

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAĞIMSIZ BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PVSYSY YAZILIMI
KULLANILARAK TASARIMI VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜLYA ÇINAROĞLU

TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. YASEMİN ÖNAL

BİLECİK, 2023

10547124

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAĞIMSIZ BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PVSYSY YAZILIMI
KULLANILARAK TASARIMI VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜLYA ÇINAROĞLU

TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. YASEMİN ÖNAL

BİLECİK, 2023

10547124

BEYAN

“Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin PVsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı ve Simülasyonu” adlı yüksek lisans projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

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

Hülya ÇINAROĞLU

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenip emek harcayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Yasemin ÖNAL'a katkı ve destekleri için saygılarımı teşekkürlerimi sunarım.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyelerine çalışmanın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere ulaşmamda büyük emek harcayan değerli aileme teşekkür ederim.

Hülya ÇINAROĞLU

2023

ÖZET

BAĞIMSIZ BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Enerji tüketimi son yıllarda artmakta ve şehirlerde giderek yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, şehirler ve üniversiteler enerjilerini üretebilecek potansiyeldeki kaynakları bulmakta, enerji tasarrufu ve enerji verimi için çalışmaktadırlar. Çalışmada, Bilecik'te kamu hizmeti ölçeğinde şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız bir fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik yönden değerlendirmesi yapılmaktadır. Analiz için PVsyst 7.2. yazılımı kullanılmaktadır. PVsyst; fotovoltaik sistemlerin verimini tahmin etmek ve sistem tasarımını optimize etmek için yaygın olarak kullanılan bir simülasyon yazılımıdır.

Bu çalışmada 550 Wp kurulu güç değerinde, şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi için beş farklı güneş takip sisteminin maliyet ve performans analizi yapılmaktadır. Analizi yapılan güneş takip sistemleri; sabit, mevsimsel, yatay, dikey ve çift eksen takip sistemleridir. Analiz için kullanılan aylık ortalama güneş ışınımı ve ortam sıcaklık verileri PVsyst veri tabanından elde edilmektedir. Yapılan analizlerde beş farklı güneş takip sistemi için aylık kullanılabilir mevcut güneş enerjisi, sistem verimi, eksik enerji, panel, nihai ve referans verimi, performans oranı, panel ve sistem kayıpları karşılaştırılmaktadır. Beş farklı güneş takip sistemi içerisinde; en yüksek mevcut güneş enerjisi 1049.9 kWh ve en düşük kayıp enerji 57.03 kWh olarak çift eksen takip sisteminde, en düşük mevcut güneş enerjisi 764.77 kWh ve en yüksek kayıp enerji 93.36 kWh olarak sabit eksen sistemde elde edilmiştir. Sistem tarafından üretilen ve ihtiyaç fazlası olduğu için kullanılmayan enerji; en yüksek çift eksen takip sisteminde 297.23 kWh, en düşük ise sabit eksen sisteminde 51.84 kWh olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nin de tasarlanan 2 kWh kurulu güç değerine sahip şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda enerji sisteminin yıllık 3109.6 kWh enerji üretebileceği ve ortalama yıllık performans oranının 0.837 olduğu görülmüştür. Yapılan ekonomik analizde böyle bir enerji sisteminin kurulumu için gerekli olan yatırım maliyetinin 11560 TL olduğu ve sistemin geri ödeme süresinin 5 yıl olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı enerji sisteminin güç üretim değerlerinin hem performans hem de ekonomik uygulanabilirliğini göstermekte ayrıca gerçek uygulama durumunda sistemin başarılı bir şekilde geliştirilmesine hizmet etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, PVsyst Yazılımı, Tasarım ve Simülasyon, Teknik ve Ekonomik Analiz.

ABSTRACT

DESIGN AND SIMULATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING PVSYS SOFTWARE

Energy consumption has been increasing in recent years and is increasingly concentrated in cities. For this reason, cities and universities find potential sources to produce their own energy and they also work for energy saving and efficiency. In this study, the technical and evaluation of an on-grid and off-grid photovoltaic energy system is made for public service in Bilecik. For analysis, PVsyst 7.2. is used. PVsyst software is a commonly used as a simulation software to estimate the efficiency of photovoltaic systems and to optimize system design.

Firstly, in five different solar tracking system the performance analysis of stand-alone power plant, which exist installed 550 Wp, is performed. These analyzed systems are fixed axis system, seasonal axis system, horizontal axis system, vertical axis tracking system and dual axis tracking system. The monthly average solar radiation and ambient temperature data used for the analysis are obtained from the PVsyst databases. In these analyses, monthly available solar energy, system efficiency, missing energy, panel, final and reference efficiency, performance ratio, panel and system losses are compared for five different tracking systems. Among these five different solar tracking systems, highest available solar energy and lowest loss energy are seen in dual axis tracking system as 1049.9 kWh and 57.03kWh, respectively while lowest available solar energy and highest loss energy are observed as 764.77 kWh and 93.36 kWh, respectively. The energy, which is produced by that system and cannot be used because of being redundant, was seen as 297.23 kWh in the dual axis tracking system and as 51.84 kWh in the fixed axis system, respectively. In addition, technical and economic analysis of with 2 kWh power designed grid connected photovoltaic energy system has been executed for Bilecik Seyh Edebali University. As a result of this analysis, it was seen that the power plant can produce 3109.6 kWh of energy as annually and its average performance ratio is 0.837. In this economic analysis, it was observed that the investment cost to carry out for such this power plant is 11560 TL and its payback duration is 5 years.

The results of these studies have shown both the performance and economic feasibility of stand-alone and grid-connected power plants, and also for real investment consequents of this work have served as such successful development of the system.

Keywords: Photovoltaic System, PVsyst Software, Design and Simulation, Technical and Economic Analysis.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin amacı	3
1.2.Yöntem.....	3
1.3.Tezin önemi	4
1.4.Literatür taraması	4
2.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ	11
2.1.Türkiye'nin fotovoltaik enerjisi potansiyeli.....	12
2.2.Fotovoltaik paneller.....	14
2.2.1.Fotovoltaik panel yapısı ve çalışma prensibi	14
2.2.2.Fotovoltaik panel çeşitleri	15
2.2.3.Fotovoltaik panel elektriksel modeli	15
2.3.Fotovoltaik sistem elemanları.....	17
2.3.1.Panel.....	17
2.3.2.Akü	18
2.3.3.Evirici.....	18
2.3.4.Şarj kontrol cihazları.....	19
2.4.Fotovoltaik sistem bağlantı şekilleri	19
2.4.1.Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemleri	19

2.4.2.Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri	20
2.4.3.Hibrit sistemler.....	21
3.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI	22
3.1.Pv*sol	22
3.2.Bluesol.....	22
3.3.Pvgis	22
3.4.Solar advisor model (SAM)	23
3.5.Homer	23
3.6.Polysun.....	23
3.7.Helioscope.....	24
3.8.PVsyst 7.2	24
3.9.PVsyst 7.2 yazılımında proje tasarımı	27
3.10.Fotovoltaik sistem performans değerlendirme parametreleri	32
3.11.Fotovoltaik sistem ekonomik analiz değerlendirme parametreleri	35
4.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	38
4.1. Farklı panel takipli şebekeden bağımsız sistemler	38
4.1.1.Sabit açılı sistem	42
4.1.2.Mevsimsel farklı açılı sistem	44
4.1.3.Tek eksen dikey takip sistemi	46
4.1.4.Tek eksen yatay takip sistemi	48
4.1.5.Çift eksen takip sistemi.....	50
4.1.6.Takip sistemlerinin performans analizi	52
4.2. Farklı panellere sahip şebekeden bağımsız sistemler.....	58
4.2.1.Monokristal panele sahip sistem.....	58
4.2.2.Polikristal panele sahip sistem	60
4.2.3.İnce film panele sahip sistem	62
4.2.4.Farklı panel tiplerinin performans analizi	64

4.3. Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi	69
4.3.1.Teknik analiz	69
4.3.2.Ekonomik analiz.....	74
5.BULGULAR VE TARTIŞMA	77
5.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi.....	77
5.1.1. Takip sistemlerinin simülasyon sonuçları	77
5.1.2. Farklı panel tiplerinin performans analizi	78
5.2. Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi	78
KAYNAKÇA	81

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Türkiye coğrafi bölgelerine göre fotovoltaik enerji potansiyeli.....	13
Tablo 4.1. Meteonorm 8.0 ile üretilen sentetik veriler	39
Tablo 4.2. Laboratuvarın günlük minimum enerji tüketim değerleri	40
Tablo 4.3. Panele ait teknik veriler.....	41
Tablo 4.4. Aküye ait teknik veriler.....	42
Tablo 4.5. Sabit sistem bilanço ve genel sonuçlar.....	44
Tablo 4.6. Mevsimsel sistem bilanço ve genel sonuçlar	46
Tablo 4.7. Dikey eksen bilanço ve genel sonuçlar	48
Tablo 4.8. Yatay eksen bilanço ve genel sonuçlar	50
Tablo 4.9. Çift eksen bilanço ve genel sonuçlar.....	52
Tablo 4.10. Beş farklı güneş takip sisteminin performans sonuçları.....	57
Tablo 4.11. Monokristal panel bilanço ve genel sonuçlar	59
Tablo 4.12. Polikristal panel bilanço ve genel sonuçlar	61
Tablo 4.13. İnce film panel bilanço ve genel sonuçlar	63
Tablo 4.14. Farklı panellere sahip sistemlerin performans sonuçları.....	69
Tablo 4.15. İnvertere ait teknik veriler	70
Tablo 4.16. Bilanço ve genel sonuçlar	72
Tablo 4.17. Kurulum maliyeti	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Enerji kaynakları.....	12
Şekil 2.2. Elektrik enerjisi kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı.....	13
Şekil 2.3. Aylık ışıınım değerleri	14
Şekil 2.4. Eşdeğer devre modeli.....	15
Şekil 2.5. I-V karakteristik eğrisi	16
Şekil 2.6. Hücre, panel ve dizi	17
Şekil 2.7. Şebekeye bağımlı fotovoltaik sistem	20
Şekil 2.8. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem.....	21
Şekil 3.1. PVsyst 7.2. açılış ekran görüntüsü.....	25
Şekil 3.2. Fotovoltaik sistemin blok şeması.....	27
Şekil 3.3. Şebekeden bağımsız bölümü	28
Şekil 3.4. Koordinat bilgilerinin tanıtılması.....	28
Şekil 3.5. Meteororm 8.0. ile üretilen sentetik veriler.....	29
Şekil 3.6. Panel eğim – yönelim bilgilerinin belirlenmesi	30
Şekil 3.7. Enerji sistemi elemanlarının tanımlanması.....	31
Şekil 3.8. Ekonomik analiz sekmesi	31
Şekil 3.9. Ekonomik verilerin yazılıma tanımlanması.....	32
Şekil 3.10. Fotovoltaik Enerji Sistemi Performans Değerlendirme Parametreleri	35
Şekil 4.1. Meteororm 8.0, MGM ve GEPA verilerin karşılaştırılması	39
Şekil 4.2. Sabit sistem normalize üretim değerleri	43
Şekil 4.3. Sabit sistem performans oranı.....	43
Şekil 4.4. Mevsimsel sistem normalize üretim değerleri	45
Şekil 4.5. Mevsimsel sistem performans oranı	45
Şekil 4.6. Dikey eksen normalize üretim değerleri	47
Şekil 4.7. Dikey eksen performans oranı	47
Şekil 4.8. Yatay eksen normalize üretim değerleri	49
Şekil 4.9. Yatay eksen performans oranı	49
Şekil 4.10. Çift eksen normalize üretim değerleri	51
Şekil 4.11. Çift eksen performans oranı.....	51
Şekil 4.12. Mevcut güneş enerjisi (kWh) (5 farklı takip sistemi için).....	53
Şekil 4.13. Eksik enerji (kWh) (5 farklı takip sistemi için).....	53

Şekil 4.14. Panel verimi (h/d) (5 farklı takip sistemi için).....	54
Şekil 4.15. Nihai verim (h/d) (5 farklı takip sistemi için).....	54
Şekil 4.16. Referans verim (h/d) (5 farklı takip sistemi için)	55
Şekil 4.17. Performans oranı (PR) (5 farklı takip sistemi için).....	56
Şekil 4.18. Panel kayıpları (h/d) (5 farklı takip sistemi için).....	56
Şekil 4.19. Sistem kayıpları (h/d) (5 farklı takip sistemi için).....	57
Şekil 4.20. Monokristal panel normalize üretim değerleri.....	58
Şekil 4.21. Monokristal panel performans oranı.....	59
Şekil 4.22. Polikristal panel normalize üretim değerleri.....	60
Şekil 4.23. Polikristal panel performans oranı.....	61
Şekil 4.24. İnce film panel normalize üretim değerleri.....	62
Şekil 4.25. İnce film panel performans oranı.....	63
Şekil 4.26. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen mevcut güneş enerjisi (kWh)	64
Şekil 4.27. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen eksik enerji (kWh).....	65
Şekil 4.28. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen panel verimi (h/d).....	65
Şekil 4.29. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen nihai verim (h/d)	66
Şekil 4.30. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen referans verim (h/d).....	66
Şekil 4.31. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen performans oranı (PR).....	67
Şekil 4.32. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen panel kayıpları (h/d)	68
Şekil 4.33. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen sistem kayıpları (h/d)	68
Şekil 4.34. Normalize üretim	71
Şekil 4.35. Performans oranı.....	71
Şekil 4.36. Kayıp diyagramı	73

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AA	: Alternatif Akım
a-Si	: Amorf Silikon
c-Si	: Kristal Silikon
CdTe	: Kadmiyum Tellür
DA	: Doğru Akım
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
kW	: Kilo Watt
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPPT	: Maximum Power Point Tracking
MW	: Mega Watt
PR	: Performance Ratio (Performans Oranı)
PWM	: Pulse Width Modulation
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
°	: Derece
€	: Euro
q	: Elektron Yükü
η, γ	: Verim
A	: Boltzman Sabiti
D	: Diyot
E	: Enerji
G₀	: Küresel Işınım
H_t	: Yatay Düzlemdeki Toplam Işınım
I	: Akım (A)
R	: Direnç (Ω)
T	: Sıcaklık (K °)
V	: Gerilim (V)

1.GİRİŞ

İklim değişikliğinin gündemde daha fazla yer aldığı günümüzde, insanlığın yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan enerjinin; temiz ve doğaya en az zarar veren kaynaklarla üretilmesi insanlığın başlıca hedefleri arasındadır (Dinçer, 2011: 715). Bu hedef doğrultusunda; sürekli organizasyonlar yapılmakta, teknolojiler üretilmeye çalışılmakta ve destekleyici politikalar uygulanmaktadır. Yaşamın sürdürülebilmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin üretimi, mevcut olan enerji potansiyelinin şekil değiştirmesi ile sağlanmaktadır (Bhandari, 2009: 1636). Doğada herhangi bir canlı tarafından müdahale edilmeden de sürmekte olan bu dönüşüm ele alındığında, çevreye en az seviyede zarar veren ve dünyanın doğal akışından elde edilen rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi enerji türleri yenilenebilir (alternatif)- temiz tükenmez enerjiler olarak tanımlanmıştır (Akcan ve Kuncan, 2020: 249).

Alternatif enerji teknolojileri, 20 yıl öncesine kadar sadece küresel iklim değişikliğinin azaltılması için kullanılabileceği ve daha fazla ileriye gidemeyeceği söylenen teknolojilerdi. Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ile alternatif enerji kaynaklarının kullanımı sayesinde insan faaliyetlerinin dünya üzerindeki olumsuz etkileri azalmaktadır (Bosman vd., 2020: 1398). Bu duruma ek olarak çeşitli iç imkanlarının sağlanması, gelir kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji ithalatının azaltılması gibi insanlık için son derece öneme sahip alanlarda fayda sağlayarak, artan bir ivmeyle gelişimini sürdürmektedir (Akyürek vd., 2021: 163).

Fosil kaynaklardan geleneksel yöntemlerle enerji üretilmesinin; doğa ve insanlık üzerinde istenmeyen zararlı etkileri bulunmaktadır. Havanın kirlenmesine, küresel ısınmaya, iklim değişikliğine, oksijen oranının azalmasına, karbondioksit miktarının artmasına, asit yağmurlarına vb. sebep olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak fosil yakıtlardan etrafa sağılan zehirli gazlar insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir (Bouzuenda vd., 2014: 956).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, temiz ve sürdürülebilir olduğundan giderek artmaktadır. Çevre için zararsız olmaları, kaynağını doğadan aldığı için sürdürülebilir olması en önemli avantajlarıdır. Ancak; kurulum maliyetinin yüksek oluşu ve istenilen verim düzeyinin henüz elde edilememesi gibi durumlar ise en büyük dezavantajlarıdır (Çelebi, 2013: 58).

Teknolojik keşif ve çalışmalar neticesinde yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, biokütle, jeotermal, hidrolik ve hidrojen olarak çeşitlendirilmektedir. Ülkemiz için

konumu ve potansiyeli düşünülduğünde en önemli enerji kaynağı, fotovoltaik enerji (FV) sistemleridir (Kaynar, 2020: 50).

Güneşten enerji üretmenin en etkin şekilde kullanılan yöntemi foton- elektrik dönüşümünü sağlayan güneş panellerinden yararlanmaktır. Güneş panellerine gelen güneş ışığı soğurularak elektrik enerjisini dönüştürülmektedir. Güneş panelleri, çıkış güçlerinin artırılması için birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak panelleri oluşturmaktadır (Khatib, 2010: 1216). Günümüzde fotovoltaik (FV) sistemler; hesap makineleri, uydular, aydınlatma elemanları vb. birçok cihazın enerjisini sağlamakta, bir evin elektrik ihtiyacını karşılanmakta hatta bir ülkenin enerji şebekesine katkı sağlamaktadır (Rout ve Kulkarni, 2020: 797).

Yüksek kurulum maliyetleri, FV sistemlerinin yaygınlaşmasındaki en önemli engel olduğundan; günümüzde FV sistemlerin optimizasyonu üzerine yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Ceylan, 2018: 898). Bu sebeple; FV sistemlerin eğim açısı, panel sayısı, evirici ve akü grubu kapasiteleri değiştirilerek en verimli hale getirilmektedir (Duman vd., 2014: 15).

Firma ve kuruluşlar yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı için modelleme ve simülasyon yazılımları geliştirmekle birlikte yazılımlarına ekonomik analiz özelliğini de eklemişlerdir (Kaynar, 2020: 50). Ekonomik analiz ile kurulacak tesise ait ekonomik değerlendirme, maliyet-amortisman hesaplamaları, yatırımcıya önemli bir referans oluşturduğundan önemlidir. Kullanıcıyı; enerji talebi ve sistem güvenilirliği esaslarına göre optimum tasarımın yapılması doğrultusunda yönlendirmektedir. Dolayısıyla; önceden yapılan teknik ve ekonomik fizibilite çalışmaları, tasarımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından önemli ve gereklidir FV sistemlerin en uygun biçimde tasarlanması, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için geliştirilmiş, yazılımlar bulunmaktadır (Sharma, 2014: 732).

Dünya çapında, FV sistemlerin tasarımının optimizasyonu için farklı yöntemler ve simülasyon yazılımları kullanılmaktadır (Haydaroğlu ve Gümüş, 2016: 102). Bu simülasyon yazılımları HOMER, RETScreen, SolarMAT, PVsol, PVGIS, Solargis ve PVsyst'dir. Literatürdeki çalışmalarda ve araştırmalarda seçim parametrelerinin araştırmalara uygun olması, veri tabanında birçok marka ve modelde panel, evirici, akü bulunması, işlevsel olması, ekonomik analizin yapılabilmesi, hızlı sonuç vermesi ve simülasyon verilerinin gerçeğe yakın olması sebepleriyle şebekeye bağımlı veya şebekeden bağımsız sistemlerin tümünde PVsyst simülasyon yazılımı sıklıkla kullanılmaktadır (Saraswat ve Sathans, 2017:

1987). Simülasyon sonucunda oluşturduğu rapor ile tasarlanan sistemin performans oranını, tahmini üretim verilerini, kayıp değerlerini; sayısız parametreler kullanarak aylık, günlük veya saatlik olarak açık ve net bir şekilde kullanıcıya sunmaktadır. Tüm bunlara ek olarak; içinde veri tabanı bulunan Meteonorm ile enerji sisteminin kurulmasının planlandığı lokasyona ait meteorolojik veriler sentetik olarak üretilebilmektedir (Kaplukan, 2015: 77).

Literatürdeki çalışmalarda ve araştırmalarda seçim parametrelerinin araştırmalara uygun olması, veri tabanında birçok marka ve modelde panel, evirici, akü bulunması, işlevsel olması, ekonomik analizin yapılabilmesi, hızlı sonuç vermesi ve simülasyon verilerinin gerçeğe yakın olması sebepleriyle şebekeye bağımlı veya şebekeden bağımsız sistemlerin tümünde PVsyst simülasyon yazılımı sıklıkla kullanılmaktadır (Özçelik vd., 2020: 4). Simülasyon sonucunda oluşturduğu rapor ile tasarlanan sistemin performans oranını, tahmini üretim verilerini, kayıp değerlerini; sayısız parametreler kullanarak aylık, günlük veya saatlik olarak açık ve net bir şekilde kullanıcıya sunmaktadır. Tüm bunlara ek olarak; içinde veri tabanı bulunan Meteonorm ile enerji sisteminin kurulmasının planlandığı lokasyona ait meteorolojik veriler sentetik olarak üretilebilmektedir (Duman vd., 2014: 15). Bu çalışmada PVsyst simülasyon yazılımını detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

1.1. Tezin amacı

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesine kurulması planlanan fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizi yapılarak en optimum modelin teknik ve ekonomik yönden belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu sebeple; şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sisteminin 5 farklı güneş takip sistemine sahip olması durumu ile enerji sisteminde kullanılacak panellerin farklı üretim teknolojilerine sahip olmaları durumunda elde edilebilecek enerji ve kayıp durumu belirlenmiştir. Ayrıca şebekeye bağımlı bir sistem için ekonomik analiz yapılarak böyle bir sistem kurulumu konusunda yatırımcıyı doğru yönlendirebilmek hedeflenmiştir.

1.2. Yöntem

Çalışmada; teknik ve ekonomik analiz yapmak ve sisteme ait üretim ve kayıp değerlerini belirleyebilmek için PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı kullanılmıştır. İlk olarak 550 Wp kurulu güç değerine sahip fotovoltaik enerji sistemi yazılımda tasarlanmış daha sonra sistemin 5 farklı güneş takip sistemine sahip olması durumunda elde edilebilecek üretim ve kayıp değerleri yazılımdan alınmıştır. Ayrıca; enerji sisteminde farklı üretim teknolojilerine sahip panellerin kullanılması durumu da analiz edilmiştir. Son olarak ekonomik analiz

şebekeye bağımlı bir fotovoltaik enerji sistemi için PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı ile yapılmıştır.

1.3. Tezin önemi

Fotovoltaik enerji sistemlerinden üretilen enerji, sistemin verimi ve bu iki bileşenin zaman içerisinde nasıl değiştiği önemli iki maliyet konusudur. Dolayısıyla büyüyen fotovoltaik enerji endüstrisinde; kurulması düşünülen bir sistemin ömrü boyunca enerji üretimi hakkında doğru tahminler verebilmesi büyük öneme sahiptir. Ayrıca; ülkemizde fotovoltaik enerji sistemlerinin sayısının artmasına bağlı olarak verimlerini yükseltmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en popüler olanları ise güneş takip sistemleri ve panel üretim teknolojilerini geliştirmektir. Fotovoltaik enerji sistemleri konusunda yatırım yapacak kişi ya da kurumları doğru yönlendirebilmek için optimum enerji sisteminin tesis edilmesini sağlamak önemlidir. Bu sebeple çalışma; yatırımcıyı doğru yönlendireceği ve böyle bir sistemin tasarlanması durumunda elde edilebilecekler ile kayıpların detaylı bir şekilde incelenmesi konuları göz önüne alındığında büyük öneme sahiptir.

1.4. Literatür taraması

Fotovoltaik sistemler hakkında yapılan araştırmaların ve çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Çalışmaya ışık tutabilmesi için özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar üzerinden gerekli literatür taraması yapılmıştır.

Seçim parametrelerinin araştırmalara uygun olması, veri tabanında birçok marka ve modelde panel, evirici, akü bulunması, işlevsel olması, ekonomik analizin yapılabilmesi, hızlı sonuç vermesi ve simülasyon verilerinin gerçeğe yakın olması sebepleriyle; PVsyst yazılımı ile ilgili literatürde birçok araştırma ve çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle; çalışmada PVsyst ile yapılan çalışmalara ait literatür taraması verilmiştir. PVsyst ilk olarak Cenevre'de, İsveçli bilim insanı Andre Mermaid ve ekibi tarafından geliştirilmiştir (Ju vd., 2017: 306). Çolak çalışmasında; fotovoltaik enerji sistemlerinden elektrik üretimi konusunu, farklı coğrafi bölgelerde incelemiş ve maliyet hesaplarını yapmıştır. Fotovoltaik enerji sistemi kurulum fizibilite çalışmalarında, dikkat edilmesi gereken parametreleri belirtmiş ve mevzuat hakkında bilgi vermiştir. Beş farklı lokasyonda 10 MW güce sahip enerji sistemlerinin kurulması durumunu PVsyst yazılımı ile analiz etmiştir (Çolak, 2010: 16). Barua ve arkadaşları, PVsyst V5.74 kullanarak 2.02 kWp'lik bağımsız bir FV sistemin performansını incelemişler ve beş güneş takip modunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak; 25°'lik sabit eğim açısının mevcut en

düşük FV enerjisine sahip olduğunu, çift eksenli takip sisteminin ise en yüksek enerji üretim değerine sahip olduğunu göstermiştir (Barua, 2017: 78). Baqir ve arkadaşları PVsyst kullanarak Afganistan'ın Daikundi şehrine kurulması planlanan 700 kWp kurulu güç değerine sahip FV enerji sistemlerinin teknik analizi yapmışlardır (Baqir ve Channi, 2022: 1335). Bouzguenda vd. çalışmalarında; PVsyst yazılımı ile Suudi Arabistan King Faisal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında 2 kW kurulu güce sahip çatı tipi fotovoltaik enerji sisteminin kurulması durumunu analiz etmişlerdir. Yaz aylarında aşırı hava sıcaklığından dolayı sistem veriminin %16 kadar düştüğünü gözlemlemişlerdir (Bouzguenda vd., 2014: 957). Jagadale ve arkadaşları PVsyst kullanarak Hindistan'ın Pure şehrinde 250 kW kurulu güç değerine sahip bir FV enerji sistemlerinde, panelleri 20° ve farklı açılarda yerleştirerek iki farklı durumu karşılamışlardır (Jagadale vd., 2021: 1059). Irwan vd. çalışmalarında; PVsyst yazılımı ile şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi sisteminin analizini yapmışlardır. Çalışmalarında stand-alone sistem tasarlamakla birlikte yıllık enerji üretiminin belirlenebilmesi için simülasyon yazılımının kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca; güneş panelleri ile elde edilen enerjinin kullanılabilen miktarını ve kullanılır olmayan çeşitli kayıplarını göstermişlerdir (Irwan vd, 2015: 598). Romaliya çalışmasında; PVsyst yazılımı ile Gucerat'ın Shapur kasabasına 1 MW'lık güce sahip bir FV sisteminin kurulması durumunu analiz etmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek değere sahip güneş ışınımı değerinin ve panel eğim açısının bölge enlem açısı değerine eşit olduğu anda ulaştığını tespit etmiştir (Romaliya, 2015: 373). Haydaroglu çalışmasında; PVsyst V6.39 ile Dicle Üniversitesinde, analiz yapmak, üretim sağlamak ve eğitim amacıyla kurulmuş olan 250 kWp'lik güneş enerji sistemlerinin simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Ayrıca; IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performans durumunu analiz etmişlerdir (Haydaroglu ve Gümüş, 2016: 102). Limem ve Sezen çalışmalarında; güneş enerji sektöründe yaygın olarak kullanılan PVsyst, PVGIS, PV*SOL ve RETScreen yazılımlarının; Kocaeli iklim koşullarında ki etkinlik değerlendirmesini yapmışlardır. Kocaeli Teknoloji Fakültesi binasında ki 5.1 kW çatı tipi fotovoltaik sistemin simülasyonu gerçeğe uygun olarak bu yazılımlarda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hangi yazılımın gerçek üretim verilerini tahmin etmede daha başarılı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Karşılaştırma neticesinde; PV*SOL ve PVsyst yazılımlarının gerçek değerlere en yakın tahminleri yaptığını göstermişlerdir (Limem ve Sezen, 2021: 818). Kıyançiçek çalışmasında; Selçuk Üniversitesi kampüsünün enerji ihtiyacının fotovoltaik sistemlerle karşılanması durumunun analizini PVsyst simülasyon yazılımı ile yapmıştır. Sabit eksen ve çift eksen güneş takip sistemleri ile tasarlanan modellerin üretim verileri belirlenip bu iki durumun kıyaslanması yapılmıştır. Üniversite

yerleşkesinde seçilen konumda, iki farklı sistem verileri sisteme yüklenmiştir. Çalışma neticesinde; çift eksenli sistemin %16,7 daha fazla enerji üretebileceği sonucuna varılmıştır (Kıyanççek, 2013: 26). Gülten ve Ekici yaptıkları çalışmalarında; Elazığ ilinde bulunan bir çatı tipi fotovoltaik enerji sisteminin kurulmasının istenilmesi durumunun tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Analiz yapılırken bölgeye ait aylık ortalama güneş ışınımı değerlerini hesaplamak için MATLAB yazılımı, sistemden üretilen elektrik enerjisini belirlemek için PVsyst yazılımını kullanmışlardır (Ekici ve Gülten, 2015: 28). Kumar vd. çalışmalarında; Hindistan'ın Pure şehrinde 250 kW kurulu güç değerine sahip bir fotovoltaik enerji sistemlerinin teknik analizini PVsyst 7.2 yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışma iki aşama da tasarlanmıştır. Birinci aşamada enerji sistemlerindeki paneller sabit açıda (20°), ikinci aşamada ise panellerin açıları her ay değiştirilecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu iki durumun üretim değerleri elde edilip karşılaştırılması yapılmış ve hangi durumun daha verimli olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; ikinci sistemin birinci sistemden %4.71 daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır (Kumar vd, 2020: 2485). Dey ve Subudhi çalışmalarında; Afganistan'ın enerji ihtiyacının bir kısmını, fotovoltaik enerji sistemleriyle sağlanması durumunun analizini yapmışlardır. Afganistan'ın Daikundi şehrine kurulması planlanan 700 kWp kurulu güç değerine sahip fotovoltaik enerji sistemlerinin teknik analizi PVsyst simülasyon yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Analiz sonucunda böyle bir enerji sisteminden yıllık 1266 MWh enerji üretebileceği belirlenmiştir. Sistemin performans oranının 0.797 olduğunu saptamışlardır (Dey ve Subudhi, 2020: 1779). Duhis vd. çalışmalarında; güneş enerji sistemlerinin performansı üzerine albedo etkisini göstermişlerdir. Çalışma çatı tipi panellerin albedo değerleri değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. İlk olarak albedo değeri 0.25 olan bir yüzey beyaz renge boyanarak albedo değeri 0.70' e çıkartılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; albedo değerinin artması ile panellerin üretebileceği enerji değerinin de arttığını göstermişlerdir (Duhis vd., 2023: 1150).

PVsyst yazılımı ile ayrıca ekonomik değerlendirmede yapılabilmektedir. Fotovoltaik enerji sistemleri ile ilgili yapılan ekonomik değerlendirmeler literatür araştırmasında verilmiştir. Smiles vd. çalışmalarında; Birleşik Krallık'ta yer alan Bath Abbey binasının enerji ihtiyacının çatı tipi fotovoltaik sistemlerle karşılanması durumunun ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Tasarımda kullanılan panel ve eviricilere ait teknik veriler, bölgeye ait meteorolojik durum ve binaya yakın yapıların neden olduğu gölgeleme durumunun analizi, PVsyst simülasyon yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Simülasyon sonucunda sistem tarafından; ilk yıl 45 MWh elektrik üretebileceği belirlenmiştir. Ekonomik analiz sonucunda enerji

sisteminin geri ödeme süresinin 13.3 yıl olacağı görülmüştür. Ayrıca enerji sisteminin ömrünün 25 yıl olarak belirlenmesi durumunda yaklaşık 139.000 € kazanç elde edilebileceği ortaya konulmuştur (Smiles vd., 2022: 893). Karuniawan vd. çalışmalarında; üniversitelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmasının ülkenin ekonomik olarak olumlu yönde etkileneceğini göstermektedir. Bu sebeple; 14 tane üniversitenin enerji ihtiyaçlarını fotovoltaik enerji sistemleri ile karşıladıklarında toplamda yıllık % 27.8 oranında enerji giderleri için ödenen ücrette tasarruf sağlanabileceğini göstermişlerdir. (Karuniawan vd., 2023: 77). Mohammed vd. çalışmalarında; Solargis PV Planner ve PVSyst yazılımları ile Suudi Arabistan da yer alan 10 kW kurulu güç değerindeki fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. En verimli panelin belirlenmesi için tasarımlarında; CdTe, a-Si, c-Si, CSI teknolojilerinde panelleri kullanmışlardır. Simülasyon sonucunda a-Si tip panel teknolojisinin 0.84 performans oranı ile daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca; PVSyst simülasyon yazılımı ile ekonomik analiz, iki farklı tariflendirmeye sahip Tabuk ve Abha şehirleri referans alınarak yapılmıştır. Sistemlerin geri ödeme süresi Tabuk şehri için 7.6 yıl ve Abha şehri için ise 12.8 yıl olarak belirlenmiştir (Mohammed vd., 2022: 1020). Bilhan ve Emikönel çalışmalarında Nevşehir'e bağlı Derinkuyu ilçesinde kurulacak bir 1 MW güce sahip enerji sisteminin ekonomik analiz durumunu değerlendirmişlerdir. Buna ek olarak çalışmalarında; güneş enerjisi sisteminin maliyeti üzerine etki eden durumları belirleyerek; teşviklere, yatırım araçlarına, güncel mevzuat ve yönetmeliklere, ülkemizdeki ve dünyadaki güneş enerjisi sistemleriyle ilgili destek araçlarına yer vermişlerdir. Sektörde; günümüz itibariyle yaşanan sorunlar için çözüm önerileri geliştirmişlerdir (Bilhan ve Emikönel, 2021: 290). Sadıkoğlu çalışmasında Türkiye için şu an ki lisanslı ve lisansız Güneş Enerjisi sistem kurulum süreçlerine yer vermiştir. Ayrıca; 1 MW gücünde ki Güneş Enerjisi tesisi için tozlanmanın sistemin performansında ki etkilerini göstererek; ekonomik değerlendirmeleri gerçekleştirmiştir. Güneş Enerjisi projeleri için yararlanılan simülasyon yazılımlarının hata paylarını ve doğruluklarını değerlendirmiştir. Böylece; projeler için öngörülmesi gereken yanılma yüzdesini belirlemiştir (Sadıkoğlu, 2018: 54). Tripathi vd. çalışmalarında; Hindistan da şebeke elektriğinin ulaşmadığı kırsal bölgeler için bir konutun ihtiyacını karşılayabilecek şekilde 1kW güce sahip bir sistemin performans ve ekonomik analizlerini PVSyst yazılımı aracılığıyla hesaplamışlardır. Tasarlanan sistemin 3101.2 kWh/yıl enerji üretebileceği ancak 2933.4 kWh/yıl elektriğin kullanıcıya verilebileceğini göstermişlerdir (Tripathi vd., 2014: 98). Sevim; Türkiye için fotovoltaik teknolojinin değerlendirilmesini bir uygulama örneği üzerinden çalışmasında anlatmıştır. Uygulama olarak; İzmir Tire'de bulunan 500 kW kurulu

güç değerindeki bir fotovoltaik enerji sisteminin durumunu ele almıştır. Sonuç olarak; güneş enerjisi ile elektrik üretimi amacı ile tesis kurmayı isteyen kurum ve kişilerin yatırımlarını yaparken yararlanabileceği bir fizibilite çalışmasını önemini vurgulamıştır (Sevim, 2017: 95).

Fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulum çalışmaları yapılırken değerlendirilmesi gereken önemli hususlardan bir tanesi de güneş takip sistemleridir. Güneş takip sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar verilmiştir. Bahgat ve arkadaşları çalışmalarında; fotovoltaik enerjiyi mikroişlemciler ile kontrol edilen farklı güneş takip sistemlerinde gözlemişlerdir. Sonuç olarak; en fazla enerji üretiminin çift eksenli izleyicide olduğunu ve üretim değerinin dikey eksenliden sabit eksenliye doğru azaldığını belirlemişlerdir (Bahgat vd., 2004: 445). Alahmad vd. çalışmalarında; Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi' nin enerji ihtiyacını fotovoltaik sistemler ile karlılanması durumunu analiz etmişlerdir. Çalışma; PV*Sol yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Üniversitenin enerji ihtiyacının tamamı fotovoltaik enerji sistemleri ile karşılanabilmesi için gerekli olan panel sayısı hesaplanmıştır. Böylece fakültenin enerji ihtiyacı paneller ile karşılanmasının üniversitenin bütçesine olumlu yönde katkıda bulunacağını göstermişlerdir (Alahmad vd., 2023: 245). Idoko ve arkadaşları çalışmalarında; optimum enerji verimi için otomatik bir güneş takip sisteminin tasarımını gerçekleştirmişlerdir (Idoko vd., 2020: 1925). Ozbay çalışmasında; panellerin eğim açısının bölgeden bölgeye değişmesi durumunu ve ay, mevsim ve yıl bazında değiştiğini de ayrıntılı olarak analiz etmiştir. Bu amaçla; çalışma ile birlikte 10°, 20°, 30°, 40°, 50° ve 60°'lık açılarla yerleştirilen paneller ile birlikte Bilecik ilinde güneş enerjisinden elde edilecek maksimum gücü ortaya koymuşlardır (Ozbay vd., 2017: 312). Nann S. çalışmasında; güneş takip sistemleri ve 40° sabit açılı bir sistemin maliyet ve teknik analizini yapmıştır. Ulaştığı sonuca göre, çift ve tek eksenli güneş takip sistemlerinin ışıma oranlarının sabit sisteme göre sırasıyla %38 ve %34 daha fazla olduğunu göstermiştir. Yaptığı teknik ve ekonomik değerlendirme sonucunda; çift eksenli takip sistemi ile tek eksen takip sisteminin üretim değerlerinin oldukça yakın olmasına rağmen tek eksenli sistem kurulum maliyetinin çift eksenli sisteme göre 2 kat daha ucuz olduğunu belirtmiştir (Nann, 1990: 386). Özdemir ve Özmen çalışmalarında; Düzce Üniversitesinde güneş enerjisinden yararlanabilmek için başlatılan bir çalışmayı anlatmışlardır. Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT)' in çatısına toplam 7.5 kW kurulu güce sahip ve her biri 2.5 kW gücünde olan ve Ekim 2013' te kurulan fotovoltaik panellerin verim, performans, ışınlam ve günlük toplam üretilen enerji değerlerinin analizini yapmışlardır. Yapılan analizlerde m-Si fotovoltaik panelin %12.8 verim ve %87.6 performans

ile en yüksek panel türü olduğunu göstermişlerdir (Özdemir ve Özmen, 2023: 381). Yılmaz çalışmasında; mikrodenetleyici ile kontrol edilen iki eksenli güneş takip sistemine yer vermiştir. Mikrodenetleyiciye konumlu iki sınır anahtarı ile fotovoltaik panelin batı ve doğu yönlerindeki en yüksek açılarını tanımlayarak, hareketlerini kısıtlı hale getirmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda; panel ekseninin güneşin normalinde olduğu esnada en yüksek enerji üretileceğini belirlemiştir (Yılmaz, 2017: 57). Oral çalışmasında; çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımını ekvatorial ve kutupsal olmak üzere iki farklı yöntem olarak gerçekleştirmiştir. Bu sayede üretilebilecek enerjiyi en yüksek değere getirmeyi hedeflemiştir (Oral ve Uçan, 2014: 3). Gökce çalışmasında; Çukurova bölgesi için sabit, tek eksen ve çift eksen güneş takip sistemi olarak 400 W kurulu güç değerine sahip sistemleri üretim verilerini aynı ortam koşullarında karşılaştırmıştır. Karşılaştırma neticesinde güneş takip sisteminin önemini ve daha fazla elektrik üretebileceğini belirlemiştir (Gökce, 2020: 7). Sözen ve arkadaşları çalışmalarında; farklı bir modelleme ile çift eksenli ve üç adımlı güneş izleme sistemini geliştirmişlerdir. Güneş açısına göre gün içerisinde bu üç konumu kullanarak sistemi çalıştırmışlardır. Sonuç olarak tasarlanan modelden sabit eksenli sisteme göre %72 daha yüksek verim alındığını belirtmişlerdir (Sözen vd., 2005: 368).

PVsyst simülasyon yazılımının da şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız sistem tasarımlarının yapılabilmesine ek olarak; güneş enerjili sulama sistemlerinin de teknik ve ekonomik analizleride yapılabilir. Kuzucu çalışmasında; Edirne de tarımsal sulama için şebeke elektriği yerine fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanımı durumunun maliyet ve geri ödeme süresini değerlendirmiştir. Fotovoltaik sistem için gereken toplam; güneş panellerinin, eviricilerin, şarj regülatörünün, akü kapasitesinin gücü ve elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarını hesaplamıştır. Ayrıca; kurulacak sistemin kullanım ömrünün 25 yıl olarak belirlemiştir. Sistemin geri ödeme süresini 7 yıl olarak kabul ettiğinde, devlet destek bedeli kullanılarak güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile tarımsal sulama yapmanın uygun olacağı sonucunu ortaya koymuştur (Kuzucu, 2021: 26). Kınalı çalışmasında; Mevlâna Kalkınma Ajansınca desteklenen, Karaman ve Konya illerindeki Güneş Enerjisi Sulama Tesislerinin tasarım modelleri ve üretim değerlerini PVsyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon yazılımları ile değerlendirerek hata oranlarını vermiştir. Hata payının; ortalama %4 olduğunu ve yazılım sonuçlarının gerçek verilere yakın olması sebebiyle güvenilir olduklarını belirtmiştir (Kınalı ve Kulaksız, 2019: 58). Beyarlan çalışmasında; ulusal şebekeden beslenen bir köyün elektrik maliyetini ve karbon ayak izini azaltmak için HOMER yazılımını kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarında oluşan hibrit sistemleri

modellemiştir. Köyün günlük talep ihtiyacı, tepe yük, güneş ışınlamı ve rüzgâr hızı verilerini belirlemiştir. Fotovoltaik paneller (PV), rüzgâr türbinleri, küçük hidroelektrik enerji sistemler, yakıt hücreleri ve hidrojen depolamanın herhangi bir kombinasyonundan oluşan en uygun sistemin tasarlanabileceğini değerlendirmiştir. Ayrıca sistemin daha ekonomik olabilmesi için depolama sistemini tasarıma almamıştır. Böylece; bireysel ve çalışma ortamlarının kombinasyonlarının oluşturulması ile ekonomik ve çevre dostu çözümlerin üretilebileceğini göstermiştir (Beyarslan, 2012: 37). Biberici çalışmasında; güneş enerjili sulama sistemlerinin verimi nasıl arttırdığı ve ülke ekonomisi üzerine olan etkilerini değerlendirmiştir. Tarımsal sulama için fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanılması durumunda toplam ihtiyacın % 85' inin temiz kaynaklar ile karşılanabileceği ve bu ülkenin % 30' luk tarımsal faaliyetlerinde fotovoltaik enerji sistemleri kullanıldığında ülke ekonomisine büyük bir katkıda bulunulabileceğini vurgulamışlardır (Biberici, 2023: 156).

2.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ

Güneş; sonsuz bir enerji kaynağı olarak dünyamızla birlikte sisteminde bulunan bütün gezegenlere enerji vermektedir. Yaşam kaynaklarımızın en önemlilerinden olan güneş, dünya da mevcut bulunan enerji kaynaklarının da varlığında önemli bir rol oynamaktadır (Sevim, 2017: 95). Bitkiler için gerekli olan fotosentezin yapılabilmesini sağlayacak ve doğada görülen enerji kaynaklarının da temelini oluşturmaktadır. Örneğin; güneş ışınımının sıcaklık farkından dolayı rüzgâr, güneş ışınımının kimyasal özelliklerinden dolayı ise fosil kaynaklar oluşmaktadır. Atmosfer dışında güneş ışınım değeri ortalama olarak 1370 W/m^2 değerindedir. Ancak; yeryüzünde bu değer, $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişiklik göstermektedir (Akkaş ve Çam, 2020: 451).

Güneşte, hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon tepkimeleri sürekli meydana gelmektedir. Bu tepkimelerin sonucunda ortaya çıkan kayıp kütle ise ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Geçmişten günümüze durmaksızın devam eden bu reaksiyonlar aracılığıyla, güneş; bol ve temiz bir enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara alternatif oluşturmaktadır. Böylece; milyarlarca yıl daha dünyamızı ısıtarak enerji sağlamaya devam edecektir (Eke ve Şentürk, 2012: 2667).

Yeryüzünde üretilen enerjinin büyük kısmını, fotovoltaik enerji oluşturmakta, insanlarda; hayvanlar ve bitkiler gibi, ısınma ve beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için bu kaynaktan faydalanmaktadırlar. Ayrıca; diğer canlılardan farklı şekillerde insanlar güneş enerjisini kullanmaktadırlar (Çelebi, 2013: 269). Güneş enerjisi yakıtı çevrilerek ısı, ulaşım ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır.

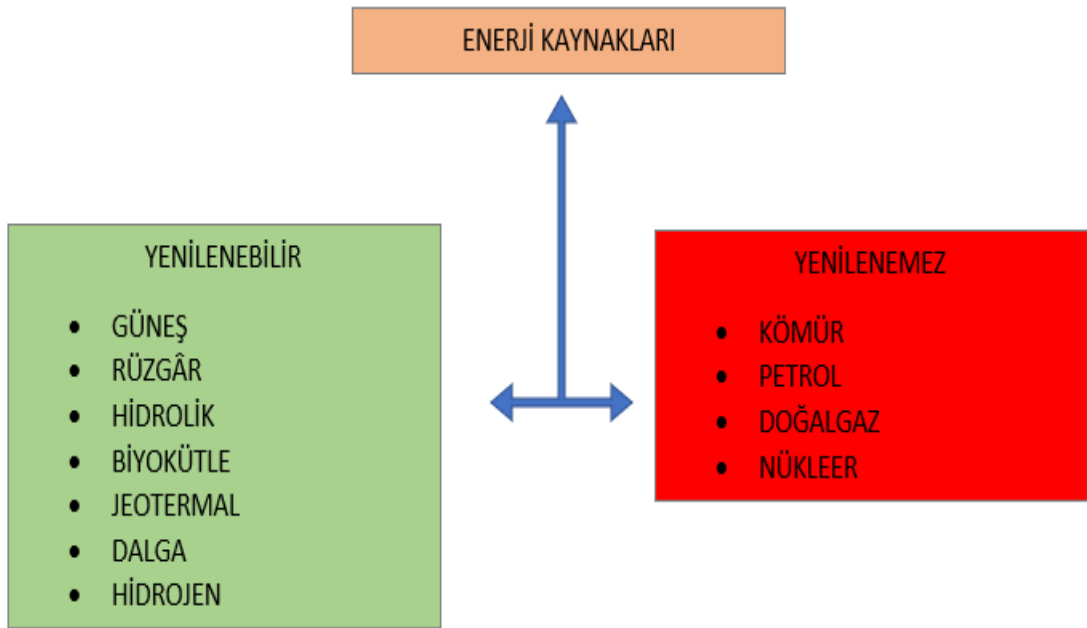
Fotovoltaik enerji; enerji kaynaklarının önem sıralamasında ilk sıralarda yer almaktadır. Güneş; ışınım enerjisi ile yerde ve atmosferde ki fiziksel oluşumları etkilemektedir. Dünyada oluşan madde ve enerji akışları fotovoltaik enerji sayesinde gerçekleşmektedir. Rüzgâr, dalga, okyanuslarda oluşan sıcaklık farkları, biokütle enerjileri vb. güneş enerjisinin değişim geçirmiş halleridir (Barua, 2017: 78).

Son yıllarda özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından, yenilenebilir enerji kaynakları hakkında önemli çalışmalar yapılmaktadır. Çevre temizliğine ve kaynakların etkin bir şekilde kullanıma çok fazla önem veren Avrupa Birliği ülkeleri, bu grupta önlerde yer almaktadır (Bayrakçı ve Gezer, 2019: 48). Özellikle; geleneksel enerji kaynakları için gerekli olan ham madde konusunda sıkıntı yaşayan ülkeler; sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynağı potansiyelleri doğrultusunda araştırmalar, yatırımlar ve teşvik programları

yapmaktadırlar. Bu durum ülkemiz için düşünüldüğünde şüphesiz ki en verimli kaynak fotovoltaik enerjidir (Dey ve Subudhi, 2020: 1781).

2.1. Türkiye'nin fotovoltaik enerjisi potansiyeli

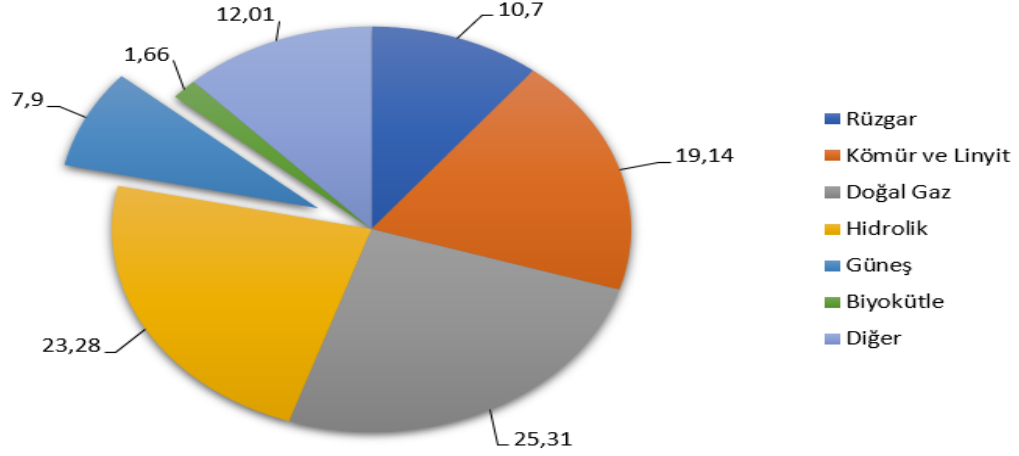
Hayatımızın her anında ihtiyaç duyduğumuz enerji söz konusu olduğunda birçok farklı yaklaşım benimsenmektedir. Çoğunlukla kullanılan ve toplum tarafından da kabul edilen, enerji kaynakları temelde yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır (Eldin vd., 2016: 230). Enerji kaynaklarının genel olarak sınıflandırılması şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Enerji kaynakları

Ülkemizde fotovoltaik enerji sistemleri genel olarak ısıtma ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye de fotovoltaik enerji sistemleri ile elektrik üretimi, yapılan araştırmalar ve yatırımlarla birlikte her geçen gün artmaktadır (Özçelik vd., 2020: 4).

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından aylık olarak yayımlanan Santral Kurulu Güç Raporlarına göre; ülkemizin 2022 yılı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü 99734 MW olduğu görülmektedir. Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücünün 2022 yıl sonu kaynaklara göre dağılımı şekil 2.2'de sunulmuştur. Fotovoltaik sistemler ile üretilen güç, toplam kurulu güce %7.9 oranında katkı sağlamaktadır (TEİAŞ, 2023).



Şekil 2.2. Elektrik enerjisi kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı

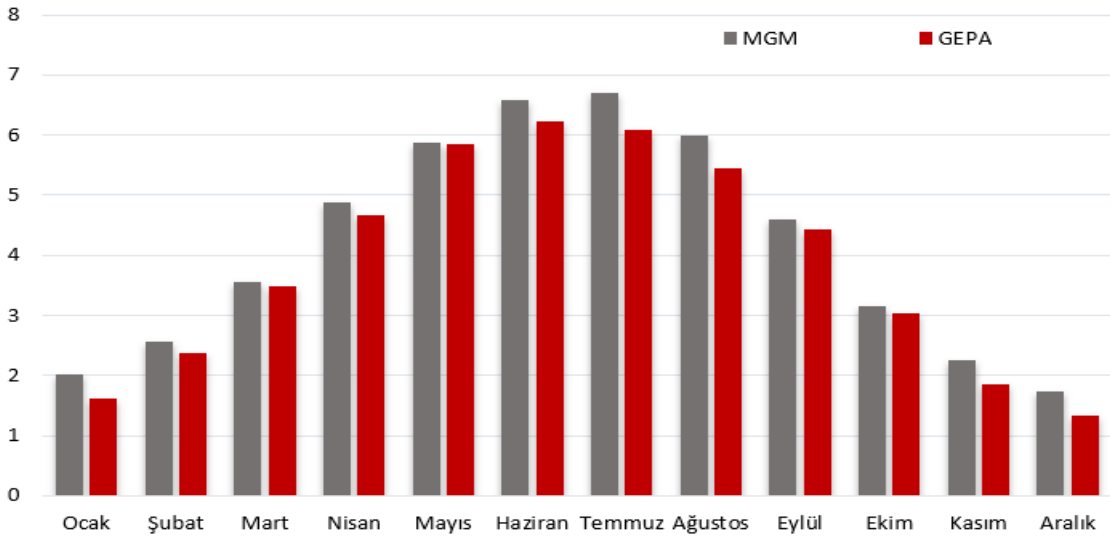
Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ülkemize büyük avantaj sağlayan coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyelinde birçok ülkenin önünde yer almaktadır (Umar vd., 2018: 12). Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİE) çalışması sonucunda ülkemizin yıllık ortalama güneşlenme süresi toplam da 2640 saat (7.2 saat günlük olarak), ve ortalama ışınım şiddeti miktarı ise 1311 kWh/m²-yıl (3.6 kWh/m² günlük olarak) olarak ortaya konulmuştur (Varınca ve Gönüllü, 2006: 271). Tablo 2.1.'de Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre durumu sunulmuştur.

Tablo 2.1. Türkiye coğrafi bölgelerine göre fotovoltaik enerji potansiyeli

Coğrafi Bölge	Toplam Güneş Enerjisi Miktarı (kWh/m ² -yıl)	Toplam Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	1460	2993
Akdeniz Bölgesi	1390	2956
Doğu Anadolu Bölgesi	1365	2664
İç Anadolu Bölgesi	1314	2628
Ege Bölgesi	1304	2738
Marmara Bölgesi	1168	2409
Karadeniz Bölgesi	1120	1971

Türkiye'de lisanssız güneş enerji sistemleri de dâhil olmak üzere 2022 yılı itibariyle toplam 8482 adet fotovoltaik enerji sistemleri bulunmaktadır. Bu enerji sistemlerini toplam kurulu gücü 7881.1 MW değerindedir (TEİAŞ, 2023).

Bilecik; ortalama olarak yıllık yaklaşık 2.425 saat güneşlenme süresine sahiptir. Bilecik, Türkiye’de bu avantajı ile fotovoltaik enerji sistemleri için yüksek potansiyele sahip iller arasında yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM); Aylık Ortalama Işınım değerleri (MGM, 2023) ve Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün (EİGM) Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) üzerinden Bilecik İline ait küresel ışınım değerlerini gösterir grafik şekil 2.3.’te gösterilmiştir (GEPA, 2023).



Şekil 2.3. Aylık ışınım değerleri

2.2.Fotovoltaik paneller

2.2.1.Fotovoltaik panel yapısı ve çalışma prensibi

Fotovoltaik panellerin temel yapısı; yarı iletken malzemeden oluşmuş ve ters kutuplara sahip iki katmanın bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Zıt kutuplara sahip katmanları üretmek için silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenit gibi yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Bu yarı iletken malzemeler; bor, alüminyum, fosfor, indiyum vb. maddelerle katkılanarak p veya n tipi yarı iletken malzemelere dönüştürülürler (Sharma, 2014: 727).

Fotovoltaik panellerin çalışma prensibi, fotovoltaik ilke ile izah edilmektedir. Fotovoltaik panel üzerine düşen foton, yarı iletken malzeme tarafından soğurularak güneş enerjisinin sahip olduğu enerji, panele aktarılır. Fotovoltaik panel üzerine düşen foton; yapısında daha çok elektron bulunduran p tipi yarı iletken malzemeden elektron koparır, bu elektron içeriğinde daha az sayıda elektron bulunan n tipi yarı iletken malzemeye doğru geçer. Böylece; elektronların yapmış olduğu p-n eklemi arasındaki hareketin tersi yönünde bir akım oluşur (Irwan vd., 2015: 598).

2.2.2.Fotovoltaik panel çeşitleri

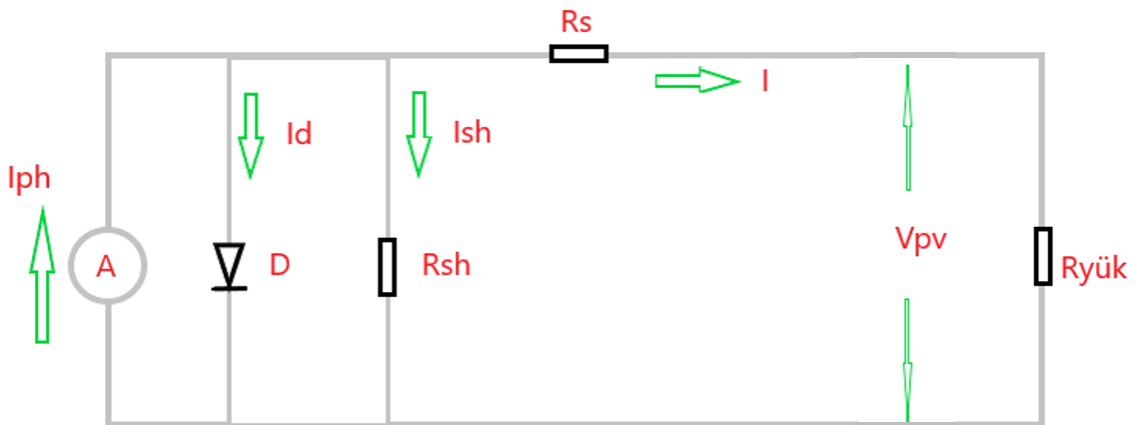
Fotovoltaik paneller, üretim yöntemlerine ve oluşturuldukları ham maddeye göre sınıflandırılmaktadır. Piyasada ve fotovoltaik enerji sistemlerinde en çok bulunan ve kullanılan panel çeşitleri; monokristal, polikristal ve ince film panellerdir (Mandelli vd., 2016: 477).

Silisyum doğada en çok bulunan yarı iletken maddelerden biri olmakla birlikte fotovoltaik panel üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu paneller; kristal silisyum güneş panelleri olarak isimlendirilmektedirler (Ghafoor ve Munir, 2015: 497). Silisyum, doğada saf halde bulunmamaktadır. Bu sebeple; kristal silisyum güneş panellerinin üretim maliyetleri yüksektir. Bu paneller, üretim yöntemlerine göre polikristalin ve monokristalin olarak isimlendirilmektedir. Polikristalin güneş panellerinin üretim maliyetleri monokristalin güneş panelleri ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bu yüzden polikristalin güneş panelleri daha fazla tercih edilmektedirler (Tripathi vd., 2014: 98).

Fotovoltaik panel çeşitlerinden bir diğeri, fotovoltaik enerji piyasasında en az tercih edilen ince film fotovoltaik panellerdir. Bu tip paneller; güneşten gelen ışınları yüksek miktarda soğurabilmelerine rağmen verimleri çok azdır. Bu panel tipleri, 1 mikron kalınlıkla üretilibilmelerine rağmen; maliyetleri ve verimleri düşüktür. İstenilen miktarda ki enerji üretimini sağlamak için daha fazla alana ihtiyaç duyulmaktadır (Tripathi vd., 2014: 98).

2.2.3.Fotovoltaik panel elektriksel modeli

Panellerin karakteristik yapılarını incelemek için fotovoltaik panele ait eşdeğer devre modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde elemanlar gerçeğe yakın bir şekilde tasarlanmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan fotovoltaik panel eşdeğer devresi şekil 2.4.'te sunulmuştur (Irwan vd, 2015: 598).



Şekil 2.4. Eşdeğer devre modeli

Foton enerjisi ile üretilen akım; I_{ph} , diyot akımı; I_d , sızıntı akımı; I_{sh} , paralel bağlı direnç; R_{sh} , seri bağlı direnç; R_s , yük direnci; $R_{yük}$ ve fotovoltaik panel gerilimi; V_{pv} ile gösterilmektedir (Başay vd., 2019: 183).

Eşdeğer devre modeline Kirchhoff akımlar kanunu uygulandığında;

$$I_{ph} - I_d - I_{sh} = 0 \quad (2.1)$$

Diyot akımı I_d , elektronlar ve boşluklar tarafından oluşturulan akımların toplamıdır.

$$I_d = I_e + I_h \quad (2.2)$$

$$I_e = I_{eo} \cdot (e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1) \quad (2.3)$$

$$I_{ph} = I_{ho} \cdot (e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1) \quad (2.4)$$

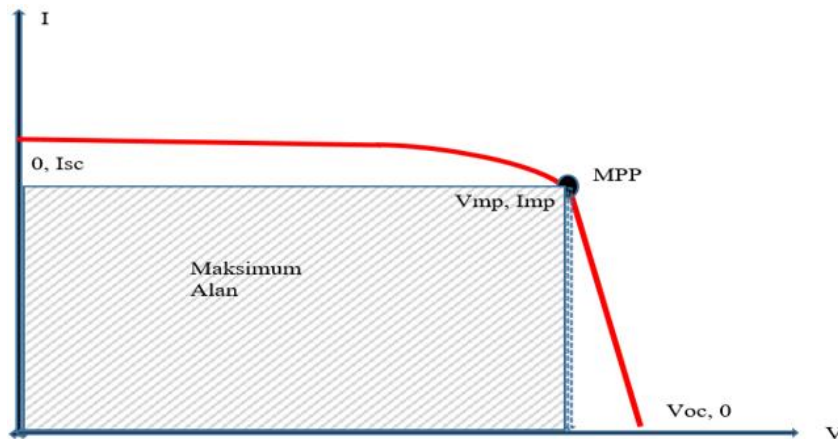
Denklem (2.3) ve denklem (2.4), denklem (2.2)'de yerine (Başay vd., 2019: 183);

$$I_d = I_0 \cdot (e^{\frac{qV_d}{kAT}} - 1) \quad (2.5)$$

Elektron yükü; q (1.602×10^{-19} C), diyot gerilimi; V_d , idealite faktörü; A , Boltzman sabiti; k (1.381×10^{-23} J/K) ve sıcaklık; T Kelvin cinsinden gösterilmektedir. $R_{sh} \gg R_s$ alınırsa;

$$I = I_{sh} - I_0 \cdot (e^{\frac{V_{pv}q}{kAT}} - 1) \text{ elde edilir (Başay vd., 2019: 183).} \quad (2.6)$$

Fotovoltaik sistemlerin çıkışında nonlineer bir akım-gerilim (I-V) karakteristiğine sahiptir. Şekil 2.5.'te fotovoltaik panelin herhangi bir sıcaklık ve ışınım değeri şartlarındaki karakteristik eğrisi verilmiştir. I-V eğrisinin altındaki maksimum dikdörtgen alan; fotovoltaik panel tarafından üretilen maksimum gücü vermektedir (Barua, 2017: 79).



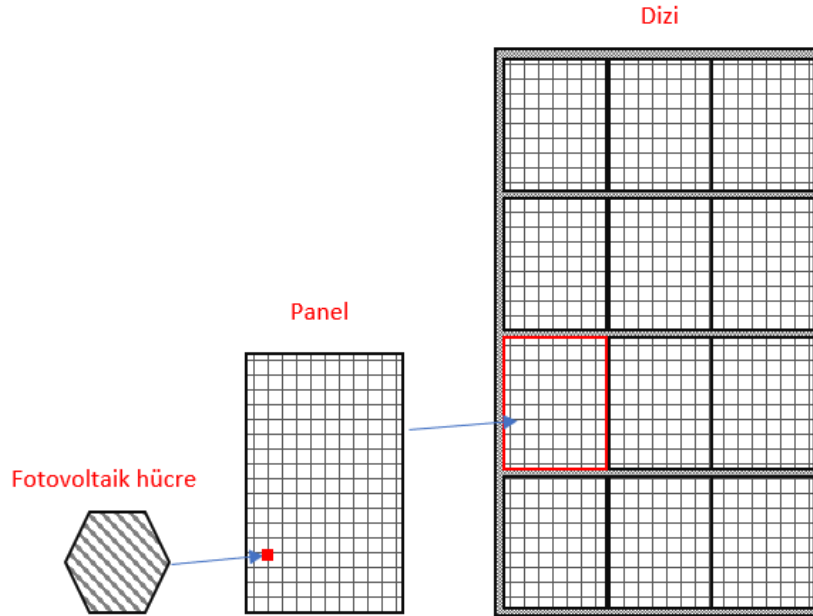
Şekil 2.5. I-V karakteristik eğrisi

2.3.Fotovoltaik sistem elemanları

Fotovoltaik enerji sistemleri oluşturulurken; kullanım amaçları doğrultusunda farklı tasarımlar yapılmaktadır. Ancak; bütün fotovoltaik enerji sistemlerinin içeriği büyük oranda birbirlerine benzemektedir. Genel olarak fotovoltaik sistemleri; FV paneller, akü, evirici, şarj kontrol cihazı ve üretilen enerjiyi kullanan tüketiciler gibi bileşenler oluşturmaktadır (Amrollahi ve Bathaee, 2017: 68).

2.3.1.Panel

İçerisinde bulunan fotovoltaik hücreler vasıtasıyla güneşten gelen ışıınımdan, doğru akım (DA) üreten sistem elemanlarıdır. FV hücreler tek başlarına kullanıldıklarında, istenilen miktarda ki enerji üretemezler. Bu yüzden hücreler birbirleriyle seri ya da paralel bağlanarak fotovoltaik panel olarak adlandırılan yapıları oluşturmaktadırlar. Fotovoltaik paneller; enerji üretim sistemlerinde bir araya getirilerek fotovoltaik panel dizilerini oluşturmaktadır. Hücre, panel ve dizi entegrasyonu şekil 2.6.'da gösterilmiştir. Panellerin; oluşturuldukları hücre çeşidine göre verimleri ve maliyetleri değişmektedir. En yüksek verime sahip FV panel; son yapılan çalışmalarla birlikte laboratuvar ortamında %43.5 verim ile üretilmiştir (Smiles vd., 2022: 893). Monokristal, polikristal ve ince film fotovoltaik panel gibi yapımında kullanılan panel çeşidine göre sınıflandırılmaktadır (Amrollahi ve Bathaee, 2017: 68).



Şekil 2.6. Hücre, panel ve dizi

2.3.2.Akü

Özellikle; şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri için gerekli olan aküler; elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirip, ihtiyaç olduğunda bu kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistem elemanlarıdır. Özellikle şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemlerinde akü gurubuna ihtiyaç duyulmaktadır. Fotovoltaik paneller aracılığıyla elde edilen enerji, güneş ışınımı olmadığı zamanlarda kullanılmak üzere aküde depolanmaktadır (Kumar vd, 2020: 2485).

Fotovoltaik sistemlerde, fiyat/performans oranı yüksek olan kurşunlu aküler sıklıkla tercih edilmektedir. Kurşunlu aküler; düşük ve yüksek şarj akım değerlerini kaldırabilmektedir. Bu aküler, sıvı dolum durumlarına göre açık ve kapalı tip olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açık tip akülerde meydana gelen tepkimelerden kaynaklı, zamanla içinde bulunan saf su oranı azalmakta bu yüzden de su seviyeleri periyodik olarak kontrol edilmelidir. Bu tip akülerin uygun kullanma şartlarına dikkat edildiği takdirde uzun bir süre kullanılabilir. Açık tip akülerden farklı olarak kapalı tip akülerde; sıvı dolumu yapılacak ağız kısımları bulunmamaktadır (Yılmaz, 2017: 57).

Fotovoltaik enerji sistemlerinde kullanılan akü gruplarının seçim aşamasında, dikkate alınması gereken etkenler bulunmaktadır. Bu sebeple; yüksek maliyet/performans oranına sahip, az bakım gerektiren, uzun ömürlü, yüksek verimli, düşük şarj da bile enerji depolayabilen, darbelere karşı dirençli, insan sağlığına ve çevreye karşı güvenilir olan aküler seçilmelidir (Bosman vd., 2020: 1398).

2.3.3.Evirici

Eviriciler; fotovoltaik panellerin çıkışında üretilen doğru akımı, alternatif akıma (AA) çeviren sistem elemanlarıdır. Fotovoltaik enerji sistemlerinde kullanılan en önemli bileşendir. Sistemde eviriciler; sahip oldukları yazılımlar aracılığıyla maksimum güç ayarı yapmaktadırlar. Ayrıca; sistemin ürettiği enerjiye ait veriler, eviriciler yardımıyla biriktirilmektedir. Bu bilgiler; gerektiğinde eviricilere uzaktan erişim sağlanarak elde edilebilmektedir. Tüm bunlara ek olarak FV dizilerde oluşacak hatalara karşı koruyucu özellikleri bulunmaktadır (Gelen & Ayık, 2019: 197).

İnverterlerin uygun bir şekilde çalışabilmeleri için panel dizileri arasındaki uyumsuzluğun olabildiğince minimize edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla; fotovoltaik dizilerin kurulum açıları, gölgeleme etkisi, sıcaklık ve tozlanma faktörleri hesaba katılarak tasarlanmalıdır (Amrollahi ve Bathae, 2017: 68).

Dizi eviricilerde diyot olmadığı için diyot kaynaklı kayıplar söz konusu değildir. Dizi eviriciler de AA enerji taşıyan kablolar uzun DA enerji taşıyan kablolar ise kısadır. Böylece DA kablo kayıpları azalmaktadır (Gelen & Ayık, 2019: 197). Teknolojik gelişmelerin paralellğinde evirici verimleri artarak %98 civarlarına gelmiştir. Piyasada enerji sistemlerinde kullanılma durumuna bağlı olarak çeşitli türlerde eviriciler mevcuttur. Dizi eviricileri piyasada yaklaşık %42 oranında kullanılmaktadır. Bu eviriciler genel olarak konut projelerinde ve küçük-orta ölçekli ticari projelerde yer almaktadır. Merkezi eviriciler piyasada %54 civarında kullanım oranına sahiptir. Genel olarak hacimli projelerde tercih edilmektedir. Mikro ve diğer eviriciler ise piyasanın geri kalanında yer almaktadır (Amrollahi ve Bathae, 2017: 68).

2.3.4.Şarj kontrol cihazları

Fotovoltaik enerji sistemlerinden elde edilen DA enerjiyi düzenleyen ve akü grubunun şarj olabilmesi için elektriği sabitleyen sistem elemanları şarj kontrol cihazlarıdır. DA şarj akımının ve voltajın düzenlenip istikrarlı halde getirilmesi; akülerin enerji depolayabilmeleri için önemlidir. Şarj kontrol cihazları; enerji sistemlerinde üretilen gerilimin ve akımın sabit olmaması sebebiyle kullanılmaktadır. Aküden panellere doğru ters akımın oluşmasını engelledikleri için şarj kontrol cihazları sistem için önemlidir. Akü tam olarak dolduğunda, şarj kontrol cihazları fotovoltaik panelden gelen elektriği keserek, aküyü aşırı yükten korur. Genel olarak piyasa da MPPT (Maximum Power Point Tracking) ve PWM (Pulse Width Modulation) olmak üzere iki çeşit şarj kontrol cihazı bulunmaktadır (Adaramola ve Vagnes, 2015: 461).

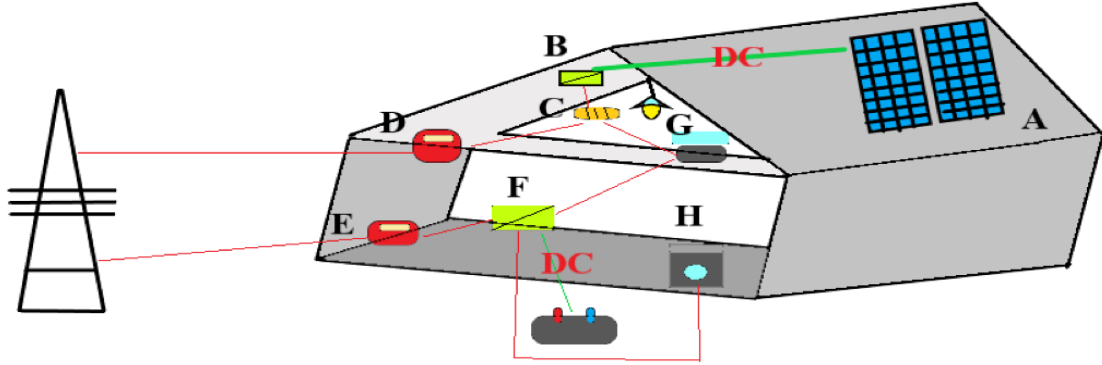
2.4.Fotovoltaik sistem bağlantı şekilleri

Fotovoltaik enerji sistemleri; kurulum biçimlerine göre şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri ile hibrit sistemler olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Çınaroğlu ve Önal, 2023: 192).

