



**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE
EĞİM AÇISININ EKSERJİ VE ENERJİ VERİMİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ŞARTLARINDA
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan SARIÇOBAN

Danışman

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİ
SİSTEMLERİNDE EĞİM AÇISININ EKSERJİ VE ENERJİ
VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN AFYONKARAHİSAR
BÖLGESİ ŞARTLARINDA İNCELENMESİ

Hasan SARIÇOBAN

Danışman

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Hasan SARIÇOBAN tarafından hazırlanan “ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE EĞİM AÇISININ EKSERJİ VE ENERJİ VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ŞARTLARINDA İNCELENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU İmza

Üye : Doç. Dr. Serdar ÖZYÖN İmza

Üye : Doç. Dr. Ceyhun YILMAZ İmza

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

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

04/ 05/ 2023

Hasan SARIÇOBAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE EĞİM AÇISININ EKSERJİ VE ENERJİ VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ŞARTLARINDA İNCELENMESİ

Hasan SARIÇOBAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Bu araştırmada, Türkiye’de Afyonkarahisar ili iklim koşullarında kurulan monokristal yapılı güneş enerji sisteminin eğim açısı, enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Öncelikle güneş enerji sistemlerinin, günümüzde ve gelecekte daha verimli kullanılabilmesi ve devamlılığının sağlanması için Yapay Sinir Ağları ile güneş ışıyım şiddeti tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada tahmin simülasyonu oluşturulup çıktı verileri ile gerçek veriler karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonrasında, söz konusu bölge için üretimin en verimli olduğu panel eğim açısı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda 32° ile 50° arasında değişen açılar arasında en uygun açı tespit edilmiştir. Güneş enerji sistemi için en uygun açı belirlendikten sonra sistemin Ocak, Şubat ve Mart ayları için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu aylar arasında enerji veriminin en yüksek olduğu ay %9 ile Şubat ayı olarak belirlenmiştir. Ekserji analizleri sonucunda ise ekserji veriminin en yüksek olduğu ay %15 ile Şubat ayı olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda ortam sıcaklığındaki artışın ekserji verimi üzerindeki olumlu etkisi görülmüştür. Ölçümler, ampirik bağıntılar ve formüller Afyonkarahisar ili için deneysel olarak hesaplanmıştır.

2023, ix + 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Yapay Sinir Ağları, Enerji, Ekserji, Güneş Işıyımı

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

EXAMINATION OF THE EFFECT TILT ANGLE ON THE EFFICIENCY OF ENERGY AND EXERGY UNDER AFYONKARAHISAR REGIONAL CONDITIONS

Hasan SARIÇOBAN

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Renewable Energy Systems
Supervisor: Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

In this research, tilt angle, energy and exergy analyzes of the monocrystalline solar energy system established in the climatic conditions of Afyonkarahisar province in Turkey were made. First of all, solar radiation intensity estimation was carried out with Artificial Neural Networks in order to ensure that solar energy systems can be used more efficiently today and in the future. In this application, a prediction simulation is created and verified by comparing the output data with the actual data. Afterwards, researches were made on the panel tilt angle, which is the most efficient production for the region in question. As a result of these researches, the most suitable angle was determined between the angles ranging from 32° to 50°. After determining the most suitable angle for the solar energy system, energy and exergy analyzes of the system were made for January, February and March. Among these months, the month with the highest energy efficiency was determined as February with %9. As a result of the exergy analysis, the month with the highest exergy efficiency was determined as February with %15. As a result of the analysis, the positive effect of the increase in ambient temperature on the exergy efficiency was observed. Measurements, empirical relations and formulas were calculated experimentally for Afyonkarahisar province.

2023, ix + 57 pages

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Artificial Neural Network, Energy, Exergy, Solar Radiation

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesinde, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi ve yapımında, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU'na, yazım süresince ve verilerin hesaplanmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Ceyhun YILMAZ'a ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Melike SARIÇOBAN'a ve aileme teşekkür ederim.

Hasan SARIÇOBAN
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Türkiye’nin Jeolojik Konumu	2
1.1.1 Afyonkarahisar İlinin Jeolojik Konumu.....	3
1.2 Türkiye’deki Yenilenebilir Enerji Türleri	5
1.3 Fotovoltaik Sistemler	9
1.3.1 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları	10
1.3.2 Fotovoltaik (PV) Paneller	11
1.3.2.1 Monokristal (Tekli Kristal) Fotovoltaik Panel	12
1.3.2.2 Polikristal (Çoklu Kristal) Fotovoltaik Panel	13
1.3.2.3 Thin-Film Fotovoltaik Paneller (İnce Tabakalı Güneş Panelleri) .	15
1.4 Evirici (İnverter).....	16
1.5 Solar Aküler	17
1.6 Montaj Malzemeleri	18
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	20
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1 Enerji ve Ekserji Analizinin Yapıldığı Deney Düzeneği	26
3.2 Yapay Sinir Ağları	31
3.2.1 Yapay Sinir Ağının Oluşturulması.....	36
3.3 Enerji ve Ekserji Hesabı İçin Kullanılan Modeller	37
3.3.1 Enerji Analizi İçin Kullanılan Model.....	37
3.3.2. Ekserji Analizi İçin Kullanılan Model	38
4. BULGULAR	41

5. TARTIşMA VE SONUÇ.....	48
6. KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİř.....	57



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

KWh	Kilowatt/saat
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
MW	Megawatt
KW	Kilowatt
W	Watt
P	Güç
M ²	Metrekare
Cm ²	Santimetrekare
I _{sc}	Kısa devre akımı
V _{oc}	Açık devre gerilimi
K	Kelvin
°C	Derece
T _{cell}	Hücre sıcaklığı
T _{amb}	Ortam sıcaklığı
T _{sky}	Gökyüzü sıcaklığı
T _{sun}	Güneş sıcaklığı
G	Güneş radyasyonu
V _{mp}	Maksimum güç üretiminde voltaj
I _{mp}	Maksimum güç üretiminde akım
P _{max}	Maksimum güç üretimi
T _{ec}	Sıcaklığa bağlı voltaj değişim katsayısı
A _{pV}	Panel Alanı
Ex	Ekserji oranı
En	Enerji oranı
Q	Isı transfer hızı
η	Enerji verimliliği
ψ	Ekserji verimliliği
Ex _{sol}	Güneş ışıınımı ekserjisi
H _{conv}	Konvektif ısı transfer katsayısı
H _{rad}	Işıma ısı transfer katsayısı

Kısaltmalar

AR-GE	Araştırma Geliştirme
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	Güneş Enerjisi Santrali
PV	Fotovoltaik
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Türkiye'nin güneş ışıını potansiyeli haritası	3
Şekil 1.2 Afyonkarahisar ili güneş enerjisi potansiyeli haritası	4
Şekil 1.3 2019 Aralık ve 2020 Aralık ayı sonu elektrik enerjisi kurulu güç oranları.....	6
Şekil 1.4 2021 Aralık ve 2022 Aralık ayı sonu elektrik enerjisi kurulu güç oranları.....	7
Şekil 1.5 2021-2022 elektrik enerjisi kurulu güç değişim oranları	8
Şekil 1.6 Fotovoltaik modül yapısı	12
Şekil 3.1 Fotovoltaik sistem çalışma prensibi	26
Şekil 3.2 Basit bir yapay sinir ağı (nöron) yapısı	32
Şekil 3.3 MLP (Multi layer perceptron) sisteminin geliştirilmiş mimarisi.....	34
Şekil 3.4 Oluşturulan yapay sinir ağı yapısı.....	36
Şekil 4.1 Yapay Sinir Ağı eğitim başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.....	41
Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağı doğrulama başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.....	41
Şekil 4.3 Yapay Sinir Ağı test başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.....	42
Şekil 4.4 Yapay Sinir Ağı genel eğitim başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.....	42
Şekil 4.5 Tilt açılarındaki enerji ve ekserji verimi	43
Şekil 4.6 Ocak, Şubat ve Mart aylarında optimum açıdaki enerji üretimi ve enerji verimi	44
Şekil 4.7 Ocak ayı optimum açıdaki ışıını şiddeti, enerji ve ekserji verimi.....	45
Şekil 4.8 Şubat ayı optimum açıdaki ışıını şiddeti, enerji ve ekserji verimi	46
Şekil 4.9 Mart ayı optimum açıdaki ışıını şiddeti, enerji ve ekserji verimi	47
Şekil 5.1 Tilt açılarındaki enerji ve ekserji verimi	48
Şekil 5.2 Optimum açıdaki aylık ışıını şiddeti, ortam sıcaklığı, enerji ve ekserji verimi	49
Şekil 5.3 Ocak ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi.....	50
Şekil 5.4 Şubat ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi	51
Şekil 5.5 Mart ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Afyonkarahisar ili aylık ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri	5
Çizelge 1.2 2020 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	6
Çizelge 1.3 2021 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	7
Çizelge 1.4 2022 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	8
Çizelge 3.1 İsofoton ISF-60/12 model monokristal fotovoltaik panel parametreleri.....	28
Çizelge 3.2 Fotovoltaik panelin tilt açıları ve tarihleri.....	30
Çizelge 3.3 Enerji ve ekserji analizinde kullanılan denklemlerin çizelgesi	40

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Güneş paneli çeşitleri.....	11
Resim 1.2 Monokristal panel	13
Resim 1.3 Polikristal panel	14
Resim 1.4 İnce tabakalı (Thin-film) güneş paneli.....	15
Resim 1.5 Evirici (İnverter)	17
Resim 1.6 Solar akü ve kontrol birimleri	18
Resim 3.1 Deney düzeneği.....	27
Resim 3.2 İsofoton ISF-60/12 fotovoltatik panel.....	28
Resim 3.3 Güneş ışıınımı ölçümünde kullanılan pironometre	29
Resim 3.4 PLC giriş modülü.....	31

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varoluşundan bu yana temel ihtiyaçlarından biri olan enerji, çağlar boyunca en önemli konumda yer almaktadır. Enerjiye duyulan ihtiyacın maddi olarak uygun ve çevre ile dost olması, geleceğimiz için çok önemlidir. Bu nedenle yenilenebilir enerjinin önemi her geçen gün artmaktadır. Yaşanan tüm gelişmeler sonucunda enerji, gün geçtikçe tükenmekte ve insanların en büyük sorunu sürdürülebilirlik sorunu olmaktadır. Fiziksel olarak canlılar tarafından yok edilemeyen veya yoktan var edilemeyen enerji birçok yönden ele alınmış ve mevcut sistemleri iyileştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Termodinamikte enerji, değişiklik yapabilme yeteneği ve cisim veya cisimler sistemi üzerinde iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Enerjinin farklı türleri mevcuttur. Bunlar, elektrik, kimyasal, mekanik, ısı ve nükleer enerji gibi türlerdir. Termodinamiğin birinci yasasında enerjinin korunumu, ikinci yasasında ise enerjinin niteliği ve niceliğini ifade etmektedir. Bu yasaya göre enerji, form değiştirirken kalitesi azalmaktadır. Bu yasa ekserjiyi ifade etmekte olup sistemin yapacağı maksimum iş miktarıdır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birleşmesi ekserji analizini oluşturmaktadır. Ekserji tanım olarak, sabit koşullar altında bir sistemden kazanılacak maksimum iş potansiyeli olarak ifade edilmektedir.

Mohammad vd. (2019)'ne göre, enerjinin çoğu tükenmekte olan fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Ayrıca, fosil enerji tüketimi çevre sorunlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu etkiyi azaltmak için, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerjilerin kullanılması gerekmektedir.

Ashourian vd. (2013)'ne göre enerji, toplumların gelişiminin tanımlanmasında önemli bir faktördür ve ulusal ekonomik kalkınmanın sağlanmasında büyük bir rol oynamaktadır. 1980'de dünyanın birincil enerji talebi sadece 7228 milyon ton petrol iken, 2005'te bu talep yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Bu enerji talebine karşılık olarak yenilenebilir enerji kaynakları, dış bağımlılığı azaltmak, çevresel faydalar sağlamak için uygun bir seçenektir.

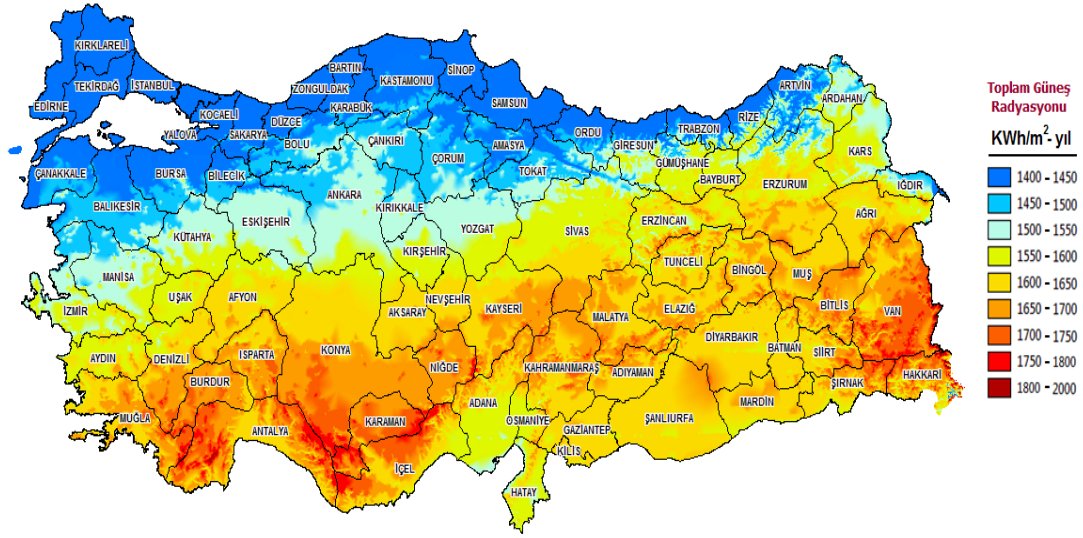
Nosratabadi vd. (2017)'ne göre yenilenebilir enerji, enerji üretimi, biyoyakıtlar, ısıtma ve soğutma sistemleri şeklinde kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesini sağlamak için hükümetler tarafından indirimli tarifeler, standart protokoller, vergi kredileri, fiyatlandırma yasaları, üretim teşvikleri ve gerekli kotalar dâhil olmak üzere çeşitli politikalar geliştirilmiştir.

Kumar vd. (2020)'ne göre fotovoltaik panelin ekserji analizi, enerjinin kalite indeksinin ölçülmesini sağlamaktadır. Genel olarak termodinamik yasalara dayanan fotovoltaik panelin performans karakteri, kritik öneme sahip bileşenlerinden biridir. Ekserji analizi, bir PV modülün dış ortamla olası tüm etkileşimlerini hesaplar ve termal kayıplarını ölçmektedir. Genel olarak ekserji analizi, PV modüllerin verimli kullanımını değerlendirerek, gerçek performansı sağlamaktadır.

Wu vd. (2015)'ne göre enerji, termodinamiğin birinci yasasına göre korunan bir niceliktir. Ekserji ise termodinamiğin ikinci yasasına göre korunması mümkün olmayan bir niceliktir. Ekserji, bulunduğu ortamda termodinamik denge halinde bulunan sistem veya maddenin üretebileceği maksimum iş miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ekserji analizi ile aynı standarda dayalı PV/T sistemlerde, elektriksel ve termal enerji karşılaştırılarak niteliksel bir değerlendirme yapılmasına imkân vermektedir.

1.1 Türkiye'nin Jeolojik Konumu

Türkiye, kuzey yarım kürede 36° ve 42° kuzey enlemleri ile 26° ve 45° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ekvatorun kuzeyinde ve Greenwich'in doğusundadır. Dört ayrı mevsimi olan ılıman bir ülkedir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan enerji olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisinin Dünya atmosferi dışındaki yoğunluğunun 1370 w/m² civarında olduğu hesaplanmıştır. Fakat bu değer 0-1100 w/m²'si atmosfer tabakasından dolayı Dünya'ya ulaşmaktadır. Dünya'ya ulaşan bu enerjinin çok küçük bir kısmı bile insanlığın tüm enerji tüketiminden daha fazladır. Türkiye'nin, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Enerji Bakanlığı verilerine göre, Türkiye'nin toplam güneşlenme süresi yılda 2741 saat ve ortalama toplam ışıyım yoğunluğu yılda 1527 kWh/m² olmaktadır (TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).



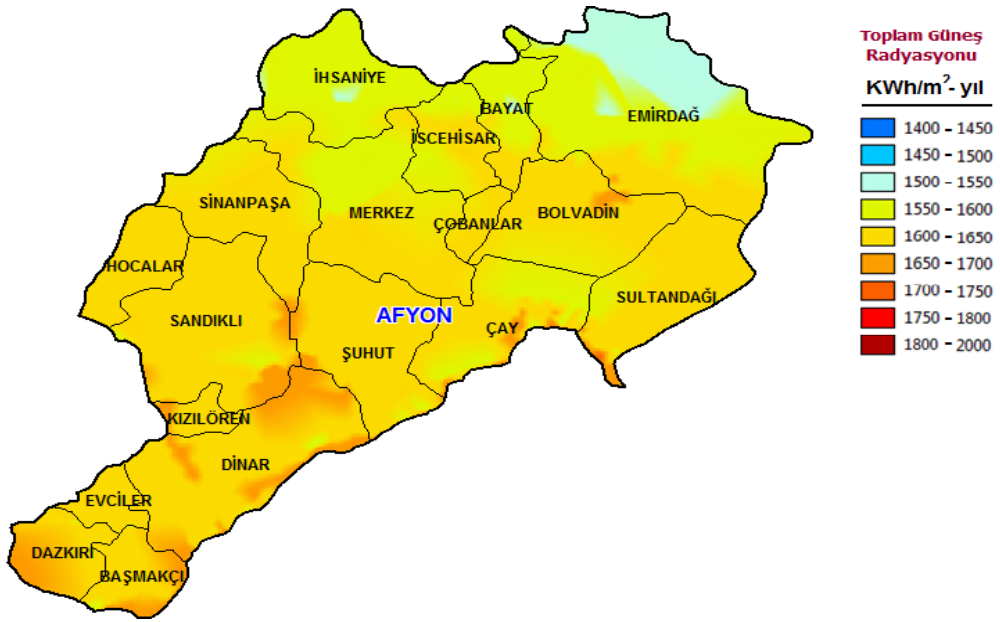
Şekil 1.1 Türkiye'nin güneş ışıınımı potansiyeli haritası (İnt.Kyn.1).

