniş bir bant aralığına sahip malzemelerdir: genellikle (3eV'den fazla). 0 ile 3eV arasında bant aralığına sahip malzemeler yarı iletken olarak kabul edilir ve iletkenler negatif bant aralığına sahip malzemelerdir.

Tablo 2.1. Enerji boşluğunu geçmek için gereken enerjiye bağlı farklı malzeme türler (izolatörler ve yarı iletken)

Malzeme	Malzeme tipi	Bant aralığı ΔW G (eV)
Elmas	Izolatör	1.3
Galyum Arsenit	Yarı iletken	1.42
Silikon	Yarı iletken	1.12
Germanyum	Yarı iletken	0.7
Yarı iletken		

2.4. FV Modülleri

FV modülleri, güneş radyasyonunu elektriğe dönüştürme görevi üstlenir. Silisyum (Si), galyum arsenit (GaAs) ve bakır sülfat gibi yarı iletken malzemeler fotovoltaik etkiyi (Cu₂S) destekleyen malzemelerdir. Yarı iletkenler, elektron akışı için kristal kafesteki enerjinin geçici kullanılabilirliğine dayanan özel iletkenlik malzemeleridir. Fotonlar bir güneş pilinin yüzeyinden serbest hale geçtikçe, hücrenin kafes yapısındaki elektronlar, yarı iletkende daha yüksek bir enerji durumuna serbestçe geçebilmesi için yükseltilir. Elektronlar ilk konumlarından hareket ettiklerinde, bu aktarımı destekleyen dopantlar tarafından meydana getirilen iki ince bölge kısmında holler olarak bilinen pozitif yükler üretirler. Dopantlar, yarı iletkenlerin elektriksel özelliklerini değiştiren ve n-tipi bölgeleri elektronun fazla olduğu ve p-tipi bölgeleri ise pozitif yüklerin yoğun olduğu bölgelerin üretimine katkıda bulunan özel olarak eklenen safsızlıklardır. P-n bağlantısına yakın fotonlar tarafından serbest elektronlar ve delikler oluşturulurken, elektrik elektronları n-tipine ve holleri p-tipine doğru iter ve n ve p bölgeleri arasında bir elektromotor kuvvet (EMF) meydana getirir. Kablolar daha sonra elektrik akımı ile harici bir devreyi beslemek, n ve p taraflarını bağlamak için kullanılır (Magaji, 2016)

2.4.1. FV Modül Teknolojisi

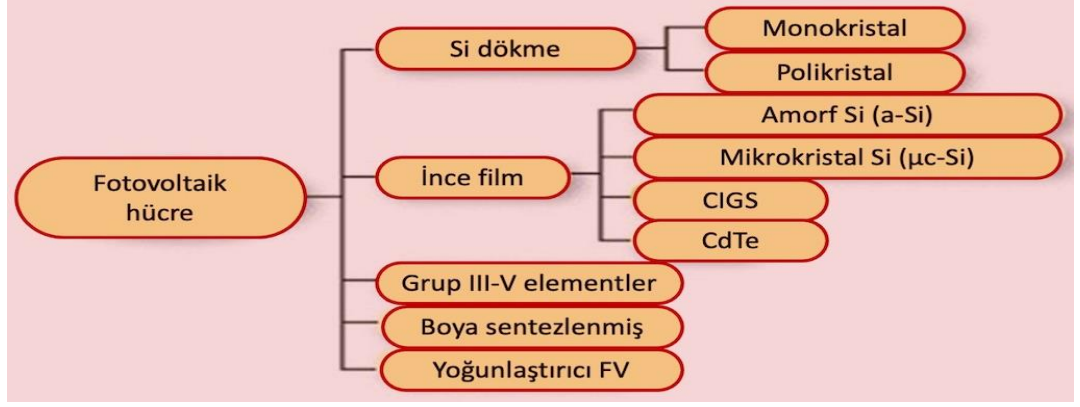
Halihazırda piyasada çeşitli FV modülleri mevcuttur ve bunların tümü elektriksel ve optik özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Belirli koşullarda veya durumlarda, bu varyasyonlar, belirli modül türlerinin diğerlerinden daha iyi çalışmasına olanak tanır. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, FV modüllerini diğer küçük alt bölümlere sahip kristalin silikon ve genellikle ince film modüllerine sınıflandırmak mümkündür.

2.4.1.1. Çok Kristalli Silikon (multi-c-Si) Güneş Pilleri

Genellikle Polikristal silikon olarak bilinen bu hücre teknolojisi (p-Si)'dir. Ham silikon eritilip kare bir kalıba döküldüğünde, multi-c-Si hücreleri oluşturulur ve daha sonra soğutulur ve dikdörtgen gofretler halinde kesilir. Şekil 2.5c ve 2.5d'de görüldüğü gibi, bu yaklaşım, görünen kenarlar ve tane sınırları nedeniyle multi-c-Si hücrelerinde değişken gölgeler üretir. Üretim yöntemleri Czochralski sürecinden daha ucuz olduğundan, Multi-c-Si modülleri Mono-c-Si modülleri kadar maliyetli değildir, ancak modüller aynı derecede sağlamdır, bu nedenle genellikle yaklaşık 25 yıllık bir garantiye sahiptirler. Verimlilikleri marjinal olarak daha düşüktür, genellikle yüzde 13 ile yüzde 16 arasındadır, ancak Mono-c-Si modül verimliliğinden daha düşüktür.

2.4.1.2. Monokristal Silikon (Mono-c-Si) Güneş Pilleri

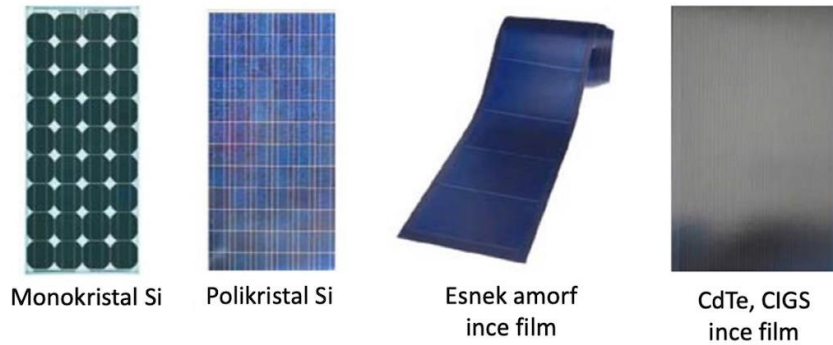
Bu güneş pilleri ayrıca tek kristalli güneş pilleri olarak da adlandırılır ve silindirik silikon külçelerden yapılır. Czochralski yöntemi kullanılarak silikon gofretler üretmek için külçelerden dört taraf kesilir ve bu, Mono-c-Si PV modüllerine karakteristik görünümünü veren yöntemdir. Şekil 2.5a'da görüldüğü gibi, Mono-c-Si modüllerinin güneş pilleri, tek bir yüksek saflıkta silikon kristalinden yapıldıkları için koyu tek biçimli ve tekdüze renkli bir görünüm sergiler. Yüksek kaliteli silikon malzemeleri sayesinde, Mono-c-Si güneş panelleri, genellikle yüzde 15 ile yüzde 20 arasında değişen en iyi performansa sahiptir ve diğer modül türlerine kıyasla ortalama bir garanti ile en uzun süre dayandığı görülmektedir. Bu süre diğer tüm modül türlerine kıyasla 25 yıldır. Polikristal ve ince film modüllere göre daha pahalı olmaları önemli dezavantajlarından biridir.



Şekil 2.6. FV hücre teknolojilerinin gösterilmesi

2.4.1.3. İnce Film Güneş Enerjisi Teknolojisi

Cam, metal veya plastik gibi bir alt tabaka üzerine ince FV içerikli katmanlar bırakılarak ince film modülleri yapılır. Silisyum bazlı olan kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum galyum selenit (CIGS), amorf ince film silikon (a-Si), ticari olarak yaygın olarak kullanılan ince film fotovoltaik (TFPV) güneş pili türleridir. TFPV modülleri genellikle daha düşük verimliliğe sahiptir. Kristalli muadilleriyle karşılaştırıldığında; bu teknolojinin seri üretimi de daha kolaydır ve genellikle yüksek sıcaklıklara ve gölgelemeye daha az duyarlıdır. Bununla birlikte, bu tip PV modülü genellikle marjinal olarak daha hızlı bozulmaya duyarlı olarak kabul edilir ve kristal ile karşılaştırıldığında daha kısa bir ömre sahiptir.



Şekil 2.7. FV modül türleri

2.5. İnvertörler

Solar FV modülleri tarafından üretilen DC elektriğin AC elektriğe dönüştürülmesi, güneş enerjisi eviricilerinin çalışma görevlerindedir. Bu, enerjinin sahada kullanılmasına veya başka ekipman tarafından şebekeye beslenmesine ve

diğer son kullanıcılara dağıtılmasına izin vermek içindir. Eviriciler, belirli bir uygulamanın ötesine geçer ve genellikle şu alanlarda yardımcı olur:

- FV sisteminin enerji üretimini optimize etmek için maksimum güç noktası izleme (MPPT).
- FV sistemini şebeke kodu doğrultusunda şebekeye bağlamak.
- Temel izleme ve yardımcı tesislerin sağlanması.

Her biri tasarım ve kabiliyet açısından farklılık gösteren ve onu bazı FV sistemleri için diğerlerinden daha uygun kılan güçlü yönleri ve dezavantajlarını gösteren birkaç evirici topolojisi vardır.

2.5.1. Dizi İnvvertörleri

Bu eviricilerin adı, onlara bir dizi veya birkaç dizi FV modülünün bağlı olması özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bu yöntem, bir evirici arızalanırsa veya bakım rutinleri sırasında çıkarılması gerekiyorsa, sistem topolojisindeki diğer çalışan dizi eviricilerden güç sağlamaya devam edeceğinden, tüm sistem için daha düşük bir risk sağlar. Bir dizi evirici cihazının kurulması, çoğu zaman, dizi başına çoklu yönlendirmelerin ve değişken modüllerin garanti edildiği alanlar için uygun olan çeşitli dizi tasarımlarını barındırmanın mümkün olmasını sağlar. Konut veya ticari FV santralleri için, 1 kW ile 8 kW arasında değişen bir güce sahip olduğu için bu tip invertör sıklıkla kullanılır. Dizi evirici, modülerlik nedeniyle daha düşük sistem dengesi (BOS) ve devam eden bakım maliyetleri ve daha basit tasarım gibi avantajlara sahiptir. Daha yüksek DC watt birim maliyetleri ve ayrıca artan sayıda inverter bağlantısı ve AC kablolama bu evirici tipinin dezavantajlarıdır.

2.5.2. Merkezi İnvterterler

Merkezi eviriciler dizi eviricilerine benzer, ancak çok daha geniştir ve daha fazla diziyi barındırabilir. Merkezi evirici kurulumlarında, diziler önce tipik bir birleştirici kutusunda birbirine bağlanır ve ardından dizilerin doğrudan eviricide çalıştığı dizi evirici kurulumlarının aksine DC gücünü merkezi evirici girişi tarafına iletir. Genel olarak, merkezi invertörler daha az parça bağlantısına ve DC watt için daha düşük birim maliyete ihtiyaç duyar, ancak kurulum maliyeti daha yüksek ve DC kabloları ve birleştiriciler için daha yüksek maliyetlere sahip görünmektedirler. Genellikle daha geniş alanlar için invertör pedlerine ihtiyaç duyarlar. Bu tür

eviricilerin gücü normalde 50 kW ile 1000 kW arasında değişir ve bu nedenle ticari ve kamu hizmeti ölçeğindeki FV tesisleri için daha uygundur.

2.5.3. Mikro İnvörtörler

Adından da anlaşılacağı gibi, mikro eviriciler, DC'yi doğrudan güneş panelinden AC elektriğe dönüştüren güneş eviricilerinin çok daha küçük bir çeşididir. Güç optimize edicilerle birlikte mikro invörtörler, modül düzeyinde güç elektroniği (MLPE) ailesinin bir parçasıdır. Bütün bir dizi veya dizi grupları yerine, her bir FV modülünün çıkışını kontrol ederler. Konut ve ticari FV sistemleri için giderek daha yaygın bir invörtör seçimi haline gelmektedirler, ancak birim watt başına daha yüksek maliyetleri ve bu tür büyük FV santralleri için ihtiyaç duyulacak çok sayıda mikro evirici nedeniyle, genel olarak kamu hizmeti ölçeğinde daha az pratik kabul edilmektedir. Mikro eviriciler, belirli tedarikçilerden AC üniteleri olarak bilinen modülleri üretmek için FV cihazlarına da uygulanmıştır. Bu, bileşenleri çok daha maliyetli hale getirir, ancak montajın daha kolay ve nispeten daha pürüzsüz olduğu anlamına gelir.

2.6. FV Sistem Montajı

Bir sistem bileşenlerinin nasıl monte edildiği genellikle hem sistemin performansı hem de maliyetleri üzerinde etkilidir. Yere monte FV sistemini genellikle üç ana gruba ayırmak mümkündür, yani.

2.6.1. Sabit Eğim

Sabit eğim, (θ T) ve azimut açıları, alt matris sabittir, (ϕ C). Çoğu tasarımcı, tipik olarak, istenen eğim açısı olarak ülkenin enlem açısını ve ekvatora hemen bakan konum olarak azimutu kullanır; güney yarım küredeki yerler için kuzey ve kuzey yarım küredeki yerler için güneydir. Bu tezde, Türkiye'nin kuzey yarım küredeki konumuna bağlı olarak, güneş sistemini güneşe doğru sabit bir eğimle simüle edilecektir.

2.6.2. Azimut İzleme

Alt dizinin sabit bir eğim açısında olduğu, ancak yatay bir düzlemde döndüğü, güneşin günlük hareketini gözlemlediği ve azimut açısını göz ardı ettiği yerdir.

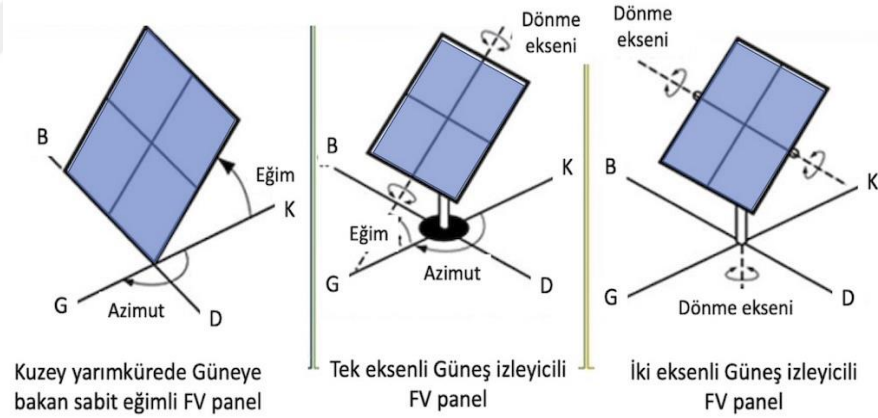
2.6.3. Tek Eksenli

Alt dizinin sabit bir eğim açısıyla monte edildiği ve güneşin kuzey-güney eksenindeki dönüşünü sabah doğudan akşam batıya doğru izlediği yerdir. Bazı tek eksenli izleme sistemleri, uzak doğuya doğru geri izleme olarak bilinen bir mekanizma kullanır ve alt dizinin batıya dönüşü, birbirlerini gölgelemelerini önlemek için güneş izleme modülü sıralarının yönünü değiştiren izleyici dönüşü ile belirlenir.

2.6.4. Çift Eksen

Tek eksenli bir takip sistemi gibi, alt dizi, güneşin sabit dönüşünü takiben doğudan batıya döner ve ayrıca yıl boyunca güneşin kuzey-güney yönündeki mevsimsel hareketini de kaydeder.

İzleme sistemleri, günün herhangi bir saatinde, ülke ile ilgili güneşin oryantasyonunu sınıflandırabilen ve modüllerin yüzeylerindeki güneş ışınımının insidansını optimize etmek için doğrudan aynı yöne bakacak şekilde alt dizilerin hizalanmasına izin veren gelişmiş algoritmalar kullanır. Yukarıda belirtilen montaj yöntemlerinin şematik gösterimi Şekil 2.8'de görülebilir (NREL SAM ABD).



Şekil 2.8. FV dizisinde montaj yöntemlerinin gösterilmesi.

2.7. FV Sistem Performans Parametreleri

Fotovoltaik sistemin performansının değerlendirilmesini etkileyen birçok faktör, tesisin mali ve teknik performansının bir göstergesi olarak bu bölümde tartışılacaktır. Bu faktörler, fotovoltaik sistemin performansının açık göstergelerini temsil eder; bu, bir yandan performansı artırma olasılıklarını tespit etmenin ve diğer yandan da bunun neden olduğu eksikliği gidermenin mümkün olduğu bir araştırmadır.

2.7.1. Enerji Üretimi

Bir tesisin verimliliğini ölçmenin en yaygın yollarından biri, bir FV cihazının elektrik enerjisi çıktısıdır. Enerji üretimi normalde bir tasarım hedefi olarak belirlenir ve üretim, belirlenen eşik değerine eşit veya daha büyük veya en azından nispeten yakın olsa da tesisin çok iyi çalıştığı kabul edilir. Bir fotovoltaik sistemin enerji verim miktarını etkileyen en önemli faktörler arasında güneş panelinin sıcaklığı, FV modülünün yüzeyinde meydana gelen radyasyon miktarı, FV modüllerinin ve transformatörlerin verimliliği ve güç kayıplarıdır. Güç çıkışı, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, teknik olarak makinenin toplam güç çıkışı (genellikle kilovat cinsinden verilir) ve ilgili zaman aralığı (genellikle saat cinsinden ölçülür) olarak belirlenir.

$$\text{Toplam Enerji (kWh)} = \text{Toplam güç (kW)} \times \text{Zaman (h)}. \quad (2.1)$$

2.7.2. Spesifik Verim

Tanımlanmış verim, enerji çıktısını en yüksek kurulu kapasitesine karşı istifleyerek bir tesisin performansını ölçme yöntemidir. Genellikle farklı teknolojiler veya yöntemlerle tasarlanmış PV sistemlerinin işletim sonuçlarını standart bir ölçekte karşılaştırmak için kullanılır. Spesifik verim şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Spesifik Verim (kWh/kWp)} = \frac{\text{Toplam Enerji (kWh)}}{\text{Tepe Kapasitesi (kWp)}} \quad (2.2)$$

2.7.3. Performans Oranı

Kalite faktörü (Q), bir PV sisteminin kalitesinin bir göstergesi olduğu için çıktı oranı (PR) olarak da bilinir. PR'ye bakmanın başka bir yönü, bir FV sisteminin enerji kalitesi ve güvenilirliğinin bir göstergesidir. PR, FV sisteminin gerçek çıktısı ile potansiyel enerji çıktısı arasındaki ilişkiyi gösterir ve Denklem 2.3'te görüldüğü gibi genellikle yüzde olarak ifade edilir.

$$\text{Performans oranı (\%)} = \frac{\text{Toplam Tesis Çıktısı (kWh)}}{\text{Hesaplanan Nominal Çıktı (kWh)}} \times 100 \quad (2.3)$$

Nominal güç santralının çıktısının, FV tesisinin jeneratör yüzeyindeki yıllık brüt güneş ışınlamayı kullanarak belirlendiği durumlarda, Annual POA Irrad. ve FV tesisi modüllerinin bağıl performansı, $\eta_{\text{Modül}}$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Nominal Çıktı (kWh)} = \text{Yıllık POA Irrad. (kWh)} * \eta_{\text{Modül}}. \quad (2.4)$$

2.7.4. Kapasite Faktörü

Kapasite Faktörü (CF), bir fotovoltaik tesis tarafından mümkün olan maksimum çıktıya göre üretilen enerji miktarının bir hesaplamasıdır. Normal çalışma koşullarında tesis tarafından üretilen toplam enerjinin belirli bir süre boyunca tam kapasite ile çalışacaksa tesis tarafından üretilen toplam enerji miktarına bölünmesiyle bir fraksiyon veya yüzde olarak belirlenir. Denklem 2.13'te tanımlandığı gibi hesaplanır:

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{Üretilen Toplam Enerji (kWh)}}{\text{Mümkün Maksimum Enerji Çıktısı (kWh)}} \quad (2.5)$$

2.7.5. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE)

Derecelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE), çalışan bir tesisin kilovat-saat (kWh) başına tahmini bir mali ömür üzerindeki maliyetidir. LCOE, hem elektrik üretim teknolojisinin ömrü boyunca sürdürülen maliyetleri hem de aynı zaman diliminde üretilen enerji birimlerini hesaba katarak, güç üretim teknolojisinin genel rekabet edebilirliğinin bir ölçüsünü sunar. Ayrıca, çeşitli mimarilerden, yaşam sürelerinden veya kapasitelerden projeleri karşılaştırmanın basit bir yoludur ve bu, özellikle şebeke rekabetçiliğini ve şebeke paritesine olan yakınlığı ölçmede yararlıdır (bu, alternatif bir enerji kaynağı bir LCOE'de güç üretebildiğinde meydana gelir) elektrik şebekesinden satın alma gücünün fiyatına eşit veya daha az). LCOE'yi hesaplamak için basitleştirilmiş formül:

$$LCOE = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+d)^n}} \quad (2.6)$$

Burada:

N; analiz dönemidir,

C_n ; n yılındaki yıllık proje maliyetleridir,

Q_n ; sistemin n yılında kWh cinsinden ürettiği elektrik miktarıdır.

d; nominal (enflasyon dahil) veya reel (enflasyonsuz) iskonto oranları için dnominal veya real olabilen iskonto oranıdır.