2.4.1.Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemleri

Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemleri, ulusal ana elektrik sistemine bağlı olarak çalışmaktadır. Bu enerji sistemleri tarafından üretilen enerji, bağlı buldukları şebekeye aktarılmaktadır. Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemleri, direkt olarak şebekeye bağlanarak, üretilen enerji dağıtım hattına verilmektedir (Akcan ve Kuncan, 2020: 249). Şebekeye bağımlı sistemlerde, şebeke depo aracı olarak çalıştığından fazladan akü gruplarına ihtiyaç bulunmamaktadır. Şebekeye bağımlı fotovoltaik sistemler aracılığıyla

üretilem enerji, eviriciler ile alternatif akıma dönüştürülmektedir. Üretilen enerji; ihtiyaç duyulan enerjiden fazla olması durumunda şebekeye verilir. Çevre koşulları olumsuz olduğunda veya FV enerji sistemlerinin ürettiği enerji, talebi karşılamadığında şebekeden enerji satın alınabilmektedir. Şekil 2.7.'de tipik bir şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi verilmiştir (Özçelik vd., 2020: 3).

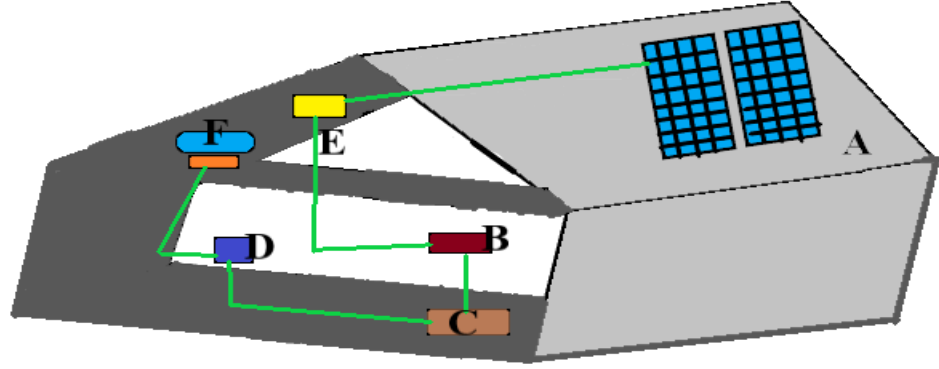


Şekil 2.7. Şebekeye bağımlı fotovoltaik sistem

(A. Panel B. Şebeke eviricisi C. Röle D. Şebeke Satış Sayacı E. Şebekeden Alış Sayacı F. Sinüs İnvtereri G. Kesintide Desteklenen Yükler H. Kesintide Desteklenmeyen Yükler)

2.4.2.Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri

Ulusal şebekeye ulaşılamadığında ya da şebekeden alınan enerjinin düşük kalitede veya elverişsiz olduğu bölgelerde, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler tercih edilmektedir. Elektrik üretimi fotovoltaik paneller sayesinde gerçekleştirilir ve üretilen enerjiden tüketici ihtiyacı düşükten sonra geriye kalan kısmı akülerde depolanmaktadır. Böylece; geceleri ya da üretimi engelleyecek kadar bulutlu havalar gibi olumsuz koşulların olduğu hallerde; ihtiyacı karşılamak için depolanan enerji akülerden çekilmektedir (Singh, 2016: 2). Şebeke bağlantısının sağlanabildiği yerlerde fatura giderlerinin azaltılması, tüketicinin enerji ihtiyacının bir bölümünü veya tamamını karşılayacak şekilde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız sistemler; şebekeye bağlanıp şebekeden desteklenseler dahi sisteme enerji veremedikleri için şebekeden bağımsız sistemler olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.8.'de şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemlerine ait örnek verilmiştir (Akkaş ve Çam, 2020: 451).



Şekil 2.8. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem

(A. Panel B. Solar Şarj Kontrol C. Akü D. İnverter E. Bağlantı Kutusu F. Cihazlar)

2.4.3.Hibrit sistemler

Rüzgâr tribünleri, biyogaz sistemleri, jeotermal sistemler, hidroelektrik sistemler, fosil yakıt kaynaklı sistemler vb. elektrik üreten sistemlerin fotovoltaik enerji sistemlerine entegre edilmesi ile hibrit sistemler oluşturulmaktadır. Hibrit sistemlerde ani gelişen enerji kesintisinde veya üretimin ihtiyacı karşılayamadığı hallerde sistemde ki diğer enerji üretim sistemleri devreye girerek enerji sürekliliğinin sağlanması amaçlanmaktadır (Çolak, 2010: 23). Hibrit enerji sistemlerinin ortaya çıkmasına, doğa gereği güneşten sağlanan ışınımın yıl içinde değişiklik göstermesi sebep olmuştur. Uygun hava şartlarında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tamamı fotovoltaik enerji sistemlerinden karşılanabilir. Üretilen fazla enerji akülerde depolanarak havanın kapalı olduğu, üretimin sağlanamadığı durumlarda veya geceleri ilk etapta aküden, şayet ihtiyaç giderilmezse diğer enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir. Örnek olarak yaz mevsiminde yeterli oranda güneş ışınımı alan ancak kış mevsiminde ise elektrik üretimine elverişli ve rüzgâr alan bir bölgede rüzgâr ve fotovoltaik enerjiden oluşan bir hibrit sistemin tasarlanması mümkündür (Akyürek vd., 2021: 163).

3.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI

3.1.Pv*sol

Pv*sol yazılımı; fotovoltaik enerji sistemlerinin, çatı tipi ve saha uygulamalarında gerçeğe yakın bir şekilde tasarımının yapılmasını ve enerji sistemlerine ait yıllık bazda enerji üretim değerlerinin hesaplanması için kullanılan bir yazılımdır (Tolgay vd., 2023: 35).

Pv*sol yazılımının veri tabanında bulunan, Expert arayüzü ile 3D modellenmesi yapılarak gölge hesaplaması yapılabilmektedir. Yapılan bu modelleme sayesinde çatı üstü kurulacak fotovoltaik enerji sistemlerinin ön çalışması da yapılabilmektedir. Ayrıca; günlük, aylık ya da yıllık olarak gölge seyrindeki değişiklikler kullanıcıya sunulmaktadır (Bahgat vd., 2004: 447).

Ek olarak; 3D menü navigasyonu yazılımında mevcuttur. Bu menü yardımıyla saha detayı, kullanılan elemanlara ait görüntüler, panellerin kapladığı yüzey alanı, montaj ve tasarım ile kablo konfigürasyonu seçenekleri mevcuttur. İklim veri tabanı olarak MeteoSyn PV*SOL yazılımında kullanılmaktadır (Ledmaoui vd., 2022: 68).

3.2.Bluesol

Dünyadaki her ülkeden araştırmacılar tarafından, standart bir Microsoft ara yüzü ile kolay kullanım olanağı sağladığı için tercih edilmektedir. Simülasyon yazılımı; kurulması planlanan fotovoltaik enerji sistemine ait fizibilite çalışmasını sağlamaktadır. BlueSol yazılımı ile sistemin boyutlandırılmasının yapılabilmesi; yapısında yer alan CAD sistemi aracılığıyla planimetri paneller, kablolar ve eviricilerinden düzenlenebilmesi; 3D gölgeleme analizinin yapılabilmesi gibi olanaklar sunulmaktadır (Faria vd., 2023: 329).

3.3.Pvgis

Pvgis; fotovoltaik enerji sistemin üretebileceği değeri tahmin edebilmek için kullanılan ücretsiz online yazılımdır. Ayrıca; paneller vasıtasıyla üretilebilecek enerjinin yıllık olarak değerlerini hesaplamaktadır. Ayrıca bu yazılım; Avrupa Komisyonu bünyesinde yer alan JRC (ortak araştırma merkezi)- Bilim Hizmetleri Merkezi aracılığıyla proje kapsamında yürütülmektedir (Polo ve Garcia, 2023: 567).

Proje ile ücretsiz olarak web ortamında simülasyon için bir yazılım aracı hazırlanmıştır. Web tabanlı bu yazılım ile ortalama değerde aylık ve günlük enerji üretim verileri, sistemin kurulacağı bölgeye ait ortalama aylık ve yıllık küresel ışınım değerleri kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca; yüksek sıcaklıktan kaynaklanan ve düşük ışınım nedeniyle

oluşacak kayıplar, açısal yansıma, kablo, evirici ve bütün sistem kayıpları verilmektedir. Yönelim ayarı ile iki eksenli, eğik eksenli ve yatay eksenli enerji sistemlerine ait üretim sonuç raporları elde edilebilmektedir (Çelebi, 2013: 2268).

Yazılımda iklim veri tabanı olarak; Google kullanılmakta ve kullanıcının harita üzerinden seçtiği enlem ve boylama ait parametreler alınmaktadır. Sisteme ait panel montaj özellikleri ve açıları ile performans oranı gibi parametreler fotovoltaik panelin çeşidi ve toplam kapasite değeri yardımıyla belirlenebilmektedir. Böylece; bir enerji sistemine ait yıllık ve aylık bazda, fotovoltaik enerji değerleri ve elektrik üretimi değeri hesaplanmaktadır (Bayrakçı ve Gezer, 2019: 48).

3.4.Solar advisor model (SAM)

SAM; araştırmacılar, mühendisler ve yatırımcılar için tasarlanmış sisteme ait performans ve ekonomik modeli sunan ayrıca; FV enerji sistemleri üzerindeki etkilerini gösteren bir yazılım aracıdır. SAM yazılımı; yatırımcıyı değişen piyasa koşullarına karşı koruyarak daha doğru hesaplama yapmasına imkân vermekte, ayrıca ekonomik değişkenlerin sistem maliyeti üzerinde oluşturduğu etkileri araştırmak için de kullanılmaktadır. Yoğunlaşmış fotovoltaik enerjisi (CSP), parabolik çukur, çanak-stirling sistemleri ve FV enerji sistem kurulumunu, SAM yazılımının arayüzü aracılığıyla yapmak mümkündür (Wang vb., 2023: 871).

3.5.Homer

Homer, on binlerce insan tarafından, enerji modelleme yazılımları, rüzgâr, fotovoltaik, hidroelektrik, biyokütle enerji sistemlerinden oluşan hibrit sistemleri, konvansiyonel jeneratörler, paneller, yakıt hücreleri, kojenerasyon ünitelerine ait tasarım ve analiz için kullanılan simülasyon yazılımıdır. (Tiwari ve Pal, 2023: 61).

Ayrıca; şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemleri için geniş yelpazede tasarım çeşitleri veren ve uygulamalarda kolaylık sağlayan bir arayüze sahiptir. Enerjide fazla üretim sağlayarak ve verimi arttırarak sanayi- ticari faaliyetler ve arazi uygulamalarının sebep olduğu çevre sorunlarına teknolojik ve ekonomik çözümler sunmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006: 273).

3.6.Polysun

Polysun yazılımı; sistem tasarımı, enerji analizi ve üretim değerinin belirlenebilmesi için yenilenebilir enerji sektöründe, güncel meteorolojik değerler ve detaylı cihaz veri tabanı

yardımıyla önemli bir seçenek sunmaktadır. Yazılımda, harita üzerinden enerji sisteminin kurulacağı enlem- boylam parametreleri, fotovoltaik panel nominal gücü, kapasiteleri, montaj eğimi, azimut yatay açısı ve eviricilerin gücü, sayısı gibi tanımlamaların yapılmasıyla fotovoltaik enerji sistemine ait aylık ve yıllık üretim değerleri belirlenmektedir (Kurz ve Nowak, 2023: 946).

3.7.Helioscope

Detaylı parametre seçeneklerine sahip Helioscope yazılımı, fotovoltaik enerji sistem montaj ve tasarım hızlarının yüksek olduğu bir simülasyon yazılımıdır. Yazılımda fotovoltaik enerji sistemi tasarımı yapabilmek için takip edilmesi gereken adımlar sırasıyla; veri tabanında yer alan harita üzerinden gerekli olan enlem ve boylamın seçilmesi ile başlamaktadır. Daha sonra sistemde kullanılacak fotovoltaik panel ve eviricilere ait teknik özellikler, toplam kapasite ve montaj bilgileri girilmelidir. İleri ki aşamada ise sistem kurulumunda kullanılan kabloların uzunluğu, kesitlerin tanımlanması ve 3 boyutlu tasarım ile fotovoltaik enerji sistemi elemanlarının görselleştirilmesidir. 5MW kurulu güce kadar olan sistemlerin simülasyon ve performans analizinin yapılabilmesi mümkündür. Yazılım, meteorolojik değerlerin hesaplanabilmesi için veri tabanı olarak NSRDB / NREL bileşimini kullanmaktadır (Garner vd., 2022: 24).

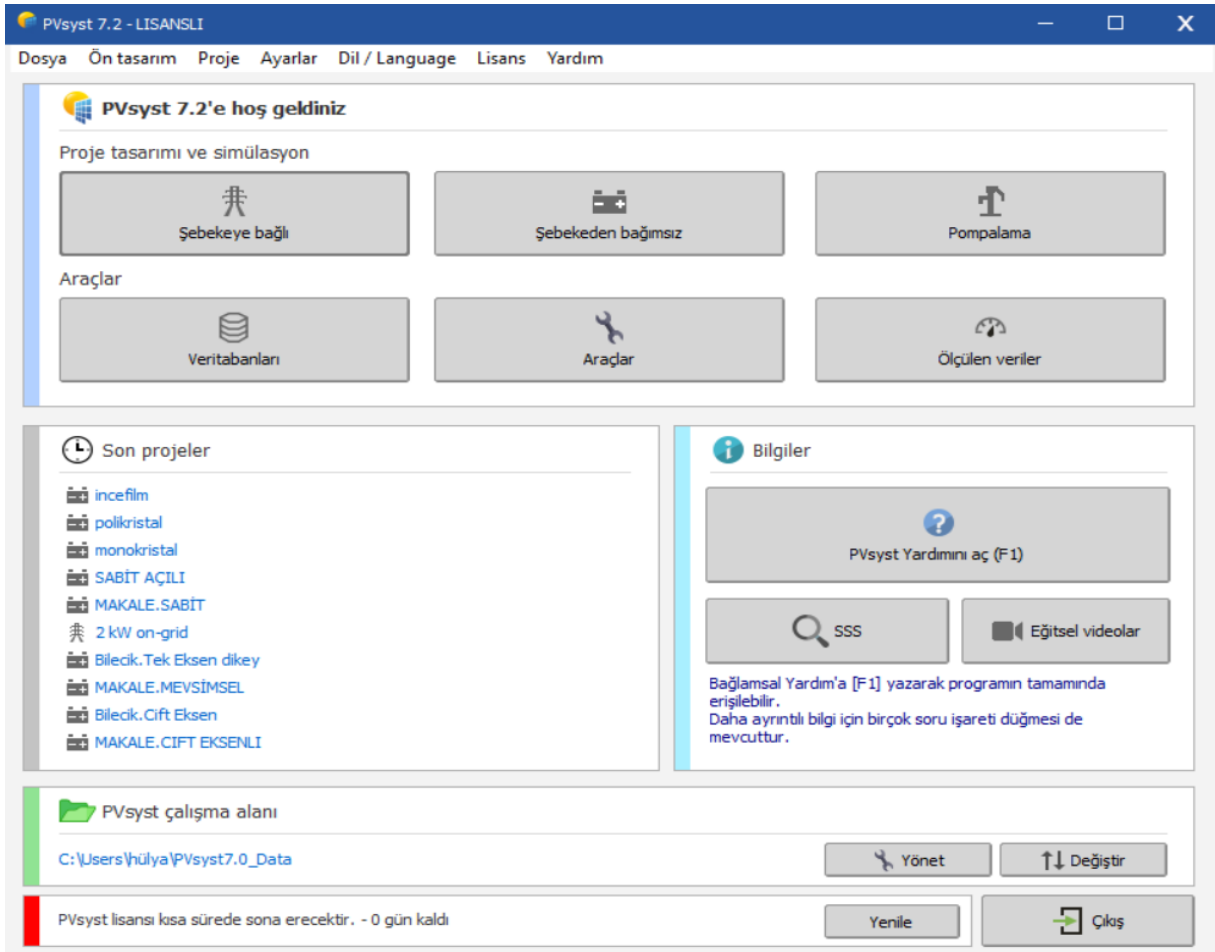
3.8.PVsyst 7.2

Çalışmada; analiz ve sistem tasarımı için PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı seçilmiştir. PVsyst; ücretli bir simülasyon yazılımı olmakla birlikte, fotovoltaik bir sistemin kurulumdan önce üretim verilerinin analizi, boyutlandırılması, sonuçlarının incelenmesi ve modellenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız (off-grid/stand alone) ya da şebekeye bağımlı (on-grid/grid connected) enerji sistemlerine ait panel, evirici, kurulacak bölgenin ışınım ve meteorolojik verileri yardımıyla sistemin simülasyon sonuç raporunu vermektedir. Böylece; yatırımcıyı sistemden elde edilebileceği kazançlar ve kayıplar hakkında bilgilendirmektedir. Yazılımda bulunan 3D uygulaması ile fotovoltaik enerji sisteminin üzerine düşecek gölgelemelerin modellenmesi yapılabilmekte ve sistem üzerine olan etkisi ve kayıp değeri de hesaplanabilmektedir (PVsyst, 2023).

Güneş enerjili sulama sistemleri, şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemlerin tasarımları PVsyst simülasyon yazılımı ile yapılabilmektedir. Veri tabanında bulunan ve yazılımının sunmuş olduğu geniş yelpazede ki çeşitli marka, üreticinin panel ve eviricilerine ait elektriksel ve mekaniksel verileri yer almaktadır. Ayrıca; seçilecek

sistem elemanları yazılımın veri tabanında bulunmuyorsa teknik ve fiziki verileri manuel olarak yazılıma tanımlanabilmektedir PVsyst 7.2 yazılımının veri tabanında yer alan Meteororm 7.3. aracılığıyla fotovoltaik enerji sisteminin bulunduğu bölgenin meteorolojik verileri sentetik olarak üretilebilmektedir (PVsyst, 2023).

Türkçe dil seçeneği, PVsyst 7.2 simülasyon yazılımının 7. nesil sürümünden itibaren eklenmiş ve kullanıcı ara yüzü de değiştirilmiştir. Yazılıma ait açılış ekran görseli şekil 3.1.'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. PVsyst 7.2. açılış ekran görüntüsü

Ön tasarım (Preliminary design): Proje hakkında hızlı bir şekilde değerlendirme yapmak için kullanılmaktadır. Panel ve evirici bilgileri olmaksızın, belirli sistem parametreleri tanımlanarak aylık bazda üretim verileri üretilebilmektedir. Ayrıca; sistem için yaklaşık olarak ekonomik değerlendirmede yapılabilmektedir (Eldin vd., 2016: 231).

Proje (Project): Ön değerlendirme amaçlı verileri elde etmek ve projenin detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamak üzere yazılımının ticari amaçlı kullanılan bölümüdür. Fotovoltaik enerji sistemlerinin konumlandırılacağı bölgeye ait meteorolojik verilerin seçimi,

sistem tasarımı, gölgelenme modellemesi ve kayıp hesaplanmaları gibi önemli bilgileri içermektedir (PVsyst, 2023).

Şebekeden bağımsız (Stand alone): Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemlerin tasarımında kullanılan bölümdür. Bu bölüm aracılığıyla yükün karakteristiği ve miktarı belirtilmektedir. Kullanıcının ihtiyaçlarının saatlik olarak tanımlanması gerekmektedir. Analiz sonucunda; üretilebilecek enerjinin yükü besledikten sonra depolanabilecek kısım hakkında bilgi vermektedir (PVsyst, 2023).

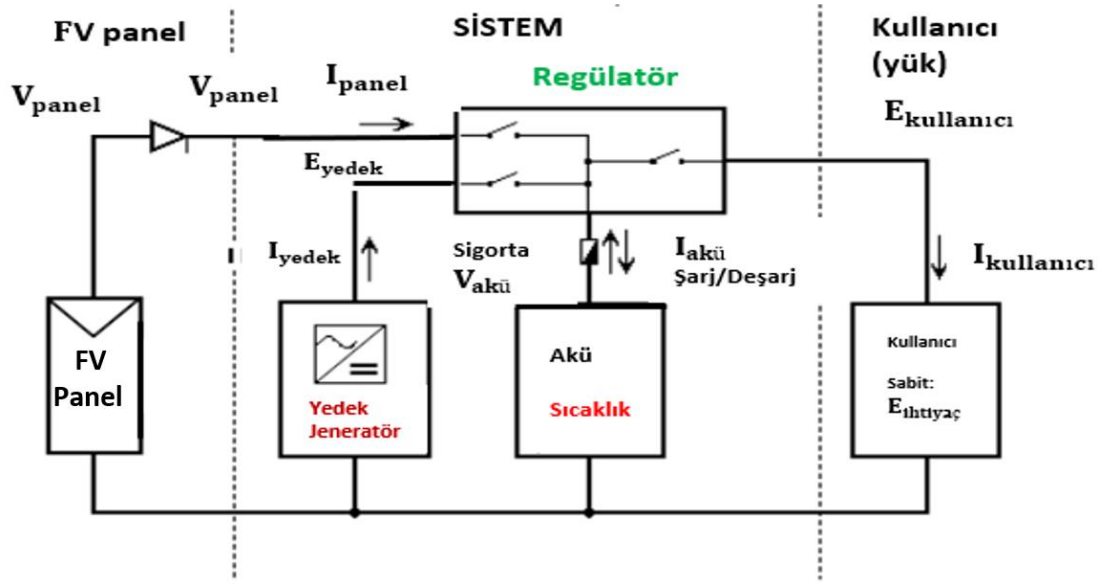
Pompalama (Pumping): Bu bölüm; enerji depolanması olmaksızın, güneş enerjisi vasıtasıyla pompalama sistemlerini besleyen sistemlerin tasarımı için kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle pompa, fotovoltaik panel dizisi ve kontrolörden oluşmaktadır. Sulama amaçlı tasarlanacak sistemlerin simülasyonunda çoğunlukla kullanılmaktadır (PVsyst, 2023).

Veri tabanları (Databases): Aylık- yıllık iklim verilerinin sentetik olarak üretildiği ve PVsyst yazılımının veri tabanında bulunmayan evirici, panel, batarya vb. sistem elemanlarına ait teknik ve fiziki tanımlamaların yapıldığı bölümdür (Singh, 2016: 2).

Araçlar (Tools): Fotovoltaik enerji sistemlerinin tasarım ve görselleştirilmesi bu bölümdeki araçlar yardımıyla yapılmaktadır (PVsyst, 2023).

PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı; hesaplamalarına bazı parametreleride dâhil etmektedir. Bu parametreler; panelin aylık ve yıllık bozunum değerleri, kablo detayı, bölgeye ait hava kirlilik durumu, güneş ışınımı değerleri, gölgeleme analizi, albedo oranları, şebekenin analizi ve saha yerleşim planlarıdır (Çınaroğlu ve Önal, 2022: 391).

Şebekeden bağımsız bir FV sisteminin ana bileşenleri, FV paneller, akü grubu, şarj kontrol cihazı, DA ve AA yük, DA-DA dönüştürücü, DA-AA invertör ve sistem entegrasyonu için gerekli bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Fotovoltaik sistemin blok şeması Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. FV güç sistemin çalışması, akımı veya gerilimi ayarlamak için güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren ve şarj kontrol cihazına ileten eğimli FV paneller üzerine güneş ışınımının çarpması ile başlamaktadır (Polo ve Garcia, 2023: 567). Aküler, üretilen enerjinin talepten fazla olması durumunda enerjiyi depolamak için yedek kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu enerji, düşük veya hiç güneş ışınımı olmadığında veya gece boyunca kullanılabilir. DA/AA invertör, DA beslemesini, AA çalışan cihazları çalıştırmak için AA kaynağına dönüştürmektedir (Oral ve Uçan, 2014: 256). Dolayısıyla; enerji sisteminin omurgasını oluşturan tüm bu sistem elemanları PVsyst simülasyon yazılımına detaylı bir şekilde tanımlanmalıdır.

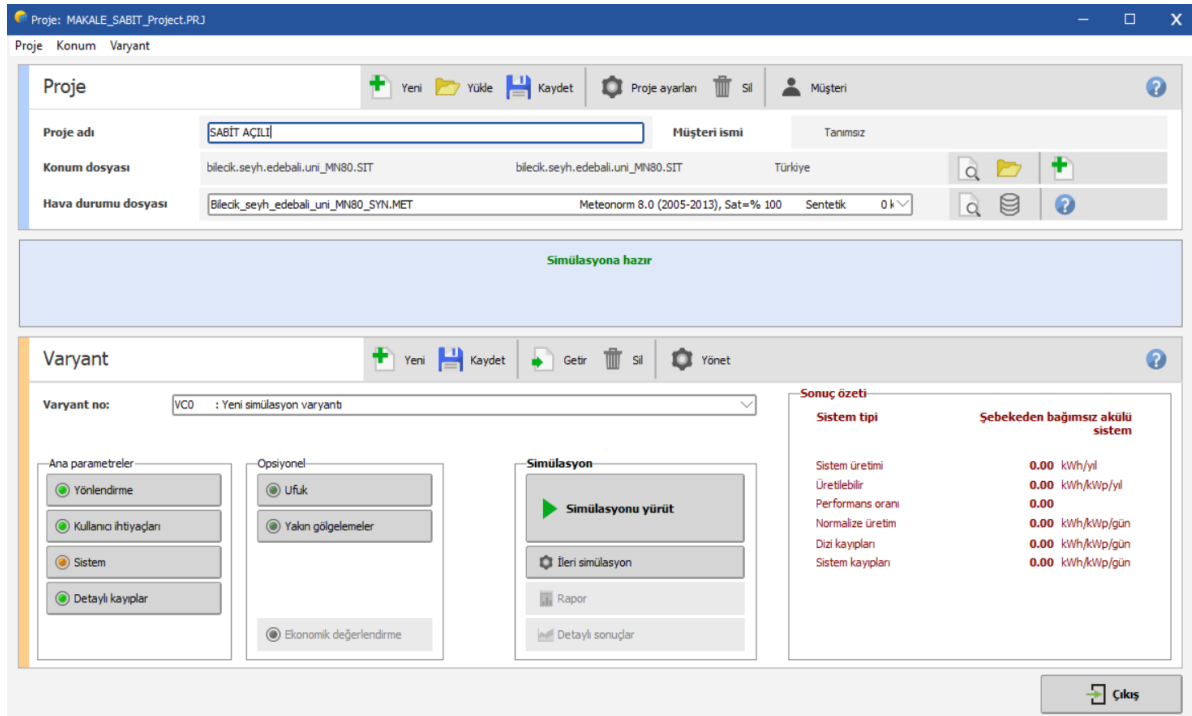


Şekil 3.2. Fotovoltaik sistemin blok şeması

3.9.PVsyst 7.2 yazılımında proje tasarımı

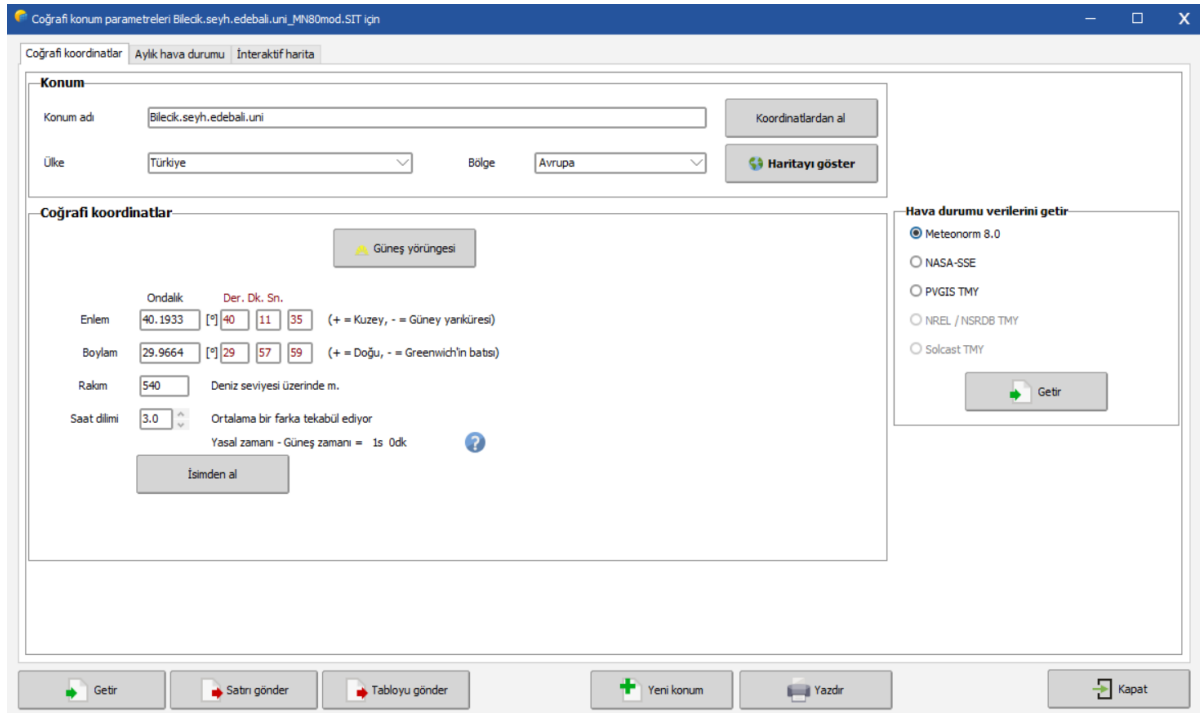
Simülasyona başlamadan önce PVsyst yazılımına bazı tanımlamaların yapılması gerekmektedir. Şekil 3.1.'de verilen PVsyst yazılımının açılış ekranından; şebekeden bağımsız bir sistem için “Şebekeden bağımsız”, şebekeye bağımlı sistem için ise “Şebekeye bağlı” bölümlerinden biri seçilmelidir. Seçim işleminden sonra şekil 3.3.’te sunulan ekran açılmaktadır. Bu kısım proje ile ilgili genel tanımlamaların yapıldığı ana ekrandır (PVsyst, 2023). Bu kısımda ilk olarak proje isimlendirilir. Sonraki adımda ara yüzde yer alan “Hava durumu dosyaları” sekmesi seçilerek koordinat bilgileri girilip bölgeye ait meteorolojik veriler elde edilmelidir. Panele ve aküye ait marka, model, sayı ve yönelim ile kullanıcı ihtiyacı, sistemde oluşabilecek kayıplar, 3D gölgeleme analizi ve ekonomik analiz gibi enerji sistemi için gerekli olan teknik ve ekonomik tanımlamalar ara yüzde yer alan “Ana parametreler” bölümünde yapılır. Her bir seçeneğin önünde yer alan işaretler yeşile dönünce “Simülasyonu yürüt” seçilerek simülasyon çalıştırılır.

Simülasyon sonucunda elde edilen detaylı sonuçlara ve raporlara bu ekran aracılığıyla ulaşılabilmektedir. Ayrıca; bu bölümde, proje üzerinde yapılan her bir değişiklik yeni bir varyant olarak kaydedilmektedir. İhtiyaç olması halinde şekil 3.3.’te ki ekrandan “Detaylı sonuçlar” sekmesi seçilerek projeye ait kayıp diyagramı, saatlik, günlük ve haftalık üretim ve tüketim verileri, ekonomik analiz gibi bilgilere doğrudan ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.3. Şebekeden bağımsız bölümü

Sonra ki aşamada fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulacağı bölgeye ait meteorolojik veriler sistemin veri tabanında yer alan kaynaklar aracılığıyla üretilmelidir. Enerji sisteminin kurulması planlanan bölgeye ait koordinat bilgileri şekil 3.4.'te yer alan menüde girilerek yöreye ait meteorolojik veriler sentetik olarak üretilmelidir.



Şekil 3.4. Koordinat bilgilerinin tanıtılması

PVsyst simülasyon yazılımında kısıtlı sayıda ki lokasyona ait meteorolojik veriler kayıtlıdır (PVsyst, 2023). Eğer enerji sisteminin kurulması planlanan bölge kayıtlı değilse bu işlem manuel olarak yapılabilmektedir. Bu işlem için ilk olarak şekil 3.1. ekranından “Veritabanları” sekmesi seçilmelidir. Daha sonra “Coğrafi konumlar” seçeneği seçilerek “Yeni” butonuna basılır. Açılan ekranda kullanıcı; “İnteraktif harita” seçeneği ile enerji sisteminin kurulacağı bölgeyi haritadan seçebilir veya “Coğrafi koordinatlar” bölümü yardımıyla doğrudan koordinat ve rakım bilgilerini girebilmektedir.

PVsyst simülasyon yazılımı bir takım veri tabanları sayesinde meteorolojik verileri üretebilmektedir. Yazılımın yararlandığı veri tabanları Meteonorm 8.0, NASA-SSE, PVGIS TMY ve Solcast TMY dir (PVsyst, 2023). Bu çalışmada veriler, koordinat bilgileri elle girilerek Meteonorm 8.0 yardımıyla üretilmiştir. Üretilen verilerin PVsyst yazılımında ki görünümünü şekil 3.5.’te sunulmuştur. Bu bölümde veriler günlük veya aylık olarak alınabilmektedir. Yazılım tarafından oluşturulan meteorolojik verileri gösterir tablo da ihtiyaç duyulması halinde ekstra veriler eklenip çıkarılabilmektedir. Bu veriler yatay difüz ışınlama, rüzgâr hızı, bulanıklık ve nemdir.

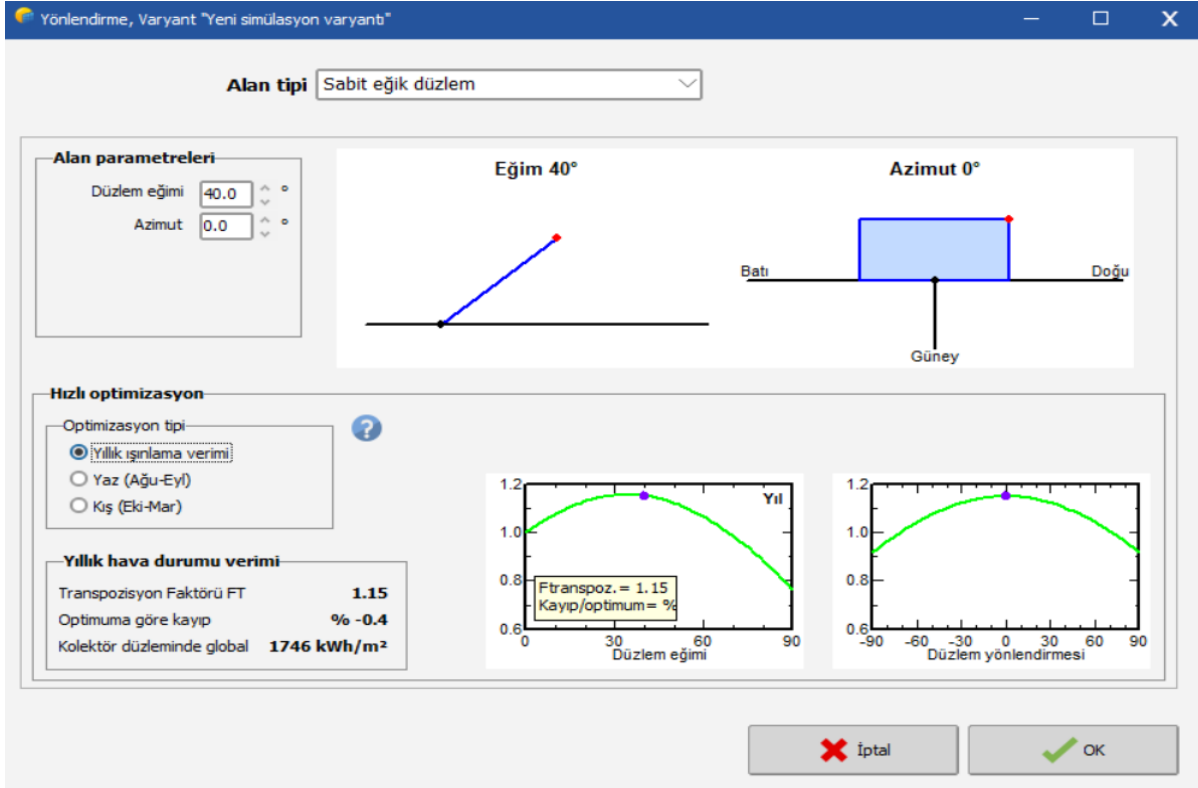
	Global yatay ışınlama kWh/m ² /ay	Yatay difüz ışınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı m/s	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem %
Ocak	58.5	29.7	1.2	2.50	2.665	81.5
Şubat	69.3	37.9	3.0	2.59	2.972	76.2
Mart	109.6	60.0	7.0	2.70	3.521	66.9
Nisan	145.4	72.0	11.1	2.50	4.038	66.1
Mayıs	190.6	72.9	16.4	2.39	3.644	62.5
Haziran	203.8	78.5	20.4	2.49	3.259	60.7
Temmuz	208.5	81.2	24.0	2.79	3.189	55.2
Ağustos	184.6	67.8	24.0	2.80	3.172	54.7
Eylül	141.0	56.3	18.7	2.30	3.100	62.1
Ekim	92.5	45.3	13.2	2.00	3.034	70.5
Kasım	64.2	30.3	7.4	2.00	2.772	76.0
Aralık	50.0	28.4	2.7	2.29	2.661	81.3
Yıl	1518.0	660.3	12.4	2.4	3.169	67.8

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 3.5%

Şekil 3.5. Meteonorm 8.0. ile üretilen sentetik veriler

Simülasyonun bir sonraki adımı ise enerji sisteminde ki panellerin yönlendirilmesinin tanımlanmasıdır. Bunun için şekil 3.3.’te ki ekrandan “Yönlendirme” menüsü seçilmelidir.