Aksungur vd. (2013)'ne göre Türkiye'nin bölgeleri incelendiğinde, Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde yılın çoğu günleri yağışlı geçmekte olup, ışıınım miktarı olarak düşük bir bölgedir. Atmosferde artış gösteren su buharı oranı, ışıınımın yeryüzüne ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Kuzey Ege Bölgesi ve Marmara, Karadeniz Bölgesine kıyasla daha yüksek ışıınım değerine sahiptir. Batı Akdeniz, Güney Ege ve Orta Anadolu Bölgeleri orta derecede ışıınım şiddetine sahiptir. Doğu Anadolu ve Doğu Akdeniz Bölgeleri ise ışıınım şiddetinin iyi derecede olduğu bölgeler arasında yer almaktadır. Güney Doğu Bölgesi, soğuk bir iklime sahip ve rakımı yüksek olsa da bölgenin sağ en alt ucu en iyi ışıınım değerlerine sahiptir. Havada bulunan su buharı, kar ve yağmur formuna dönüşmekte olup, atmosfer daha berrak durumdadır. Buna bağlı olarak ışıınımın engellenmesi en az seviyededir.

1.1.1 Afyonkarahisar İlinin Jeolojik Konumu

Bu çalışmayı gerçekleştirdiğimiz bölge olan Afyonkarahisar ili, coğrafi konum olarak Türkiye'nin Ege Bölgesinin iç batı olarak adlandırılan kesiminde bulunmaktadır. Yüzölçümü 14 570 Km²'dir. Afyonkarahisar ilinin doğusu İç Anadolu Bölgesinin özelliklerini göstermektedir. Güneybatısında yer alan küçük bir bölge Akdeniz Bölgesinin özelliklerini taşımakta olup, Batı Anadolu ile İç Anadolu Bölgesini birleştirmektedir. Afyonkarahisar coğrafi bölgeler olarak bakıldığında Ege, Akdeniz ve

İç Anadolu bölgesine yayılan bir ildir. Rakımı 1034 metre olup, 37°45 ve 39°17 kuzey enlemi, 29°40 ve 31°43 doğu boylamı üzerinde bulunmaktadır. Afyonkarahisar ilinin %47,5'ini dağlar, %32,6'sını platolar ve %19,9'unu ovalar oluşturmaktadır. Afyonkarahisar ili, karasal iklime sahip olmasına rağmen dağların denize uzanmasından dolayı Ege denizinden gelen hava akımları düşük oranda iklimin yumuşamasını sağlamaktadır. Işınım şiddeti bakımından yılda 1550-1650 kWh/m² güneş ışınım şiddetine sahiptir. Şekil 1.2'de Afyonkarahisar iline ait güneş enerji haritası verilmektedir.



Şekil 1.2 Afyonkarahisar ili güneş enerjisi potansiyeli haritası (İnt.Kyn.4).

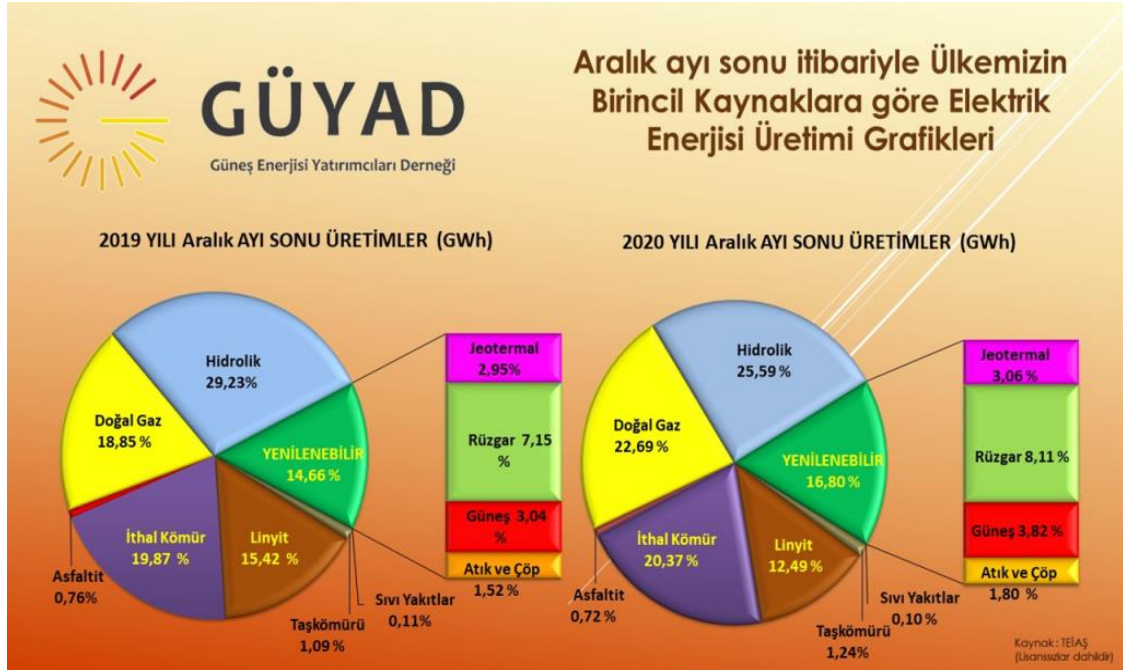
Afyonkarahisar ilinin aylık ışıınım değerleri ve güneşlenme zamanları çizelge 1.1'de verilmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi Türkiye için günlük 7,2 saat iken Afyonkarahisar ili verileri incelendiğinde Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları, Türkiye ortalamasının üzerindedir. Kış aylarında iklimden dolayı bulutlu gün sayısı fazladır. Bunun sonucunda güneşlenme süresi ve küresel ışıınım değeri düşmektedir.

Çizelge 1.1 Afyonkarahisar ili aylık ışıınım şiddeti değerleri ve güneşlenme süreleri (İnt.Kyn.4).

Aylar	Işınım Değeri (kWh/m ² -gün)	Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	1,85	3,91
Şubat	2,47	5,17
Mart	4,00	5,64
Nisan	5,10	7,05
Mayıs	6,21	9,27
Haziran	6,63	10,71
Temmuz	6,72	11,36
Ağustos	8,94	10,73
Eylül	4,92	9,39
Ekim	3,53	6,82
Kasım	2,19	5,12
Aralık	1,66	3,74

1.2 Türkiye’deki Yenilenebilir Enerji Türleri

Son yıllarda artmakta olan enerji krizi ve küresel ısınma nedeniyle, gelişmiş ülkeler enerji üretiminde, alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Ülkemizde de Dünya ülkelerinde olduğu gibi enerji alanında yapılan çalışmalar artmakta olup, dışa bağımlılığı azaltan, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi hızla artmaktadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim artmasına rağmen büyük payı kömür, petrol, doğalgaz gibi kaynaklar almaktadır. Yenilenebilir enerji sadece elektrik üretiminde değil, ulaşım ve ısıtma sistemleri gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

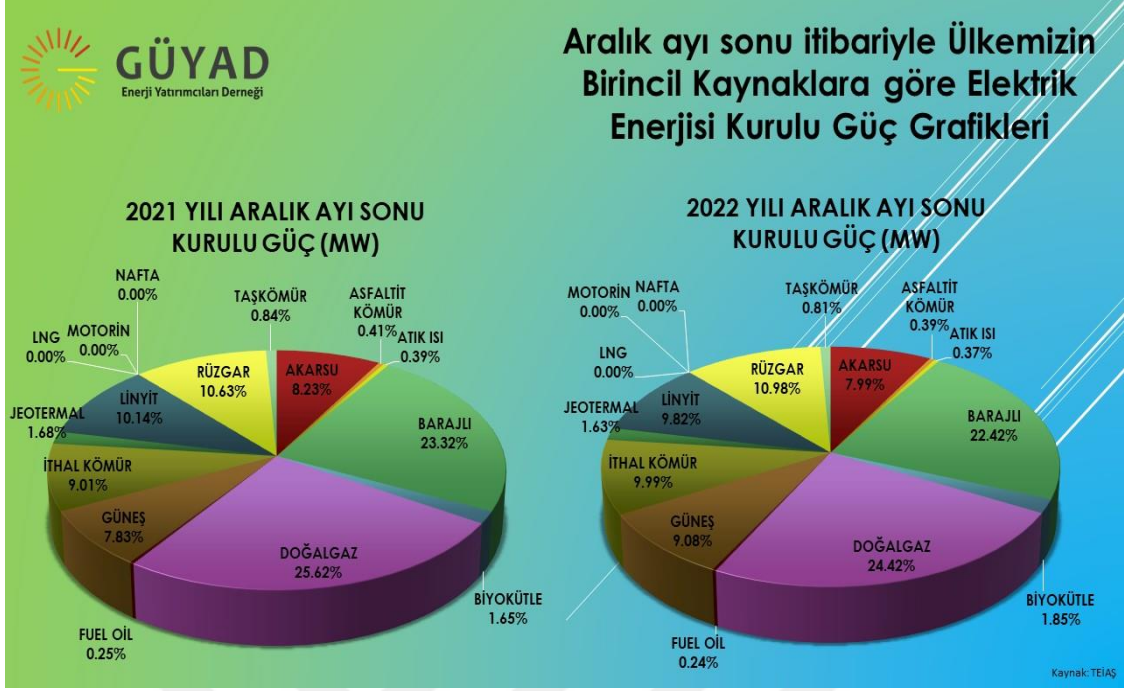


Şekil 1.3 2019 Aralık ayı sonu ve 2020 Aralık ayı sonu elektrik enerjisi kurulu güç oranları (İnt.Kyn.2).

2020 yılında açıklanan değerlere göre; Aralık ayı sonunda kurulu güç 94 801 MW olup kaynaklara göre dağılım yapıldığında; %25,59'u hidrolik, %22,69'u doğal gaz, %34,82'si kömür, %8,11'i rüzgâr, %3,82'si güneş, %3,06'sı jeotermal ve %1,91'si ise diğer kaynaklar şeklinde dağılım göstermektedir(İnt.Kyn.2).

Çizelge 1.2 2020 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (İnt.Kyn.3).

Kaynak Tipi	Toplam (GWh)
Taşkömürü + İthal Kömür +Asfaltit	67 873,6
Linyit	37 938,4
Sıvı Yakıtlar	322,7
Doğal Gaz + Lng	70 931,3
Yenilenebilir + Atık	5736,6
Termik	182 802,6
Hidrolik	78 094,4
Jeotermal + Rüzgâr + Güneş	45 806,1
Brüt Üretim	306 703,1



Şekil 1.4 2021 Aralık ve 2022 Aralık ayı sonu elektrik enerjisi kurulu güç oranları (İnt.Kyn.2).

2021 yılında ise açıklanan değerler; Aralık ayı sonunda kurulu güç 99 819 MW olup kaynaklara göre dağılım yapıldığında; %31,55'i hidrolik, %25,62'si doğal gaz, %20,4'ü kömür, %10,63'ü rüzgâr, %7,83'ü güneş, %1,68'i jeotermal ve %2,29'ü ise diğer kaynaklar şeklinde dağılım göstermektedir(İnt.Kyn.2).

Çizelge 1.3 2021 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (İnt.Kyn.3).

Kaynak Tipi	Toplam (GWh)
Taşkömürü + İthal Kömür +Asfaltit	60 398,7
Linyit	42 983,3
Sıvı Yakıtlar	281,5
Doğal Gaz + Lng	111 180,8
Yenilenebilir + Atık	7779,1
Termik	222 623,5
Hidrolik	55 926,8
Jeotermal + Rüzgâr + Güneş	56 172,8
Brüt Üretim	334 723,1

2022 Aralık sonu açıklanan değerlerde, kurulu güç 103 809 MW olmuştur. Kaynaklara göre dağılım yapıldığında; %30,41'i hidrolik enerji, %24,42'si doğal gaz, %21,01'i kömür, %10,98'i rüzgâr, %9,08'i güneş, %1,63'ü jeotermal ve %2,46'sı ise diğer kaynaklar şeklinde dağılım göstermektedir(İnt.Kyn.2).

 Aralık ayı sonu itibariyle Ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi			
KAYNAKLAR	2021 YILI ARALIK AYI SONU KURULU GÜÇ (MW)	2022 YILI ARALIK AYI SONU KURULU GÜÇ (MW)	ARTIŞ (%)
AKARSU	8,212.2	8,296.3	0.69
ASFALTİT KÖMÜR	405.0	405.0	0
ATIK ISI	390.9	387.5	-0.86
BARAJLI	23,280.4	23,275.2	-0.02
BİYOKÜTLE	1,644.5	1,921.3	16.83
DOĞALGAZ	25,573.6	25,345.3	-0.89
FUEL OİL	251.9	251.9	0
GÜNEŞ	7,815.6	9,425.4	20.59
İTHAL KÖMÜR	8,993.8	10,373.8	15.34
JEOTERMAL	1,676.2	1,691.3	0.90
LİNYİT	10,119.9	10,191.5	0.70
LNG	2.0	2.0	0
MOTORİN	1.0	1.0	0
NAFTA	4.7	4.7	0
RÜZGAR	10,607.0	11,396.2	7.44
TAŞKÖMÜR	840.8	840.8	0
TOPLAM	99,819.5	103,809.2	3.99

Kaynak: TEİAŞ

Şekil 1.5 2021-2022 elektrik enerjisi kurulu güç değişim oranları (İnt.Kyn.2).

Çizelge 1.4 2022 yılı Türkiye elektrik üretiminin (brüt) birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (İnt.Kyn.3).

Kaynak Tipi	Toplam (GWh)
Taşkömürü + İthal Kömür +Asfaltit	68 070,1
Linyit	44 745,7
Sıvı Yakıtlar	3104,4
Doğal Gaz + Lng	72 536,1
Yenilenebilir + Atık	9079,8
Termik	197 536,2
Hidrolik	67 195,4
Jeotermal + Rüzgâr + Güneş	61 283,2
Brüt Üretim	326 014,8

1.3 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneşten gelen ışınmı elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler birçok bileşenden oluşmaktadır. Sistemin en önemli elemanı olan güneş panelleri, yüzeyine düşen güneş ışığını absorbe ederek DC akımlı elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen DC akımlı elektrik enerjisi, invertörler (evirici) yardımı ile AC akımlı enerjiye çevrilmektedir. Şebekeye bağlı (On-grid) ve şebekeden bağımsız sistemler (Off-grid) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemler ürettiği elektriği anlık olarak tüketmekte olup, fazla üretilen elektrik enerjisini şebekeye iletmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde ise üretilen elektrik, piller kullanılarak depolanmakta ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda pillerden elektrik çekilerek kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler, batarya maliyetlerinden dolayı şebekeye bağlı sistemlere göre daha yüksek kurulum maliyeti gerektirdiği için zorunlu olmayan bölgelerde önerilmemektedir.

Copiello vd. (2017)'ne göre, fotovoltaik panellerden elektrik üretiminde son zamanlarda artış görülmektedir. Bu artış tüm batı ülkelerini kapsamakta olup, fotovoltaik panellerin üretim kapasitelerinde bölgesel olarak farklılıklar gözlenmektedir. Bu farklılıkların genellikle güneş ışınmı ve iklim koşullarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemle elektrik üretiminin hangi faktörlere bağlı olduğunun tespit edilmesinde yapılan çalışmalar, üretim kapasitesinin konuma bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Pearsall (2017)'a göre, güneş enerjisinden elektrik üretiminin gelişmesi ile küresel çapta artmakta olan enerji talebinin karşılanması, güneş teknolojileri ile mümkün hale gelmektedir. Kurulan güneş enerji sistemlerinde, tesisin işletme maliyetlerine dair tüm harcamalar, fotovoltaik panellerin maliyetinden daha düşük olmaktadır. Bu nedenle, güneş enerji sistemlerinden elektrik üretiminin toplam maliyetini daha da azaltmak için invertörlere, yapı malzemelerine, sistem kurulumuna ve bakım maliyetlerine daha fazla önem verilmelidir.

Hofierka ve Süri (2002)'e göre, fotovoltaik panellerin yüzeyine düşen güneş ışınmı, panelde üretilen güç miktarını belirlemektedir. Bir fotovoltaik panelin verimini, güneş ışınmı şiddeti ve hücre sıcaklığı etkilemektedir. Üretilen enerji miktarını etkileyen diğer

faktörler ise, çevresel koşullar (rüzgâr, ortam sıcaklığı vb.) ve sistem bileşenlerinin güvenilirliğine bağlıdır. Sistemin kurulacağı bölgenin yüksekliği, alanın eğimi ve gölge alma durumu, ışınım şiddetini etkileyen en önemli faktörlerdir.

Venkateswari ve Sreejith (2019)'e göre, atmosferik koşullar ve sıcaklık, fotovoltaik sistemlerin verimlerine doğrudan etki ettiği için dezavantaj olarak görülmektedir. Dünya da üretim verileri değerlendirildiğinde, 2020 yılı sonunda toplam 702 GW enerji, güneş enerji sistemleri ile üretilmiştir. Geleceğe yönelik yapılan çalışmalarda, 2050 yılına kadar talep edilen enerji ihtiyacının %16'sının güneş enerji sistemlerinden elde edilebileceği öngörülmektedir.

2022 yılı verileri incelendiğinde Türkiye, güneş enerji santrali bulunan 49 ülke arasından 14'üncü sırada yer almakta olup, 8275 MW kurulu güneş enerjisi gücüne sahiptir(Enerji Atlası, 2022). Güneş enerji sistemlerinin yaygınlaşması ve kurulumlarının hızlanmasını, mevzuatlarda yapılan güncellemeler ile birlikte elektrik fiyatlarında görülen artışlar sebep olmaktadır.

1.3.1 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları

Fotovoltaik sistemler ekonomik açıdan, kurulum ve bakım maliyetlerini amorti edecek kadar uzun çalışma (25 yıl) ömrüne sahiptir. Bakım maliyetlerinin az olmasından dolayı çok fazla işçiliğe ihtiyaç duyulmamaktadır. Enerji üretiminde herhangi bir yakıt veya ham maddeye gerek duyulmadığı için, nakliye ve devamlılığı sağlamak için giderleri olmamaktadır. Böylece ilk kurulum tamamlandıktan sonra giderleri sabittir. Çevre dostu olup, enerji üretimi esnasında atık ve ses kirliliği oluşturmamaktadır. Arızalanma oranı düşük olmasına rağmen, herhangi bir arıza olması durumunda, sisteme müdahale etmek kolay olmaktadır. Talep edilen enerjiye göre her ölçekte kurulum yapılmaktadır. Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde, şebekeden bağımsız sistemler (Off-grid) kurularak elektriğin kullanılmasını sağlamaktadır. Enerji talebinin artması durumunda güç artırımları yapılmaktadır. Panellerin yapısında bulunan silisyum elementi dünyada yüksek miktarda bulunmaktadır. Fotovoltaik paneller, uzay teknolojisinde de kullanılmaktadır. PV sistemler, enerji maliyetlerinin azalmasında büyük öneme sahiptir.

