

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK SİSTEMİN  
YAPAY ZEKA ALGORİTMASI İLE GÜÇ TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sultan Mehtap İZMİRLİ AYAN**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN**

**TEMMUZ 2018**



**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK SİSTEMİN  
YAPAY ZEKA ALGORİTMASI İLE GÜÇ TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sultan Mehtap İZMİRLİ AYAN  
(1148204104)**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN**

**TEMMUZ 2018**



Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148204104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **S. Mehtap İZMİRLİ AYAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“FOTOVOLTAİK SİSTEMİN YAPAY ZEKA ALGORİTMASI İLE GÜÇ TAHMİNİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN**  
Kırklareli Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK**  
Trakya Üniversitesi



**Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER**  
Kırklareli Üniversitesi



**Teslim Tarihi :** **21 Haziran 2018**  
**Savunma Tarihi :** **03 Temmuz 2018**



*Çok kıymetli Aileme,*





Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

S. Mehtap İZMİRLİ AYAN

.../.../2018



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca bana yol gösteren destek ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, analiz çalışmalarına yardımcı olan yakın arkadaşım Öğr. Gör. Seda AKIN GÜRDAL'a, destekleriyle her zaman yanımda olan çalışma arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALTAY ve Dr. Öğr. Gör. Erkan TAŞDEMİR'e, ve çok değerli eşleri aynı zamanda yakın arkadaşlarım olan Ayşe ALTAY ve Tülin TAŞDEMİR'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemiz için bizi destekleyen, maddi manevi her koşulda yanımda olan, keşke bugünleri de görebilseydi dediğim çok sevgili rahmetli annem AYŞE İZMİRLİ' ye, varlığıyla her zaman yanımda olup maddi manevi desteğini esirgemeyen babam ORHAN İZMİRLİ'ye, abim Mustafa İZMİRLİ ve kardeşim Serdar İZMİRLİ'ye; her zaman her koşulda yanımda olduğu gibi, tez çalışmam boyunca da anlayışını ve desteğini gördüğüm sevgili eşim Sefer AYAN'a, biricik oğlumuz Bahadır AYAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2018

S. Mehtap İZMİRLİ AYAN  
(Öğr. Gör.)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
KISALTMALAR .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	3
<b>2. TÜRKİYE' NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE HEDEFLERİ .....</b>	<b>7</b>
2.1 Marmara Bölgesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	10
2.2 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi .....	11
2.2.1 Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi (CSP) .....	11
2.2.1.1 Doğrusal yoğunlaştırıcılar .....	12
2.2.1.2 Noktasal yoğunlaştırıcılar .....	15
2.2.2 Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistem (CPV).....	17
2.2.3 Fotovoltaik sistemler (FV).....	18
<b>3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER .....</b>	<b>19</b>
3.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı .....	19
3.1.1 İdeal güneş pili modeli .....	22
3.1.2 Fotovoltaik modüller .....	26
3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri .....	27
3.2.1 Kristal silisyum hücreler .....	28
3.2.2 İnce film güneş pilleri .....	29
3.2.3 Grup III-V bileşik fotovoltaik hücreleri .....	31
3.2.4 Çok eklemli (tandem) fotovoltaik hücreler .....	31
3.2.5 Organik ve polimer fotovoltaik hücreler .....	31
3.3 Fotovoltaik Sistem Çeşitleri .....	31
3.3.1 Şebekeden bağımsız (Off Grid) sistemler.....	32
3.3.2 Şebeke bağlantılı (On Grid) sistemler .....	34
3.3.3 Hibrid sistemler .....	35
3.4 Fotovoltaik Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler.....	36
3.4.1 Teknik özellikler .....	36
3.4.2 Konum .....	37
3.4.3 Gölgeleme.....	38
3.4.4 Güneş takip sistemleri.....	38
3.4.5 Maksimum güç noktası.....	42
3.4.6 Çevresel faktörler.....	43
3.4.7 Bakım ve temizlik.....	45
<b>4. YAPAY ZEKA .....</b>	<b>47</b>

4.1 Yapay Zekanın Gelişim Süreci.....	47
4.2 Yapay Sinir Ağları.....	49
4.2.1 Yapay sinir ağının (YSA) biyolojik yapısı .....	50
4.2.2 Yapay sinir ağı birimleri .....	52
4.2.3 Yapay sinir ağı özellikleri.....	55
4.2.4 Yapay sinir ağları kullanım alanları.....	57
4.2.5 Ağ parametreleri seçimi .....	58
4.3 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	58
4.3.1 İleri beslemeli ağ.....	59
4.3.2 Geri beslemeli ağ .....	59
4.4 Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları.....	60
4.5 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları .....	61
4.6 Geriye Yayılım Algoritması .....	62
4.6.1 Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması (trainlm) .....	63
4.6.2 BFGS Yarı Newton geri yayılım algoritması (trainbfg).....	63
4.6.3 Momentumlu ve değişken öğrenme oranlı eğitim (traingdx) .....	64
4.6.4 Tek adım algoritması (trainoss) .....	65
4.6.5 Eşlenik gradyan geri yayılımı (traincgp) .....	65
4.6.6 Powell- Beale eşlenik gradyan geri yayılımı (traincgb) .....	65
4.6.7 Ölçekli gradyan eşlenik geri yayılımı (trainscg).....	66
<b>5. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERDEN ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ .67</b>	
5.1 Araştırma Verilerinin Normal Dağılımı ve Dönüştürme İşlemleri .....	67
5.2 Korelasyon Analizi .....	67
5.3 Regresyon Analizi .....	68
<b>6. YAPAY SİNİR AĞI ALGORİTMASININ FOTOVOLTAİK PANELİN GÜÇ TAHMİNİNDE UYGULANMASI .....</b>	<b>69</b>
6.1 Sistemde Kullanılan Cihazlar .....	69
6.2 Çevresel Verilerin Ölçülmesi .....	70
6.3 YSA nın Oluşturulması .....	71
6.4 Verilerin Normalizasyonu .....	73
6.5 Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi .....	74
6.6 Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ) .....	75
6.7 Hata Değerlerinin Hesaplanması .....	76
6.8 Bulgular .....	76
<b>7. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>97</b>

