

**ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK
SİSTEMLERDE ÜRETİLEN ENERJİNİN YAPAY
SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİNİ**

Kenan DONUK

Yüksek Lisans Tezi

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hayrettin CAN
EYLÜL-2014**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE ÜRETİLEN ENERJİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kenan DONUK

(092129106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Eylül 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2014

Tez Danışmanı : Doc. Dr. Hayrettin CAN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü)

Doc. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU (F.Ü)

EYLÜL-2014

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlanmasında yoğun mesai ve çalışmalarına rağmen vaktini ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleriyle çalışmamda yol gösteren ve sayesinde iş disiplini kazandığım değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hayrettin CAN'a, çalışmalarım süresince dualarını eksik etmeyen canım anne ve babama, fedakârlığı ve manevi desteğiyle hep yanımda olan eşim Hülya DONUK'a ve varlığıyla güç kazandığım biricik kızım Ahsen Beyza'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Kenan DONUK
Elazığ-2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Yapısı.....	3
2. GÜNEŞ PİLLERİ.....	4
2.1. Yapısına Göre Güneş Pilleri	4
2.2. Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi.....	6
2.3. Güneş Pili Modellenmesi ve Karakteristiği	7
2.3.1. Güneş Pili Hücresinin I-V ve P-V Karakteristiği.....	10
2.3.2. Işınım ve Sıcaklığın I-V ve P-V Karakteristiklerine Etkisi	11
3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE IŞINIM HESAPLAMALARI	14
3.1. Güneş Işınımı	14
3.2. Güneş Açıları	15
3.3. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı	23
3.4. Yeryüzüne Ulaşan Güneş Işınımının Hesabı	24
3.4.1. Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı	24
3.4.2. Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı	29
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	34
4.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Kullanım Alanları	35
4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	35

4.3.	Biyolojik Sinir Ağı.....	36
4.4.	Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	37
4.5.	Yapay Sinir Ağı Modelleri	39
4.5.1.	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	40
4.5.2.	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	40
4.6.	Normalizasyon Türleri.....	41
5.	ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE ÜRETİLEN ENERJİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİNİ.....	44
5.1.	Yapay Sinir Ağı Parametrelerinin Hesaplanması	46
5.1.1.	Işınım Hesaplama Modülü.....	47
5.1.2.	Sıcaklık Hesaplama Modülü	49
5.1.3.	Yapay Sinir Ağı'nın Oluşturulması.....	49
5.2.	Yapay Sinir Ağı Parametrelerinin Normalize Edilmesi	50
5.3.	Yapay Sinir Ağı'nın Eğitilmesi.....	52
5.4.	Hata Hesaplamaları	53
5.5.	Simülasyon Sonuçları.....	54
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	56
	KAYNAKLAR	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Yapılan bu tez çalışmasında günümüz enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanımı gittikçe yaygınlaşan fotovoltaik (PV) sistemlerden elde edilecek enerjinin tahmini konusu ele alınmıştır. Çalışmanın başında PV sistemlerin güç karakteristikleri, çalışma prensibi, yapısı, PV panellerin güneş ile olan açısal ilişkileri ile ışıyım hesaplamaları araştırmalarla ortaya konmuştur. Daha sonra PV sistemlerden elde edilecek enerjinin tahmini için yapay sinir ağları (YSA) ve mimarileri hakkında temel bilgiler verilmiş olup normalizasyon kurallarının YSA performansı üzerindeki önemine değinilmiştir.

Bu çalışmada, Elazığ'da bulunan 2.3 kW'lık fotovoltaik bir sistemin ürettiği günlük enerji miktarı, Elazığ'ın 2013 yılı meteorolojik verileri kullanılarak YSA ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen meteorolojik veriler bir dizi hesaplama ve çevrimler ile yapay sinir ağı için uygun verilere dönüştürülmüştür. Bunun yanında fotovoltaik sistemin 2013 yılında şebekeye verdiği enerji miktarı verileri de inverter aracılığıyla elde edilip YSA'nın eğitim aşamasında kullanılmıştır. Veriler eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılmış olup eğitim verileriyle, farklı YSA mimarileri kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiştir. Eğitimler sonunda en iyi performansa sahip YSA modeli temel alınarak test verileri denenmiş ve simülasyon verileri ile inverter gerçek verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki hesaplama ve analizlerde Matlab yazılım geliştirme ortamı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistem, Güneş Pilleri, Güneş Panel Modellemesi, Yapay Sinir Ağı

SUMMARY

The Energy Produced From The Grid Connected Photovoltaic System Using Artificial Neural Network Prediction

The subject of this thesis is the estimation of the energy to be obtained from photovoltaic (PV) systems increasingly used to meet today's energy demand. At the beginning of the study, the power characteristics, working principle, structure of PV systems and angular relationships between PV panels and the sun as well as the radiation calculations are demonstrated with researches. Then, the basic information about artificial neural networks (ANN) and their architectures is provided for estimation of the energy to be obtained from PV systems, and the importance of normalization rules on the performance of ANN is mentioned.

The aim of this study is to attempt to predict the daily amount of energy produced by a photovoltaic system of 2.3 kW in Elazig with ANN through 2013 meteorological data of Elazig. Meteorological data obtained was converted into suitable data for the artificial neural network through a series of calculations and conversion methods. Further, the data of energy amount given to the network by photovoltaic system in 2013 was obtained through inverter and used in the training phase of ANN. While data was separated into two groups as training and test data, the artificial neural network was trained by using training data and different ANN architectures. At the end of training, the test data was tried on the basis of the ANN model with the best performance and simulation data was compared with the inverter actual data. The Matlab software development environment was used in calculations and analyses during the study.

Key Words: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Solar Cells, Solar Panel Modelling, Artificial Neural Network.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Fotovoltaik birimler	4
Şekil 2.2 P-N tipi plakalar.....	6
Şekil 2.3 P-N tipi diyot çalışma ilkesi.....	7
Şekil 2.4 Güneş pili eşdeğer devresi	7
Şekil 2.5 Fotovoltaik I-V ve P-V karakteristiği	11
Şekil 2.6 Solarwatt AG M220-60 modülün I-V karakteristiğinin ışıınım ile değişimi.....	11
Şekil 2.7 Solarwatt AG M220-60 modülün P-V karakteristiğinin ışıınım ile değişimi.....	12
Şekil 2.8 Solarwatt AG M220-60 modülün I-V karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi.....	12
Şekil 2.9 Solarwatt AG M220-60 modülün P-V karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi.....	13
Şekil 3.1 Direkt ve yayılı ışıınım	14
Şekil 3.2 Güneş açıları.....	16
Şekil 3.3 Denklinasyon açısının yıl içerisindeki değişim grafiği.....	17
Şekil 3.4 Enlem açısı	17
Şekil 3.5 Yüzey azimut açısı.....	18
Şekil 3.6 Eğim açısı.....	18
Şekil 3.7 Elazığ ili 20 Nisan tarihinde günlük saat açısı değişimi.....	20
Şekil 3.8 Güneş geliş açısı	21
Şekil 3.9 Elazığ ilinde 23° açılı ile konumlandırılmış yüzeye gelen güneş geliş açıları.....	21
Şekil 3.10 Zenit açısı	22
Şekil 3.11 Yükseklik açısı	22
Şekil 3.12 Elazığ ili temmuz ayı yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değişim grafiği.....	26
Şekil 3.13 Elazığ 15 Temmuz yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değişim grafikleri.....	28
Şekil 3.14 Elazığ 1 Ocak yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değişim grafikleri.....	29
Şekil 3.15 Elazığ ili temmuz ayı eğik yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değişim grafiği.....	31

Şekil 3.16	Elazığ ili 15 Temmuz eğik yüzey anlık yayılı, direkt, toplam ışıınım grafikleri.....	32
Şekil 3.17	Elazığ ili 1 Ocak eğik yüzey anlık yayılı, direkt, toplam ışıınım grafikleri.....	33
Şekil 4.1	Yapay sinir ağı modeli	34
Şekil 4.2	Biyolojik sinir ağı hücresi	37
Şekil 4.3	Temel YSA modeli	37
Şekil 4.4	Tangent-Sigmoid transfer fonksiyonu	38
Şekil 4.5	Logaritmik-Sigmoid transfer fonksiyonu.....	39
Şekil 4.6	Purelin transfer fonksiyonu	39
Şekil 4.7	Çok katmanlı ileri beslemeli ağ modeli	40
Şekil 4.8	Geri beslemeli Hopfield ağı	40
Şekil 5.1	Şebekeye bağlı fotovoltaiik sistem	44
Şekil 5.2	Ölçüm istasyonu	45
Şekil 5.3	Güneş santrali (2.3 kW)	45
Şekil 5.4	Sistemde kullanılan inverter.....	45
Şekil 5.5	Uygulamada kullanılacak yapay sinir ağı modeli.....	46
Şekil 5.6	Newff fonksiyonu parametreleri.....	50
Şekil 5.7	Test verilerinin sıralanması	54
Şekil 5.8	Sıcaklığın tahmin sonuçlarına etkisi	55

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Solarwatt AG M220-60 modülün katalog değerleri.....	9
Tablo 3.1 Ayları temsil eden gün değerleri	16
Tablo 5.1 Ham ve normalize edilmiş ışınlım, sıcaklık ve güç değerleri	51
Tablo 5.2 Eğitim ve test verileri.....	52
Tablo 5.3 YSA test verilerinin günlük hata oranları	55

SEMBOLLER LİSTESİ

G_{sc}	: Güneş sabiti
I_0	: Diyot saturasyon akımı
R_s	: Seri direnç
R_p	: Paralel direnç
A	: İdealite faktörü
I_{ph}	: Güneş ters sızıntı akımı
I_D	: Diyot akımı
I	: Fotovoltaik sistem çıkış akımı
V	: Fotovoltaik sistem çıkış gerilimi
V_t	: Termal jonksiyon
k	: Boltzman sabiti ($j/^{\circ}K$)
T	: Standart test koşullarındaki sıcaklık
q	: Elektron yükü (c)
G	: Metrekareye düşen güneş ışıınımı sabiti
G_n	: Güneş ışıınım şiddeti
T_n	: Solar sistemin sıcaklığı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
K_i	: Akımın sıcaklıkla değişim katsayısı
K_v	: Gerilimin sıcaklıkla değişim katsayısı
P	: Fotovoltaik sistem çıkış gücü
I_{mpp}	: Maksimum akım değeri
V_{mpp}	: Maksimum gerilim değeri
P_{mpp}	: Maksimum güç değeri
δ	: Denklinasyon açısı
n	: Ocaktan itibaren gün sayısı
$\emptyset$	: Enlem açısı
γ	: Yüzey azimut açısı
β	: Eğim açısı
ω	: Saat açısı
θ	: Güneş geliş açısı

α	: Güneş yükseklik açısı
θ_z	: Zenit açısı
G_0	: Atmosfer dışında birim yatay düzleme herhangi bir anda gelen ışıınım.
H_0	: Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışıınımı
ω_s	: Güneş batış saat açısı
I_0	: Atmosfer dışında yatay düzleme gelen belirli saat aralığındaki anlık güneş ışıınımı miktarı
$\overline{H}$	: Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışıınımı miktar
$\overline{H_c}$	: Bölgenin konumuna ve aya bağılı olarak havanın açık olduğı bir günde ortalama güneş ışıınımı miktarı
a', b'	: Ampirik sabitler
$\overline{n}$	: Aylık ortalama günlük güneşlenme süresi
$\overline{N}$	: Aylık ortalama gün uzunluğu
$\overline{n}/\overline{N}$	: İzaflı güneşlenme süresi
a, b	: Uygulamanın yapıldığı bölgeye bağılı sabitler
n/N	: İzaflı güneşlenme süresi
Z	: Konumun deniz seviyesinden yüksekliğı
H	: Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışıınımı
K_T	: Berraklık indeksi
k_T	: Berraklık indeksi
H_d	: Günlük yayılı ışıınım
r_t	: Yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışıınımının, yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışıınımına oranı
I	: Yatay düzleme belirli saat aralığında gelen anlık toplam güneş ışıınımı
I_d	: Yatay düzleme düşen anlık yayılı ışıınımın miktarı
R_b	: Geometrik faktör
I_{bT}	: Eğik yüzeye düşen anlık direkt ışıınım miktarı
I_b	: Yatay yüzeye düşen anlık direkt ışıınım miktarı
I_{dT}	: Eğik yüzeye gelen anlık yayılı ışıınım miktarı
I_T	: Eğik yüzeye düşen anlık toplam güneş ışıınımı miktarı
H_{bT}	: Eğik düzleme düşen günlük direkt ışıınım miktarı
H_b	: Yatay düzleme düşen günlük direkt ışıınım

$\bar{R}_b$	: Eğik düzleme düşen günlük direkt ışınımın, yatay düzleme düşen günlük direkt ışınımına oranı
ω'_s	: Hesaplama yapılan ayın ortalama gününde güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısı
x'	: Normalize edilmiş veri
x_i	: Girdi değeri
μ_i	: Girdi setinin ortalamasını
σ_i	: Girdi setinin standart sapması
$x_{\min}$	: Girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayı
$x_{\max}$	: Girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayı
α_i	: Girdi setinin medyanı
e	: Doğal logaritma değeri
W_s	: Rüzgâr hızı
T_a	: Ortam sıcaklığı
S	: Güneş ışınım şiddeti
T_p	: Panel yüzey sıcaklığı

KISALTMALAR LİSTESİ

PV	: Fotovoltaik sistem
GA	: Genetik algoritma
MPPT	: Maksimum güç noktası
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
YSA	: Yapay sinir ağı
Si	: Silisyum
GS	: Güneş saati
MLP	: Çok katmanlı yapay sinir ağı
BPN	: Geri yayılım ağı
YGZ	: Yerel güneş zamanı
UZ	: Ulusal zaman
SB	: Standart boylam
YB	: Yerel boylam
EDF	: Zaman düzeltme faktörü
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata
STC	: Standart test koşulları
GaAs	: Galyum Arsenit
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
a-Si	: Amorf Silisyum

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan ve insanlığın yaşam kaynağı güneşten elektrik elde edilmesi olayı Fransız fizikçi Edmond Becquerel'in 1839 yılında fotovoltaiik etkiyi bulmasıyla başlamıştır [1]. Bu etki silisyum gibi yarı iletken maddelerin fotovoltaiik özelliğı kullanarak güneş ışınlarının elektrolit ve içerisine daldırılmış elektrotlar üzerine düşmesi sonucu elektrik enerjisinin açığa çıkması prensibine dayanır. Bu buluşla beraber 1970'lerde hız kazanan ve çevre dostu bir teknoloji olan fotovoltaiik (PV) sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olarak enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji türü olmakla beraber çevreye zararlı gazlar vermeyen, sessiz çalışan, bakım gerektirmeyen bir enerji kaynağı olması açısından kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Doğal gaz, kömür, petrol gibi fosil yakıtlarının çevreye olumsuz etkileri, bu kaynakların zaman içinde azalması gibi sebeplerden ve artış gösteren nüfusla beraber enerji ihtiyacının karşılanması fotovoltaiik (PV) sistemlerin önem kazanmasına ve dünya genelinde pazar payının artmasına neden olmuştur.

Fotovoltaiik sistemler şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağılı (on-grid) sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerjinin tamamı güneşten karşılanarak akülerde depolanmakta ve gerektiğinde kullanılmaktadır. Bu sistemlere trafik lambaları, güneş arabaları, hesap makineleri, uydular örnek olarak verilebilir. Şebekeye bağılı sistemlerde ise fotovoltaiik sistemden elde edilen enerji direkt tüketime harcanmakta veya şebekeyi beslemektedir. Konutlar, fabrikalar, hastaneler, oteller, tarımsal sulama ve hayvancılık bu sistemlere örnek olarak verilebilir.

Şebekeye bağılı sistemlerden elde edilecek enerjinin önceden tahmin edilebilmesi enerji piyasasında önemli bir yer tutmaktadır. Elektrik üretimi ile tüketimi arasındaki dengenin sağlanabilmesi için elektrik üretiminin, elektrik tüketimine cevap verecek şekilde önceden planlanması gerekmektedir. Bu planlama yapılırken hem üretici tarafında hem de tüketici tarafında doğru bir projeksiyonun ortaya konması gerekmektedir. İleriye yönelik üretim ve tüketimin doğru olarak tahmin edilememesi maddi kayıplara neden olmakta ve bu kayıplar üretim ve tüketim yapan firmalar tarafından karşılanmaktadır.

Güneş enerji santrallerinde güneşten elde edilecek enerjinin ileriye yönelik doğru tahmin edilebilmesi için ışıınım, sıcaklık, rüzgâr hızı gibi sürekli değışebilen faktörlerin

ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında yukarıda verilen parametreler göz önünde bulundurularak güneş enerjisi santrallerinde üretilen enerji tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Literatürde tahmin yöntemleri alanında çeşitli konu ve araştırmalar mevcuttur. YSA (Yapay Sinir Ağları), Regresyon Analizi, Fuzzy Logic (Bulanık Mantık), GA (Genetik Algoritma) teknikleri bu araştırmalardan bazılarıdır. Regresyon analizi tekniğinin çok sayıda gözlemin mevcut olması durumunda gerçeğe yakın sonuçlar vereceği belirtilirken YSA tekniğinin daha az gözlem ile iyi sonuçlar edilebileceği vurgulanmıştır [2]. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda zaman serileri analizi, YSA, regresyon analizi teknikleri karşılaştırılmış; bu karşılaştırma sonucunda YSA'nın bir tahmin aracı olarak kullanılması durumunda oldukça iyi sonuçlar alınmıştır [3]. Bazı araştırmacılar tahmin yöntemlerinde YSA ile bulanık mantığı veya genetik algoritmayı birlikte kullanmışlardır [4-6].

Literatürde YSA kullanılarak “ortalama günlük ışıınım tahmini” hesabı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Çeşitli bölgelerde yapılan bu araştırmalarda farklı hata oranları ile YSA modelleri test edilmiştir [7-9]. Yapılan bu tez çalışmasında ise YSA kullanılarak ışıınım, sıcaklık, rüzgâr hızı gibi veriler ile fotovoltaiik sistemden şebekeye verilecek günlük enerji miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ölçüm istasyonundan alınan yatay yüzey ışıınımı, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı, yerel saat verileri sırasıyla panel yüzey ışıınımı, panel yüzey sıcaklığı ve güneş saati verilerine dönüştürülerek YSA'nın eğitime hazır hale getirilmiştir. Bu konularda yapılan araştırmalarda yeryüzünde yatay ve eğik yüzeylere gelen anlık ve günlük güneş ışıınımları hakkında hesaplamalar ve çıkarımlar yapılmıştır [10-11]. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak Elazığ bölgesine ait iklim verileri kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiş ve farklı verilerin aynı ağ üzerinde doğruluğu test edilmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Enerji talebinin karşılanması için hidrolik, nükleer, termik, rüzgâr, güneş enerjisi gibi değişik enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Hidrolik, nükleer, termik santrallerden elde edilecek enerji miktarları ayarlanabilmekte ve istenen enerji talebi buradan karşılanabilmektedir. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerji miktarı doğa şartlarına göre değişmektedir. Değişen doğa şartlarına göre üretilecek enerjinin bulunabilmesi için tahmin yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının

amacı kurulu olan meteorolojik ölçüm istasyonu verilerini kullanarak bir güneş enerji santralinin YSA yöntemiyle günlük enerji üretiminin tahmin edilmesi temeline dayanmaktadır.

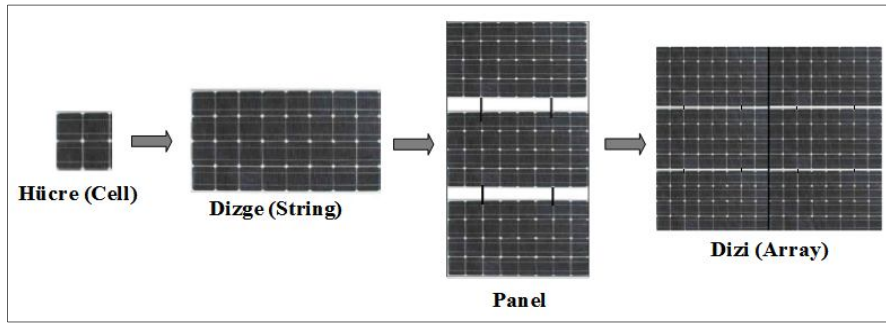
Yapılan bu çalışmada fotovoltaik sistemlerden elde edilecek enerjinin tahmini için Matlab yazılım ortamında güneş panellerinin enerji üretiminde etkili olan panel ve inverter parametreleri, ölçüm istasyonu verileri, panel açısı ve konumu gibi faktörler göz önünde bulundurularak YSA'nın eğitilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitilen ağlardan elde edilen sonuçların ölçüm istasyonundan elde edilen verilerle karşılaştırılması ile oluşturulan YSA'nın çıktıları doğrulanmıştır.