Şekil 3.6.'da görülen ara yüzdeki “Alan tipi” menüsünden yazılım tarafından sunulan güneş takip sistemleri seçilebilmektedir. Ayrıca bu bölümde panel açısı ve azimut değerleri de girilebilmektedir. Son olarak ekranda yıllık meteorolojik verim görülebilmektedir.



Şekil 3.6. Panel eğim – yönelim bilgilerinin belirlenmesi

PVsyst 7.2 simülasyon yazılımında tasarlanan fotovoltaik enerji sistemi için panel ve akü seçimi şekil 3.3.'te ki arayüzde yer alan “Sistem” menüsü altında yapılmaktadır. Şekil 3.7.'de yer alan ekranda panel, akü ve evirici marka model ve sayısı seçilebilmektedir. Ayrıca; bu bölümde panel, akü ve eviriciye ait teknik ve donanımsal veriler düzenlenebilmektedir. Açılan ekranda enerji sisteminin gücünün ya da kurulacağı sahanın boyutların girilmesi ile yazılım tarafından seçilen panelden kaç adet kullanılabileceğine dair tahmin yapılmaktadır. Projede kullanılacak modele göre panel sayıları ve bağlantı şekilleri bu bölümde seçilmektedir. Bu işlemler akü ya da evirici için de yapılabilmektedir. Panel, akü veya evirici tanımlamaları yapıldıktan sonra bu arayüzde tahmini üretim, kullanıcı ihtiyacı gibi verilere ulaşılabilir.

PVsyst simülasyon yazılımında panel, akü, evirici gibi sistem elemanları veri tabanında yer almıyorsa manuel olarak ta eklenebilmektedir. Bu işlem PVsyst simülasyon yazılımının açılış ekranında yer alan “Veritabanları” sekmesi aracılığıyla yapılabilmektedir.

Şebekeden bağımsız sistem tanımlama, Varyant "Yeni simülasyon varyantı", Variant "Yeni simülasyon varyantı"

Ort. günlük ihtiyaç: 6.6 kWh/gün
Kabul edilebilir PLOL'u giriniz: 5.0 %
Gerekli özerkliği giriniz: 4.0 gün
Akü (kullanıcı) gerilimi: 24 V
Önerilen kapasite: 1294 Ah
Önerilen PV gücü: 1972 Wp (nom.)

Depolama: PV alanı | Yedek | Basit taslak

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: PV alanı
Yön: Takipçi, D-B yatay eksen

Ön boyutlandırma yardımı
 Boyutlandırılmaz Planlanan gücü giriniz: 1.9 kWp
 ... veya mevcut alan: 0 m²

PV modül seçimi
Tüm modül: SED
Panel sıralaması: Güç
Tüm modül: 11 Wp 3V Si-poly Doppel S 2009 yılına kadar Photon Maç. 2001

Gerilim boyutlama: V_{mpp} (60°C): 3.2 V
V_{oc} (-10°C): 5.4 V

Denetleme modunu ve denetleyicisini seçiniz
 Evrensel denetleyici Tüm üreticiler
MPPT güç dönüştürücü
Maks. şarj - deşarj akımı

Çalışma modu
 Doğrudan bağlantı
 MPPT dönüştürücü
 DCDC dönüştürücü

PV alan tasarımı
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 16
Zincir sayısı: 12
Panel sayısı: 192 Yüzey: 75 m²

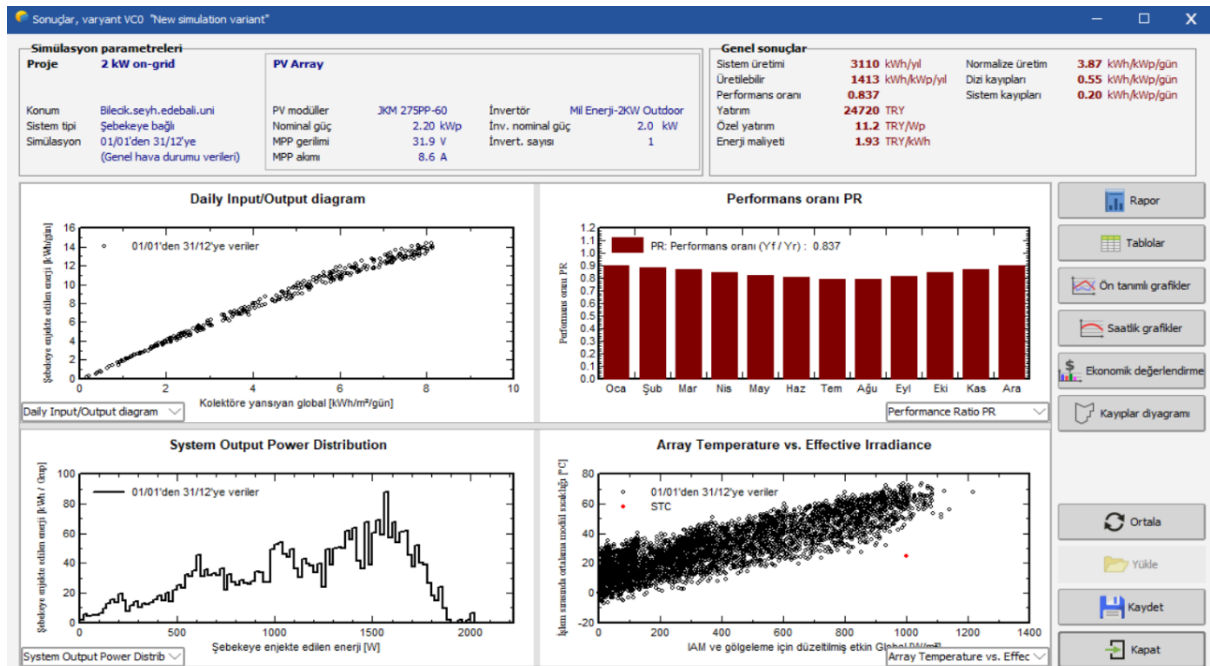
İşletme koşulları:
V_{mpp} (60°C): 52 V
V_{mpp} (20°C): 62 V
V_{oc} (-10°C): 85 V
Yüzeysel ışınım: 1000 W/m²
I_{mp} (STC): 33.5 A
I_{sc} (STC): 36.4 A
I_{sc} (STC'de): 36.0 A

Maksimum işletme gücü: 2.0 kW
Alan nominal gücü (STC): 2.0 kWp

Kullan. ihtiyaç	Hane tüketimi	Ortalama güç
	Gece oranı	% 49.3
	Günlük enerji	6.6 kWh
Akü takımı	6 paralel, 48 V	Kapasite: 810 Ah
	Özerklik	4.7 gün
	Depolanan enerji	31.1 kWh
PV alanı	16 modüllü 12 zincir	Nominal güç: 2.02 kWp
	PV/Load	7.3
	Günlük ort. enerji	6.7 kWh
Denetleyici	Evrensel MPPT	Nominal güç: 1753 W
	PV/PConv	1.15
	Sınırlar	SOC'ye göre

Şekil 3.7. Enerji sistemi elemanlarının tanımlanması

PV syst simülasyon yazılımı aracılığıyla kurulması planlanan enerji sistemi için teknik analize ek olarak ekonomik değerlendirmede yapılabilmektedir. Ekonomik analiz, şekil 3.3.'te ki "Detaylı sonuçlar" sekmesi seçilerek şekil 3.8'de sunulan pencerede "Ekonomik değerlendirme" seçeneği aracılığıyla yapılmaktadır. Bu bölümde; enerji sisteminde kullanılabilir donanımlara ait birim fiyat değerleri tanımlanmaktadır.



Şekil 3.8. Ekonomik analiz sekmesi

“Ekonomik değerlendirme” sekmesi seçildikten sonra şekil 3.9.’da verilen pencerede, fotovoltaik enerji sistemlerine dair maliyet ve sermaye tanımlamaları yapılabilmektedir. Açılan ekranda “Yatırım ve giderler” bölümünden enerji sistemlerinde kullanılacak sistem elemanlarının fiyat bilgileri girilmelidir. Fiyat bilgileri girilecek sistem elemanları; panel, evirici, akü, bağlantı elemanları, kurulum, uzaktan izleme sistemi, proje-keşif, sigorta, saha bedeli, sermaye kredi ile karşılanacaksa faiz bilgisi, vergiler gibi giderler bu bölümde tanımlanmaktadır. Ayrıca; enerji sisteminin bakım ve işletme gibi diğer giderleri de bu kısımda belirtilmektedir. Yatırım için gerekli olan finansal durum “Finansal parametreler” sekmesi ile sisteme girilmektedir. Bu sekme seçildikten sonra açılan pencerede; enerji sisteminin toplam kaç yıl kullanılacağı, yıllık enflasyon verileri gibi bilgiler tanımlanmalıdır. Yatırım için sağlanacak sermaye de yine bu bölümde belirtilmelidir. Şebekeye bağımlı sistemler için fotovoltaik enerji sisteminin ürettiği enerjiden kazanılacak gelir ise “Tarifeler” seçeneğinde tanımlanmalıdır. Bu bölümde kWh başına kazanılacak tutar tanımlanarak enerji sisteminin ömür devri boyunca kazandıracağı tutar, yatırımın kârlı olup olmadığı ve enerji sisteminin sermayeyi geri ödeme süresinin ne olacağı gibi bilgiler kullanıcıya, yazılım tarafından verilmektedir

Sistem özeti
Proje: 2 kW on-grid
PV alanı, Pnom = 2.2 kWp Şebekeye bağlı sistem
Üretilen enerji 3110 kWh/yıl

Mali özet
Kurulum maliyetleri 24720.00 TRY
Yıllık toplam maliyet 5000.00 TRY/yıl
LCOE 1.926 TRY/kWh
Geri ödeme süresi 8.0 yıl

Değerler
Döviz: TRY - Turkish Lira

Kurulum maliyetleri

Açıklama	Miktar	Birim fiyatı	Toplam	TRY
PV modül			10000.00	TRY
JKM 275PP-60	8.00	1150.00	9200.00	TRY
Panel sehpaları	8.00	100.00	800.00	TRY
İnvertör			3500.00	TRY
Mil Enerji-2KW Outdoor	1.00	3500.00	3500.00	TRY
Diğer parçalar			5320.00	TRY
Etüt ve analizler			4000.00	TRY
Kurulum			1900.00	TRY
Sigorta			0.00	TRY
Arazi masrafları			0.00	TRY
Kredi için banka masrafları	0.00	0.00	0.00	TRY
Vergiler			0.00	TRY
Toplam kurulum maliyeti			24720.00	TRY
Amortismanına tabi			13820.00	TRY

İşletme maliyetleri (yıllık)

Açıklama	Yıllık maliyet	TRY
Bakım	5000.00	TRY
Arazi kirası	0.00	TRY
Sigorta	0.00	TRY
Banka masrafları	0.00	TRY
İdari masraflar	0.00	TRY
Vergiler	0.00	TRY
Teşvikler	0.00	TRY
İşletme maliyetleri (OPEX)	5000.00	TRY/yıl

Şekil 3.9. Ekonomik verilerin yazılıma tanımlanması

3.10. Fotovoltaik sistem performans değerlendirme parametreleri

Uluslararası enerji ajansı (UEA), FV sistemin performansını analiz etmek için performans parametreleri geliştirmiştir (Ervural vd., 2016: 51). Bu parametreler FV sistemin

tam olarak ön fizibilite analizini vermektedir. Parametreler sistem verimi, eksik enerji, panel, nihai ve referans verimi, performans oranı, panel ve sistem kayıplarıdır (Li vd., 2017: 6502).

FV güç sistemi tarafından üretilen günlük, aylık ve yıllık toplam AA enerji değerleri istenilen süre için denklem 3.1, denklem 3.2 ve denklem 3.3 kullanılarak elde edilmektedir (Li vd., 2017: 6505).

$$E_{(AA,g)} = \eta_{inv} \sum_{t=1}^{24} E_{(DA,t)} \quad (3.1)$$

$$E_{(AA,a)} = \eta_{inv} \sum_{d=1}^{N_d} E_{(DA,g)} \quad (3.2)$$

$$E_{(AA,y)} = \eta_{inv} \sum_{m=1}^{12} E_{(DA,a)} \quad (3.3)$$

Burada $E_{(DA,t)}$ saatlik üretilen DA enerji değerini, $E_{(DA,g)}$ günlük üretilen DA enerji değerini, $E_{(DA,a)}$ aylık üretilen DA enerji değerini, $E_{(AA,g)}$ günlük üretilen AA enerji değerini, $E_{(AA,a)}$ aylık üretilen AA enerji değerini, $E_{(AA,y)}$ yıllık üretilen AA enerji değerini, N_d bir aydaki gün sayısını ve η_{inv} DA/AA invertör verimini göstermektedir (Li vd., 2017: 6505).

FV güç sisteminden kaynaklanan günlük, aylık ve yıllık kayıp enerji değerleri istenilen süre için denklem 3.4, denklem 3.5 ve denklem 3.6 kullanılarak belirlenmektedir (Li vd., 2017: 6505).

$$E_{(kayıp,g)} = E_{(yük,g)} - E_{(kullanıcı,g)} \quad (3.4)$$

$$E_{(kayıp,a)} = E_{(yük,a)} - E_{(kullanıcı,a)} \quad (3.5)$$

$$E_{(kayıp,y)} = E_{(yük,y)} - E_{(kullanıcı,y)} \quad (3.6)$$

Burada, $E_{(yük,g)}$, $E_{(yük,a)}$, $E_{(yük,y)}$ kullanıcının ihtiyacı olan günlük, aylık ve yıllık enerji değerlerini, $E_{(kullanıcı,dg)}$, $E_{(kullanıcı,a)}$, $E_{(kullanıcı,y)}$ kullanıcıya sağlanan günlük, aylık ve yıllık enerji değerlerini göstermektedir (Li vd., 2017: 6505).

FV sisteminin panel referans verimi y_r ile gösterilmektedir ve sistemin nominal verimlilikte üretilen toplam enerji miktarıdır. Sistemin nominal verimliliği, standart çalışma durumundaki panel üreticileri tarafından önceden tanımlanmıştır. Matematiksel olarak toplam yatay ışınımın standart çalışma durumundaki küresel ışınım oranı olarak hesaplanmaktadır. y_r Sayısal olarak kW/m² birimiyle ifade edilir (Li vd., 2017: 6506).

$$y_r = \frac{H_t}{G_0} \quad (3.7)$$

Burada H_t kW/m² cinsinden yatay bir düzlemdeki toplam ışınlı ve G_0 kWh/Sq. ay/gün cinsinden standart çalışma durumundaki küresel ışınlıdır (Li vd., 2017: 6506).

FV sistemin panel verimi y_a ile gösterilmektedir ve FV panel tarafından üretilen DA enerji miktarıdır. FV panelden üretilen DA enerjisinin FV panelin nominal gücüne oranı olarak tanımlanmakta ve Denklem 3.8 ile hesaplanmaktadır (Li vd., 2017: 6506).

$$y_a = \frac{E_{DA}}{P_0} \quad (3.8)$$

Burada E_{DA} günlük, aylık veya yıllık olarak FV panelin DA üretim değerini, P_0 standart çalışma durumundaki FV panelin nominal çıkış gücü değerini göstermektedir (Li vd., 2017: 6506).

$$E_{DA} = V_{DA} \times I_{DA} \times t \quad (3.9)$$

Burada V_{DA} FV panelin DA çıkış gerilimini, I_{DA} FV panelin DA çıkış akımını ve t saat olarak zamanı göstermektedir (Li vd., 2017: 6506).

FV sistemin panel nihai verimi y_f ile gösterilmektedir ve yıllık, aylık veya günlük olarak şebekeye enjekte edilen enerji miktarıdır. FV sistemin invertör uçlarındaki AC enerji çıkışının standart çalışma durumundaki FV panelin maksimum güce oranı olarak tanımlanmaktadır (Li vd., 2017: 6506).

$$y_f = \frac{E_{AA}}{P_p} \quad (3.10)$$

Burada E_{AC} FV sistemin evirici çıkışındaki günlük, aylık veya yıllık AC enerji değeri ve P_p standart çalışma durumundaki FV panelin maksimum gücüdür (Li vd., 2017: 6506).

Verim parametrelerinin yanı sıra, kayıp parametreleri de bir FV güç sistemin performansını etkilemektedir. Şebekeden bağımsız FV güç sistemi tasarlanırken kullanılan tüm bileşenlerde kayıplar bulunmaktadır. Bu kayıp parametreleri panel yakalama kayıpları, sistem kayıpları ve performans oranıdır (Li vd., 2017: 6506).

FV sistem performans oranı P_r ile gösterilir ve şebekeye verilen enerjinin FV kataloğunda belirtilen nominal güce oranı olarak tanımlanmaktadır. Performans oranı DA'dan AA'ya dönüşen enerjinin bütün kayıplarıyla ilgili bilgiyi vermektedir. Bu yüzden; enerji kayıplarından sonra geriye kalan enerjiyi yüzde olarak ifade etmektedir (Köberle vd., 2015: 741).

$$P_r = \frac{y_f}{y_r} = \frac{E_{\text{sebeke}}}{Kür_{ışın}} \quad (3.11)$$

Burada y_f FV sistemin panel nihai verimini ve y_r panel referans verimini göstermektedir. E_{sebeke} şebekeye MWh veya kWh cinsinden enjekte edilen AA enerji ve Kür_ışın kollektör düzlemindeki küresel ışıdır (Köberle vd., 2015: 741).

FV panel (l_c) ve sistem (l_s) kayıpları (Rout ve Kulkarni, 2020: 797);

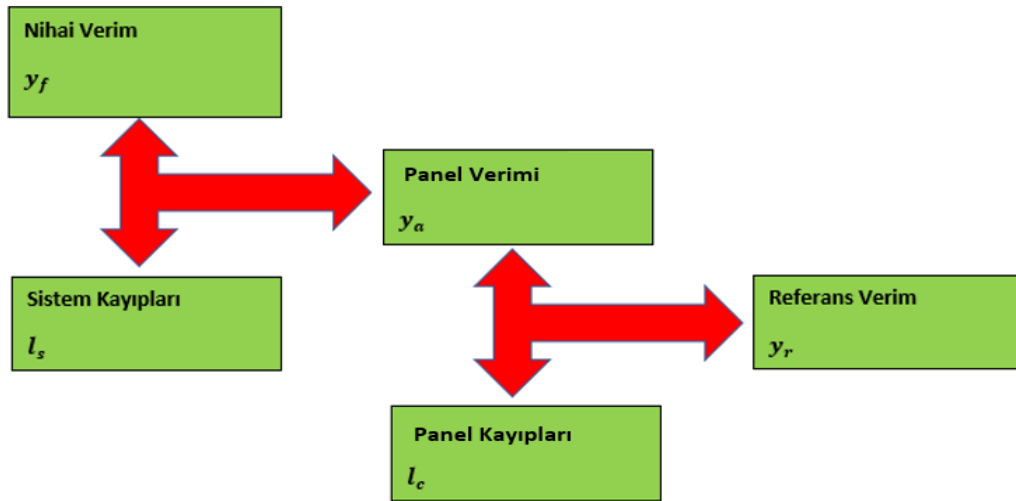
Panel kayıpları l_c ile ifade edilmektedir ve panel verimini etkileyen, referans parametrelerinde meydana gelen farklılıklardır. Bu kayıp değerini oluşturan temel bileşenler; FV panel sıcaklık değerlerinin yükselmesi, kısmi gölgelenme, panel üzerinde biriken toz miktarı, MPP hataları ve paneller arasındaki uyumsuzluklardır. Denklem 3.12 ile hesaplanmaktadır (Eke ve Şentürk, 2012: 267).

$$l_c = y_r - y_a \quad (3.12)$$

Sistem kayıpları; sistemin nihai veriminde meydana gelen farklılıkları ifade etmekte ve l_s ile gösterilmektedir. Bu kayıp değeri; FV sistemde kullanılan evirici ve diğer cihazlardan kaynaklanmaktadır. Denklem 3.13 ile hesaplanmaktadır (Eke ve Şentürk, 2012: 267).

$$l_s = y_a - y_f \quad (3.13)$$

Yukarıda verilen denklemlere göre performans değerlendirme parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 3.2.'de verilmiştir (Li vd., 2017: 6506).



Şekil 3.10. Fotovoltaik Enerji Sistemi Performans Değerlendirme Parametreleri

3.11. Fotovoltaik sistem ekonomik analiz değerlendirme parametreleri

Fotovoltaik enerji sistemlerine yatırım yapma değerlendirmesi için ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerini ekonomik analizleri yapılırken; ilk kurulum maliyetleri, sistemde kullanılan cihaz ve malzemelerin kullanım ömürleri, işletme ve bakım

giderlerine ek olarak sisteminden elde edilecek kazanç dikkate alınması gereken başlıca parametrelerdir (Amrollahi ve Bathaee, 2017: 68). Enerji sisteminin ilk kurulum maliyetini genel olarak; paneller, aküler, şarj kontrol birimleri evirici ve kurulum giderleri oluşturmaktadır. Sonraki aşamada ise yıllık planlı giderler, periyodik bakımlar, işletme maliyetleri vb. parametreler belirlenerek hesaba katılmalıdır (Bayrakçı ve Gezer, 2019: 48).

Ekonomik analiz aşamasında fotovoltaik enerji sisteminin kullanım ömrü belirlenmelidir. Enerji sistemi ömrünü belirleyen en önemli parametre; sistemde yer alan panellerin kullanım süreleridir. Ek olarak; enerji sisteminde yer alan diğer cihaz ve aksamalarında kullanım ömürleri genel olarak enerji sisteminin kullanım süresini etkilemektedir. Ayrıca analiz esnasında yıllık enflasyon oranı, amortisman bedeli ve yatırım için kredi kullanılması durumunda borçlanma faizi de hesaba katılabilmektedir (Amrollahi ve Bathaee, 2017: 70).

Fotovoltaik enerji sistemlerine ait ekonomik analiz değerlendirme parametreleri bulunmaktadır. Enerji sistemi maliyeti hesaplanırken para birimi olarak USD (Amerikan Doları) alınmıştır. Bu birim bundan sonraki aşamalarda USD/kWp (kilowatt başına ödenen USD) olarak ifade edilecektir.

Toplam PV dizi maliyeti C_{pv} ve fotovoltaik enerji sisteminin kurulu güç değeri $P_p(pv)$ ile ifade edilmektedir. Denklem 3.14 enerji sistemine ait toplam kurulum maliyetinin matematiksel ifadesidir (Ju vd., 2017: 307).

$$C_{pv} = P_p(pv) \cdot \text{USD/kWp} \quad (3.14)$$

Akü ilk maliyeti olarak ifade edilen C_{ic} denklem 3.15 ile ifade edilmektedir. B_{up} Akü birim fiyatını, B_{sc} ise akü depolama kapasitesini ifade etmektedir. Ancak; akünün kullanım süresi, enerji sistemi ömründen kısa olduğu için sistemde yer alan aküler zaman içerisinde değiştirilebilir. Bu durumun matematiksel ifadesi denklem 3.16'da verilmiştir. C_{BI} genel akü maliyeti, C_B akü fiyatı, i enflasyon oranı, d indirim oranı N ise akünün kullanım ömrünü ifade etmektedir (Ju vd., 2017: 307).

$$C_{ic} = B_{sc} \cdot B_{up} \quad (3.15)$$

$$C_{BI} = C_B \cdot \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^2 B_{up} \quad (3.16)$$

İnverter maliyeti C_{inv} , C_p ise evirici birim fiyatını ifade etmektedir. Matematiksel ifadesi denklem 3.17'de verilmiştir (Ju vd., 2017: 307).

$$C_{inv} = C_p \cdot P_p(pv) \quad (3.17)$$

Şarj kontrol biriminin fiyatı cihazın boyutuna göre belirlenmektedir. Denklem 3.18’de verilen eşitlikte; C_{ch} şarj kontrol biriminin maliyetini, S_{cha} boyutlarını ve C_{uni} birim fiyatını göstermektedir (Khatib, 2010: 1214).

$$C_{ch} = S_{cha} \cdot C_{uni} \quad (3.18)$$

Enerji sistemi montaj maliyeti I_{cpv} ile gösterilmekte ve fotovoltaik enerji sisteminin toplam maliyetinin %10’u olarak ifade edilmektedir (Khatib, 2010: 1214).

$$I_{cpv} = \%10 \cdot C_{pv} \quad (3.19)$$

Enerji sistemi periyodik bakım maliyeti; genel olarak montaj bedelinin % 2’si olarak hesaba katılmaktadır. Ek olarak, periyodik bakım maliyeti analiz edilirken enerji sistemi değer kaybı, enflasyon oranı ve enerji sisteminin ömrü dikkate alınmaktadır. Denklem 3.20’de enerji sistemine ait periyodik bakım maliyeti verilmiştir. Denklem 3.20’de PWC_m ile yıllara göre periyodik bakım maliyeti, cari yıla ait bakım maliyeti M ile, enflasyon oranı i ile, enerji sistemi değer kaybı oranı d ile, ömür süresi N ile ifade edilmektedir (Bouzguenda vd., 2014: 83).

$$PWC_m = \frac{M}{yr} \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \left(\frac{1 - \frac{N(1+i)}{1+d}}{1 - \frac{1+i}{1+d}} \right) \quad (3.20)$$

Enerji sistemine ait toplam maliyet değeri LCC ile ifade edilmekte ve denklem 3.21 ile gösterilmektedir. LCC; C_{pv} , C_B , C_{inv} , PWC_m ve I_{cpv} değerlerinin toplamı ile ifade edilmektedir (Ju vd., 2017: 307).

$$LCC = C_{pv} + C_B + C_{inv} + PWC_m + I_{cpv} \quad (3.21)$$

4.FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Çalışmada; analiz ve sistem tasarımı için PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı kullanılmıştır. PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı ile şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı sistemleri tasarlamak, teknik ve ekonomik analizlerini yapmak mümkündür. Bu bölümde; genel olarak şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı sistemlerin tasarımları yapılmıştır. Şebekeden bağımsız sistemler için farklı panel türlerinde ve açılarında gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilme adımları verilmiştir. Panel yönelim ve takip sisteminin, enerji sistemi üretimini nasıl etkilediğinin tespiti için; farklı panel takip sistemli 5 adet çalışma gerçekleştirmiştir. Bunlar sırasıyla; sabit açılı 40°, mevsimsel farklı açılı (yaz 19°- kış 54°), tek eksen dikey takip, tek eksen yatay takip ve çift eksen takip sistemli çalışmalardır. Ayrıca; farklı panel üretim tekniklerinin enerji üretimi üzerindeki etkisini incelemek için sabit açılı bir sistemin monokristal, polikristal ve ince film panel çeşitleri kullanılarak teknik analizi yapılmıştır.

Bilecik İlinin fotovoltaik enerji sistemlerinden üretim potansiyelini değerlendirmek üzere ve çalışmanın ileride yapılacak çalışmalara kaynak olabilmesi için 2 kW kurulu güç değerine sahip şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sisteminin teknik ve ekonomik tasarımı yapılmıştır.

4.1. Farklı panel takipli şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız FV güç sistemleri, şebekeden uzak ve az miktarda enerjiye gereksinim duyan yerlerde kullanılmaktadır (Ghafoor ve Munir, 2015: 497). Bu sistemler; enerji gereksinimini fosil kaynaklardan karşılayan sistemlerle karşılaştırıldıklarında işletme, bakım ve temizlik giderlerinin az olması sebebiyle avantajlıdır (Bosman vd., 2020: 398).

Bu bölümde; şebekeden bağımsız 550 W kurulu güç değerine sahip fotovoltaik enerji sisteminin; 40° sabit açılı, mevsimsel açılı (yaz 19°-kış 54°), tek eksen dikey takip, tek eksen yatay takip ve çift eksen takip sistemlerinin simülasyon gerçekleştirme aşamaları verilmiştir.

Enerji sisteminin kurulması planlanan bölgeye ait 40.1933 °N ve 29,9664 °E koordinat bilgileri şekil 3.4.'te yer alan menüde girilerek yöreye ait meteorolojik veriler sentetik olarak üretilmiştir. Sentetik veriler tablo 4.1.'de sunulmuştur.

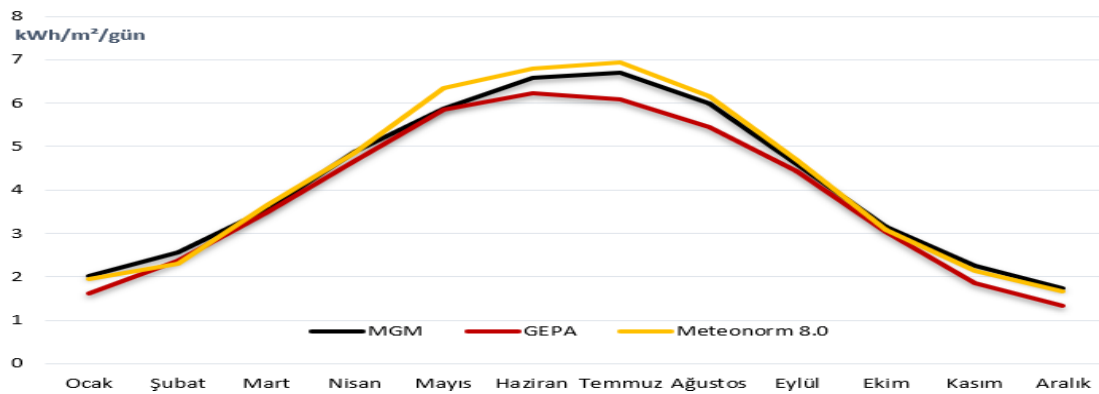
Meteororm 8.0 ile üretilen sentetik verilerin doğruluğu, Meteoroloji Genel Müdürlüğünün Türkiye Global Güneş Işınımı Uzun Yıllar Ortalaması verileri (MGM, 2023) ve Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA, 2023) ile

analiz edilebilir. Meteonorm 8.0 ile üretilen sentetik veriler ile MGM ve GEPA verileri şekil 4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Meteonorm 8.0 ile üretilen sentetik veriler

	Küresel yatay ışınım (kWh/m ² /ay)	Yatay Işınım (kWh/m ² /ay)	Sıcaklık (°C)	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl nem (%)
Ocak	58.5	29.7	1.2	2.5	81.5
Şubat	69.3	37.9	3	2.59	76.2
Mart	109.6	60	7	2.7	66.9
Nisan	145.4	72	11.1	2.5	66.1
Mayıs	190.6	72.9	16.4	2.39	62.5
Haziran	203.8	78.5	20.4	2.49	60.7
Temmuz	208.5	81.2	24	2.79	55.2
Ağustos	184.6	67.8	24	2.8	54.7
Eylül	141.0	56.3	18.7	2.3	62.1
Ekim	92.5	45.3	13.2	2	70.5
Kasım	64.2	30.3	7.4	2	76
Aralık	50	28.4	2.7	2.29	81.3
Yıl	1518.0	660.3	12.4	2.4	67.8

Özbay ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları çalışmaları sonucu, Bilecik İlnde sabit açılı fotovoltaik enerji sisteminden en yüksek oranda enerji üretebilmek için panel eğim açısı 20° ya da 40° değerinde olması gerektiğini saptamışlardır. Bu sebeple; çalışmada sabit açılı fotovoltaik enerji sisteminin panel eğim açısı 40° olarak belirlenmiştir (Özbay vd., 2017: 312).



Şekil 4.1. Meteonorm 8.0, MGM ve GEPA verilerin karşılaştırılması

Mevsimsel açılı fotovoltaik enerji sisteminin yaz ve kış mevsimlerindeki optimum panel eğim açıları Photovoltaic Geographical Information (PVGIS) aracılığıyla hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde; Bilecik İlinde, panel eğim açısı yaz mevsiminde 19°, kış mevsiminde ise 54° olduğunda fotovoltaik enerji sistemlerinden üretilebilecek enerjinin en yüksek değerde olduğu görülmüştür (PVGIS, 2023). Bu sebeple çalışmada mevsimsel açılı fotovoltaik enerji sisteminin panel eğim açısı yaz mevsiminde 19°, kış mevsiminde ise 54° olarak belirlenmiştir.

PVsyst simülasyon yazılımında şebekeden bağımsız sistemin kurulu gücünü ve akü kapasitesini bulabilmek için kullanıcı ihtiyaçlarını da belirlemek gerekmektedir. Sistem Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Enerji Ölçüm Laboratuvarının enerji gereksinimini karşılayacak şekilde planlanmıştır. Laboratuvar için gerekli olan günlük minimum enerji ihtiyacı tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Laboratuvarın günlük minimum enerji tüketim değerleri

Sıra No	Cihaz	Güç (kW)	Sayı	Ortalama Günlük Kullanım	Günlük Enerji (Wh)
1	LED	15 W	5	6 saat	450
2	Dizüstü Bilgisayar	120 W	2	6 saat	1440
3	Yazıcı	30 W	1	2 saat	60
4	Fan	2 W	10	6 saat	120
5	Bekleme modu tüketimi	1 W		24 saat	24
	Toplam günlük enerji				2094 Wh/gün
	Toplam aylık enerji				62.82 kWh/ay

PVsyst 7.2 simülasyon yazılımında birçok marka, model ve güçte panel, akü, evirici vb. sistem elemanları yer almaktadır. Simülasyon aşamasında tasarlanacak enerji sistemi için JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet seçilmiştir. Seçilen panele ait boyut bilgileri; 19 kg, 1.65 x 0.992 x 0.04 m ve yüzey alanı 1.64 m² dir.

Çalışmada; kurşun-asit aküden TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model bir adet seçilmiştir. Kurşun asit aküler; düşük bakım maliyetleri, yüksek verimleri ve işletme güvenliğinden dolayı şebekeden bağımsız güneş enerji sistemlerinde genellikle tercih edilmektedir.

Tablo 4.3.'te simülasyon yazılımında seçilen panele ait teknik veriler (JINKOSOLAR, 2023) ve tablo 4.4.' te akünün standart test koşulları [STC (1kW/m² ışımaya ve 25° sıcaklık)] altındaki teknik verileri (TN POWER, 2023) sunulmuştur.

Tablo 4.3. Panele ait teknik veriler

Model	JKM275PP-60
Üretici	JİNKO SOLAR
Teknoloji	Si-poly
Nominal Güç	275 Wp
Boyut	1,65x0,992x0,04 m
Yüzey Alanı	1.637 m ²
Ağırlık	19 Kg
Hücre Sayısı	60
Kısa Devre Akımı	9,150 A
Açık Devre Gerilimi	39,1 V
Maksimum Güç Akımı	8,61 A
Maksimum Güç Gerilimi	31,9 V
Panel Çalışma Sıcaklığı	45±2 °C
Sıcaklık Katsayısı	-0,39 %/°C

Tablo 4.4. Aküye ait teknik veriler

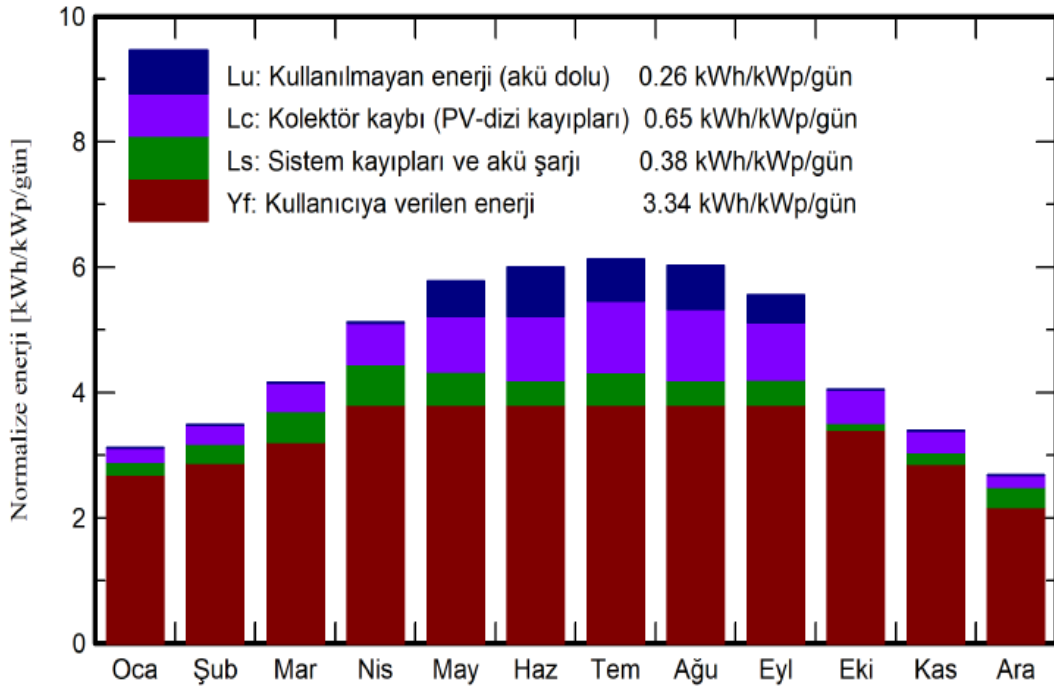
Model	TNG 12-200
Üretici	TN POWER
Teknoloji	Kurşun-Asit
Boyut	0,52x0,239x0,225 m
Ağırlık	63,2 Kg
İç Direnç	2,7 mΩ
Nominal Gerilim	12 V
Kapasite	200 Ah
Coulomb Verimi	%97
Sayı	1
Özerk Gün Sayısı	4 Gün
Statik Ömrü	5 Yıl
20 °C için	

Fotovoltaik enerji sisteminin tasarımı için gerekli olan ana parametrelerin tanımlama işleminin tamamlanması ardından simülasyon çalıştırılmıştır.