## KISALTMALAR

<b>ANN</b>	: Artificial Neural Network
<b>CPV</b>	: Concentrated Photovoltaic System (Yoğunlaştırılmış FV)
<b>CSP</b>	: Concentrated Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Sistemi)
<b>DNI</b>	: Direct Normal Irradiance (Doğrudan Normal Güneş Işınımı)
<b>EİE</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>FV</b>	: Fotovoltaik Sistem
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>MABE</b>	: Mean Absolute Bias Error (Ortalama Mutlak Sapma Hatası)
<b>MAPE</b>	: Mean Absolute Percent Error (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi)
<b>MGTS</b>	: Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi
<b>MSE</b>	: Mean Square Error
<b>PID</b>	: Potential Induced Degradation (Potansiyele Bağlı Bozulma)
<b>PV</b>	: Photovoltaic System
<b>RMSE</b>	: Root Mean Square Error
<b>TEP</b>	: Petrol Eşdeğeri
<b>YEGM</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>YSA</b>	: Yapay Sinir Ağları
<b>YZ</b>	: Yapay Zeka





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli.....	8
<b>Çizelge 2.2</b> : Türkiye' nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	10
<b>Çizelge 2.3</b> : CSP teknolojilerinin teknik ve ekonomik olarak karşılaştırılması.....	17
<b>Çizelge 3.1</b> : Güneş hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri.....	37
<b>Çizelge 4.1</b> : Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağlarının karşılaştırılması.....	52
<b>Çizelge 4.2</b> : Bazı toplama fonksiyonları ve açıklamaları.....	54
<b>Çizelge 4.3</b> : Aktivasyon fonksiyonları.....	55
<b>Çizelge 4.4</b> : Yapay sinir ağlarının amaçlarına göre kullanım alanları.....	57
<b>Çizelge 6.1</b> : Test edilmiş fotovoltaiik panel özellikleri. (120W).....	69
<b>Çizelge 6.2</b> : Güvenilirlik analizi sonuçları.....	77
<b>Çizelge 6.3</b> : Güvenilirlik analizi Cronbach's Alpha değerleri.....	77
<b>Çizelge 6.4</b> : Korelasyon analizi.....	78
<b>Çizelge 6.5</b> : Girdi verilerinin korelasyon tablosu.....	78
<b>Çizelge 6.6</b> : Tüm verilerin kullanıldığı regresyon sonuçları tablosu.....	79
<b>Çizelge 6.7</b> : Varyans analizi tablosu.....	79
<b>Çizelge 6.8</b> : Regresyon katsayıları tablosu.....	80
<b>Çizelge 6.9</b> : Enerji verilerini tahmin etmek için kullanılan eğitim algoritmaları ve hesaplanan değerler.....	81



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Güneş enerjisi potansiyeli atlası .....	7
Şekil 2.2 : Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün) .....	9
Şekil 2.3 : Türkiye güneşlenme süresi .....	9
Şekil 2.4 : Kırklareli iline ve ilçelerine ait güneş enerji potansiyeli .....	10
Şekil 2.5 : Kırklareli Pınarhisar ilçesine ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri .....	11
Şekil 2.6 : Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları .....	13
Şekil 2.7 : Doğrusal fresnel yansıtıcı sistemleri .....	14
Şekil 2.8 : Doğrusal fresnel yansıtıcı sistemi çalışması .....	15
Şekil 2.9 : İspanya da bulunan PS20 güneş kulesi santrali .....	16
Şekil 2.10 : Stirling motoru kullanılan bir parabolik çanak .....	17
Şekil 2.11 : CPV sistemin yakından ve uzaktan görünümü .....	18
Şekil 3.1 : Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi .....	20
Şekil 3.2 : PN eklem oluşması .....	21
Şekil 3.3 : PV hücrelerin çalışma ilkesi .....	22
Şekil 3.4 : İdeal güneş pili modeli .....	23
Şekil 3.5 : Güneş pilinin diyota benzerliği .....	23
Şekil 3.6 : FV hücre tek diyot iki dirençli eşdeğer devresi .....	24
Şekil 3.7 : Fotovoltaik modülün eşdeğer devresi .....	25
Şekil 3.8 : FV Hücre farklı ışınımlardaki I-V ve P-V eğrileri .....	25
Şekil 3.9 : Tipik bir PV modül yapısı .....	27
Şekil 3.10 : Tek kristal PV hücreler .....	28
Şekil 3.11 : Çok kristal PV hücreler .....	29
Şekil 3.12 : İnce film hücreler .....	30
Şekil 3.13 : Şebekeden bağımsız PV modül kullanımı .....	33
Şekil 3.14 : Şebekeden bağımsız PV sistem .....	33
Şekil 3.15 : Şebeke bağlantılı PV sistem .....	34
Şekil 3.16 : Şebeke bağlantılı (On-Grid) sistem .....	35
Şekil 3.17 : Rüzgar türbinli bir hibrit sistemde bulunan bileşenler .....	36
Şekil 3.18 : FV panel garanti süreleri .....	37
Şekil 3.19 : Hareketli ve gölgelemeli fotometreler .....	39
Şekil 3.20 : Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu .....	40
Şekil 3.21 : Zenit açısı .....	41
Şekil 3.22 : Azimut açısı .....	41
Şekil 3.23 : Güneş yükseklik açısı .....	42
Şekil 3.24 : PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası .....	43
Şekil 3.25 : Sahil yakınındaki, fabrika bölgesine kurulmuş bir PV santral .....	45
Şekil 4.1 : Biyolojik bir nöronun basitleştirilmiş bir modeli .....	51
Şekil 4.2 : Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi .....	51
Şekil 4.3 : Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağının şematik gösterimi .....	51