1.2. Tezin Yapısı

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde güneş enerjisinin tarihçesi ve gelişimi ile şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler hakkında genel bilgiler verilmiş ve tahmin yöntemleri üzerine yapılan literatür çalışmalarından bahsedilmiştir. Tezin ikinci bölümünde fotovoltaik hücreler ve bu hücrelerin çalışma prensiplerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde güneş ışınımının geometrik yorumları ve yeryüzündeki eğik yüzeyler için güneş ışınımı hesaplamaları verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde yapay sinir ağları hakkında genel bilgiler, yapay sinir ağı modelleri ve normalizasyon kuralları üzerinde durulmuştur. Beşinci bölüm uygulama ve test bölümüdür. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri olarak da adlandırılan fotovoltaik sistemlerin çalışma mantığı, güneşten gelen ışınların yarı iletken malzemelerin üzerinde oluşturduğu fotovoltaik etki sonucu elektrik enerjisinin açığa çıkması prensibine dayanır. Fotovoltaik sistemden açığa çıkan enerji miktarı pilin yapıldığı malzeme ile doğrudan ilişkilidir. Yarı iletken malzemenin yapısına göre güneş pilinin verimi %5 ile %20 arasında değişim göstermektedir. Sistemin en küçük biriminin hücre olduğu bu sistemlerde; hücrelerin birleşmesi ile dizge (string), dizgelerin birleşmesi ile paneller ve panellerin oluşturduğu yapıya da diziler (array) adı verilmektedir. Bu yapılar şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik birimler

2.1. Yapısına Göre Güneş Pilleri

Çoğu elektronik üründe olduğu gibi güneş pillerinin de yapısı yarı iletken maddelerden oluşmaktadır. Günümüzde güneş pili yapımında en yaygın kullanılan yarı iletken maddeler, silisyum (Si), kadmiyum tellür (CdTe), galyum arsenit (GaAs)’tir. Verimine ve maliyetine göre farklılıklar gösteren bu güneş pili yapıları, maliyetin azaltılması ve verimliliğin artırılması amacıyla halen araştırılmaktadırlar.

Bu bölümde güneş pili yapılarından kristal silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür, güneş pilleri türlerinden tek kristal silisyum, çok kristal silisyum, ince film güneş pili ve amorf silisyum hakkında bilgi verilecektir.

a) Kristal Silisyum

Kristal silisyum, solar hücrelerde en çok kullanılan yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Ekonomik ve teknolojik avantajlarından dolayı fotovoltaik özelliklere sahip

başka maddeler mevcut olmasına rağmen tercih edilmektedir [12].

b) Galyum Arsenit (GaAs)

Laboratuvar ortamında %25 ve %28 oranlarında verim elde edilen bu maddelerin diğer yarı iletken maddeler ile meydana getirdiği çok eklemli GaAs pillerde %30 oranında verim elde edilmiştir. Bu maddeler daha çok uzay uygulamalarında kullanılmaktadır [13].

c) Kadmiyum Tellür (CdTe)

Çok kristalli bir yapıya sahip olduğundan düşük maliyetle üretilen bu malzemeler güneş enerjisini soğurmada yüksek verime sahiptirler. Laboratuvar ortamındaki verimleri %16, enerji dönüşüm verimleri ise %7 civarındadır [13].

d) Tek Kristal Silisyum

Atomik yapısı homojen olan tek kristal silisyum güneş pillerinin güneş enerjisini soğurma verimleri %20 civarlarındadır. Üretimlerinin zor olması ve üretim aşamalarının zaman gerektirmesi gibi sebeplerden dolayı bu tip güneş pili fiyatları diğer güneş pili fiyatlarından yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğü zaman tek kristal güneş pilleri sağlamlık ve verim açısından daha çok tercih edilmektedir [13].

e) Çok Kristalli Silisyum

Çok kristalli silisyum güneş pilleri birçok tek kristalden meydana gelir ve atomik yapısı homojen değildir. Çok kristalli güneş pillerinin verimi yaklaşık %16'dır. Çok kristalli güneş pilleri verimlilikleri, tek kristal güneş pillerine göre düşüktür. Üretim maliyeti tek kristalli güneş pillerinden daha düşük olduğundan fiyatları da düşük ve en çok üretilen güneş pilleridir [13].

f) İnce Film Güneş Pilleri

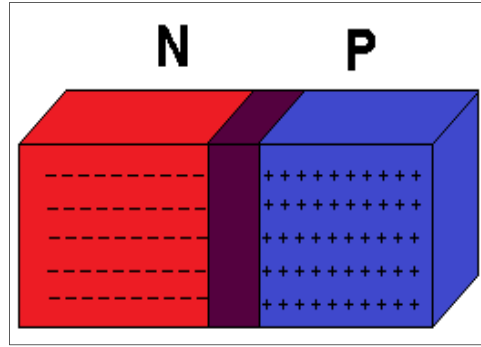
Güneş enerjisini soğurma katsayısı daha iyi olan amorf silisyum gibi maddeler kullanılarak tek kristalin 1/500'ü kalınlığında üretilen güneş pilleridir. Amorf yapılu güneş pillerinde daha az malzeme kullanımı ve bu pillerin montaj kolaylığı gibi sebepler amorf yapılu güneş pillerini diğer güneş pillerine karşı avantajlı kılmıştır [12].

g) Amorf Silisyum (a-Si)

Bu yarı iletken güneş pilleri, ince film güneş pili teknolojisiyle öne çıkmaktadır. Schottky bariyer yapısıyla ortaya çıkan a-Si güneş pillerinde daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. Bu yapıdaki pillerin fabrikasyonu, kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır ve bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır [12]. Laboratuvar koşullarında %13 verim sağlamasına rağmen ticari ürünlerinde verim %5-7 civarındadır [14].

2.2. Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi

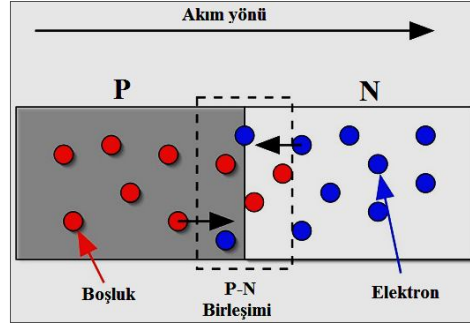
Güneş pillerinin çalışma mantığı güneş fotonlarının şekil 2.2’de gösterilen yarı iletken P-N tipi plakalar üzerindeki elektronların plakalar arası hareket ettirilmesiyle elektrik akımı oluşması prensibine dayanır.



Şekil 2.2. P-N tipi plakalar

Yarı iletken maddeler, N ya da P tipi malzemelerle katkılanması sonucu güneş pili olarak kullanılabilirler. Bu yapı saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak ilavesiyle N ya da P tipi olarak elde edilir [15].

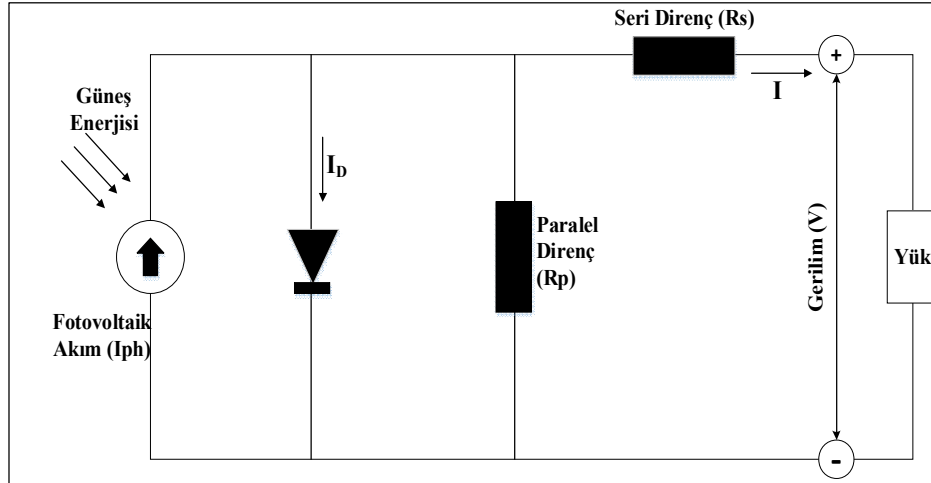
Valans ve iletkenlik bandından oluşan yarı iletkenlerin, güneş fotonlarını soğurmasıyla başlayan süreçte fotonlar, valans ve iletkenlik bantlarını ayıran yasak enerji aralığına eşit veya büyük bir enerjiye sahipse, sahip olduğu enerjiyle valans bandındaki elektronun iletkenlik bandına hareketini sağlar. Bu hareket sonucunda elektron-boşluk çifti oluşur. Bu olay güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise buradaki elektrik alanı tarafından elektron-boşluk çiftleri birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, boşlukları da P bölgesine iten bir pompa gibi çalışarak elektrik akımının üretilmesini sağlar [16]. Bu durum şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. P-N tipi diyot çalışma ilkesi

2.3. Güneş Pilinin Modellenmesi ve Karakteristiği

Büyük ölçekli PV ünitelerinin yaygın kullanımı, değişik çevre şartlarında enerji üretim miktarının tahmini için gerekli olan PV panel modellenmesindeki hassasiyeti gün yüzüne çıkarmıştır. Fotovoltaik paneller ile yapılan çalışmalarda farklı panel modelleri kullanılmış fakat daha çok tek diyot modeli üzerinde durulmuştur. Bunun sebebi modelin basit, anlaşılır ve doğru sonuçlar vermesidir. Dezso, Adamo, Wang, Villalva, Walker tek diyot modeli kullanan araştırmacılardan bazılarıdır [17-21]. Tek diyot modeli fotovoltaik akım (I_{ph}), diyot akımı (I_D), seri (R_s) ve paralel (R_p) direnç ve çıkış akımı (I)'ndan oluşmaktadır. Bu durum şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Güneş pili tek diyot modeli eşdeğer devresi

Güneş pilleri (PV), güneş ışınımının şiddetine bağlı olarak farklı büyüklüklerde fotovoltaik akım (I_{ph}) üretmektedir. Üretilen akım, PV uçlarında bir gerilim meydana getirmektedir. Oluşan gerilim, p-n eklemine ileri yönde uyardığından fotovoltaik akıma ters yönlü bir diyot akımı (I_D)'na neden olmaktadır [22].

Kirchoff akımlar kanununa göre PV hücrenin çıkış akımı (I), akım kaynağından elde edilen akımdan (I_{ph}), diyot akımı (I_D) ve paralel direnç akımının çıkarılmasıyla elde edilir. Tek diyotlu modelde ideal bir PV hücrenin çıkış akım-gerilim karakteristiği denklem 2.1’de verilmiştir [23].

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left(e^{\frac{V+I.R_s}{V_t.A}} - 1 \right) - \frac{V+I.R_s}{R_p} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de yer alan fotovoltaiik akım (I_{ph}) sıcaklık ve ışık şiddetine bağlı olarak değişirken, diyot saturasyon akımı (I_o) sadece sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Diyot saturasyon akımının üstel ifadeye göre çok küçük olduğu durumlarda denklemdeki ‘-1’ terimi ihmal edilir. Bu parametreler sırasıyla denklem 2.2 ve denklem 2.3’te verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.1’de verilen I ile V değişkenleri sırasıyla çıkış akım ve gerilimini temsil ederken V_t termal jonksiyon sabiti sıcaklığa bağlı bir parametre olup denklem 2.4 ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.4’te yer alan k boltzman sabiti ($1.38 \cdot 10^{-23}$ j/°K), q elektron yükü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ c) ve T standart test koşullarındaki (STC) sıcaklığı ifade etmektedir [23].

$$I_{ph} = \frac{G}{G_n} \cdot (I_{sc} + 0.5K_i \cdot (T - T_n)) \quad (2.2)$$

$$I_o = \frac{I_{sc} + 0.5K_i \cdot (T - T_n)}{e^{\frac{q \cdot (V_{oc} + K_p \cdot (T - T_n))}{A \cdot k \cdot T}} - 1} \quad (2.3)$$

$$V_t = \frac{k \cdot T}{q} \quad (2.4)$$

Denklem 2.1’de yer alan seri direnç (R_s), p ve n tipi katkılı malzemelerin arasındaki tampon bölgeden kutuplara iletilen akımın toplayıcı veri yolundaki kayıp enerjisini ifade etmektedir. Paralel direnç (R_p), yarı iletken yapıya paralel olarak bağlı bulunan yolda kaybolan kaçak akımı ifade etmektedir. Bu kayıp türü seri direnç kayıplarına oranla daha az olmakla beraber fotovoltaiik güneş pili hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla bu kayıplar daha belirgin olmaktadır [24].

Denklem 2.3'te geçen ve panel kataloglarında yer alan I_{sc} , V_{oc} , K_i ve K_v değerleri sırasıyla; I_{sc} , fotovoltaik sistemin kısa devre edildiği, yani gerilimin sıfır olduğu durumda üretilen maksimum akım (kısa devre akımı) değeridir. V_{oc} , fotovoltaik sistemin açık devre edildiği zamanki yani akımın sıfır olduğu anda ölçülen maksimum gerilim (açık devre gerilimi) değeridir. K_i , akımın sıcaklıkla değişim katsayısıdır. K_v gerilimin sıcaklık ile değişim katsayısıdır. Denklem 2.2'de yer alan G metrekareye düşen güneş ışınlamı sabiti, G_n sisteme düşen güneş ışınlamı şiddeti, T_n sistem sıcaklığı olarak ifade edilir. Bu parametre değerlerinden bazılarının yer aldığı örnek Solarwatt AG M220-60 modülü katalog değerleri tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Solarwatt AG M220-60 modülün katalog değerleri

• Standart Test Koşulları altındaki Elektriksel Performans (*STC)	
Maksimum Güç (P_{max})	230 W
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mpp})	29,1 V
Maksimum Güç Akımı (I_{mpp})	7,92 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	36,3 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,48 A
Gerilimin Sıcaklıkla Değişim Katsayısı (K_v)	-0,37%/K
Akımın Sıcaklıkla Değişim Katsayısı (K_i)	0,03%/K
*STC : 1000 w/m² ışınlam, Hava Yoğunluğu 1.5, Modül Sıcaklığı 25°C	
• 800 w/m² ışınlam, NOCT, Hava Yoğunluğu 1.5	
Maksimum Güç (P_{max})	166 W
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mpp})	26,4 V
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	33,6 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	6,82 W
NOCT (Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı) : 45°C	

Güneş pili karakteristiğine göre oluşturulan denklemler, doğrusal olmayan yani kapalı formda denklemler olduğundan denklemlerin çözümü için nümerik yöntemler kullanılmalıdır. Newton Rapsion yöntemi bu denklemlerin çözümü için uygun bir nümerik yöntemdir [25]. Kullanılan bu yöntem ile bir PV hücresi için I-V ve P-V karakteristikleri grafik olarak ilerleyen konularda ayrı ayrı çizdirilmiştir.

PV panellerin modellenenilmesi için panel kataloğunda yer almayan ancak hesaplamalarda gerekli olan bazı parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere panel katalog bilgileri arasında yer almayan I_o , I_{ph} , R_s , R_p ve A değerlerinin bulunması için pek çok yöntem kullanılmıştır. Örneğin Walker ve Matagne çalışmalarında idealite faktörü (A)'nü hesaplama yoluna gidip R_p 'yi ihmal etmişlerdir [21, 26].

Glass ve Kajihara da çalışmalarında R_s 'yi ihmal etmişlerdir [27-28]. Diğer taraftan Khouzam çalışmasında R_p 'yi ihmal edip interpolasyon kullanarak hesaplamalar yapmıştır [29]. Bu yöntem çok fazla hesap ve çaba gerektirdiğinden ayrıca düşük doğrulukta sonuçlar vermesinden dolayı iyi bir yöntem sayılmaz. Villalva paralel ve seri dirençlerin alabileceği minimum ve maksimum değerlerden hareketle belirli aralıklarla değişen (iteratif) R_s ve R_p değerlerine göre idealite faktörünün bilindiği varsayılarak maksimum güce karşılık gelen R_s ve R_p 'yi hesaplamıştır [20]. Bunların yanı sıra Elshatter ve Elhagry bulanık mantık kullanarak panel parametrelerini hesaplama yoluna gitmiştir [30]. Fakat bu hesaplama çok fazla işlem gerektirmiş ve sonuçlar beklenildiğinden düşük çıkmıştır. Ayrıca Daniel ve Mekki, fotovoltaik paneli yapay sinir ağları kullanarak modellemiştir. Fakat iyi sonuçlar elde etmek için daha çok veri seti ile ağı eğitilmesi gerekliliği ortaya konmuştur [31-32].

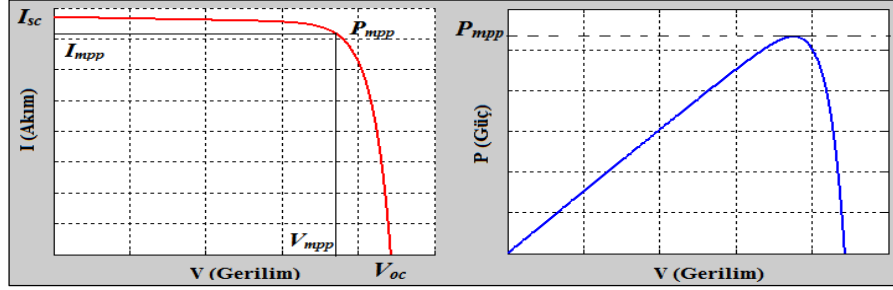
Yukarıdaki çalışmalarda görüldüğü üzere çok farklı çözüm yolları denenmiştir. Fakat diyot olarak tek diyot modeli ve hesaplama yönetimi olarak da fotovoltaik panelin matematiksel modelini kullanmanın ve parametre ihmallerinden kaçınmanın daha avantajlı olduğu görülmüştür.

2.3.1. Güneş Pili Hücresinin I-V ve P-V Karakteristiği

Güneş pili I-V ve P-V karakteristiklerine geçmeden önce PV sistemin karakteristiklerinde önemli yer tutan maksimum akım noktası, maksimum gerilim noktası, maksimum güç noktası kavramlarını açıklayalım. Maksimum akım noktası (I_{mpp}), maksimum gücün elde edilebileceği akım değeridir. Maksimum gerilim noktası (V_{mpp}), maksimum gücün elde edilebileceği gerilim değeridir. Maksimum güç noktası (P_{mpp}), akım ve gerilim değerleri çarpımlarının en yüksek olduğu güç değeridir.

Bir güneş pilinin I-V ve P-V karakteristiği şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekildeki I-V eğrisi incelendiğinde devreden geçen akım değeri (I) belli bir gerilim değerinden sonra hızla azalmaya başlamakta ve açık devre geriliminde ise bu değer sıfır olmaktadır. Bu durumun sebebi, güneş pili denetleyici diyotundan geçen akım değeri, gerilimin artmasıyla beraber artmakta ve belli bir gerilim değerinden sonra hızla artarak yüksek değerlere ulaşmaktadır. Açık devre geriliminde ise oluşan akımın tamamı denetleyici diyot ve paralel direnç üzerinden geçmektedir. Şekildeki P-V eğrisini inceleyecek olursak; akım ve gerilim değerlerinin çarpılmasıyla güç değerleri elde edilmekte ve elde edilecek maksimum güç

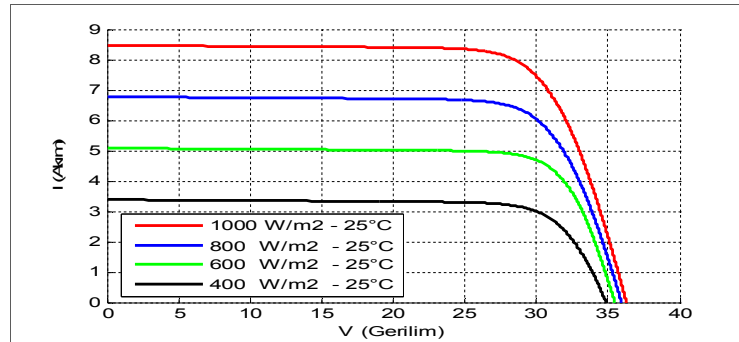
değeri (P_{mpp}), akım ve gerilim değerlerinin çarpımlarının en yüksek olduğu akım (I_{mpp}) ve gerilim (V_{mpp}) değerlerinde gerçekleşmektedir [33].