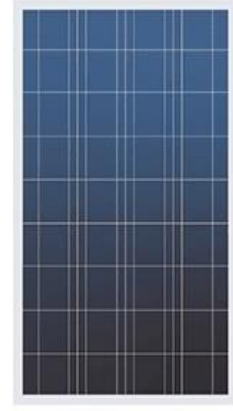
1.3.2 Fotovoltaik (PV) Paneller



Monokristal Güneş Paneli



Thin Film (İnce Film)
Güneş Paneli

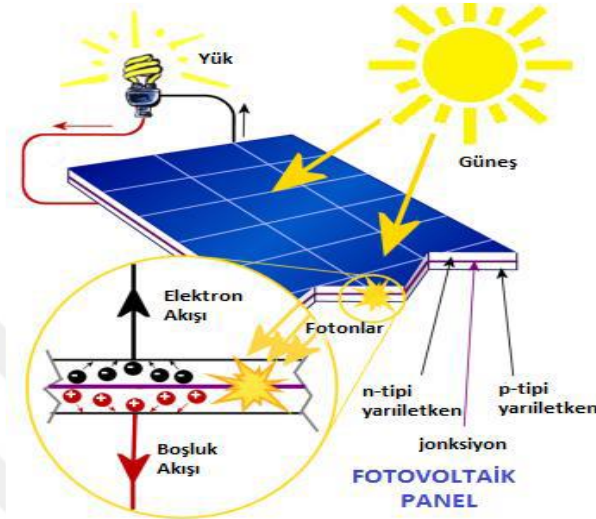


Polikristal Güneş Paneli

Resim 1.1 Güneş paneli çeşitleri.

Fotovoltaik paneller, elektrik enerjisi üretimini sağlamak için güneşten gelen fotonların enerjisini yarı iletken bir malzeme aracılığıyla elektronların hareketine dönüştüren elektronik cihazlardır. Güneş pilleri için elektrik modeli, yarı iletkenler için başlangıç noktası olan bir p-n bağlantısı oluşturmak için silikonun katkılanması gerekmektedir. Silisyum elementi, Fosfor elementi ile birleşmektedir. Dış yörüngelerde Silisyum elementinde 4, Fosfor elementinde 5 elektron vardır. Bu iki element bileşik oluşturduğunda dış yörüngedeki elektron sayısı 8'e ulaşır ve burada fazla olan bir elektron kristal yapıya aktarılmaktadır. Bunun sonucunda kristal yapıda negatif yük oluşarak ortaya çıkan yapı, n tipi yarı iletken özelliğe sahip bir malzemeyi oluşturmaktadır. P tipi yarı iletkenin malzemenin elde edilmesi için, Silisyum ve Bor elementlerinin bileşik oluşturması gerekmektedir. Son yörüngeler incelendiğinde Bor elementi 3 elektrona sahiptir. Bileşik oluşması için kristal yapıdan bir elektronun eksilmesi gerekir ve burada pozitif yük oluşmaktadır. Meydana gelen bu yapıya p tipi yarı iletken adı verilmektedir. P ya da n tipi yarı iletken malzemelerin oluşması için içerisine ihtiyaç duyulan malzemeler katılarak p-n birleşim noktası oluşmaktadır. N tipinde elektronlar yer alırken, p tipinde delikler çoğunluk taşıyıcısı olarak görev yapmaktadır. P-n birleşim noktası meydana geldiği anda n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipi yönünde akım oluşturmaktadır. Aralarında oluşan gerilim farkı

yer değiştirmeye sebep olur ve bunun sonucunda ortaya çıkan akım ile elektrik üretimi sağlanmaktadır. Sahada kullanılan panel tipleri; monokristal silikon (tekli kristal silikon), polikristal silikon (çoklu kristal silikon), thin film (ince film) yapılı panel çeşitleridir. şekil 1.6’da fotovoltaiik modülün yapısı verilmiştir.



şekil 1.6 Fotovoltaiik modül yapısı (İnt.Kyn.5).

1.3.2.1 Monokristal (Tekli Kristal) Fotovoltaiik Panel

Monokristal güneş panellerinin verimi yaklaşık olarak %20’dir. Bu verim, panelin yüzeyinde kullanılan polikarbon maddeden yapılan kaplamasının saydamlığı, absorbe etme oranı, atomik dolgu (paketleme) faktörü gibi parametrelerin yol açtığı kayıplar nedeniyle panel verimleri %15’e kadar düşmektedir. Kalite ve panel verimi açısından monokristal güneş panelleri, diğer panel çeşitlerine göre daha başarılıdır. Ancak üretiminin teknik aşaması diğerlerine oranla daha zorlu olduğu için fiyatları yüksektir. Bununla birlikte panel ömrü uzun olduğu için, geleceğe yönelik yatırımlarda en ideal panel tipidir.



Resim 1.2 Monokristal panel.

Ciach (2005)'a göre, monokristal panellerin üretiminde 'Czochralski' metodu kullanılmaktadır. 1971 yılında silisyum dioksiti (SiO_2), yaklaşık 1700°C derece sıcaklık ile eritmeyi başarmıştır. Sonrasında bir aşı kristalini, eriyen silisyum dioksitin içine batırıp çıkararak tek ve uzun yapıda kristalli silindir meydana getirmiştir. Ortaya çıkan silindir, genelde çokgen şeklinde dilimlenerek yarı iletken malzemeler ile bir araya getirilir, sonrasında güneş enerji sisteminde montajı yapılacak güneş panelini oluşturmaktadır. Monokristal panel renk olarak diğer panel çeşitlerine göre daha koyu bir renge sahiptir. Hava sıcaklığının yükselmesi ile daha verimli çalışmakta fakat üretim aşamasının uzun ve zahmetli olmasından dolayı diğer panel çeşitlerine göre maliyetleri yüksektir. Monokristal güneş paneli son zamanlarda kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Diğer panel çeşitleri ile kıyaslandığında en yüksek verime sahip paneldir. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda monokristal güneş panelinin verimi %24 olmasına rağmen, uygulamalarda monokristal panel verimi %17 seviyesinde olmaktadır.

1.3.2.2 Polikristal (Çoklu Kristal) Fotovoltaik Panel

Polikristal güneş panellerinin ortalama verimi %15'tir. Polikarbon maddeden yapılan yüzey kaplaması, geçirgenlik, absorbe etme oranı, atomik dolgu (paketleme) faktörü

gibi etkenler sebebi ile sahadaki verimleri %12'ye kadar düşmektedir. Verim ve kalite olarak kıyaslandığında, monokristal güneş panelleri kadar iyi değildir. Fakat maliyetlerinin düşük olması sebebi ile panel çeşitleri arasında en fazla üretilmekte olan güneş paneli tipidir.



Resim 1.3 Polikristal panel.

Pathak vd. (2014)'ne göre polikristal panel üretiminde, monokristal panel ile benzer metotlar kullanılsa da polikristal panelin üretimi daha kolaydır. Üretim metotları arasında en çok dökme metodu tercih edilmektedir. Polikristal yapıda olan silisyum eritilerek, uygun kalıplarda soğutulma işlemine tabii tutulur. Soğuma işlemi tamamlanan yarı iletken madde kare veya dikdörtgen şeklinde dilimlenir. Sonrasında yarı iletken malzemeler ile bağlantıları yapılır. Polikristal panelin yapısında bulunan silisyum homojen değildir. Bunun sebebi, üretimlerinde 'Czochralski' metodu veya başka bir saflaştırma metodu kullanılmamasıdır. Bu sebepten dolayı kalite ve verimleri, monokristal yapıli panellere göre daha düşüktür. Fiyatları ise üretimlerindeki kolaylıktan dolayı monokristal güneş panellerine göre daha uygundur. Eğer renkleri mavi ise üzerlerinde yansımayı engelleyen cam bulunmaktadır. Polikristal panelin rengi gümüş ise yansımayı engelleyen cam bulunmaz. Kullanım alanları monokristal güneş panellerine göre daha çoktur. Bunun sebebi ise ulaşılabilirliğinin kolay ve buna bağıli olarak fiyatlarının uygun olmasıdır. Böylece verim/maliyet oranları yüksektir.

1.3.2.3 Thin-Film Fotovoltaik Paneller (İnce Tabakalı Güneş Panelleri)

Thin-Film güneş panelleri, ince tabakalı güneş pilleri olarak da adlandırılmaktadır. Laboratuvar ortamında verimleri yaklaşık olarak %13 ve sahadaki verimleri ise %7 civarındadır. Kristal yapıya sahip olmamakla birlikte ince ve aynı tür silikon atomlarından oluşmaktadır. Yapılarında amorf-silikon bulunur ve bu madde ışığı kristal silikonlardan daha iyi absorbe etmektedir. Esnek yapıya sahip olmalarından dolayı kıvrılabilir, yuvarlanabilir ve küçük alanlarda kullanılmaktadır. Ağırlık olarak hafif oldukları için çatı sistemlerinde tercih edilmektedir. Thin-Film güneş panelleri, dayanıklı, hafif ve esnek yapıda oldukları için özel uygulamalarda kullanım için avantajlıdır.



Resim 1.4 İnce tabakalı (Thin-Film) güneş paneli.

Markvart ve Castaner (2011)'a göre Thin-Film güneş panellerinin üretiminde, absorbe özelliği iyi olan maddeler tercih edilmektedir. Geniş bir yüzey üzerine yarı iletken malzemenin kaplanması ile meydana gelmektedir. Bir bölgeye düşen 0,7 mikrondan az güneş ışınımını absorbe etmek için 1000 mikron kalınlığında Amorf-silisyum maddesi gerekirken, Kristal-silisyum ile 5000 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Thin-Film panellerin yapısında bulunan yarı iletken malzemeler büyüklük olarak $1/1000$ mm ile $1/10^6$ mm'ye kadar değişmekte olan damarlardan oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı esnek bir yapıya sahiptir. Thin-Film güneş

panellerinin yapısında, amorf-silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen bileşikler bulunmaktadır. Bu panellerin güneş ışınlarını absorbe etme oranları çok yüksek olmasına rağmen çıkış akımları çok düşüktür. Çıkış gerilimleri, kristal silisyum yapıları panellere göre yaklaşık olarak iki-üç kat fazla iken akımları da bir o kadar küçüktür. Thin-Film güneş panelleri, istenilen malzemenin üzerine boyut kısıtlaması olmaksızın kaplanmaktadır. Silisyum yapıları panellerin boyutları kristal boyutu ile sınırlıdır. Panel yapımında ince film malzeme kullanmak uygun ve kolaydır. Thin-Film güneş panelinin verimi %5 ile %8 arasında değişmektedir. Bu panel tipi ısıya dayanıklı olmakla birlikte ışığı absorbe etme oranı ne kadar yüksek olsa da, verimlerinin düşük olmasından dolayı kullanıcılar tarafından daha az tercih edilmektedir. Thin-film güneş panelleri, laboratuvar ortamında %13 verime kadar ulaşmaktadır.

Thin-film güneş panellerinin maliyetleri düşük olmasına rağmen talep edilen üretimin sağlanabilmesi için diğer panel çeşitlerine göre daha çok alan gerektirdiği için alanın sorun olmadığı yerlerde tercih edilmektedir.

1.4 Evirici (İnverter)

Güneşten gelen ışınlar, güneş panelleri tarafından absorbe edilerek doğru akımlı elektrik enerjisi üretilmektedir. Eviriciler, üretilen doğru akımı şebekede kullanılmakta olan alternatif akıma dönüştüren güneş enerji sisteminin ana malzemelerinden biridir. Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler için farklı çeşitleri mevcuttur. İnverterler, tam sinüs, merkezi ve dizi inverter olarak gruplandırılmaktadır. Merkezi inverterlerin diğerlerinden farkı panellerin inverter öncesinde bulunan bağlantı kutularında birleşimlerinin yapıldıktan sonra inverter bağlantısının yapıldığı sistemlerdir. Merkezi eviriciler, merkezden kontrol sağlamakta olup diğerlerine göre daha çok yer kaplamaktadır. Genellikle arazi uygulamalarında kullanılmaktadır. Arıza durumunda ise büyük kayıplara neden olmaktadır.



Resim 1.5 Evirici (İnverter).

Monica ve Kowsalya (2016)'a göre, üretim sistemlerinde paralel olarak çalışmakta olan eviricilerin kontrolleri planlanmalıdır. Yüklerin dağılımı, sistemin kararlılığı, harmonik bozulmalar, kararlı durum ve geç tepki verilmesi gibi teknik sorunlar, sistemin verimini etkilemektedir.

Güneş panelinin doğrudan invertere bağlantısının yapıldığı, giriş gerilimlerinin belirlendiği gerilim değerine kadar panellere seri bağlantısı olan sistemler dizi evirici olarak adlandırılmaktadır. Dizi eviricilerde, sistem güvenliğinin sağlanması için DC ve AC korumanın bulunduğu modeller bulunmaktadır. Arıza tespitin yapılabildiği evirici çeşitleri kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilmektedir.

1.5 Solar Aküler

Solar aküler, şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji sistemlerinde (güneş, rüzgâr, hidroelektrik vb.) üretilen elektrik enerjisini depolayan cihazlardır. Solar aküler, araba akülerinden tamamen farklıdır. Derin döngülü bir solar akü, şebekeden bağımsız olan yenilenebilir enerji sistemlerinde uzun süreli ve tekrarlanan derin deşarjlara dayanmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler için veya elektrik kesintisinin yoğun olduğu yerlerde solar aküler çok avantajlıdır. Resim 1.6'da güneş enerji sistemlerinde bulunan solar akü ve kontrol birimlerinin görüntüsü verilmiştir.



Resim 1.6 Solar akü ve kontrol birimleri.

Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunda akü tercihi yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Sistem kurulduktan sonra akü eklemesi yapılması sistemin verimini olumsuz etkilemektedir. İstenilen gücün elde edilmesi zorlaşır ve arızalar meydana gelmektedir. Solar akü seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

1. Kullanım ömrü: Jel yapılı akülerin ömrü yaklaşık olarak 8-10 yıl, kurşun-asit yapılı akülerin maksimum ömrü ise 2-3 yıla ulaşmaktadır.
2. Güvenlik: Kurşun-asit yapılı aküler bulunduğu ortama bir miktar gaz meydana getirir ve bulunduğu bölümün havalandırılması iyi yapılmalıdır. Jel yapılı akülerde ise böyle bir durum söz konusu değildir.
3. Deşarj derinliği: Jel yapılı aküler depoladığı enerjiyi %100'e kadar deşarj edebilir. Kurşun-asit yapılı aküler ise %50'ye kadar deşarj olmaktadır.
4. Sistem verimliliği: Jel yapılı akülerin verimleri zaman zaman %90'ı geçebilir ve kurşun-asitli aküler ise %70 seviyelerine ulaşmaktadır.

1.6 Montaj Malzemeleri

Talep edilen enerjiyi karşılayabilecek güçte ve çevre şartlarına uygun özelliklere sahip güneş panelleri, arazi, çatı veya çatı cephesine yapı malzemeleri ile montajlanarak

kurulum tamamlanmaktadır. Kurulacak her sistemin tasarımı ve hesabı farklı olup, arazilere kurulacak sistemler için zemin etüdü yapılmalıdır. Çatı veya çatı cephesine kurulacak sistemler için kar yükü, heyelan, deprem, sel gibi doğal afet riskleri göz önünde bulundurulmalı ve tek-çift eksen olarak sabitlenmelidir. Sistemi taşıyan kısımlarda çoğunlukla alüminyum malzemeler tercih edilir ve bu malzemeler çekme-yaşlandırma testleri yapılarak dayanıklılıkları ve ömürleri uzun olacak şekilde yapılmaktadır. Arazide kurulacak sistemler için kolon ve kiriş yapımında malzemenin çelik olmasına dikkat edilmektedir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Saeed Abdul-Ganiyu vd. (2021)'ne göre, PV sistemi için pil ve evirici kayıpları, toplam modül çıktısının sırasıyla %13,27'sini ve %6,77'sini temsil etmektedir. PV/T sistemi durumunda, sistem bileşenleri, net çıkış ekserjisindeki kayıpların %14,3'ünü oluşturmakta olup yaklaşık %32'si pil ve termal kayıplara atfedilmektedir. Genel olarak, pilin gidiş-dönüş verimliliği, kurulumun ilk yılında %90'dan kullanım ömrünün sonunda %81'e, yılda %2,5 oranında dejenere olmaktadır. Evirici durumunda, verimliliği kurulumda %97 olan ilk verimlilikten kullanım ömrünün sonunda %88,6'ya düşmektedir. Kurulu sistem kayıplarını takiben, PV/T ve PV sistemlerinin 25 yıllık dönem için toplam ortalama verimliliği %42,5'tir. Aküsüz sistemlerin kurulması, her iki sistemin ortalama elektrik enerjisi verimliliğini yaklaşık %17 artırmaktadır. Çalışma süresi boyunca modüllerin bozulması nedeniyle enerjinin yaklaşık %6,10'u kaybedilmektedir.

Joshi vd. (2009), Yeni Delhi'de kurulan güneş enerji sistemlerinin ekserji, enerji ve eksergoekonomik analizlerini yaptılar. Çalışma sonunda enerji verimleri %33-%45 arasında ve ekserji verimleri %7,8-%13,8 arasında değişmektedir.

Radziemska (2003), farklı sıcaklıklarda bulunan PV hücrelerinin elektriksel verimlerini deneysel olarak incelemiştir. Sıcaklıkları 20°C, 40°C, 60°C ve 80°C olmak üzere dört farklı koşulda yapılan deneyler sonucunda verimin en yüksek olduğu sıcaklık 20°C olarak tespit edilmiştir. Ayrıca PV panellerdeki her 1°C'lik sıcaklık artışı, anlık enerji üretimini yaklaşık %0,65 oranında azaltmaktadır.

Ceylan vd. (2014), sıcaklık kontrolü sağlayan bir çalışma yaptılar. Yaptıkları çalışmada PV modülün arkasına bağlanan spiral borulardan su ile soğutmayı amaçladılar. PV modülün sıcaklığını 45°C'de tutacak şekilde tasarlanmış, sistemin elektriksel verimi soğutmalı ve soğutmasız olarak sırasıyla %10 ve %13 olarak test edilmiştir.

Zondag vd. (2005)'ne göre havada gerçekleşen ısı alışverişi, ısı miktarı ve ısı iletkenliğinin az olması gibi özellikler dezavantaj oluşturmaktadır. PV/T sistemlerde çalışma akışkanı olarak hava seçildiğinden, fotovoltaik panelden havaya ısı alışverişi

çok iyi olmadığı için ısı kayıpları oluşmaktadır. Sistemin termal verimi %10-%20 aralığında olmaktadır.

Sukumaran ve Sudhakar (2018), Hindistan'ın Cochin Uluslararası Havalimanında bulunan, 12 MW kurulu güce sahip güneş enerji santralinin enerji ve ekserji analizi üzerine çalışma yaptılar. Enerji üretiminin en yüksek olduğu ay Mart, en düşük olduğu ay ise Temmuz ayı olarak tespit edilmiştir. Bu sistemin yıllık enerji verimi %16,4-%13,33 arasında ve ekserji veriminin ise %9-%10 arasında değişmektedir.