Yıllık maliyetlerin toplamı, yatırım maliyetlerini karşılamak için $n = 0$ 'dan başlarken, toplam elektrik çıktısının toplamı $n = 1$ 'den başlar, çünkü bu, sistemin enerji üretmeye başladığı zamandır.

2.8. Kayıplar veya İndirgeme Faktörleri

Düşürme faktörü, DC elektriği AC elektriğe dönüştürürken meydana gelen düşüşü yansıtan bir yüzdendir. Düşürme faktörü, DC'den AC'ye dönüştürme işlemi sırasında meydana gelen gerçek sistem kayıplarını modellemek için kullanılır. Düşürme etkisi, elektrik kayıpları, modül uyumsuzluğu, kirlenme ve gölgeleme gibi AC elektriğe aktarılabilen DC enerjisi miktarını azaltan çeşitli faktörleri açıklar. Bu, kWh çıkışı karşılaştırılarak bir sistem için doğru bir şekilde test edilebilir. Bir yıllık (birçok yeni sistemin sahip olduğu izleme uygulamalarından) enerji tahmini çıktısına kadar. İndirgeme faktörleri, ister sabit ister güneş takip sistemi ile çalışıyor olsun bir kısmı güneş sisteminin çevresindeki ortamla ilgili, bir kısmı da güneş sisteminin mekanizması ve kurulumu ile ilgili olan güneş panelleri dizisi arasındaki mesafenin yanı sıra bir grup faktörden oluşur.

Düşürme faktörlerini ifade eden en popüler formüllerden biri şudur: DC'den AC'ye düşürme faktörü = DC isim plakası güç derecesinden kayıplar.

Azaltma faktörü = kayıp faktörü

Tüm güneş sistemi için indirgeme faktörü, güneş sisteminin her parçası için indirgeme faktörlerinin çoğuna ve etrafındaki çevresel faktörlere eşittir.

DC'den AC'ye indirgeme faktörü = indirgeme faktörlerinin matematiksel ürünü FV sisteminin bileşenleri.

Sistem d.f = df1 x df2 x df3 x df4 x

Toplam İndirim Faktörü = Proje Verimliliği.

STC'deki AC güç derecesi, isim plakası DC güç derecesini genel bir DC-AC değer düşürme faktörü ile çarparak hesaplanır. Düşürme faktörü, kayıp yüzdesi düşüldükten sonra yüzde cinsinden verilir. Örneğin, güneş sisteminin bir parçası için değer kaybı faktörünün %95'e eşit olduğunu söylediğimizde, bu faktör sayesinde üretilen gücün %95'ini alacağımız anlamına gelir. Aşağıda gösterildiği gibi FV Dizisi tarafından üretilen güç kaybını hesaba katmak için değer düşürme faktörleri kullanılmalıdır:

2.8.1. FV Modülü İçin Değer Kaybı Faktörü

PV modülü isim plakası DC değeri için değer düşürme faktörü, üreticinin isim plakası derecesinin doğruluğunu hesaba katar. PV modüllerinin temsili bir örneğinin saha ölçümleri, PV modül güçlerinin isim plakası değerinden farklı

olduğunu veya maruz kaldıklarında ışık kaynaklı bozulma yaşadıklarını gösterebilir (kristal silikon PV modülleri bile güneş ışığına maruz kaldıklarının ilk birkaç saati, güç stabilize olduktan sonra tipik olarak ilk güçlerinin %2'sini kaybeder). %95'lik bir değer kaybı faktörü, testin STC'de üreticinin isim plakası derecelendirmesinden %5 daha az güç ölçümleri verdiğini gösterir.

2.8.2. İnvertör ve Transformatör İçin Değer Kaybı Faktörü

İnverter ve transformatör için değer düşürme faktörü, DC gücünü AC gücüne dönüştürmedeki birleşik verimlilikleridir. Bu inverter verimlilikleri, bir transformatör kullanıldığında veya üretici tarafından istendiğinde transformatörle ilgili kayıpları içerir. Düşürme faktörünün %97'den fazlasına ulaşabildiği inverter endüstrisindeki gelişme ile İnverter kayıpları, inverter çıkış terminalinde mevcut gücün, invertör çıkışının, tüm bu kayıplardaki güce oranı olarak adlandırılır. Eviricilerdeki kayıplar, esas olarak yarı iletkenlerdeki ohmik ve anahtarlama kayıplarından kaynaklanmaktadır. Toplu olarak, giriş terminali inverteri, invertör çıkış gücü kaybı, sonuçta kayıp olarak verilir.

$$P_{inv,kayıp} = 100 * \left(1 - \frac{P_{inv,çıkış}}{P_{inv,giriş}}\right) = 100 * (1 - \eta_{inv}). \quad (2.7)$$

2.8.3. Uyumsuzluk Kayıpları

Uyumsuzluk kayıplarına esas olarak dizi bağlantılı modüllerdeki değişen akım taşıyıcıları neden olur. FV modüllerinin akım-voltaj (IV) karakteristikleri gibi elektriksel karakteristikleri, aynı FV modül modelinde bile asla aynı değildir. En düşük akıma sahip modül, bir seri bağlantı durumunda tüm diziyi çalıştırır ve buna karşılık gelen güç kaybı, uyumsuzluk kaybı veya devre uyumsuzluğu kaybı (CM) olarak adlandırılır. Uyumsuzluk kayıplarını ölçmek o kadar kolay değildir. Bununla birlikte, daha uygun bir yol, kayıpları hesaplayarak uyumsuzluk kayıplarını elde etmektir:

$$CM = \frac{\sum_{n=1}^N P_{m,max} - P_{a,max}}{\sum_{n=1}^N P_{m,max}} \quad (2.8)$$

Burada:

P_m ; max her modülün maksimum çıkış gücüdür,

P_a ; max tüm dizinin maksimum çıkış gücüdür,

n; bir dizideki modüllerin sayısıdır.

2.8.4. Diyotlar ve Bağlantılar İçin Değer Kaybı Faktörü

Diyotlar ve bağlantılar için indirgeme faktörü, akımın ters akışını engellemek için kullanılan diyotlardaki voltaj düşüşlerinden ve elektrik bağlantılarındaki direnç kayıplarından kaynaklanan kayıpları hesaba katar. Diyotlar, FV panellerinde akım akışının tek yönlü olmasını sağlar. Ayrıca, çok sayıda elektrik bağlantısı, enerji kayıplarına neden olan direnci empoze eder. Her ikisi de bir sistemin değerinin düşürülmesine katkıda bulunur.

2.8.5. DC Ohmik İçin Kaybı Faktörü

DC Ohmik kayıplar, öncelikle FV modüllerini bağlayan kabloların direncinden kaynaklanır, ancak aynı zamanda sigortaların ve terminal bağlantılarının geçiş direncinden de kaynaklanır. Bu nedenle, DC omik güç kayıpları tipik olarak şu şekilde ölçülür:

$$P_{DC,ohmic} = I^2 R \quad (2.9)$$

DC dizisinin ortalama akımının I olduğu ve kablolardaki direncin R olduğu durumlarda, kablo uzunlukları ve boyutlarındaki paralel diziler arasındaki farklar, $I * R$ gerilim düşüşlerine neden olabilir.

Bu, uyumsuzluk kayıplarına yol açar, bu nedenle DC omik kayıpları ve uyumsuzluk kayıplarını birleştirmek ve bunları tek bir kayıp miktarı olarak vermek alışılmadık bir durum değildir. (Rasheed, vd., 2021).

2.8.6. Kirlenme İçin Kaybı Faktörü

Kirlenme için azalma faktörü, FV modülünün güneş pillerine ulaşan güneş radyasyonu miktarını azaltan FV modülünün ön yüzeyindeki kir, kar veya diğer yabancı maddeleri hesaba katar. FV modül yüzeyindeki kir birikimi, konuma ve hava durumuna bağlıdır ve seyrek yağmurlu, trafiğin yoğun olduğu, kirliliğin yüksek olduğu alanlar için daha büyük kirlilik kayıplarına neden olur. Kışın kuzey bölgeleri için kar, azalmanın şiddeti, alınan kar miktarına ve FV modüllerinde ne kadar süre kaldığına bağlı olarak, üretilen enerji miktarını azaltacaktır.

Alt donma sıcaklıklarının hüküm sürdüğü, küçük FV dizisi eğim açıları karın kaymasını önlediği, FV dizisi çatıya yakından entegre olduğu ve çatı veya yakındaki diğer yapı, karın FV modülleri üzerine sürüklenmesini kolaylaştırdığında kar en uzun

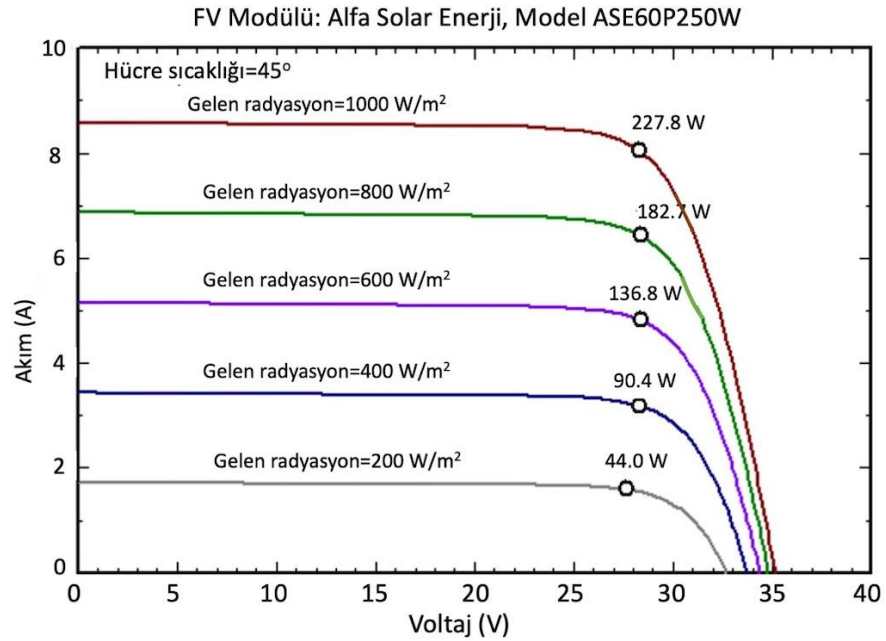
süre kalır. Örneğin Minnesota'da çatıya monte fotovoltaik sistemin 23 derecelik bir eğimle, karın kışın enerji üretimini %70 oranında azalttığı, çatıya monte edilen fotovoltaik sistemin ise 40 derecelik bir eğim açısında ise %40 azalmaya neden olduğu görülmüştür.

2.8.7. Sistem Kullanılabilirliği İçin Değer Kaybı Faktörü

Sistemin performansı, FV biriktirme işleminin kesinti süresinden ve onarımlar vb. nedeniyle kamu hizmeti yetkililerinin kesinti süresinden etkilenir. Sistem kullanılabilirliği için değer düşürme faktörü, sistemin bakım, invertör ve şebeke kesintileri nedeniyle kapalı olduğu zamanları hesaba katar. 0,98'lik varsayılan değer, sistemin yılın %2'sinde kapalı olduğunu gösterir.

2.8.8. Işınım Seviyeleri İçin Kaybı Faktörü

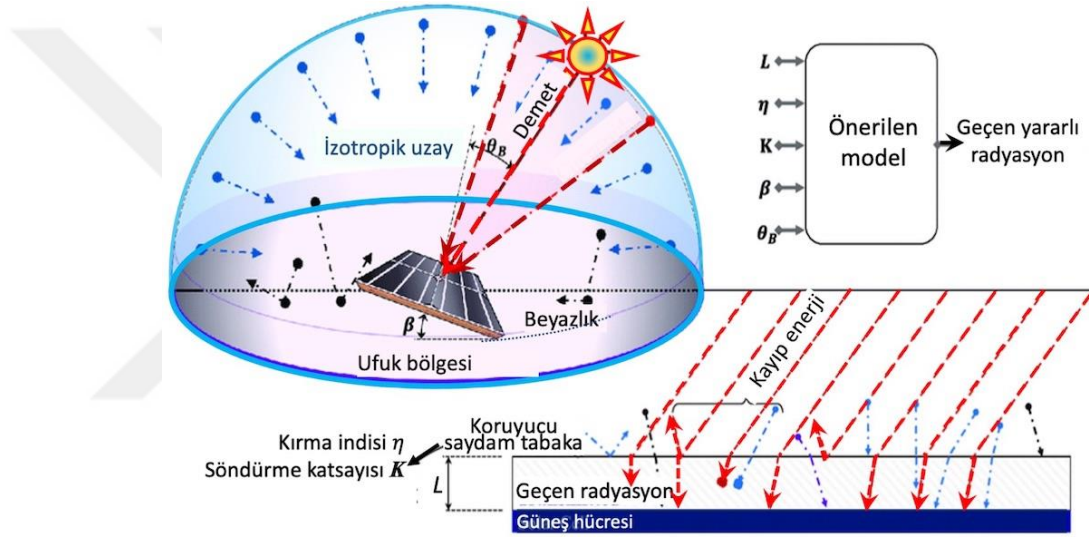
Işınımdan kaynaklanan kayıplar, düşük ışınım koşulları altında FV modülünün performansındaki düşüşten kaynaklanır. Bunun nedeni, bir FV modülünün performansının yüksek ışık parlaklığı koşullarında 1000 W/m² ye artmasıdır. Aşağıdaki şekil, güneş sisteminden üretilen enerjinin geri dönüşünün miktarı radyasyon miktarına bağlı olduğundan, fotovoltaik sistemlere gelen güneş radyasyonu miktarının etkisini göstermektedir. FV modülü: Alfa Solar Enerji, ASE60P250W Bu çalışmada kullanılan güneş panelinin aynısını temsil etmektedir.



Şekil 2.9. Radyasyonun güneş sisteminin performansı üzerindeki etkisi

2.8.9. Geliş Açısı Değiştirici (IAM) İçin Kaybı Faktörü

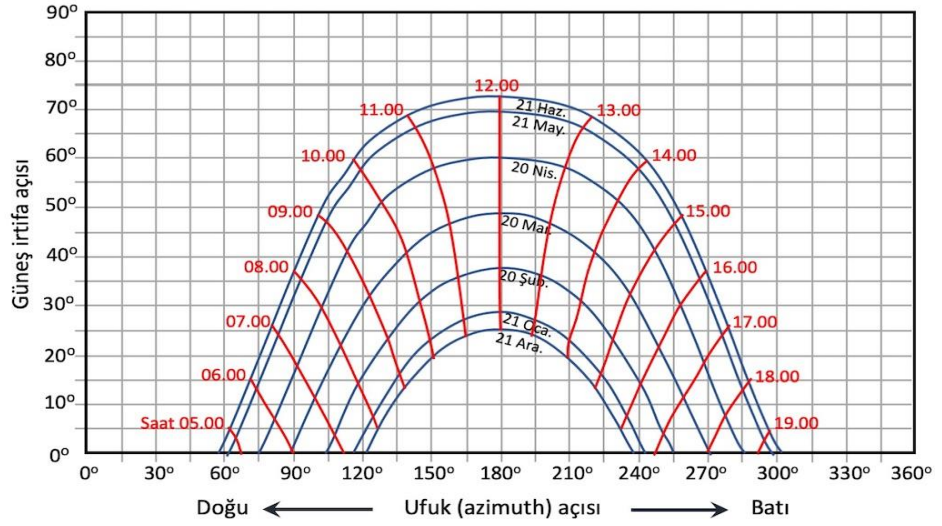
Geliş açısı modifikasyon kayıpları, modül düzleminin yüzeyine normal olmayan geliş açılarının neden olduğu yansıma nedeniyle normal geliş altında ışınım ile ilgili olarak PV modülünün yüzeyine dokunan ışınımın bir azalma ile karakterize edilir. Yansıma etkisi, Fresnel Yayıma ve Yansıma Kanunları ile tutarlı, çeşitli kırılma indeksleri n_1 ve n_2 olan iki yarı saydam malzemenin bir arayüzüdür. PV modülünün sadece bir parametresine dayanan ASHRAE modeli kullanılarak çok sayıda ve genellikle karmaşık ölçümün hesaplanması gerekir. Pratikte hesap olarak, PV hücresinin yüzeyine etkili bir şekilde ulaşan ışınım ile bazen yakından bağlantılıdır.



Şekil 2.10. Eğim açısının güneş paneli tarafından soğurulan güneş ışınımı miktarı üzerindeki etkisi.

2.8.10. Gölgeleme İçin Kaybı Faktörü

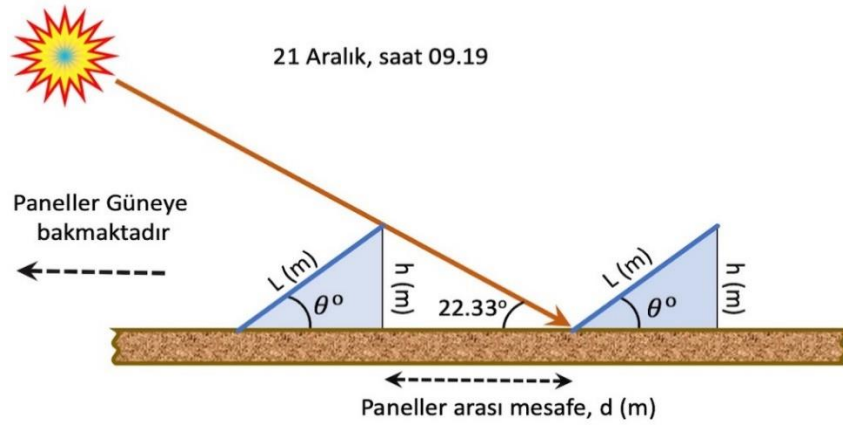
Gölge kayıpları genellikle, bir FV cihazının yakınındaki PV güneş modüllerinin bitişik sıralarına gölge düşüren veya günün belirli bir aşamasında birbirinin üzerine gölge düşüren modüllerin etrafındaki engellerin sonucudur. Fayda ölçeğindeki çoğu FV tesisi için, bir durum tespiti prosedürü ile saha seçilirken bitişik ağaçlar, evler ve diğer engeller önlenmelidir. Sonuç olarak, özellikle sınırlı alana sahip yerlerde FV modül sıraları arasındaki gölgeleme, en büyük gölgeleme zorluğudur. Fotovoltaik sistem tasarımcıları, bu otomatik gölgeleme kayıplarını azaltmak için fotovoltaik modül sıraları için optimum eğim açısını ve aralığı bulmaya odaklanmalıdır. Güneş paneli sıraları arasında olması gereken minimum mesafe, en



Şekil 2.11. Kuzey yarımkürede güneş penceresi (solar window)

Önemli eğim açısı, panelin yerden yüksekliği ve güneş ışınlarının dünya ile yaptığı açı olmak üzere birçok belirleyiciye göre hesaplanır. Bu tezde çalışma alanı için güneş yolunu gösteren şekil 2.9'da gösterildiği gibi sıralar arasındaki mesafeyi hesaplamanın kolay olması için güneş sisteminin yerinin bilinmesi gerekmektedir.