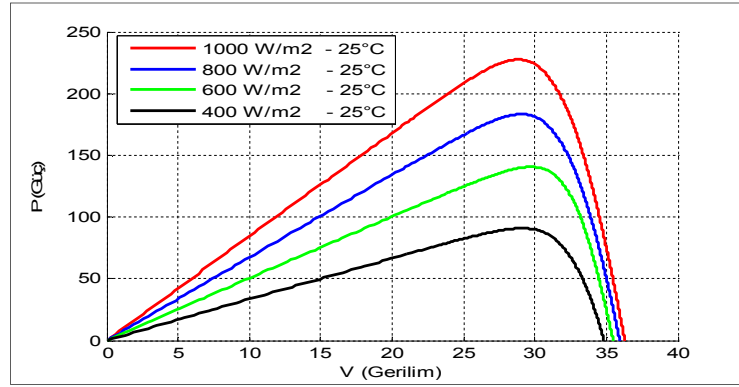
Şekil 2.5. Fotovoltaik I-V ve P-V karakteristiği

2.3.2 Işınım ve Sıcaklığın I-V ve P-V Karakteristiklerine Etkisi

Işınım şiddeti, güneş pillerinin I-V / P-V karakteristikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu tez çalışmasında Matlab ortamında geliştirilen bir yazılım ile tablo 2.1’de elektriksel özellikleri verilen Solarwatt AG M220-60 modülün I-V ve P-V eğrilerinin farklı ışınımlardaki değişimleri sırasıyla şekil 2.6 ve şekil 2.7’de çizdirilmiştir. Bu eğrilerin çizdirilebilmesi için kullanılan beş parametrelili ve kapalı formdaki fotovoltaik tek diyot hücre modeli denklem 2.1’de verilmiş olup, denklemin çözümünde panel denklemlerinin yapısına uygunluğu, basit yapısı ve sonuca hızlı yakınsamasından dolayı nümerik yöntemlerden Newton-Raphson kullanılmış ve buradan da panel modellerine geçilmiştir. Grafikler incelendiğinde güneş pilinin ürettiği maksimum gücün ve kısa devre akımının güneş ışınım şiddetinden doğrudan etkilendiği görülmektedir. Açık devre geriliminin ise kısa devre akımına oranla daha düşük bir oranda değiştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak güneş ışınım şiddetinin fotovoltaik sistemlerin performansında önemli bir faktör olduğu görülmektedir [22].

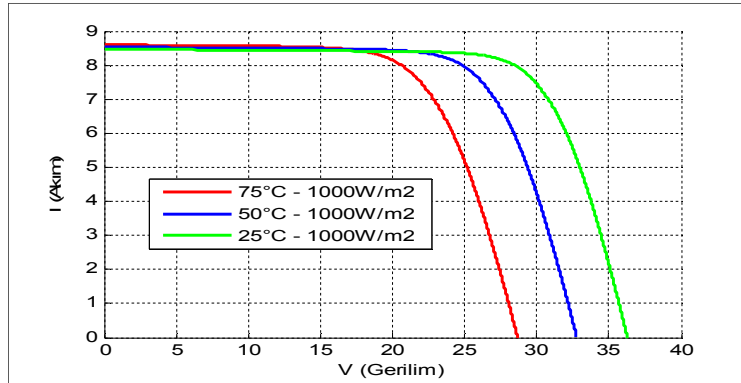


Şekil 2.6. Solarwatt AG M220-60 modülün I-V karakteristiğinin ışınım ile değişimi

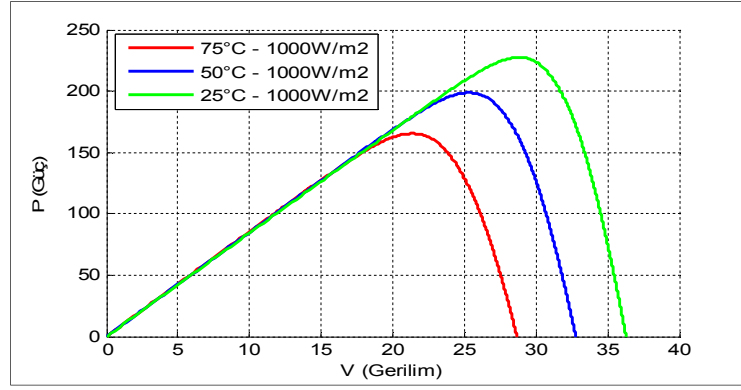


Şekil 2.7. Solarwatt AG M220-60 modülün P-V karakteristiğinin ışınlam ile değişimi

Güneş pillerinde ışınlam şiddetinin yanında sıcaklıkta önemli bir faktördür. Sabit bir sıcaklık değerinde, güneş pilinin kısa devre akımı ışınlamla doğru orantılı olarak değişmektedir. Aynı şekilde sabit bir ışınlam altında, sıcaklık artışı kısa devre akımının artması yönünde bir etkiye bulunsu da açık devre geriliminin azalmasına neden olmakta ve bu azalma kısa devre akımının artışından fazla olmaktadır. Bu durumun sebebi, sıcaklıkta meydana gelen değişimin saturasyon akımını (I_o) üstel olarak etkilemesidir. Sıcaklığın PV'ye olan etkisi, Matlab yazılımıyla oluşturulan benzetim sayesinde Solarwatt AG M220-60 modülün akım, gerilim ve güç değerlerinin sıcaklıkla değişimi sırasıyla şekil 2.8 ve şekil 2.9'da gösterilmiştir [22].



Şekil 2.8. Solarwatt AG M220-60 modülün I-V karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi



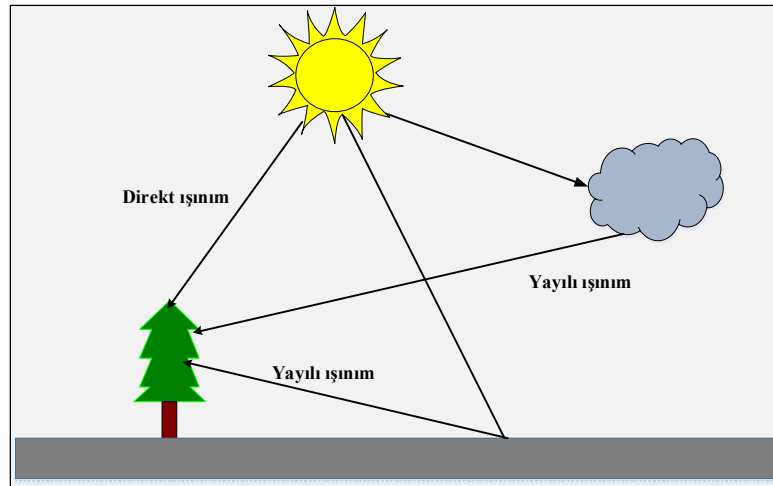
Şekil 2.9. Solarwatt AG M220-60 modülün P-V karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi

3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE IŞINIM HESAPLAMALARI

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen bir dizi reaksiyon sonucu hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle açığa çıkan enerjidir. Güneşten dünyaya yaklaşık 8 dakikada ulaşan bu enerji, çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşur. Bu ışınların dalga boyları mor ötesinden kızılötesine kadar değişim göstermektedir. Bu ışınların dağılımına bakıldığında; bunların % 9'u mor ötesi bölgede, % 45'i görünür ışık bölgesinde ve geri kalan % 46'sı ise kızılötesi bölgede yer almaktadır [34]. Yapılan hesaplamalar sonucu atmosfer dışında güneş ışınlarına dik 1 m² alana bir saniyede düşen güneş enerjisi miktarı 1367 W/m²'dir. Yıl boyunca değişmediği varsayılan bu değer Güneş Sabiti (G_{sc}) olarak kabul edilir. Bu sabitin yeryüzündeki değeri atmosfere, iklimlere, coğrafyaya, hava kirliliğine bağlı olarak 5-1100 W/m² arasında değişim göstermektedir [10].

3.1. Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımını direkt güneş ışınımı (beam radiation) ve yayılı güneş ışınımı (diffuse radiation) olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bu durum şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu kavramlar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.1. Direkt ve yayılı ışınım

a) Direkt Güneş Işınımı

Atmosferden yeryüzüne hiçbir engelle karşılaşmadan gelen ışınımdır. Yeryüzüne ulaşan toplam ışınımın büyük bir kısmını oluşturur. Açık havada bu ışınım değeri yaklaşık olarak

1035 W/m² civarlarındadır. Direkt ışıının değeri pirheliometre ile ölçölmektedir.

b) Yayılı veya Difüz Işıının

Literatürde “sky radiation” olarak da geçen yayılı ışıının, atmosferde toz, bulut ve cisimlerden yansımaya uğrayarak farklı yönlerde dağılım gösteren güneş ışıınıdır. Güneş dışında her yönden gelen bu ışıının ölçümü gölgelendirilmiş piranometre ile yapılmaktadır. Sistemde kullanılan gölge topu sayesinde direkt ışıının engellenerek sadece yayılı ışıının ölçölmesi sağlanmaktadır.

c) Toplam Güneş Işıını

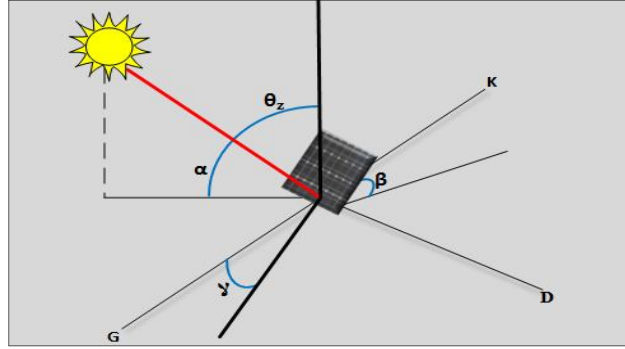
Güneş ışıınının hava küre ile etkileşimleri sonucunda, yeryüzüne gelen toplam güneş ışıını şiddeti bir takım enerji kayıpları yaşamaktadır. Bu enerji kayıpları güneş ışıınının havada aldıkları yola bağlı olarak değışmektedir. Örnek olarak sabah saatlerinde eğik gelen güneş ışııları, öğle saatlerinde dik gelenlere kıyasla daha uzun yol alacakları için, bu ışıılardaki kayıplar daha fazla olacaktır [34]. Yeryüzüne ulaşan toplam ışıının miktarı, yayılı ve direkt ışıınılardan oluşmakta ve piranometre aracılığıyla tespit edilmektedir.

Yeryüzüne ulaşan güneş ışıınıından fotovoltaik sistemler aracılığıyla en iyi şekilde faydalanabilmek için bazı durumların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar panelin yatayla yaptığı açı, panelin yönü ve panelin coğrafik konumudur. Fotovoltaik sistemler, bulunduğu yerin coğrafik konumuna göre yatayla belirli bir eğim yapacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Güneş geliş açısı mevsimlere ve zamana bağlı olarak değıştiğinden, bunun sonucunda güneşlenme miktarı da değışir. Bu durumda panel, güneşin hareketinden maksimum seviyede ışıık alacak şekilde ayarlanıp, mevsimlere göre optimum bir eğim açısında yerleştirilmelidir. Örneğın Elazığ ili temmuz ayı optimum panel açısı 17°.57 derecedir [35].

3.2. Güneş Açıları

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın herhangi bir zaman dilimi içerisinde güneş ışıını ile arasındaki açısal ilişkiler, güneşin yörüngedeki konumu, eksen eğikliği ve noktanın koordinatları gibi faktörler göz önünde bulundurularak formüle edilmiştir. Böylelikle güneş ışıını hesaplamaları daha sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu açılar: Denklinasyon açısı (δ), Enlem açısı (ϕ), Yüzey azimut açısı (γ), Eğim açısı (β), Saat açısı (ω), Güneş geliş açısı (θ), Zenit açısı (θ_z) ve Yükseklik açısı (α)’dır. Fotovoltaik

sistemlerde güneş ışınlam miktarlarının aylara, günlere ve saatlere göre hesaplanabilmesi için bu açıların ve bazı hesaplamaların bilinmesi gerekmektedir. Bu açı ve hesaplamalar aşağıda detaylı olarak verilmiş olup şekil 3.2’de bazı açılar gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş açıları

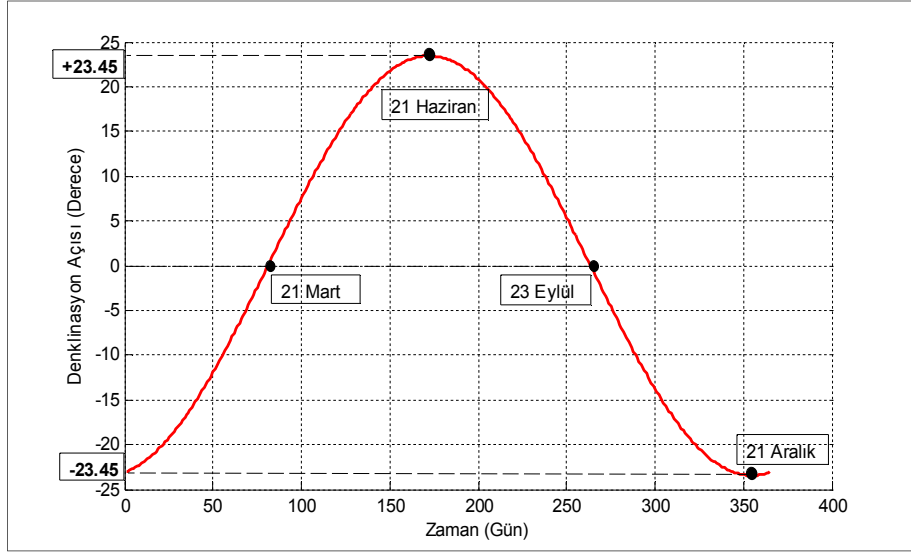
a) Denklinasyon Açısı (δ)

Sapma açısı olarak da adlandırılan denklinasyon açısı dünyanın $23^{\circ}27'$ lık eksen eğikliğinden kaynaklanan, yeryüzüne gelen güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Denklinasyon açısı $-23,45^{\circ}$ ile $+23,45^{\circ}$ arasında değişim göstermektedir. Ekinoks tarihleri (21 Mart, 23 Eylül)’inde denklinasyon açısı sıfır, 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerinde ise $\pm 23^{\circ},45'$ ’dir. Matlab ortamında geliştirilen bir yazılım ile denklinasyon açısının yıl içerisindeki değişimi şekil 3.3’te gösterilmiştir. Dünyanın her yerinde aynı gün için bu değer aynı olmaktadır. “n” değeri ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere belirlenen gün tablo 3.1’de hangi aya ait ise o ayın “i” değeri yerine yazılarak bulunur. Denklinasyon değeri deneye dayalı Cooper formülü ile denklem 3.1’deki eşitlik ile hesaplanır [10-11,34].

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[360 \cdot ((284+n)/365)] \quad (3.1)$$

Tablo 3.1. Ayları temsil eden gün değerleri

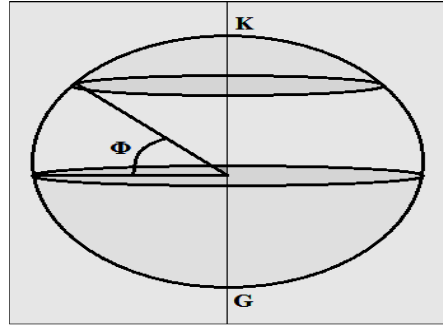
Ocak	i	Mayıs	i + 120	Eylül	i + 243
Şubat	i + 31	Haziran	i + 151	Ekim	i + 273
Mart	i + 59	Temmuz	i + 181	Kasım	i + 304
Nisan	i + 90	Ağustos	i + 212	Aralık	i + 334



Şekil 3.3. Denklinasyon açısının yıl içerisindeki değişim grafiği

b) Enlem Açısı (ϕ)

Kuzey yarım kürede pozitif (+) güney yarım kürede negatif (-) olmak üzere yeryüzündeki herhangi bir noktanın ekvator ile arasındaki açısal mesafe olarak kabul edilir. Enlem açısı $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ arasında değişim göstermektedir. Örneğin Türkiye $36-42^\circ$ enlemleri arasındadır. Bu çalışmada temel alınan enlem değeri Elazığ ilinin enlem değeri olup bu değer $38^\circ.6'$ 'dir. Enlem açısı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

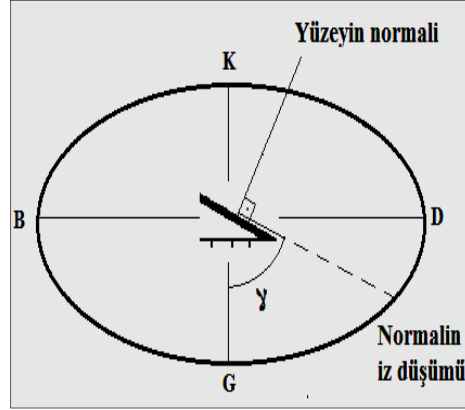


Şekil 3.4. Enlem açısı

c) Yüzey Azimut Açısı (γ)

Yüzey normalinin yatay düzlemdeki iz düşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. Doğuya yönelen yüzeylerde artı (+), batıya yönelen yüzeylerde (-) olmak üzere tam güneyde sıfırdır. $-180^\circ \leq (\gamma) \leq 180^\circ$ arasında değişim göstermektedir [10]. Bu değişim fotovoltaik sistemin bulunduğu yarım küreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu açı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

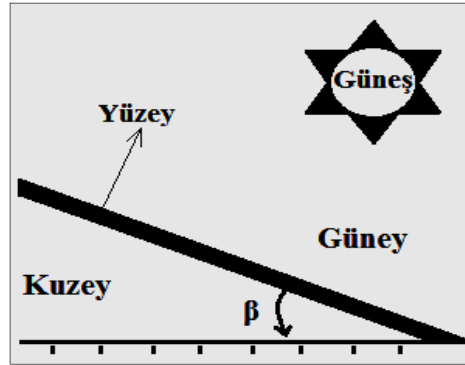
Güney yarım kürede kurulan sistemin yüzey azimut açısının (γ) 180° , kuzey yarım kürede kurulu sistem için bu değerin 0° olması güneşten daha fazla faydalanabilmek için uygun değerlerdir.