<b>Şekil 4.4</b> : Yapay Sinir Hücresi. ....	53
<b>Şekil 4.5</b> : YSA'nın sınıflandırılması. ....	59
<b>Şekil 4.6</b> : İleri beslemeli sinir ağı için blok gösterimi. ....	59
<b>Şekil 4.7</b> : Geri beslemeli sinir ağı için blok gösterimi. ....	60
<b>Şekil 4.8</b> : Tek katmanlı YSA modeli. ....	60
<b>Şekil 4.9</b> : Çok katmanlı ağ yapısı. ....	62
<b>Şekil 6.1</b> : Kullanılan sistem. ....	70
<b>Şekil 6.2</b> : Kullanılan sistem görüntüleri. ....	70
<b>Şekil 6.3</b> : Ölçümde kullanılan teknik cihazlar. ....	71
<b>Şekil 6.4</b> : Kullanılan YSA mimarisi. ....	72
<b>Şekil 6.5</b> : YSA modeline ait trainlm algoritmasının eğitim verileri ve test verileri grafikleri. ....	82
<b>Şekil 6.6</b> : Trainlm algoritmasına ait $n1=1$ ve $n2=3$ kullanıldığında oluşan performans çıktısı. ....	83
<b>Şekil 6.7</b> : Kurulan YSA yapısı. ....	84
<b>Şekil 6.8</b> : Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin YSA ile karşılaştırılması. ....	84
<b>Şekil 6.9</b> : Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin çoklu regresyon analizi ile karşılaştırılması. ....	85
<b>Şekil 6.10</b> : Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin çoklu regresyon analizi ve YSA ile karşılaştırılması. ....	86

## FOTOVOLTAİK SİSTEMİN YAPAY ZEKA ALGORİTMASI İLE GÜÇ TAHMİNİ

### ÖZET

Teknolojik gelişmelerle birlikte, enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Günümüzde, Dünyadaki bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklar ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların doğaya olumsuz etkilerinin olduğu düşünüldüğünde, fosil yakıtların canlılara ve çevremize verdiği zarar giderek büyümektedir. Bu olumsuz çevresel etkenlerden ve bu kaynakların bir gün tükeneceğinden dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz olmuştur. Bu kaynakların en önemlilerinden biri olan güneş enerjisinin, fotovoltaik paneller yardımı ile doğrudan elektrik enerjisine çevrilebildiği için enerji ihtiyacını karşılamadaki rolü artacaktır.

Yapılan bu çalışmada, değişen çevresel faktörler göz önünde bulundurularak Fotovoltaik sistemin üreteceği gücün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çevresel faktörler olarak, radyasyon, panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar soğuğu ve nem verileri farklı zamanlarda ölçülerek kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında Yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağı algoritması ile fotovoltaik panelin üreteceği güç tahmin edilmiştir. Sekiz değişik yapay sinir ağı eğitim algoritması oluşturulmuş, test edilmiş ve başarı sonuçları karşılaştırılmıştır. En düşük ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) %6,6 ve başarı oranı ( $R^2$ ) %98,9 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte fotovoltaik panelin güç tahmininde, yapay sinir ağının performansı istatistiksel tekniklerden Çoklu Regresyon Analizi ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar yapay sinir ağlarının, fotovoltaik panellerin ürettiği gücü doğru tahminleme yapabildiğini göstermektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde; Türkiye Güneş enerjisi potansiyelinden, bölgemizdeki ve ilimizdeki güneş enerjisi potansiyeline kadar, güneş enerjisi istatistikleri araştırmalarla ulaşılan değerler ortaya konmuştur. İkinci bölümde; Güneşten enerji üretiminin yöntemlerinden bahsedilmiş ve bu sistemler detaylandırılarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; fotovoltaik sistemler, bu sistemlerin yapısı, hücre çeşitleri, sistem çeşitleri, panel performansını etkileyen etmenler gibi konular hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde; yapay zeka bölümünde yapay sinir ağı ile ilgili bilgiler verilmiş çalışmada kullanılan algoritmalarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde; kullanılan istatistiksel yöntemlerden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde ise, deneysel yöntemler ile yapılan çalışmadan bahsedilmiştir. Öncelikle kullanılan FV panelin özellikleri, kullanılan ölçüm cihazları anlatılmıştır. Tahminlemede kullanılacak YSA modeli hakkında bilgiler verilmiş, MATLAB programı kullanılarak geliştirilen yazılım ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Bununla birlikte ve SPSS programı ile yapılan Çoklu Regresyon Analizinden bahsedilerek bu bölüm detaylandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, FV sistemde çevresel faktörlerin güce olan etkisi incelenmiş ve ayrıca değişen çevresel faktörlere göre FV panelin üreteceği güç başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.