Rahnama vd. (2019), İran'da bulunan 100 kW kurulu gücü bulunan şebekeye bağlı güneş enerji sisteminde ekserji verimini araştırdılar. Araştırma gerçek iklim şartlarında olup, sistemde polikristal güneş panelleri kullanılmaktadır. Çalışma sonunda yıllık ortalama ekserji verimini en yüksek %14,2 ile Erdebil, en düşük %13,2 ile Ahwaz ve Bandar Abbas şehirlerinde olduğu belirlenmiştir

Hepbaşlı ve Abid (2015), Suudi Arabistan'ın Riyad şehrinde, gerçek veriler kullanarak verimlilik modellemesi üzerine çalışmalar yaptılar. Bu çalışmada fotovoltaiik panellerin enerji ve ekserji verimleri, sürdürülebilirlik katsayıları, iyileştirme potansiyelleri ve eksergoekonomik performansları incelenmiştir. Çalışmada, ortam sıcaklığı, hücre sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yoğunluğu ve nem gibi termodinamik parametreler değerlendirilmektedir. Analizlerin yapılması ile olası iyileştirmelerin yapılması için ekserji kayıpları ve yıkımlarından kaynaklanan tersinmezlikler tespit edilmiştir. Enerji verimi %34,09-%52,14 arasında, ekserji veriminin ise %0,16-%15,23 arasında değişmektedir.

Ayadi vd. (2021), Ürdün bölgesinde iki yüzeye sahip fotovoltaiik panelin elektriksel ve termal değişkenlerini araştırmak için deneysel çalışmalar yaptılar. Çalışmada bifacial panel ile üç farklı panel tipinin (half-cut, monokristal ve polikristal panel) performansları karşılaştırılmaktadır. Ürdün Üniversitesi Mühendislik Okulu binasının çatısına güney yönünde 30°'lik eğime sahip dört adet fotovoltaiik paneli yerleştirdiler. Kurulan güneş enerji sisteminde ölçülen parametrelerin her an kaydedildiği veri toplama merkezi oluşturup, 5 hafta boyunca süren ölçümler yaptılar. 5 haftalık süre

sonunda, enerji açısından değerlendirildiğinde, bifacial panelin Ekim ve Kasım aylarında monoperç, halfcut ve polikristal panellere kıyasla %9,9, %13,1 ve %24,9 daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonunda, iki yüzeyli panellerin enerji üretimini artırmak için büyük bir potansiyelleri olduğu ortaya çıkmaktadır.

Sudhakar ve Srivastava (2014), Hindistan'ın Bhopal şehrinde bulunan güneş enerji sisteminde geniş çaplı enerji ve ekserji analizi yaptılar. Hedefleri, yaz günlerinde yaptıkları çalışmada elde ettikleri veriler ile en çok enerji veriminin sağlandığı optimum sıcaklığı tespit etmektir. Araştırma sonuçları aşağıda verilmektedir:

1. Fotovoltaik panellerin ekserji verimlerinin %8,5 olduğunu tespit ettiler. Günümüzde kullanılan silikon yapıları güneş panellerinin güneş ışınının termal gücünden çok az yararlanmaktadır.
2. Fotovoltaik panellerin enerji verimi %6,4 ve ekserji verimini %8,5 olarak hesaplanmıştır.
3. Ortam sıcaklığı artmasına bağlı olarak hücre sıcaklığının artması ile tersinmezlikler meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak ekserji veriminin düşmekte, çıkan elektrik miktarının arttığını gözlemlenmiştir. Fotovoltaik panelin ekserji verimi, güneş ışınım yoğunluğunun artmasıyla ilk olarak artmakta olup maksimum noktaya ulaştıktan sonra azaldığını tespit edilmiştir.
4. Araştırma sonucunda, ekserji analizi ile bir fotovoltaik panelin tasarımı ve kullanımı optimize edilebilir ve panelin termodinamik verimi optimize edilirken, tasarım ve işletme parametrelerinin mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

Pathak vd. (2014), Detroit, Denver ve Phoenix'de yaptıkları çalışmada aylık ortalama güneş ışınımı ve sıcaklıktaki farklılıkları dikkate alındığı bir simülasyon tasarladılar. Bu çalışmada, birbirinden farklı dört sistem incelenmektedir. Bu sistemler:

1. İki adet fotovoltaik panelden oluşan hibrit sistem (PV/T x 2),
2. Paralel olarak yerleştirilen fotovoltaik ve termal sistem (PV+T),
3. İki adet fotovoltaik panel kullanılarak hazırlanan sistem,
4. Küçük bir çatı alanında verimli güneş enerjisi sistemlerini belirlemek için özdeş emilim değerine sahip alanlarda 2 adet fotovoltaik panel ile kurulan sistemde ekserji analizi yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonunda, tüm bölgelerde PV/T sistemlerin, PV+T sistemlerinden %69 daha iyi performanslı çalıştığını, yukarıda verilen üç numaralı fotovoltaik sistemlerle karşılaştırıldığında yaklaşık %6,5-%8,4 arasında fazla ekserji ürettiğini ve saf güneş termalinden dört kat daha fazla ekserji meydana getirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, tüm termal ve elektrik enerjisini kullanabilen PV/T sistemlerin ekserji performansının, PV+T veya PV sistemlere göre çok daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Huang vd. (2013)'ne göre son zamanlarda daha büyük güneş enerjisi tesislerinin sayısı; hem büyük ölçekli fotovoltaik hem de konsantre güneş enerjisi santralleri hükümetlerin mali desteği nedeniyle önemli ölçüde artmaktadır. Öncelikle finansal destekçileri gelişimlerine katılmaları için etkilemek ve aynı zamanda elektrik piyasalarında potansiyel olarak rekabet edebilmek için daha iyi güneş enerjisi tahmin modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Akarşlan vd. (2016)'ne göre güneş enerjisinin yeni nesil elektrik şebekesi portföylerine daha yüksek penetrasyon seviyelerini dâhil etmek, yedek rezervleri azaltmak ve güç üretimi değişkenliği ile ilişkili birim taahhüdünü iyileştirmek için giderek daha doğru tahmin sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Basheer ve Hajmeer (2000)'e göre YSA, beyin sinir ağının insan anlayışına dayalı olarak belirli bir işlevi gerçekleştirmek için yapay olarak oluşturulmuş bir sinir ağıdır. Deng vd. (2010)'ne göre meteoroloji istasyonlarının ağları, güvenilir uzun vadeli iklim verileri sağladığından güneş radyasyonu ile yakından ilgili olan farklı ampirik modellere sahip iklim veritabanı geliştirilmiştir. Qin ve Rao (2011)'ya göre modeller, matematiksel formlara dayalı parametrik (Prescott angstroms) ve parametrik olmayan (YSA) olarak tanımlanmaktadır. İyi kalibre edildiğinde (parametrik ve parametrik olmayan) güneş radyasyonunu yüksek hassasiyetle tahmin etmektedir.

Rongrong vd. (2023)'ne göre YSA, insan beyni sinir ağının matematiksel bir modeli, beyin sinir ağının yapısını ve işlevini taklit etmeye dayalı bir bilgi işleme sistemidir. Aslında birbirine bağlı çok sayıda basit bileşenden oluşan, oldukça doğrusal olmayan ve karmaşık mantıksal işlemleri ve doğrusal olmayan ilişkileri yürüten karmaşık bir ağıdır.

Tamer vd. (2012)'ne göre güneş radyasyonunun modellenmesi çeşitli enlemlerdeki ve farklı iklimlerdeki alanlar için kullanıldığından, dünyanın çoğu ülkesi son yıllarda YSA girişini kullanmaktadır.

Linares-Rodríguez vd. (2011)'ne göre YSA, farklı iç topolojilere sahip farklı değişkenleri (coğrafi ve iklimsel) ve çoklu zaman ölçekleri (saatlik, günlük ve aylık) olan alanlar için de kullanılmaktadır.

Mantzari vd. (2012)'ne göre, YSA yaklaşımının geleneksel yarı fenomenolojik veya ampirik modellere göre birçok avantajı vardır. Gözden geçirme, yapay zekâ tekniklerine (uzman sistemler, yapay sinir ağları) genel bir bakış sunmaktadır. Genetik algoritmalar, bulanık mantık ve çeşitli hibrit sistemler, PV sistemlerinin optimum boyutlandırılması için bir tasarım aracı olarak kullanılmaktadır.

Mittal vd. (2021)'ne göre en yaygın sinir ağı türü, üç veya daha fazla nöron katmanına sahip bir sinir ağına sahip olan, bir giriş katmanı, bir dizi ara katman (gizli katman) ve bir çıktı katmanıdır.

Wilamowski ve Yu (2010)'a göre giriş verilerini alan ve ileten terminal, giriş katmanı olarak bilinir ve çıkış katmanı, sinirsel işlemenin sonuçlarının üretildiği yerdir. Girdi ve çıktı arasındaki bağlantıyı sağlayan bir veya daha fazla gizli katman, girdi ve çıktı katmanları arasına sıkıştırılmaktadır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan ve basit yapısı, çok sayıda özelleştirilebilir parametresi, eğitim prosedürleri ve güçlü manipüle edilebilirliği nedeniyle bu makale için de seçilen sinir ağı, Gauss-Newton yöntemi ile gradyan iniş algoritması arasında bir ara optimizasyon algoritması olan ve yüzlerce ağırlığa sahip fonksiyon yaklaşım ağı için en hızlı yakınsama oranına sahip olan Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılarak eğitmektedir.

Huang vd. (2001)'ne göre, fotovoltaik hücreler güneş enerjisini %20'den daha düşük bir verimle elektrik enerjisine çevirmektedir. Güneş enerjisinin %80'den fazlası elektrik enerjisine dönüştürüldükten sonra çevreye dağılmaktadır. Jones ve Underwood (2001), kararsız durumdaki fotovoltaik (PV) modülün sıcaklık profilini inceledi. Açık ve bulutlu

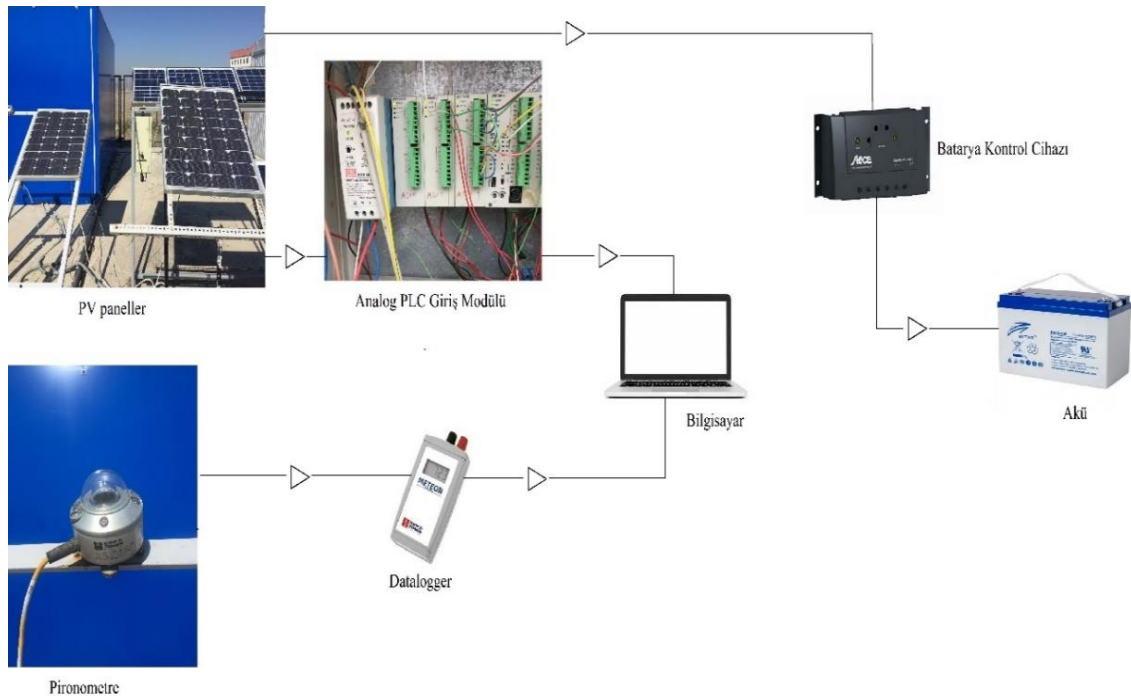
gün koşulları için deneyler yapıldı ve 24,5°C ortam hava sıcaklığı için PV modül sıcaklığının 27–52°C arasında değişmektedir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Enerji ve Ekserji Analizinin Yapıldığı Deney Düzenegi

Bu çalışmada güneş enerji sistemi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgâr Araştırma Merkezi deney alanında kurulmuştur. Sistemde iki adet 60 W gücünde İsofoton markasının ISF-60/12 model güneş paneli, güneş ışınımının ölçülebilmesi için bir adet pironometre ve ölçüm verilerinin kaydedildiği bilgisayar ve cihazların bulunduğu sistem odasından oluşmaktadır. Şekil 3.1’de güneş enerji sisteminin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.1 Fotovoltaik sistem çalışma prensibi.

Diğer taraftan kullanılan deney düzeneği üzerine paneller numaralandırılmış ve resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Deney düzeneği

Güneş panellerin açısı belirli gün aralıklarında değişmesi gerektiği için paneller hareketli bir yapı üzerine kurulmuştur. Resim 3.1’de verilmiş olan 1 numaralı panel, Afyonkarahisar ilinin enlemi olan $38,75^\circ$ eğim açısına sahip, güney yönlü olarak sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır. 2 numaralı panel ise 1 numaralı panelin paralelinde yer alacak şekilde tilt açısı 32° - 50° açıları arasında, belirlenen tarihlerde değişebilecek şekilde ayarlanmıştır. 2 numaralı panelin tilt açısının değiştirilmesinde açıölçer cihazı kullanılmıştır. Sistemde ölçülen parametreler; ışıyım şiddeti, ortam sıcaklığı, panel yüzey sıcaklıkları, panellerdeki anlık gerilim ve akım değerleridir. Bu değerler sayesinde farklı parametreler ve tilt açılarında, fotovoltaiik panellerde gerçekleşen üretim miktarlarındaki değişim gözlemlenmektedir.



Resim 3.2 İsofoton ISF-60/12 fotovoltaiik panel.

Resim 3.2 ve çizelge 3.1’de deneyde kullanılan İsofoton marka ISF-60/12 model monokristal yapılı güneş paneline ait görsel ve fabrika değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 İsofoton ISF-60/12 model monokristal fotovoltaiik panel parametreleri

Parametre	Değer
Boyut	776 x 662 x 39,5 mm
P_{max}	60 W
I_{mp}	3,47 A
V_{mp}	17,3 V
I_{sc}	3,73 A
V_{oc}	21,6 V
K_v	-2,22 mV/°C
K_i	17 μ A/cm ²
NOCT	47 °C



Resim 3.3 Güneş ışınımı ölçümünde kullanılan pironometre.

Veri ölçümleri iki aşamada gerçekleştirilmekte olup, ilk aşamada güneş ışınım şiddeti ölçümü yapılmıştır. İkinci aşamada ise fotovoltaiik panellerin üretim miktarları ve parametreleri kayıt edilmiştir. Resim 3.3’de güneş ışınımını ölçmek için kullanılan Kipp & Zonen markasının CMP 6 model pironometre cihazına ait görsel verilmiştir. Işınım ölçümü yapılırken veriler istenilen zaman aralığında datalogger kullanılarak kayıt edilmiştir. Işınım verileri, onar dakikalık aralıklarla kayıt altına alınmış olup hesaplamalarda saat başı veriler kullanılmıştır. Datalogger’a kaydedilen veriler üç ile beş gün aralığında bilgisayar hafızasına alınıp datalogger hafızasından silinmiştir. Bunun sebebi datalogger hafızasının dolması sebebi ile yeni veri kaydını durdurmasıdır. Bunun için belirli aralıklarla veriler kaydedilip hafızası boşaltılarak, yeni verilerin kayıt altına alınması sağlanmıştır.

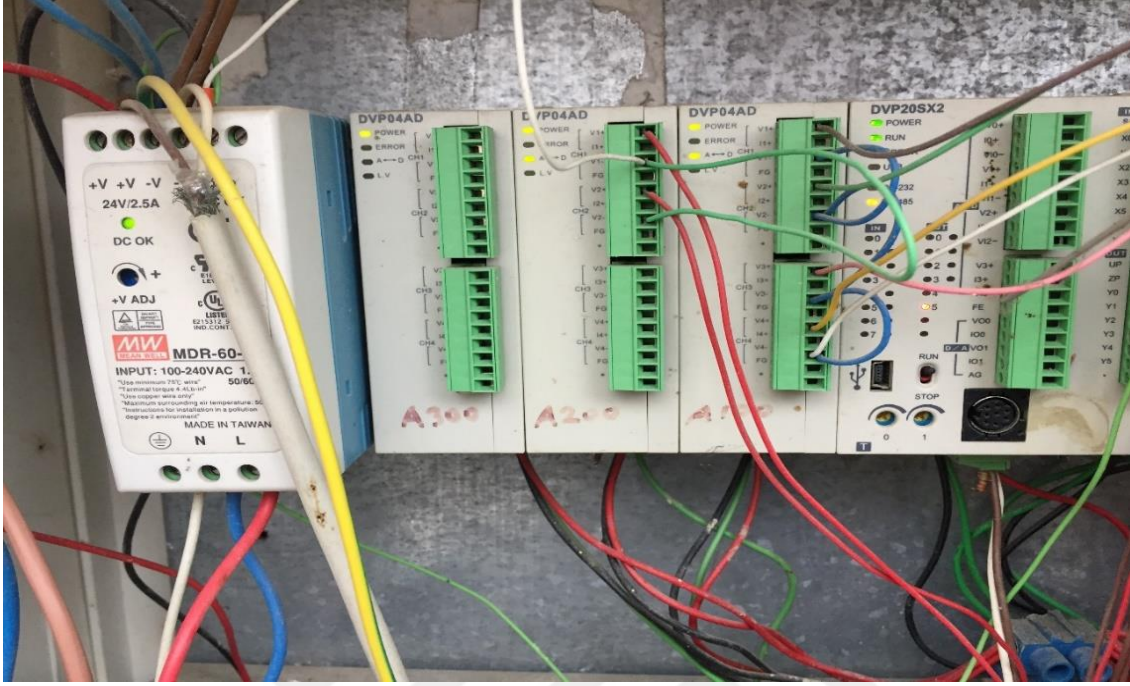
Çizelge 3.2 Fotovoltaik panelin tilt açıları ve tarihleri.