Şekil 3.5. Yüzey azimut açısı

d) Eğim Açısı (β)

Yüzeyin yatay ile yaptığı açıdır. $0 \leq (\beta) \leq 180$ arasında değişim göstermektedir. Eğim açısı şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu çalışmada kullandığımız panelin eğim açısı 23° olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.6. Eğim açısı

e) Güneş Doğuş ve Batış Saati

Güneş doğuş ve batış saatinin bulunabilmesi için güneş batış açısının (ω_s) bilinmesi gerekmektedir. Bu açı öğleden sonraki batış açısı değeridir. Bu açıyı veren eşitlik denklem 3.2'de verilmiştir.

$$\cos(\omega_s) = (-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (3.2)$$

Güneş batış açısının denklem 3.3'te yerine koyulması ile güneş batış saati, güneş batış saatinin denklem 3.4'te yerine koyulmasıyla da güneş doğuş saati bulunmaktadır.

$$Gbs = (\omega_s + 15 \cdot 12) / 15 \quad (\text{saat}) \quad (3.3)$$

$$Gds = 24 - Gbs \quad (\text{saat}) \quad (3.4)$$

Örnek: Elazığ ilinin 9 Ağustos tarihindeki gün doğumu ve gün batımı saatlerini hesaplayalım. Bu saatlerin hesaplanabilmesi için öncelikle güneş batış açısının bilinmesi gerekmektedir. Güneş batış açısı denklem 3.2'de görüldüğü gibi iki parametre içermektedir. İlk parametre enlem (ϕ) değeridir. Bu değer Elazığ ilinin $38^\circ 6'$ kuzey enlemidir. İkinci parametre 9 Ağustos tarihindeki denklinasyon (δ) açısıdır. Aynı tarihte her yerde aynı olan bu açı denklem 3.1 ile hesaplanarak $15^\circ 67'$ olarak bulunmuştur. Enlem ve denklinasyon değerleri denklem 3.2'de yerlerine konulduğunda;

$$\text{Güneş batış açısı} = \omega_s = \cos^{-1}(-\tan(38.6) \cdot \tan(15.67)) = 102^\circ.93'$$

ω_s değeri denklem 3.3'te yerine konulduğunda;

$$\text{Güneş batış saati} = Gbs = (102.93 + 15 \cdot 12) / 15 = 18.86 \text{ saat} = 18:52 \text{ saat-dk.}$$

Hesapladığımız Gbs değeri denklem 3.4'te yerine konulduğunda;

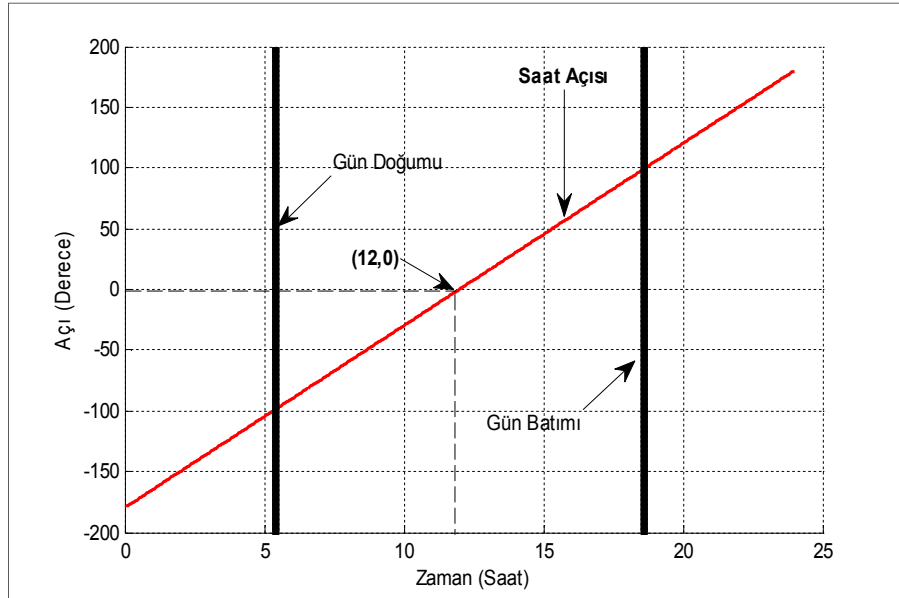
$$\text{Güneş doğuş saati} = Gds = 24 - 18.86 = 5.13 \text{ saat} = 5:08 \text{ saat-dk.}$$

f) Saat Açısı (ω)

Dünyanın kendi eksenini etrafında saatte 15° dönmesi nedeniyle yerel meridyenin doğusu veya batısı yönünde güneşin açısal yer değiştirmesi olarak kabul edilir [10]. Güneşin tam tepede olduğu saat 12'de bu değer 0° 'dir. Saat açısı formülü denklem 3.5'te gösterilmiştir. Formülde verilen (GS) güneş saatidir. Işınım hesaplamalarında kullanılan saat güneş saatidir. Bu yüzden çalışmamızda ölçüm istasyonundan alınan verilerdeki saat ulusal saat olduğundan güneş saatine çevrilmesi gerekmektedir.

$$\omega = (GS-12) \quad (3.5)$$

Bu tez çalışması kapsamında Matlab ortamında geliştirilen bir yazılım ile dünya üzerinde herhangi bir bölgenin istenilen tarihteki saat açısı grafiksel olarak çizdirilebilmektedir. Örnek olarak şekil 3.7’de Elazığ ilinin 20 Nisan tarihindeki gün doğumu ve gün batımı arasındaki saat açısı değişimi verilmiştir. Saat açısı, saat 12.00’da 0° olmaktadır. Grafikte gösterilen gün doğumu ve gün batımı saatleri ise enleme göre değişmektedir. Aynı enlemdeki bölgelerin gün doğumu ve gün batımı saatleri aynı olmaktadır.



Şekil 3.7. Elazığ ili 20 Nisan tarihindeki günlük saat açısı değişimi

g) Güneş Geliş Açısı (θ)

Şekil 3.8’de gösterildiği gibi eğik yüzeyin normali ile yüzeye gelen güneş ışınımı arasındaki açıdır. Bu açı denklem 3.6’daki eşitlik ile hesaplanır [11].

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & [\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega)] \end{aligned} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’da verilen açılar;

γ = Yüzey azimut açısı

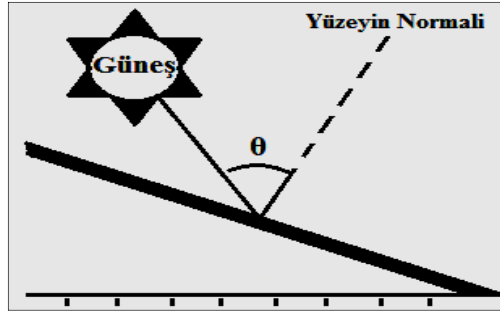
δ = Denklinasyon açısı

ϕ = Enlem açısı

β = Eğim açısı

ω = Saat açısı

θ = Güneş geliş açısı

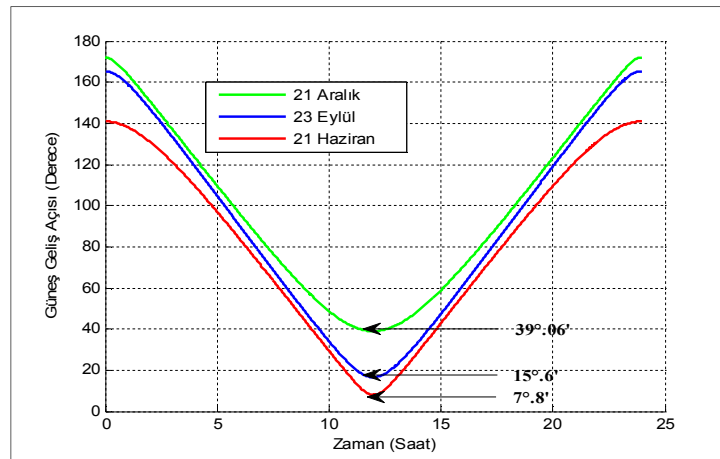


Şekil 3.8. Güneş geliş açısı

Denklem 3.6’da verilen eşitliğin güneşe bakan eğik yüzey için ($\gamma=0^\circ$) sadeleşmiş hali denklem 3.7’de verilmiştir. Kuzeye bakan eğik yüzeyler için ($\gamma=180^\circ$) ise denklemde yer alan $\sin(\phi-\beta)$ ifadesi $\sin(\phi+\beta)$ olarak değiştirilir [11].

$$\cos(\theta) = \cos(\phi-\beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi-\beta) \cdot \sin(\delta) \quad (3.7)$$

Güneş geliş açısının bilinmesi güneş enerjisi uygulamalarında güneşten daha iyi faydalanabilmemiz açısından önemlidir. Mevsimlerle birlikte değişen güneş açılarına göre yüzey eğim açısı optimum duruma getirilmelidir. Elazığ iline ait 23° açı ile güneşe konumlandırılmış yüzeyin 21 Aralık, 23 Eylül ve 21 Haziran tarihlerindeki güneş geliş açıları ve bu açıların değişim grafiği Matlab’ta geliştirilen yazılım ile şekil 3.9’da verilmiştir. Şekildeki açı değerlerine dikkat edilirse 21 Haziran tarihinde güneş geliş açısı en düşük, 21 Aralık tarihinde ise güneş güney yarım kürede olduğundan bu açı en büyüktür. 21 Haziran, güneş ışınlarının yıl içerisinde Elazığ iline en dik düştüğü tarih iken 21 Aralıkta ise bu durum tam tersidir.

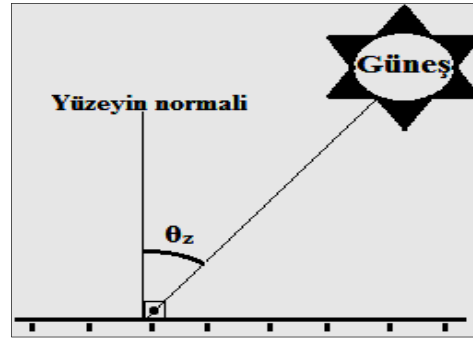


Şekil 3.9. Elazığ ilinde 23° açı ile konumlandırılmış yüzeye gelen güneş geliş açıları

h) Zenit Açısı (θ_z)

Yatay yüzeye gelen güneş ışını ile yatayın normali arasındaki açıdır. Bu durum şekil 3.10’da gösterilmiştir. Bu açı güneş ışınlarının dik geldiği durumda sıfırdır. Güneşin doğuşu ve batışı esnasında bu açı 90° ’dir. Bu açı denklem 3.8’deki eşitlik ile hesaplanır. Denklemde verilen α , “yükseklik açısı” olarak ifade edilir.

$$\theta_z = 90 - \alpha \quad (3.8)$$

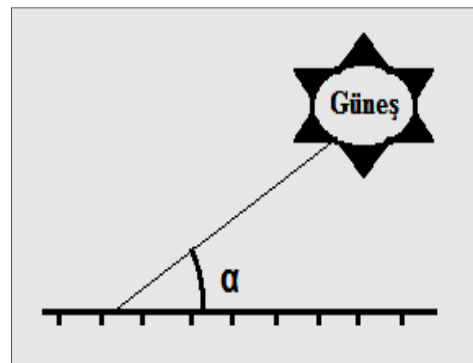


Şekil 3.10. Zenit açısı

i) Yükseklik Açısı (α)

Şekil 3.11’de gösterildiği gibi güneş yükseklik açısı (α), doğrudan güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Yükseklik açısı en yüksek değerini, bütün mevsimlerde saat 12’de alır. Bu açı denklem 3.9’daki eşitlik ile hesaplanır [34].

$$\alpha = \sin^{-1}(\cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega) + \sin(\delta) \cdot \sin(\phi)) \quad (3.9)$$



Şekil 3.11. Yükseklik açısı

3.3. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzünde birim yatay düzleme gelen güneş ışınımı ölçüm cihazlarıyla tespit edilebilirken atmosfer dışında birim yatay düzleme gelen güneş ışınımı, denklem 3.10'da verilen matematiksel ifadeyle hesaplanır. “ G_{sc} ” güneş sabitini, “ n ” yılın kaçınıcı günü olduğunu ifade etmektedir [11].

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da verilen eşitlik ile günlük güneş ışınımı miktarı da hesaplanabilir. Bunun için denklem 3.10'da verilen eşitliğin gün doğumundan gün batımına kadar integrasyonu ile atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı (H_o) bulunabilir. Güneş sabiti G_{sc} 'nin birimi, metrekareye düşen güç (W/m²) iken H_o 'ın birimi metrekareye düşen enerji (J/m²)'dir. Birim çevrimiyle beraber H_o , denklem 3.11'de verilen eşitlik ile hesaplanır. Denklemde geçen ω_s , enlem ve denklinasyon açılarına bağlı güneş batış saat açısıdır. Bu açı denklem 3.12'de verilen eşitlik ile hesaplanır [11].

$$H_o = \frac{24.3600G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (3.11)$$

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \cdot \tan \delta \quad (3.12)$$

Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımının yanında belli bir zaman aralığı içinde ışınım hesaplamaları yapılabilir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için belirlenen saatlerin saat açılarının (ω_1 ve ω_2) bilinmesi gerekir. Bunun için denklem 3.13'teki eşitlik kullanılır. Denklemde yer alan GS güneş saatini ifade etmektedir. Belirlenen saatlerin saat açılarının hesaplanmasıyla denklem 3.11'in bu saat açıları arasında integrasyonundan elde edilen bir saatlik periyot içerisindeki güneş ışınımını veren eşitlik denklem 3.14'te verilmiştir. Denklemdeki ω_2 , büyük olan saat açısıdır [11].

$$\omega = 15 \times (GS - 12) \quad (3.13)$$

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (3.14)$$

3.4. Yeryüzüne Ulaşan Güneş Işınımının Hesabı

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı hesaplamalarında ölçüm istasyonu ile elde edilen verilerin yanında bu verilerin ölçülemediği bölgelerde ampirik (deneye dayalı) ifadeler kullanılarak güneş ışınımı hesaplamaları yapılabilir. Ölçüm istasyonundan elde edilen güneş ışınımı verilerinden yola çıkarak bir dizi analiz ve hesaplamalar sonucu ortaya çıkan ampirik ifadelerle ışınım miktarları hesaplanabilir. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı miktarı, coğrafik, iklimsel ve dünya ile güneş arasındaki uzaklık gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Bu bölümün alt başlıklarında yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı hesabında kullanılan bağıntılardan bahsedilecektir [10].

3.4.1 Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı

Yatay düzleme düşen güneş ışınımı hesabı günlük ve anlık ışınım olarak ikiye ayrılır. Günlük ışınım hesabı, güneşin doğuş saatinden batış saatine kadar geçen süre içerisindeki güneş ışınımı miktarını ifade ederken anlık ışınım hesabı ise günün herhangi bir anında ölçülen ışınım miktarını ifade etmektedir.

a) Günlük Işınım Hesabı

Orijinal Angström tipi regresyonda belirli bir bölgenin yatay düzlemine gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımının havanın açık olduğu bir günde yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımına oranı veren izafi güneşlenme süresine bağlı eşitlik denklem 3.15'te verilmiştir [11].

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_c}} = a' + b' \frac{\overline{n}}{\overline{N}} \quad (3.15)$$

Burada,

$\overline{H}$ = Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımı miktarı

$\overline{H_c}$ = Uygulama bölgesinin konumuna ve aya bağlı olarak havanın açık olduğu bir günde ortalama güneş ışınımı miktarı

a' , b' = Ampirik sabitler

$\overline{n}$ = Aylık ortalama günlük güneşlenme süresi

$\overline{N}$ = Aylık ortalama gün uzunluğu

$\frac{\overline{n}}{\overline{N}}$ = İzafi güneşlenme süresi olarak açıklanabilir.

$\overline{H_c}$ değerinin tespiti zor olmasından dolayı bu değer yerine atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınımını kullanmak suretiyle denklem 3.15 değiştirilerek Page tarafından 1964 yılında verilen ifade denklem 3.16'da verilmiştir [11].

$$\frac{H}{H_o} = \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (3.16)$$

Burada,

H_o = Aynı bölgede aylık ortalama atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı

a, b = Bölgeye bağlı sabitler

$\frac{n}{N}$ = İzafi güneşlenme süresi olarak ifade edilebilir.

Denklem 3.16'da verilen a ve b katsayıları güneş ışınımı ve izafi güneşlenme süresi ölçümlerine bağlı olarak istatistiksel metotlar ile tespit edilmekte ve bu katsayıların alacağı değerler konuma bağlı olarak değişmektedir. Türkiye için bu değerler enlem açısı ($\emptyset$), deklinasyon açısı (δ) ve konumun deniz seviyesinden yüksekliğine (Z) bağlı olarak denklem 3.17 ve denklem 3.18'de verilmiştir [10].

$$a = 0.103 + 0.00017Z + 0.198\cos(\emptyset - \delta) \quad (3.17)$$

$$b = 0.533 - 0.165\cos(\emptyset - \delta) \quad (3.18)$$

Yeryüzünde yatay düzleme düşen günlük toplam güneş ışınımının direkt ve yayılı kısımlarının tespiti de ışınım hesaplamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Direkt ve yayılı ışınım değerleri genellikle berraklık indeksi (clearness index)'ne bağlı olarak hesaplanır. Günlük berraklık indeksi K_T , yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımının (H) atmosfer dışına düşen günlük toplam güneş ışınımına (H_o) oranı şeklinde hesaplanır. Berraklık indeksi için kullanılan eşitlik denklem 3.19'da verilmiştir [10].

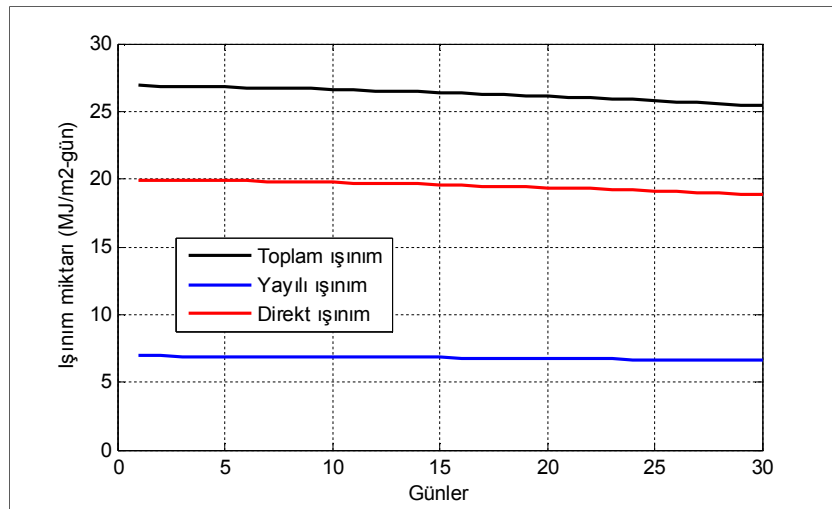
$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (3.19)$$

Bu eşitlikte yatay yüzeye düşen günlük güneş ışıını (H) piranometre (pyranometer) vasıtasıyla ölçülebilir. Atmosfer dışına düşen günlük güneş ışıını (H_o) ise denklem 3.11'deki eşitlik ile hesaplanabilir [10].

Elde edilen günlük ışıını verileri, günlük yayılı ışıının (H_d), günlük toplam ışıına (H) oranının berraklık indeksine bağı olduğunu göstermiştir [10]. Bu konuda Tübitak-M.A.M. tarafından 1984-1992 yılları arasında Gebze'de yapılan ölçümlere bağı olarak Tırıs (1997) tarafından çıkarılan eşitlik denklem 3.20'de verilmiştir.

$$\frac{H_d}{H} = 0.703 - 0.414K_T \quad (3.20)$$

Denklem 3.11-3.20'deki eşitlikler ile Matlab yazılım ortamında Elazığ ilinin temmuz ayına ait günlük yayılı, direkt ve toplam ışıını değerleri hesaplanıp bu değerlerin aylık değişimi şekil 3.12'de gösterilmiştir. Şekildeki grafikler incelendiğinde yayılı ışıını ile direkt ışıını değerleri toplamının toplam ışıını miktarına eşit olduğu görülmektedir. Direkt ışıını miktarının yayılı ışıını miktarından fazla olmasının sebebi temmuz ayında açık gün (bulutsuz) sayısının fazla olmasıdır. Çünkü açık günlerde güneş ışıınlarının yansıma ve çarpmadan dolayı oluşacak yayılı ışıını miktarı azdır. Yine grafikte görüldüğü gibi ay sonuna doğru ışıını miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise gün uzunluğunun kısılması ve güneşin geliş açısının giderek azalması sonucunda güneşten gelen ışıını miktarının azalmasıdır.



Şekil 3.12. Elazığ ili temmuz ayı yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıını değişim grafiğı

b) Anlık Işınım Hesabı

Anlık ışınlım hesabının yapılabilmesi için Collares - Pereira ve Rabl (1979) tarafından yatay yüzeye düşen günlük güneş ışınlımına bağlı eşitlik denklem 3.21’de verilmiştir. Bu eşitlikte yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınlımının (I), yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınlımına (H) oranı r_t olarak tanımlanmıştır. Denklemden geçen ω hesaplamaların yapıldığı an için saat açısı, ω_s ise güneş batış saat açısıdır [11].

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b \cdot \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{\pi \omega_s}{180}\right) \cos \omega_s} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21’deki a ve b katsayılarının hesaplanabilmesi için kullanılan eşitlikler denklem 3.22 ve denklem 3.23’te verilmiştir.

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (3.22)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (3.23)$$

Saat açısı ω için, hesaplama yapılan saatlerin tam ortası alınabilir. Yani saat 7 ile 8 arasındaki zaman aralığı için hesaplama yapılıyorsa hesaplanacak saat açısı için kullanılacak saat 7:30 olarak alınır [11].

Yatay düzleme düşen günlük toplam güneş ışınlımının yayılı ve direkt kısımlarının tespitinde berraklık indeksi kullanıldığı gibi yatay düzleme düşen anlık toplam güneş ışınlımının hesabında da berraklık indeksi kullanılmaktadır. Yatay düzleme düşen anlık yayılı ışınlımın (I_d) anlık toplam ışınlıma (I) oranını veren Orgill ve Hollands tarafından anlık berraklık indeksine bağlı korelasyon denklem 3.24’teki eşitlikte verilmiştir [10,11].

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T & k_T < 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_T & 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (3.24)$$

Denklem 3.24’te anlık berraklık indeksi (k_T), yatay düzleme düşen anlık toplam ışınlımın (I), atmosfer dışında yatay düzleme düşen anlık toplam ışınlıma (I_o) oranı şeklinde denklem 3.25’te verilen eşitlik ile tanımlanmaktadır [10,11].