Genellikle, sonbahar gündönümü günü 21 Aralık'ta alınır; bu, güneşin çok düşük olması nedeniyle belirtilir ve bu nedenle, şekil 2.11'de gösterildiği gibi gölge mümkün olduğunca uzundur.



Şekil 2.12. 21 Aralık'ta ki zemin ile güneş radyasyonunun yaptığı açının gösterilmesi.

$$d = h / \tan (22.33^\circ) \quad (2.11)$$

Burada:

$$d = \text{Panel aralığı}, h = \text{Yükseklik}$$

Olarak verilmiştir.

2.8.11. Termik İçin Kaybı Faktörü

FV modülleri için, standart derecelendirme sıcaklık koşulları 25 C'de sabitlenir, ancak gerçekte FV modülleri, belirtilen sıcaklık koşullarından çoğunlukla daha yüksek düzeyde çalışır. Modüller daha yüksek sıcaklıklarda çalıştıkça performansları düşmeye devam eder ve sıcaklık seviyelerinden kaynaklanan kayıplara termal kayıplar denir. Termal kayıplar, çalışma koşulları altında modüllerden alınan FV hücre sıcaklık okumaları ile ortam sıcaklığı arasındaki bir enerji dengesi kullanılarak hesaplanır. Modül veriminin çeşitli sıcaklık aralıklarında ışıma ile değişimi şekil 2.11'de görülmektedir.

$$U \times (T_{\text{cell}} - T_{\text{amb}}) = \alpha \times G_{\text{inc}} \times (1 - \eta_{\text{module}}) \quad (2.12)$$

Burada:

U; modüllerin montaj moduna ve rüzgar hızına bağlı olan ısı kaybı faktörüdür.

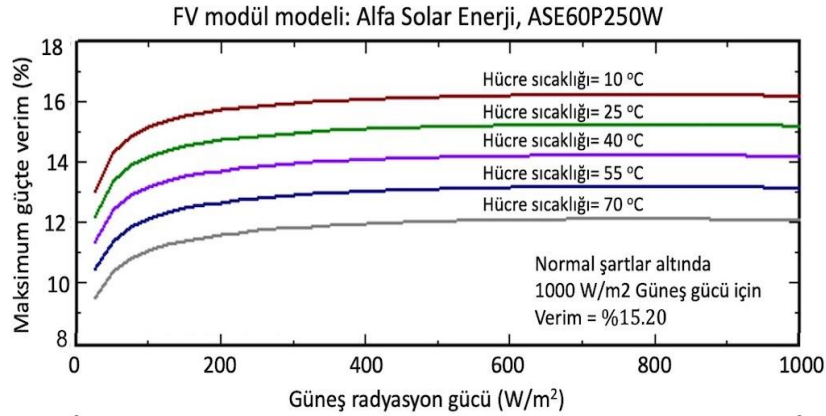
T_{amb} ; çevre sıcaklığıdır,

T_{cell} ; FV hücrelerinin sıcaklığıdır,

A; güneş ışınımı soğurma katsayısıdır,

G_{inc} ; dizi düzlemindeki küresel ışık şiddetidir,

η module; modülün verimliliğidir.



Şekil 2.13. Değişen ışık yoğunluğunda sıcaklık ile modül verimliliği ilişkisi.

Yukarıdakini bir örnekle açıklamak için, SolarWorld SW 275 monokristal FV modülleri ve bir SMA Sunny Boy 5000TL-US inverter kullanan 5.500 (STC) DC dereceli bir PV dizisi dizi sıcaklığı 46 ° C (115) olduğunda ne kadar güç üretmelidir? ve ışınım 800 W / m²'dir. 800 W / m² ışınım ve 20 ° C (68 ° F) ortam hava sıcaklığı çevre koşulları altında 46 ° C'lik bir dizi sıcaklığının beklendiğini unutmamak

gerekir. İverter verimliliği % 97'dir; modül uyumsuzluğu ve DC / AC kablolama kayıpları sırasıyla% 1 ve% 3'tür ve kirlenme minimumdur.

Sisteme göre $df = df_1 \times df_2 \times df_3 \times df_4 \dots\dots$

df : 1, 2, 3... numaralı nedenlerden kaynaklanan kayıp faktörleri,

- Sıcaklık kayıp faktörü: $df_1 = (1 - (46 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) \times (0.0045 / \text{°C})) = 0.905$
- Işınım kayıp faktörü: $df_2 = (800\text{W} / \text{m}^2) / (1000\text{W} / \text{m}^2) = 0.80$
- İvertör verimliliği kayıp faktörü: $df_3 = 0.97$
- Uyumsuzluk ve DC ve AC kablo kayıpları (%4), Kalan toplam $df_4 = 0.96$
- Kirlilik kayıp faktörü (%0) $df_5 = 1.0$
- Beklenen Çıkış Gücü = $5500 \times (0.905) \times (0.80) \times (0.97) \times (0.96) \times (1.0) = 3708 \text{ W}$

2.9. Literatür Taraması

Bu tezde, FV sistemini boyutlandırmak için kullanılan en popüler programlardan üçü kullanılarak güneş sistemi simüle edilecektir. Bunun için, bu segmentteki güneş enerjisi sistemlerinin performansının ve ön fizibilitesinin analizi ile ilgili önceki çalışmalara ilişkin literatür taraması, PVsyst, Pvsol ve Solargis yazılım araçları kullanılarak yapılan çalışmalar ele alındı.

Mallapaneni Manoj Kumar ve diğerleri (2017), PVsyst simülasyon aracını kullanarak 100 kW'lık bir şebekeye bağlı Si-poly FV sisteminin simülasyon performansını gerçekleştirmiştir. Ve yıllık bazda, 161,6 MWh/yıl, kurulu kWp başına yıllık bazda belirli bir çıktı ile şebekeye aktarılan elektriğin 1616 kWh/kWp/yıl olduğu sonucuna vardılar. Ve Si-poly FV sisteminin performans oranı (PR) (%80) civarında idi. Ayrıca Mart ayında şebekeye aktarılan en yüksek enerjinin 15800 kWh, Temmuz ayında ise en düşük enerjinin 11060 kWh olduğu sonucuna varmışlardır (Kumar, vd., 2017).

Maria Malvoni ve diğerleri (2017), PVsyst yazılımını kullanarak ölçülmüş ve simüle edilmiş çıkış enerjisinin karşılaştırmalı analizi yoluyla İtalya'da bulunan Salento Üniversitesi kampüsünde bulunan FV santralinin bozulmasını ve güvenilirliğini araştırmıştır. Bir FV sisteminin kararlılığının genellikle çevresel dalgalanmalardan özellikle etkilenmeyen çalışma koşullarına bağlı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, Pvsyst yazılımı kullanılarak değerlendirilen gerçek ve potansiyel enerji performansı arasındaki güçlü korelasyonun, FV sistem güvenilirliğinin %85'ine ulaşabileceğini buldular. Buna karşılık, beş yıllık bozulma,

yıllık yüzde 1.12'lik dış koşullara maruz kalması üzerinden hesaplanabilir (Malvoni, vd., 2017).

Malvika Satish ve diğerleri (2020), Dubai International Academic City, Dubai'nin PVsyst yazılımını kullanarak 200 kW'lık bir monokristalin şebekeye bağlı bir FV sistemi olarak dağıtılmasının fizibilitesini inceledi. Fotoelektrik sistemin yüksek sıcaklık nedeniyle kayıplarının %14'e ulaştığını, sıcaklık 50°C iken, fotovoltaik sistemin yıllık ortalama performans oranının %81,7 olduğunu ve sisteme enjekte edilen maksimum enerjinin bu olduğunu bulmuşlardır. Şebekeye verilen gücün en yüksek değeri 32,54 MWh ile Mayıs ayında, şebekeye verilen en düşük enerji ise 25,53 MWh ile Aralık ayında, şebekeye verilen toplam enerjinin ise 352 MWh'a ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, PVsyst yazılımı tarafından simülasyonun kullanılmasının, fotovoltaik sistemlerin tasarımı hakkında iyi bir fikir verdiğini ve güneş enerjisi sistemlerinin kurulum mekanizmasını iyileştireceğini de bulmuşlardır (Anser, vd., 2020).

Ronak Sharma ve diğerleri (2017), PV*SOL yazılımını kullanarak Hindistan'ın Kuta kentindeki Rajasthan Teknik Üniversitesi kampüsündeki binalar için 234 kWh şebeke bağlantılı FV sistemlerinin tasarımını ve hesaplanmasını inceledi. PVsol yazılımının mükemmel raporlar ve yüksek güvenilirlik sağladığını ve bu sayede güneş enerjisi sistemlerinin performansının geliştirilmesinde iyi bir pencere olacağını bulmuşlardır. Bu FV sistemi için geri ödeme süresinin yaklaşık 11,1 yıl olduğu ve belirli bir yıl için 1681 kWh/kW verimle, toplam cihaz çıkış oranı %78,7 olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca fotovoltaik sistemlerin kullanılmasının, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden ana faktörlerden biri olan yılda 228.988 kg karbondioksit emisyonunu azaltabileceğini bulmuşlardır (Sharma and Gidwani, 2017).

Talat Özden ve diğerleri (2020), Ankara'da bir yıl boyunca elde ettikleri saha verilerini Pvsyst ve Pvsol yazılımlarında kullanarak FV sistemlerinin doğru hesaplamalarının gerçek fizibilitesine ulaşmak için ekonomik ve teknik analizler yapmışlardır. Oluşturulan modüllerde çok sayıda koşullu deneysel parametre ve varyasyon içerdiklerinden, ilk FV cihaz performans incelemesinin sonuçlarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi ve kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Çalışmaları, modüler tiplerde kullanılan fotovoltaik sistemleri kapsıyordu: Mono-Si, Poly-Si, μ -Si / a-Si, CIS ve HIT. Karşılaştırmalar, güneş sistemlerini simüle etmek

için kullanılan PVsyst ve PVsol yazılımının doğruluğunun makul bir şekilde tahmin edildiğini gösterdi. (Özden, vd., 2020).

Abdiljabbar R Homood ve diğerleri (2020), Elazığ şehrinde Revit programı tarafından sağlanan Yapı Bilgi Modelleme (BIM) tabanlı Revit Architectural Program kullanılarak tasarlanan 3 boyutlu tek ailelik bir ev için 6,96 kW kapasiteli bir fotovoltaik sistemi simüle etti. Bina bilgi modelleme (BIM) teknolojisi, mevcut güneş radyasyonu miktarına bağlı olarak güneş sisteminin nereye kurulabileceğini belirlemeye yardımcı olur. PVsyst ve PV*SOL yazılımı kullanılarak 6.96 KWh şebeke bağlantılı yüzey FV sisteminin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Her yazılım, PV sistem şebekesindeki yıllık enerji verimini, verimlilik oranını, spesifik çıktıyı ve güç kaynağını karşılaştırdı ve analiz etti. Bu sistemlerin simülasyonlarının çok benzer sonuçlara ulaştığı gösterilmiştir. Pvsyst kullanılarak şebekeye verilen enerji (kWh/yıl) 9890 ve performans oranları %82,7 iken, Pvsol kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları şebekeye verilen enerjinin (kWh/yıl) 9571'i ve performans oranlar %85.6 idi. (Homood, vd., 2020).

S. Sreenath ve diğerleri (2020), Malezya'daki Kuantan Havalimanı binasının tampon bölgesinde önerilen güneş sisteminin teknik performansını Solargis yazılımını kullanarak, parlama oluşumunun etkisini dikkate alarak incelemiş ve analiz etmiştir. Önerilen güneş sistemi kapasitesi 57.143 güneş paneli içeren 20 megavattı ve 40 merkezi invertör artı 20 transformatöre ihtiyaç duyacaktı. Ayrıca önerilen güneş sisteminin havalimanı binaları için yılda 26.304 MWh'a kadar elektrik enerjisi geri dönüşü sağlayabileceğini ve bu enerji üretiminin havalimanı binalarının enerji tüketiminin 168 katına eşdeğer olduğunu ve böylece Kuantan havalimanının elektrik talebinin kendi kendine yapılabileceği sonucuna varmışlardır. Bu veriler Güneş FV kurulumları için yeterlidir. Ayrıca, fotovoltaik sistemin performans oranı %77'ye ulaştığından, bu çalışmanın Malezya havalimanlarındaki güneş enerjisi sistemlerinin performansı hakkında araştırmacılar ve enerji politika yapıcılar için faydalı bir kaynak olduğu sonucuna varmışlardır, (Sreenath, vd., 2020).

Islam Salamov ve diğerleri (2020), Solargis yazılımını kullanarak enerji üretim verilerini gerçek çalışma koşullarında değerlendirerek Çeçen Cumhuriyeti'ndeki şebekeye bağlı güneş sistemlerinin performansını tahmin etmenin özelliklerini incelemişlerdir. 1 Aralık 2019'dan 30 Nisan 2020'ye kadar 1,86 kWh'lik bir şebekeye bağlı güneş enerjisi santralının üretimine ilişkin verilerin istatistiksel olarak

incelenmesi yoluyla, belirtilen yerde güneş enerjisi kullanım performansının çok uygun olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, şebekeye bağlı FV sistemlerinin özel sektör için güneş enerjisi sistemleri türleri arasında en ucuzu olduğunu ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu ve geri ödeme süresinin 12 yıl olduğunu bulmuşlardır. (Salamov, 2020).

Najibhamisu Umar ve diğerleri (2018), PVSyst, PV *sol ve Solargis yazılımını içeren on simülasyon programı kullanarak 1 MW'lık şebeke bağlantılı bir FV sisteminin simülasyonunu incelemiş ve sonuçlarını karşılaştırmış ve en uygun yazılımı belirlemiştir. Bu programlar, sistem boyutlandırma ve kurulum maliyetlerinin fazla tahmin edilmesini önleyen teknik ve ekonomik analizler sağlar. Simülasyon sonuçlarını fotovoltaiik sistemin gerçek performansı ile karşılaştırarak, güneş sisteminde meydana gelen bozulma modellerinin, panellerin yüksek sıcaklıklarda ultraviyole ışınlarına maruz kalmasından kaynaklanan güneş panellerinin renk değişimi olduğu sonucuna varmışlardır. Güneş sistemini çevreleyen çevresel faktörler ve buna bağlı olarak yıllık bozulma oranı %0,98/yıl olarak belirlenmiştir. Genel yıllık performans oranı ve kapasite kullanım faktörü sırasıyla yüzde 0,7737 ve yüzde 14,57 olarak tespit edilmiş olup, diğer ülkelerde yapılan çalışmalar kapsamındadır. PVSyst yazılımı, çoklu analiz yapabilme yeteneği sayesinde, bu on simülatörün en çok kullanılan ve en güçlü platformudur ve çeşitli cihaz konfigürasyonlarını analiz etmeyi en basit ve en kolay hale getirir. Ayrıca Solar gis yazılımı tarafından sağlanan performans oranlarının ve analizlerinin gerçek performans oranlarına yakın olduğunu bulmuşlardır; bu site simulasyonu için kullanılan en iyi programlardan biri olarak kabul edilir. Pvsyst, PV*sol ve solar gis'in performans oranı sırasıyla %79.9, %80.55, %76.02 idi (Umar, vd, 2018).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Şebekeye bağlı bir PV sistemin en kritik bileşenleri, güneş panelleri ve inverterlerin yanı sıra enerji koşullandırma ünitesi ve şebeke iletişim cihazlarıdır. Enerji depolamada herhangi bir kayıp olmadığından, şebekeye bağlı FV sistemi, güneş enerjisinin ürettiği enerjiyi verimli bir şekilde kullanır. Koşullar doğru olduğunda, şebekeye bağlı PV sistemi, elektrik şebekesine bağlı yükün kullandığı herhangi bir güçten ekstra tasarrufu sağlar. Bu çalışmada, Karadeniz kıyısında bulunan Samsun ilinde ki ONDOKUZ MAYIS üniversitesinin kampüs alanında fotovoltaik sisteminin kurulumunda kullanılan güneş panelleri ve eviriciler üzerinde elde edilen verilerin sunumu yapılmıştır. Bu çalışma için seçilen fotovoltaik sistemin kapasitesi 55 kWh'dir. Bu çalışmada, değerlendirme için dünyada kullanılan en ünlü programlar olan Pvsyst, PV*SOL ve Solar gis kullanılarak fotovoltaik sistemin performansının bir değerlendirmesi yapılmıştır.

3.1. FV Modülü

Kullanılan güneş panelleri, yüksek kaliteli fotovoltaik paneller üreten modern bir tesis olan Türk şirketi Alfa Solar Energy tarafından üretilen polikristalindir (AES60P 250W). Bu şirkette üretilen paneller, verimliliğin birinci sınıf standartları karşıladığından emin olmak için on iki teste tabi tutulur. Bu güneş panelinin en

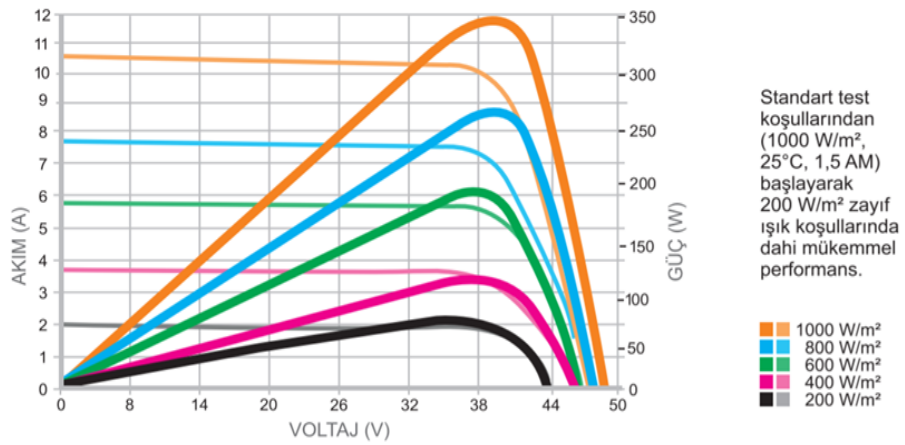
Tablo 3.1. Polikristal güneş paneli (AES60P 250 W) elektriksel özelliklerinin gösterimi.

	Polycrystalline (AES60P 250W)	
(Pmax)	Maksimum Güç	250 W
%	Modül Verimi	15.8
IMPP(A)	Maksimum Güç Noktası Akımı	8.18
ISC (A)	Kısa Devre Akımı	8.67
VMPP(V)	Maksimum Güç Noktası Voltajı	30.59
VOC (V)	Açık Devre Voltajı	37.65

Tablo 3.2. Polikristal güneş paneli (AES60P 250W) mekanik özelliklerinin gösterilmesi.

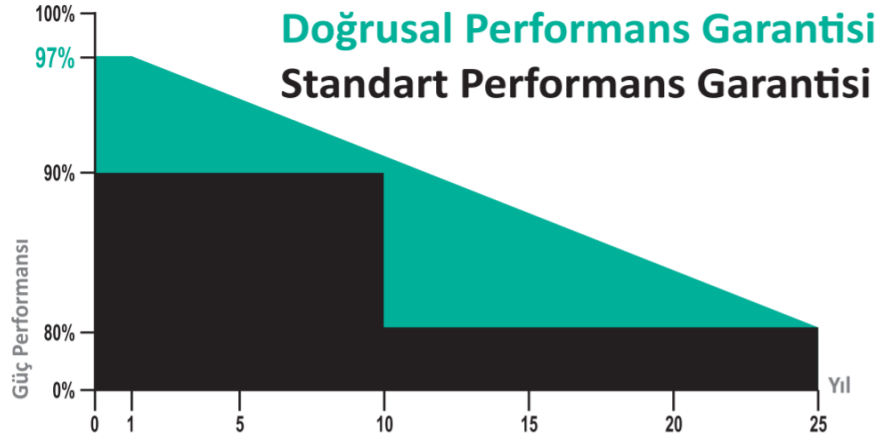
Konu	Açıklama
Ölçü	1652 + 2 mm (L) x 997+ 2 mm (W) x 42-35 + 0,5 mm (D)
Ağırlık	20K
Güneş Hücresi	60 Polikristal Tip 6" Silikon Hücre (156.75 mm x 156.75 mm)
Ön Cam	Temperli / Temperli Antireflekte Cam
Encapsulated	Etilen Vinil Asetat (EVA)
Arka Tabaka	Kompozit Film, Renk Beyaz
Bağlantı Kutusu	Tyco / Ekinler Sertifikalı
Çerçeve	Alüminyum Çerçeve (Eloksal Kaplamalı)

Voltaj ve akım eğrileri, değişen iklim koşulları altında performans yolu hakkında tam bir fikir verdiği için herhangi bir güneş panelinin temel taşı temsil eder. Şekil 3.1, standart koşullar altında güneş radyasyonu değerlerinin değişimi ile performans eğrisini göstermektedir.