# **POWER ESTIMATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHM**

## **SUMMARY**

With the technological advancements, the need for energy is rising. Nowadays this need is mostly met by fossil fuels. When the adverse effects of fossil fuels on the environment are thought, the damage caused by fossil fuels to life and the environment is growing. Because of these negative environmental factors and due to the fact that these sources will be exhausted one day, it is inevitable to turn to renewable energy sources. Solar energy, one of the most important of these resources, will play a pivotal role in meeting energy needs as it can be directly converted to electricity with the help of photovoltaic panels.

In this work, it is aimed to estimate the power that the photovoltaic system will produce by considering the changing environmental factors. As for environmental factors, radiation, panel temperature, ambient temperature, wind speed, wind chill and humidity data were measured and recorded at different times. With this data, the power that the photovoltaic panel will generate was estimated by one of the artificial intelligence methods, the artificial neural network algorithm. Eight different artificial neural network training algorithms were constructed, tested, and their achievement results were compared. The lowest mean absolute percentage error (MAPE) was 6,6% and the success rate ( $R^2$ ) was 98,9%. Moreover, in the estimation of the power of the photovoltaic panel, the performance of the artificial neural network was compared with statistical techniques by Multiple Regression Analysis. These results show that artificial neural networks can accurately estimate the power generated by photovoltaic panels.

In the first part of the study; from Turkey's solar energy potential to our region and our province, solar energy statistics was revealed as values reached by the research. In the second chapter; the methods of solar energy production were mentioned and these systems were explained in detail. In the third chapter; photovoltaic systems, structure of these systems, cell types, system types, factors affecting the panel performance were given in detail. In the fourth chapter; information about artificial neural networks in the artificial intelligence section were given and the algorithms used in the study were mentioned. In the fifth chapter; used statistical methods were mentioned. In the sixth chapter, the research done by experimental method was mentioned. Firstly, the properties of the used FV panel and the measuring devices were explained. The information about the YSA model to be used in the estimation were given, and the software developed using the MATLAB program was explained. Furthermore, this section was elaborated with references to the Multiple Regression Analysis done with the SPSS program.

In this thesis study, the effect of the environmental factors on power in FV systems was examined and the power to be produced by the FV panel according to the changing environmental factors was successfully predicted.





## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının sınırlılığı ve giderek tükenmesi gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artmakta olduğunu görmekteyiz. (Yona ve diğ, 2008). Yenilenebilir Enerji Kapasitesi İstatistikleri'nin 2016 yılı baskısında dünyada kullanılan yenilenebilir enerji kapasitesinin bir önceki yıla oranla % 8,72 arttığı görülmektedir. Bu artış oranına etki eden kaynaklar ve katkı oranları sırasıyla Biyoenerji 8,6 GW, Hidroelektrik enerji 35,1 GW, Rüzgar enerjisi 51,2 GW ve en yüksek katkı 70,8 GW'lık güneş enerjisi ile sağlanmıştır (Mühürücü ve Toylan, 2018; Url 12). Bu veriler incelendiğinde güneş enerjisinin kullanımının giderek artmakta olduğu söylenebilir. Güneş enerjisinden termal sistemler ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) olmak üzere iki farklı yöntemle yararlanılabilir (Verma ve diğ, 2016 ; Mühürücü ve Toylan, 2018). Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan Fotovoltaik (FV) sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olarak bilinirler.

Dünya genelinde, doğaya zarar veren fosil kaynakların yerine yenilenebilir enerji sistemlerine olan talebin giderek artması ülkemizde de olumlu gelişmelere yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin bir çeşidi olan FV sistemlerin kullanımı, çevre dostu olması, sonsuz bir enerji kaynağı olan güneşten beslenmesi ve bakım maliyetlerinin az olması gibi avantajlarından dolayı cazip hale gelmektedir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'n de bulunan güneş enerjisi atlası incelendiğinde ülkemizde de halihazırda güneş enerjisi potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. Coğrafi konumundan dolayı, ülkemiz sahip olduğu enerji potansiyeli bakımından bir çok ülkeye göre daha avantajlıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'n de verilen istatistiklere göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük ortalama 7,5 saat) ve gelen yıllık toplam güneş enerjisi 1527 kWh/m<sup>2</sup>yıl (günlük ortalama 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olarak tespit edilmiştir (Url 1).

Ülkemizde ki güneşlenme süreleri bölgelerimize göre farklılık göstermektedir. Marmara Bölgesi güneşlenme süresi bakımından ülkemizde 6. Bölge olarak bilinmektedir. Güneşlenme süreleri, bölgelere göre farklılık gösterdiği gibi, fotovoltaik sistemlerin konumuna göre de farklılık göstermektedir. Doğru konumda ve yönde yerleştirilen bir fotovoltaik panelden, çevresel koşulları da göz önünde bulundurularak en yüksek noktada verim alınabilmektedir. Ayrıca fotovoltaik paneller için iklim koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır. Panelin performansını radyasyonun yanında sıcaklık, rüzgar, nem gibi faktörlerin etkilediği de bilinmektedir.