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (3.25)$$

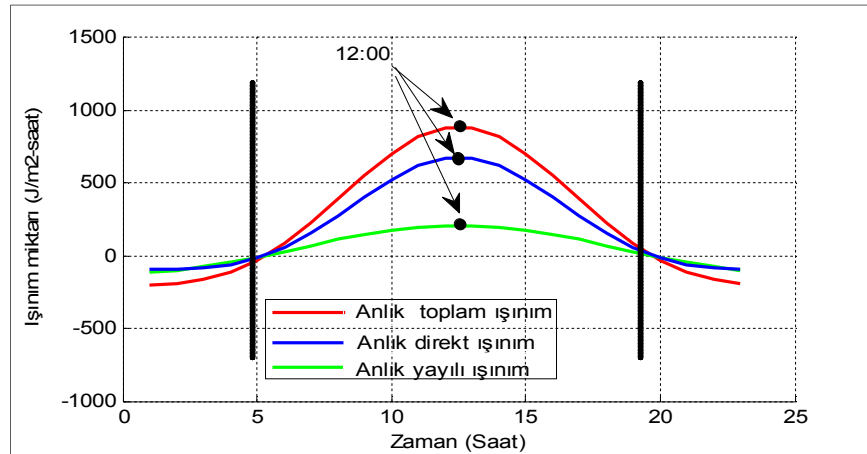
Anlık ışıınım hesabında kullanılan bir diğfer metot ise; uzun yıllar yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda yatay düzleme gelen anlık yayılı ışıınımın (I_d) günlük yayılı ışıınıma (H_d) oranı ile atmosfer dışına düşen anlık ışıınımın (I_o) atmosfer dışına düşen günlük ışıınıma (H_o) oranının eşit olduğı tespitinden denklem 3.26 ile yapılan hesaplamalardır [10,11].

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{I_o}{H_o} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26 sadeleştirilerek r_d , denklem 3.27'deki eşitlik ile tanımlanabilir.

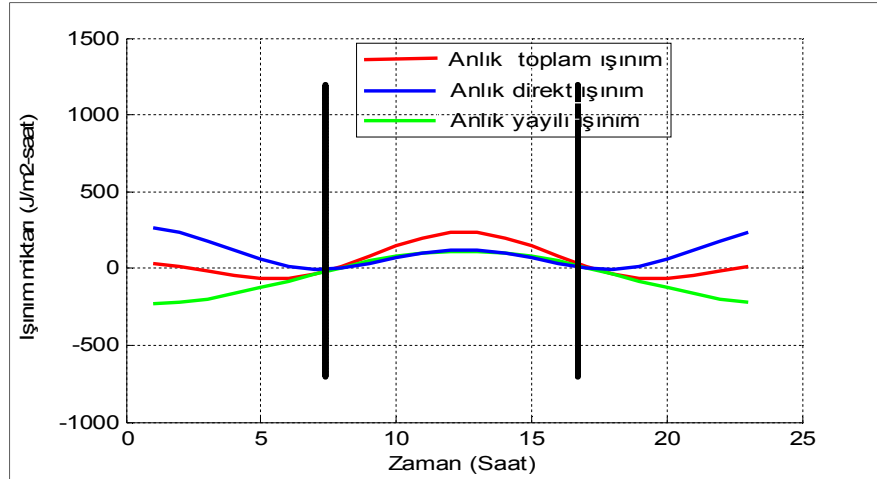
$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{\pi\omega_s}{180}\right)\cos\omega_s} \quad (3.27)$$

Bu tez çalışması kapsamında yapılan bir başka uygulamada ise; Matlab yazılım ortamında denklem 3.26 ve denklem 3.27'deki eşitlikler yardımıyla geliştirilen yazılım ile Elazığ ili 15 Temmuz ve 1 Ocak tarihlerinde gün boyunca yatay yüzeye gelen anlık ışıınım değferleri grafikler ile sırasıyla şekil 3.13 ve şekil 3.14'te gösterilmiştir. Şekilde toplam ışıınım değferi saat 12.00'de güneş açılarının en yüksek olduğı zamanda en fazladır. Temmuz ayında hava açık olduğundan anlık direkt ve yayılı ışıınımlar arasında gözle görülür bir fark vardır.



Şekil 3.13. Elazığ 15 Temmuz yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değışim grafikleri

Fakat havanın kapalı olduğu 1 Ocak tarihinde bu fark çok az olmakta hatta yayılı ışıınım değerleri yer yer daha yüksek değerlere çıkmaktadır. Bunun nedeni havanın kapalı olmasıdır. Kapalı havalarda yayılı ışıınım miktarı bulutlanmadan dolayı yüksektir.



Şekil 3.14. Elazığ 1 Ocak yatay yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değışim grafikleri

3.4.2 Eğik Düzleme Düşen Güneş Işıını

Yatay düzleme gelen güneş ışıını kolaylıkla ölçülebilmesine rağmen, eğik yüzeye gelen güneş ışıını, yatay düzleme gelen ölçüm veya hesaplama değeri kullanılarak farklı güneş ışıınım modelleri yardımı ile hesaplanmaktadır. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıını direkt, yayılı ve yansıyan ışıınımların toplanmasıyla elde edilir [47].

a) Eğik Düzleme Düşen Günlük Işıınım Hesabı

Fotovoltaik sistem uygulamalarında eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışıını miktarlarının hesaplanabilmesi için eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışıının (H_T), yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışıına (H) oranını veren $\bar{R}$ değeri ihtiyacı vardır. Direkt (H_b), yayılı (H_d) ve yansıyan ışıınım bileşenlerinin her birini içeren Liu ve Jordan tarafından verilen ve Klein tarafından genişletilen bu değeri denklem 3.28'deki eşitlikte verilmiştir. Denklemden geçen ρ , yerin yansıtma oranıdır. Yerde kar olması durumunda 0.7, yerde kar bulunmaması durumunda 0.2 olarak önerilmektedir [10,11].

$$\bar{R} = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \bar{R}_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \quad (3.28)$$

Eğik yüzeye düşen günlük toplam ışınlam, denklem 3.29'daki eşitlik ile hesaplanır [11].

$$H_T = H \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \bar{R}_b + H_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + H\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (3.29)$$

Burada $\bar{R}_b$ eğik yüzeye düşen günlük direkt ışınlamın (H_{bT}) yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınlamı (H_b) oranı olarak ifade edilir [10]. Denklem 3.30'da bu eşitlik verilmiştir.

$$\bar{R}_b = \frac{H_{bT}}{H_b} \quad (3.30)$$

Kuzey yarımkürede güneye dönük yüzey ($\gamma=0^\circ$) için $\bar{R}_b$ değerinin hesaplandığı eşitlik denklem 3.31'de verilmiştir [11].

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega'_s\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad (3.31)$$

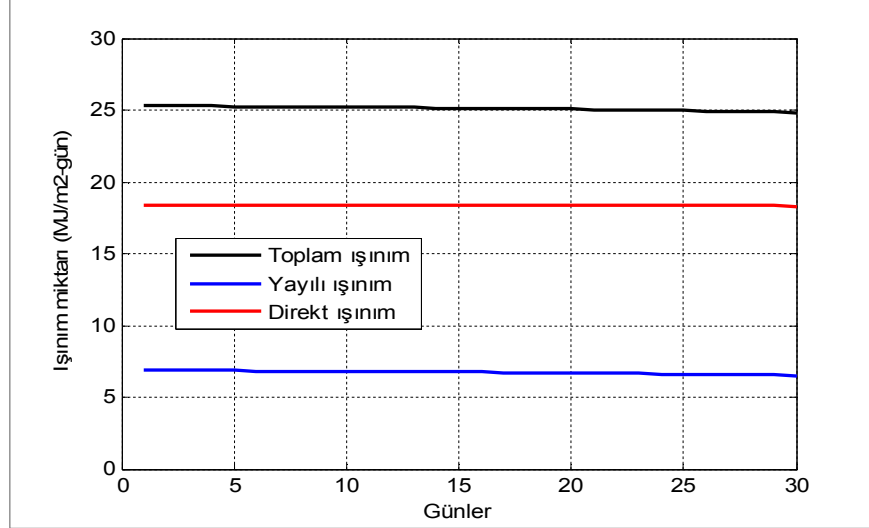
Denklem 3.31'de verilen ω'_s değeri, hesaplama yapılan ayın ortalama gününde güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısı olarak ifade edilir. Eğik düzlemin bu saat açısı yatay düzlemde farklıdır. Yatay düzlemde bu değer güneş doğuş saat açısı olarak alınır. Eğik düzlemde ise ω'_s değeri farklı değerdedir ve bunun için kullanılan eşitlik denklem 3.32'de verilmiştir [10,11].

$$\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi-\beta)\tan\delta) \end{array} \right] \quad (3.32)$$

Denklemden geçen “min” ifadesinin anlamı eşitlikte geçen iki değerden küçük olanın alınacağını göstermektedir [10,11]. Büyük olan değer ise yatay düzlem için kullanılır.

Yukarıdaki denklemler sayesinde eğik yüzey toplam güneş ışınlamı değeri H_T hesaplanabilmektedir. H_T değerinin hesaplanmasıyla denklem 3.30'daki eşitlik kullanılarak eğik yüzey günlük direkt ışınlam (H_{bT}) değeri de hesaplanabilir. Eğik yüzey günlük yayılı ışınlam (H_{dT}) değeri ise H_T değerinden H_{bT} değeri çıkarılarak elde edilir.

Temmuz ayında Elazığ ilinde 23° açı ile güneye konumlandırılmış eğik yüzeye gelen aylık ışıınım miktarının günlere göre değişimi denklem 3.29-3.32'deki eşitlikler kullanılarak Matlab ortamında geliştirilen yazılım ile direkt, yayılı ve toplam ışıınım olarak şekil 3.15'te çizdirilmiştir.



Şekil 3.15. Elazığ ili temmuz ayı 23° eğik yüzey yayılı, direkt ve toplam ışıınım değişim grafiği

b) Eğik Düzleme Düşen Anlık ışıınım Hesabı

Eğik yüzeye gelen anlık ışıınım miktarı hesaplarının yapılabilmesi için yatay düzleme düşen güneş ışıınımı hesaplarının yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalar ile elde edilen günlük veya anlık toplam ışıınım verilerinin yanında yatay yüzeye düşen toplam ışıınımın yayılı ve direkt kısımlarına ihtiyaç duyulmaktadır [10].

Eğik yüzey anlık ışıınım hesaplamalarında R_b değerine ihtiyacımız vardır. Geometrik faktör olarak adlandırılan R_b değeri, eğik yüzeye düşen anlık direkt ışıınımın (I_{bT}), yatay yüzeye düşen anlık direkt ışıınıma (I_b) oranıdır. R_b değeri denklem 3.33'te verilmiştir [10].

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn} \times \cos\theta}{I_{bn} \times \cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (3.33)$$

Kuzey yarımkürede optimum yüzey azimut açısı (γ) 0° (güneye dönük yüzey)'dir. Güney yarımkürede ise bu değer 180° 'dir. Bu veriler ışığında R_b değeri için eşitlik denklem 3.34'te verilmiştir [10].

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\phi - \beta) \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta} \quad (3.34)$$

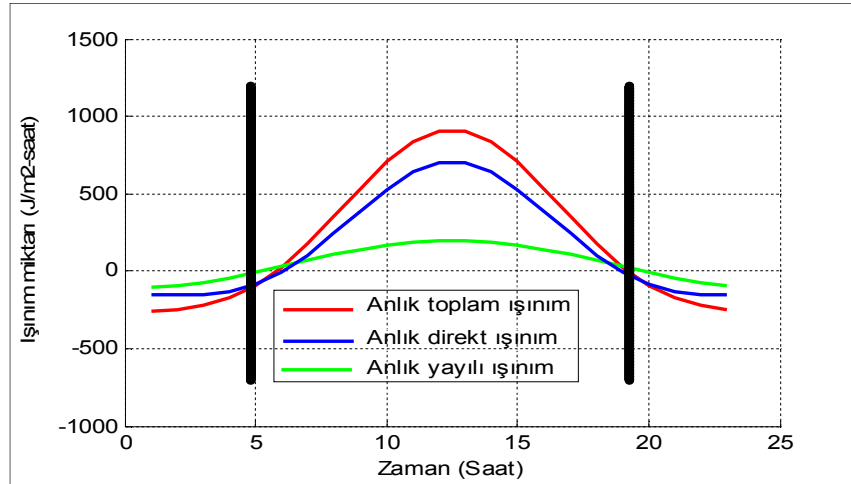
Eğik yüzey direkt ışıınım hesaplamalarında R_b değeriine bağılı Lui ve Jordan tarafından geliştirilen modelde eğik yüzeye gelen direkt ışıınımı (I_{bT}), geometrik faktör (R_b) ve yatay yüzeye düşen anlık direkt ışıınım (I_b) vasıtasıyla elde eden eşitlik denklem 3.35'te verilmiştir. Eğik yüzey anlık yayılı ışıınım (I_{dT}) değeri ise yatay yüzeye gelen anlık yayılı ışıınım (I_d) aracılığıyla denklem 3.36'daki eşitlik ile elde edilir. Eğik yüzeye düşen anlık toplam güneş ışıınımı (I_T) eşitliği ise denklem 3.37'de verilmiştir [10].

$$I_{bT} = R_b * I_b \quad (3.35)$$

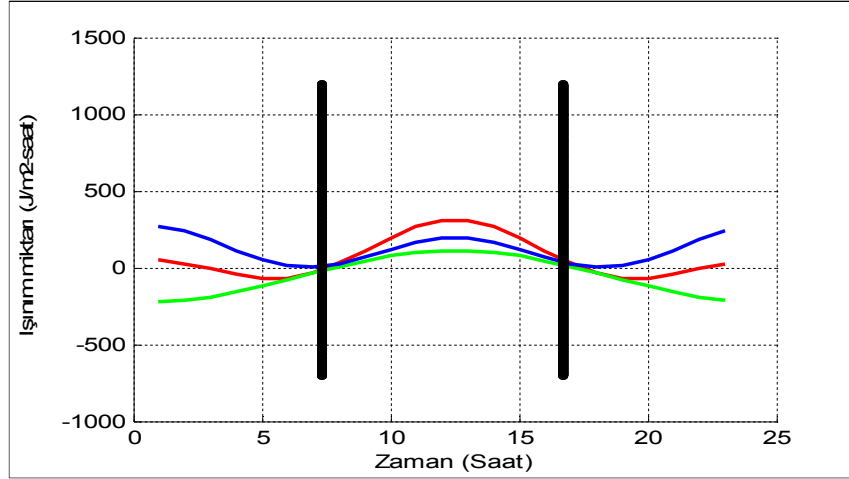
$$I_{dT} = I_d \times \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (3.36)$$

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} \quad (3.37)$$

Elazığ ilinde 23° açı ile güneye konumlandırılmış yüzeyin 15 Temmuz ve 1 Ocak tarihlerindeki anlık ışıınım grafikleri Matlab ortamında denklem 3.33-3.37'deki eşitlikler kullanılarak geliştirilen yazılımla yayılı, direkt ve toplam ışıınım olmak üzere sırasıyla şekil 3.16 ve şekil 3.17'de çizdirilmiştir.



Şekil 3.16. Elazığ ili 15 Temmuz eğik 23° yüzey anlık yayılı, direkt, toplam ışıınım grafikleri

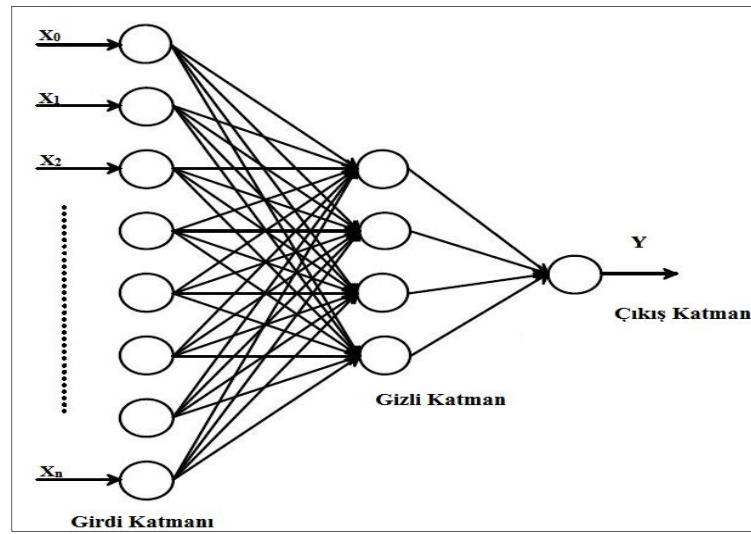


Şekil 3.17. Elazığ ili 1 Ocak eğik 23° yüzey anlık yayılı, direk, toplam ışıınım grafikleri

Şekil 3.13 ile şekil 3.16 karşılaştırıldığında 15 Temmuz yatay yüzey anlık ışıınım grafiği değerlerinin, eğik yüzey anlık ışıınım değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Bunun durumun sebebi panelimizin optimum eğim açısında olmamasından kaynaklanmaktadır. Elazığ ili için temmuz ayı optimum eğim açısı 17°.57 derecedir [35]. Ayrıca 1 Ocak tarihli yatay yüzey ışıınım grafiklerinin bulunduğu şekil 3.14'te yayılı ışıınım miktarının yer yer direkt ışıınım miktarından fazla olduğu görülmektedir. Fakat aynı tarihte 23° açı ile güneye konumlandırılmış şekil 3.17'de verilen yüzeyin direkt ışıınım miktarı ile yayılı ışıınım miktarı arasında gözle görülür bir fark vardır. Bunun nedeni eğimli yüzey ile güneş ışıınları arasındaki açının azalması ile direkt güneş ışıınımının artması buna karşın yayılı ışıınım miktarının azalmasıdır.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay zekâ alanının bir uygulaması olan yapay sinir ağları, insan beyninin fonksiyonları model alınarak oluşturulmuş yapılardır. Beyindeki sinirsel fonksiyonlara benzer bir yapı ile oluşturulan yapay sinir ağları katmanlardan ve farklı şekillerde birbirlerine bağlanan, işlem birimlerinin matematiksel ilişkilerini içeren veri işleme mekanizmalarından oluşmuştur. Şekil 4.1’de yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yapay sinir ağı modeli

İnsan beyninin kolay bir şekilde yapabildiği fakat bilgisayar sistemleriyle çözilemeyen karmaşık problemlere çözümler üretmek için araştırmalar sonucu, yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır [36]. Yapay sinir ağları kendi kendine öğrenme sistemleri olan, bir programcının geleneksel yeteneklerini gerektirmeyen, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneği olan sistemlerdir [37].

Yapay sinir ağları genel olarak sınıflandırma, model seçimi, işlev tahmini, en uygun değeri bulma gibi işlerde başarıyla kullanılmaktadır. Bilgisayarlar ise özellikle model seçme işinde verimsiz fakat algoritmaya dayalı hesaplama işlemleri ile kesin aritmetik işlemlerde hızlıdır [37]. Literatürde tahmin yöntemlerinde kullanılan matematiksel denklemler, diferansiyel çözümler ve algoritmalar güçlü bilgisayarlar ile gerçekleştirilebilmekte ve zaman almaktadır. Fakat Yapay sinir ağları eğitildikleri takdirde doğrusal ve doğrusal olmayan denklemlerde kısa sürede yüksek oranda doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir.

Yapay sinir ağlarının temelini öğrenme olayı oluşturmaktadır. Beynin en önemli fonksiyonlarından biri olan öğrenme çevre ile olan etkileşimler sonucu gerçekleşir. Beyin öğrenilen her yeni bilgiden etkilenecek bunu davranışlara yansıtır. Yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde bu özellik temel alınmıştır [38].

4.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Kullanım Alanları

Günümüzde yapay sinir ağları üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri iki alan üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlardan ilki ileri beslemeli çok katmanlı ağlar ikincisi ise Hopfield geri beslemeli ağlarıdır. Çok değişik problemlerin çözümünde kullanılan yapay sinir ağlarının çalışma alanları özet olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir [37].

- Denetim
- Sistem Modelleme
- Ses tanıma
- El yazısı tanıma
- Parmak izi tanıma
- Elektrik işareti tanıma
- Meteorolojik yorumlama
- Otomatik araç denetimi
- Fizyolojik işaretleri izleme, tanıma ve yorumlama

4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları, paralel dağıtılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden dolayı hesaplama ve bilgi işleme gücü yüksek sistemlerdir. Yapay sinir ağları eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşmadığı durumlar için genelleme yeteneği sayesinde yapay sinir ağlarının uygun tepkiler vermesini sağlar. Bu özellikler, yapay sinir ağlarının problemleri analiz edebilme ve çözebilme kabiliyetini gösterir. Yapay sinir ağları, aşağıdaki özellikleri nedeniyle birçok alanda uygulanmaktadır [39].