Tarih	Açı
31.12.2020 - 08.01.2021	39°
09.01.2021 - 13.01.2021	40°
14.01.2021 - 16.01.2021	41°
17.01.2021 - 19.01.2021	42°
20.01.2021 - 24.01.2021	43°
25.01.2021 - 01.02.2021	44°
02.02.2021 - 05.02.2021	45°
06.02.2021 - 09.02.2021	46°
10.02.2021 - 12.02.2021	47°
13.02.2021 - 15.02.2021	48°
16.02.2021 - 19.02.2021	49°
20.02.2021 - 22.02.2021	50°
23.02.2021 - 26.02.2021	38°
27.02.2021 - 01.03.2021	37°
02.03.2021 - 04.03.2021	36°
05.03.2021 - 08.03.2021	35°
09.03.2021 - 11.03.2021	34°
12.03.2021 - 15.03.2021	33°
16.03.2021 - 31.03.2021	32°

Çizelge 3.2’de, resim 3.1’de görülen 2 numaralı panele ait değişen tilt açıları ve değişim tarihleri verilmiştir. Ölçüme başlamadan önce ve ölçüm anında birçok ayarlamalar yapılmıştır. Resim 3.1’de görülen 1 numaralı panelin hava şartlarından ya da bilinmeyen sebeplerden dolayı açısının bozulması göz önüne alınarak, dış etkilere maruz kalsa dahi açısının ve yönünün bozulmayacağı bir stand 38,75° eğim ile sabitlenmiştir. 2 numaralı panel ise 1 numaralı panele paralel olarak bulunan eğiminin değiştirilebildiği hareketli yapı üzerine yerleştirilmiştir. İlk ölçümde tilt açısı 39°’den başlayarak belirlenen zaman aralıklarında açıölçer kullanılarak değiştirilmiştir.

Veri ölçümü 31 Aralık 2020 tarihinde başlayıp 18 Mart 2021 tarihine kadar 32° ile 50° arasında tüm açılarda yapılmıştır. Güneş ışınımı ile fotovoltaik panellerin üretim verileri aynı saat ve dakikada alınıp, 07:00-18:00 saatleri arasında ölçülen saat başı verilerden

bir veri seti oluşturulmuştur.



Resim 3.4 PLC giriş modülü.

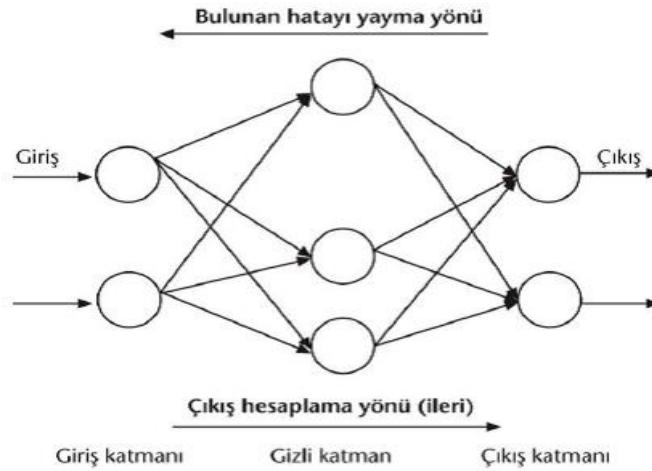
Resim 3.4’te fotovoltaik panellerin üretim verileri, güneş ışıyım şiddeti, panel yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi analog verilerin ölçülüp bilgisayara aktarıldığı PLC giriş modülü verilmiştir.

3.2 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), çalışma prensibi olarak insan beynini örnek almaktadır. İnsan beyninin öğrenme yeteneğini taklit ederek öğrenme, hatırlama, genelleme yapma ile topladığı verileri kullanarak yeni veriler meydana getirebilme gibi temel işlevleri gerçekleştiren yazılımlardır. Yapay Sinir Ağları, tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, yorumlama ve filtreleme görevlerinde kullanılmaktadır.

Chand (1990)’e göre, insan beyninin algı ve kontrol görevlerindeki başarısı, sinir ağlarının varlığını kanıtlamaktadır. Beyin, kontrol faaliyetlerini ve algısal eylemleri yönetmektedir. Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinin matematiksel modeli geliştirilerek elde edilmektedir. YSA’da ilk çalışmalar McCulloch ve Pitts (1943) tarafından basitleştirilmiş nöronların kullanılması ile ortaya çıkmaktadır.

Rongrong vd. (2023)'ne göre, bir yapay sinir ağı modelindeki her girdi, bir sonraki katmana uygun ağırlıkla bağlanmaktadır. Ağırlık ve eşik vektörlerinin yanı sıra dâhili tam bağlı nöronlar arasındaki aktivasyon fonksiyonlarının bir sonucu olarak, giriş katmanından gelen sinyaller orta gizli katmandaki nöronlar tarafından alınır ve daha sonra çıkış katmanındaki nöronlara iletilmektedir.



Şekil 3.2 Basit bir yapay sinir ağı (nöron) yapısı.

Dorvlo vd. (2002)'ne göre YSA, doğal nöronlardan esinlenen yapay nöron düğümlerinden oluşan hesaplama modeli olduğunu ve YSA kullanan güneş radyasyonu tahminine yönelik çalışmaların geleceği olduğunu belirtmiştir. Uzun dönem güneş ışıınım tahmini için çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal temel işlevi (RBF) olarak 2 farklı YSA türü kullanılmaktadır.

Hocaoğlu vd. (2008), saatlik güneş ışıınımı veri tahmini, enerji sistemi boyutlandırması ve meteorolojik tahmin gibi çoğu güneş uygulamaları üzerine çalışmalarda bulundular. Doğru tahminin, bu uygulamaların çıktılarının verimliliğini artırdığını ve klasik olarak, güneş radyasyonu verileri, bir stokastik süreç tarafından üretilen rastgele bir zaman serisi olarak kabul edilebildiğini ve tahmini, temeldeki stokastik sürecin doğru matematiksel modellemesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Doğru bir model kullanarak tahmin yapılması, matematiksel olarak modele verilen verilerin ve geçmiş veri örneklerinin sonucunu oluşturmaktadır. Öte yandan, genel olarak doğrusal olmayan bu tür koşullu beklentinin hesaplanması, daha yüksek dereceli istatistikler dâhil olmak

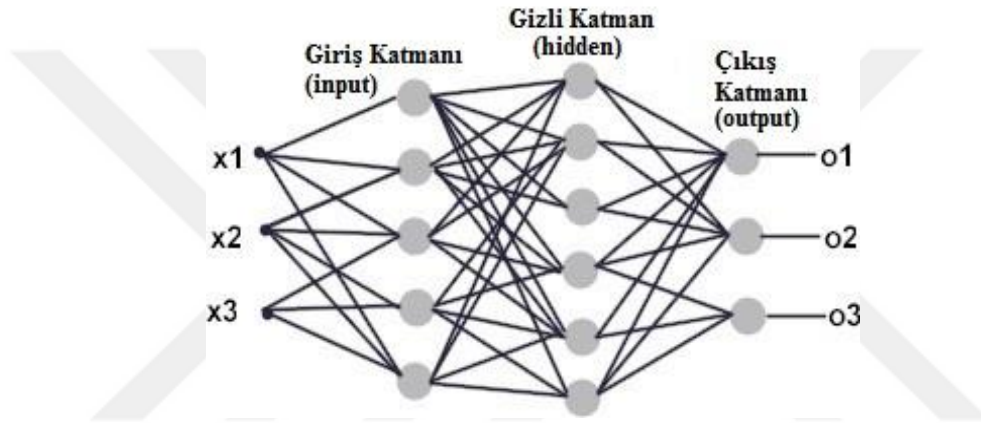
üzere örneklemelerin dağılımının bilgisini gerektirmektedir. Çalışmalarında bir NN modeli oluştururken seçerek, uygulayarak, değerlendirerek ve çözülen sorun için performansların doğrulandığı bir model meydana getirilmiştir. Çalışmada tüm algoritmaları uygulayarak sonrasında karşılaştırma yaptılar. Sonuç olarak, Levenberg – Marquard algoritmasının daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Theocharides vd. (2020), saatlik parametreler kullanarak bir gün öncesinin fotovoltaiik enerji tahminini üzerine çalışma yaptılar. Yapay Sinir Ağları modelinde, güneş ışıınımını kullanarak tahmin sonuçlarını ayarlamak için doğrusal gerileyen düzeltme yöntemi kullanılmıştır. Tahmin modelinin yapısı, girdi verilerine dayalı olarak yapılandırılmıştır. Bir veri aralığında en iyi parametrik değerleri bulmak için deneysel bir taramanın gerçekleştirildiği anlamına gelmektedir. Önerilen yöntemin özgünlüğü, kesirli faktöriyel deneysel simülasyonların sayısını azaltır ve analistin yüksek düzeyde bir güven ile alınacak kararlar hakkında çıkarım yapmasına izin vermektedir. Önerilen yöntemin çok yönlülüğü, deneysel düzenlemede, tahmin modelinde ve istenen tahmin ufkunda kullanılacak faktörlerin sayısının değiştirilmesine izin vermektedir.

Lima vd. (2016), Brezilya'nın PV enerjisi üretmek için muazzam bir potansiyele sahip olduğunu bilerek, 24 saat ilerideki ufku düşünürken güneş ışıınımını tahmin etmek için bir çalışma meydana getirdiler. Haritanın benzer iklim özelliklerine sahip bölgelerini belirlemek için bir küme analizi kullanılmıştır. Sonuçlar ve yüksek hesaplama maliyeti gerektiren gözlemlenen ışıınım değerleri arasında tutarlılık sağlamak için 110 istasyonun her biri için çeşitli parametreler kullanılmıştır. Çalışma, tahminde sinir ağı parametrelerinin değiştirilmesinin etkisinin istatistiksel bir analizini dikkate almadılar ancak bu modelle gerçekleştirilen işlemenin tahminin güvenilirliğini artırdığını ve tutarlı sonuçlar ürettiği ortaya çıkmaktadır.

Yapay Sinir Ağlarının kullanımında, çok katmanlı algılayıcıların (Multi-layer Perceptron-MLP) etkisi büyüktür. Genellikle sınıflandırma ve genelleme yapma görevlerinde tercih edilmektedir. Çok katmanlı algılayıcılarda, birçok giriş için bir nöron yeterli olmayabilir ve paralel işlem yapılmasını gerektiren birden fazla nörona ihtiyaç duyulduğunda katmanlar oluşmaya başlamaktadır. Tek katmanlı algılayıcılardan

farklı olarak gizli (hidden) katmanı bulunmaktadır. Giriş katmanında gelen veriler alınır ve ara katmana iletilmektedir. Gelen veriler bir sonraki katmana aktarılmaktadır. En az bir ara katmanı bulunur ve sayısı ihtiyaca göre belirlenmektedir. Herhangi bir katmanın çıkışı sonrasında gelen katmanın girişini oluşturmaktadır. Bu yöntem ile çıkış verilerine ulaşılmaktadır. Her nöron bir sonraki katmanda bulunan tüm nöronlara bağlıdır. Katmandaki nöron sayıları problemlere göre farklılık göstermektedir. Çıkış katmanında, önceki katmanlardan gelen veriler işlenerek ve Yapay Sinir Ağının çıktısı oluşmaktadır. Sistemin çıktı sayısı çıkış katmanında bulunan elemanların sayısına eşittir.



Şekil 3.3 MLP (Multi layer perceptron) sisteminin genelleştirilmiş mimarisi.

Hunter vd. (2012)'ne göre, genel olarak belirli bir problem için en hızlı eğitim algoritmasını tahmin etmek zordur. Bunun nedeni, problemin karmaşıklığı, eğitim setindeki veri hacmi, belirli bir yapının ağırlıklarının ve önyargılarının sayısı, performans hatası hedefi ve örüntü tanıma veya işlev gibi ağın kullanıldığı görev gibi çeşitli faktörlerdir. Yaklaşım YSA sistemlerini eğitmek için birçok uygulamada biyolojik olarak esinlenen birkaç optimizasyon algoritması benimsenmiş olsa da, bu çalışmada azaltılmış hesaplama çabası ve yüksek yakınsama oranı ile bilinen yaygın olarak kullanılan ve iyi geliştirilmiş Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır.

Warwick vd. (1997)'ne göre, belirli sayıda girdi ve çıktı için YSA kullanılarak doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesi, gizli katmanların ve bunların nöronlarının sayısından önemli ölçüde etkilenmektedir. Nöron sayısının, YSA sisteminin yakınsama

oranı, yürütme süresi ve performans hatası üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. YSA performans hatasını tahmin etmek için literatürde Mean Squared Error (MSE) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aktivasyon fonksiyonu için formüller:

$$purelin(n) = n \quad (3.1)$$

$$log\ sig(n) = 1 / 1 + exp(-n) \quad (3.2)$$

$$tan\ sig(n) = 2 / 1 + exp(-2n) - 1 \quad (3.3)$$

Burada n, önceki katmandan aktarılan nöronların iç durum vektörüdür.

$$(Çıkış) Out(o) = f(W.x + b) \quad (3.4)$$

Nöron çıkışı denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır. W ile gösterilen değer ağırlık matrisini, X değeri ise giriş matrisini ve N değeri de modeldeki giriş sayısını ifade etmektedir. W₁, W₂, W₃, ..., W_n sırasıyla Matlab programı içerisinde otomatik ayarlanan ağırlık değerleridir. X₁, X₂, X₃, ..., X_n değerleri üç aylık saatlik ısıtım veri girişleri (w/m²), b değeri ise yine program tarafından belirlenen bias değerleridir.

$$o = f(\sum W_i X_i + b) \quad (3.5)$$

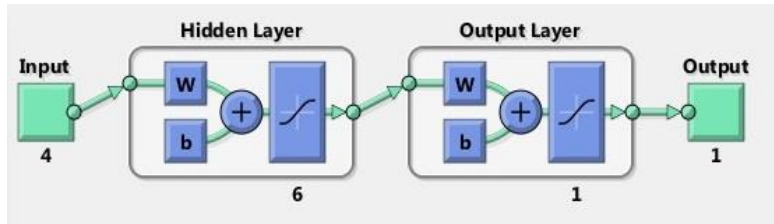
Çolaker vd. (2020)'ne göre, yeni bilgilerin elde edilmesi veya var olan bilgilerin değiştirilmesi öğrenme olayı ile gerçekleşmektedir. Bilgileri hızlı ve efektif olarak yapabilmek için makine öğrenimi gerekmektedir. YSA'da öğrenmenin, denetimli, denetimsiz ve destekleyici olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır. Doğruluğundan emin olunan önceden hazırlanmış ve seçilen verilerden yeni veri eğitiminin yapıldığı öğrenme şekline denetimli öğrenme denir. YSA'da denetim olması meydana gelen hatanın geriye dönük yayılım algoritması olarak isimlendirilmektedir. Veri merkezindeki giriş ve çıkış değerleri baz alınarak hatanın geri yayılma algoritması

eğitilmektedir. YSA’da hesaplanan eğitim çıkış ile gerçek çıkış değerleri arasındaki hata oranı hesaplanarak, hata oranına göre nörondaki ağırlıklar belirlenmektedir. Denetimli öğrenme tipinde, YSA ile eğitilen veriler olumlu sonuçlar vermektedir. YSA, robotik, tahmin, sınıflandırma, lineer ve non-linear gibi problemlere çözümler üretmektedir.

Sathya ve Abraham (2013)’a göre YSA’lar, ağırlıklarını kendisi günceller ve giriş verilerindeki gizli (hidden) katmanları tanımlayabilmek için denetimsiz öğrenme algoritmasını kullanmaktadır. YSA’lar denetimsiz öğrenme ile çıkış verilerinde bir hata sinyali bulmayı bağlı kalmadan veri eğitimi, öğrenme ve ağırlık başarılı olarak çıkış değerlerine ulaşmasını sağlamaktadır.

3.2.1 Yapay Sinir Ağının Oluşturulması

Bu çalışmada, Matlab programının YSA’lar için geliştirdiği araç olan nntool (neural network tool) uygulaması kullanılmıştır. YSA’nın eğitimi Levenberg – Marquardt algoritması ile yapılmıştır. Bu algorithmada 2 giriş verisi ile 1 çıkış verisi elde edilmiştir. YSA eğitiminde 2 katman ve 6 nöron parametrelerine sahip Levenberg – Marquardt algoritması ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Burada ki YSA katmanları, gizli ve çıkış katmanı olmak üzere toplamda 2 katmandan oluşmaktadır.



Şekil 3.4 Oluşturulan yapay sinir ağının yapısı.

Giriş verileri olarak, pironometreden alınan ortalama güneş ışıyım şiddeti verileri (w/m^2) ve pironometrenin bulunduğu düzeneğin iki-üç günlük periyotlarla değişen günlük olarak aç ı değerleri kullanılmıştır. Çıkış verileri olarak ortalama ışıyım şiddeti verileri elde edilmiştir. YSA eğitiminde, ikiden fazla katman olmamasının sebebi katman sayısındaki artışın buradaki veriler için tahmin başarısını düşürmesidir. En mükemmel sonuca gizli katmandaki nöron sayısının 6 olması ile ulaşılmıştır.

Levenberg–Marquardt algoritmasının kullanılmasının sebebi ise geçmiş zaman verilerinin ve yardımcı verinin bulunduğu yapılacak olan tahminlerde bu algoritmanın başarı oranının yüksek olmasıdır. Geliştirilen YSA modelinde eğitim ve simülasyon aşamalarında ağı daha objektif ve başarı sağlaması açısından birbirinden farklı veriler kullanılmıştır.