FV sistemlerden sağlanacak katkının artırılması için sistemin en yüksek performansa ulaşabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Güneş radyasyonunun FV hücreleri tarafından elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesi pek çok avantaj sağlamaktadır ancak bunun yanında iki önemli ayrıntıyı da beraberinde getirmektedir: bunlardan birincisi elektrik enerjisi üretiminin dönüşüm verimliliğinin düşük olması, ikincisi ise güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarının hava şartlarına bağlı olarak sürekli değişkenlik gösterebilmesidir.

Bu çalışma da Kırklareli'nin Pınarhisar ilçesi için Güney yönlü 38 Derece ile konumlandırılmış bir fotovoltaik panelin değişen hava koşullarında, değişen zamanlarda, radyasyon, ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar soğluğu ve nem ölçümleri yapılarak bu verilerin panelden üretilen güce olan etkisi incelenmiştir.

## **1.1 Tezin Amacı**

Tez çalışmamızın genel amacı, Dünyada ve ülkemizde kullanımı giderek yaygınlaşan örnek bir fotovoltaik panelin değişen çevresel faktörlere göre ürettiği gücün tahmini ve bu faktörlerin güce olan etkisinin araştırılmasıdır. FV panelin güç tahmini için yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağları algoritması kullanılmıştır. Bununla birlikte yapay sinir ağının performansı istatistiksel tekniklerden Çoklu Regresyon Analizi ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerde güç tahmini yapılırken güneş radyasyonu ile birlikte rüzgar hızı, rüzgar soğluğu, nem, ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler sabitlenmiş bir FV sistemden gün içerisinde anlık olarak ölçülerek kaydedilmiştir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Enerji, geçmişten günümüze kadar yaşamın vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Yenilenebilir ve diğer adıyla alternatif enerji kaynağı olarak bilinen güneş enerjili sistemlerin kullanımı ise giderek yaygınlaşmaktadır. Literatürde fotovoltaik sistemlerle ilgili yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak fotovoltaik bir sistemden en iyi verimle enerji elde edebilmek için oluşturulan sistemler ve programlardan bahsedilmiştir.

Günümüzde gerçekleştirilen çalışmalarda Yapay Sinir Ağları tahmin yapılabilecek birçok alanda kullanıldığı görülmektedir. YSA' nın gelecekteki tahminleme için kullanıldığı en önemli alanlardan biri de enerjidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar YSA' nın, enerji üretim, tüketim ve bunları doğrudan etkileyen faktörlerin tahmininde etkin olarak kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Bu alanda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Su ve arkadaşları, fotovoltaik (FV) sistemlerin çıkış gücü ve enerji verimliliği için yeni gerçek zamanlı tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Bu modelleri Macau'daki şebeke bağlantılı güneş FV sisteminin ölçülen verilerini kullanarak doğrulamışlardır. Her iki zaman aralığı da yıllık ortalama ve aylık ortalamalara göre hesaplamışlardır. Sistem verimliliği için çevrimiçi tahmin modeli, tahmin edilen çıktı gücünün tahmin edilen güneş ışınımına oranına dayanmaktadır. Bununla birlikte, çoğu FV sistemi bu periyot boyunca en verimli şekilde çalıştığı için uygulayıcılar için halen faydalı bir amaç olabilmektedir (Su ve diğ., 2012).

Lorenz ve arkadaşları, fotovoltaik bir sistemden elde edilen güç tahmini için radyasyonun etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada Avrupa Orta Vadeli Hava Durumu Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından öngörülen üç gün öncesine dayanan tahminlere dayalı olarak bölgesel FV enerji çıktılarının tahminine yönelik bir yaklaşım sunmuşlar ve Almanya da bölgesel olarak veya Almanya'nın tamamı için RMSE değeri hesaplamışlardır. Bu çalışmalarında FV güç tahmininin doğruluğunu araştırmışlardır (Lorenz ve diğ., 2009).

Yona ve arkadaşları çalışmasında fotovoltaik sistemin güç çıkışının olabildiğince doğru tahmin edilebilmesi için karmaşık hesaplamalara ve matematiksel modellerle ihtiyaç duyulmadan da yapılabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada, bir gün öncesi 24 saatlik güneşlenmeyi tahmin edebilmek için YSA' nın şu modelleri seçilmiştir: İleri

Beslemeli Sinir Ağı (FFNN), Temel Radyal Fonksiyonlu Sinir Ağı (RBFNN) ve Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN). Seçilen bu modellerde en iyi sonuçların RBFNN ve RNN modellerinin verdiğini gözlemişlerdir. Çalışmanın sonuç bölümünde fotovoltaiik sistemlerde iyi bir tahmin aracı olarak YSA modellerinden faydalanılabileceği belirtilmiştir (Yona ve diğ, 2007).

YSA'nın gelecek zamanların tahmini için kullanıldığı alanlardan birinin de elektrik enerjisi talep tahmini olduğu bilinmektedir. Geleceğin enerji tahmini için yapılan bir çok çalışmaya göre, yapay sinir ağlarının (YSA) geleneksel metotlara oranla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Hamzaçebi ve Kutay, 2004).