Doğrusal Olmama: Yapay sinir ağları dağıtılmış hücre özelliği göstermesinden dolayı problemler karşısında esnek yapıda olurlar. Bu özelliğiyle yapay sinir ağları doğrusal olmayan problemler ile karşılaştığında doğru çözümler sunabilirler.

Öğrenme: Yapay sinir ağları günümüz bilgisayar sistemlerinin çözüm yöntemlerinin dışında örnekler üzerinden hareket ederek problemlere çözümler üretir. Örnek veriler ile eğitilen bu ağların karşılaşılan problemlerin karmaşıklığı nedeniyle hücreler arası bağlantılarının doğru yapılması ve uygun ağırlıklara sahip olması gerekmektedir [39].

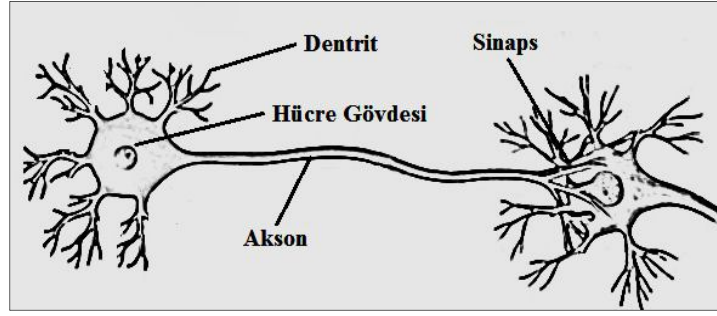
Genelleme: Yapay sinir ağı girdilerinden çıkarım yapma olayıdır. Yani eğitim ve öğrenme sürecinde yapay sinir ağının karşılaştığı girdi örneklerinden çıkarımlar yaparak test aşamasında daha önce eğitim ve öğrenme süreçlerinde karşılaşmadığı girdi örnekleri karşısında uygun, mantıklı tepkiler verebilmesidir.

Uyarlanabilirlik: Öğrenme yoluyla problemlere getirilen çözümlerde problemdeki değişimler YSA'nın tekrar tekrar eğitilmesiyle ve hücreler arası bağlantılardaki ağırlıkların güncellenmesiyle gerçek zamanlı eğitimler gerçekleştirerek problemlere uygun çözümler üretmesini sağlar [39].

Hata Toleransı: YSA'da tüm parametrelerin problemin çözümünde etkisi olmakla beraber bir parametrenin eksikliği performansta ciddi bir düşüş meydana getirmez. Fakat programlama yoluyla bilgisayarlarla yapılan hesaplamalarda her parametre problemin çözümü için vazgeçilmez bir öneme sahiptir [36].

4.3. Biyolojik Sinir Ağı

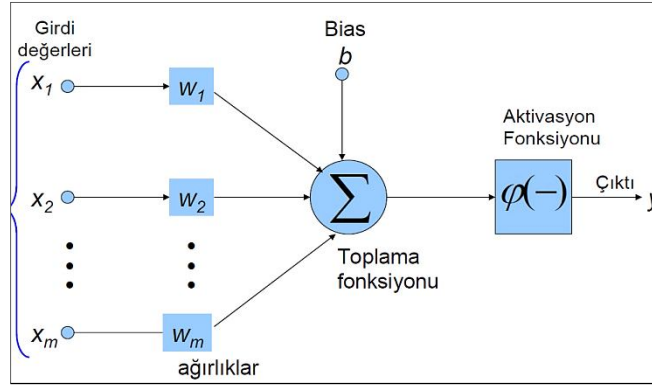
Karmaşık bir yapıya sahip biyolojik sinir ağı hücrelerine nöron denir. Nöronlar vücuttaki diğer hücrelerle ortak özelliklerinin yanında ayrıca elektrokimyasal işaretleri algılama ve işleme özelliklerine sahiptir [40]. İnsan beyninde 10 milyara yakın sayıda bulunan sinir hücrelerinin yapısı 3 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde dış ortamdan gelen bilgiler sinir hücresinin dendrit bölümü tarafından toplanıp çekirdek bölümüne iletilir. Çekirdek bölümünde toplanan bilgiler işlenmek üzere akson bölümüne oradan da bağlantı uçlarına geçer. Bağlantı uçları ile bir diğer sinir hücresinin dendrit bölümünün birleştiği noktalara sinaps denir. Sinir hücreleri birbirleriyle Sinaps bağlantı noktaları aracılığıyla haberleşirler. Biyolojik sinir ağı hücresi şekil (4.2)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Biyolojik sinir ağı hücresi

4.4. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Yapay sinir ağı hücresi temel olarak 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler, girişler ve ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olarak ifade edilebilir. İlk olarak veri, ağırlıklar vasıtasıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise veri ve ağırlıkların birbiriyle çarpımını ifade eden net girişi hesaplar. Toplam fonksiyonunda bulunan ve eşik değeri olarak ta adlandırılan b (bias) değeri net giriş ile toplanan bir sabittir. Doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu ise işlem süresince net çıkışı hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Şekil (4.3)'de temel YSA modeli gösterilmiştir [41]. Yapay sinir hücresinin bölümleri ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.3. Temel YSA modeli

Girişler: Girişler ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$) çevreden gelen verileri ifade ederler. Dış dünyadan veya kendinden önceki sinirlerden gelebilirler. Bu veriler daha sonra ağırlıklarla hesaplanarak sonraki birime geçerler [37].

Ağırlıklar: Ağırlıklar ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_m$), girişlerin yapay sinir ağı üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılar olarak ifade edilir. Her girişin kendine ait bir ağırlığı mevcut

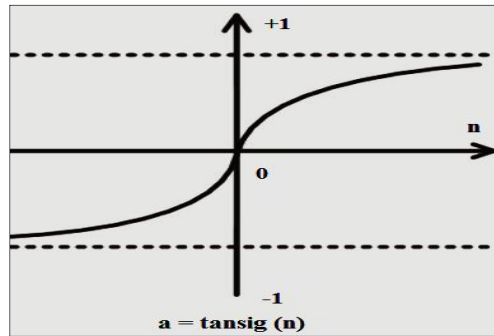
olmakla beraber bu ağırlıklar probleme bağlı olarak güncellenmektedir. Bir girişe ait ağırlığın büyük olması, girişin yapay sinir ağında etkisinin önemli olması, küçük olması önemli olmaması anlamına gelmektedir [37].

Toplama İşlevi: Giriş değerlerinin kendi ağırlıklarıyla çarpımları toplamının eşik değeri ile (b) toplanarak aktivasyon işlevine gönderilmesi olayını gerçekleştirir. Aktivasyon fonksiyonu ile işlenen bu veriler çıkışa iletilir.

Aktivasyon Fonksiyonları: Toplama işlevinin sonucu gelen veriler burada hesaplanarak çıkış değerleri üretilir. Çok katmanlı yapay sinir ağlarında (MLP) kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bazıları: Tangent-Sigmoid ($tansig$), Logaritmik-Sigmoid ($logsig$) ve Purelin (Linear)'dir. Bu fonksiyonları sırayla inceleyecek olursak;

Tangent-Sigmoid ($tansig$): Tangent-Sigmoid transfer fonksiyonu denklem (4.1)'deki eşitlik ile ifade edilmektedir. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon türevi alınabilen doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Değişim aralığı şekil (4.4)'te gösterilmiştir.

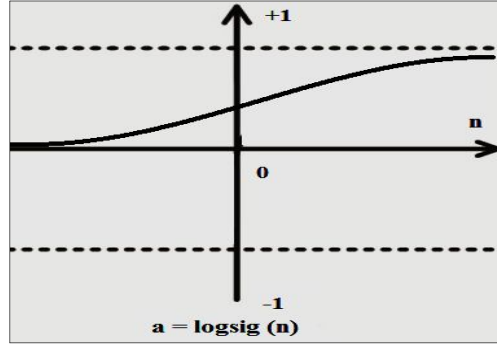
$$a = tansig(n) = 2 / (1 + \exp(-2*n)) - 1 \quad (4.1)$$



Şekil 4.4. Tangent-Sigmoid transfer fonksiyonu

Logaritmik-Sigmoid ($logsig$): 0 ile +1 arasında çıkış değerleri üreten. Sigmoid transfer fonksiyonu denklem (4.2)'deki eşitlik ile ifade edilmektedir. Doğrusal olmayan ve türevi alınabilen bir fonksiyon çeşidi olduğundan geri yayımlımlı ağlarda kullanılabilir [42]. Değişim aralığı şekil (4.5)'te gösterilmiştir

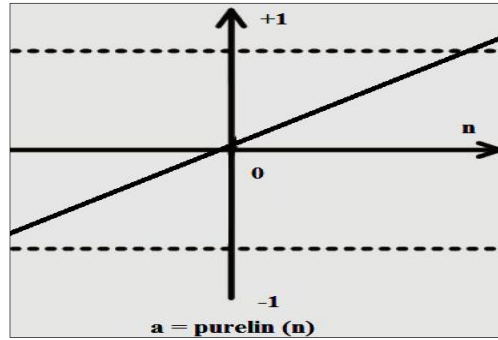
$$a = logsig(n) = 1 / (1 + \exp(-n)) \quad (4.2)$$



Şekil 4.5. Logaritmik-Sigmoid transfer fonksiyonu

Purelin (Lineer): Purelin transfer fonksiyonu denklem (4.3)'teki eşitlik ile ifade edilmektedir. Bu fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer transfer fonksiyonu olması gerektiğine dikkat edilmelidir [42]. -1 ile +1 arasında çıkış değerleri üretmektedir. Değişim aralığı şekil (4.6)'da gösterilmiştir.

$$a = n = \text{purelin}(n) \quad (4.3)$$



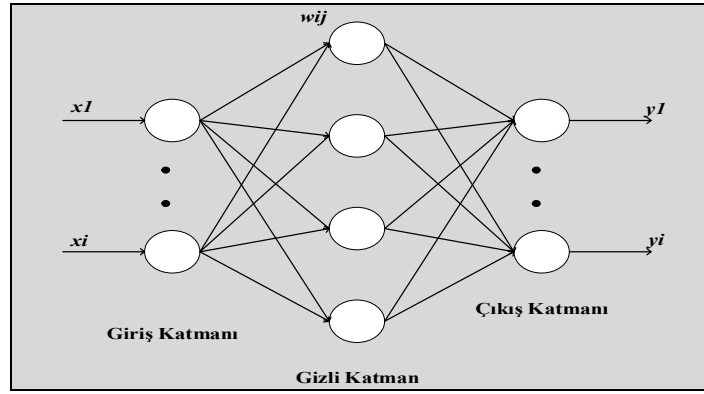
Şekil 4.6. Purelin transfer fonksiyonu

4.5. Yapay Sinir Ağı Modelleri

Temel olarak yapay sinir ağı modelleri kullanım alanlarına göre ileri ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İleri beslemeli sinir ağlarında işlem akışı tek yönlü olarak girişlerden çıkışlara doğru ve hızlıdır. Çıkış değerleri, öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak elde edilen hata sinyali ile ağ ağırlıkları güncellenir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise; çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Bu ağlarda, ileri beslemeli ağlara göre gecikmeler söz konusudur [41].

4.5.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

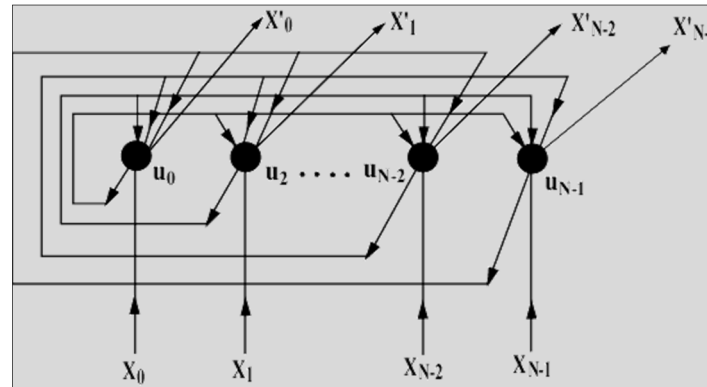
Katmanların birbirlerine tam anlamıyla bağlı olduğu yapay sinir ağlarıdır. Bir katmanın girişi bir önceki katmanın çıkışıdır. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında kalan katmanlara gizli katman adı verilmektedir. Giriş katmanından gelen veriler önce gizli katmana daha sonra çıkış katmanına doğru tek yönlü olarak ilerler. Şekil (4.7)'de verilen çok katmanlı ileri beslemeli ağ modelinde giriş katmanındaki x girdileri w ağırlıklarıyla hesaplanarak gizli katmana burada da bir dizi işlemten geçerek çıkış katmanına ulaşır [36,43].



Şekil 4.7. Çok katmanlı ileri beslemeli ağ modeli

4.5.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli ağlarda, bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın çıkışlarını değil aynı zamanda o katmanın veya daha sonraki katmanların da çıkışlarını giriş olarak alabilirler. Bu yüzden çıkış, sadece o anki girişlere değil, başlangıç durumuna ve daha önceki girişlere de bağlıdır [36]. Bu tip ağlarda akış çift yönlüdür. Bu ağ yapısına örnek olarak şekil (4.8)'de Hopfield ağı verilmiştir.



Şekil 4.8. Geri beslemeli Hopfield ağı

4.6. Normalizasyon Türleri

Yapay sinir ağlarında eğitimin daha verimli olması ve uygun çıkış değerlerinin elde edilebilmesi için ağırlık giriş ve çıkışlarına bazı normalleştirme işlemleri uygulanmaktadır. Bu normalleştirme işlemleri ağ kullanımını daha iyi bir forma dönüştürerek eğitimi hızlandırmaktadır. Normalleştirme işlemlerinde farklı teknikler kullanılabilir. Literatürde birçok veri normalizasyon çeşidi vardır. Bunlar; İstatiksel veya Z-Score, Min-Max kuralı, Medyan, Sigmoid gibi kurallar olarak sıralanabilir [43].

a) İstatiksel veya Z-Score Normalizasyonu

Yapay sinir ağında kullanılacak veri setindeki değerler arası uzaklıklar özellikle de uç noktalar YSA sonuçları üzerinde etkin rol oynamaktadır. Veri setindeki bu farklılıklar normalizasyon işlemiyle, her bir parametrenin, performansa eşit ölçüde katkıda bulunması sağlanır. Bu normalizasyon işleminde öncelikle her bir değişkene karşı gelen sütunların aritmetik ortalaması ve standart sapması bulunur ve denklem (4.4)'teki eşitlik ile veriler normalleştirilerek, veriler arasındaki uzaklıklar ortadan kaldırılır [43].

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte;

x' = Normalize edilmiş veriyi,

x_i = Girdi değerini,

μ_i = Girdi setinin ortalamasını,

σ_i = Girdi setinin standart sapmasını

ifade etmektedir.

b) Min-Max Normalizasyonu

Giriş verileri bu yöntemle 0-1 aralığına indirgenerek normalleştirme yapılır. Bu yöntemde en küçük değer “Min” yani 0 değerini, en büyük değer ise “Max” yani 1 değerini alır. Geriye kalan veriler doğrusal olarak aradaki değerleri sırasıyla alırlar. Bu normalizasyon yöntemi için kullanılan eşitlik denklem (4.5)'te verilmiştir.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte;

x' = Normalize edilmiş veriyi,

x_i = Girdi değerini,

x_{min} = Girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayıyı,

x_{max} = Girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayıyı,

ifade etmektedir.

c) Medyan Normalizasyonu

Bu yöntemde her değişkene karşılık gelen veri setinin medyanı alınarak normalleştirme işlemi gerçekleştirilir. Veriler arası aşırı sapmalardan etkilenmeyen bu yöntem için denklem (4.6)'daki eşitlik kullanılır [43]. Denklemdaki $Median_{(\alpha_i)}$ ifadesi, girdi seti sayısı tek sayı ise değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak ortadaki sayı medyan olarak kabul edilir. Sıralanan girdi sayısı çift sayı ise bu defa girdi setinin ortasında yer alan iki sayı toplanıp ikiye bölünerek medyan bulunmuş olur. Medyan normalizasyonu tez çalışmamızda YSA'nın eğitim ve test verilerinin normalizasyonunda kullanılmıştır.

$$x' = \frac{x_i}{Median_{(\alpha_i)}} \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte;

x' = Normalize edilmiş veriyi,

x_i = Girdi değerini,

α_i = Girdi setinin medyanını,

ifade etmektedir.

d) Sigmoid Normalizasyonu

Verileri [0 1] veya [-1 1] arasında sınıflandıran bu normalizasyon kuralında bir kaç tane doğrusal olmayan sigmoid fonksiyon çeşidi vardır. Tanjant sigmoid fonksiyonu süreçleri hızlandırmada iyi bir tercih olabilir. Bu yöntem için denklem (4.7)'deki eşitlik kullanılır [43].

$$x' = \frac{e^{x_i} - e^{-x_i}}{e^{x_i} + e^{-x_i}} \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte;

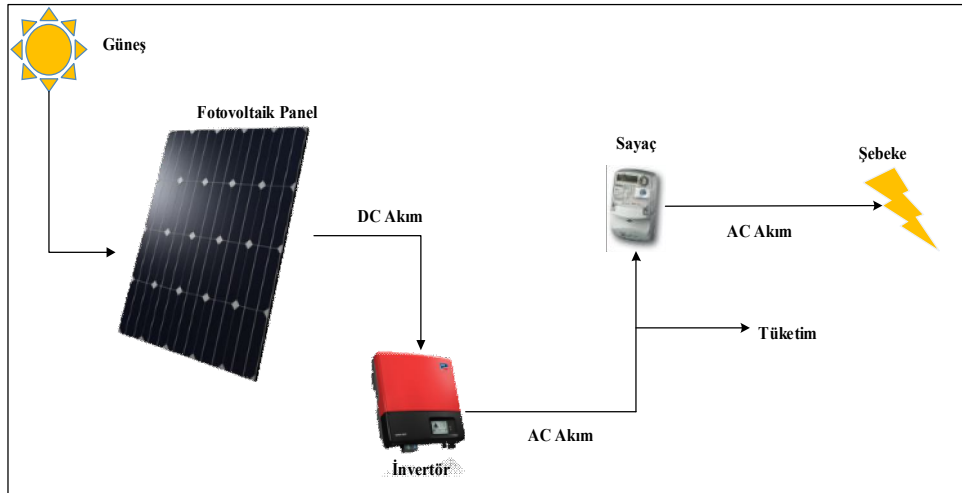
x' = Normalize edilmiş veriyi,

x_i = Girdi değerini,

e = Doğal logaritma değerini
ifade etmektedir.

5. ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE ÜRETİLEN ENERJİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİNİ

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin amacı, güneş pillerinin güneş enerjisi sayesinde ürettiği elektriğin konutlarda ve işletmelerde kullanılması ve ihtiyaç fazlası enerjinin elektrik şebekesini beslemesidir. Bu sistemlerde üretilen enerjinin ihtiyacı karşılayamaması durumunda şebeke devreye girerek elektrik talebini karşılamaktadır. Bu sistemlerin çalışma mekanizması, fotovoltaik sistemden elde edilen doğru akımın (DC), inverter vasıtasıyla alternatif akıma (AC) çevrilerek tüketimde kullanılması ve/veya şebekeye aktarılmasıdır. Sistemde kullanılan inverterler aynı zamanda üretilen enerji miktarını uzun süreli olarak kaydedebilmektedir. Bu durum şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem

Şebekeye bağlı sistemlerde fotovoltaik panellerden şebekeye verilen enerji miktarı sayaçlar aracılığıyla ölçülebilmektedir. Sistemden elde edilecek enerjinin önceden tahmin edilebilmesi maliyet ve zaman açısından avantaj sağlamaktadır. Bir işletmenin elektrik ihtiyacı doğrultusunda kurulacak sistemin, iklim ve coğrafi şartlar (sıcaklık, güneş ışıınımı, yükseklik, rüzgâr, eğim) göz önünde bulundurulduğunda bu tip faktörlerin maliyet ve zaman açısından risk oluşturabileceği görülmektedir. Bu nedenle yapay sinir ağları sayesinde fotovoltaik sistemden üretilen enerjinin ve bu enerjiyi etkileyen tüm faktörlerin etkilerinin birer parametre olarak yapay sinir ağına kullanılması ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında Elazığ iline ait 2013 yılı ışıınım, sıcaklık, rüzgâr hızı verileri Elazığ'da kurulu şekil 5.2'de gösterilen ölçüm istasyonundan elde edilmiş olup bunun yanında coğrafi veriler de kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapay sinir ağları bu hesaplamalar ile elde edilen değerlerle eğitilerek şekil 5.3'te gösterilen Elazığ'da kurulu 23° açılı ile güneye konumlandırılmış 2.3 kW'lık güneş santralinden üretilen günlük enerji miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ağın eğitiminde güneş santralinden şekil 5.4'te gösterilen inverter aracılığıyla elde edilen üretilen güç miktarı verileri de kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde kullanılan tüm veriler anlık veriler olduğundan YSA'nın tahmin sonuçlarının gün boyu integrasyonu ile, üretilen günlük enerji miktarı hesaplanmıştır. Yılın herhangi bir gününde fotovoltaik sistemden şebekeye verilecek güç miktarı YSA ile tahmin edilmiş ve doğruluğu test edilmiştir.