Şekil 3.1. Performans eğrisinin gösterimi.

Güneş panelleri, şekil 3.2 'de gösterildiği gibi % 1'e kadar, yıllık bozulma faktörü ile 25 yıla kadar hizmet ömrüne sahiptir.



Şekil 3.2. Polikristal güneş panelinin (AES60P 250W) bozulma yönünün gösterilmesi.

3.2. İnvörtör

Bu çalışmada kullanılan eviriciler bir abb İtalyan firması tarafından her biri 27,6 kW'lık bir enerjiye sahip iki invertöre göre yapılmıştır (TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400). Bu çalışmada değerlendirilecek olan fotoelektrik sistem, bir sıra 22 panel hariç her bir sıra 18 panelden oluşan, 12 sıraya dağılmış, yukarıda belirtilen özelliklere sahip 220 güneş paneli içermektedir. Bu paneller, birinci eviricide 108 panel ve ikinci eviricide 112 panel olmak üzere eviricilere bağlıdır. Bu eviricilerin boyutları ve teknik özellikleri incelenecektir.

Tablo 3.3. Bir eviricinin mekanik boyutlarının gösterimi.

Ürün Net Derinlik / Uzunluk	292 mm
Ürün Net Genişliği	702 mm
Ürün Net Yüksekliği	1061 mm
Ürün Net Ağırlığı	76 kg

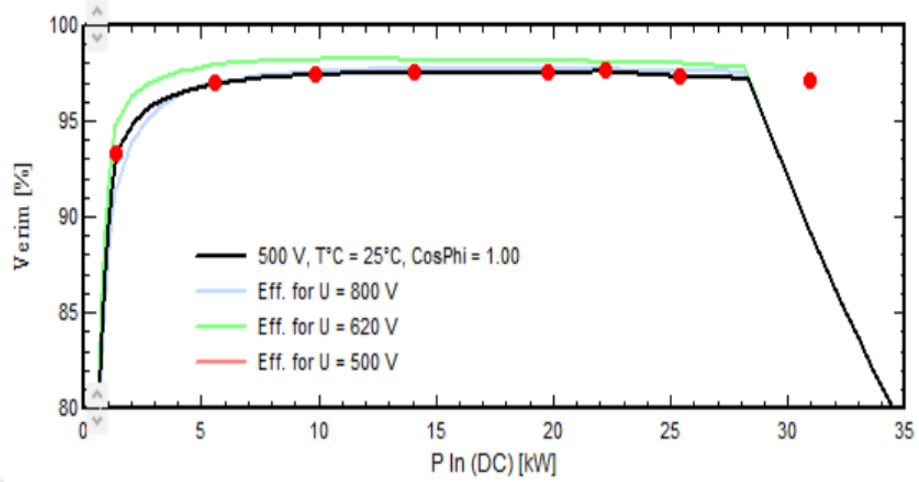


Şekil 3.3. Eviriciye ait bir resim.

Tablo 3.4. Eviricinin teknik özelliklerinin gösterimi.

Nominal Çıkış Gücü	27600 W
Maksimum Güç Noktası Sayısı (MPP)	2
Maksimum Güç Noktası (MPP) Voltaj:	800V, 500V
Fonksiyon	Entegre DC ve AC bağlantı kesme anahtarı, DC ve AC parafudr tip 2, dizi sigortaları
İletişim arayüzü	WLAN
Koruma derecesi	acc. IEC 60529, IEC 60947-1, EN 60529 Yardımcı Terminaller IP65'e göre
Ekran tipi	Standart
Elektriksel Miktar İzleme Tipi	Üç faz
Giriş Akımı Maksimum (In)	64A
Giriş Voltajı (Uin)	200V.... 950V
Maksimum Giriş Gücü DC	34500 W
Bağlantı Sayısı	10 DC fiş bağlantısı
Anma Verimliliği (EURO / CEC)	98 %

Evirici teknolojisi, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi %98'e ulaşan bir verimlilikle dikkate değer bir iyileşme doğurduğu kaydedilmiştir.



Şekil 3.4. Eviricinin verimliliğini gösteren bir grafik.

3.3. Hava İstasyonu

Buradaki hava istasyonu, bu amaç için tasarlanmış hassas sensörler aracılığıyla sıcaklık, rüzgar hızı, gelen güneş radyasyonu miktarı ve diğer gerekli belirleyiciler olarak fotovoltaik sistemin konumunu çevreleyen güneş radyasyonu ve çevresel koşulların verilerini toplar. Bu küçük hava durumu istasyonu, fotovoltaik sisteme yakın bir yüksekliğe kurulmuştur. Bu istasyonun içindeki en önemli özellikler ve sensörleri tanıtılacaktır.

Bu meteoroloji istasyonunun özellikleri şöyledir: Gelişmiş sensör setli VSN800-14 Hava İstasyonu; 1 ortam sıcaklığı sensörü; 1 panelli sıcaklık sensörü; 1 ekli güneş ışığı sensörü; Bir dizinin düzlemi için 1 ayrı güneş ışığı sensörü; 1 rüzgar hızı sensörü; 1 rüzgar yönü sensörü; NEMA 3R polimerik muhafaza ("www.abb.com/solar", 2020)



Şekil 3.5. Bu çalışmada kullanılan PV sisteminde ki VSN800-14 hava istasyonuna ait bir resim.

Tablo 3.5. VSN800-14 meteoroloji istasyonunun boyutlarının açıklanması.

Ürün Net Derinlik / Uzunluk	330 mm
Ürün Net Genişliği	250 mm
Ürün Net Yüksekliği	630 mm
Ürün Net Ağırlığı	3.2 kg

3.4. Pvsyst Yazılımı

PVSYST yazılımı, DC dizisi, şebeke bağlantılı, bağlantısız ve DC pompalama dahil olmak üzere her tür güneş enerjisi cihazı şemasını tasarlamak için kullanılır. Yazılım paketi, sistem tasarımı için çeşitli güneş PV modülleri, pil ve dönüştürücü üreticilerinin bir veritabanını içerir. NASA-SSE uydu verileri, Meteonorm ve diğerleri gibi yazılımların yardımıyla deney alanı için konum bilgileri eklenebilir. PVsyst yazılımı, güneş enerjisi sisteminin bileşenlerini dahili verilerden seçmenin yanı sıra gerekli enerjiyi ve mevcut alanı seçerek güneş sistemini basit ve hızlı bir prosedürle tasarlama imkanı sağlar. Tüm güneş sisteminin boyutunu belirleyen özel araçlar sağlar. Gölgenin etkisini doğru bir şekilde hesaplamının yanı sıra güneşe yönelimi simüle ederek güneş panellerinin optimum yönünü belirlemek için araçlar sağlar. Sistemin karlılığının değerlendirildiği toplam enerji çıkışı MWh/yıl ve spesifik enerji kWh'ye ek olarak sistemin kalitesini tanımlayan performans oranı PR (%) açısından fotovoltaik sistemin entegre bir simülasyonunu sağlar. kWp belirtilen

konumda mevcut olan radyasyona bağı olan üretim göstergesini temsil eder. ("<https://www.pvsyst.com/features/>", 2020).

3.5. PV*SOL Yazılımı

Fotovoltaik sistem tasarımı ve simülasyon yazılımı, PV*SOL premium, 3D görselleştirme ve ayrıntılı gölgeleme analizi ile cihazlar, akü sistemleri ve elektrikli araçlar ile bağlantılı fotovoltaik sistemleri hesaplamak için dinamik bir simülasyon programıdır. Fotovoltaik tasarım programları için endüstri standardı olan PV*SOL premium ile her tür modern FV sistemi tasarlanabilir ve simüle edilebilir. PV*SOL premium, birkaç modüllü küçük çatı sistemlerinden ticari çatılardaki orta ölçekli sistemlere ve büyük güneş parklarına kadar çok sayıda tasarım ve simülasyon aracını destekler özelliğindedir. PV*SOL premium, ister tavana ister tavana monte edilmiş olsun, her türde ki tipik üç boyutlu yapı için üç boyutlu görüntüleme imkanı sunar. 3D yapılarda veya 1000'e kadar güneş panelinin kurulu olduğu açık alanlarda gölgelemenin etkisinin pratik bir tasvirini sağlar ve ekonomik uygulanabilirliği tahmin etmeye yardımcı olur. Güneş sisteminin performansı hakkında her zaman ayrıntılı sonuçlar sağlayarak performansta iyileştirme ve engellerin üstesinden gelme olanağı sağlar. 21.000'den fazla güneş paneli, 5100 invertör, 1900 pil sistemi, elektrikli araçlar ve diğer performans geliştirmelerini içeren bir veritabanına sahiptir.

3.6. Solargis Yazılımı

Solar Gis planner, yüksek performanslı algoritmalar ve yüksek zamansal ve mekansal çözünürlüklü iklim ve coğrafi veriler kullanarak fotovoltaik sistemleri tasarlamak ve optimize etmek için harita tabanlı bir çevrimiçi simülasyon platformudur. Bu yazılım, kolay ve hızlı simülasyonlar kullanarak farklı FV teknolojisi seçeneklerinden ve montaj sistemlerinden elde edilen enerji verimlerinin saha araştırması ve karşılaştırılması içindir. İstenen konumu aramak ve simülasyonları çalıştırmak için sistem kontrolü, modül şekli, invertör parametreleri, montaj sistemi, azimut ve eğim açısı vb. dahil olmak üzere PV cihaz konfigürasyonlarını seçmek için bir solargis ekranı sağlar. Bu simülasyonlar, beş ana bölgede yörüngede dönen 19 durağan uydunun yanı sıra ECMWF ve NOAA meteorolojik veri merkezlerinin atmosferik ve meteorolojik modellerinden gelen verileri kullanır. PV Elektrik verimi (PVOUT), Performans Oranı (PR) değerleri, Küresel Yatay Işınlama (GHI), Küresel düzlem içi veya eğik ışınım (GTI), Dağınık

Yatay Işınlama (DIF), Yansıyan Işınlama (RI) ve Sıcaklık başlıca değerlerdir. Simülasyon yönteminin (TEMP) çıktıları. FV sistem performansını hesaplamak için doğru veriler ve güneş sistemi performansını değerlendirmek için net bir yaklaşım sağlar. ("<https://solargis.com/success-stories/lightsource>", 2020).

3.7. Vaka Çalışması

Bu çalışma, Karadeniz kıyısında yer alan Samsun il sınırları içerisinde ki Ondokuz Mayıs Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Bu bölgenin iklimi sıcak, yazın nemli, kışın ise orta derece de soğuktur. Bu iklimler genellikle tüm kıtaların güneydoğu tarafında, 25 ° ile 45 ° enlemleri arasında bulunur. Bu bölgenin konumunun koordinatları 41 ° 24 " K 36 ° 43 " D ve Yükseklik 4 m'dir. Şekil 3.6. Google Earth ile kampüs alanı gösterilmektedir.



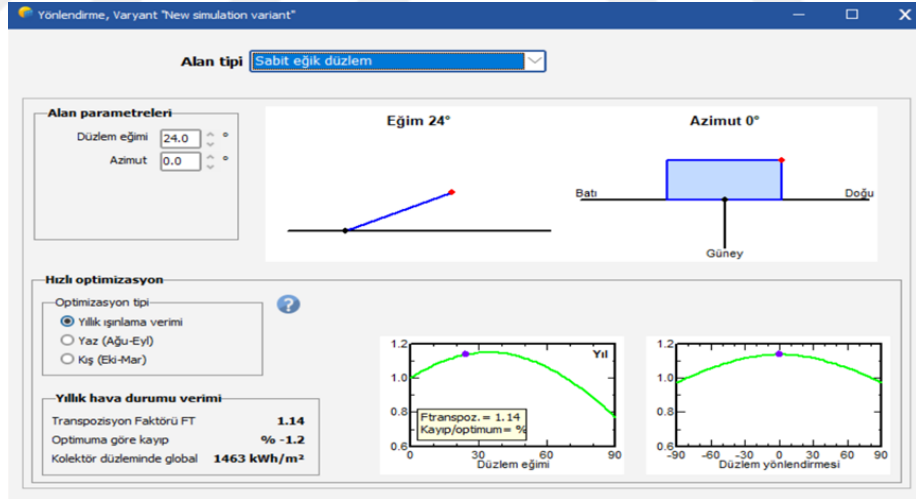
Şekil 3.6. Kampüs binasını ve binanın çatısına kurulan FV sisteminin gösterilmesi.

4. SİMÜLASYON

Simülasyon, bileşenlerine ve çevredeki iklim koşullarına göre güneş sisteminin performansının net bir görünümünü sağlar. Genellikle simülasyon yazılımları, güneş panelleri, inverterler, piller vb. dahil olmak üzere FV sistemlerinin bileşenlerinin çoğunu içeren devasa bir veritabanı içerir. Bu yazılımlar, NASA istasyonu ve Metronet gibi çoğu akredite küresel istasyon için iklimsel meteorolojik verilerinde saatlik, aylık ve yıllık oranları kullanır. Bu çalışmada, güneş sisteminin konumu için kurulan iklim izleme cihazının sağladığı iklim koşulları ve eğim açısı ile temsil edilen gerçekçi birimlere göre güneş sisteminin performansını simüle edilecek ve daha sonra yine buna değerlere göre simüle edilecektir. Bu çalışmada kullanılan simülasyon yazılımları tarafından sağlanan ideal parametreler aşağıda verilmiştir.

4.1. PVsyst 7.1 Kullanılarak Yapılan Simülasyon

Bir FV sisteminin performansının en önemli belirleyicilerinden biri güneş panellerinin eğim açısıdır. Bu çalışma için, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi gerçekçi eğim açısı 24'tür ve bu, PVsyst yazılımı tarafından sağlanana kadar ideal değildir.



Şekil 4.1. FV sisteminin eğiminin gösterilmesi.

PVsyst, fotovoltaik sistem ve bileşenlerinin performansını gösteren kapsamlı raporlama yazılımı sağlar. Performans oranı, toplam enerji verimliliği ve güneş sisteminin maruz kaldığı kayıplar, sebepleri gözardı edilerek aşağıdaki raporda gösterildiği gibidir.

Genel sonuçlar			
Sistem üretimi	65.6 MWh/yıl	Normalize üretim	3.27 kWh/kWp/gün
Üretilebilir	1192 kWh/kWp/yıl	Dizi kayıpları	0.60 kWh/kWp/gün
Performans oranı	0.827	Sistem kayıpları	0.08 kWh/kWp/gün

Simülasyon parametreleri			
Proje	ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ		
Konum	Yesilyurt DC MYO	PV Array1	
Sistem tipi	Şebekeye bağlı	PV modüller	ASE60P250W
Simülasyon	01/01'den 31/12'ye (Genel hava durumu verileri)	Nominal güç	55.0 kWp
		MPP gerilimi	31.1 V
		MPP akımı	8.0 A
		İnvertör	'6-TL-OUTD-400 (27,6 kW)
		İnv. nominal güç	27.6 kW
		İnvert. sayısı	2

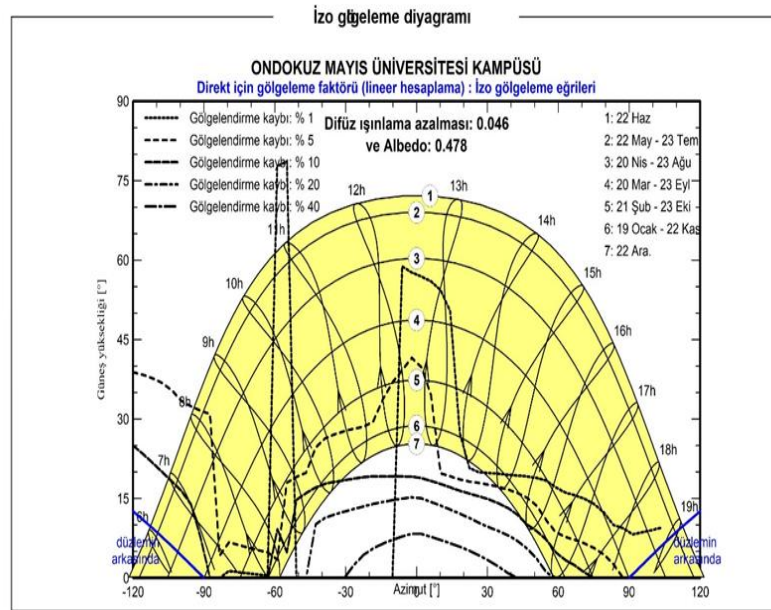
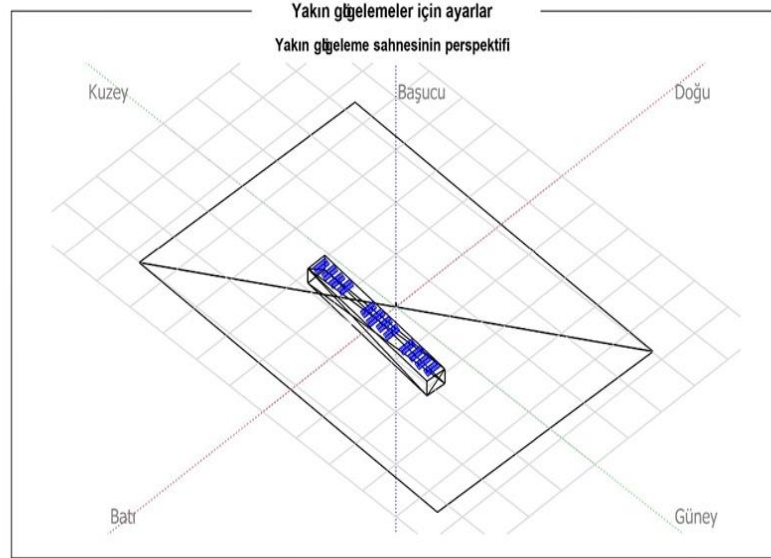
Şekil 4.2. Simülasyonun genel sonuçlarına ek olarak, simülasyon sürecinde sistemde kullanılan en önemli parametrelerin gösterilmesi.