Hamzaçebi ve Kutay, uzun dönemli elektrik enerjisi tüketimi tahmininde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. 1970-2002 yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketim değerleri, nüfus bilgileri ile model kurulmuştur ve 2003-2010 arasındaki tahmin yapılmıştır. YSA yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile, Box-Jenkins modeli ve regresyon tekniği ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın sonucunda, elektrik enerjisi tüketiminin tahmininde, yapay sinir ağları tekniğinin tahminleme için iyi bir araç olduğu saptanmıştır (Hamzaçebi ve Kutay, 2004).

Coşkun ve arkadaşları, yapay sinir ağları (YSA) kullanarak bir fotovoltaiik (PV) panelin yüzey sıcaklığının tahminini yapmışlar, Yapay Sinir Ağlarını (YSA) eğitmek için, dış sıcaklık, güneş radyasyonu ve rzgr hızı değerleri girdi ve yüzey sıcaklığı çıktı olarak kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağlarını, FV panel yüzey sıcaklığının tahmini için kullanmışlardır. Bu alışma için üç farklı tip algoritma kullanmışlar ve sonuçları birbiriyle karşılaştırmışlardır. En iyi tahmini Leveberg-Marquardt (LM) algoritması vermiştir. Yapay sinir ağlarının FV yüzey sıcaklığı tahmininde, konvansiyonel bağıntı metotlarından daha iyi sonuç verdiğini görmüşler ve bu çalışma ile FV yüzey sıcaklığını tahmin etmek için yapay sinir ağlarının etkili bir şeklide kullanılabileceğini göstermişlerdir (Coşkun ve diğ, 2016).

Mellit ve arkadaşları Cezayir bölgesi için yaptıkları bir çalışmalarında, uzak bölgeler için ortalama aylık netlik indeksi ve toplam güneş radyasyonu verilerini sıralamak için uygun bir nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modeli sunmuşlar ve bu modelden elde edilen sonuçları YSA modelleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda ölçülen değerlerin ve tahmin değerlerinin olumlu bir şekilde karşılaştırıldığı ve ölçülen ve tahmini değerler arasında RMSE, MAPE değerlerinin

sonuçları verilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonucunda sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi farklı meteorolojik parametrelerin de tahminleme de kullanılabilceğini göstermesidir (Mellit ve diğ, 2008).

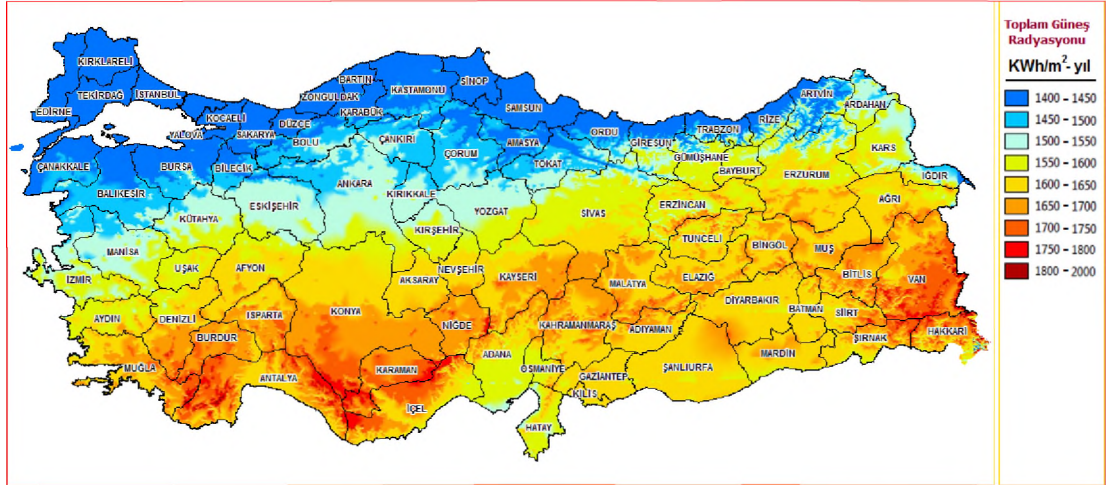
Yapay sinir ağlarının yanında farklı yapay zeka tekniklerinde tahminleme problemlerinin çözümünde kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri olan çalışmada, Li ve arkadaşları, kısa vadeli güneş ışınım tahmin algoritmalarının, makine öğrenme metodolojilerine, Gizli Markov Modeli'ne ve SVM regresyonuna dayanarak Avustralya Meteoroloji bürosundan alınan veriler kullanılarak Matlab arayüzünde geliştirdikleri bir tahmin platformu oluşturmuşlardır. Deneysel sonuçlara göre, makine öğrenme tabanlı tahmin algoritmalarının, farklı hava koşullarında gelecek 5-30 dakika güneş ışınımını tam olarak tahmin edebildiğini göstermişlerdir (Li ve diğ, 2016).

Mellit ve arkadaşları çalışmasında Yapay Zeka Teknikleri kullanarak fotovoltaik sistemlerde karşılaşılan problemleri incelemişlerdir. Fotovoltaik sistemin oluşturulması, boyutlandırılması, simülasyonu ve kontrol edilmesi ile ilgili problemler hakkında incelemeler yapmışlardır. Ayrıca meteorolojik verilerin tahmin edilmesi ve modellenmesi hakkında araştırmalar yapmışlardır. Buradan elde ettikleri sonuçlara göre Mikrodenetleyici, DSP ve FPGA gibi donanım devrelerine dayanan Yapay Zeka tekniklerinin uygulanması, kontrol, gözetim, teşhis ve izleme için kullanılabilen akıllı FV sistemleri geliştirmek için FV uygulamalarında umut verici bir yöntem olarak önermişlerdir (Mellit ve Kalogirou, 2008).