Şekil 5.2. Ölçüm istasyonu



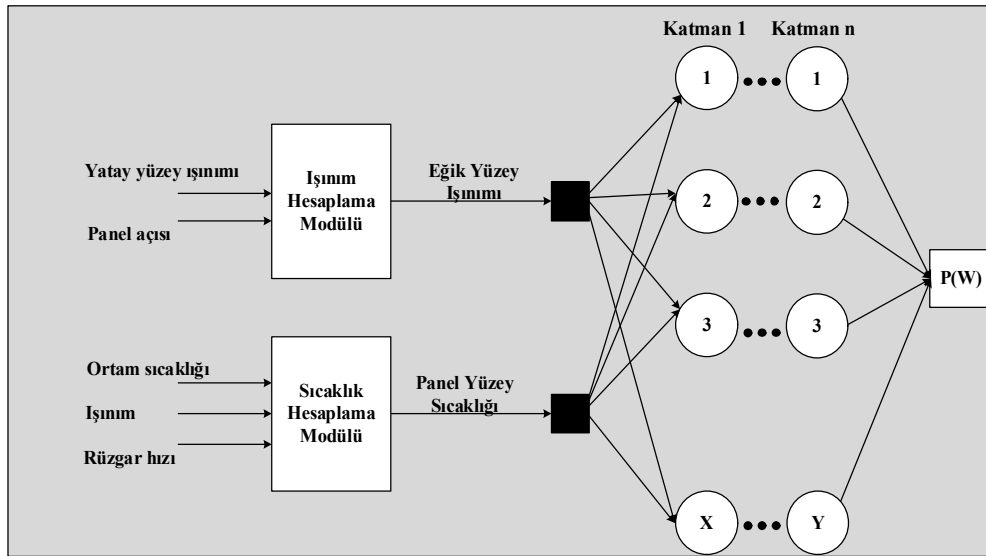
Şekil 5.3. Güneş santrali (2.3 kW)



Şekil 5.4. Sistemde kullanılan inverter

Bu çalışmada, yapay sinir ağı uygulamalarında en çok kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağı (MLP) kullanılmıştır. Çok katmanlı yapay sinir ağları en az bir gizli katman içeren ileri beslemeli ağlardır. Kullanılan YSA ileri beslemeli olduğundan girişten gelen bilgiler gizli katmana ve oradan çıkışa sıralı bir şekilde tek yönlü olarak iletilmektedir. YSA modelinde kullanılan MLP ağının doğru tahmin yapabilmesi için öğrenme işlemini gerçekleştirebilmesi gerekir. Bu olayın gerçekleşmesi için girdilere karşılık gelecek çıkış değerleri ile eğitilmesi gerekmektedir. Literatürde danışmalı öğrenme olarak geçen bu eğitme olayında katmanlar arasındaki ağırlıkların ve bias (hataların aritmetik ortalaması) değerlerinin güncellenmesi ile hata seviyesi en aza indirilerek ağ simülasyona hazır duruma gelir.

Fotovoltaik sistemden elde edilecek enerjinin tahmini için kullanılan şekil 5.5'teki YSA modelinde; yatay yüzey ışıınımı, panel açısı verileri ışıınım hesaplama modülü ile eğik yüzey ışıınımı değerine; ortam sıcaklığı, ışıınım, rüzgâr hızı verileri sıcaklık hesaplama modülü ile panel yüzey sıcaklığı değerine çevrilmektedir. Eğik yüzey ışıınımı ve panel yüzey sıcaklığı değerleri yapay sinir ağının giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Bu parametreler yapay sinir ağının katmanlarında bir dizi işlemten geçerek sistemin üreteceği enerji tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.5. Uygulamada kullanılacak yapay sinir ağı modeli

5.1. Yapay Sinir Ağı Parametrelerinin Hesaplanması

Fotovoltaik sistemlerin enerji üretiminde güneş ışıınım şiddeti ve sıcaklık değerleri önemli yer tutmaktadır. Bu değerlerin I-V ve P-V eğrilerine olan etkileri 2.bölümde

anlatılmıştı. Güneş ışıınımı, sıcaklık değęerlerindeki değışimler inverterin sisteme aktaracağı güçte değışime neden olmaktadır. Dolayısıyla bu değęerlerin yapay sinir ağlarında önemli parametreler olacağı söylenebilir.

Yapay sinir ağında kullanılmak üzere eğik yüzey ışıınımı ve panel yüzey sıcaklığı değęerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Eğik panel ışıınımı, eğik panel üzerine düşen yayılı ve direkt ışıınım değęerlerinin ayrı ayrı bulunup toplanması ile elde edilebilir. Panel yüzey sıcaklığı ise ışıınım, rüzgâr ve ortam sıcaklığının oluşturduğu eşitlik ile bulunabilir.

5.1.1. ışıınım Hesaplama Modülü

Panel ışıınımı hesaplamalarında bir bölgedeki yatay panel ışıınımı ile eğik panel ışıınımı değęerleri birbirinden farklıdır. Ölçüm istasyonunda piranometreden alınan anlık yatay yüzey ışıınım verileri, ışıınım hesaplama modülü için yeterli değildir. ışıınım hesaplama modülünün eğik yüzey ışıınım değęerini bulabilmesi için eğik panel yayılı ve direkt ışıınım değęerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değęerlerin bulunabilmesi için berraklık indeksine (k_T) ihtiyaç vardır. Berraklık indeksi yatay yüzey toplam ışıınım değęerinin (I) atmosfer dışındaki toplam ışıınım değęerine (I_o) oranı ile hesaplanmaktadır. Berraklık indeksi (k_T) için kullanılan eşitlik denklem 5.1’de verilmiştir. Orgill ve Hollands tarafından anlık berraklık indeksine bağılı olarak yatay düzleme düşen anlık yayılı ışıınımın (I_d) toplam ışıınıma (I) oranını veren korelasyon denklem 5.2’de verilmiştir. Bu denklem yayılı ve direkt ışıınımların hesaplanmasında kullanılmıştır [10].

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (5.1)$$

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249k_T & k_T < 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_T & 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (5.2)$$

Denklem 5.1’de verilen (I), piranometre ile ölçülen bir değęerken, (I_o) ise 3.bölümde denklem 3.14’teki eşitlikle ifade edilen teorik bir değęerdir. Orgill ve Hollands denkleminde berraklık indeksine bağılı olarak yatay yüzey yayılı ışıınım değęeri (I_d) bulunabilir. Bu değęerin bulunması ile denklem 5.3’te görüldüğü gibi direkt ışıınım değęeri (I_b)’de yatay yüzey yayılı ışıınım değęerinin yatay yüzey toplam ışıınım değęerinden çıkarılmasıyla bulunabilir.

$$I_b = I - I_d \quad (5.3)$$

Yatay düzlem için bulunan direkt anlık (I_b) ışınımın geometrik faktör (R_b) ile çarpılması sonucu eğik yüzey anlık direkt ışınım değeri (I_{bT}) denklem 5.4'teki eşitlik ile bulunur. Denklemden geçen (R_b) değeri 3.bölümde verilen kuzey yarımkürede güneye dönük yüzey ($\gamma=0^\circ$) için denklem 3.34 ile hesaplanır. Eğik yüzey yayılı ışınım değeri de denklem 5.5 ile hesaplanmaktadır. β değeri yüzey eğim açısıdır. Böylelikle denklem 5.4 ile denklem 5.5 değerleri toplanarak eğik panel toplam anlık ışınım değeri denklem 5.6'daki eşitlik ile bulunabilir.

$$I_{bT} = I_b * R_b \quad (5.4)$$

$$I_{dT} = I_d * ((1 + \frac{\cos(\beta)}{2}) / 2) \quad (5.5)$$

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} \quad (5.6)$$

Yapılan güneş ışınımı hesaplamalarında kullanılan saat güneş saati (GS)'dir. Fakat piranometreden okunan saat değerleri ise ulusal saati göstermektedir. Bu nedenle piranometre saat değerlerinin güneş saatine çevrilmesi gerekmektedir. Güneş saati, güneş radyasyonu hesaplarında güneşin hareketlerine bağlı olarak kullanılan güneş zamanıdır. Zaman Greenwich meridyenine göre düzeltilir. Yerel saat zamanı hassas meridyen gözlemlerinden yapılır. Her meridyen arasında 4 dakikalık bir zaman farkı vardır. Yerel güneş zamanı (YGZ) ile ulusal zaman (UZ) arasındaki fark denklem 5.7'deki eşitlik ile hesaplanır [44].

$$YGZ = UZ - (\frac{1}{15}) * (SB - YB) + EDF \quad (5.7)$$

Burada;

YGZ = Yerel Güneş Zamanı (Saat)

UZ = Ulusal saat (Saat)

SB = Standart Boylam (Yaz saati uygulaması için Iğdır ili 45° .boylam, Kış saati uygulaması için İzmit ili 30° .boylam alınır.)

YB = Yerel boylam (Elazığ ili için $39^{\circ}.2'$ boylamı)

EDF = Zaman düzeltme faktörü (Saat) olarak ifade edilir.

Saat olarak girilen değerler ondalık olarak değerlendirilir. Zaman düzeltme faktörü (EDF) eşitliği denklem 5.8'de verilmiştir.

$$EDF = 0.165 * \sin 2B - 0.126 * \cos B - 0.025 * \sin B \quad (\text{saat}) \quad (5.8)$$

Yukarıdaki denklemde geçen B değerinin eşitliği n =gün olmak üzere denklem 5.9'da verilmiştir.

$$B = \frac{360.(n-81)}{364} \quad (\text{derece}) \quad (5.9)$$

5.1.2. Sıcaklık Hesaplama Modülü

Fotovoltaik sistemlerde panel yüzey sıcaklığı, elde edilecek enerjinin tahmininde önemli bir faktördür. Panelin üreteceği güç değeri her ne kadar dolaylı yünden ortam sıcaklığına bağlı olsa da panel yüzey sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle hesaplamalarda üretilecek olan enerji miktarını doğru hesaplamak için ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş ışıınım şiddeti arasındaki korelasyon kullanılarak yüzey sıcaklığı deneye dayalı formüllerle belirtilmiştir. Panel yüzey sıcaklığının ışıınım şiddeti, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızıyla ilişkisi denklem 5.10'daki eşitlik ile ifade edilir [45-46].

$$T_p = 3.12 + 0.25 * S + 0.899 * T_a - 1.3 * W_s \quad (5.10)$$

Burada;

W_s = Rüzgâr hızı (m/s)

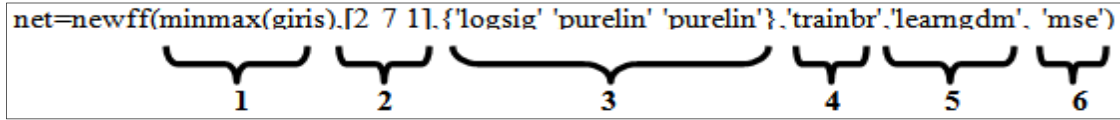
T_a = Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

S = Güneş ışıınım şiddeti (mW/cm^2)

T_p = Panel yüzey sıcaklığı olarak ifade edilir.

5.1.3 Yapay Sinir Ağının Oluşturulması

Matlab yazılım ortamında yapay sinir ağı oluşturmak için tanımlanmış “newff” ileri beslemeli ağ fonksiyonu ile ağ oluşturulmuştur. “newff” fonksiyonunun parametreleri şekil 5.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Newff fonksiyonu parametreleri

“newff” fonksiyonu 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yapay sinir ağı girdi elemanlarının en küçük ve en büyük değerleri matris halinde bir dizide tutulur. İkinci bölümde katman sayısı ve nöron âdeti belirlenir. Üçüncü bölümde katmanlar için kullanılacak aktivasyon fonksiyonları aralarında boşluk olacak şekilde her katman için bir tane olmak üzere yazılır. Dördüncü bölümde ağı eğitimi fonksiyonu beşinci bölümde öğretim fonksiyonu ve son olarak ağı eğitimi performansı fonksiyonu yazılır.

5.2. Yapay Sinir Ağı Parametrelerinin Normalize Edilmesi

Verilerin yapay sinir ağına uygun hale getirilebilmesi için normalizasyon (ölçeklendirme) yapılmalıdır. Çalışmamızda ağı uygun normalizasyon yöntemi olarak yapılan testler sonucunda medyan ve min-max kuralı seçilmiştir. Medyan kuralı eşitliği denklem 5.11’de verilmiştir.

$$x' = \frac{x_i}{Median(\alpha_i)} \quad (5.11)$$

Bu eşitlikte;

x' = Normalize edilmiş veriyi,

x_i = Girdi değerini,

α_i = Girdi setinin medyanını

ifade etmektedir.

Denklem 5.11’de yer alan girdi setinin medyanı ($Median(\alpha_i)$) ifadesi, girdi seti sayısı tek sayı ise değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak ortadaki sayı medyan olarak kabul edilir. Sıralanan girdi sayısı çift sayı ise bu defa girdi setinin ortasında yer alan iki sayı toplanıp ikiye bölünerek medyan bulunmuş olur. Piranometre ve inverter değerlerinin normalizasyonunda medyan kuralı kullanılmasına karşın panel yüzey sıcaklığı değerlerinin normalizasyonunda ise min-max kuralı test sonuçlarında daha iyi sonuç vermiştir. Min-max kuralı denklem 5.12’de verilmiştir.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (5.12)$$

Bu eşitlikte;

x' = Normalize edilmiş veriyi, x_i = Girdi değerini, x_{min} = Girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayıyı, x_{max} = Girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayıyı, ifade etmektedir.

Tablo 5.1’de bazı ısıtım, sıcaklık ve inverter ham verileri ve buna karşılık gelen normalizasyon verileri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Ham ve normalize edilmiş ısıtım, sıcaklık ve güç değerleri

Ham Veri				Normalize Edilmiş Veri			
No	Isıtım	Sıcaklık	Güç	No	Isıtım	Sıcaklık	Güç
1	4841,596	19,579	4819,941	1	1	0,5054	1,08
2	681,7616	7,656	576,9635	2	0,141	0,2261	0,13
3	786,368	10,362	798,0683	3	0,162	0,2895	0,18
4	5075,822	16,059	5277,403	4	1,048	0,4229	1,18
5	2587,57	12,732	2496,778	5	0,534	0,345	0,56
6	669,6781	6,7186	633,2425	6	0,138	0,2042	0,14
7	702,9944	6,6898	610,6926	7	0,145	0,2035	0,14
8	1328,147	0,6887	1323,069	8	0,274	0,063	0,3
9	340,5355	0,5083	289,1334	9	0,07	0,0587	0,06
10	999,1535	7,4414	857,544	10	0,206	0,2211	0,19
11	559,4991	1,6449	586,3322	11	0,116	0,0854	0,13
12	527,981	3,9777	531,7222	12	0,109	0,14	0,12
13	916,1123	1,016	780,5418	13	0,189	0,0706	0,18
14	486,8401	-0,9163	218,5319	14	0,101	0,0254	0,05
15	784,7293	-1,7224	356,556	15	0,162	0,0065	0,08
16	526,9874	-1,9128	188,801	16	0,109	0,002	0,04
17	924,3756	4,3649	688,8732	17	0,191	0,1491	0,15
18	3616,033	9,3979	3895,62	18	0,747	0,2669	0,87
19	5042,018	11,658	5244,915	19	1,041	0,3199	1,18
20	4779,787	14,25	4796,832	20	0,987	0,3806	1,08
21	3350,905	11,939	3587,993	21	0,692	0,3264	0,8
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

Normalize edilen veriler ile eğitilen yapay sinir ağlarının çıkış değerlerinin gerçek değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bunun için YSA çıkışından elde edilecek güç değerlerinin gerçek değerlere çevrilmesi için tekrar medyan kuralı kullanılır. Bu defa normalizasyon işlemi yerine elde edilen normalize güç değerleri (x')’nden gerçek değerler elde edilir. Bunun için kullanılacak eşitlik denklem 5.13’te verilmiştir.

$$x_i = Median_{(\alpha_i)} * x' \quad (5.13)$$

5.3. Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi

Elazığ iline ait 2013 yılı ölçüm istasyonu verileri ışığında elde edilen günlük eğik panel ışıınımı, ortalama sıcaklık ve inverter güç verileri iki bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde eğitimde kullanılmak üzere 115 farklı güne ait veriler, ikinci bölümde ise yapay sinir ağı modelinde kullanılan 30 farklı güne ait test verileri mevcuttur. Test için kullanılacak verilerde farklı mevsimlerin açık, kapalı ve yarı açık hava şartlarına ait veriler seçilmiştir. Kullanılan veriler 2.3 kW’lık güneş santralinin birim yüzey verileridir. Tablo 5.2’de eğitim ve test verilerinin bir kısmı verilmiştir.

Tablo 5.2. Eğitim ve test verileri

Eğitim verileri				Test verileri			
Tarih	Işınım	Sıcaklık	Güç	Tarih	Işınım	Sıcaklık	Güç
07.12.2012	340,5355	0,508269	289,1334	23.01.2013	2599,966	7,192606	2304,769
08.12.2012	999,1535	7,441425	857,544	29.01.2013	4403,873	8,634198	4409,684
10.12.2012	559,4991	1,644926	586,3322	13.02.2013	6167,975	15,46362	6131,1
11.12.2012	527,981	3,977665	531,7222	22.02.2013	2173,949	6,469541	2054,612
17.12.2012	916,1123	1,016007	780,5418	23.02.2013	1067,038	4,566784	827,1582
18.12.2012	486,8401	-0,91625	218,5319	28.02.2013	1972,512	6,210411	1743,11
19.12.2012	784,7293	-1,72242	356,556	05.03.2013	7140,531	7,27952	7258,601
20.12.2012	526,9874	-1,91279	188,801	10.03.2013	6322,314	18,55218	5897,92
21.12.2012	924,3756	4,364875	688,8732	13.03.2013	3775,055	12,0248	3372,56
25.12.2012	3616,033	9,397862	3895,62	17.03.2013	4873,474	14,39153	4730,336
26.12.2012	5042,018	11,65774	5244,915	26.03.2013	2351,069	9,250477	2284,177
27.12.2012	4779,787	14,24987	4796,832	30.03.2013	5721,614	22,05154	4852,423
29.12.2012	3350,905	11,93875	3587,993	06.04.2013	7550,518	25,70972	6585,18
01.01.2013	4565,593	9,264451	4490,77	12.04.2013	5236,716	15,76349	4780,101
13.01.2013	2640,722	4,239738	2536,444	16.04.2013	2641,347	8,038094	2548,495
14.01.2013	3539,041	9,046477	3296,52	22.04.2013	7513,138	22,184	6505,858
18.01.2013	4466,427	7,373837	4223,279	25.04.2013	8302,019	26,21213	7033,145
19.01.2013	3390,377	4,907202	3030,522	05.05.2013	6994,715	29,03942	5809,306
20.01.2013	3633,635	9,741684	3704,372	02.06.2013	7676,3	32,01736	5975,535
21.01.2013	2952,959	8,982335	2993,431	05.06.2013	7906,79	33,35639	6029,411
22.01.2013	1127,972	1,5348	852,0025	12.06.2013	8464,434	34,95403	6421,9
24.01.2013	1561,125	8,485006	1127,459	25.06.2013	8640,17	35,04596	6533,782
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

Matlab programında yapay sinir ağlarının eğitimi için “train” fonksiyonu kullanılır. “Train” fonksiyonunun kullanımı denklem 5.14’te verilmiştir.

$$[\text{net}, \text{tr}] = \text{train}(\text{net}, \text{giriş}, \text{target}) \quad (5.14)$$

Burada;

net = newff ile oluşturulan ağı,

giriş = Eğitim giriş setini,

target = Giriş değerlerine karşılık gelen çıkış inverter güç değerlerini ifade etmektedir.