PVsyst V7.1.0
Simülasyon tarihi:
10/03/21 22:41
v7.1.0 ile

Proje: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ

Varyant: New simulation variant



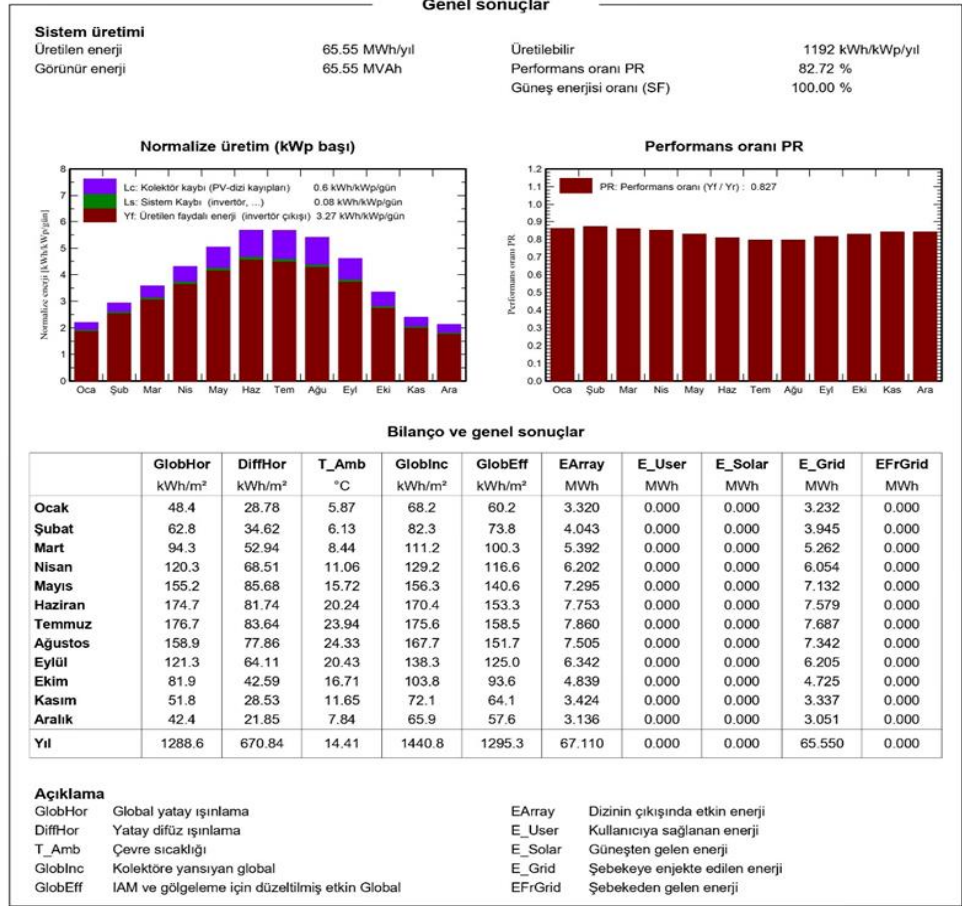
Şekil 4.3. Fotovoltaik sistemin konumunu ve panel sıralarının oluşturduğu gölgelerin birbiri üzerindeki etkisinin gösterilmesi.



PVsyst V7.1.0
Simülasyon tarihi:
10/03/21 22:41
v7.1.0 ile

Proje: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ

Varyant: New simulation variant



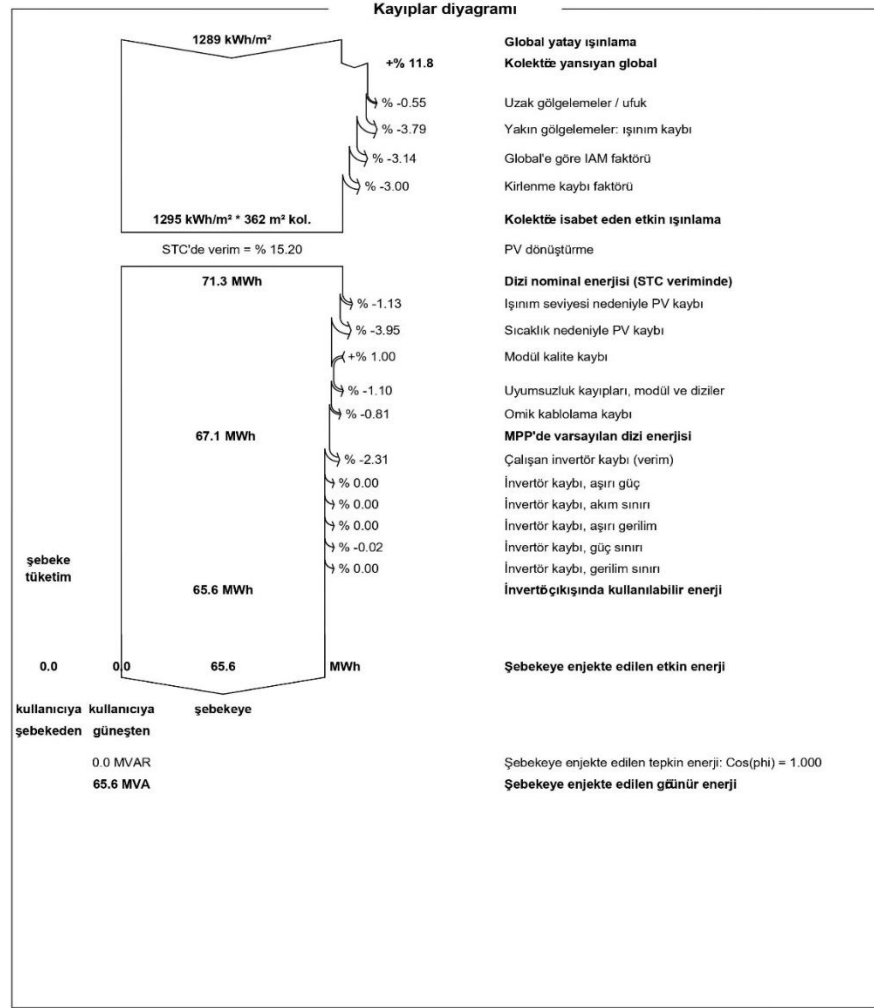
Şekil 4.4. Panel üzerine düşen radyasyon miktarı ve sistem performans oranına ek olarak fotovoltaik sistemin performansı ile ilgili önemli sonuçların gösterilmesi.



PVsyst V7.1.0
Simülasyon tarihi:
10/03/21 22:41
v7.1.0 ile

Proje: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ

Varyant: New simulation variant



10/03/21

PVsyst Licensed to

Sayfa 8/9

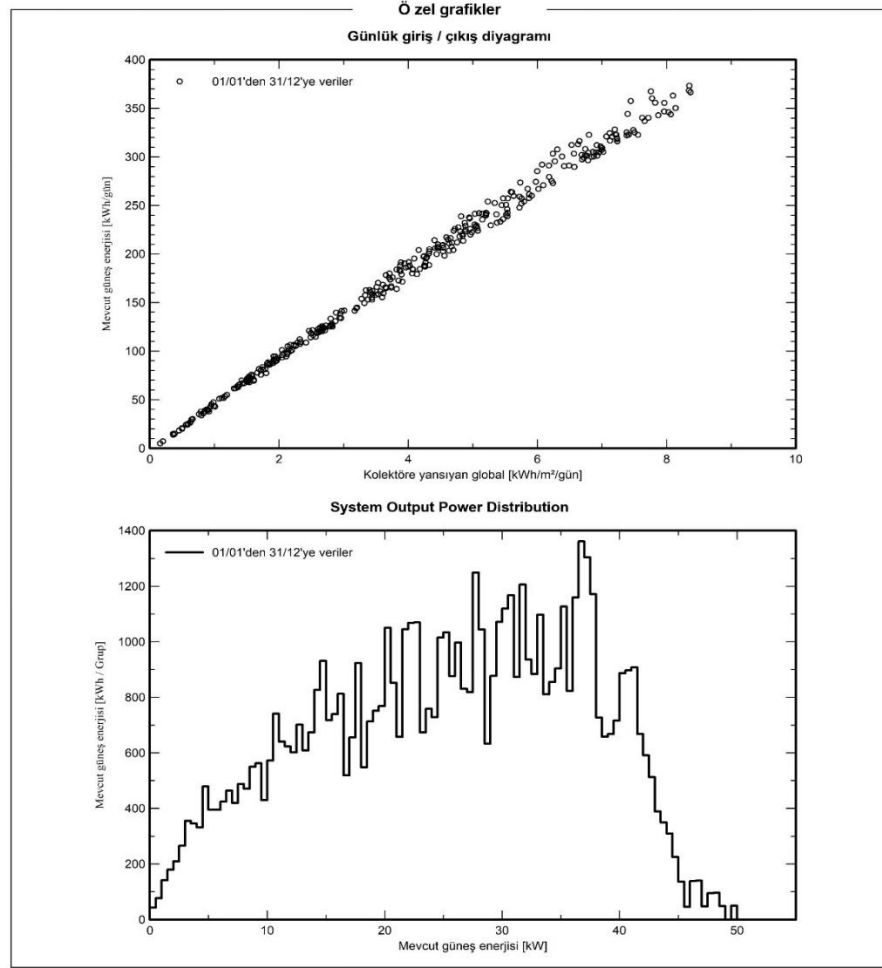
Şekil 4.5. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar ve tüm kayıpların nedeni.



PVsyst V7.1.0
Simülasyon tarihi:
10/03/21 22:41
v7.1.0 ile

Proje: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ

Varyant: New simulation variant



10/03/21

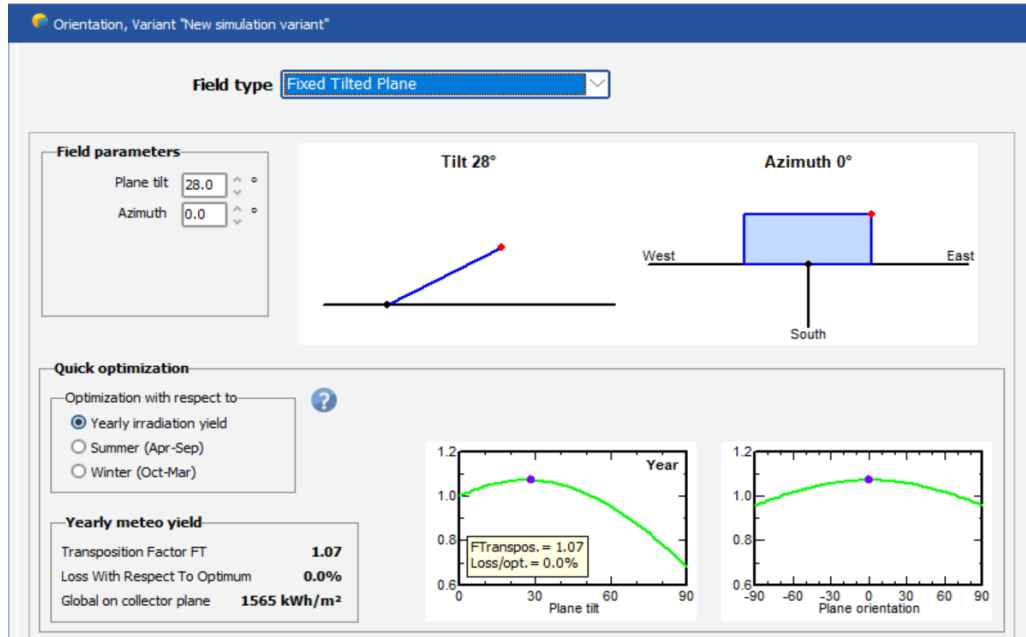
PVsyst Licensed to

Sayfa 9/9

Şekil 4.6. Gün boyunca meydana gelen güç dağılımı ve sistemden geri dönen enerji miktarının gösterilmesi.

4.1.1. PVsyst 7.1 Kullanılarak Yapılan Simülasyon (ideal parametrelerle)

Güneş sisteminin simülasyonunu, daha önceki simülasyonlarda kullandığımız gerçekçi eğim açısı 24° olan değer baz alınmıştır. Simülasyon yazılımlarının sağladığı ideal eğim açısı parametreleri kullanılarak yapılacaktır ancak bu çalışmada kullanılan simülasyon yazılımının vizyonuna göre ideal değildir.



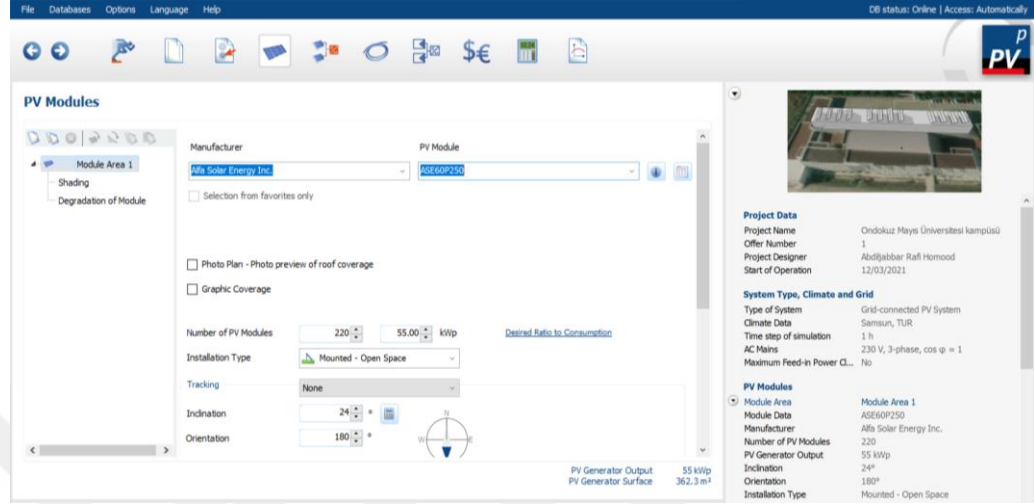
Şekil 4.7. Sistemin ideal oryantasyonu ve yıl içindeki en iyi güneş radyasyonu transpozisyonu faktörünün elde edilmesinin gösterilmesi.



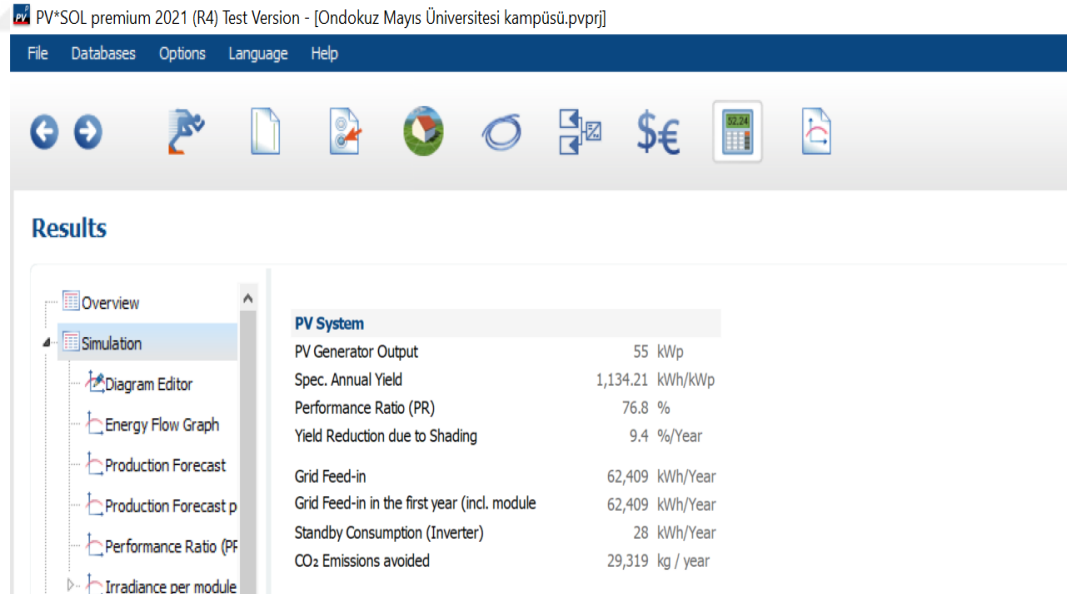
Şekil 4.8. İdeal parametreler kullanılarak elde edilen bir simülasyonun sonuçları.

4.2. PV*SOL Kullanılarak Yapılan Saimülasyon

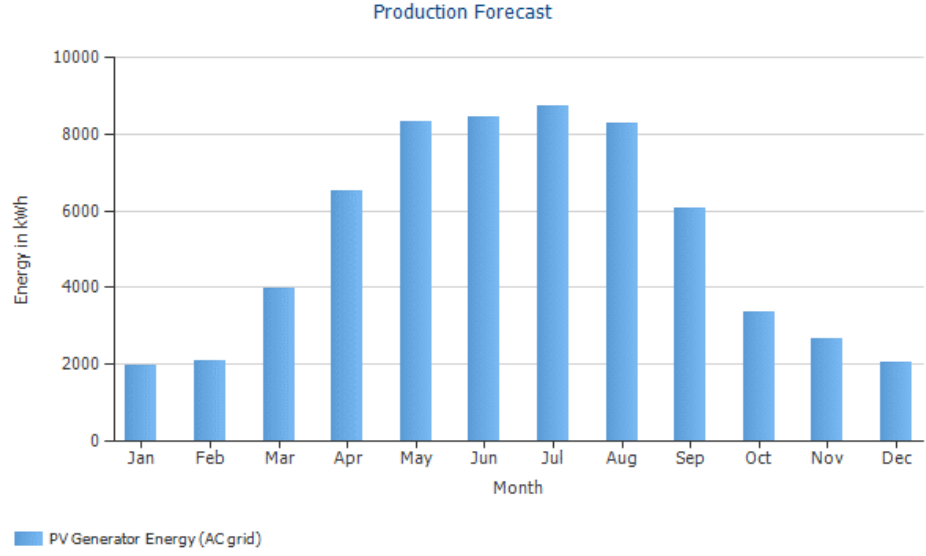
PVsyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen önceki simülasyona benzer şekilde, bu simülasyonu, eğim açısı, güneş panelleri, invertörler vb.'den aynı gerçekçi parametrelerin girişine dayalı bir PV*SOL yazılımı kullanarak çalıştıracamız.



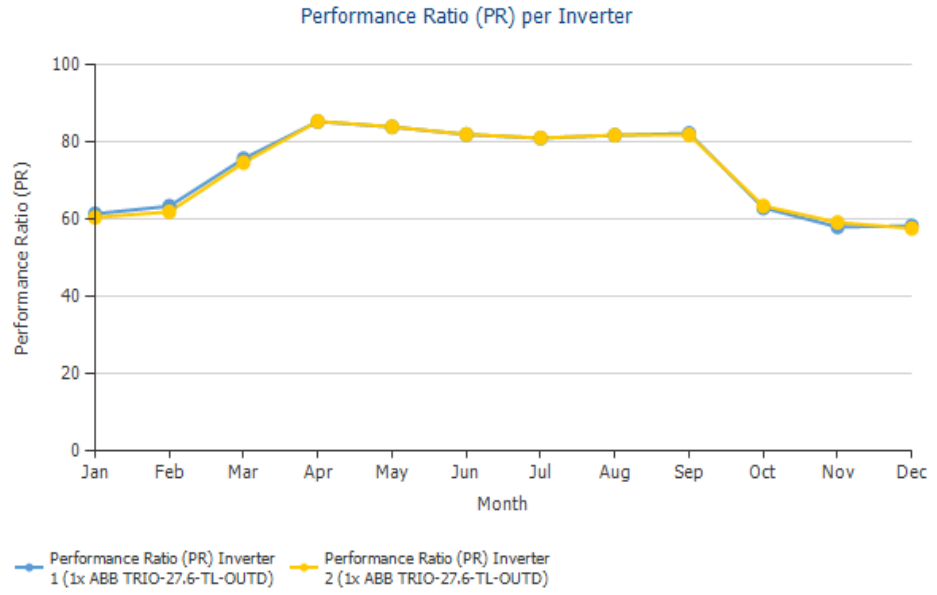
Şekil 4.9. Güneş panelleri ve alanlarına ek olarak bu simülasyonda benimsenen güneş sisteminin eğim ve yönelim açısı.



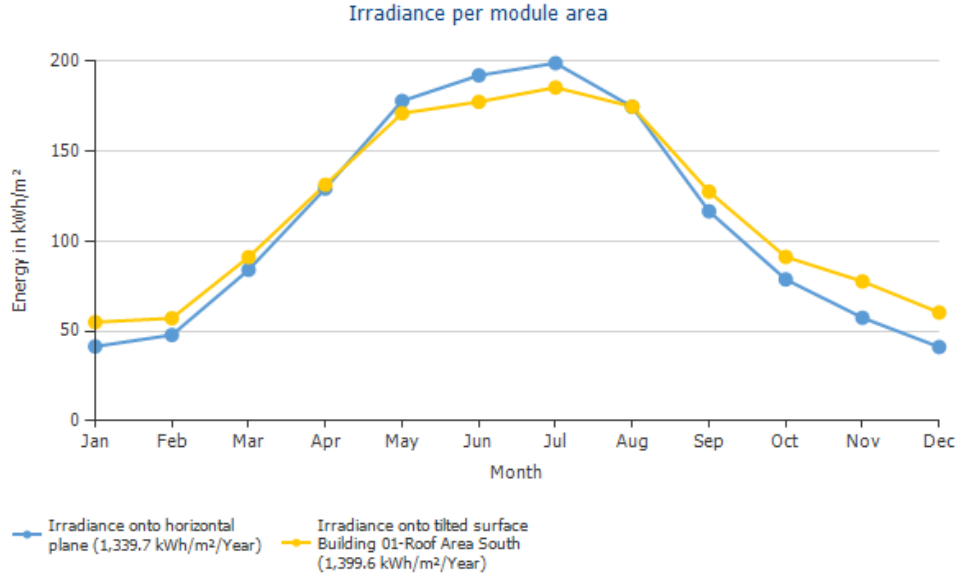
Şekil 4.10. CO2 emisyon azaltım miktarının yanı sıra sistem büyüklüğü, yıllık enerji verimi, performans oranı açısından güneş sistemi simülasyonunun sonuçları.