## 2. TÜRKİYE' NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE HEDEFLERİ

Güneş dünyamızın en önemli enerji kaynaklarından biridir. Güneş, pek çok enerji kaynağının kökenidir. Güneş enerjisinden başta ısıtma olmak üzere, elektrik üretme gibi amaçlarda da faydalanılmaktadır. Güneş enerjisi çevre dostu ve temiz enerji kaynağı olduğundan, fosil yakıtlardan elde edilen enerji kaynaklarına alternatif olacak bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Yılmaz, 2012). Ülkemiz jeopolitik konumu sebebiyle birçok ülkeye nazaran güneş enerjisi potansiyeli olarak iyi bir konumda bulunmaktadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji geldiği bilinmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünüldüğü zaman, bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, sadece Türkiye' nin enerji üretiminin 1.700 katıdır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük ortalama 7,5 saat) ve gelen yıllık toplam güneş enerjisi 1527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu bilinmektedir (Url 1).



Şekil 2.1 : Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA; Url 2).

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) EİE tarafından 2010 yılında hazırlanmıştır (Şekil 2.1). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'de yaklaşık 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer olacak biçimde güneş enerjisi potansiyelinin bulunduğu bilinmektedir. Bu potansiyelden yararlanılması halinde ise

yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır (Yılmaz, 2012).

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası incelendiğinde (Şekil 2.1) güneyden kuzeye doğru ışınım ve radyasyon değerlerinin azalması sebebiyle renk yoğunluğunun kırmızıdan maviye yaklaştığı görülmektedir.

**Çizelge 2.1 : Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli (Url 2).**

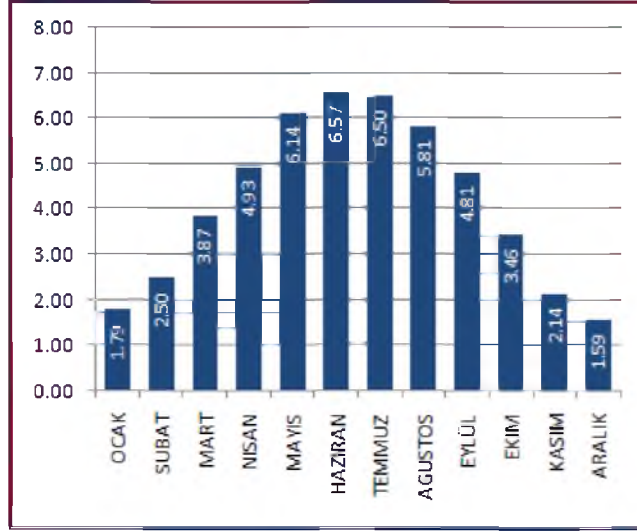
Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/m <sup>2</sup> yıl)	Yıllık Toplam Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Ege	1304	2738
İç Anadolu	1314	2628
Doğu Anadolu	1365	2664
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971
Türkiye Ortalaması	1311	2640

Türkiye’ de bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli incelendiğinde (Çizelge 2.1) toplam güneş enerjisi ve yıllık toplam güneşlenme süresi bakımından en verimli bölgenin Güney Doğu Anadolu bölgesi olduğu görülmektedir. Ardından sırasıyla, Akdeniz, Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri gelmektedir. Güneş enerjisi bakımından en düşük potansiyelin ise Karadeniz bölgesinde olduğu görülür. Güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri Türkiye ortalaması, yıl olarak incelendiğinde toplam güneşlenme süresinin ortalaması 1527 (kWh/m<sup>2</sup>), toplam güneşlenme süresininse 2741 saat olduğu görülmektedir (YEGM, 2017).

GEPA’ ya göre Türkiye’ nin genel güneş ışınımı değerlerine bakıldığında en yüksek potansiyelin çoğunlukla Haziran ve Temmuz aylarında olduğu görülmektedir (Şekil 2.2) (YEGM, 2017; Url 6).

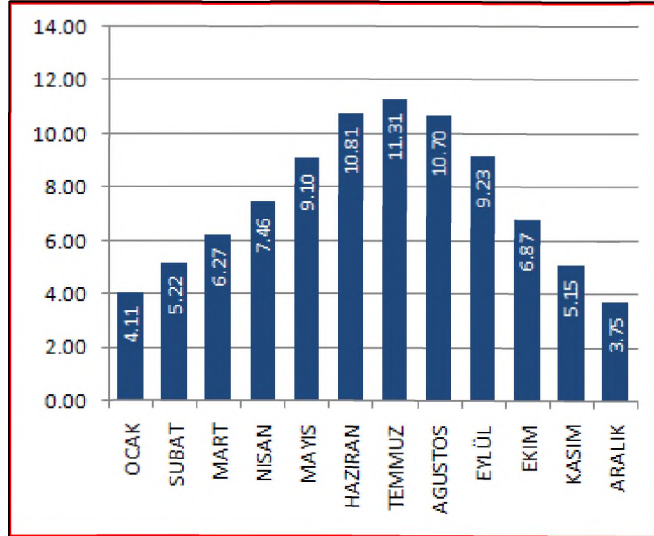
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın verdiği bilgilere göre; 2017 yılı sonu itibariyle, 3421 MW’lık kurulu güce sahip 3616 adet Güneş Enerji Santrali, Türkiye toplam kurulu gücünün yaklaşık olarak % 4’üne karşılık gelmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi ise 2017 yılında 2.684 GWh olarak gerçekleştirilmiş olup elektrik üretimimizin % 0,91’ i güneşten elde edilmiştir.