Eğitimin katmanlar arası ağırlık ve bias değerleri başlangıçta rastgele atanır. Fakat ağı verilen örnekler sayesinde bu değerler en iyi benzetim sonucuna göre güncellenecektir. Ağıımız eğitilirken belirlenen hata değeri sınırına veya iterasyon (yenileme) sayısına ulaşınca kadar eğitim devam eder.

5.4. Hata Hesaplamaları

Yapay sinir ağı modelinin eğitilmesi ile test aşamasında iyi tahminlerin elde edilebilmesi için uygun parametre değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler bir önceki bölümde anlatılmıştı. Eğitim aşamasına geçilmeden önce gizli katman sayısı, transfer fonksiyonu seçimleri, eğitim ve öğrenme fonksiyonlarının hangisi olacağı gibi soruların cevabı deneme yanılma ile en düşük hata değerine ulaşılması ile elde edilir. Bu çalışmada hata değerlerini bulmada ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) yöntemi kullanılmıştır.

MAPE = Gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasının gerçek değerlerin yüzdesi şeklinde gösterilmesi olarak ifade edilir. Denklem 5.15'te gösterilmiştir.

$$MAPE = 100. \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|actual_i - forecast_i|}{actual_i}}{n} \quad (5.15)$$

Burada;

$actual_i$ = Gerçek değeri,

$forecast_i$ = Tahmin değerini,

n = Girdi sayısını ifade etmektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda yapay sinir ağının parametreleri değiştirilerek gizli katman sayısına ve katmanlara uygulanacak transfer fonksiyonu çeşidine göre en iyi YSA modeli seçilmiştir. 3 katmandan oluşan YSA modelinde 2 nöronlu giriş katmanı, 7 nöronlu gizli katman ve tek nöronlu çıkış katmanı bulunmaktadır. Bu katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak sırasıyla 'logsig', 'purelin', 'purelin' transfer fonksiyonları kullanılmıştır.

5.5. Simülasyon Sonuçları

Eğitilen ağın simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için Matlab yapay sinir ağı fonksiyonlarından “sim” kullanılmıştır. Bu fonksiyonun kullanımı denklem 5.16’daki gibidir.

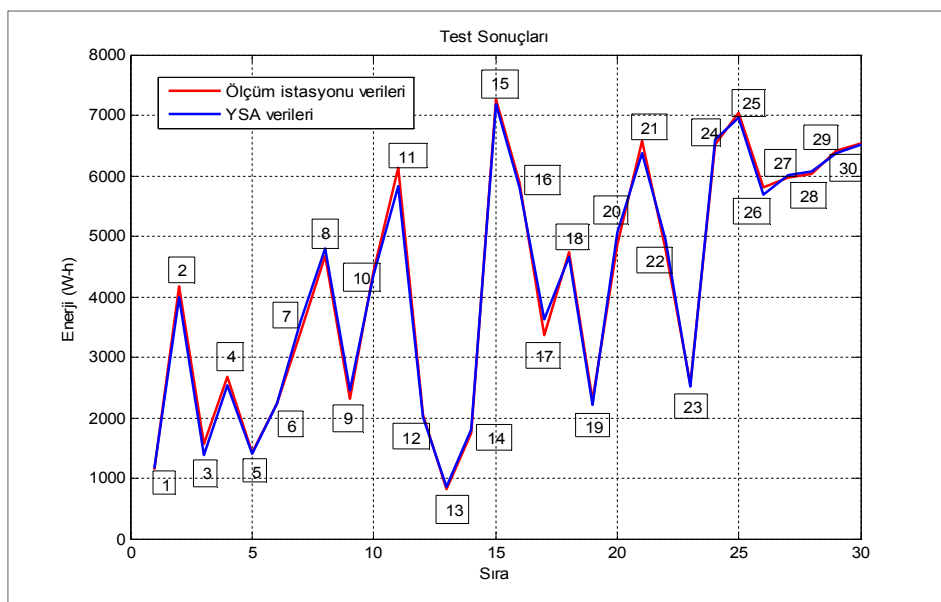
$$\text{tahmin} = \text{sim}(\text{net}, \text{b}) \quad (5.16)$$

Burada;

net = Eğitilen ağ

b = Eğitilen ağı giriş olarak verilen bağımsız değişkenler olarak ifade edilir.

Simülasyon sonucunda elde edilen tahmin değerleri minimize edilmiş değerlerdir. Bu değerlerin eğitimde uygulanan normalizasyon kuralına göre gerçek değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bu çevrim sonucunda elde edilen güç değerleri ile inverter gerçek güç değerleri Matlab ortamında geliştirilen yazılım ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda grafiklerin % 2.8 hata ile gerçeğe yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu durum şekil 5.7 ile grafik üzerinde, test için kullanılan günlere sıra değeri verilerek tablo 5.3’te de gün bazında yüzde hata oranları verilerek gösterilmiştir. Bu çalışma ile Elazığ ilinde kurulu solar sistemin yılın herhangi bir gününde üreteceği günlük enerji miktarı tahmin edilebilmektedir.



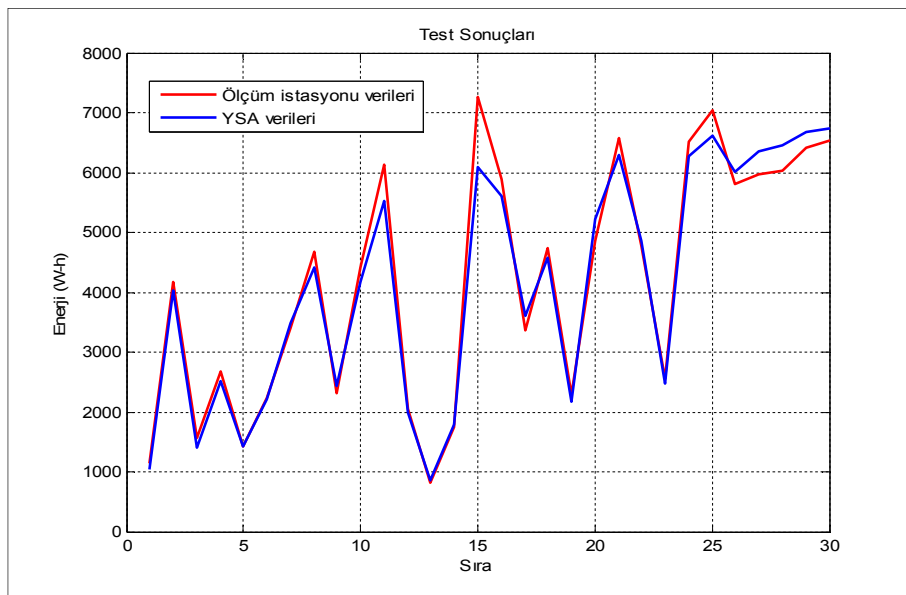
Şekil 5.7. Test verilerinin sıralanması

Tablo 5.3'te kış aylarına ait hata oranlarının diğer mevsimlere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Kış aylarında hata oranlarının yüksek olmasının en büyük nedeni önceki bölümlerde kullanılan berraklık indeksine (k_T) bağlı ışıınım değerlerinin gerçek değerlere oranla sapmalar gösterebilmesidir.

Tablo 5.3. YSA test verilerinin günlük hata oranları

Sıra	Gün	Hata(%)	Sıra	Gün	Hata(%)	Sıra	Gün	Hata(%)
1	25 Kasım	0,1	11	13 Şubat	5,0	21	6 Nisan	3,1
2	28 Kasım	4,4	12	22 Şubat	1,3	22	12 Nisan	3,2
3	6 Aralık	9,7	13	23 Şubat	4,4	23	16 Nisan	1,3
4	16 Aralık	4,5	14	28 Şubat	4,2	24	22 Nisan	1,4
5	22 Aralık	0,2	15	5 Mart	1,3	25	25 Nisan	1,1
6	28 Aralık	0,5	16	10 Mart	1,8	26	5 Mayıs	2,1
7	4 Ocak	5,5	17	13 Mart	7,6	27	2 Haziran	0,5
8	17 Ocak	2,4	18	17 Mart	1,9	28	5 Haziran	0,9
9	23 Ocak	7,4	19	26 Mart	3,0	29	12 Haziran	0,6
10	29 Ocak	1,2	20	30 Mart	4,4	30	25 Haziran	0,4

Üretilen enerjinin tahmininde ışıının yanında sıcaklık değerleri de önemlidir. Ağ modelinin eğitim ve test işlemlerinde sıcaklık değeri kullanılmadan sadece ışıınım değerleri ile yapılan eğitim ve test sonuçlarına göre şekil 5.8'deki grafikte görüldüğü gibi hata yüzdesi yükselmiştir. Böylelikle sıcaklığın sonuçlara etkisi görülmüştür.



Şekil 5.8. Sıcaklığın tahmin sonuçlarına etkisi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde giderek yaygınlaşmakta olan fotovoltaik sistemlerden yüksek oranda verim elde edebilmek veya sistemden elde edilecek enerjiyi tahmin edebilmek için bazı kavramların bilinmesi gerekmektedir. İlk olarak PV sistemlerin modellenmesi ve sistemin parametrelerinin sisteme olan etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Modellenen sistemden istenen miktarda enerji elde edilebilmesi için PV ünitelerin kurulması son aşamadır. Kurulu bir PV sistemden elde edilecek gücün, sistemin kurulduğu bölge ve bölgenin iklimiyle doğrudan bir ilişkisi vardır. Güneş enerjisinden en iyi şekilde faydalanabilmek için iklimlere, aylara, günlere ve saate göre değişen güneş açılarının panel ile olan ilişkisinin ve kurallarının bilinmesi gerekir. Bu ilişkiler ışığında belirli bir eğimde konumlandırılmış panele gelen ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımdan farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle enerji tahmininin YSA ile eğik paneller üzerinde yapılabilmesi için gelen ışınım miktarı hesabının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada Elazığ ilinde güneye dönük 23° açı ile konumlandırılmış fotovoltaik sistemden elde edilecek gücün tahmini için 2013 yılı sıcaklık, ışınım, rüzgâr hızı ve inverter verileri ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. Elde edilen verilerin sistemden elde edilecek gücün tahmininde kullanılması için yapay sinir ağına uygun verilere dönüştürülmesi gerektiği görülmüştür. Gerekli eğik yüzey ışınımı ve panel yüzey sıcaklığı parametreleri literatür araştırması sonucunda hesaplanmıştır. Bu parametreler ile oluşturulan veriler eğitim ve test verilerine ayrılmış, ayrılan verilerin miktarı YSA performansı açısından belirlenen yüzdeler oranında hesaplanmıştır. Analiz ve deneyler sonucunda oluşturulan çok katmanlı ve geri yayımlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli eğitim verileri ile eğitilip test verileri ile yapay sinir ağının tahmin yeteneği sınanmıştır.

Yapay sinir ağının performansı için verilerin normalizasyon kuralları ile yapay sinir ağına uygun hale getirilmesi zorunluluğu tespit edilmiş ve farklı normalizasyon kuralları, veri setinin yapay sinir ağı modeline uygunluğu için denenmiştir. Normalizasyon kurallarından medyan kuralının tahmin sonuçlarındaki performansının diğer normalizasyon (min-max, z-score, sigmoid) kurallarına oranla daha iyi olduğu görülmüştür. Farklı veri setleri ile farklı uygulamalarda hangi normalizasyon kuralının daha uygun olacağı deneme yanılma yoluyla tespit edilmiştir.

Yapay sinir ağı modelinde farklı katman sayıları ve nöron âdeti deneme yanılma yoluyla incelenmiş, en yüksek performansa sahip YSA modeli seçilmiştir. Oluşturulan yapay sinir ağı test sonuçlarına göre katman sayısının 3 katmandan fazla veya az olması performans açısından olumsuz sonuçlar vermiştir. Aynı şekilde gizli katman nöron sayısının da 7'den daha az veya daha fazla olması durumunda daha yüksek hatalar elde edilmiştir. Bu bakımdan YSA 'da kullanılacak katman sayılarının ve gizli katman nöron adetlerinin tamamen veri seti sayısına ve eğitim veri seti ile test veri seti sayısının oranına bağlı olarak değişeceği görülmüştür.

Literatürde YSA çalışmalarında öngörüleme işlemleri için geri yayımlı algoritmalar kullanılmaktadır. YSA modelinde de eğitimde kullanılan geri yayımlı 'trainbr' (Levenberg-Marquardt) öğrenme algoritmasının diğer algoritmalara (trainoss, trainrp, trainlm vs) göre daha iyi ve daha hızlı sonuçlar verdiği ve optimum ağ yapısına 20 iterasyon sonucunda ulaştığı görülmüştür.

Tahmin için kullanılacak YSA modelindeki girişler, sonuca etkileri göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Bu çalışmada panel yüzey sıcaklığının eğitimde etkin bir parametre olduğu grafiklerle ortaya konmuştur. Ayrıca toplam veri setinin ne kadarının eğitimde, ne kadarının test için kullanılacağı da önemli bir ayrıntıdır. Bu çalışmada toplam verinin %80'nin eğitim, %20'sinin de test verisinde kullanılmasının en uygun seçim olduğu tespit edilmiştir.

Çeşitli mimarilere sahip yapay sinir ağı modellerinin deneyleri sonucunda fotovoltaiik sistemden elde edilecek gücün tahmini % 2.8 hata oranı ile gerçekleştirilmiş olup Matlab ortamında geliştirilen yazılımla bu durum ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.energydigital.com/renewables/2927/Beyond-Solar-Panels:-6-Types-of-Solar-Power-Plants>, 19 Temmuz 2014.
- [2] **Hsu, C. C., Chen, C. Y.**, 2003. Regional Load Forecasting İn Taiwan Applications Of Artificial Neural Networks.
- [3] **Hamzaçebi, C., Kutay, F.**, 2004. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 19, No 3, 227-233, 2004.
- [4] **Liang, R. H., Cheng, C. C.**, 2002. Short Term Load Forecasting By A Neuro-Fuzzy Based Approach.
- [5] **Tamimi, M., Egbert, R.**, 2000. Short Term Electric Load Forecasting Via Fuzzy Neural Collaboration.
- [6] **Srinivasan, D.**, 1998. Evolving Artificial Neural Networks For Short Term Load Forecasting.
- [7] **Sivamadhavi, V., Selvaraj, R. S.**, 2012. Prediction Of Monthly Mean Daily Global Solar Radiation Using Artificial Neural Network.
- [8] **Kumar, R., Aggarwal, R. K., Sharma, J. D.**, 2012. Solar Radiation Estimation Using Artificial Neural Network: A Review, Asian Journal of Contemporary Sciences, Vol. 1, pp. 12-17.
- [9] **Krishnaiah, T., Rao, S. S., Madhumurthy, K., Reddy, K. S.**, 2007. Neural Network Approach for Modelling Global Solar Radiation, Journal of Applied Sciences Research, 3(10): 1105-1111.
- [10] **Yiğit, A., Atmaca, İ.**, 2010. Güneş Enerjisi, Alfa Akademi Yayım, Bursa.
- [11] **Duffie, J. A., Beckman, W. A.**, 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- [12] **Karamanav, M.**, 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [13] <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/gunes-pili-nedir-5666>, 19 Temmuz 2014.
- [14] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/silisyum-tabanlı-geleneksel-gunes-pilleri-nasil-calisir/8710#ad-image-0>, 19 Temmuz 2014.

- [15] **Atabay, M.**, 2006. Lityum-İyon Bataryaların Fotovoltaik Sistemlerde Uygulanabilirliğinin Diğer Batarya Tipleri ile Karşılaştırılması Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [16] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, 5 Eylül 2014.
- [17] **Sera, D., Teodorescu, R., Rodriguez, P.**, 2007. PV Panel Model Based On Datasheet Values.
- [18] **Adamo, F., Attivissimo, F., Nisio, A. D., Lanzolla, A. M. L., Spadavecchia, M.**, 2009. Parameters Estimation For A Model Of Photovoltaic Panels, XIX IMEKO World Congress, Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, Portugal.
- [19] **Wang, Y. J., Hsu, P. C.**, 2009. Analysis of Partially Shaded PV Modules Using Piecewise Linear Parallel Branches Model, World Academy of Science, Engineering and Technology 60.
- [20] **Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Ruppert, E.**, 2009. Modeling And Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays, Brazilian Journal of Power Electronics, vol. 14, no. 1, pp. 35-45, ISSN 1414-8862.
- [21] **Walker, G.**, Evaluating Mppt Converter Topologies Using A Matlab PV Model, Dept of Computer Science and Electrical Engineering, University of Queensland, Australia.
- [22] **Megep**, 2012. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, 522EE0359, Ankara.
- [23] **Can, H., Parlak, K. Ş., Soya, İ.**, 2010. Fotovoltaik Panellerin Katalog Değerleri Kullanılarak Modellenmesinde Parametre Tahmini, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, Elazığ.
- [24] **Şimşek, K. G.**, 2010. Elektrik Enerjisi Üreten Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemi Fonksiyonel Modellemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [25] <http://www.sosmath.com/calculus/diff/der07/der07.html>, 19 Temmuz 2014.
- [26] **Matagne, E., Chenni, R., El Bachtiri, R.**, 2007. A Photovoltaic Cell Model Based On Nominal Data Only.
- [27] **Glass, M. C.**, 1996. Improved Solar Array Power Point Model With Spice Realization, in Proc. IECEC, Vol. 1, pp. 286–291, Aug.
- [28] **Kajihara, A., Harakawa, A. T.**, 2005. Model Of Photovoltaic Cell Circuits Under Partial Shading, in Proc. ICIT, pp. 866–870.
- [29] **Khouzam, K., Ly, Cuong., Koh, C. K., Ng, Y.**, 1994. Simulation and Real-Time Modelling Of Space Photovoltaic Systems.

- [30] **Elshatter, T. F., Elhagry, M. T., Abou-Elzahab, E. M., Elkousy, A. A. T.,** 2000. Fuzzy Modeling Of Photovoltaic Panel Equivalent Circuit.
- [31] **Riley, D. M., Venayagamoorthy, G. K.,** 2011. Comparison Of A Recurrent Neural Network Pv System Model With A Traditional Component-Based PV System Model.
- [32] **Mekki, H., Mellit, A., Salhi, H., Khaled, B.,** 2007. Modeling and Simulation Of Photovoltaic Panel Based On Artificial Neural Networks and VHDL-Language.
- [33] **Eke, R.,** 2000. Fotovoltaik (PV) Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [34] **Öztürk, H. H.,** 2000. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [35] **Şenpınar, A.,** 2006. Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması, Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Endüstriyel Elektronik Programı, Elazığ.
- [36] **Ensari, T.,** 2003. Hücresel Yapay Sinir Ağları Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] **Elmas, Ç.,** 2007. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [38] **İnal, M.,** 1996. İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Yapay Sinir Ağıyla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [39] **Çakır, Ş., Ertunç, H. M., Ocak, H.,** 2009. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Karbonat Kayalarındaki Dokunun Tanımlanmasına Bir Örnek: Akveren Formasyonu, Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2, 71-79.
- [40] **Dandıl, Beşir.,** 1998. Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Sistem Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [41] **Eser, S.,** 2006. Yapay Sinir Ağları ile Yüz Sezimi ve Takibi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Kılıç, K.,** Yapay Sinir Ağı Tasarımı: Eğitim Sürecinin Optimizasyonu Ve Gıda Mühendisliği Alanında Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [43] **Yavuz, S., Deveci, M.,** 2013. İstatistiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağı Performansına Etkisi.
- [44] **Teknodan,** 2010. Güneş Enerjisi Teknik Danışmanlık Ve Fizibilite Hizmetleri.
- [45] **Kamath, H. R., Goswami, A. K., Kumar, A., Aithal, R. S., Singh, P. K.,** 2011. RBF and BPNN Combi Model Based KALMAN Filter Application for Maximum Power Point Tracker of PV Cell.

- [46] **Premrudeepreechacharn, S., Patanapirom, N.,** 2003. Solar-Array Modelling And Maximum Power Point Tracking Using Neural Networks.
- [47] **Bulut, H.,** 2008. Adana İlinde Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Kenan DONUK 24.01.1984 tarihinde Şırnak'ın Cizre ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2003 yılında Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği bölümünü kazandı. 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. 2009 Eylül ayı itibari ile Şırnak Üniversitesi Cizre Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı bölümünde öğretim görevlisi olarak görev yapmakta ve 2010 yılı itibariyle de Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.