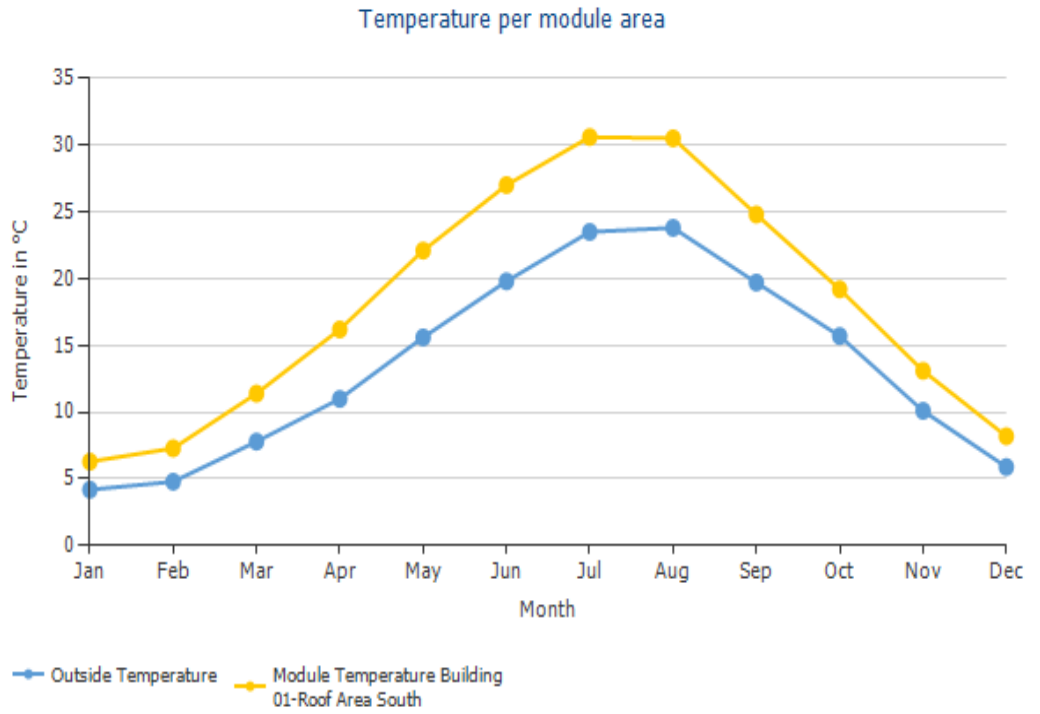
Şekil 4.11. Güneş sisteminin ulusal şebekeye sağladığı aylık net çıktılar.



Şekil 4.12. Bir FV sisteminin enerji kalitesinin ve güvenilirliğinin bir göstergesi.

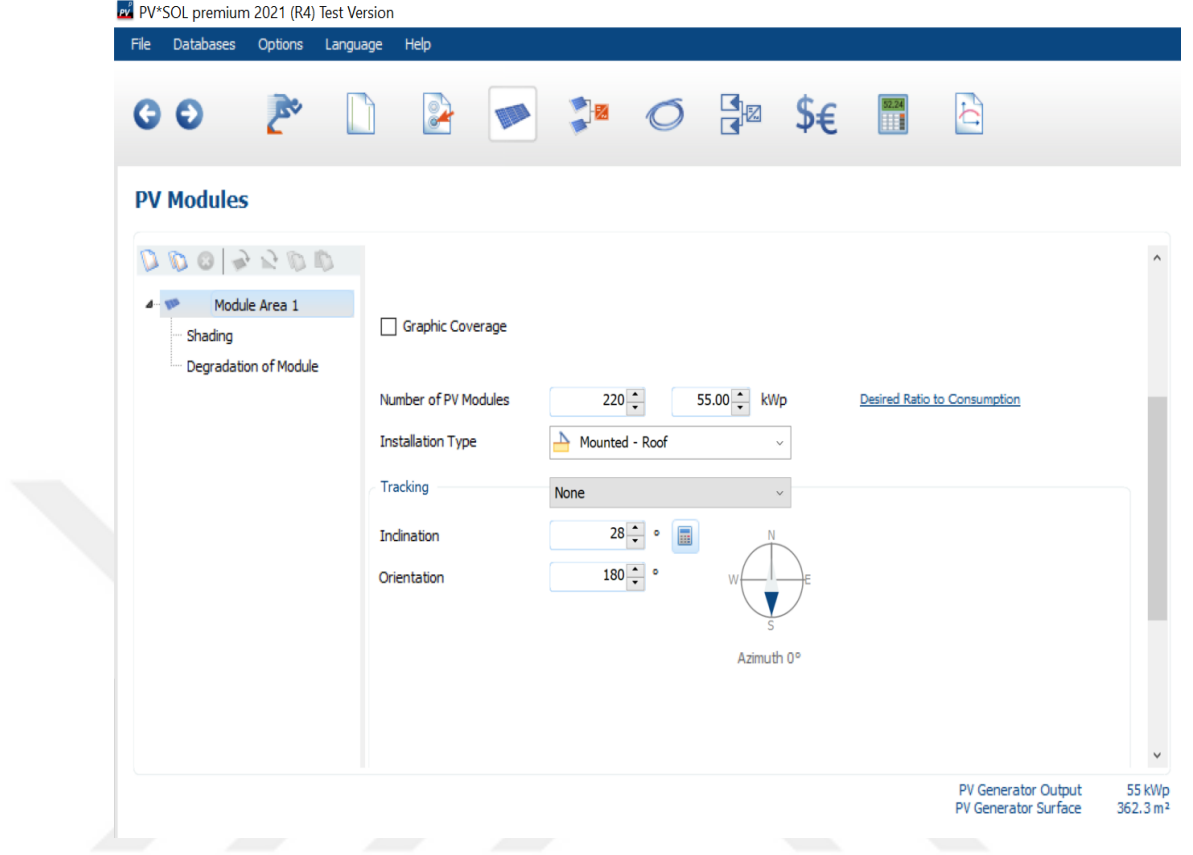


Şekil 4.13. Yatay yüzeye gelen güneş ışınımı ile güneş panellerinin eğimli yüzeyine gelen ışınım arasındaki ilişki.

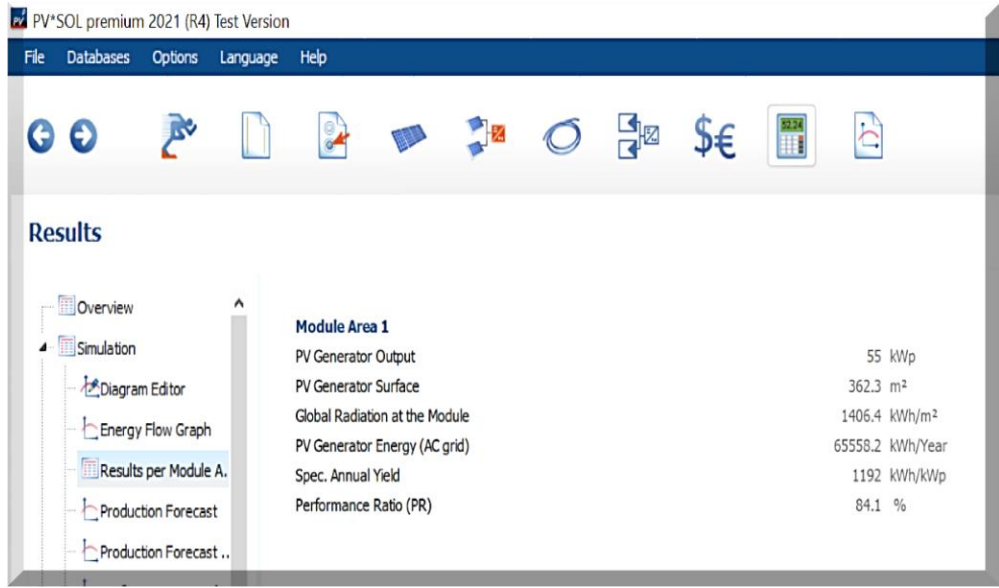


Şekil 4.14. Güneş sistemini çevreleyen ortam sıcaklığı ile güneş paneli sıcaklığı arasındaki fark.

4.2.1. PV*SOL Yazılımını Kullanarak Yapılan Simülasyon (İdeal Parametrelerle)



Şekil 4.15. PV*SOL yazılımının fotoelektrik sistemin yönelimine ve meteoroloji istasyonlarının veri tabanına gelen en büyük güneş radyasyonu miktarına bağlı olarak seçtiği ideal eğim açısının hesaplanmasını gösteren arayüz.

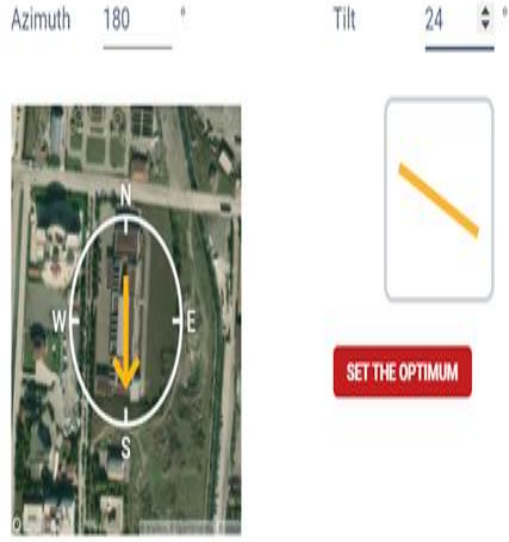


Şekil 4.16. FV sisteminin ideal performans oranı, yıllık enerji geri dönüşü, spesifik yıllık sarım olan eğim açısı ve herhangi bir gölge etkisinin olmamasının gösterilmesi.

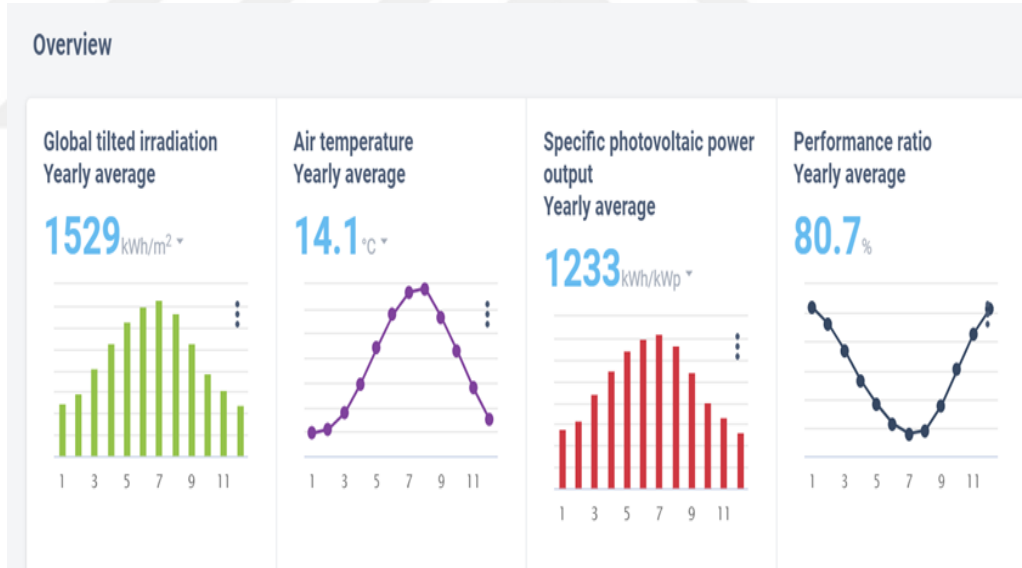
4.3. Solargis Kullanılarak Yapılan Simülasyon (Sürüm 2.5.0)

Solargis, bu simülasyonda kullanılan yüksek çözünürlüklü bir güneş ve meteorolojik veri tabanı oluşturarak işlem yapmaktadır. Solargis modelleri ve algoritmaları, bu simülasyonda sunulan veri parametrelerini hesaplama görevi görür. Modellere girdi olarak kullanılan veriler çeşitli kaynaklardan gelmektedir. Veri özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

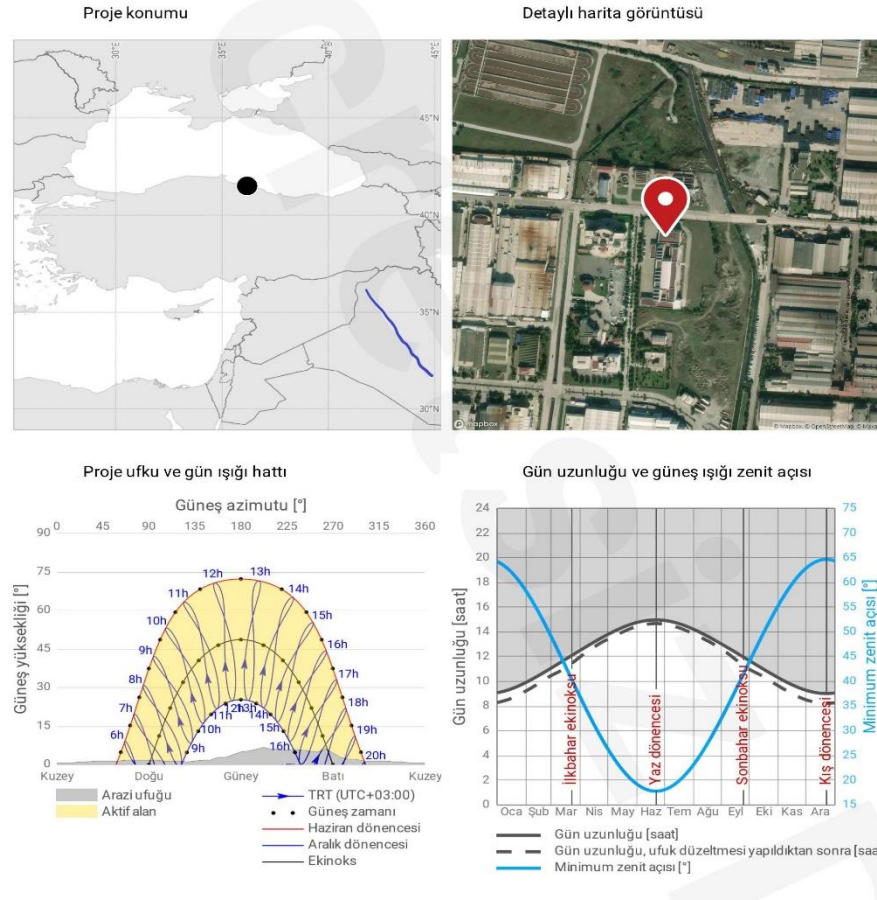
- 1994'ten 2018'e kadar olan zaman gösterimi (25 takvim yılı).
- Tahminler, 365 günlük bir yılı temel alır.
- Aylık ve yıllık bazda uzun vadeli veriler.
- Bu simülasyonun sonuçlarına genel bakış.



Şekil 4.17. Gerçekçi eğim açısı ile fotoelektrik sistemin oryantasyonunu gösteren meteoroloji istasyonlarının görüntüleri ve konum koordinatları.



Şekil 4.18. Bir FV sistemin performansının ana hatlarını temsil eden küresel ışınlama, hava sıcaklığı, spesifik fotovoltaik güç çıkışı ve performans oranı için yıllık oranlar



Şekil 4.19. GES proje konumu, Güneş yolu ufku, gün ışığı hattı ve güneş ışığı açısı.

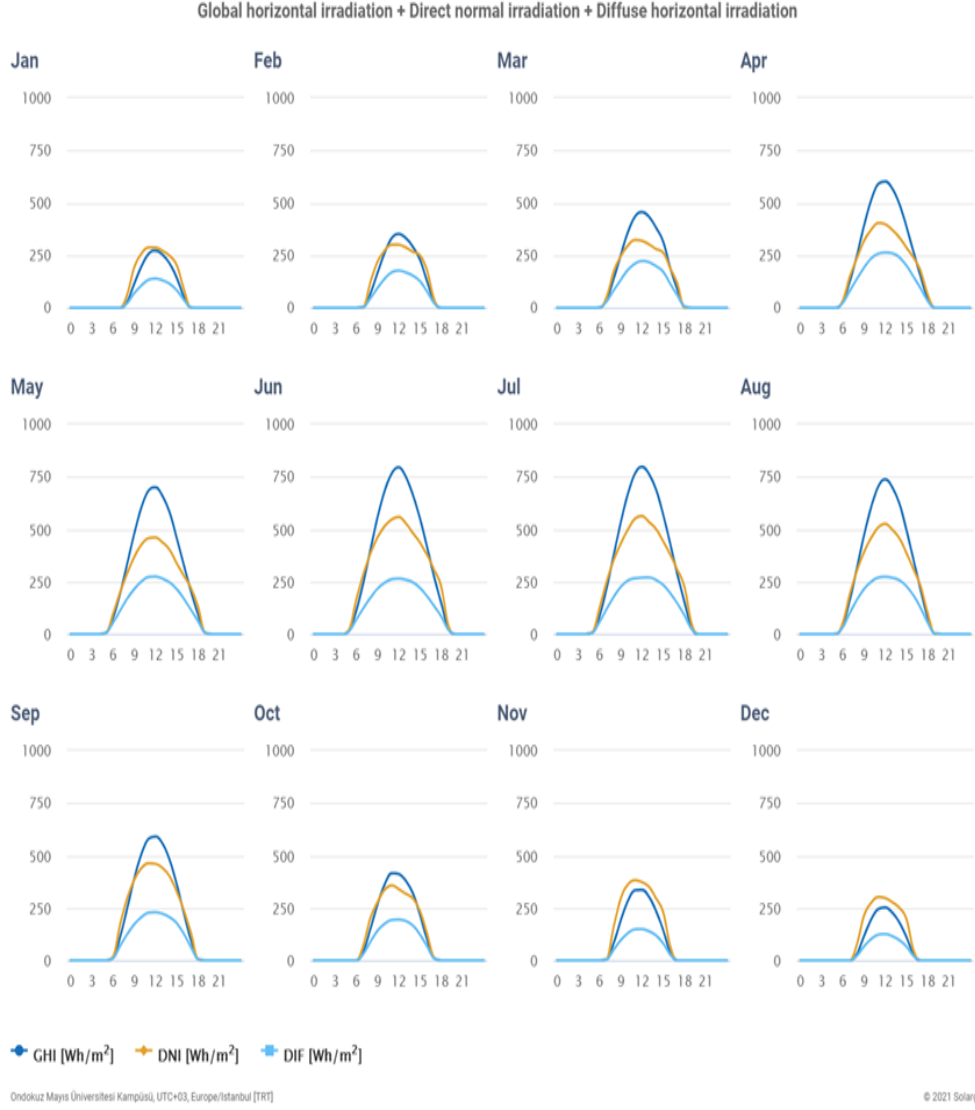
Solar radiation				Meteorological data			
Global horizontal irradiation	GHI	1374 kWh/m ²		Air temperature	TEMP	14.1 °C	
Direct normal irradiation	DNI	1218 kWh/m ²		Wind speed	WS	3.4 m/s	
Diffuse horizontal irradiation	DIF	630 kWh/m ²		Relative humidity	RH	77 %	
Ratio of diffuse to global irradiation	D2G	0.46		Precipitable water	PWAT	19 kg/m ²	
GHI seasonality	GHI season	4.6		Precipitation (rainfall)	PREC	772 mm	
DNI seasonality	DNI season	2.7		Snow days	SNOWD	1 days	
Surface albedo	ALB	0.13		Cooling degree days	CDD	502 degree days	
				Heating degree days	HDD	1962 degree days	

Şekil 4.20. Bu proje için güneş radyasyonu bileşenlerinin yıllık oranı ve meteorolojik verileri gösterir tabl.

Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1233	kWh/kWp ▾	
Total photovoltaic power output	PVOUT total	67,841.33	kWh ▾	
Performance ratio	PR	80.7	%	
Global tilted irradiation	GTI	1529	kWh/m ² ▾	
Global tilted irradiation (theoretical)	GTI theoretical	1548	kWh/m ² ▾	

Şekil 4.21. Eimli yüzeye düşen güneş radyasyonuna ek olarak fotovoltaik sistemin yıllık enerji çıkışı ortalamalarını ve performans oranının gösterilmesi.

Aşağıda gösterilen güneş radyasyonu ve hava sıcaklığı profilleri, her ay için tüm saatlik verilerin ortalaması olarak hesaplanır. Profiller, gün boyunca önemli meteorolojik parametrelerin değişen modellerinin bir göstergesini verir. Bu desenler, projenin güneş astronomisi ve coğrafyası tarafından belirlenir. Küresel eğimli ışımada, fotovoltaik modüllerin optimum eğimli yüzeylerinin, ortalama bir gün boyunca enerji üretimi için güneş kaynağının ortalama kullanılabilirliğini nasıl etkilediğini gösterir. "Ortalama günlük profil" in teorik bir kavram olduğu unutulmamalıdır, çünkü çoğu durumda bir profil, hava değişkenliği nedeniyle yılın her günü için farklıdır.



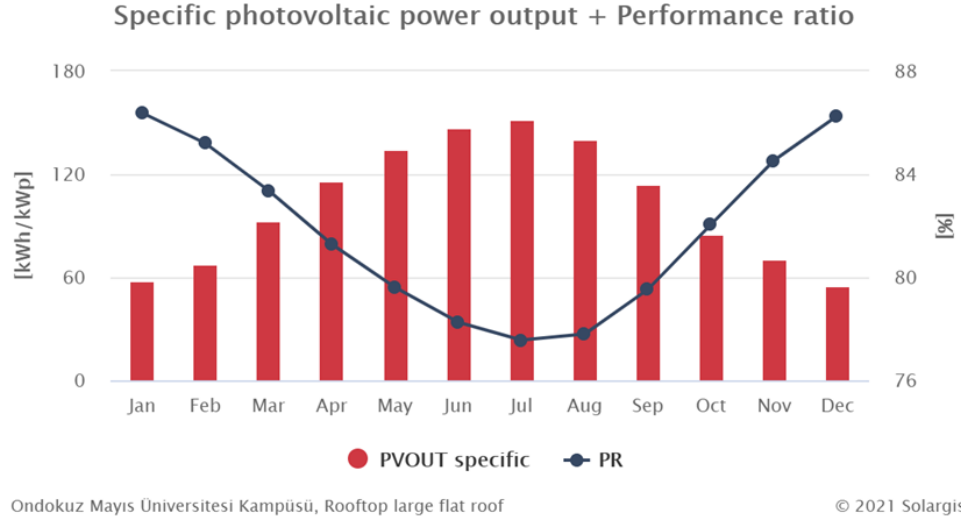
Şekil 4.22. Aylara göre güneş radyasyonunun ve hava sıcaklığı profilleri için alınan verilerin ortalaması.

Aşağıda gösterilen PV güç üretim profilleri, her ay tüm saatler için alınan verilerin ortalaması olarak hesaplanır. Profiller, bir gün içinde bir PV sisteminin seçilen konfigürasyonu ve hava nedeniyle değişen güç üretim modellerini gösterir. "Ortalama günlük profil" in teorik bir kavram olduğu unutulmamalıdır, çünkü çoğu durumda bir profil hava değişkenliği nedeniyle yılın her günü için değerleri farklıdır.

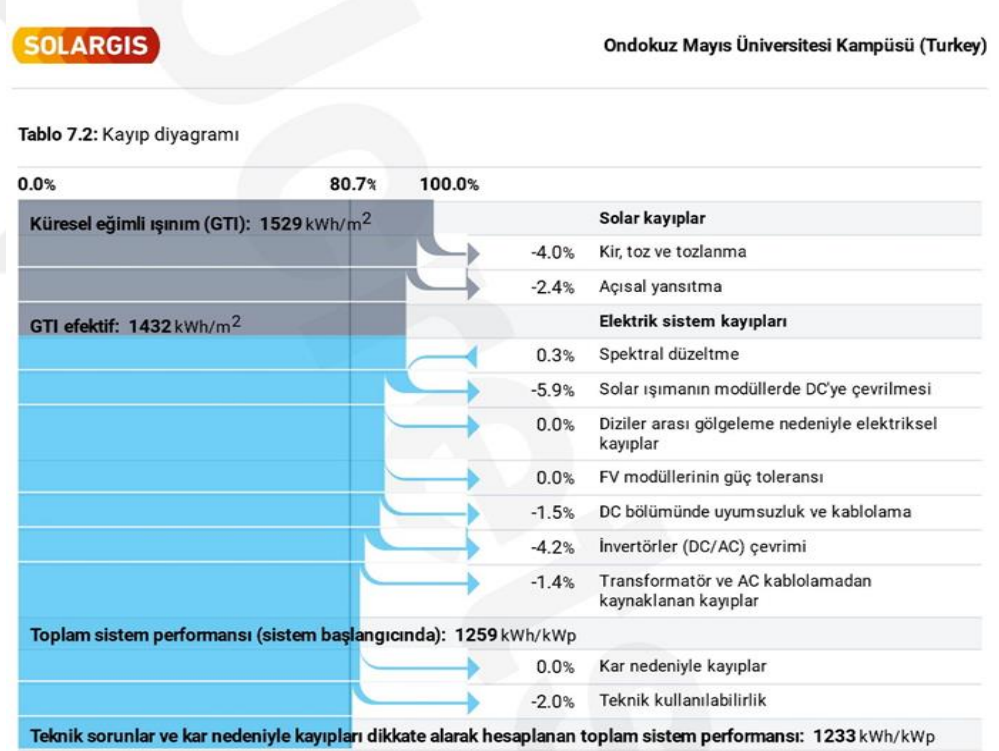
FV elektriği: Saatlik profiller



Şekil 4.23. GES FV elektriği saatlik veriler.



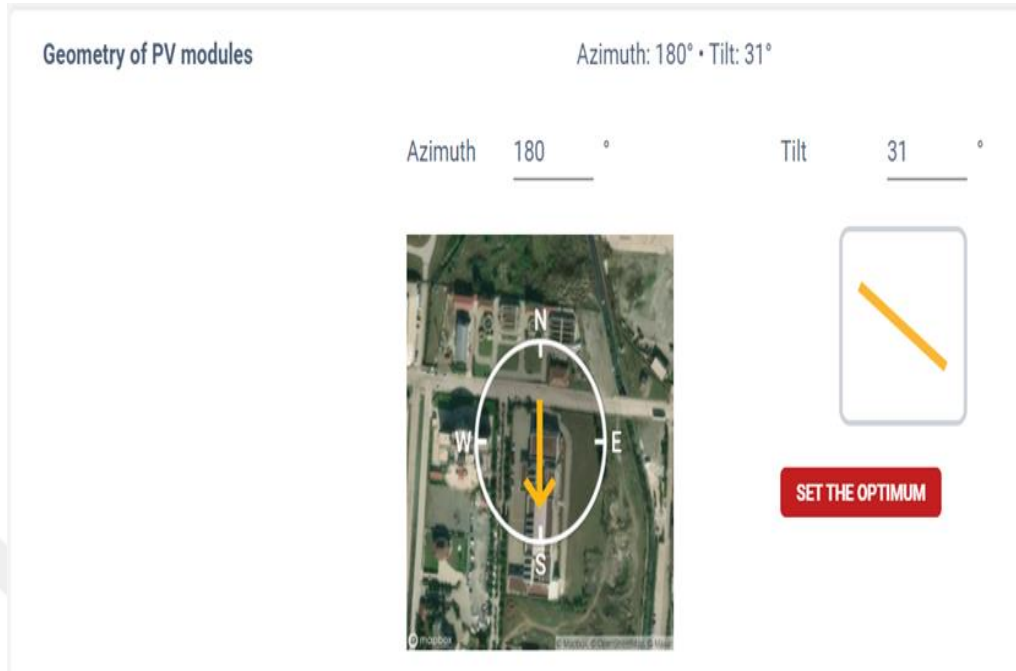
Şekil 4.24. Performans oranı ile belirli bir fotovoltaik güç çıkışı arasındaki ilişki.



Diyagram, FV güç sisteminde enerji çevriminden kaynaklanan teorik kayıpları göstermektedir

Şekil 4.25. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar ve tüm kayıpların nedenlerinin gösterilmesi.

4.3.1. Solargis Kullanılarak ideal parametrelerle Yapılan Simülasyon



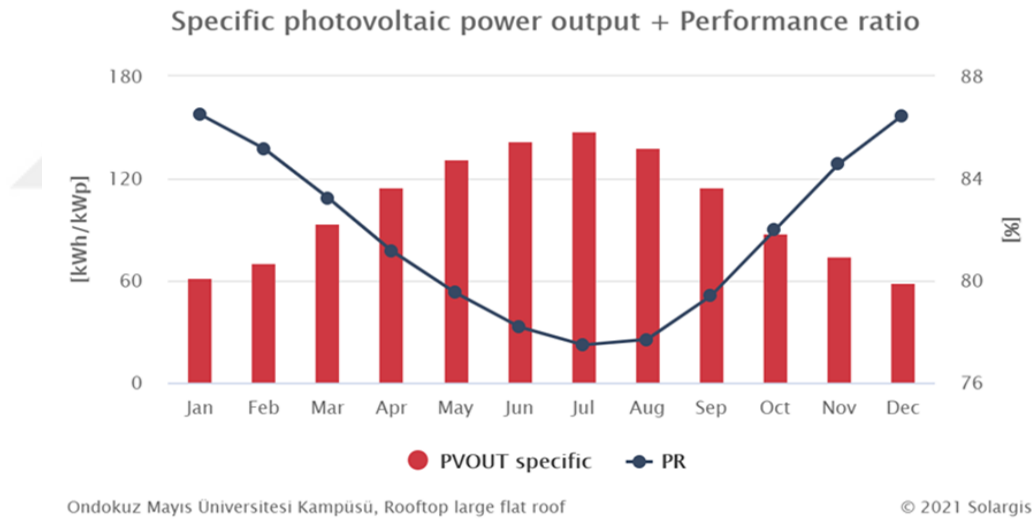
Şekil 4.26. Optimize edilmiş eğim açısı ile bu çalışma için FV sistemin oryantasyonunu gösteren meteoroloji istasyonlarının görüntüleri ve konum koordinatları.



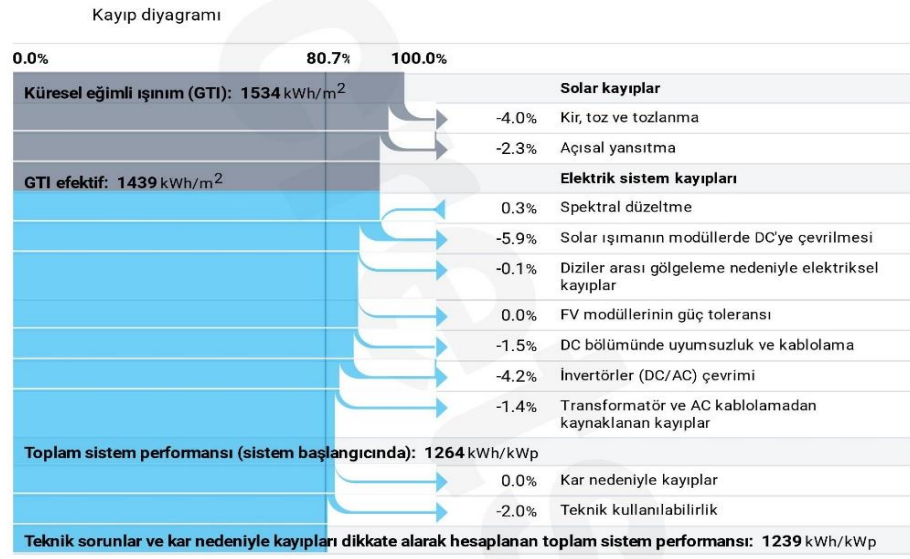
Şekil 4.27. Optimize edilmiş açılı ve gölgesiz bir FV sistemin performansı için yıllık oran, hava sıcaklığı özel FV güç çıkışı ve performans oranı.

Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1239	kWh/kWp	
Total photovoltaic power output	PVOUT total	68,124.96	kWh	
Performance ratio	PR	80.7	%	
Global tilted irradiation	GTI	1534	kWh/m ²	
Global tilted irradiation (theoretical)	GTI theoretical	1559	kWh/m ²	

Şekil 4.28. Eğimli yüzeye düşen radyasyona ek olarak en uygun açıyla enerji çıktısının yıllık ortalamaları ve FV sistemin performans oranının gösterilmesi.



Şekil 4.29. Performans oranı ve belirli FV güç çıkışı arasındaki ilişkiye ait grafik.

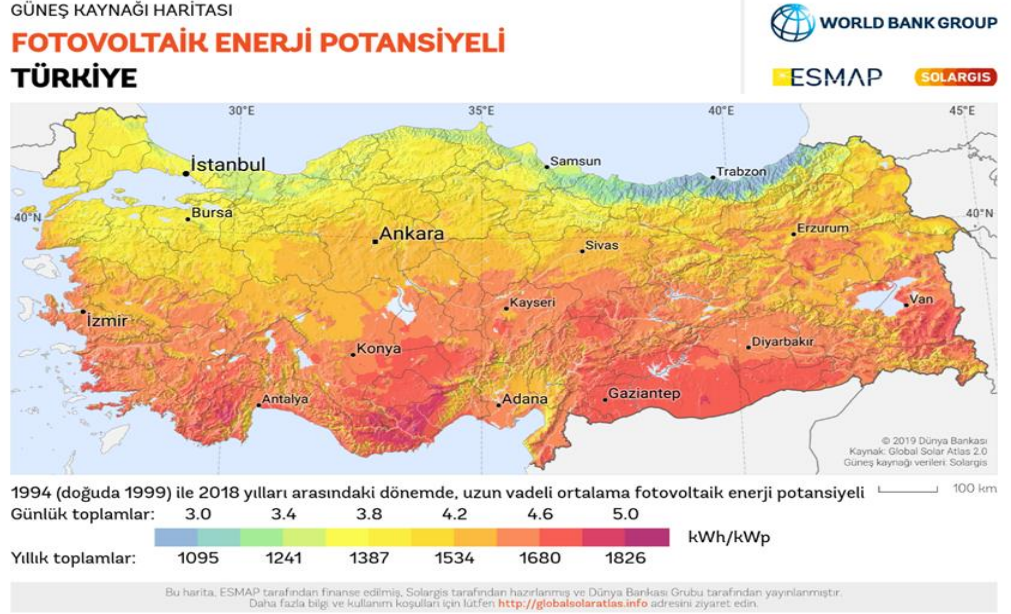


Diyagram, FV güç sisteminde enerji çevriminden kaynaklanan teorik kayıpları göstermektedir

Şekil 4.30. Güneş sisteminin uğradığı kayıplar tüm nedenleri.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Fotovoltaik sistemin sonuçlarını tartışacağımız için bu çalışmanın lokasyonunu temsil eden Samsun ili dahil her il için normalleştirilmiş üretimin ortaya koyduğu Türkiye fotoelektrik haritasının görüntülenmesi gerekmektedir.



Şekil 5.1. Türkiye güneş radyasyonu haritası

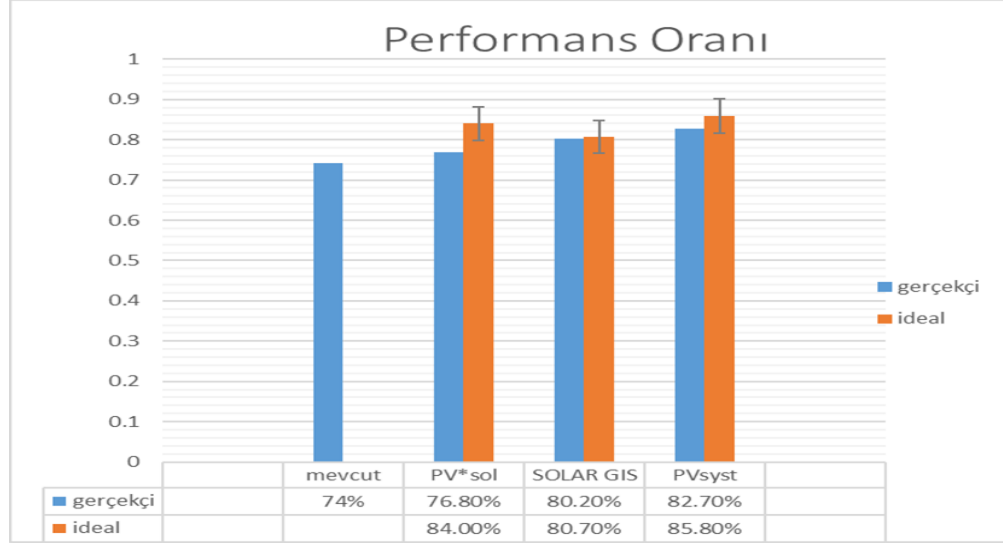
5.1. Performans Oranı

Bu çalışma için PV sisteminin gerçekçi performans oranı (74.2%)

$$PR = \frac{\text{Sistemin gerçek çıkış}}{\text{Global Inc (kwh / m2) * Sistemin normaliz gücü (kwp)}} \quad (5.1)$$

$$= \frac{58558 \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{yıl}} \right)}{1435 \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2} \right) * 55 \text{ kwp}} = 74.2 \%$$

Aşağıdaki çizelge, fotovoltaik sistemin gerçekçi performans oranı ile bu çalışmada kullanılan yazılımların simülasyon sonuçları tarafından sağlanan sistemin performans oranı arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Buna ek olarak eğim açısının ideal parametrelerine göre fotovoltaik sistemin ideal performansının oranı ve sıraların gölgelerinin birbirleri üzerindeki etkisinin yokluğu ile yapılan bir karşılaştırma verilmiştir.



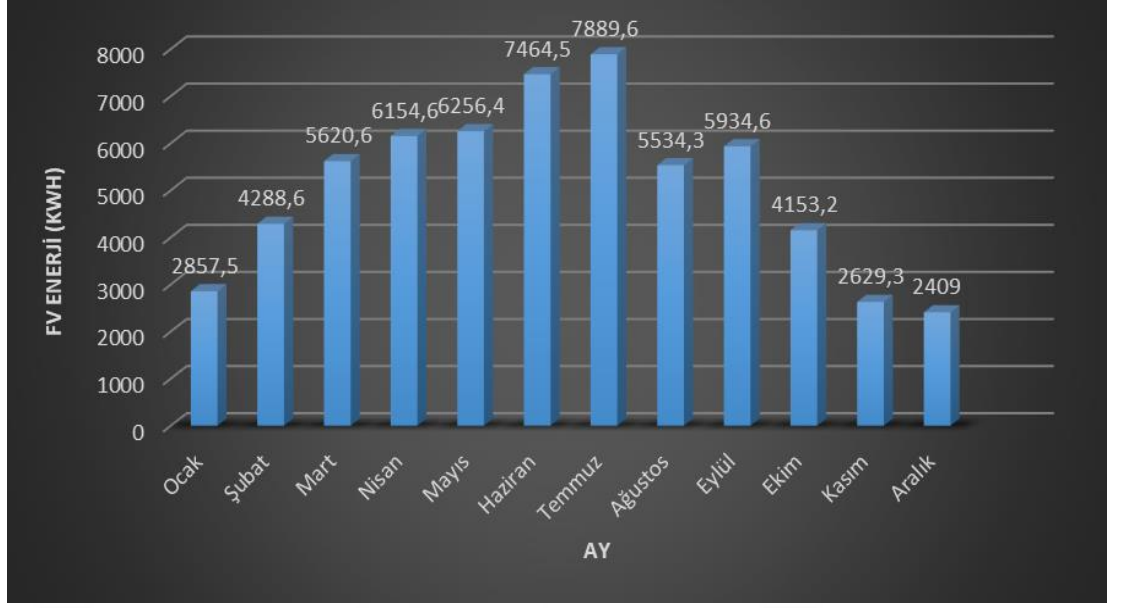
Şekil 5.2. FV sistemin gerçek koşullardaki performans oranı, simülasyon yazılımlarının sağladığı performans oranı ile gerçek ve ideal koşullarda yapılan karşılaştırma.