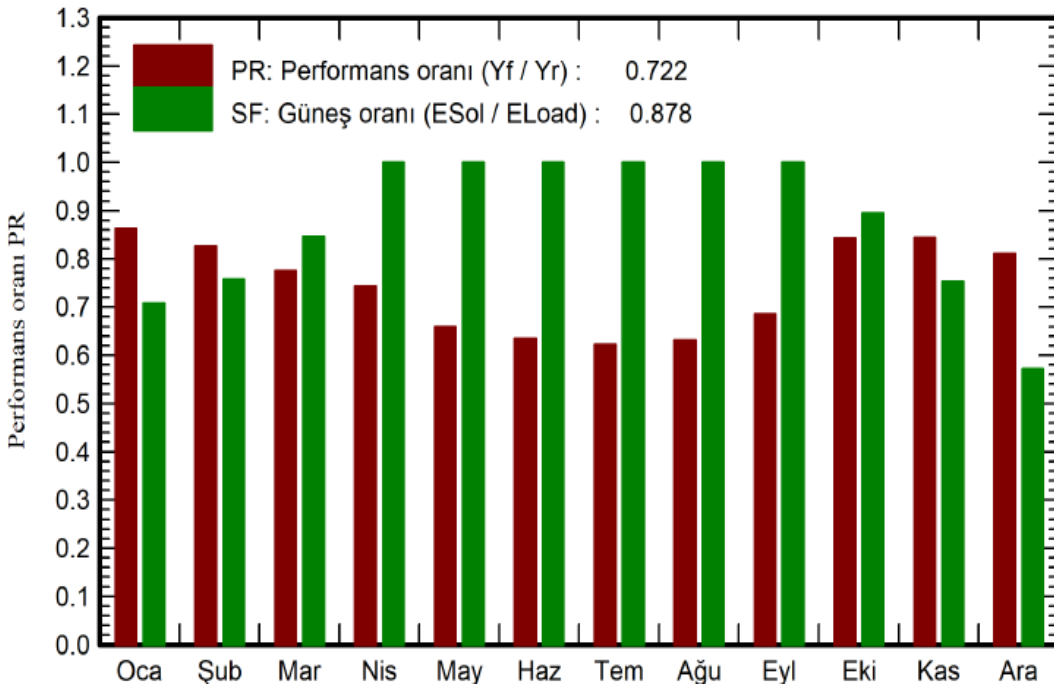
4.1.1.Sabit açılı sistem

PVsyst açılış ekranından “Şebekeden bağımsız” seçilmiştir. Proje ismi belirlendikten sonra “Veritabanları” bölümünde tanımlanan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi konumuna ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. Proje ismi ve lokasyon bilgileri tanımlandıktan sonra “Ana parametreler” bölümü aktif hale gelmektedir. Bu kısımda proje için gerekli olan “Yönlendirme”, “Kullanıcı ihtiyaçları” ve “Sistem” bölümlerine gerekli tanımlamalar yapılmaktadır. İlk olarak “Yönlendirme” sekmesi seçilerek panel eğim açısı 40° ve azimut açısı 0° olarak belirlenmiştir. “Alan tipi” bölümünden “Sabit eğik düzlem” seçeneği işaretlenmiştir. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. Simülasyon aşamasının son adımı olarak proje sayfasından “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. Simülasyon için ana parametreler girildikten sonra proje

sayfasında “Simülasyonu yürüt” seçeneği aktif hale gelmektedir. Bu kısım seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.2’ de normalize üretim, şekil 4.3.’ te performans oranı ve tablo 4.5.’ te ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.2. Sabit sistem normalize üretim değerleri



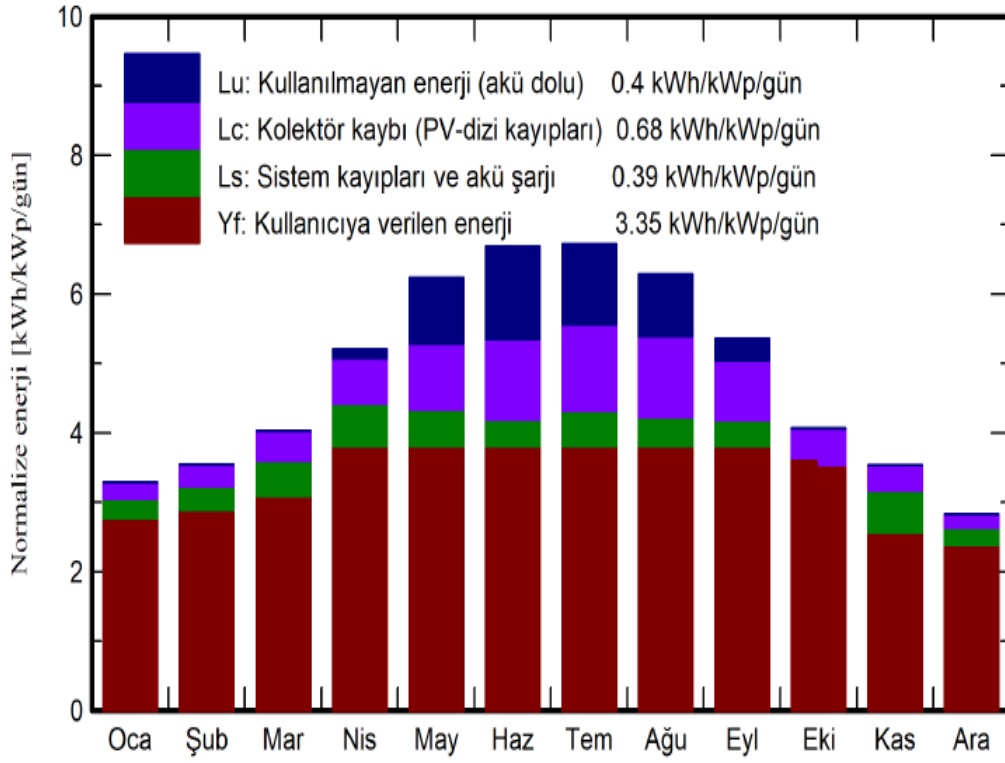
Şekil 4.3. Sabit sistem performans oranı

Tablo 4.5. Sabit sistem bilanço ve genel sonuçlar

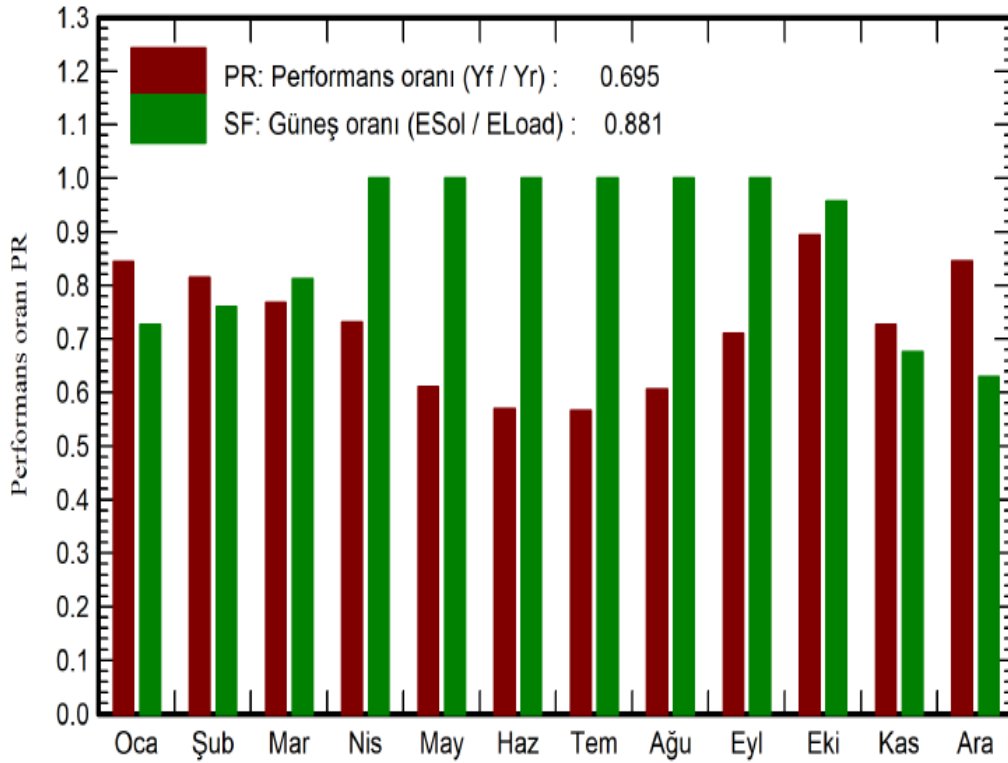
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	94.8	47.28	19.0	64.91
Şubat	69.3	95.6	46.73	14.25	58.63
Mart	109.6	125.8	60.29	10.0	64.91
Nisan	145.4	149.3	70.24	0	62.82
Mayıs	190.6	173.2	79.9	0	64.91
Haziran	203.8	173.9	78.93	0	62.82
Temmuz	208.5	183.6	81.76	0	64.91
Ağustos	184.6	181.3	80.38	0	64.91
Eylül	141.0	162.4	73.47	0	62.82
Ekim	92.5	122.8	57.29	6.79	64.91
Kasım	64.2	99.9	47.95	15.53	62.82
Aralık	50	81.6	40.55	27.78	64.91
Toplam	1518.0	1644.2	764.77	93.36	764.31

4.1.2. Mevsimsel farklı açılı sistem

PVsyst açılış ekranından “Şebekeden bağımsız” seçilmiştir. Proje ismi belirlendikten sonra “Veritabanları” bölümünde tanımlanan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi konumuna ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. İlk olarak “Yönlendirme” sekmesi seçilerek açılan sayfada “Alan tipi” bölümünden “Mevsimsel eğim ayarı” seçeneği işaretlenmiştir. Sistemin panel eğim açısı yaz mevsimi için 19° ve kış mevsimi için 54° seçilmiştir. Azimut açısı 0° olarak belirlenmiştir. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. Simülasyon aşamasının son adımı olarak proje sayfasından “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.4’ te normalize üretim, şekil 4.5.’ te performans oranı ve tablo 4.6.’ da ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.4. Mevsimsel sistem normalize üretim değerleri



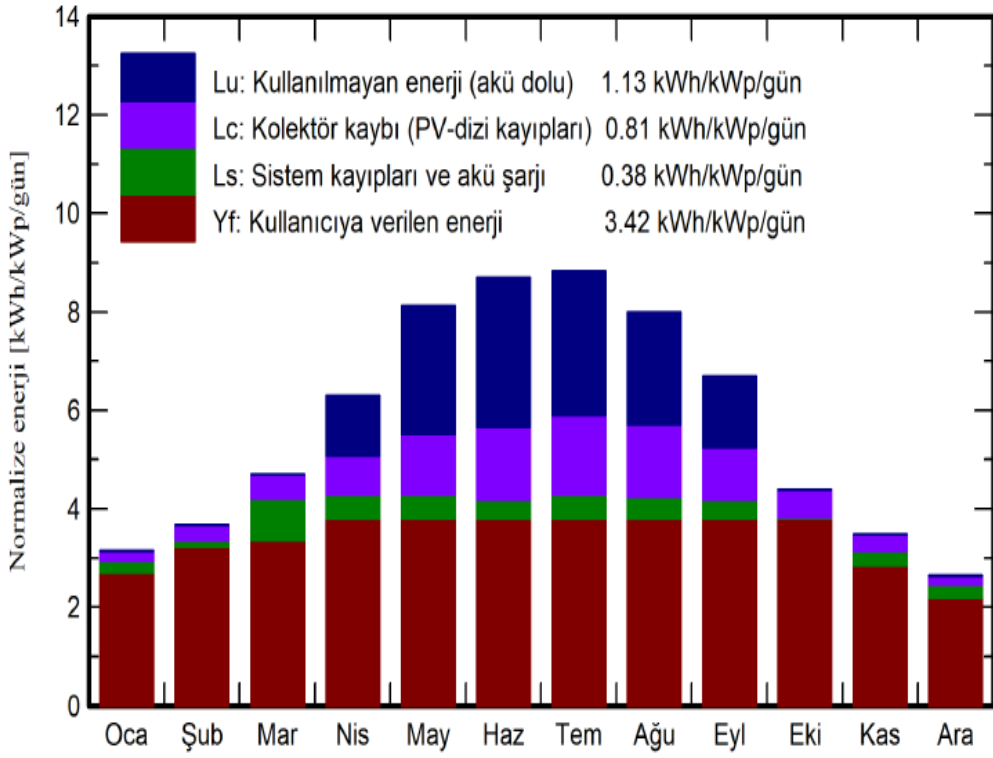
Şekil 4.5. Mevsimsel sistem performans oranı

Tablo 4.6. Mevsimsel sistem bilanço ve genel sonuçlar

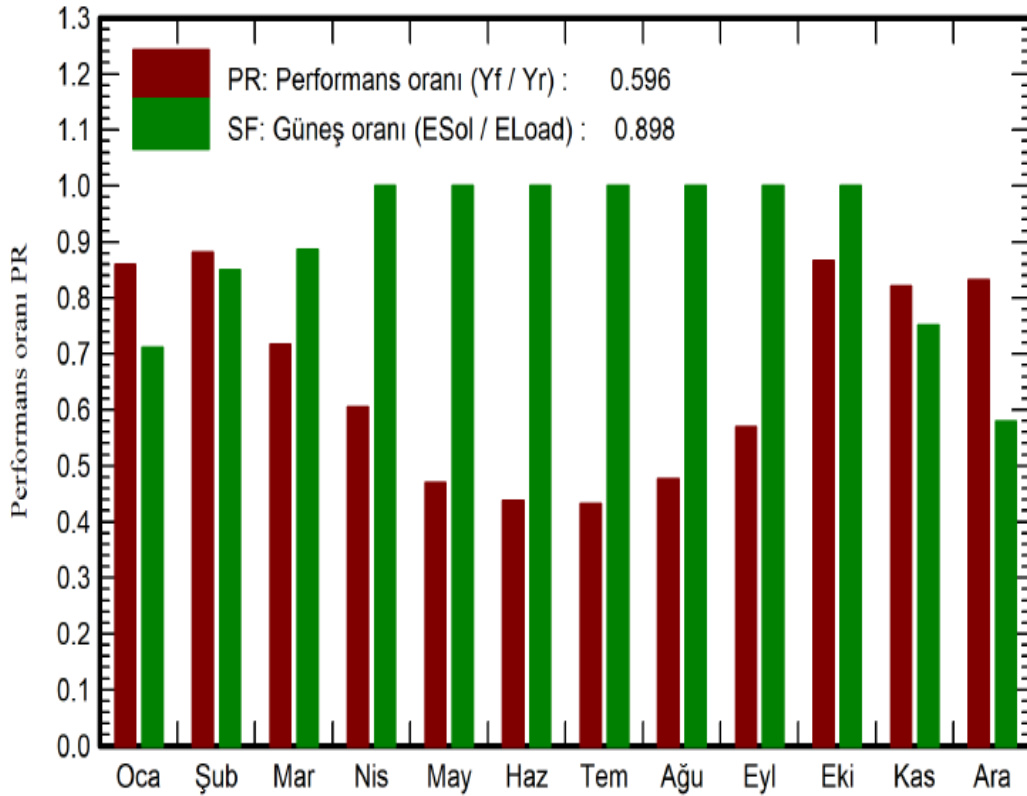
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	100.3	49.69	17.7	64.91
Şubat	69.3	97.6	47.45	14.1	58.63
Mart	109.6	121.8	58.42	12.18	64.91
Nisan	145.4	151.9	71.91	0	62.82
Mayıs	190.6	188.0	86.86	0	64.91
Haziran	203.8	194.9	88.28	0	62.82
Temmuz	208.5	202.5	90.18	0	64.91
Ağustos	184.6	189.6	84.3	0	64.91
Eylül	141.0	156.1	71.26	0	62.82
Ekim	92.5	123.7	57.55	2.82	64.91
Kasım	64.2	104.6	49.82	20.35	62.82
Aralık	50	86.6	42.73	24.08	64.91
Toplam	1518.0	1717.6	798.45	91.23	764.31

4.1.3. Tek eksen dikey takip sistemi

“Şebekeden bağımsız” bölümünde proje ismi belirlendikten sonra Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi konumuna ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. “Yönlendirme” sekmesi seçilerek açılan sayfada “Alan tipi” bölümünden “Takipçi, dikey eksen” seçeneği işaretlenmiştir. Sistemin panel eğim açılarında herhangi bir değişiklik yapılmamış ve azimut açısı 0° olarak belirlenmiştir. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.6’ da normalize üretim, şekil 4.7.’ de performans oranı ve tablo 4.7.’ de ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.6. Dikey eksen normalize üretim değerleri



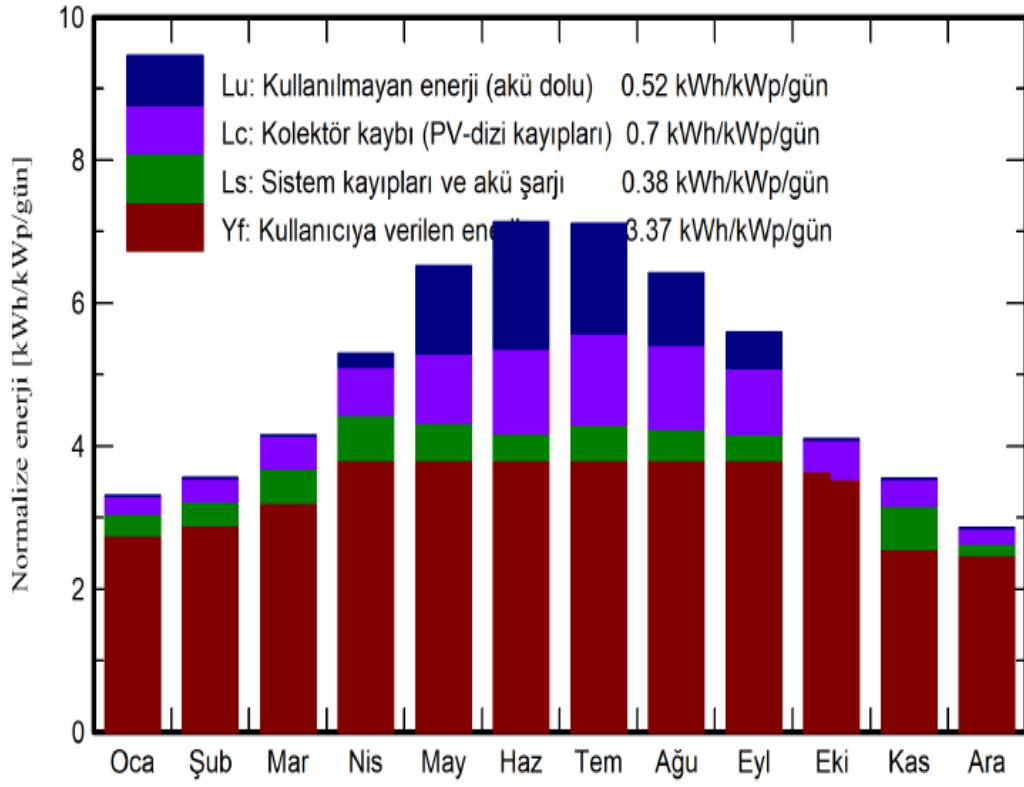
Şekil 4.7. Dikey eksen performans oranı

Tablo 4.7. Dikey eksen bilanço ve genel sonuçlar

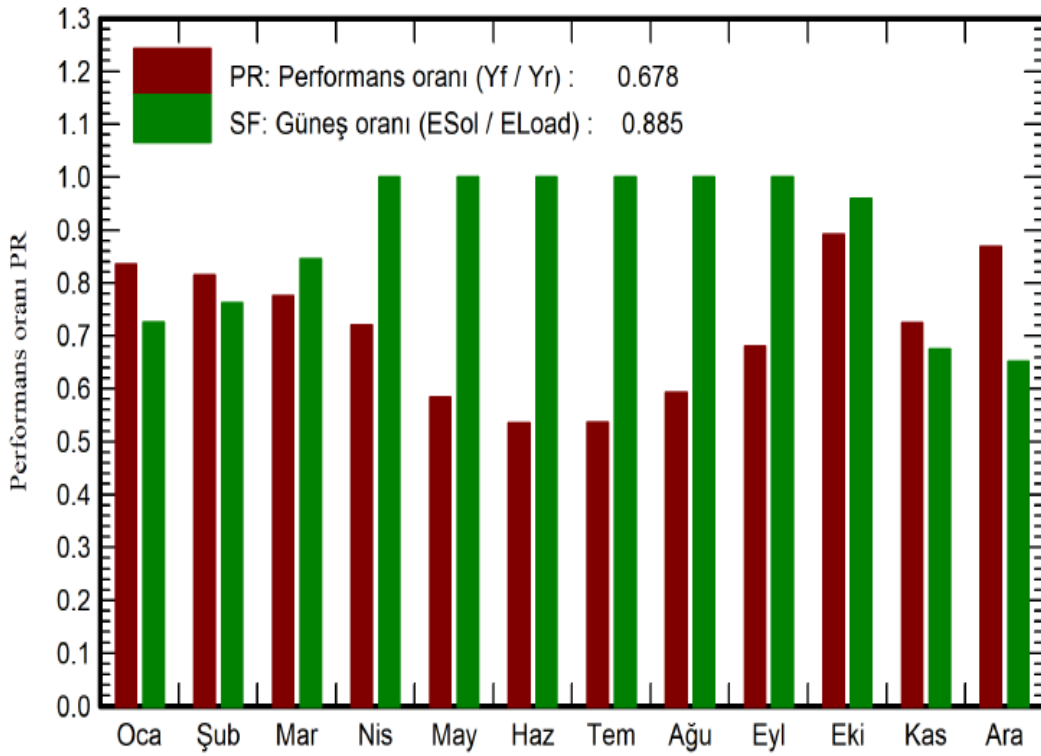
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	95.7	48.0	18.8	64.91
Şubat	69.3	100.9	49.6	8.83	58.63
Mart	109.6	143.4	68.7	7.45	64.91
Nisan	145.4	186.4	88.1	0	62.82
Mayıs	190.6	248.7	114.6	0	64.91
Haziran	203.8	258.0	116.4	0	62.82
Temmuz	208.5	270.3	120.1	0	64.91
Ağustos	184.6	245.1	108.3	0	64.91
Eylül	141.0	197.8	89.8	0	62.82
Ekim	92.5	134.0	62.7	0	64.91
Kasım	64.2	102.6	49.5	15.66	62.82
Aralık	50	80.3	40.2	27.34	64.91
Toplam	1518.0	2063.2	955.8	78.08	764.31

4.1.4. Tek eksen yatay takip sistemi

“Şebekeden bağımsız” bölümünde proje ismi belirlendikten sonra Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi konumuna ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. “Yönlendirme” sekmesi seçilerek açılan sayfada “Alan tipi” bölümünden “Takipçi, yatay eksen” seçeneği işaretlenmiştir. Sistemin panel eğim açılarında herhangi bir değişiklik yapılmamış ve azimut açısı 0° olarak belirlenmiştir. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.8’ de normalize üretim, şekil 4.9.’ da performans oranı ve tablo 4.8.’ de ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.8. Yatay eksen normalize üretim değerleri



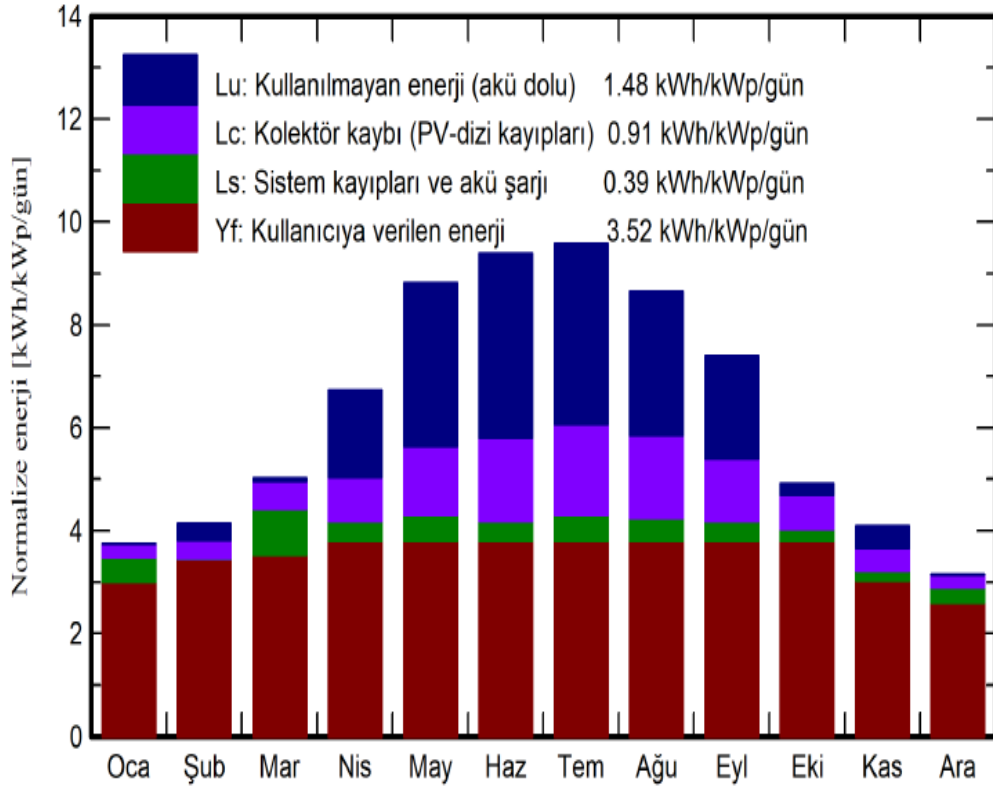
Şekil 4.9. Yatay eksen performans oranı

Tablo 4.8. Yatay eksen bilanço ve genel sonuçlar

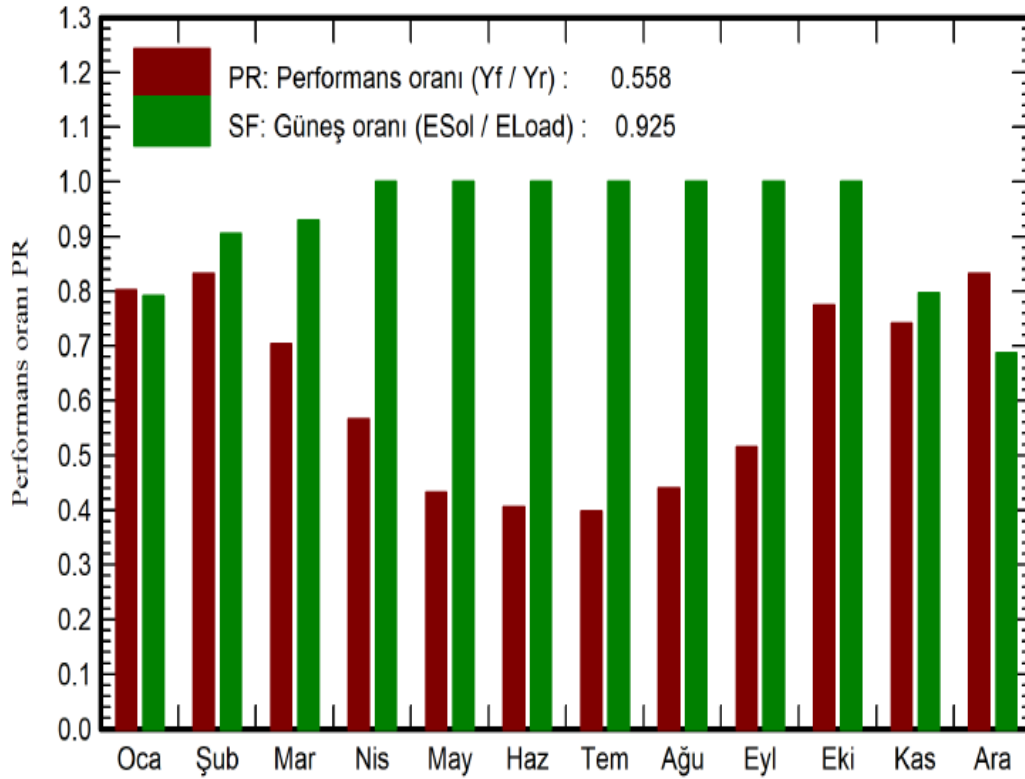
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	100.8	49.9	17.81	64.91
Şubat	69.3	97.6	47.47	13.95	58.63
Mart	109.6	125.3	60.05	10.07	64.91
Nisan	145.4	154.3	72.87	0	62.82
Mayıs	190.6	196.7	91.44	0	64.91
Haziran	203.8	208.5	95.27	0	62.82
Temmuz	208.5	214.7	96.43	0	64.91
Ağustos	184.6	193.9	86.31	0	64.91
Eylül	141.0	163.4	74.03	0	62.82
Ekim	92.5	124.1	57.78	2.65	64.91
Kasım	64.2	104.6	49.82	20.41	62.82
Aralık	50	87.2	42.92	22.62	64.91
Toplam	1518.0	1771.2	824.3	87.51	764.31

4.1.5.Çift eksen takip sistemi

“Şebekeden bağımsız” bölümünde proje ismi belirlendikten sonra konuma ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. “Yönlendirme” sekmesi seçilerek açılan sayfada “Alan tipi” bölümünden “Çift eksenli takipçi sistemi” seçeneği işaretlenmiştir. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.10’ da normalize üretim, şekil 4.11.’ de performans oranı ve tablo 4.9.’ da ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.10. Çift eksen normalize üretim değerleri



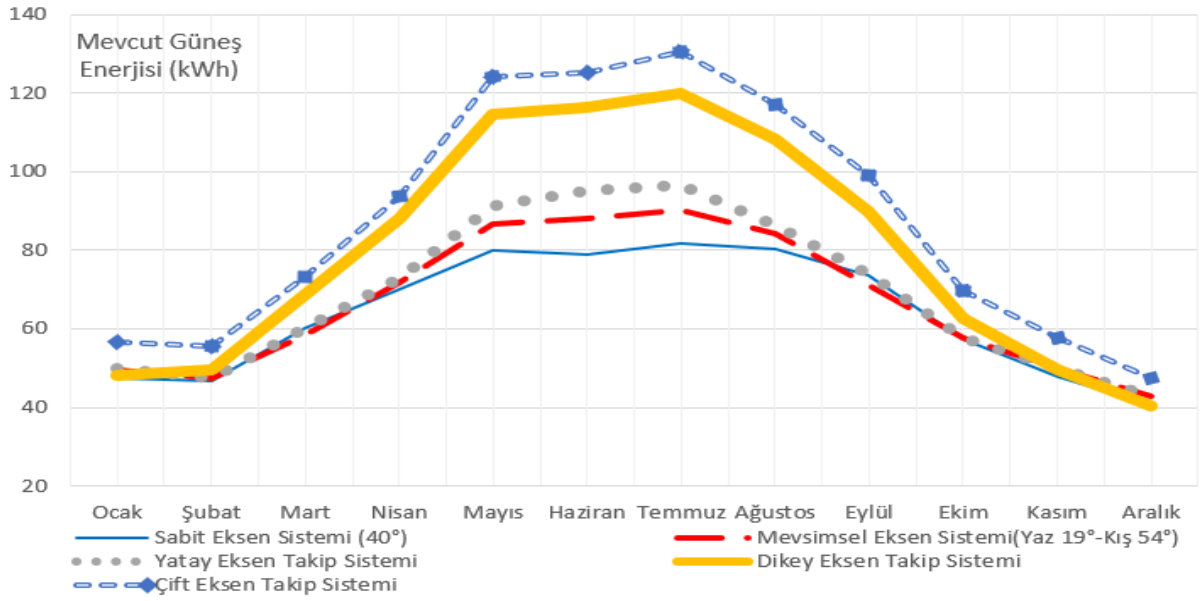
Şekil 4.11. Çift eksen performans oranı

Tablo 4.9. Çift eksen bilanço ve genel sonuçlar

	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	115.6	56.7	13.57	64.91
Şubat	69.3	114.8	55.5	5.63	58.63
Mart	109.6	154.1	73.1	4.63	64.91
Nisan	145.4	199.8	93.9	0	62.82
Mayıs	190.6	271.3	124.3	0	64.91
Haziran	203.8	279.6	125.3	0	62.82
Temmuz	208.5	295.1	130.4	0	64.91
Ağustos	184.6	266.5	117.0	0	64.91
Eylül	141.0	220.4	99.0	0	62.82
Ekim	92.5	151.4	69.7	0	64.91
Kasım	64.2	121.9	57.6	12.8	62.82
Aralık	50	96.6	47.3	20.39	64.91
Toplam	1518.0	2287.1	1049.9	57.03	764.31

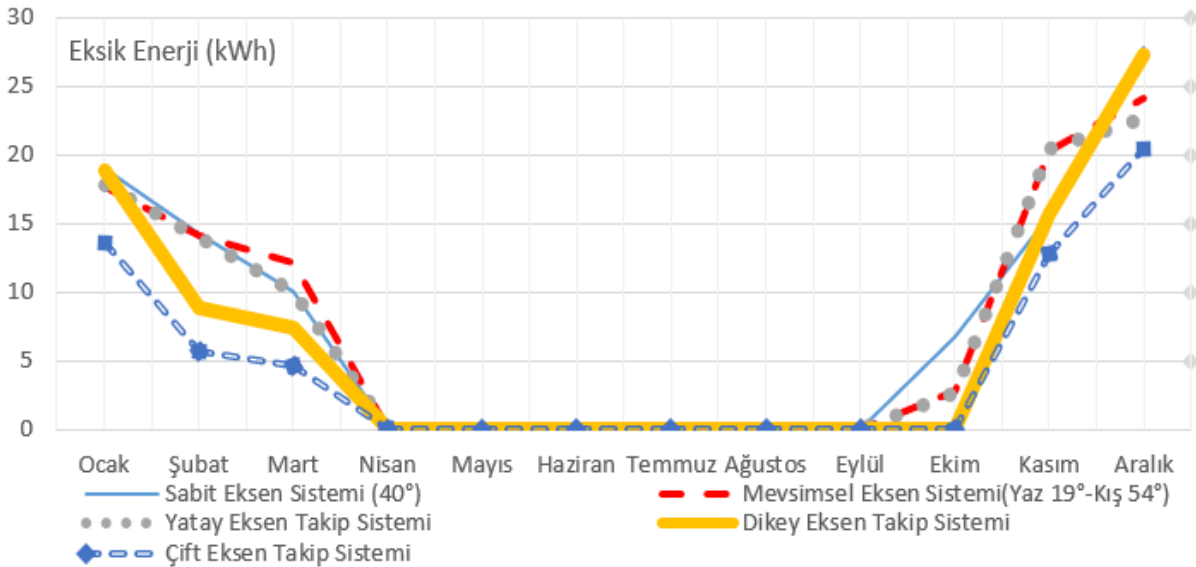
4.1.6. Takip sistemlerinin performans analizi

Analizi yapılan beş durum arasında; yıllık toplam enerji üretim değerleri en yüksek 1049.9 kWh/y ile çift eksen takip sisteminde, en düşük ise 764.77 kWh/y ile sabit eksen sisteminde görülmüştür. Beş durumda da enerji üretimi özellikle ışımanın fazla olduğu yaz aylarında artmıştır. Ayrıca; çift eksen takip sistemi en yüksek enerji üretim değerine sahip olmasına rağmen sistem kurulumunun, işletilmesinin ve bakım masraflarının fazla olması en büyük dezavantajlarıdır (Li vd., 2017: 6508). Beş farklı duruma ait mevcut enerjisi üretim verileri şekil 4.12.'de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Mevcut güneş enerjisi (kWh) (5 farklı takip sistemi için)

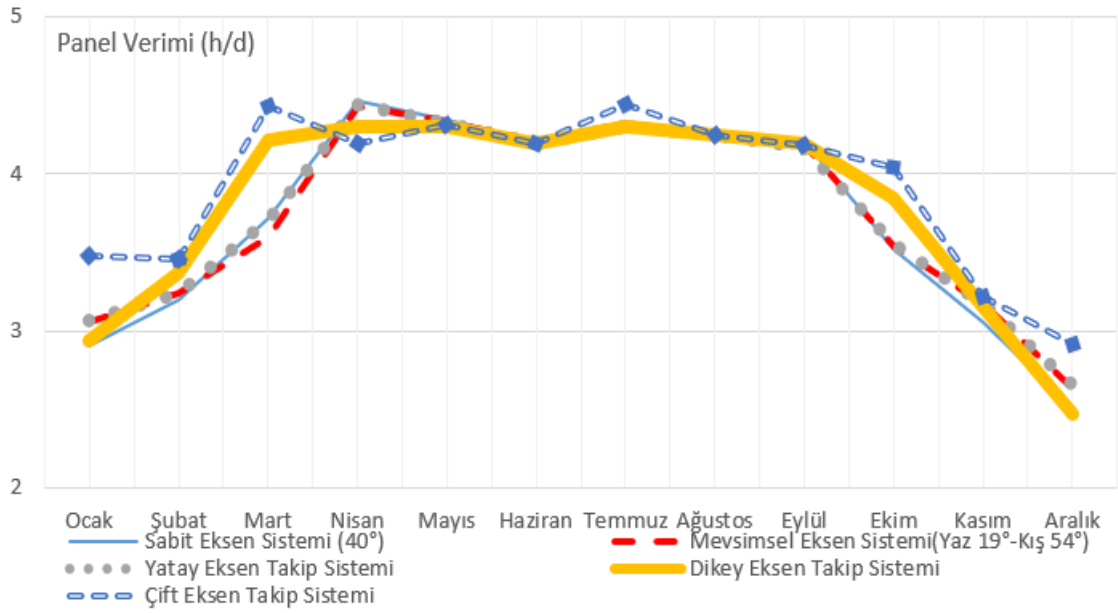
Maksimum kayıp enerjinin toplam yıllık değerleri; en yüksek 93.36 kWh/y ile sabit eksen sisteminde, en düşük ise 57.03 kWh/y ile çift eksen takip sisteminde olduğu görülmüştür. Kayıp enerji, genel olarak kış aylarında Bilecik ilinde ışımanın en az seviyelerde olması sebebiyle artmaktadır. Özellikle; güneşli gün sayısının arttığı Nisan ayından itibaren yaz ayları da dahil olmak üzere kayıp enerji oluşmamıştır. Şekil 4.13.'te, beş farklı duruma ait kayıp enerji değerlerini gösteren grafik sunulmuştur.