3.3 Enerji ve Ekserji Hesabı İçin Kullanılan Modeller

3.3.1 Enerji Analizi İçin Kullanılan Model

Fotovoltaik panelden üretilen enerji miktarı ile panele giren enerji miktarının oranlanması ile panelin enerji verimi hesaplanmaktadır. Fotovoltaik panellerde üretilen enerji doğru akım (DC) ile üretilmektedir. İnverter (evirici) yardımı ile alternatif akıma (AC) dönüşmektedir. Fotovoltaik panellerin nominal parametreleri, 1000 kW ve 25°C standart test koşulları ile belirlenmektedir. Fotovoltaik panelin ürettiği enerji değerleri, test koşullarında elde edilen değerlerden farklı olarak, güneş enerji sisteminin kurulduğu bölgenin ışıyım şiddetine ve ortam sıcaklığına, sisteme giren enerji değeri ise panel yüzeyine düşen güneş ışıyım miktarına göre değişmektedir. PV panele giren enerji değeri denklem (3.6) ile hesaplanmıştır. Burada, E_{in} panele giren enerji değerini, A_{pv} panelin yüzey alanını ve G ışıyım şiddetini ifade etmektedir.

$$E_{in} = A_{pv} \times G \quad (3.6)$$

Fotovoltaik panelin elektrik üretim değeri, güneş ışıyım şiddeti ve ortam sıcaklığına bağlı olarak, standart test koşullarında belirlenen panel parametrelerine göre hesaplanmıştır. Fotovoltaik panel sıcaklığının hesaplandığı denklem (3.7)'de verilmiştir. Burada, T_m panel sıcaklığını, T_{amb} ortam sıcaklığını, NOCT fotovoltaik hücrenin nominal çalışma sıcaklığını ifade etmektedir.

$$T_m = T_{amb} - (NOCT - 20) \times G/800 \quad (3.7)$$

Bu durumda panelin atmosfer şartlarındaki elektrik üretim değeri denklem (3.8) ile

hesaplanmıştır. Denklemden FF sabiti fill factor (güç faktörü) değerini, V_{oc} kısa devre gerilimi, I_{sc} kısa devre akımını, V_{mp} maksimum gerilimi ve I_{mp} ise maksimum akım değerini ifade etmektedir.

$$P_{max} = V_{oc} * I_{sc} * FF = V_{mp} * I_{mp} \quad (3.8)$$

Fotovoltaik panelin enerji verimi, enerji çıkışı ile enerji girişinin oranlanması ile bulunmaktadır. Enerji verimi, denklem (3.9) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{pv} = P_{max} / E\dot{n}_{in} \quad (3.9)$$

3.3.2. Ekserji Analizi İçin Kullanılan Model

Petela (1964)'a göre, fotovoltaik sisteme giren ekserji miktarı, panel yüzeyine düşen güneş enerjisine bağlıdır. Yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda giren ekserji miktarının, ortam sıcaklığı, güneş sıcaklığı ve güneş ışıınım şiddetine de bağlı olduğu tespit edilmiştir. Fotovoltaik sisteme giren ekserji değeri, denklem (3.10) ile hesaplanmıştır. Bu denklemden T_{amb} ortam sıcaklığını ve T_{sun} güneş sıcaklığını ifade etmektedir. Güneş sıcaklığı 5777 Kelvin olarak kabul edilmektedir.

$$E\dot{x}_{in} = A_{pv} \times G [1 - 4/3(T_{amb}/T_{sun}) + 1/3(T_{amb}/T_{sun})^4] \quad (3.10)$$

Güneş enerjisinin, fotovoltaik panelde elektrik enerjisine dönüşümü sırasında bir ekserji kaybı oluşmaktadır. Diğer bir ekserji kaybı ise panel ile ortam sıcaklığı arasındaki farktan dolayı ortama doğru oluşan ısı alışverişi sırasında meydana gelen kayıptır. Denklem (3.11) ile güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü sırasında oluşan ekserji kaybı hesaplanmıştır.

$$E\dot{x}_{electrical} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (3.11)$$

Fotovoltaik panelin yüzeyinden ortama olan ısı kaybı denklem (3.12) ile

hesaplanmaktadır. Sonrasında, sistemin ortam ile ısı alışverişi sırasında meydana gelen termal ekserji kaybı denklem (3.13) ile hesaplanmıştır. Bu denklemde, Q ortama olan ısı kaybını, T_{amb} ortam sıcaklığını, T_m panel sıcaklığını, h_{conv} konveksiyon ısı transfer katsayısını, h_{rad} ışıyım ısı transfer katsayısını ve U toplam ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

$$Q = U * A_{pv} * (T_{amb} - T_m) = (h_{conv} + h_{rad}) * A_{pv} * (T_{amb} - T_m) \quad (3.12)$$

$$\dot{E}x_{therm} = Q * (1 - T_{amb}/T_m) \quad (3.13)$$

Denklem (3.12)'de, U toplam ısı transfer katsayısını ifade etmekte olup konveksiyon ve ışıyım ısı transfer katsayılarının toplamına eşittir. Denklem (3.14) ve (3.15) ile konveksiyon ve ışıyım ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. h_{conv} değerinin hesaplanmasında, V_w ortalama rüzgâr hızını belirtmektedir. h_{rad} değerinin hesabında ise ε ısı iletim katsayısı, σ Stefan Boltzman sabitini ve T_{sky} gökyüzü sıcaklığını ifade etmektedir. Gökyüzü sıcaklığı denklem (3.17) ile hesaplanmıştır.

$$h_{conv} = 2.8 + 3 * V_w \text{ (W/m}^2\text{°C)} \quad (3.14)$$

$$h_{rad} = \varepsilon * \sigma * (T_{sky} + T_m) * (T_{sky}^2 + T_m^2) \text{ (W/m}^2\text{°C)} \quad (3.15)$$

$$U = h_{conv} + h_{rad} \quad (3.16)$$

$$T_{sky} = T_{amb} - 6(\text{°C}) \quad (3.17)$$

Fotovoltaik sistemin toplam çıkış ekserjisi, elektriksel kayıplar ile termal kayıpların farkının alınması ile hesaplanmıştır. Toplam çıkış ekserjisi, denklem (3.18) ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{out} = \dot{E}x_{electrical} - \dot{E}x_{therm} \quad (3.18)$$

Fotovoltaik sistemin ekserji verimi denklem (3.19) ile hesaplanmıştır.

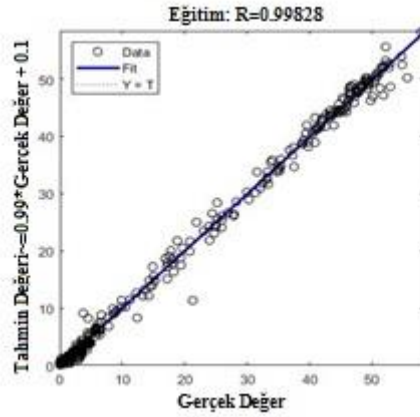
$$\Psi_{PV} = \dot{E}x_{out}/\dot{E}x_{in} = 1 - \dot{E}x_{loss}/\dot{E}x_{in} \quad (3.19)$$

Çizelge 3.3 Enerji ve ekserji analizinde kullanılan denklemlerin çizelgesi.

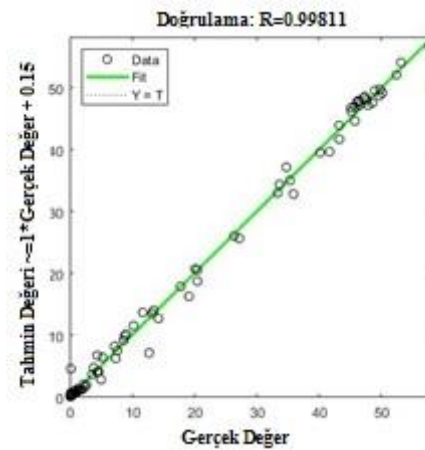
Enerji Analizi Denklemleri	Ekserji Analizi Denklemleri
$\dot{E}n_{in} = A_{pv} \times G$	$\dot{E}x_{in} = A_{pv} \times G [1 - 4/3(T_{amb}/T_{sun}) + 1/3(T_{amb}/T_{sun})^4]$
$T_m = T_{amb} - (NOCT - 20) \times G/800$	$\dot{E}x_{electrical} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$
$\dot{P}_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = V_{mp} \times I_{mp}$	$\dot{E}x_{therm} = Q \times (1 - T_{amb}/T_m)$
$\eta_{pv} = \dot{P}_{max}/\dot{E}n_{in}$	$Q = U \times A_{pv} \times (T_{amb} - T_m) = (h_{conv} + h_{rad}) \times A_{pv} \times (T_{amb} - T_m)$
	$h_{conv} = 2.8 + 3 \times V_w \text{ (W/m}^2\text{°C)}$
	$h_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{sky} + T_m) \times (T_{sky}^2 + T_m^2) \text{ (W/m}^2\text{°C)}$
	$U = h_{conv} + h_{rad}$
	$T_{sky} = T_{amb} - 6 \text{ (°C)}$
	$\dot{E}x_{out} = \dot{E}x_{electrical} - \dot{E}x_{therm}$
	$\Psi_{PV} = \dot{E}x_{out}/\dot{E}x_{in} = 1 - \dot{E}x_{loss}/\dot{E}x_{in}$

4. BULGULAR

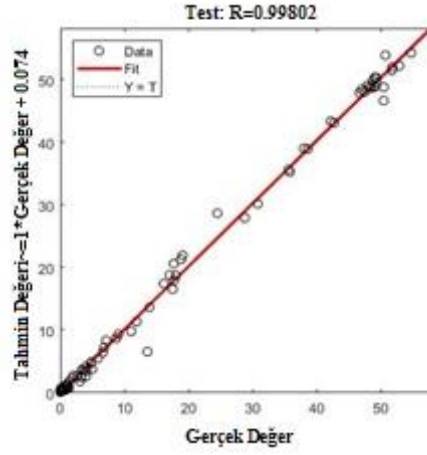
Kurulan güneş enerji sisteminde, ölçümü yapılan parametreler ile gelecek zamanlardaki eğim açısına bağlı güneş ışınlam şiddeti tahmini, Yapay Sinir Ağları kullanarak yapılmıştır. Sistemin enerji ve ekserji analizleri sunulan hesap yöntemleri ile hesaplanmıştır. Panel açısının değiştirilmesi ile panellere düşen ışınlam şiddeti değişmekte olup elektrik üretimine etki etmektedir. Yapay Sinir Ağları ile yapılan çalışmalar sonucunda gelecek zamanlar için ışınlam şiddeti tahminlerinin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan Yapay Sinir Ağına ait değişim eğrileri Şekil 4.1, şekil 4.2, şekil 4.3 ve şekil 4.4’de verilmiştir.



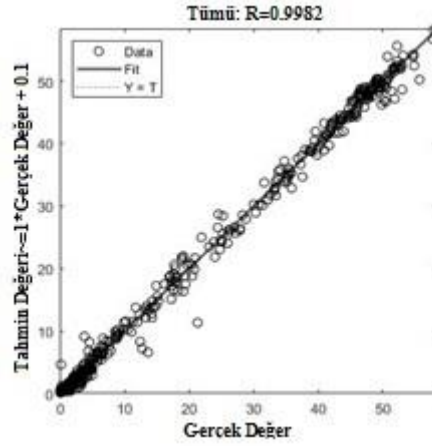
Şekil 4.1 Yapay Sinir Ağıнын eğitim başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.



Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağıнын doğrulama başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.

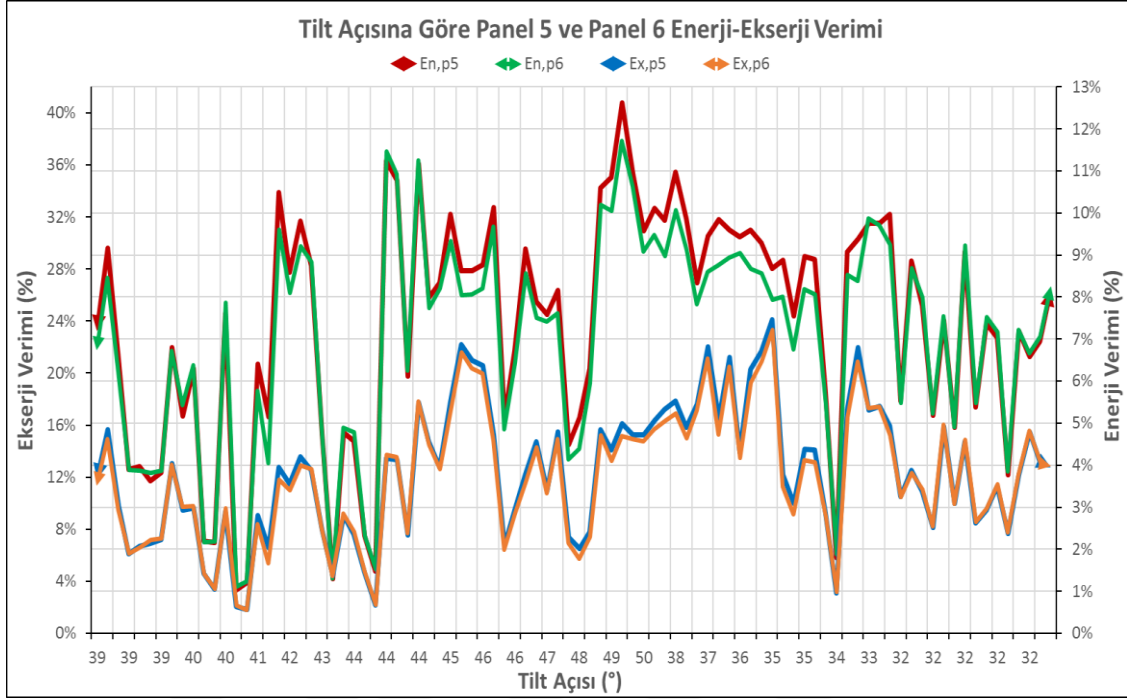


Şekil 4.3 Yapay Sinir Ağının test başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.



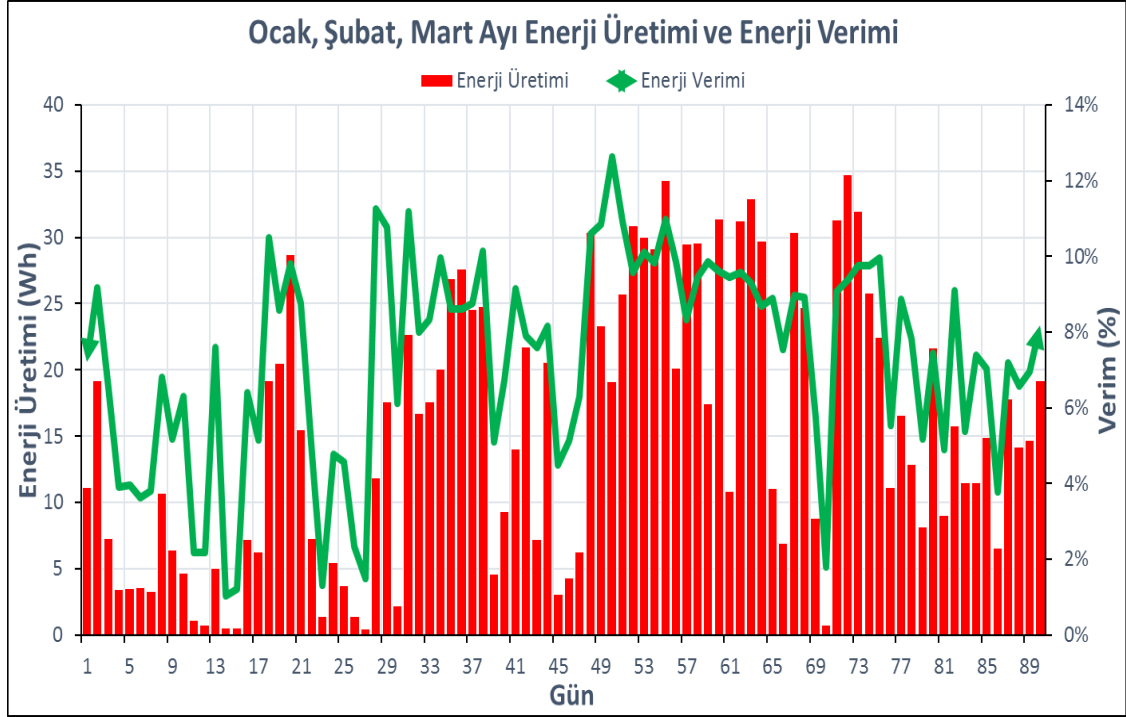
Şekil 4.4 Yapay Sinir Ağının genel eğitim başarısını gösteren gerçek değerler ile tahmin değerlerinin değişim eğrisi.

Şekil 4.5’de farklı tilt açılarında hesaplanan enerji ve ekserji verimi grafiği verilmiştir. Optimum açıda ($38,75^\circ$) yerleştirilen 5 numaralı PV panel ile tilt açısı 32° ’den başlamak üzere 50° ’ye kadar değiştirilen 2 numaralı PV panelin elektrik enerjisi üretim farkları verilen grafikte görülmektedir. Açı değeri optimum açıdan uzaklaştıkça ortalama ışıyım değerlerinin azaldığı, optimum açı değerine yaklaştıkça ortalama ışıyım değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.



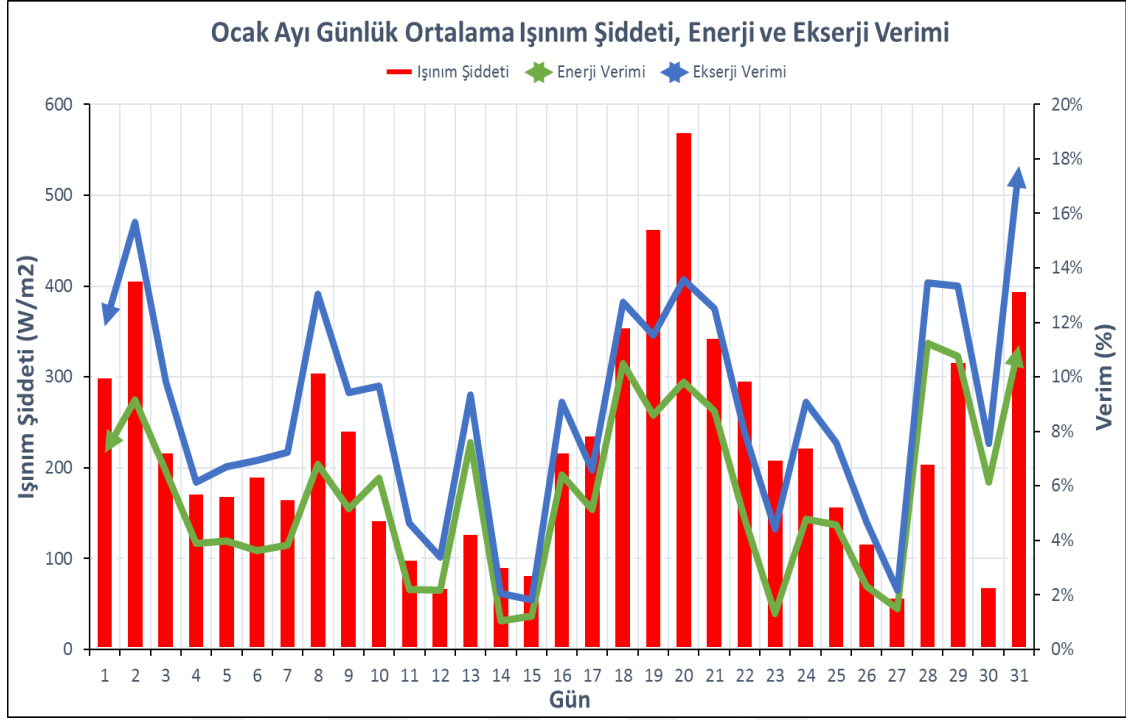
Şekil 4.5 Tilt açılarındaki enerji ve ekserji verimi.