Fotovoltaik sistemin performans oranı üzerinden performansının analizi, sıcaklık, iletkenlik kaybı gibi çevresel veya işletme koşullarından dolayı sistemin maruz kaldığı enerji kayıpları düşüldükten sonra şebekeye aktarılacak enerji geri dönüşünün yüzdesini gösterir. Bu nedenle enerji verimi yüksek olan aylarda veya mevsimlerde performans artar.

Şekil 5.2'de gösterilen sonuçlar karşılaştırıldığında, gerçekçi performans oranı olan %74.2 değerine PV*SOL yazılımı oldukça yakın olan %76.8 oranını vermiştir oranının %74.2 PV*sol yazılımı %76.8 tarafından sağlanan performans oranının simülasyonuna çok yakın olduğu, ardından Solar cis yazılımı performans oranı %80.20 ve PVsyst yazılımı %82.7, olduğu görülmektedir. Genel olarak simülasyon sonuçları gerçeğe çok yakındır.

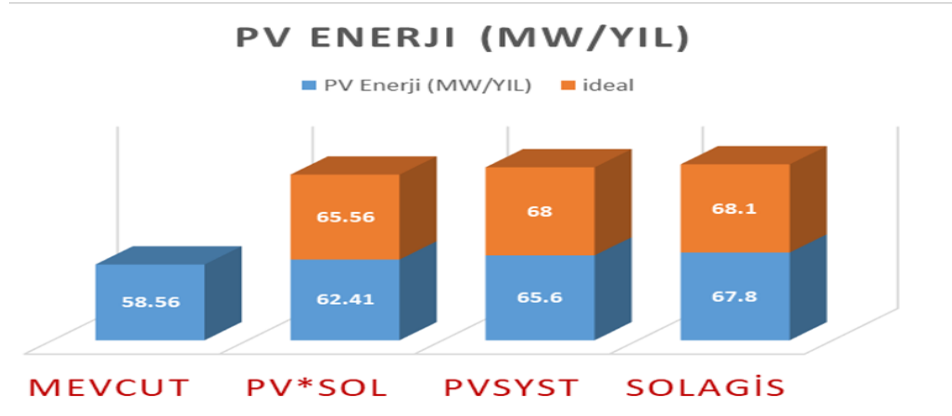
5.2. Enerji Çıkışı

Aylık ortalama enerji üretim oranı, enerji üretiminden en yüksek getirinin sırasıyla Haziran ve Temmuz aylarında (7464,3 ile 7889,2 kw/h) olduğunu, enerji üretimine en düşük getirinin ise Kasım ve Aralık aylarında (2629,3 ile 2409,2 kw/h) olduğunu göstermektedir. Bu duruma ait grafik aşağıda şekil 5.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.3. FV sisteminin ortalama aylık enerji üretim oranları gösterilmesi.

Bu çalışmada kullanılan simülasyon yazılımlarının gerçek ve ideal koşullarda sağladığı yıllık enerji üretim getirisi oranı ile 58,56 MW yıllık reel enerji üretiminden elde edilen getiri oranı karşılaştırıldığında, PV*sol yazılımı tarafından sağlanan en yakın enerji geri dönüşünün 62.41 MW olduğunu ve ardından PVsyst yazılımının 65.6 MW takip ettiğini, ardından Şekil 5.4'te gösterildiği gibi Solargis yazılımındaki geri dönüşün 67.84 MW olduğu not edilmiştir.



Şekil 5.4. Gerçek ve ideal koşullarda yıllık geri dönüş enerji üretim oranının gösterilmesi.

5.3. Özel Yıllık Üretim

Bir PV sistemi tarafından sağlanan ve 1 kWp kurulu güce normalize edilmiş fotovoltaik elektriğin (AC) yıllık ve aylık ortalama değerleri, Spesifik yıllık verim, güneş enerjisi sistemlerinin enerji veriminin boyutlandırılmasında en önemli

belirleyicilerdendir. Bu çalışmada kullanılan simülasyon yazılımları, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi Samsun ilinin fotovoltaik haritası ile büyük ölçüde uyumlu ve belirli yıllık verim değerleri sağlamaktadır. Aşağıdaki tablo 5.1, Samsun ilinin fotovoltaik haritası tarafından sağlanan belirli yıllık verim değerlerini ve simülasyon yazılımları tarafından sağlanan değerleri göstermektedir.

Tablo 5.1. Simülasyonu yazılımları ve Samsun fotovoltaik haritasının sağladığı spesifik yıllık verimin gösterimi.

Fotovoltaik Enerji Potansiyeli			
kwh / kwp			
Fotovoltaik Haritesi (Samsun)	PV*sol	Pvsyst	Solargis
1241	1134	1236	1233

5.4. Eğim Açısı

Fotovoltaik panellerden en iyi şekilde yararlanmak için güneşe doğru açılabilir. Mevsime ve enlemlere bağlı olarak ideal açı yıl içinde değişir. Bu Açık Hesaplayıcı, konunuza göre en iyi fotovoltaik panel açısını belirlemenize yardımcı olacaktır. Bu çalışma için güneş sisteminin eğim açısı, güneşe doğru toplam yönelimle 24°'dir, ancak güneş sisteminin performansını değerlendirmek için kullanılan simülasyon yazılımlarının gösterdiği gibi ideal değildir. Simülasyon sistemi yazılımlarının tüm hesaplamaları, bu çalışmadaki güneş panelleri için ideal yıllık eğim açısının, enlem, coğrafi yapının dikkate alınmasının yanı sıra kayıpsız radyasyon dağılım faktörü ile ilgili doğru denklemlere bağlı olarak 28° ile 31° arasında değiştiğini göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 5.2, ideal eğim açısı nedeniyle güç çıkışı verimindeki artışı göstermektedir.

Tablo 5.2. İdeal eğim açısı nedeniyle güç çıkışı verimindeki artış.

	PV Enerji (MW/YIL)			
	Mevcut	PV*sol	PVsyst	Solargis
Mevcut eğim açısı (24°)	58.6	62.1	65.6	67.8
optimum eğim açısı		65.6	68	68.1
Üretimdeki yüzde artış %		5.5	3.6	0.5

5.5. Gölge Etkisi

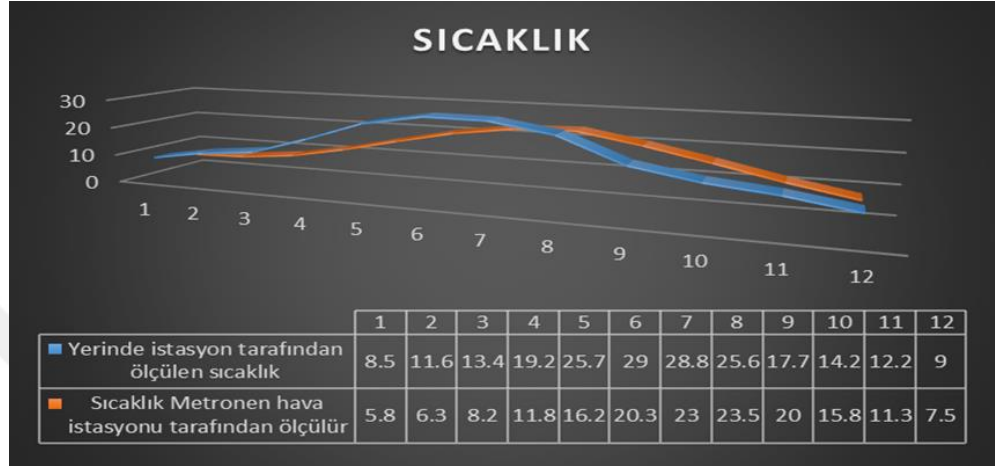
PV*sol ve PVsyst yazılımları tarafından sağlanan aylara göre kayıp çizelgeleri ve güneş yolu çizelgesi, panel dizisinin birbirini üzerine gölgeleme etkisinden dolayı yıllık enerji verimindeki kayıp miktarını göstermektedir. Bu etki, sonbahar ve kış mevsimlerinde güneşin yüksekliğinin azalmasıyla kendini daha belirgin gösterir. PVsyst yazılımı, %4.3'e kadar gölge efekti kayıp oranı sunarken, PV*sol %9'a kadar gölge efekti kayıp oranı sağlar. Aşağıdaki şekil 5.5'te gösterildiği gibi güneş enerjisi sisteminin kurulum yerinde yeterli boşluk bulunan paneller dizisi arasındaki gölgeleri önleyecek şekilde mevcut alan kullanılarak gölgelerin etkisini ortadan kaldırmak mümkündür.



Şekil 5.5. Kurulu GES'in Google Earth'den alınmış görüntüsü.

5.6. Termal Faktör

PV sisteminin performansı ortam sıcaklığı ile ters orantılı olduğu için üretilen enerji verimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, yerel olarak ölçülen sıcaklığın aşağıdaki şekilde 5.6'da gösterildiği gibi Metronen istasyonu gibi hava istasyonları tarafından ölçülen sıcaklıktan 4 derece daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. Yerel olarak ölçülen sıcaklık ile çalışmanın yapıldığı lokasyon için meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen sıcaklık arasındaki fark.

6. SONUÇ

Fotovoltaik sistem için kullanılan en popüler üç simülasyon yazılımı, güneş sisteminin ana belirleyicilerinin karşılaştırmalı bir çalışmayla gözden geçirilerek, şebekeye bağlı güneş fotovoltaik güç istasyonunun 55 kw/h bir performans analizi bu çalışmada sunulmuştur. FV sisteminin performansını doğrulamak ve bu simülasyonun sonuçlarını güneş enerjisi sisteminin gerçek performansı ile karşılaştırmak için bu simülasyon programları kullanıldı. Bu simülasyon yazılımları gerçek sonuçlara yakın sonuçlar sağlamakla birlikte bizi bu çalışmanın en önemli sonuçlarına götürecektir.

- Yıllık ortalama performans oranı, PV*SOL yazılımları tarafından sağlanan yıllık ortalama performans oranına 0.76 çok yakın olan ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalar kapsamında 0.74 olarak bulunmuştur.
- Simülasyon yazılımlarının sonuçlarına göre fotovoltaik sistemden üretilen yıllık enerji geri dönüşü, özellikle simülasyon PV*SOL yazılımının sonuçları ile güneş sisteminin gerçek enerji geri dönüşüne % 90 kadar benzerlik göstermiştir.
- Solargis yazılımı tarafından sağlanan fotoelektrik haritalara, herhangi bir fotovoltaik istasyonun yıllık üretim veriminin ilk belirlenmesinde güvenilebilir sonuçlar vermiştir.
- PV*SOL, PVsyst ve Solargis Simülasyon yazılımları, farklı sistem konfigürasyonlarının değerlendirilmesini daha kolay ve daha hızlı hale getiren çoklu analizler gerçekleştirme kabiliyetleri nedeniyle dünyadaki en popüler ve etkili araçlardan bazılarıdır.
- Tüm bu simülasyon yazılımları, makul deneysel doğrulamaya tabi olmanın yanı sıra, kullanımı kolay bir arayüz ile kapsamlı modelleme sağlar. Ancak bu yazılımlar her yıl güncellenmektedir.
- PV*SOL ve Solargis yazılımları performans oranının, gerçek performans oranına yakınlığı nedeniyle bu çalışma sahasındaki performansı analiz etmek için en iyi ve en uygun yazılımlar olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir.
- PVsyst yazılımı, kayıpları en aza indirmenin yanı sıra radyasyon dönüşüm faktörünün (TF) en yüksek değerini elde etmeye dayalı ideal eğim açısını seçmek için çok doğru bir yöntem sağladığı tesbit edilmiştir.

- PVsyst ve PV*SOL yazılımları, gölge etkisi ve evirici bağlantı mekanizması gibi kurulum hatalarının neden olduğu sorunların önüne geçilmesi için iyi bir çözüm sağlayıcı olacağı yönünde bir sonuca varılmıştır.
- Çatı üzerine kurulmuş 55 kW'lık güneş enerjisi santralinin performansına bağlı olarak, PV sisteminin pratik bir güç kaynağı çözümü olduğunu ve atmosferden 29319 kg/yıl karbondioksiti azaltabileceği gösterilmiştir.
- Bu simülasyon yazılımları, güneş sistemi performansının, gerçek performansa çok yakın bir analizini sağlamanın yanı sıra, sistemin performansını ve yıllık enerji verimini iyileştirebilecek bazı çözümler sunarak, yenilenebilir enerji alanında çalışan araştırmacılar ve çalışanlar için yol gösterici bir araç haline gelebilir.
- Bir FV sistemi için yatırımı yapmadan önce başarıları kabul edilmiş simülasyon yazılımları ile ilgili bölge için önerilen büyüklükteki sistemin doğru parametrelerle ve verilerle simülasyonunu yapmak, gereksiz yatırımın engellemesi bakımından önemi olduğu görülmektedir.

KAYNAKLARI

- NREL SAM U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2020.).NREL SAM U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, System Advisor Model (SAM). (2020.). [Online]. Available: <https://sam.nrel.gov/>.
- Al Garni, H. Z., & Garni, A. (2018). Optimal Design and Analysis of Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems. *Doctor of Philosophy*, (July).
- Alsadi, S., & Khatib, T. (2018). Photovoltaic power systems optimization research status: A review of criteria, constrains, models, techniques, and software tools. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/app8101761>
- Anser, M. K., Mohsin, M., Abbas, Q., & Chaudhry, I. S. (2020). Assessing the integration of solar power projects: SWOT-based AHP–F-TOPSIS case study of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(25), 31737–31749. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09092-6>
- Anonim. 2021. “Bioenergy”. Tarihinde 07 Temmuz 2021a (<https://www.irena.org/bioenergy>).
- Anonim. 2021. “CO2 Emissions Intensity of Electricity Generation Methods | Tableau Public”. Tarihinde 07 Temmuz 2021b (<https://public.tableau.com/app/profile/fan.cheng6987/viz/CO2EmissionsIntensityofElectricityGenerationMethods/1>).
- Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565–576. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.078>
- Delfanti, R. L., Piccioni, D. E., Handwerker, J., Bahrami, N., Krishnan, A. P., Karunamuni, R., ... Papers, G. (2018). Design and Modeling of Solar Photovoltaic Systems A. *New England Journal of Medicine*, 372(2), 2499–2508. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1407279>
- Geothermal energy. (2021.). Tarihinde 07 Temmuz 2021, adresinden erişildi <https://www.irena.org/geothermal>
- Gurupira, T. L. (2018). Evaluation and optimisation of photovoltaic (PV) plant designs, (March), 1 138.
- Hasan, R., Mekhilef, S., Seyedmahmoudian, M., & Horan, B. (2017). Grid-connected isolated PV microinverters: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1065–1080. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.082>
- Hernández-Fontes, J. V., Martínez, M. L., Wojtarowski, A., González-Mendoza, J. L., Landgrave, R., & Silva, R. (2020). Is ocean energy an alternative in developing regions? A case study in Michoacan, Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121984>
- Homood, A. R., Albarazanch, S. H. N., Ekici, S., & Ekici, B. B. (2020). Comparison of Performance Evaluation of Grid-Connected PV System for 3D Single Family

House Using Building Information Modeling (BIM) Technology: A Case Study in Elazig, Turkey. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(4), 1783–1792.

https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics. (2021).

<https://solargis.com/success-stories/lightsource>. (2020).

<https://www.alfasolarenerji.com/>. (2021).

<https://www.pvsyst.com/features/>. (2020).

König, W. (2020). Energy efficiency in industrial organizations—A cultural-institutional framework of decision making. *Energy Research and Social Science*, 60(September 2019), 101314.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101314>

Kizito, Rodney Moses. 2017. “An Economic Analysis of Residential Photovoltaic Systems with and without Energy Storage”. *Theses and Dissertations* 2385.

Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., & Mathew, M. (2017). Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool. *Energy Procedia*, 117, 180–189.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.121>

LuisGonzález-MendozaaRosarioLandgravebRodolfoSilvaa, A. links open overlay panelJassiel V. H.-F. L. (2020). Is ocean energy an alternative in developing regions? A case study in Michoacan, Mexico. *Journal of Cleaner Production Volume 266, 1 September 2020, 121984*.

Magaji, A. (2016). A Research Dissertation Submitted To The College Of Higiter Degrees And Research In Partial Fulfillment For The Award Of Master Of Science Degree In Physics Of Kampala International.

Makarova, A. (2017). Study , Design and Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic System. *Metropolia*, (November), 61.

Malvoni, M., De Giorgi, M. G., & Congedo, P. M. (2017). Study of degradation of a grid connected photovoltaic system. *Energy Procedia*, 126, 644–650.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.263>

Özden,T., Karaveli, A., & Akinoğlu, B. (2020). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Hesaplama Modellerinin Ankara (Orta Anadolu) için Karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, (18), 54–60.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.653272>

Rasheed, M., Shihab, S., Rashid, T., & Diab, T. (2021). Parameters Determination of PV Cell Using Computation Methods, *13*(1), 1–9.

Salamov, I., Bobyl, A., & Mekhilef, S. (2020). The efficiency of the on-grid solar power plant in the Chechen Republic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 578(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/578/1/012044>

Sharma, R., & Gidwani, L. (2017a). Grid connected solar PV system design and calculation by using PV SOL premium simulation tool for campus hostels of

RTU Kota. *Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2017*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074315>

Sharma, R., & Gidwani, L. (2017b). Grid connected solar PV system design and calculation by using PV SOL premium simulation tool for campus hostels of RTU Kota. *Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2017*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074315>

Solar energy. (2021.). Tarihinde 07 Temmuz 2021, adresinden erişildi
<https://www.irena.org/solar>

Sreenath, S., Sudhakar, K., Yusop, A. F., Solomin, E., & Kirpichnikova, I. M. (2020). Solar PV energy system in Malaysian airport : Glare analysis , general design and performance assessment. *Energy Reports*, 6, 698–712.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.03.015>

Tunc, A., Tuncay, G., Alacakanat, Z., & Sevimli, F. S. (2019). Gis based solar power plants site selection using analytic hierarchy process (ahp) in istanbul, Turkey. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 1353–1360.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1353-2019>

Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., & Panwar, B. S. (2018). Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(7), 11–24.

Verma, M. (2019). Analysis , Design , and Control of a Single-Phase Single-Stage Grid-Connected Transformerless Solar Inverter, (June).

Vsn800-14 | ABB. (2021.). Tarihinde 26 Temmuz 2021, adresinden erişildi
<https://new.abb.com/products/6AGC060826/vsn800-14>

Wind energy. (2021.). Tarihinde 07 Temmuz 2021, adresinden erişildi
<https://www.irena.org/wind>

Zurba, M., & Bullock, R. (2020). Bioenergy development and the implications for the social wellbeing of Indigenous peoples in Canada. *Ambio*, 49(1), 299–309.
<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01166-1>

ÖZ GEÇMİŞ

Abdiljabbar Rafi HOMOOD Anbar Alankaa Lisesi'ni bitirdikten sonra Anbar Üniversitesi Fen Fakültesi'nden 1999 yılında mezun oldu. Mezuniyetinden bu yana Devlet Fosfat Şirketi Enerji ve Endüstriyel Hizmetler Daire Başkanlığı olarak görev yapan iyi derecede İngilizce/Arapça/Türkçe bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5405-4616>

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Homood, A. R., Albarazanch, S. H. N., Ekici, S., & Ekici, B. B. (2020). Comparison of Performance Evaluation of Grid-Connected PV System for 3D Single Family House Using Building Information Modeling (BIM) Technology: A Case Study in Elazig, Turkey. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(4), 1783–1792.