Şekil 4.13. Eksik enerji (kWh) (5 farklı takip sistemi için)

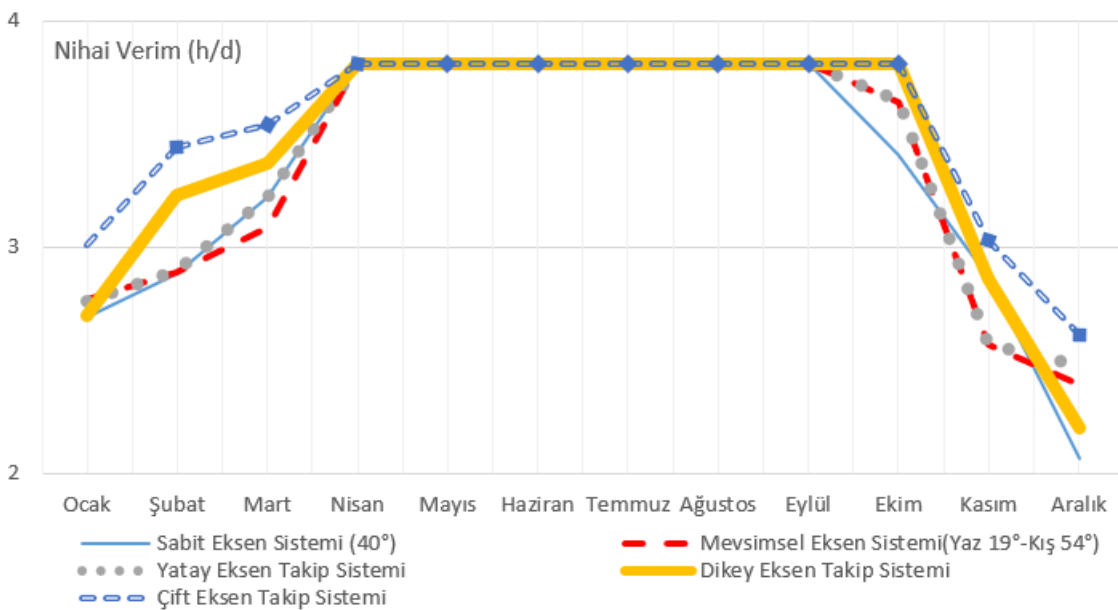
FV sistemlerine ait aylık panel verim değerleri; en yüksek 4.44 h/d ile Temmuz ayında çift eksen takip sisteminde, en düşük ise 2.47 h/d ile Aralık ayında dikey eksen takip sisteminde görülmüştür. Genel olarak beş farklı durumda da panel verim değerleri yaz

aylarında artıp kış aylarında ise azalmaktadır. Bu durumu ışınlım ve sıcaklık değerleri etkilemektedir (Li vd., 2017: 6508). Beş farklı duruma ait panel verimlerini gösterir grafik şekil 4.14.'te verilmiştir.



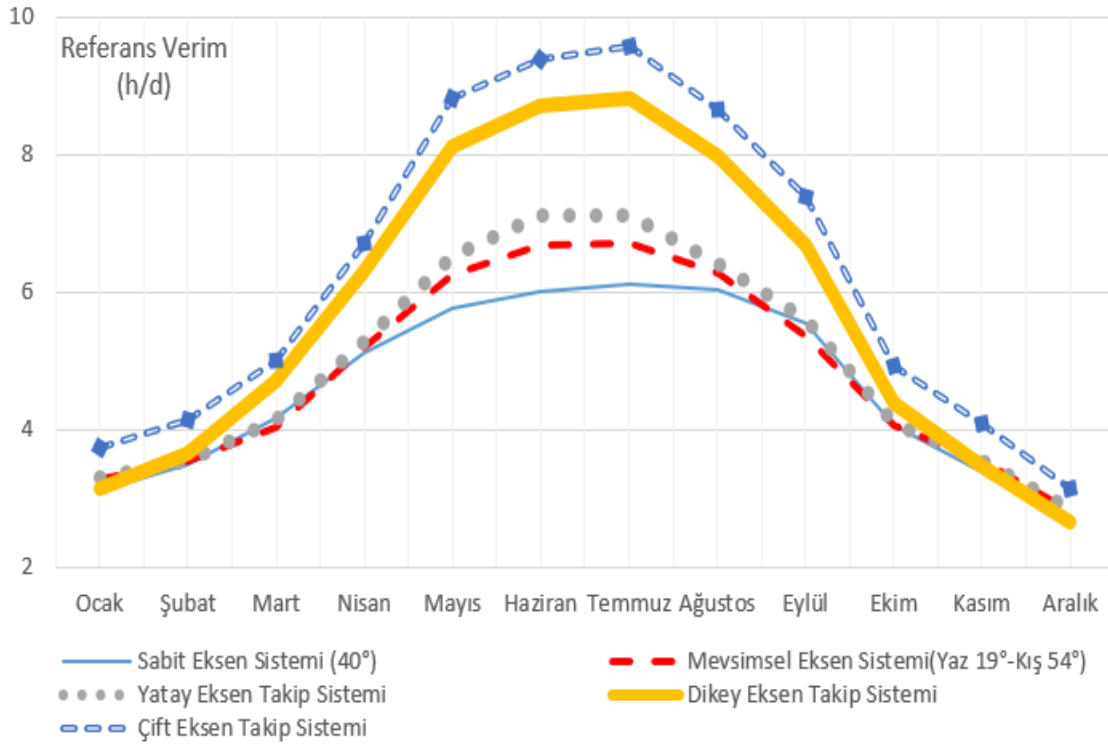
Şekil 4.14. Panel verimi (h/d) (5 farklı takip sistemi için)

Şekil 4.15.'te beş farklı güneş takip sistemine ait nihai verim değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde nihai verimin en yüksek olduğu değer 3.81 h/d olarak beş farklı durumda da aynıdır. Bu durumun sebebi ise özellikle ışımanın ve güneşli gün sayısının fazla olmasıdır. Nihai verim değerinin en düşük olduğu takip sistemi ise 2.07 h/d ile sabit eksen takip sisteminde Aralık ayında gözlemlenmiştir.



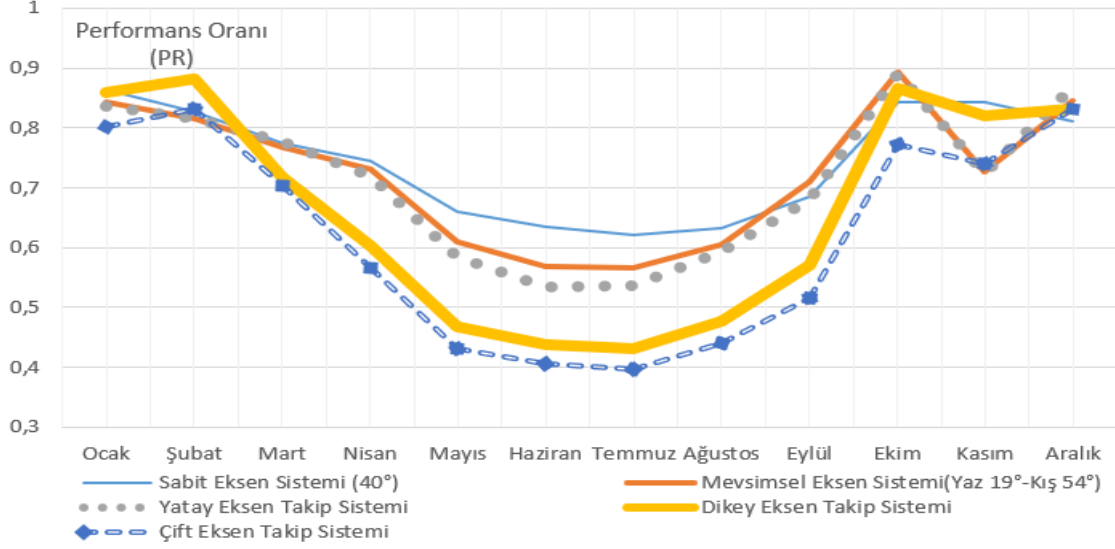
Şekil 4.15. Nihai verim (h/d) (5 farklı takip sistemi için)

Sistemlere ait aylık referans verim değerleri şekil 4.16.'da verilmiştir. Maksimum en yüksek değerler beş durumda da Temmuz ayında gerçekleşmiştir. En yüksek değer çift eksen takip sisteminde 9.58 h/d, maksimum en düşük değer ise sabit eksen sisteminde 6.12 h/d olarak görülmüştür.



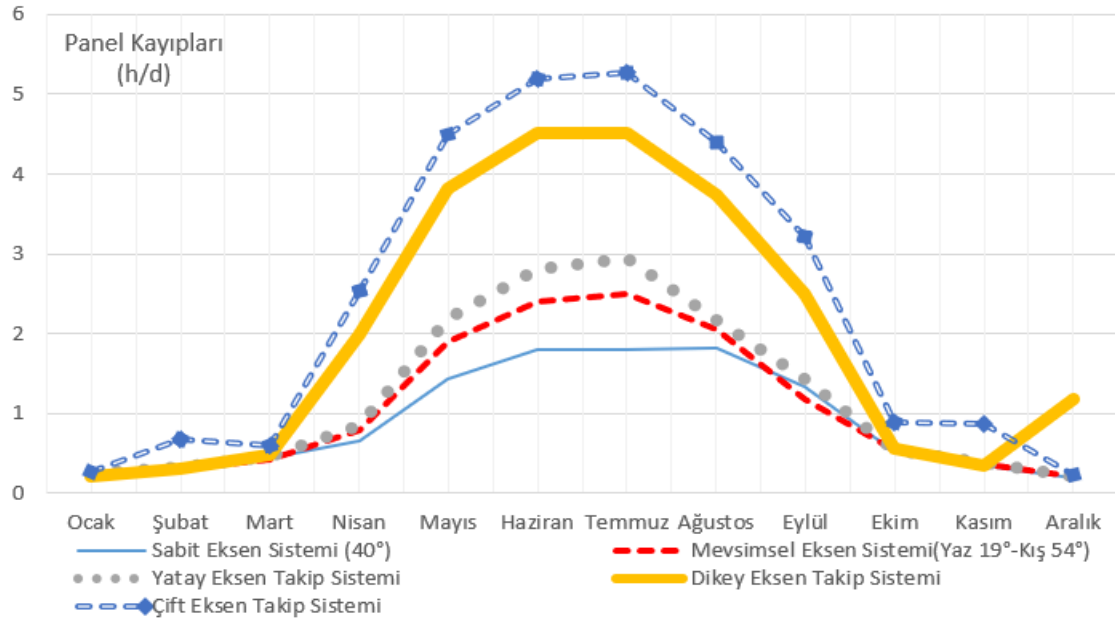
Şekil 4.16. Referans verim (h/d) (5 farklı takip sistemi için)

FV sistemlerine ait aylık ortalama performans oran değerleri; en yüksek 0.892 mevsimsel farklı açılı sistemde, en düşük ise 0.397 ile çift eksen takip sisteminde görülmüştür. Genel olarak beş farklı durumda da performans oranları kış aylarında artıp yaz aylarında ise azalmaktadır. Bu durumu sıcaklık, paneller arasındaki uyumsuzluk, kirlenme faktörü, gölgeleme, evirici kayıpları vb. durumlar etkilemektedir (Li vd., 2017: 6508). Beş farklı duruma ait performans oranlarını gösterir görsel şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Performans oranı (PR) (5 farklı takip sistemi için)

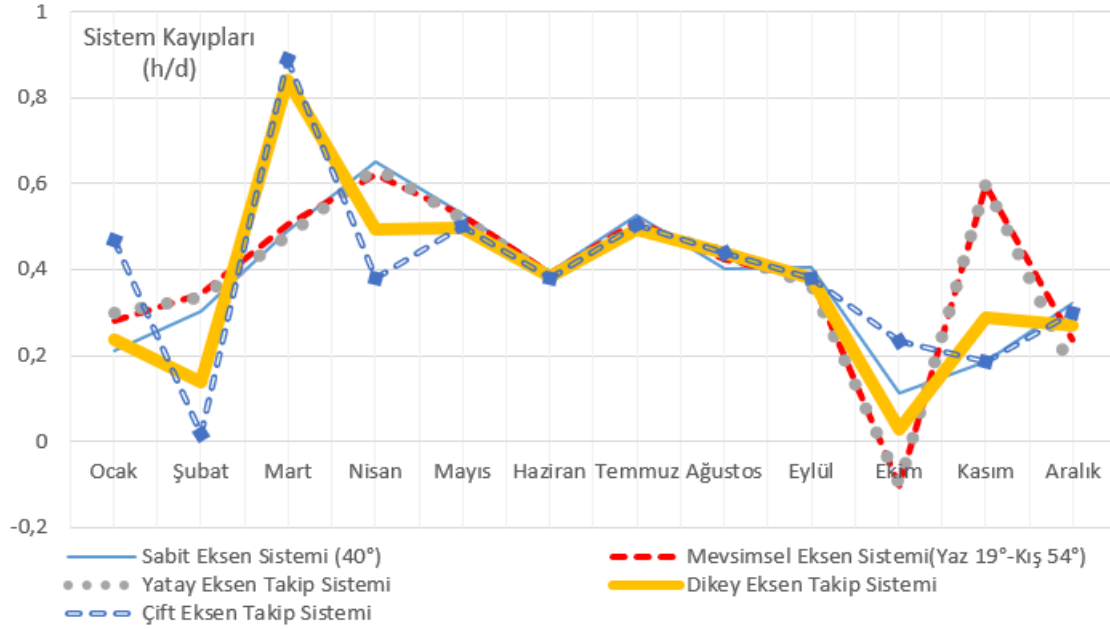
Sistemlere ait aylık panel kayıp değerleri şekil 4.18.'de verilmiştir. Maksimum en yüksek değerler beş durumda da Temmuz ayında gerçekleşmiştir. En yüksek değer çift eksen takip sisteminde 5.27 h/d ile, maksimum en düşük değer ise sabit eksen sisteminde 1.792 h/d olarak görülmüştür.



Şekil 4.18. Panel kayıpları (h/d) (5 farklı takip sistemi için)

Şekil 4.19.'da beş farklı eksen takip sistemine ait sistem kayıp değerlerini gösterir grafik sunulmuştur. Grafik incelendiğinde en yüksek kayıp değerleri; Nisan ayında sabit eksen sisteminde 0.651 h/d, mevsimsel eksen sisteminde 0.621 h/d, yatay eksen takip sisteminde 0.636 h/d, mart ayında dikey eksen takip sisteminde 0.842 h/d ve çift eksen takip

sisteminde ise 0.89 h/d değerindedir. En düşük kayıp değerleri ise sabit eksen, mevsimsel eksen, yatay eksen takip ve dikey eksen takip sistemleri için Ekim ayında sırasıyla; 0.114 h/d, 0.103 h/d, 0.101 h/d ve 0.03 h/d ve çift eksen takip sisteminde ise 0.016 h/d ile Şubat ayında görülmüştür.



Şekil 4.19. Sistem kayıpları (h/d) (5 farklı takip sistemi için)

Beş farklı güneş takip sistemine ait mevcut güneş enerjisi ve eksik enerji ile yıllık ortalama panel verimi, nihai verim, referans verimi, performans oranı, panel kayıpları ve sistem kayıpları tablo 4.10.'da sunulmuştur.

Tablo 4.10. Beş farklı güneş takip sisteminin performans sonuçları

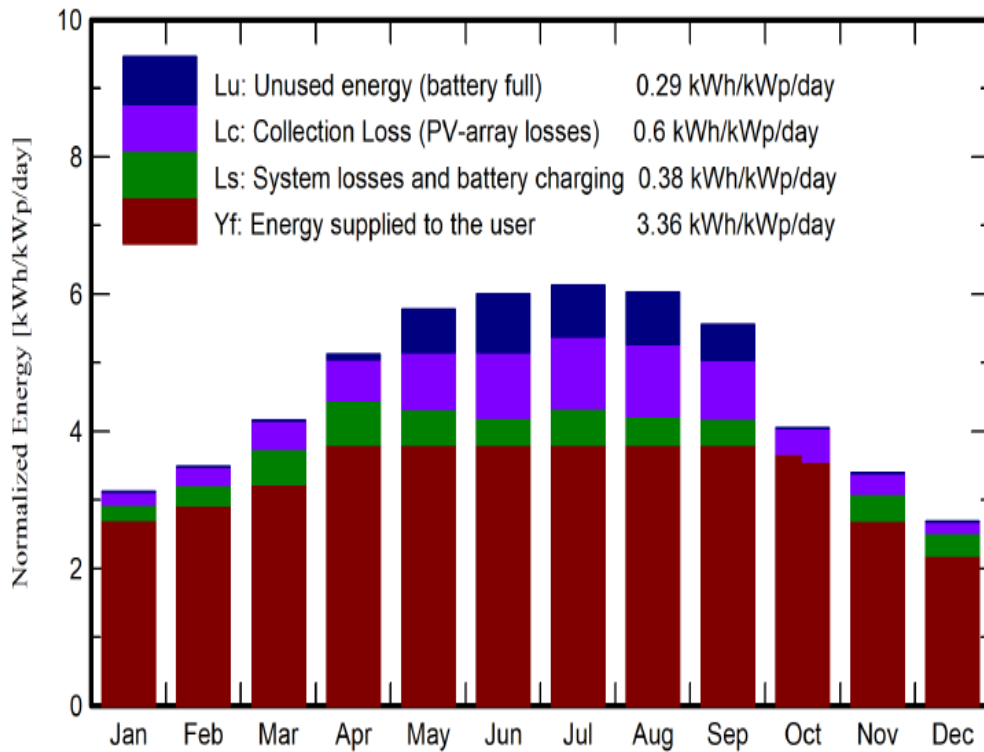
	Sabit	Mevsimsel	Tek eksen yatay	Tek eksen dikey	Çift eksen
Mevcut güneş enerjisi	764.77	795.45	824.29	956	1049.9
Eksik enerji	93.36	91.23	87.52	78.08	57.03
Panel verimi (yıllık)	3.72	3.74	3.75	3.79	3.925
Nihai verim (yıllık)	3.33	3.35	3.37	3.41	3.52
Referans verim (yıllık)	4.62	4.82	4.96	5.72	6.3
Performans oranı (yıllık)	0.744	0.724	0.713	0.663	0.620
Panel kayıpları (yıllık)	0.90	1.07	1.21	2.01	2.38
Sistem kayıpları (yıllık)	0.377	0.393	0.384	0.374	0.389

4.2. Farklı panellere sahip şebekeden bağımsız sistemler

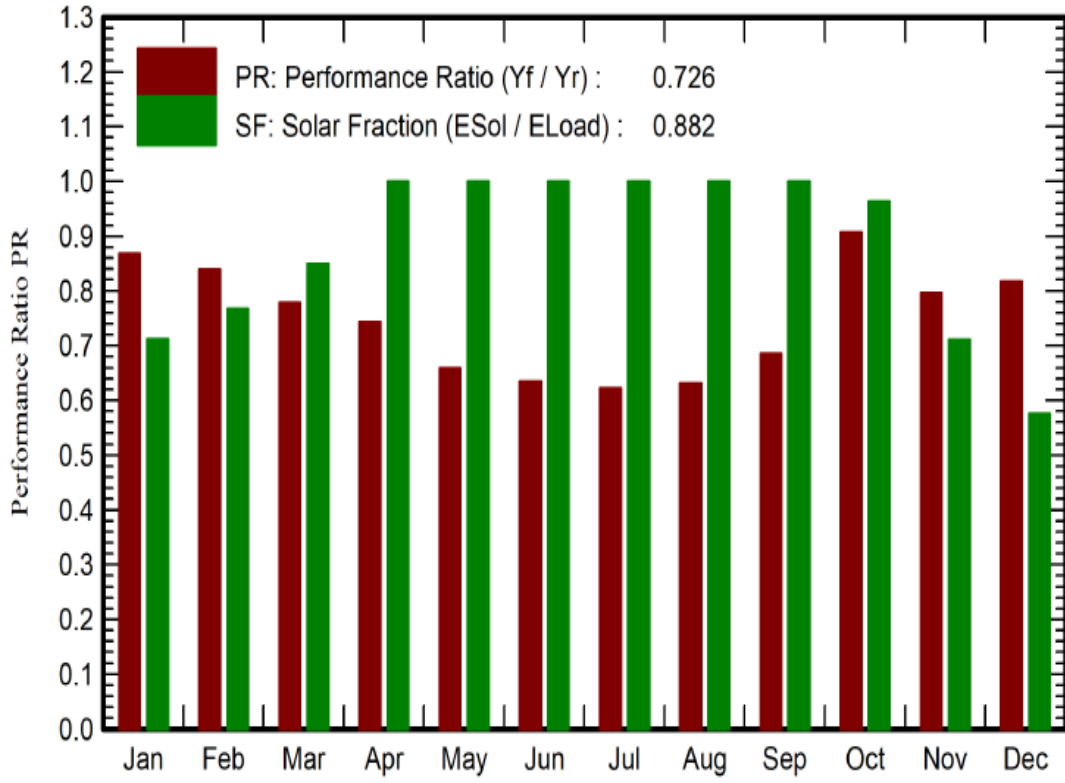
Bu bölümde 40° sabit açılı bir fotovoltaik enerji sisteminin panelleri farklı üretim tekniklerine sahip modellerden seçilmiştir. Monokristal, polikristal ve ince film paneller seçilerek 3 farklı simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece farklı panel türlerinin enerji üretim değerini ne kadar etkilediği değerlendirilmiştir.

4.2.1. Monokristal panele sahip sistem

“Şebekeden bağımsız” bölümünde proje ismi belirlendikten sonra konuma ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. “Yönlendirme” sekmesi seçilerek açılan sayfada “Alan tipi” bölümünden “Sabit eğik düzlem” seçeneği işaretlenerek panel eğim açısı 40°, azimut açısı ise 0° olarak tanımlanmıştır. Daha sonra proje sayfasından “Kullanıcı ihtiyaçları” bölümü açılarak tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275M-60V model, 275 Wp Si-mono panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.20’ de normalize üretim, şekil 4.21.’ de performans oranı ve tablo 4.11.’ de ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.20. Monokristal panel normalize üretim değerleri



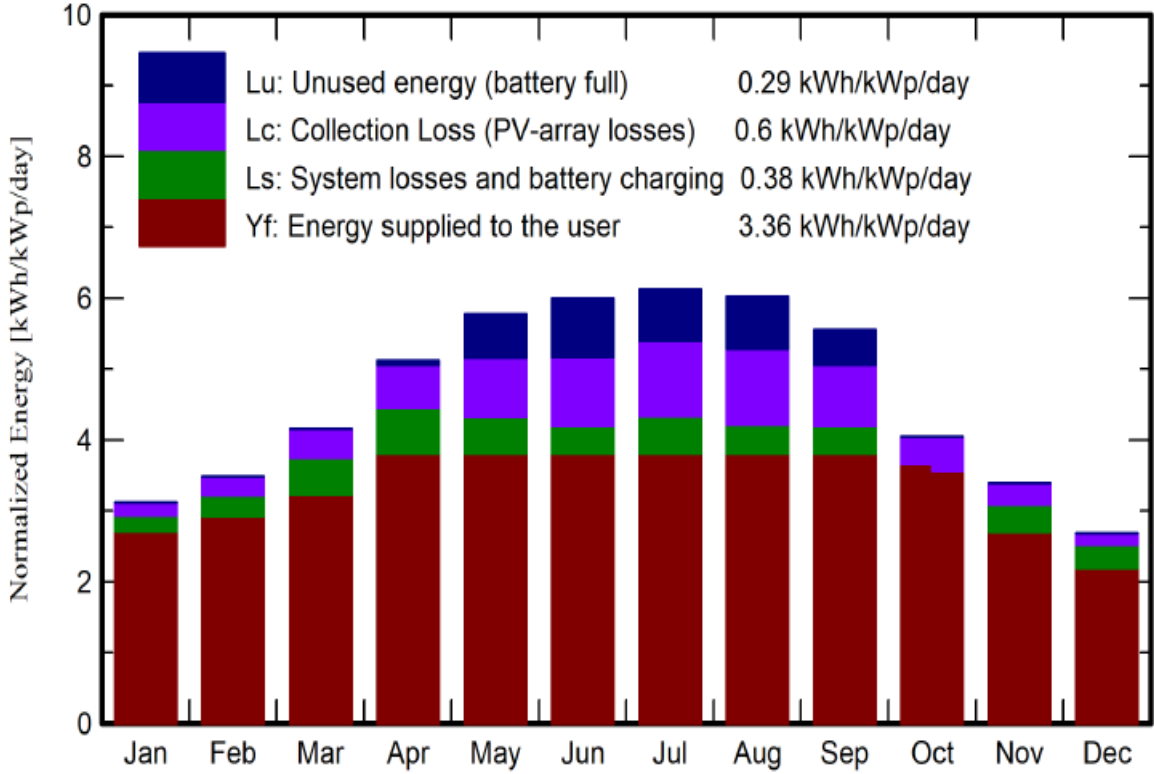
Şekil 4.21. Monokristal panel performans oranı

Tablo 4.11. Monokristal panel bilanço ve genel sonuçlar

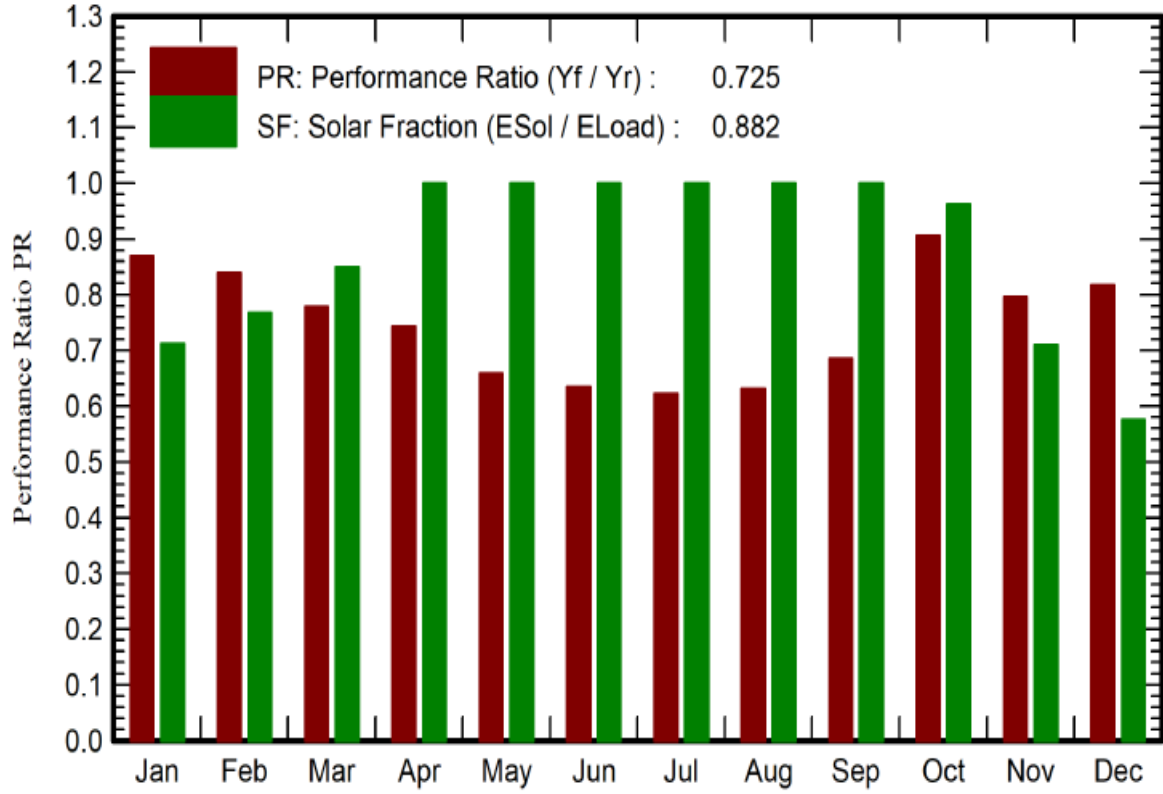
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	94.8	47.8	18.71	64.91
Şubat	69.3	95.6	47.26	13.58	58.63
Mart	109.6	125.8	61.02	9.75	64.91
Nisan	145.4	149.3	71.21	0	62.82
Mayıs	190.6	173.2	81.10	0	64.91
Haziran	203.8	173.9	80.17	0	62.82
Temmuz	208.5	183.6	83.14	0	64.91
Ağustos	184.6	181.3	81.74	0	64.91
Eylül	141.0	162.4	74.64	0	62.82
Ekim	92.5	122.8	58.06	2.33	64.91
Kasım	64.2	99.9	48.51	18.2	62.82
Aralık	50	81.6	40.99	27.55	64.91
Toplam	1518.0	1642.2	775.64	90.11	764.31

4.2.2. Polikristal panele sahip sistem

Proje ismi belirlendikten sonra meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına çekilmiştir. “Yönlendirme” sekmesi seçilerek; “Alan tipi” bölümünden “Sabit eğik düzlem” seçeneği işaretlenmiş ve panel eğim açısı 40°, azimut açısı ise 0° olarak tanımlanmıştır. Daha sonra projeye tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilmiştir. “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-polo panelden 2 adet ve TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.22’ de normalize üretim, şekil 4.23.’ te performans oranı ve tablo 4.12.’ de ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.22. Polikristal panel normalize üretim değerleri



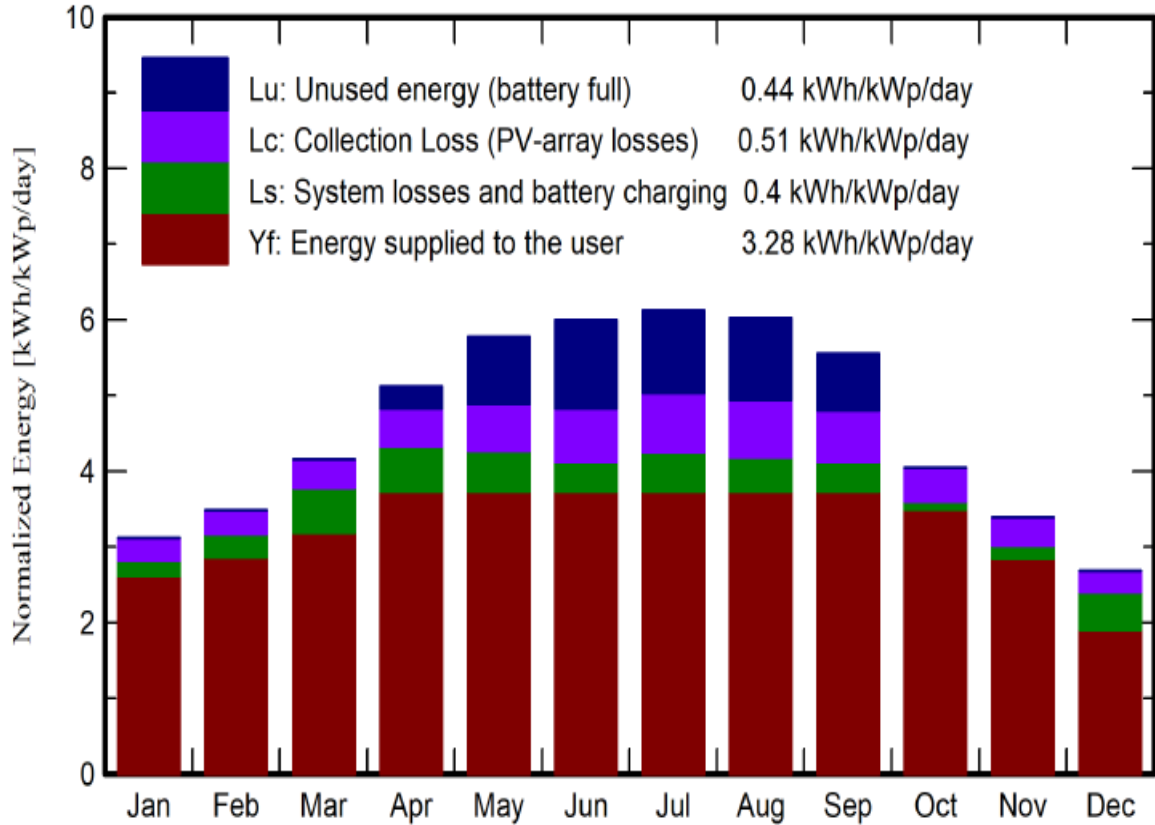
Şekil 4.23. Polikristal panel performans oranı