Sisteminin enerji ve ekserji analizleri sunulan hesap yöntemi ile yapılmıştır. Hesap yöntemi ile 604 saatlik (90 gün) yapılan ölçümün günlük ortalaması alınarak (31.12.2020-31.03.2021) enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Güneş enerji sisteminin günlük ortalama enerji ve ekserji veriminin tilt açısına göre değişimi şekil 4.5’de verilmiştir. Tüm tilt açılarında enerji verimleri optimum açıdaki enerji veriminden az olarak belirlenmiştir. Güneş ışıınım şiddetinin en verimli olduğu bölge ve panelin açısı, panele giren güneş ışıınımının artmasına sebep olarak enerji verimini artırdığı gözlemlenmiştir. 90 günlük ölçümler süresince en verimli üretim miktarı, optimum açıda ($38,75^{\circ}$) görülmüştür. Enerji veriminde optimum açının etkisi görülmektedir.



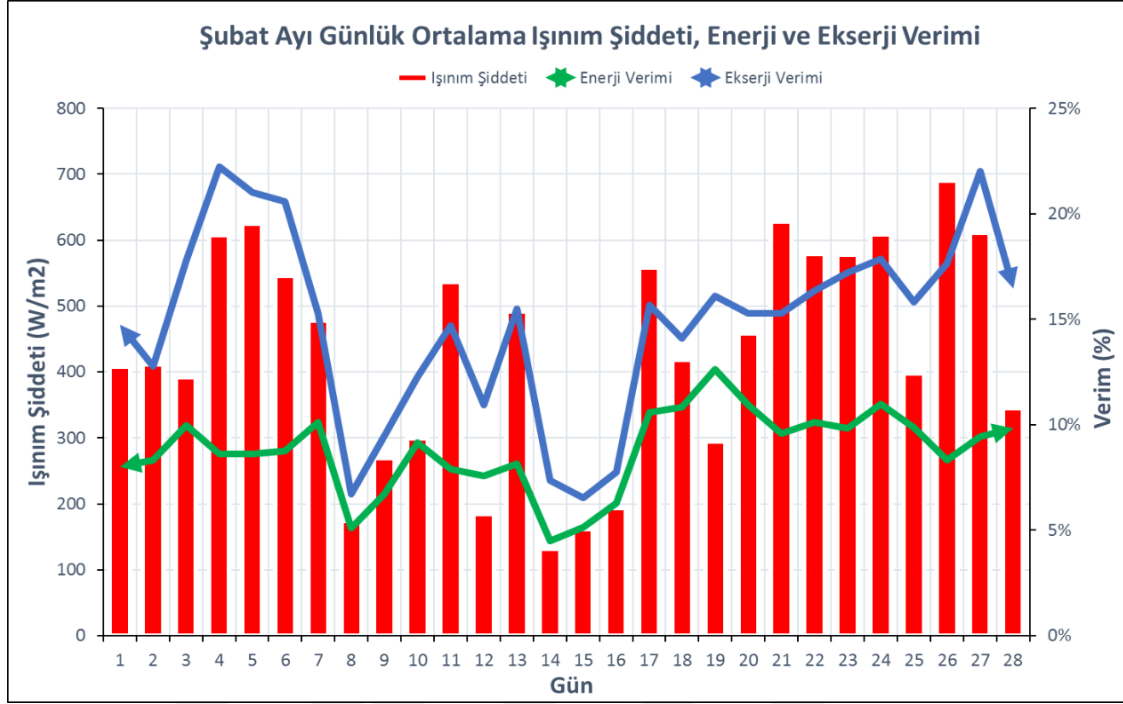
Şekil 4.6 Ocak, Şubat ve Mart aylarında optimum açıda enerji üretimi ve enerji verimi.

Şekil 4.6’da optimum açıda enerji üretimi ve enerji verimi grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere en yüksek enerji üretimi Şubat ayında görülmüştür. Bu zaman diliminde enerji veriminin istikrarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ocak ayında ise enerji üretimi ve verimin en düşük olduğu, bunun sonucu olarak doğrusal olmayan bir üretim gerçekleştiği tespit edilmiştir. Şekil 4.7, şekil 4.8 ve şekil 4.9’da Ocak, Şubat, Mart aylarına ait ışınlam şiddeti, enerji ve ekserji verimi grafikleri verilmiştir.



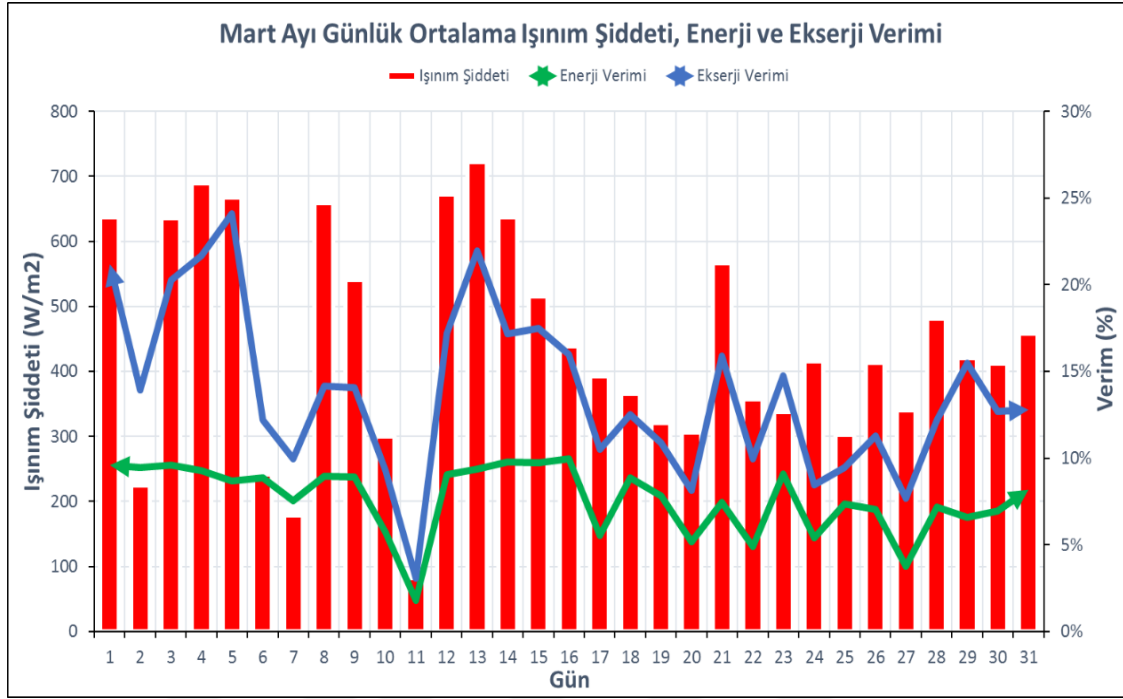
Şekil 4.7 Ocak ayı optimum açıdaki ışınlm şiddeti, enerji ve ekserji verimi.

Şekil 4.7’de verilen Ocak ayı ışınlm verileri incelendiğinde, ayın 20’nci günü ışınlm şiddeti $570,7 \text{ w/m}^2$ ile en yüksek değere ulaşmıştır. Söz konusu günde enerji verimi %10 ve ekserji verimi ise %14 olarak hesaplanmıştır. Ortalama hava sıcaklığı ise $0,95^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $1,96 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüştür. Hesaplamalar sonucunda 31 Ocak günü $396,25 \text{ w/m}^2$ ışınlm şiddeti, $2,58^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı ve $9,25 \text{ m/s}$ rüzgâr hızı ile enerji verimi %11 ve ekserji verimi %18 olarak hesaplanmıştır. Ocak ayında en düşük enerji verimi ayın 14’üncü günü $91,7 \text{ w/m}^2$ ışınlm şiddeti, $1,23^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı, $5,65 \text{ m/s}$ rüzgâr hızı ile %1 ve ekserji verimi ise %2 olarak hesaplanmıştır. Ocak ayının ortalamasına bakıldığında, ortalama ışınlm şiddeti $227,14 \text{ w/m}^2$, hava sıcaklığı $1,75^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $7,4 \text{ m/s}$, enerji verimi %7 ve ekserji verimi %10 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8 Şubat ayı optimum açıdaki ışınlm şiddeti, enerji ve ekserji verimi.

Şekil 4.8’de verilen Şubat ayı ışınlm şiddeti ve verim değeri incelendiğinde bu değeri artışı gözlemlenmiştir. Ayın 26’ncı günü ışınlm şiddeti değeri $689,9 \text{ w/m}^2$ ile en yüksek değere ulaşmıştır. Bu günde enerji verimi %8 ve ekserji verimi ise %18 olarak hesaplanmıştır. Ortalama hava sıcaklığı ise $4,33^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $7,95 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüştür. Şubat ayında en yüksek verim ayın 19’uncu günü %13 olarak hesaplanmıştır. Enerji veriminin en yüksek olduğu gün ışınlm şiddeti $294,8 \text{ w/m}^2$, hava sıcaklığı $-0,88^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $4,63 \text{ m/s}$ ve ekserji verimi %16 olarak hesaplanmıştır. Şubat ayında en düşük enerji verimi ayın 14’üncü günü $132,09 \text{ w/m}^2$ ışınlm şiddeti, $3,23^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı, $12,55 \text{ m/s}$ rüzgâr hızı ile %4 ve ekserji verimi ise %7 olarak hesaplanmıştır. Şubat ayı ortalaması ise, ışınlm şiddeti $431,3 \text{ w/m}^2$, hava sıcaklığı $4,04^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $7,38 \text{ m/s}$, enerji verimi %9 ve ekserji verimi %15 olarak hesaplanmıştır.



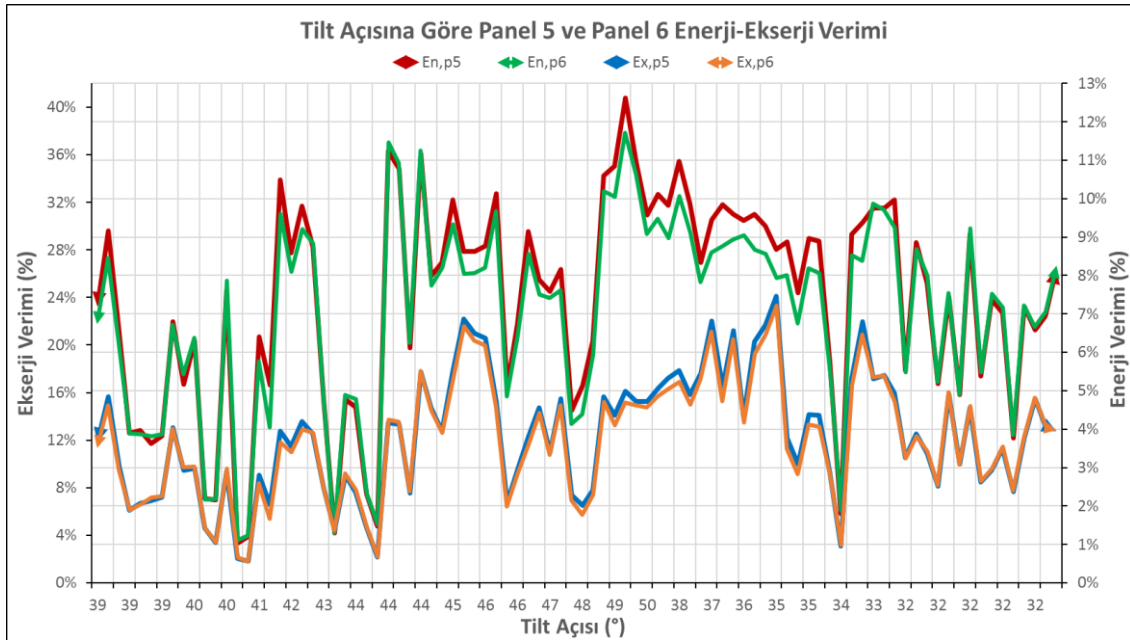
Şekil 4.9 Mart ayı optimum açıda ortalama ışınım şiddeti, enerji ve ekserji verimi.

Şekil 4.9’da verilen Mart ayı bulguları değerlendirildiğinde, ışınım şiddeti verilerinde artış gözlemlenmesine rağmen enerji verimi Şubat ayı ile karşılaştırıldığında düşüş meydana gelmiştir. Mart ayının 13’üncü günü ışınım şiddeti değeri $722,4 \text{ w/m}^2$ ile en yüksek değere ulaşmıştır. Bu günde enerji verimi %9 ve ekserji verimi ise %22 olarak hesaplanmıştır. Ortalama hava sıcaklığı ise $7,08^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $11,24 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüştür. Mart ayında en yüksek enerji verimi %10 ile ayın 16’ncı gününde hesaplanmıştır. Enerji veriminin en yüksek olduğu gün ışınım şiddeti 439 w/m^2 aralığında, hava sıcaklığı $1,20^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $7,24 \text{ m/s}$ ve ekserji verimi %16 olarak hesaplanmıştır. Mart ayında en düşük enerji verimi ayın 11’inci günü $82,2 \text{ w/m}^2$ ışınım şiddeti, $2,06^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı, $8,54 \text{ m/s}$ rüzgâr hızı ile %2 ve ekserji verimi ise %3 olarak hesaplanmıştır. Mart ayı ortalaması ise, ışınım şiddeti $443,17 \text{ w/m}^2$, hava sıcaklığı $3,32^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı $7,32 \text{ m/s}$, enerji verimi %8 ve ekserji verimi %14 olarak hesaplanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Afyonkarahisar ili iklim koşullarında kurulan 2 adet 60 W nominal güce sahip monokristal panel kullanılarak kurulan güneş enerji sisteminde, YSA yöntemi ile geçmiş zamandaki üretim ve ortam koşulları parametreleri ile gelecek zaman için bölgeye düşecek olan ışınlam şiddeti miktarının tahmini yapılmıştır. Tahmin verileri ile gerçek veriler karşılaştırılarak sistemin başarısı doğrulanmıştır. Kurulan sistemin Afyonkarahisar şartlarındaki verimi, elektriksel ve ısı kayıpların üretim miktarını ne kadar etkilediği, enerji ve ekserji analizleri sonucunda belirlenmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları aşağıda verilmiştir:

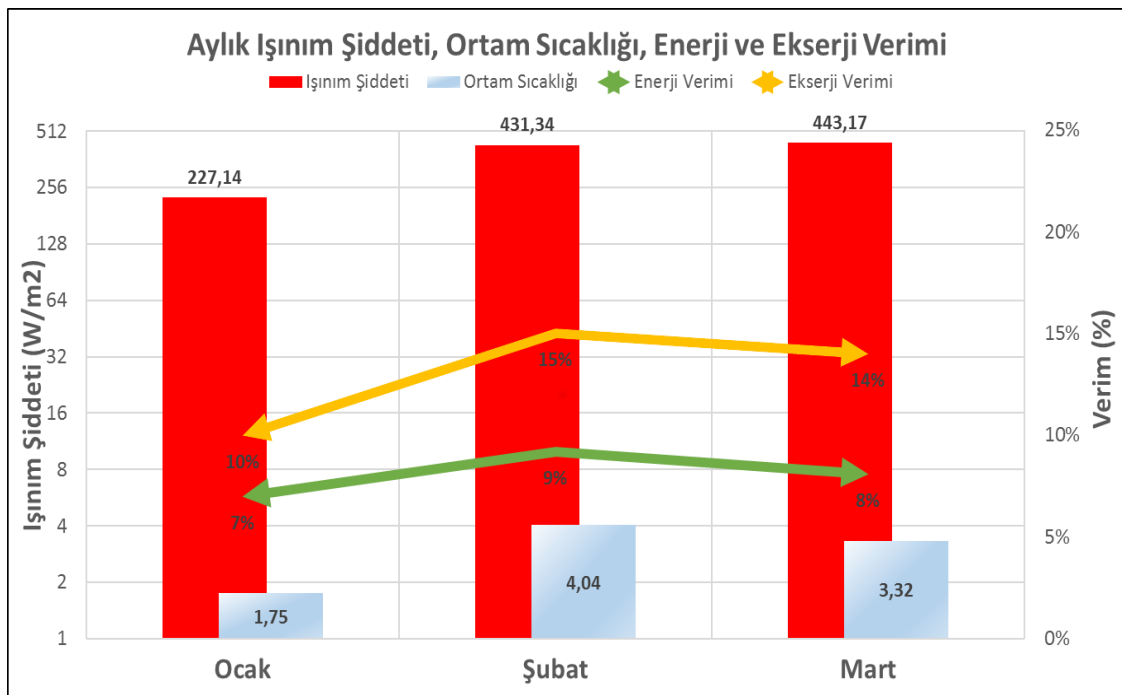
Fotovoltaik panellerde elektrik üretimini etkileyen en büyük etkenlerden biri panelin tilt açısı ve yönüdür. Panellere düşecek olan maksimum ışınlam şiddetini elde etmek için tilt açısının ölçümü ve hesabı hassas bir şekilde yapılmalıdır. Hesaplamanın yapıldığı coğrafik bölge, mevsim şartları ve ölçümde kullanılan materyallerin kalibrasyonu çok iyi bir şekilde yapılarak günlük, haftalık ve aylık ölçümler alınıp, sistem bu sonuçlar değerlendirilerek kurulmalıdır. Elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında Afyonkarahisar ili için panel veriminin en yüksek olduğu tilt açısı bu ilin enlemi olan $38,75^\circ$ açısı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.1 Tilt açılarındaki enerji ve ekserji verimi.

Ancak, bazı ışıınım şiddeti durumlarında en uygun açının enlem açısı olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.1’de optimum açı ile değişen tilt açıları arasındaki enerji ve ekserji veriminin grafiği verilmiştir.

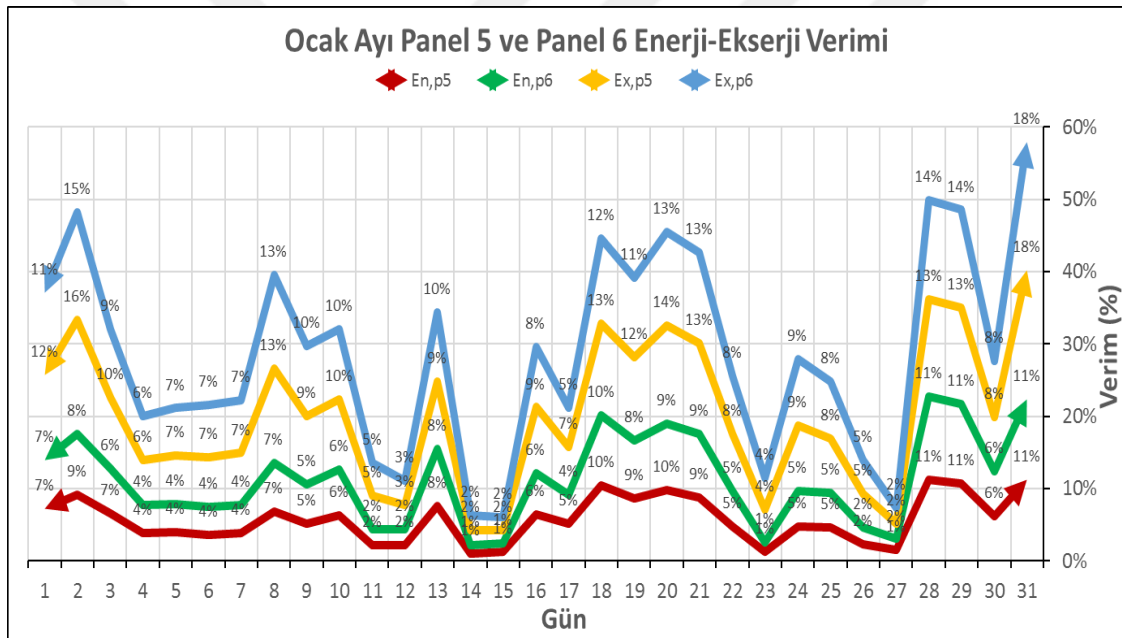
Yapay Sinir Ağları ile geçmiş zamandaki meteorolojik veriler (ışıınım şiddeti, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızları) kullanılarak bölgenin gelecek zamanlar için ışıınım durumu belirlenmiştir. Böylece kullanıcılar hem ekonomik hem de verimli bir sistemin kurulumu için hazırlık yapmalarına olanak sağlayan bilimsel sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Optimum açıdaki aylık ışıınım şiddeti, ortam sıcaklığı, enerji ve ekserji verimi.

Şekil 5.2’de Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait optimum açıdaki aylık ışıınım şiddeti ile ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen aylık enerji ve ekserji verimi grafiği verilmiştir. Bu aylarda yapılan 90 günlük ölçüm sonucunda, söz konusu 3 ay için en yüksek verim ve üretimin gerçekleştiği ay Şubat ayı olarak tespit edilmiştir. Enerji verimi, Şubat ayında %9, Mart ayında %8 ve Ocak ayında %7 olarak hesaplanmıştır. Ortalama ışıınım şiddetinin Mart ayında Şubat ayına göre yüksek olup, verim değerinin düşük olmasının sebeplerinden biri ortam sıcaklığıdır. Saatlik üretim değerleri incelendiğinde en yüksek değerler Şubat ayında ölçülmüştür(17 Şubat saat 12:03 tarihinde 1130 w/m² ile maksimum ışıınım ve 24 Şubat saat 15:56 tarihinde %36,2 maksimum verim).

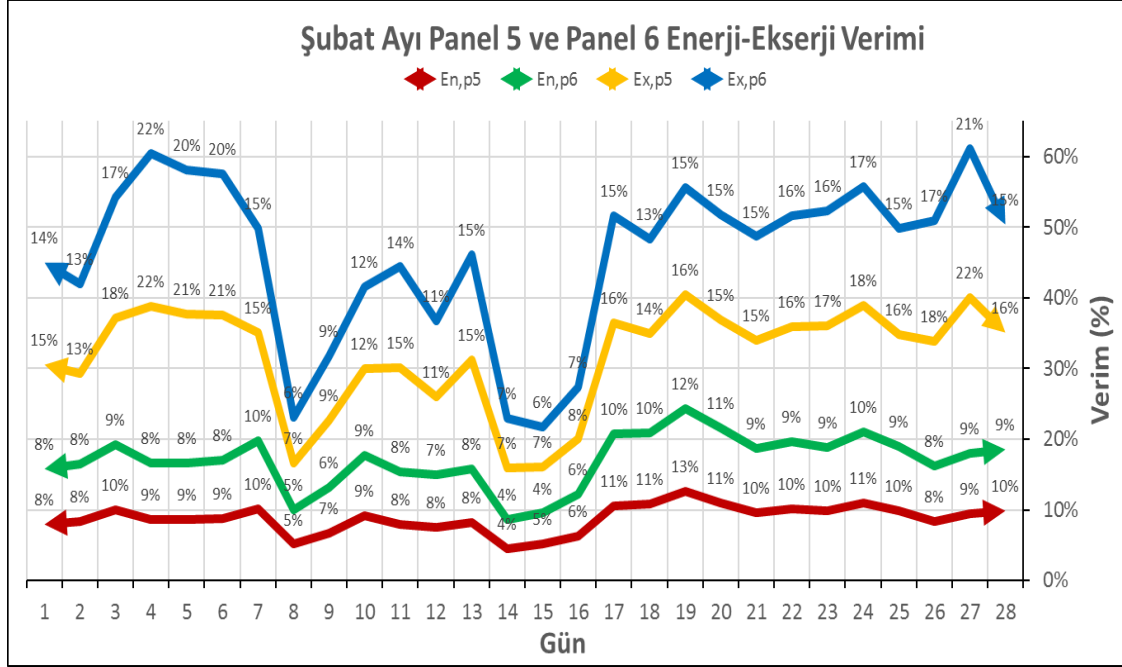
Açıları farklı iki panelde yapılan ölçümler sonucunda Afyonkarahisar ili için en verimli tilt açısının, enlem açısı ($38,75^\circ$) olduğu belirlenmiştir. Tilt açısının etkisi enerji verimi üzerinde görülmektedir. Enlem açısına yakın açı değerlerinde enerji verimi, optimum açı ile yakın değerlerde seyretmiştir. Fakat ekserji veriminin ise tilt açısına bağlı olmadığı görülmüştür. Tilt açısı fark etmeksizin ekserji verimi, ölçümü yapılan günün ışınlam şiddeti, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, panel cinsi gibi parametrelerden etkilenmekte olup bu parametrelerin uygun olduğu günlerde daha verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 5.3, şekil 5.4 ve şekil 5.5’de bu aylara ait günlük ekserji ve enerji veriminde meydana gelen değişimler verilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere panel 1 ve panel 2’nin ekserji verimleri birbirlerini takip eden bir eğri çizmektedir.



Şekil 5.3 Ocak ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi.

Ekserji analizleri sonucunda aylık ortalama verimin en yüksek olduğu ay, %15 ile Şubat ayı olarak hesaplanmıştır. Ocak ayı için ortalama ekserji verimi %10, Mart ayı için %14 olarak hesaplanmıştır. Maksimum ekserji veriminin Mart ayında olup, aylık ortalamalar karşılaştırıldığında Şubat ayının öne çıkmasının sebebi bulutsuz ve ışınlamın sürekliliğinin sağlandığı günlere sahip olmasıdır. Günlük olarak değerlendirildiğinde 5 Mart günü ekserji veriminin %24’e kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Mart ayında ortalama sıcaklığın $3,32^\circ\text{C}$, ortalama rüzgâr hızının $7,32\text{ m/s}$ ve ortalama ışınlam şiddetinin 443 w/m^2 olduğu göz önüne alınırsa 5 Mart gününde %24 ekserji veriminin elde edilmesi

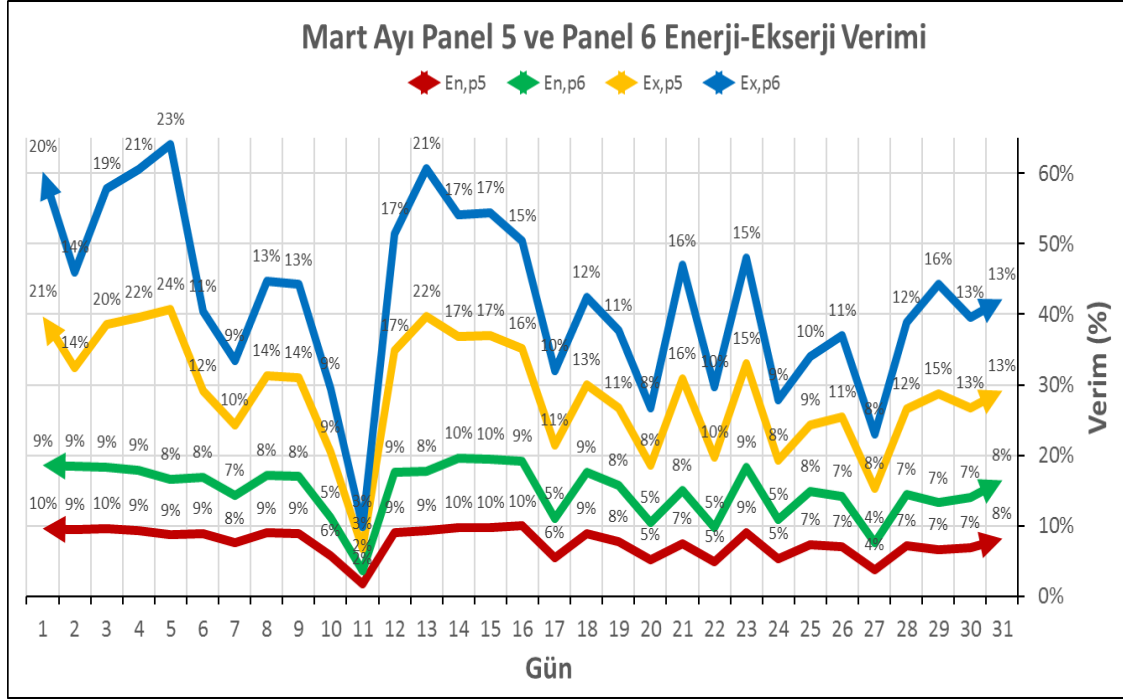
tesadüf değildir. Bu gündeki parametrelere bakıldığında 667 w/m^2 , ortam sıcaklığının $7,9^\circ\text{C}$ ve rüzgâr hızının $15,88 \text{ m/s}$ olması ekserji veriminin artmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.4 Şubat ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi.

Işınım şiddeti, panel tipi ve panel alanı, enerji verimine doğrudan etki etmektedir. Fakat bu parametreler ekserji veriminin iyileştirilebilmesi için yeterli değildir. Ekserji verimi ışınlam şiddeti ve panel özelliklerine ek olarak, panelin ortamla yaptığı ısı alışverişine yani buna bağlı olarak ortam sıcaklığına, güneş panelinin çevresinde esmekte olan rüzgârın panel yüzeyini soğutmasına bağlı olarak uygun ya da uygun olmayan çalışma sıcaklıklarına ulaşmasını sağlamaktadır.

Enerji ve ekserji verimini etkileyen diğer bir etken ise panel tipidir. Bu çalışmada, monokristal panel tipi tercih edilmiştir. Deney kış aylarında gerçekleşmekte olup, düşük hava sıcaklığı ve düşük ışınlam şiddetleri altında ölçümler yapılacağı için diğerlerine göre daha verimli çalışan ısı iletim katsayısı yüksek monokristal hücreli panel tipi tercih edilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, Mart ayında, ortalama ışınlam şiddetinin ve ortam sıcaklıklarının yükselmesi, rüzgâr hızlarının düşmesi, ekserji veriminin diğer aylara göre yükselmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.5 Mart ayı panel 1 ve panel 2 enerji-ekserji verimi.

Sonuç olarak, enerji ve ekserjinin ortak noktası güneş ışıınım şiddetidir. Fakat ikisini etkileyen faktörler birbirinden farklıdır. Enerji için, güneş ışıınım şiddeti, fotovoltaiik panelin özellikleri ve tilt açısı ön planda iken, ekserji yıkımının azaltılabilmesi için termal faktörler etkindir. Ekserji için, ortam sıcaklığı, rüzgâr faktörü ve ısı iletim katsayısı gibi parametreler önem arz etmektedir. Ekserji yıkımı ne kadar az olursa panel verimi o kadar artacaktır. Böylece kaybedilmeyen enerji sisteme pozitif yönde katkı sağlayarak kurulan veya kurulacak olan sistemlerden daha verimli, kayıpsız ve ekonomik enerji üretimi sağlanacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abid M, Hepbaşlı A, 2015, Dynamic Exergetic Analysis and Evaluation of Photovoltaic Modules, *Energy Sources*, 37, 2271-2284.
- Aghbashlo M, Tabatabaei M, Mohammadi P, Pourvosoughi N, Nikbakht A M, Goli S A H, 2015, Improving Exergetic and Sustainability Parameters of A DI Diesel Engine Using Polymer Waste Dissolved In Biodiesel As A Novel Diesel Additive, *Energy Conversion and Management*, 105, 328-337.
- Akarslan, E, Hocaoglu F O, 2016, A Novel Adaptive Approach For Hourly Solar Radiation Forecasting, *Renewable Energy*, 87, 628-633.
- Aksungur K M, Kurban M, Başaran Filik Ü, 2013, Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, 3-6.
- Almonacid F, Pérez-Higueras P J, Fernández F E, Hontoria L, 2014, A Methodology Based on Dynamic Artificial Neural Network For Short-term Forecasting of The Power Output of A PV Generator, *Energy Conversion and Management*, 85, 389-398.
- Amrouche B, Pivert L X, 2014, Artificial Neural Network Based Daily Local Forecasting For Global Solar Radiation, *Applied Energy*, 130, 333-341.
- Ashourian M, Cherati S, Zin A M, Niknam N, Mokhtar A, Anwari M, 2013, Optimal Green Energy Management For Island Resorts In Malaysia, *Renewable Energy*, 51, 36-45.
- Ayadi O, Jamra M, Jaber A, Ahmad L, Alnaqep M, 2021, An Experimental Comparison of Bifacial and Monofacial PV Modules, 2021 12th International Renewable Engineering Conference, 2021, April 14-15, Amman, Jordan, 1-8.
- Bai A, Popp J, Balogh P, Gabnai Z, Palyi B, Farkas I, vd., 2016, Technical and Economic Effects of Cooling Monocrystalline Photovoltaic Modules In Hungarian Conditions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1086-1099.
- Bayrak F, Abuhamdeh N, Alnefaie K A, Oztop H F, 2017, A Review on Exergy Analysis of Solar Electricity Production, *Renewable and Sustainable Energy*

- Reviews, 74, 755-770.
- Copiello S, Grillenzoni C, 2017, Solar Photovoltaic Energy and Its Spatial Dependence, 4th International Conference On Power and Energy Systems Engineering, 2017, September 25-29, Berlin, Germany, 86-90.
- Ciach R, ĩelazny J, 2005, Photovoltaic Material and Technology, Foundation of Development In Material Science, Cracow.
- Çengel Y A, Boles M A, 1996, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, 867s, İstanbul.
- Dincer İ, Joshi S A, Reddy B V, 2009, Thermodynamic Assessment of Photovoltaic Systems, Solar Energy, 83, 1139-1149.
- Emam R S, Dincer I, 2013, Exergy and Exergoeconomic Analyses and Optimization of Geothermal Organic Rankine Cycle, Applied Thermal Engineering, 59, 435-444.
- Hocaoğlu F O, Gerek N Ö, Kurban M, 2008, Hourly Solar Radiation Forecasting Using Optimal Coefficient 2-D Linear Filters and Feed-Forward Neural Networks, Solar Energy, 82, 714-726.
- Heng, J, Wang J, Xiao L, Lu H, 2017, Research and Application of A Combined Model Based on Frequent Pattern Growth Algorithm and Multi-Objective Optimization For Solar Radiation Forecasting. Applied Energy, 208, 845-866.
- Hofierka J, Süri M, 2002, The Solar Radiation Model For Open Source GIS: Implementation and Applications, Proceedings of The Open Source Gİs Grass Users Conference, 2002, September 11-13, Trento, Italy, 1-19.
- Hepbaslı A, Araz M, Bıyık E, Yao R, Shahrestani M, Essah E, vd., 2018, Thermoeconomic Analysis and Evaluation of A Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System Based on Actual Operational Data, Role of Exergy In Energy and The Environment, Green Energy and Technology, Chapter 63.
- Huang B, Lin T, Hung W, Sun F, 2001, Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/thermal Systems, Solar Energy, 70, 443-448.
- Jones A D, Underwood K, 2001, A Thermal Model for Photovoltaic Systems, Solar Energy, 70:4, 349-359.

- Kumar M N, Subramaniam U, Mathew M, Ajitha A, Almakhlles D J, 2020, Exergy Analysis of Thin Film Solar PV Module In Ground Mounted Floating and Submerged Installation Methods, Case Studies In Thermal Engineering, 21.
- Markvart T, L. Castaner, 2011, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier, Oxford, 2006.B.
- Mohammad S, Razavi E, Jahangir M H, Mousavi S, 2019, A Review Study on Photovoltaic Systems and Energy Recovery Time Calculation For Selected Modules, Renewable Energy and Environment Magazine, 6:3, 40-52.
- Monica, P. and Kowsalya, M. 2016, Control Strategies of Parallel Operated Inverters In Renewable Energy Application: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 885-901.
- Nami H, Mahmoudi S.M.S, Nematı A, 2017, Exergy, Economic and Environmental Impact Assessment and Optimization of A Novel Cogeneration System Including A Gas Turbine, A Supercritical CO₂ and An Organic Rankine Cycle, Applied Thermal Engineering, 110, 1315-1330.
- Nosratabadi S M, Hooshmand R A, Gholipour E, Rahimi S, 2017, Modeling and Simulation of Long-term Stochastic Assessment of Adequacy Industrial Microgrids Taking Into Account Renewable Resources and Load Growth, Simul Model Pract Theory, 75, 77-95.
- Özsoy M F, 2011, Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi İle Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Parida S, Inıyan R.G, A Review of Solar Photovoltaic Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:3, 1625-1636.
- Pathak M J M, Sanders P.G, Pearce J.M, 2014, Optimizing Limited Solar Roof Access By Exergy Analysis of Solar Thermal, Photovoltaic and Hybrid Photovoltaic Thermal Systems, Applied Energy, 120, 115-124.
- Pearsall N, 2017, The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment, Woodhead Publishing, 366s, Cambridge.

- Petela R, 1964, Exergy of Heat Radiation, ASME Journal Heat Transfer, 86, 187-192.
- Rahnama E, Aghbashlo M, Tabatabaei M, Khanali M, Rosen M.A, 2019, Spatio Temporal Solar Exergoeconomic and Exergoenvironmental Maps For Photovoltaic Systems, Energy Conversion and Management, 195, 701-711.
- Sudhakar K, Tulika Srivastava, 2014, Energy and Exergy Analysis of 36 W Solar Photovoltaic Module, International Journal of Ambient Energy, 35:1, 51-57.
- Sukumaran S, Sudhakar K, 2018, Performance Analysis of Solar Powered Airport Based on Energy and Exergy Analysis, Elsevier Energy, 149, 1000-1009.
- Yadav A K, Malik H, Chandel S S, 2014, Selection of Most Relevant Input Parameters Using WEKA For Artificial Neural Network Based Solar Radiation Prediction Models, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 31, 509-519.
- Yousaf K, 2015, Size Optimization of Solar and Wind Hybrid System, Master Thesis, The Republic of Turkey Bahcesehir University, Istanbul, 83s.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator>, 10.01.2023
- 2- <http://www.guyad.org/TR,1083/ulkemizin-birincil-kaynaklara-gore-elektrik-enerjisi-ur-.html>, 14.01.2023
- 3- <https://www.teias.gov.tr/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>, 18.01.2023
- 4- <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/3.aspx>, 23.02.2023
- 5- <https://kaplanpower.com.tr/tr/gunes-enerjisi-panellerinin-calisma-prensibi>, 12.03.2023