Tablo 4.12. Polikristal panel bilanço ve genel sonuçlar

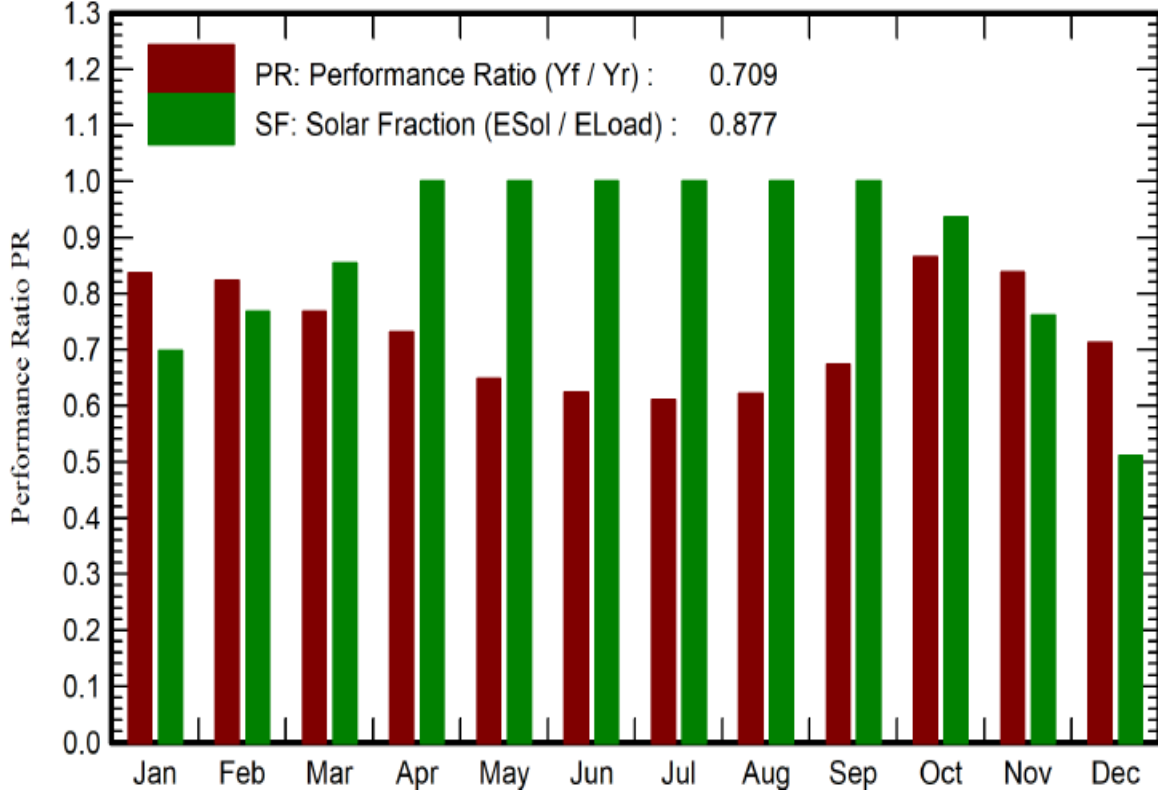
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	94.8	47.82	18.69	64.91
Şubat	69.3	95.6	47.27	13.57	58.63
Mart	109.6	125.8	61.01	9.73	64.91
Nisan	145.4	149.3	71.13	0	62.82
Mayıs	190.6	173.2	80.95	0	64.91
Haziran	203.8	173.9	79.96	0	62.82
Temmuz	208.5	183.6	82.85	0	64.91
Ağustos	184.6	181.3	81.45	0	64.91
Eylül	141.0	162.4	74.44	0	62.82
Ekim	92.5	122.8	57.99	2.38	64.91
Kasım	64.2	99.9	48.51	18.23	62.82
Aralık	50	81.6	41.01	27.52	64.91
Toplam	1518.0	1642.2	774.4	90.13	764.31

4.2.3.İnce film panele sahip sistem

Proje ismi belirlendikten sonra meteorolojik veriler projeye çekilmiştir. “Yönlendirme” bölümünden “Sabit eğik düzlem” seçeneği işaretlenmiştir. Panel eğim açısı 40°, azimut açısı ise 0° olarak girilmiştir. Projeye tablo 4.2.’de bulunan kullanıcı ihtiyaçları girilerek “Sistem” bölümü seçilmiştir. JINKOSOLAR firmasının ince film panel üretimi bulunmadığından çalışmayı gerçekleştirebilmek için bu değere en yakın inci film panel seçilmiştir. Çalışmada 550 Wp kurulu güç değerine sahip şebekeden bağımsız sistem tasarlanmaktadır. Bu sebeple 140 W güce sahip panellerden 4 adet seçilerek 560 Wp değeri elde edilmiştir. Sunset firmasına ait Twin 140 model, 140 Wp ince film panelden 4 adet seçilmiştir. TN POWER firmasına ait TNG 12-200 model aküden bir adet seçilmiştir. “Simülasyonu yürüt” seçeneği seçilerek tasarlanan sisteme ait üretim verilerin ve kayıp diyagramının da yer aldığı detaylı rapor üretilmiştir. Detaylı rapora göre şekil 4.24’ te normalize üretim, şekil 4.25.’ te performans oranı ve tablo 4.13.’ te ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.24. İnce film panel normalize üretim değerleri



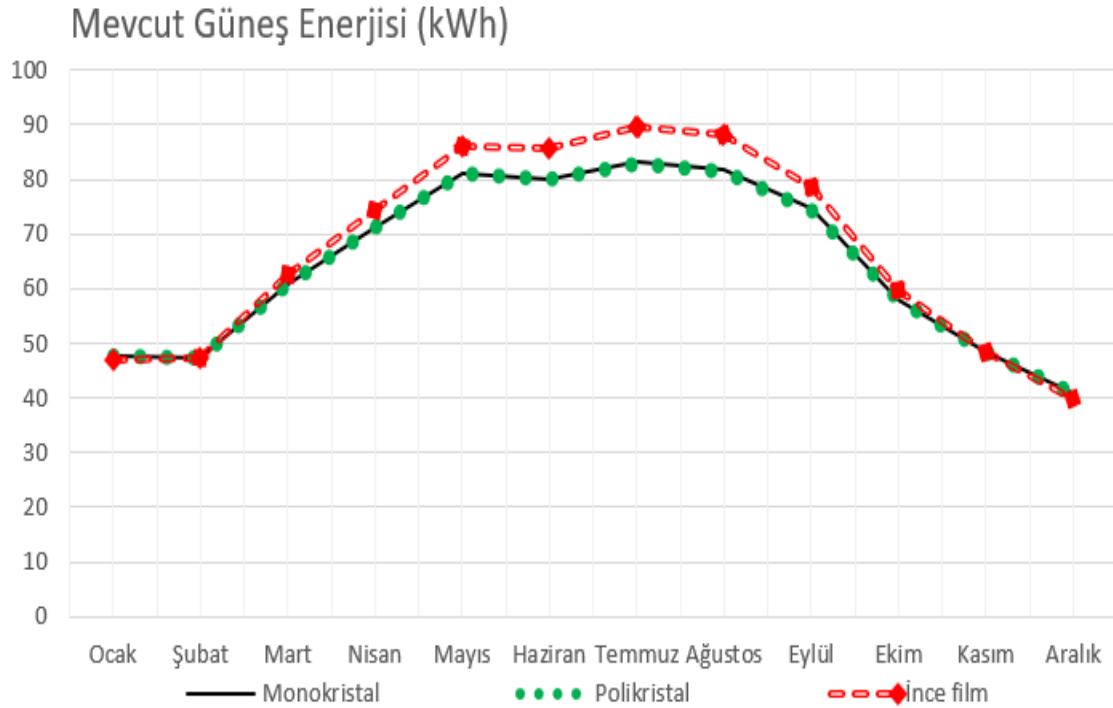
Şekil 4.25. İnce film panel performans oranı

Tablo 4.13. İnce film panel bilanço ve genel sonuçlar

	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Mevcut} (kWh)	E _{Kayıp} (kWh)	E _{Yük} (kWh)
Ocak	58.5	94.8	46.81	19.59	64.91
Şubat	69.3	95.6	47.4	13.63	58.63
Mart	109.6	125.8	62.56	9.48	64.91
Nisan	145.4	149.3	74.36	0	62.82
Mayıs	190.6	173.2	86.05	0	64.91
Haziran	203.8	173.9	85.84	0	62.82
Temmuz	208.5	183.6	89.48	0	64.91
Ağustos	184.6	181.3	88.18	0	64.91
Eylül	141.0	162.4	78.76	0	62.82
Ekim	92.5	122.8	59.64	4.19	64.91
Kasım	64.2	99.9	48.32	15.02	62.82
Aralık	50	81.6	39.71	31.76	64.91
Toplam	1518.0	1642.2	807.09	93.67	764.31

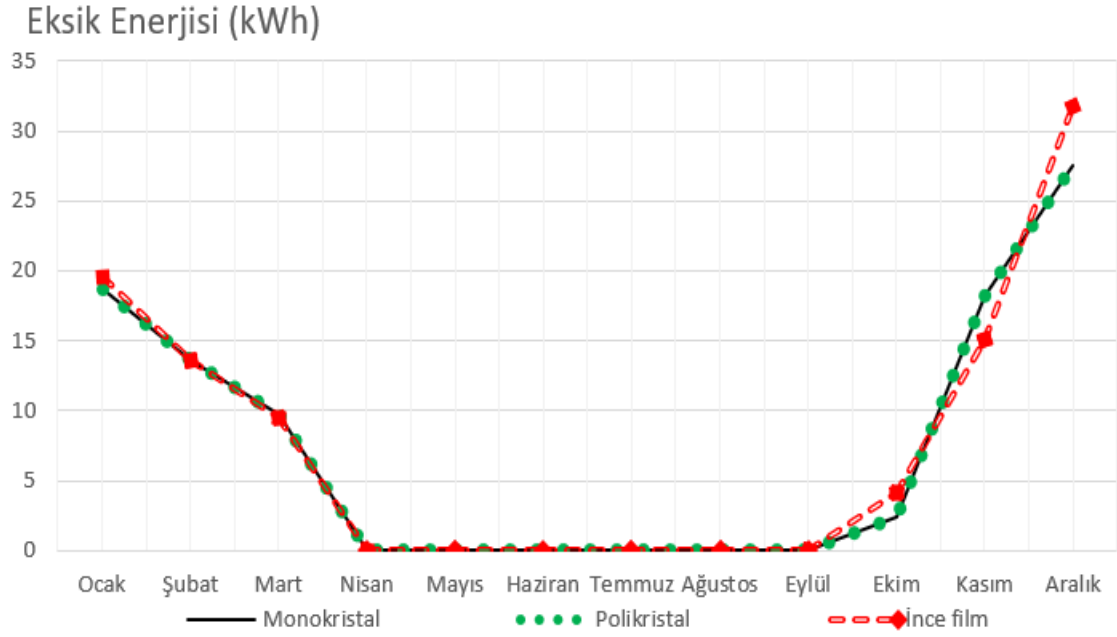
4.2.4.Farklı panel tiplerinin performans analizi

Analizi yapılan üç durum arasında; yıllık toplam enerji üretim değerleri en yüksek 807.09 kWh/y ile ince film panele sahip sistemde, en düşük ise 774.4 kWh/y ile polikristal panele sahip sistemde görülmüştür. Üç durumda da enerji üretimi özellikle ışımanın fazla olduğu yaz aylarında artmıştır. Üç farklı panele sahip sistemlerin mevcut enerji üretim değerleri şekil 4.26.'da verilmiştir.



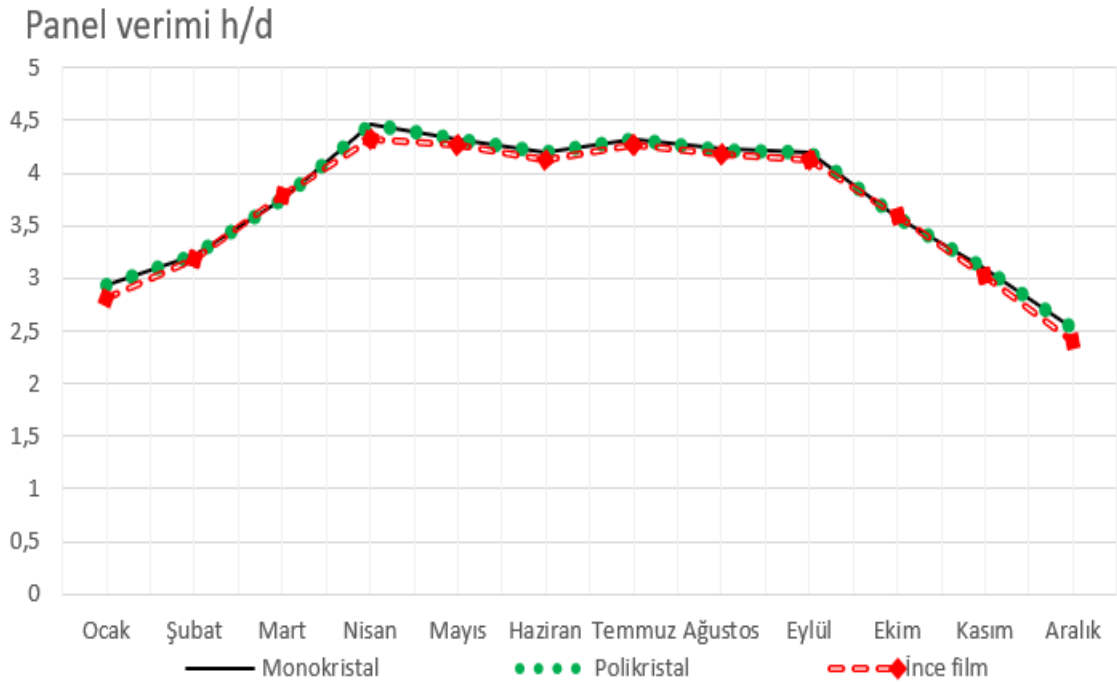
Şekil 4.26. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen mevcut güneş enerjisi (kWh)

Maksimum kayıp enerjinin toplam yıllık değerleri; en yüksek 93.36 kWh/y ile ince film panele sahip sistemde, en düşük ise 90.11 kWh/y ile monokristal panele sahip sistemde olduğu görülmüştür. Kayıp enerji, kış aylarında ışımanın azalmasına bağlı olarak artmaktadır. Güneşli gün sayısının arttığı Nisan ayından itibaren yaz ayları da dahil olmak üzere kayıp enerji oluşmamıştır. Üç farklı duruma ait kayıp enerji değerleri gösterir görsel şekil 4.27.'de sunulmuştur.



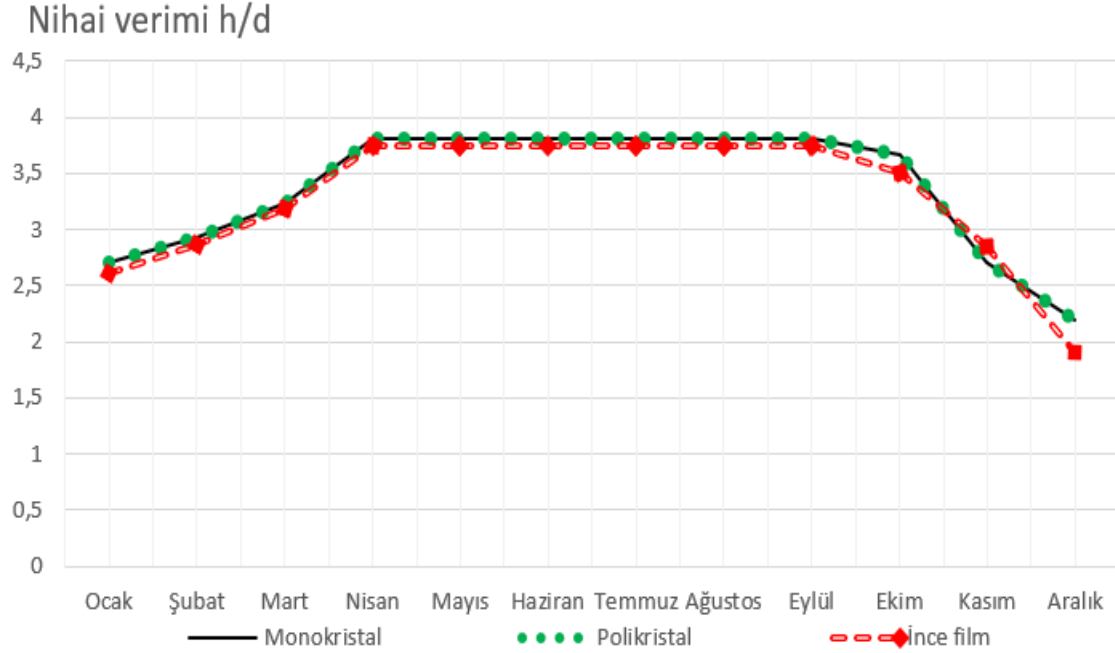
Şekil 4.27. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen eksik enerji (kWh)

FV sistemlerine ait aylık panel verim değerleri; en yüksek 4.46 h/d ile Nisan ayında monokristal ve polikristal panele sahip sistemlerde, en düşük ise 2.41 h/d ile Aralık ayında ince film panele sahip sistemde görülmüştür. Grafik incelendiğinde; üç farklı durumda da panel verim değerlerinin yaz aylarında arttığı, kış aylarında ise azaldığı görülmektedir. Üç farklı duruma ait panel verimlerini gösterir grafik şekil 4.28.'de sunulmuştur.



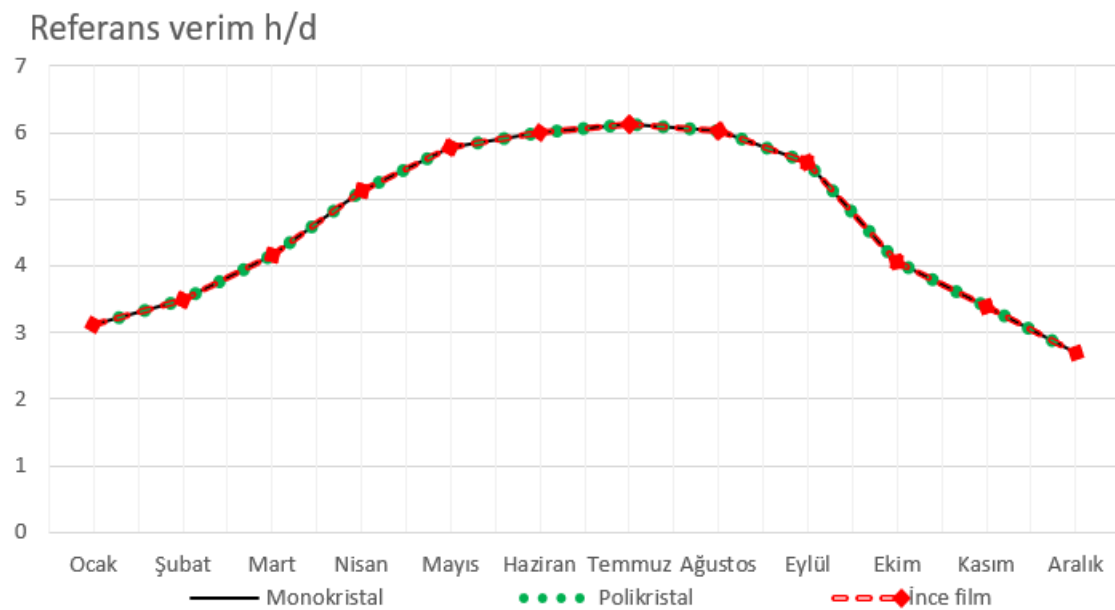
Şekil 4.28. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen panel verimi (h/d)

Şekil 4.29.'da üç farklı panel tipine sahip sistemlerin nihai verim değerleri verilmiştir. Nihai verimin en yüksek olduğu değer; ışımının arttığı aylarda 3.81 h/d olarak monokristal ve polikristal panele sahip sistemlerde, en düşük ise ince film panele sahip sistemde 1.91 h/d olarak aralık ayında görülmüştür.



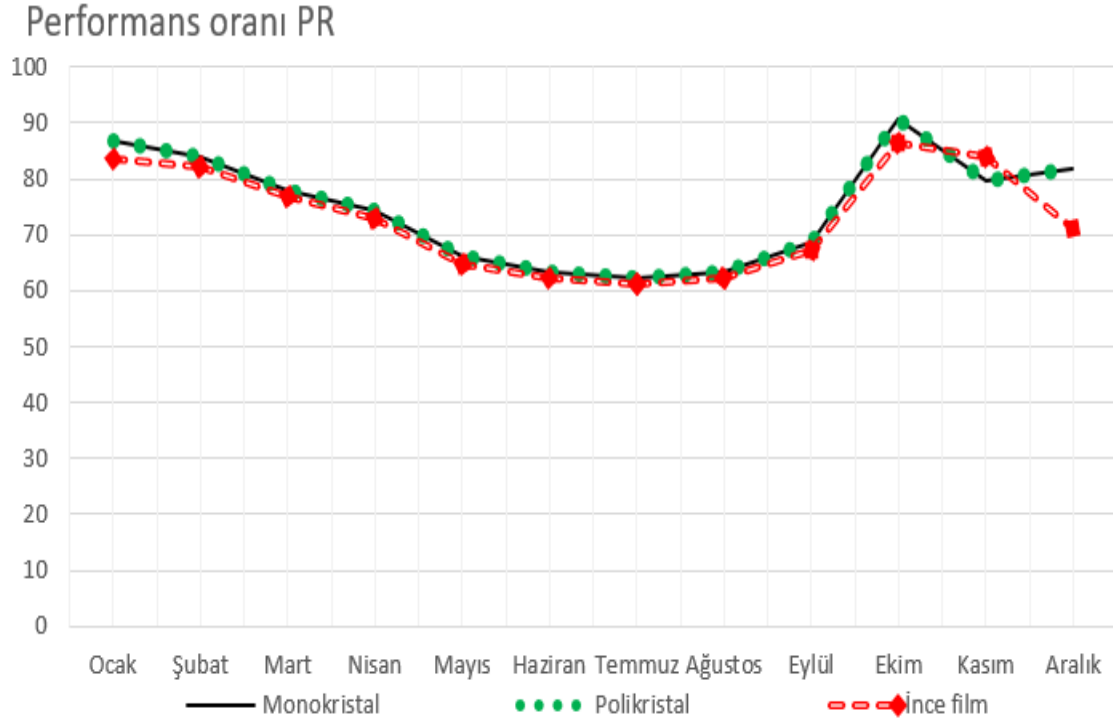
Şekil 4.29. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen nihai verim (h/d)

Sistemlere ait aylık referans verim değerleri şekil 4.30.'te verilmiştir. Maksimum en yüksek değerler üç durumda da Temmuz ayında 6.12 h/d, en düşük ise Aralık ayında 2.68 h/d olarak görülmüştür.



Şekil 4.30. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen referans verim (h/d)

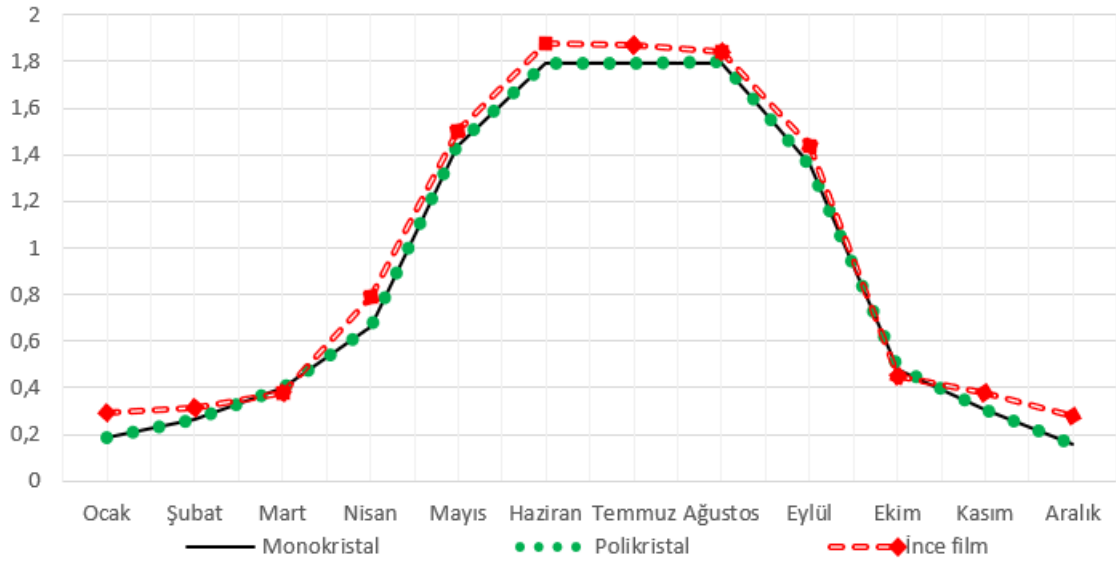
Fotovoltaik sistemlere ait aylık ortalama performans oranı değerleri; en yüksek Ekim ayında 90.6 olarak monokristal ve polikristal panele sahip sistemlerde, en düşük ise Temmuz ayında 61.1 ile ince film panele sahip sistemde görülmüştür. Genel olarak üç durumda da performans oranları kış aylarında artıp yaz aylarında ise azalmaktadır. Üç duruma ait performans oranlarını gösterir görsel şekil 4.31.'de sunulmuştur.



Şekil 4.31. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen performans oranı (PR)

Sistemlere ait aylık panel kayıp değerleri şekil 4.32.'de verilmiştir. Maksimum en yüksek değer ince film panele sahip sistemde Haziran ayında 1.875 h/d, en düşük ise 0.157 h/d Aralık ayında polikristal panele sahip sistemde olduğu görülmüştür.

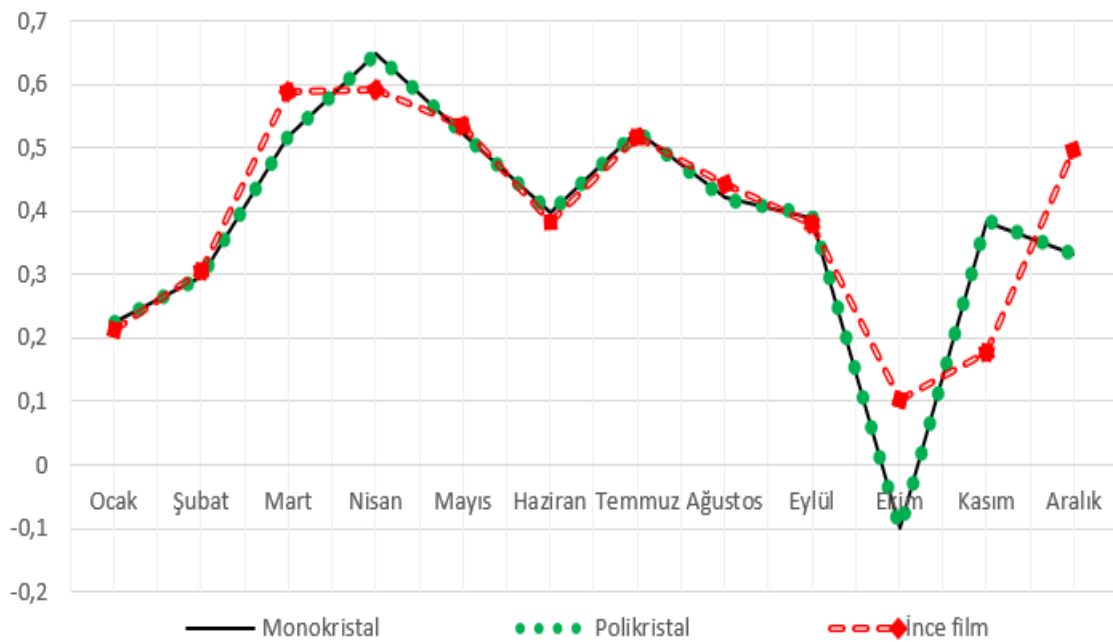
Panel kayıpları h/d



Şekil 4.32. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen panel kayıpları (h/d)

Şekil 4.33.'de üç farklı panele sahip enerji sistemlerinin sistem kayıp değerlerini gösterir grafik sunulmuştur. Grafik incelendiğinde en yüksek kayıp değerleri; Nisan ayında polikristal panele sahip sistemde 0.65 h/d, polikristal panele sahip sistemde 0.649 h/d ve ince film panele sahip sistemde 0.593 h/d, en düşük kayıp değerleri ise Ekim ayında polikristal panele sahip sistemde 0.101 h/d, polikristal panele sahip sistemde 0.102 h/d ve ince film panele sahip sistemde 0.104 h/d olarak görülmüştür.

Sistem kayıpları h/d



Şekil 4.33. 3 farklı panel kullanılarak elde edilen sistem kayıpları (h/d)

Farklı panellere sahip sistemlere ait mevcut güneş enerjisi ve eksik enerji ile yıllık ortalama panel verimi, nihai verim, referans verimi, performans oranı, panel kayıpları ve sistem kayıpları tablo 4.14.'te verilmiştir.

Tablo 4.14. Farklı panellere sahip sistemlerin performans sonuçları

	Monokristal	Polikristal	İnce film
Mevcut güneş enerjisi	775.64	774.4	807.09
Eksik enerji	90.11	90.12	93.36
Panel verimi (yıllık)	3.737	3.736	3.674
Nihai verim (yıllık)	3.358	3.358	3.280
Referans verim (yıllık)	4.624	4.624	4.624
Performans oranı (yıllık)	0.748	0.749	0.729
Panel kayıpları (yıllık)	0.886	0.887	0.949
Sistem kayıpları (yıllık)	0.381	0.380	0.394

4.3. Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi

4.3.1. Teknik analiz

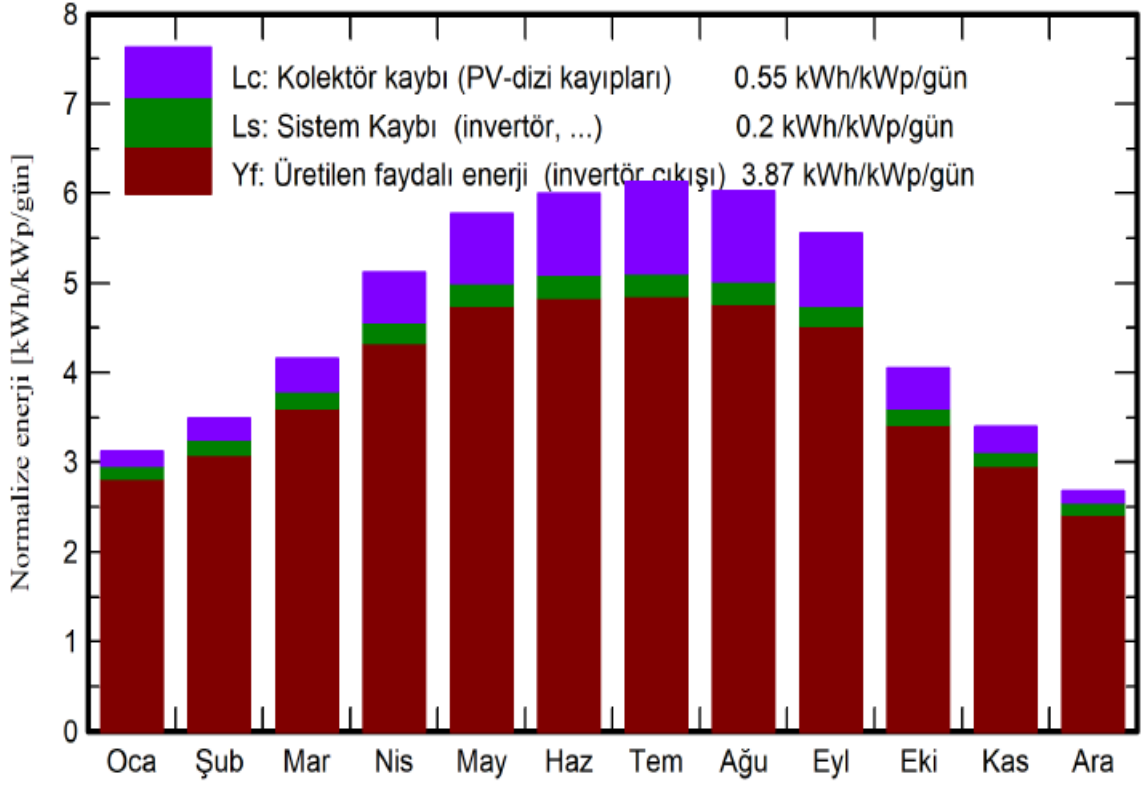
Önceki çalışmalara ek olarak; şebekeye bağımlı 2 kW kurulu güç değerine sahip fotovoltaik enerji sisteminin teknik analizi yapılmıştır. Şebekeye bağımlı sistem tasarımı PVsyst 7.2 simülasyon yazılımında, şekil 3.1.'de yer alan “Şebekeye bağlı” menüsü aracılığıyla yapılmaktadır. Açılan pencere tasarlanacak sisteme ait tanımlamaların yapılması gerekmektedir. Simülasyon tasarımı büyük ölçüde şebekeden bağımsız enerji sistemi tasarımı ile aynıdır. Temel farklılıklar ise şebekeye bağımlı sistemde akü ana bileşen olmadığından kullanıcı ihtiyaçları tanımlanmamakta ek olarak evirici seçiminin yapılması gerekmektedir. Tasarlanacak şebekeye bağımlı sistemde şebekeden bağımsız enerji sistemi ile aynı marka modelde panellerden 8 adet kullanılmıştır. Tablo 4.15.'te tasarlanan şebekeye bağımlı sistemde seçilen TWI TURKEY markasına ait eviricinin teknik verileri verilmiştir. Sistemde; TWI TURKEY Mil Enerji-2 kW Outdoor eviriciden 1 adet kullanılmıştır.

Tablo 4.15. İnvertere ait teknik veriler

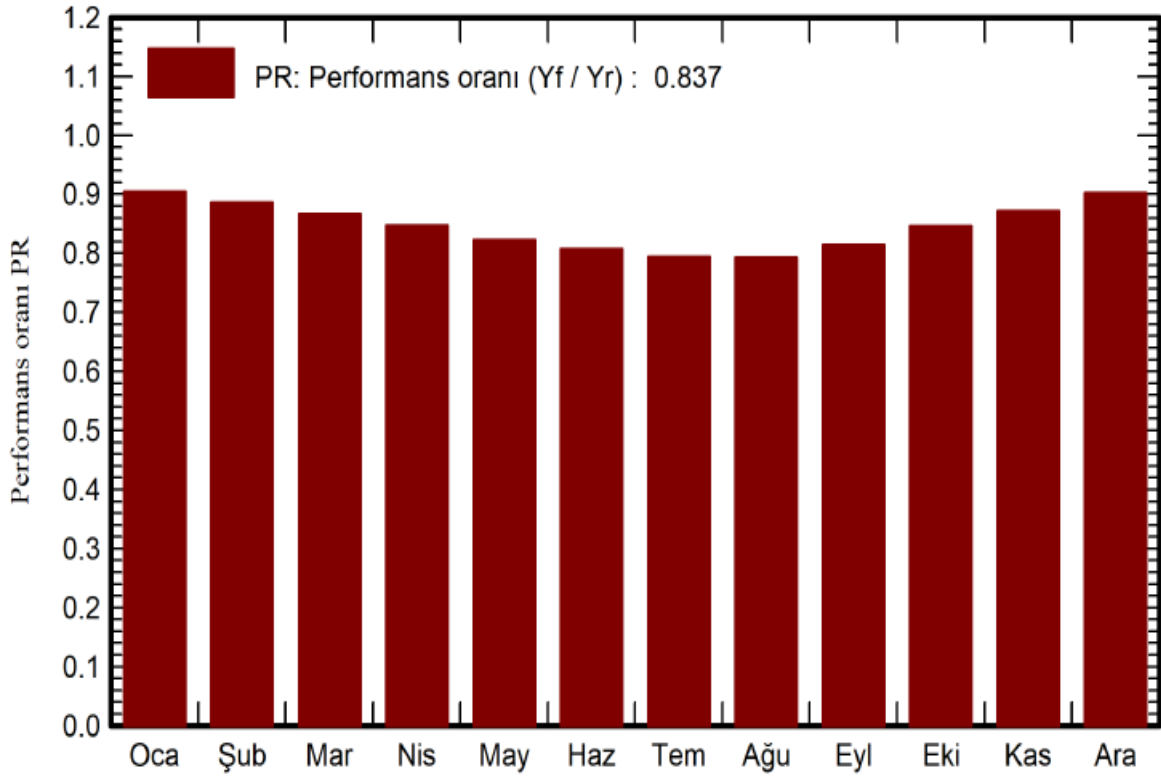
Marka	TWI TURKEY
Model	Mil Enerji – 2 kW Outdoor
Nominal Güç	2 kW
Açık Devre Voltajı	75 V
MPPT Voltaj Aralığı	30 – 66 V
PV Şarjı için Akü Voltajı	17 V
Verimlilik	>95%
Transfer Süresi	10 ms (UPS) 20 ms (Cihazlar)
Boyut (mm)	100x272x355
Ağırlık (kg)	7.0
Çalışma Sıcaklığı	0 °C -55 °C

PVsyst açılış ekranından “Şebekeye bağlı” bölümü seçilmiştir. Proje ismi belirlendikten sonra “Veritabanları” bölümünde tanımlanan konuma ait meteorolojik veriler proje çalışma sayfasına “Hava durumu dosyaları” sekmesi kullanılarak çekilmiştir. Aktif hale gelen “Ana parametreler” kısmında “Yönlendirme” sekmesi seçilerek panel eğim açısı 40° ve azimut açısı 0° olarak belirlenmiştir. “Alan tipi” bölümünden “Sabit eğik düzlem” seçeneği işaretlenmiştir. Daha sonra “Sistem” bölümü seçilerek tasarlanan sisteme ait JINKO SOLAR firmasına ait JKM275PP-60 model, 275 Wp Si-poly panelden 2 adet ve TWI TURKEY firmasına ait Mil Enerji-2 kW Outdoor eviriciden 1 adet seçilmiştir.

Yazılımda, gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra simülasyon çalıştırılmıştır. Yazılım tarafından üretilen raporda; sistem bileşenleri, ışınlım durumu, üretim miktarı ve kayıp diyagramları yer almaktadır. Detaylı rapora göre şekil 4.34’ te normalize üretim, şekil 4.35.’ te performans oranı ve tablo 4.16.’ da ise bilanço ve genel sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.34. Normalize üretim



Şekil 4.35. Performans oranı

Tablo 4.16. Bilanço ve genel sonuçlar

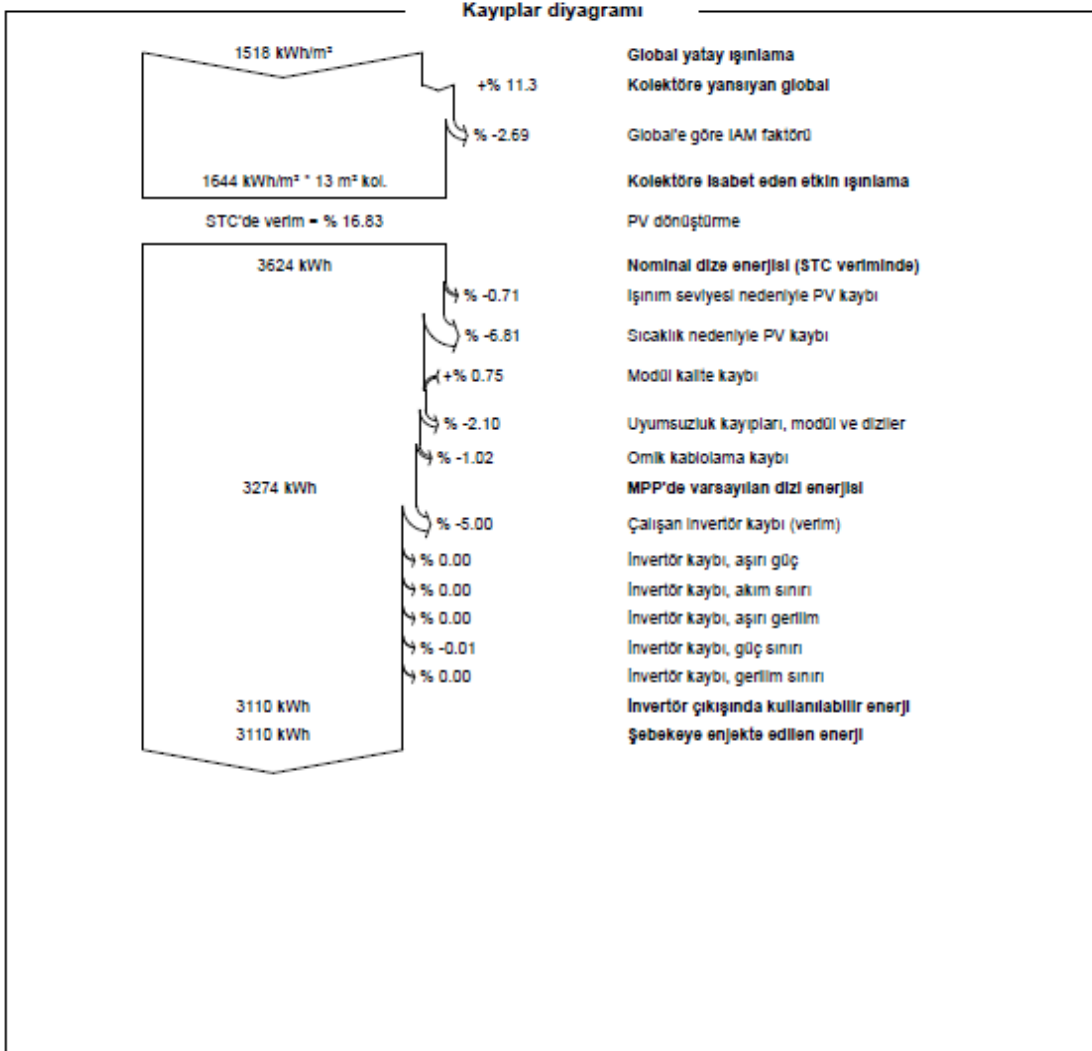
	Küresel Işınım (kWh/m ²)	Etkin Işınım (kWh/m ²)	E _{Dizi} (kWh)	E _{Şebeke} (kWh)	Sıcaklık (°C)	PR
Ocak	58.5	96.7	202.5	192.5	1.19	0.905
Şubat	69.3	97.7	200.8	190.5	2.96	0.886
Mart	109.6	128.8	259.1	245.9	7.03	0.867
Nisan	145.4	153.6	301.5	286.5	11.13	0.848
Mayıs	190.6	178.9	341.3	324.1	16.39	0.823
Haziran	203.8	179.9	336.4	319.7	20.38	0.807
Temmuz	208.5	189.9	348.9	331.6	23.95	0.794
Ağustos	184.6	186.8	342.7	325.9	23.97	0.793
Eylül	141.0	166.6	313.8	298.5	18.66	0.814
Ekim	92.5	125.5	246.1	233.7	13.15	0.846
Kasım	64.2	101.9	206.3	195.6	7.38	0.873
Aralık	50	83.2	174.3	165.3	2.7	0.903
Toplam	1518.0	1689.6	3273.6	3109.6	12.46	0.837

Kayıp diyagramı incelendiğinde, enerji sisteminin bulunduğu konuma gelen yıllık ışınım miktarı; 1518 kWh/m² dir. Güneş panelleri düz zemine yerleştirilmiş, ayrıca etrafında herhangi bir unsur bulunmadığından panellere yansıyan ışınım değerlerinde bir kayıp oluşmamıştır. Panellere ait eğim ve azimut açı değerlerinin uygun seçilmesiyle yansıyan ışınımdan verimli bir şekilde yararlanılmıştır. Panel yüzeyi etkin ışınım; 1644 kWh/m² değerindedir. Simülasyon sonucunda yazılım tarafından üretilen ve kayıp diyagramını gösterir görsel şekil 4.36.'da sunulmuştur.



PVsyst V7.2.8
VCD, Simülasyon tarihi:
01/10/22 23:00
v7.2.8 ile

Proje: 2 kW on-grid
Varyant: New simulation variant



Şekil 4.36. Kayıp diyagramı

Aynı zamanda simülasyon yazılımının veri tabanında, panellere ait boyut bilgileri yer almaktadır. Bu bilgiler yardımıyla tasarlanacak fotovoltaik enerji sisteminin, panel yüzey alanı hesaplanabilmektedir. Tasarımda, 8 adet 275 W gücünde polikristal panel tanımlanmıştır. Toplam panel alanı 13 m² olduğu kayıp diyagramında görülmektedir. Toplam yüzey alanına gelen ışınım miktarı ile birlikte enerji sisteminden yıllık olarak 21.372 kWh enerji üretilebilmektedir. Sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin standart test koşulları (1000 Wh/m² ışınım ve 25°C sıcaklık şartları) altındaki verimi % 16.83'tür. Dolayısıyla; panel dizi, üretilebilir enerji miktarı 3624 kWh'dir.

Fotovoltaik panellerin standart test koşulları altındaki işletme özelliklerine bağlı olarak birtakım sistem kayıplarından söz edilebilir. Panellerde; düşük seviye ışımaya ve yüksek sıcaklık durumlarından kaynaklı kayıplar oluşmaktadır. Çalışmada; sistemde ki düşük seviye ışımadan ve sıcaklıktan kaynaklı kayıplar sırasıyla %0,71 ve %6.81'dir. Fotovoltaik dizide yer alan her bir panel için uyumsuzluk kaynaklı %2,1 kayıp olduğu görülmektedir. Ayrıca kayıp diyagramındaki omik kayıplar ise %1,02'dir. Tüm kayıplar hesaba katıldığında; enerji sisteminin MPP (maksimum güç noktası) çıkışında ki enerjisinin 3274 kWh olduğu görülmektedir.

PVsyst yazılımının detaylı kayıp diyagramı analiz edildiğinde, %5 seviyesinde evirici kaynaklı kayıpların olduğu görülmektedir. Panel verimi ile birlikte tüm kayıplar hesaba katıldığında, analiz edilen şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi tarafından, yılda 3110 kWh enerjinin şebekeye sağlanabileceği söylenebilir.

4.3.2.Ekonomik analiz

Çalışmada ayrıca şebekeye bağımlı 2 kW kurulu güç değerine sahip fotovoltaik enerji sisteminin ekonomik analizi de yapılmıştır. Ekonomik analiz, piyasa araştırılması yapıldıktan sonra PVsyst 7.1. simülasyon yazılımında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için gerekli teknik veri tanımlama işleminin ardından proje sayfasında "Ekonomik değerlendirme" sekmesi seçilerek sistem bileşenlerine ait fiyat verileri girilmiştir.

Enerji sistemi; Üniversiteye ait olan bir arazi üzerinde kurulacak şekilde planlandığından bu kalemde ki gider ekonomik analizde tanımlanmamıştır. Ayrıca kurulum işlemi için gerekli olan sermaye, kurumun öz sermayesinden karşılanacağı kabul edilmiştir. Bu sebeple; kredi, sigorta vb. giderler hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

Enerji sistemi enerji nakil hattı uzaklığı ihmal edilmiş ve üretilecek enerjinin doğrudan Üniversitenin elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılayacağı planlanmıştır. Dolayısıyla; sistemden elde edilecek gelir, Üniversitenin kWh başına ödediği bedel olan 2.6 TL olarak belirlenmiştir.

Arazi, ekstra hafriyat gerektirmeyecek şekilde, paneller ise konstrüksiyon üzerine kolay bir şekilde yerleştirilebilecek durumdadır. Bu durum için gerekli olan maliyet ekonomik analizde tanımlanmamıştır.

PVsyst simülasyon yazılımında ekonomik analiz yapılmadan önce gerekli olan piyasa araştırılması yapılmış daha sonra sistem elemanlarının birim fiyatları yazılıma tanıtılmıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde; fotovoltaiik enerji sistemi ortalama 25 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sebeple sisteme ait ekonomik 25 yıl olarak belirlenmiştir.

Şebekeye bağımlı bir fotovoltaiik enerji sisteminin ana sistem elemanları; panel ve eviricidir. Bu iki sistemin toplam maliyeti 8.900 TL olarak yazılıma girilmiştir. Arazi tipi fotovoltaiik enerji sistemlerinin de paneller belirli bir açı ile yerleştirildiğinden panel sehplarının kullanılması gerekmektedir. Panel sehplarının toplam maliyeti; her bir panel için 50 TL olarak belirlenmiştir. FV enerji sistemi kurulumu için gerekli olan bağlantı sistemini; vidalar, kablolama, birleştirme kutusu, izleme sistemi, ekran, ölçüm sistemi gibi elemanlar oluşturmaktadır. Bu malzemelerin sayısı ve çeşidi enerji sisteminin büyüklüğüne ve kurulduğu saha şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Üniversitede düz bir araziye kurulacak 8 panel ve 1 evirici sahip bir sistem için gerekli olan bağlantı elemanlarının toplam maliyeti 2.160 TL olarak belirlenmiştir.

Şebekeye bağımlı bir fotovoltaiik enerji sistemi tasarlamadan önce güncel yasa ve mevzuatlar gereği proje ve etüt çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Genel olarak bu işlemleri; mühendislik hizmet, ruhsat ve idari ücretler, çevre etütleri, fizibilite çalışmaları oluşturmaktadır. 2 kW kurulu güç değerine sahip bir fotovoltaiik enerji sistemi için ihtiyaç duyulan proje ve etüt çalışmaları ücreti; 3.000 TL olarak serbest piyasadan ortalama bir değerde alınarak yazılıma tanıtılmıştır.

Enerji sistemi kurulum bedelini; panel ve evirici başına kurulum bedeli ile nakliye ücretleri oluşturmaktadır. Böyle bir sistem için gerekli olan kurulum bedeli 1.500 TL olarak belirlenmiştir.

Enerji sistemi için gerekli olan yıllık bakım, onarım ve temizlik gibi giderler yazılıma 5.000 TL olarak tanıtılmıştır. Ancak bu bedel ilk kurulum maliyetinde hesaplanmamıştır.

Proje başlangıç süresi 2023 yılı olarak belirlenmiştir. Enerji sistemi üniversitenin mülkiyetinde bulunan bir araziye kurulacağı için kurulum arazi bedeli girilmemiştir. Ayrıca enflasyon oranı sabit tutulmuş ve enerji sisteminin vergi giderlerini olmadığı varsayılmıştır. Kurulum için gerekli olan miktar; kurumun öz sermayesinden karşılanacağı düşünülerek borçlanma faizi yazılıma tanıtılmamıştır.

PVsyst simülasyon yazılımının vermiş olduğu rapora göre 25 yıl kullanım süresine sahip, 2 kW'lık şebekeye bağımlı bir fotovoltaiik enerji sisteminin toplam kurulum maliyeti 15.560 TL dir. Ayrıca; simülasyon yazılımında enerji sistemi geliri kWh başına 2.6 TL olarak

belirlenmiştir. Dolayısıyla sistemin geri ödeme süresi yazılım tarafından 5 yıl olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.17.'de enerji sistemi kurulum maliyeti verilmiştir.

Tablo 4.17. Kurulum maliyeti

	Miktar	Maliyet TL	Toplam
PV panel (JKM 275PP-60)	8 adet	750	6000
Panel sehpaları	8 adet	50	400
İnverter (Mil Enerji-2kW Outdoor)	1 adet	2.500	2.500
Diğer parçalar		2.160	2.160
Etüt ve analizler		3.000	3.000
Kurulum		500	500
Sevkiyat		1.000	1.000
Toplam			11.560
Yıllık bakım, temizlik vb.		5.000	5.000
Arazi bedeli		-	-
Proje süresi (Başlangıç yılı 2023)		-	-
Enflasyon		-	-
Vergiler		-	-
Sermaye		11.560	11.560
Elektrik satışı	kWh	2.6	2.6.kWh
Geri ödeme süresi	5 yıl		

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesine kurulması planlanan 550 W kurulu güç değerine sahip şebekeden bağımsız bir FV sisteminin beş farklı durumu sabit, mevsimsel, yatay eksen, dikey eksen ve çift eksen takip sistemleri ve monokristal, polikristal ve ince film panellere sahip sistemler PVsyst yazılımında simüle edilmiştir. Daha sonra; proje aşamaları gerçekleştirilmiş, simülasyon çalıştırılmış ve sistemlere ait detaylı raporlar alınmıştır. Yapılan analizlerde, beş farklı güneş takip sistemi ile üç farklı panele sahip sistemlerin aylık kullanılabilir mevcut güneş enerjisi, sistem verimi, eksik enerji, panel, nihai ve referans verimi, performans oranı, panel ve sistem kayıpları karşılaştırılmıştır. Ayrıca; şebekeye bağımlı 2 kW kurulu güç değerine sahip FV sistemine ait detaylı kayıp diyagramı ve üretim verilerinin yer aldığı rapor PVsyst yazılımından alınmış ve enerji sistemine ait ekonomik analiz yapılmıştır.

5.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi

5.1.1. Takip sistemlerinin simülasyon sonuçları

Yıllık üretilebilir güneş enerjisi değeri toplamı; en yüksek çift eksen takip sisteminde 1049.9 kWh, en düşük ise sabit eksen sisteminde 764.77 kWh olarak görülmüştür. Bu çalışmada çift eksen takip sisteminin sabit eksen sisteminden, yılda yaklaşık olarak %37.3 daha fazla enerji üretebildiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde yıllık toplam kayıp enerji değeri en az 57.03 kWh ile çift eksen takip sisteminde, en fazla ise 93.36 kWh olarak sabit eksen sisteminde görülmüştür. Durumdan da anlaşıldığı üzere çift eksen takip sistemi sabit eksen sisteminden yılda yaklaşık olarak %38.91 daha az kayıp enerji değerine sahiptir.

Ayrıca bu durumlara ek olarak; analizi yapılan beş farklı güneş takip sistemleri arasında benzer durumlar söz konusudur. Aylık üretilebilir güneş enerjisi değerleri ile panel kayıpları beş sistemde de ışımaya bağlı olarak yaz aylarında en yüksek seviyelere çıkarken kış aylarında ise en düşük seviyelere inmiştir. Eksik enerji, panel verimi, nihai verim ve performans oranı ise beş güneş takip sisteminde yaz aylarında azalırken kış aylarında artmıştır.

5.1.2. Farklı panel tiplerinin performans analizi

Farklı panel tipleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda; yıllık toplam üretilen güneş enerjisi değeri en yüksek ince film panele sahip sistemde 807.09 kWh, en düşük ise polikristal panele sahip sistemde 774.4 kWh olarak görülmüştür. Sonuç olarak ince film panele sahip sistemin polikristal panele sahip sistemden yaklaşık olarak %4.22 daha fazla enerji üretebildiği tespit edilmiştir. Özellikle bu durum; panel sayısının fazla olduğu uygulamalarda ince film panel kullanımının üretimi arttıracakı sonucunu ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışma sonucunda; toplam yıllık kayıp enerji, en az 90.11 kWh ile monokristal, en fazla ise 93.36 kWh olarak ince film panele sahip sistemde görülmüştür. Böylece; ince film panele sahip sistemin monokristal panele sahip sistemden yaklaşık olarak %3.61 daha fazla kayıp enerjiye sahip olduğu görülmektedir.

Analizi yapılan üç farklı panele sahip sistemlerin arasında benzer durumlar da bulunmaktadır. Üretilen güneş enerjisi değerleri ile panel kayıpları üç sistemde de ışıma bağı olarak yaz aylarında artarken kış aylarında ise azalmaktadır. Yıllık ortalama panel verimi; en yüksek monokristal panele sahip sistemde 3.737 h/d en düşük ise ince film panele sahip sistemde 3.674 h/d olduğu görülmüştür. Enerji sistemlerinin yıllık ortalama nihai verimleri; en yüksek monokristal ve polikristal panele sahip sistemlerde 3.358 h/d en düşük ise ince film panele sahip sistemde 3.280 h/d değerindedir. Üç farklı panele sahip sistemlerin yıllık ortalama referans verimleri 4.624 h/d olarak eşitken ortalama performans oranları ise en yüksek polikristal panele sahip sistemde 0.749 en düşük ise ince film panele sahip sistemde 0.729 olarak görülmüştür. Yıllık ortalama panel kayıpları en yüksek ince film panele sahip sistemde 0.949 h/d en düşük ise 0.886 h/d ile monokristal panele sahip sistemdedir. Son olarak sistem kayıpları en yüksek ince film panele sahip sistemde 0.394 h/d en düşük ise polikristal panele sahip sistemde 0.380 h/d olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sistemi

PVsyst 7.1. simülasyon yazılımının üretmiş olduğu tasarlanan sisteme ait detaylı raporda; yıl boyu aylık bazda elde edilen enerji değeri, panel yüzeyine düşen ışıma ve sıcaklık ortalama verileri yer almaktadır.

Fotovoltaik enerji sistemine ait aylık küresel ışıma, panel yüzeyindeki etkin ışıma, fotovoltaik dizi ve üretilen enerji miktarları ile ortalama sıcaklık değerleri simülasyon yazılımının detaylı raporundan alınmıştır. Rapora göre panel yüzeyine düşen ışıma ve üretilen enerji miktarının en çok temmuz, en az ise aralık ayında olduğu görülmektedir.

Bununla birlikte; ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu ay ağustos, en dūşük ise ocak ayında olduğu görölmektedir. Performans oranı Őebekeye bağımlı sistemde en yüksek ocak ayında 0.905 en dūşük ise 0.793 ile ağustos ayında görölmüştür. Bu durumun sebebi; özellikle sıcaklıkların arttığı yaz aylarında ısı kaynaklı kayıpların artması sonucu sistemin performans oranının olumsuz yönde etkilenmesidir.

Yapılan analiz sonucunda; 2 kW kurulu güce sahip bir fotovoltaik enerji sisteminin panel enerji üretim değeri 3273.6 kWh değerinde olduğu Şebekeye verilen enerjinin ise 3109.6 kWh olduğu görölmektedir. Bu farklılık enerji sisteminin sahip olduğu kayıplardan oluşmaktadır.

Fotovoltaik enerji sistemin teknik kriterleri belirlendikten ve tasarımı yapıldıktan sonra maliyet analizine geçilmiştir. Ekonomik analiz yardımıyla hem sisteme ait maliyet durumu hem de yararlar değerlendirilmektedir. Ekonomik analizin belirlenmesinde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca; ekonomik analiz yapılırken ülkedeki yasal düzenlemeler, teşvikler, borçlanma faizi, elektrik alış-satış fiyatları ve vergiler gibi çeşitli unsurlar göz önünde bulundurularak değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

Çalışmada; 2 kWp fotovoltaik enerji sistemine ait ekonomik analiz yapılırken, gerekli piyasa araştırması yapılmıştır. Piyasa durumu neticesinde enerji sisteminde kullanılan panel, evirici, izleme sistemi gibi sistem için gerekli olan bileşenlerin birim fiyat değerleri PVsyst simülasyon yazılımında tanımlanmıştır. Ekonomik analiz bölümünde detaylı bir maliyet analizi yapılmıştır. Enerji sistemi, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesinin mülkiyetinde bulunan bir araziye kurulacak şekilde tasarlandığından arazi giderleri hesaba katılmamıştır. Ayrıca; kurulum için gerekli olan yatırım bedeli Üniversitenin öz sermayesinden karşılanacağı planlandığından gerekli olan bedel için herhangi bir kredi ya da borçlanma durumu sistemde tanımlanmamıştır. Böylece; kurulması planlanan 2 kWp kurulu güç değerine sahip Şebekeye bağımlı fotovoltaik enerji sisteminin tasarlanabilmesi için gerekli olan yatırım maliyeti PVsyst simülasyon yazılımı tarafından 15.560 TL olarak hesaplanmıştır. Ayrıca üretilen elektrik, Üniversitenin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayacak şekilde planlanmıştır. Enerji sisteminden kW başına elde edilebilecek gelir, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesinin enerji dağıtım firmasından kW başına satın aldığı bedel (2.6 TL) olarak belirlenmiştir. Son olarak yazılım tarafından kurulacak böyle bir sistemin geri ödeme süresi 5 yıl olarak belirlenmiştir.

Tasarlanan sisteminin; Üniversitenin mülkiyetindeki bir arsaya kendi öz sermayesi ile kurulması ve enerji sisteminin kurulum maliyetinin geri ödeme süresinin 5 yıl olması

durumları göz önünde bulundurulduğunda Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesinin enerjisinin bir kısmını bile fotovoltaik sistemlerle karşılamasının yerinde bir tercih olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Adaramola, M. S., & Vagnes, E. E.** (2015). Preliminary Assessment of a Small-Scale Rooftop Pv-Grid Tied in Norwegian Climatic Conditions. *Energy Conversion and Management*, 458-465.
- Akcan, E., & Kuncan, M.** (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(15), 248-261.
- Akkaş, Ö. P., & Çam, E.** (2020). Optimal Operation a Virtual Power Plant in a Day-Ahead Market Considering Uncertainties of Renewable Generation and Risk Evaluation. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 448-460.
- Akyürek, E. F., Geliş, K., & Yoladı, M.** (2021). Farklı Gölgeleme Durumlarının Fotovoltaik Panel Karakteristiği Üzerine Etkisi. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 11(1), 161-168.
- Alahmad, H., Taşkesen, E., Bilen, E.N.** (2023). Şırnak Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan Mühendislik Fakültesi Bina Çatılarının Örnek Şebekeye Bağlı (On-Grid) Bir Fotovoltaik Sistem Tasarımı. *1st International Conference on Scientific and Innovative Studie*, 245-257, Konya, Türkiye.
- Amrollahi, M. H., & Bathaee, S. T.** (2017). Techno-Economic Optimization of Hybrid Photovoltaic/Wind Generation Together With Energy Storage System in a Stand-Alone Micro-Grid Subjected to Demand Response. *Applied Energy*, 66-77.
- Bahgat, A. G., Helwa, N. H., Ahamd, G. E., & El Shenawy, E. T.** (2004). Estimation of The Maximum Power and Normal Operating Power of a Photovoltaic Module by Neural Networks. *Renewable Energy*, 29(3), 443-457.
- Baqir, M., & Channi, H. K.** (2022). Analysis and Design of Solar Pv System Using Pvsyst Software. *ScienceDirect*, 1332-1338.
- Barua, S.** (2017). Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVsyst Software. *International Journal Of Electronics And Electrical Engineering*, 5(1), 76-83.
- Başay, V., Akyüz, C., & Yılmaz, G.** (2019). Uludağ Çevresinde Ormanlık ve Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralının Verimliliğinin Belirleyen Etkenler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 181-192.
- Bayrakçı, H., & Gezer, T.** (2019). Bir Güneş Enerji Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, 46-54.
- Beyarslan, S.** (2012). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Mikro Şebeke Tasarımı ve Optimum Çözümün Homer İle İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bhandari, R.** (2009). Grid Parity Analysis Of Solar Photovoltaic Systems İn Germany Using Experience Curves. *Solar Energy*, 83(9), 1634-1644.

- Biberci, M.A.** (2023). Techno-Economic Analysis of a Solar-Powered Agricultural Irrigation System Using PV*SOL Software: A Case Study in Konya. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(1), 156-162.
- Bilhan, A. K., & Emikönel, S.** (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 289-294.
- Bosman, L. B., Leon-Salas, W. D., Hutzel, W., & Soto, E. A.** (2020). PV System Predictive Maintenance: Challenges, Current Approaches, and Opportunities. *Energies*, 13(6), 1398.
- Bouzuenda, M., Al Omair, A., Al Naeem, A., Al-Muthaffar, M., & Wazir, O. B.** (2014). Design Of An Off-Grid 2 Kw Solar Pv System. *2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*. Monte-Carlo, Monaco: IEEE.
- Ceylan, O.** (2018). Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(3), 895-903.
- Çelebi, G.** (2013). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 267-275.
- Çınaroğlu, H., & Önal, Y.** (2022). Çift Eksen Takipli Şebekeden Bağımsız 2kW Fotovoltaik Panel Sisteminin Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Performans Analizi. *4.International Palondöken Scientific Studies Congress*, 389-399. Erzurum: isarc.
- Çınaroğlu, H., & Önal, Y.** (2023). Performance Analysis Of Different Solar Tracking System For Off-Grid Photovoltaic Power System İn Bilecik, Turkey Using Pvsyst Software. *Journal of Scientific Reports-A*, 51, 192-210.
- Çolak, Ş. Ç.** (2010). *Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dey, D., & Subudhi, B.** (2020). Design, Simulation and Economic Evaluation of 90 kW Grid Connected Photovoltaic System. *Energy Reports*, 6, 1778-1787.
- Dinçer, F.** (2011). The Analysis on Photovoltaic Electricity Generation Status, Potential and Policies of the Leading Countries in Solar Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713-720.
- Duman, S., Yörükeren, N., & Altaş, İ. H.** (2014). Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimi ve Uygulaması . *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 9-23.
- Duhis, A.H., Aljanabi, M., Al-Kafaji, M.S.S.** (2023). Increasing Photovoltaic System Power Output With White Paint Albedo- A Scenerio İn Al-Mausaib City Using Pvsyst Software. *International Journal of Power Electronics and Derive System (IJPEDS)*, 14(2), 1149-1159.
- Eke, R., & Şentürk, A.** (2012). Performance Comparison of a Double-Axis Sun Tracking Versus Fixed Pv System. *Solar Energy*, 2665-2672.
- Ekici, B. B., & Gülten, A.** (2015). *Elazığ İli için Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi*.(Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Eldin, S. S., Abd-Elhady, M. S., & Kandil, H. A.** (2016). Feasibility of Solar Tracking Systems for Pv Panels in Hot and Cold Regions. *Renewable Energy*, 228-233.
- Ervural, B. Ç., Ervural, B., & Evren, R.** (2016). Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması. *Ege Academic Review*, 51-70.
- Faria, A. A., Maia, A. C., Moura, G. B., Fonseca, V. C., Nascimento, S. T., Milan, H. M., & Gebremedhin, K. G.** (2023). Use of Solar Panels for Shade for Holstein Heifers. *Animal System and Management*, 329.
- Garner, R., Jansen, G., & Dehouche, Z.** (2022). *Renewable Energy Community VPP Concept Design and Modelling for Sustainable Islands*. 1st Edition.
- Gelen, A., & Ayık, M.** (2019). Gerçek Bir Pv Sistem için Akü Şarj Devresi Tasarımı. *International Journal of Multidisciplinar Studies and Innovative Technologies*, 169-198.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).** [Erişim: 27.01.2023] <https://www.gepa.enerji.gov.tr/MYCalculator/pages/11.aspx>.
- Ghafoor, A., & Munir, A.** (2015). Design and Economics Analysis of an Off-Grid Pv System for Household Electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 496-502.
- Gökce, İ.** (2020). *Fotovoltaik (Pv) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Haydaroğlu, C., & Gümüş, B.** (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının Pvsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *ResearchGate*, 98-110.
- Idoko, J. A., Bamgbade, O. B., Abubakar, I. N., Onyechikwa, T. I., Adegboye, B. A., & Mustapha, B. M.** (2020). Design of Automatic Solar Tracking System Prototype to Maximize Solar Energy Extraction. *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 1923-1932. Nairobi, Kenya: IEEE.
- Irwan, Y. M., Amelia, A. R., Irwanto, M., Fareq, M., Leow, W. Z., Gomesh, N., & Safwati, I.** (2015). Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment Using PVSYST Software. *Energy Procedia*, 596-603.
- Jagdale, P. R., Choudhari, A. B., & Jadhav, S. S.** (2021). Design and Simulation of Grid Connected Solar Si-Poly Photovoltaic Plant Using PVsyst for Pune, India Location. *Renewable Energy Research and Applications*, 1057-1069.
- JINKOSOLAR.** *JKM 275pp Datasheets*. [Erişim : 27.01.2023] <https://solarpowerdirect.com.au/brochures/products/JKM275PP-60-Eagle.pdf>.
- Ju, X., Xu, C., Hu, Y., Han, X., Wei, G., & Du, X.** (2017). A Review On The Development Of Photovoltaic/Concentrated Solar Power (Pv-Csp) Hybrid Systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 161, 305-327.
- Kapluhan, E.** (2015). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Journal of Geography*, 29, 70-98.

- Karuniawan, E.A., Sugino, F.A.F., Larasati, P.D., Pramurti, A.R.** (2023). Analisis Potensi Daya Listrik Plts Atap D1 Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVsyst. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 4(2), 75-80.
- Kaynar, N. K.** (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54.
- Khatib, T.** (2010). A Review of Designing, Installing and Evaluating Standalone Photovoltaic Power Systems. *Journal of Applied Sciences*, 1212-1228.
- Kınalı, M. Y., & Kulaksız, A. A.** (2019). *Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kıyançıçek, E.** (2013). *Fotovoltaik Sistemlerinin Boyutlandırılması için PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Köberle, A. C., Gernaat, D. E., & Vuuren, D. V.** (2015). Assessing Current And Future Techno-Economic Potential Of Concentrated Solar Power And Photovoltaic Electricity Generation. *Energy*, 89, 739-156.
- Kumar, R., Raj, A., Kumar, K., & Kumar, D.** (2020). Quantitative Assessment Of Roof Top Solar Photovoltaic Power: A Case Study From University Hostel Of Dr. Rajendra Prasad Central Agricultural University, Pusa. *International Journal of Chemical Studies*, 2481-2484.
- Kurz, D., & Nowak, A.** (2023). Analysis of the Impact of the Level of Self-Consumption of Electricity from a Prosumer Photovoltaic Installation on Its Profitability under Different Energy Billing Scenarios in Poland. *Energy Performance and Application Possibilities of Photovoltaic Modules*, 16(2), 946.
- Kuzucu, U.** (2021). *Edirne İlinde Tarımsal Sulamada Güneş Enerjisi Kullanımı*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Ledmaoui, Y., El Mahraoui, A., & Chebak, A.** (2022). Solar Charging Station for Electric Vehicles with IoT Solution for Monitoring Energy Production. *International Conference on Smart Applications and Data Analysis (SADASC)*, 63-77.
- Li, C., Zhou, D., Yu, W., Wang, H., Zhu, D., Sun, M., & Li, G.** (2017). Performance of Off-Grid Residential Solar Photovoltaic Power Systems Using Five Solar Tracing Modes in Kunming, China. *Sciencedirect*, 6502-6510.
- Limem, F., & Sezen, S.** (2021). Comparative Analysis of Different Photovoltaic Simulation Software: Case Study on Analyzing the Performance of a 5,1 kWp Grid Connected Photovoltaic System. *European Journal of Science and Technology*, 32, 816-826.
- Mandelli, S., Brivio, C. S., Colombo, E., & Merlo, M.** (2016). A Sizing Methodology Based on Levelized Cost of Supplied and Lost Energy for Off-Grid Rural Electrification Systems. *Renewable Energy*, 475-488.

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM). *Türkiye Global Güneş Işınımı Uzun Yıllar Ortalaması.* [Erişim: 27.01.2023]. www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=bilecik-.

Mohammed, A., Ghaithan, A., Al-Hanbali, A., Attia, A. M., aleh, H., & Alsawafy, O. (2022). Performance Evaluation and Feasibility Analysis of 10 kWp Pv System for Residential Buildings in Saudi Arabia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 1019-1025.

Nann, S. (1990). Potentials for Tracking Photovoltaic Systems and V-Troughs in Moderate Climates. *Solar Energy*, 385-393.

Oral, G., & Uçan, O. N. (2014). Güneş Takip Sistemleri ve Prototip Gerçekleştirme. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi (İAÜD)*, 1-14.

Ozbay, H., Karafil, A., Önal, Y., Kesler, M., & Parmaksiz, H. (2017). The Monitoring of Monthly, Seasonal and Yearly Optimum Tilt Angles by Raspberry Pi Card for Bilecik City, Turkey. *Energy Procedia*, 113, 311-318.

Özçelik, M. A., Karalı, İ., & Kabul, A. (2020). Overview of Solar Energy Conversion in Turkey. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 4(1), 2-11.

Özdemir, T., Özge, T.Ö. (2023). Farklı Tipteki Fotovoltaik Güneş Panellerinin Düzce için 2014-2019 Yılları Arası Yaz Ayları Performans ve Verimlilik Analizi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 11(1), 381-398.

Polo, J., & Garcia, R. J. (2023). Solar Potential Uncertainty in Building Rooftops as a Function of Digital Surface Model Accuracy. *New Challenges in Solar Radiation, Modelling and Remote Sensing*, 567.

PVGIS. *PVGIS Online Tool.* [Erişim: 27.01.2023]. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en.

PVsystem. *Scientific Publication.* [Erişim: 27.01.2023]. www.pvsystem.com/scientific-publication.

Romaliya, J. V. (2015). Performance Evaluation of Grid-connected Solar Photovoltaic Plant Using PVSYSST Software. *JETIR*, 2(2), 372-378.

Rout, K. C., & Kulkarni, P. (2020). Design and Performance Evaluation of Proposed 2 kW Solar Pv Rooftop On-Grid System in Odisha Using Pvsyst. *2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, 795-781, Bhopal, India: IEEE.

Sadıkoğlu, S. (2018). *1 MWp Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrali Performans Analizi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Saraswat, R., & Sathans. (2017). Comparative Performance Evaluation of Solar Pv Modules From Different Manufacturers in India by Using Pvsyst. *1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 1985-2003, Delhi, India: IEEE.

- Sevim, H.** (2017). *Fotovoltaik Teknolojilerin Türkiye Açısından Yatırım Değerlendirmesi Tire Organize Sanayi Bölgesi Örneği*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Sharma, D. K.** (2014). Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(2), 725-731.
- Singh, G. K.** (2016). Solar Power Generation By Pv (Photovoltaic) Technology. *A review Energy*, 1-13.
- Smiles, M. J., Law, A. M., Urwick, A. N., Thomas, L., Irwine, L. A., Pilot, M. T., & Walker, A. B.** (2022). Next Steps in the Footprint Project: A Feasibility Study of Installing Solar Panels on Bath Abbey. *Energy Science and Engineering*, 892-902.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., & Kanit, E. G.** (2005). Solar-Energy Potential in Turkey. *Applied Energy*, 367-381.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Santral Kurulu Güç Raporları.** [Erişim: 27.01.2023], www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari.
- Tiwari, V., & Pal, K.** (2023). Techno-Economic Assesment And Choice Of Battery For Hybrid Energy Using Homer Software. *Advanced Control & Optimization Paradigms for Energy System Operation and Management*, 61.
- TN POWER.** [Erişim: 27.01.2023], <https://www.tiannengglobal.com/products/tng-series-general-purpose-gel-battery/>.
- Tolgay, D., Yakut, M. S., Özden, T., & Akınoğlu, B.** (2023). Assessment of Photovoltaic Module Temperature Estimation for Four Years with Four Different Software. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 13(1), 32-46.
- Tripathi, B., Yadav, P., Rathod, S., & Kumar, M.** (2014). Performance Analysis and Comparison of Two Silicon Material Based Photovoltaic Technologies Under Actual Climatic Conditions In Western India. *Energy Conversion and Management*, 80, 97-102.
- Umar, N., Bora, B., & Banarjee, S. T.** (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*, 11-24.
- Varınca, K. B., & Gönüllü, M. T.** (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. *I. Uluslararası Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK 2006)*, 270-275.
- Wang, C., Guo, S., Pei, H., Liu, D., & Li, M.** (2023). Rolling Optimization Based On Holism For The Operation Strategy Of Solar Tower Power Plant. *Applied Energy*, 869-878.
- Yılmaz, M.** (2017). İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğinin Arttırılması. *Batman University Journal of Life Sciences*, 56-62.