**Şekil 2.2 :** Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün) (YEGM).

GEPA' ya göre Türkiye' de güneşlenme süreleri grafiği incelendiğinde, günlük saat bakımından Haziran ve Temmuz aylarının potansiyelinin tüm bölgelerde daha yüksek olduğu görülmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).



**Şekil 2.3 :** Türkiye güneşlenme süresi (YEGM).

GEPA' ya göre elde edilen veriler ışığında Şekil 2.3' te ay içerisinde bir günlük toplam güneşlenme süreleri incelendiğinde yine en yüksek Temmuz ayında, en düşük Aralık ayında olduğu görülmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

**Çizelge 2.2 :** Türkiye' nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Varınca ve Gönüllü, 2006).

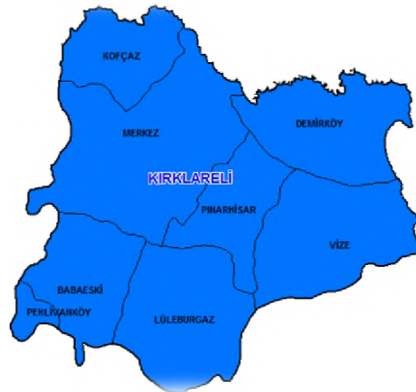
Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En Çok Güneş Enerjisi (Haziran)	En Az Güneş Enerjisi (Aralık)	Ortalama Güneşlenme Süresi	En Çok Güneşlenme Süresi (Haziran)	En Az Güneşlenme Süresi (Aralık)
	(Kwh/m <sup>2</sup> yıl)	(Kwh/m <sup>2</sup> )	(Kwh/m <sup>2</sup> )	Saat/yıl	Saat	Saat
Güneydoğu A.	1460	1980	729	2993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476	2956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412	2628	381	98
Ege	1304	1723	420	2738	373	165
Marmara	1168	1529	345	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409	1971	273	82

Çizelge 2.2 incelendiğinde Türkiye’de en çok güneş ışığından yararlanan ay Haziran ve Temmuz ayları, en az yararlanan aylar ise Aralık ve Ocak aylarıdır. Bölgelere göre incelendiğinde Güneydoğu Anadolu Bölgesinin potansiyelinin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

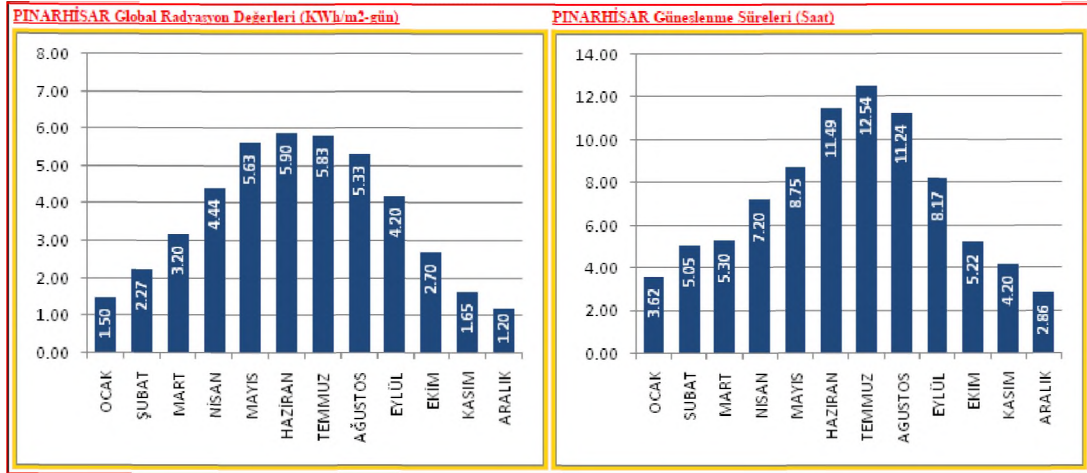
## 2.1 Marmara Bölgesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nde ki veriler ışığında GEPA incelendiğinde Türkiye’de yıl içinde metrekareye düşen toplam güneş radyasyonunun en düşük olduğu bölge 1400 – 1500 Kwh ile Marmara Bölgesi olduğu görülmektedir. Haritadan da anlaşılacağı gibi bu bölge mavi ve açık mavi renklerde gösterilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te Kırklareli iline ve ilçelerine ait bilgiler verilmektedir.



**Şekil 2.4 :** Kırklareli iline ve ilçelerine ait güneş enerji potansiyeli (GEPA, Url 2).



**Şekil 2.5:** Kırklareli Pınarhisar ilçesine ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Url 2).

Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinin GEPA verilerine bakıldığında Şekil 2.5'te görüldüğü gibi Türkiye' de ki genel verilerde doğru orantılı olarak global radyasyon değerlerinde en yüksek değerlerin Haziran ve Temmuz aylarına, güneşlenme sürelerinde de yine en yüksek değerlerin Haziran ve Temmuz aylarında olduğu görülmektedir (Url 2).

## 2.2 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi teknolojileri termo elektrik dönüşümü ve fotovoltaik sistemler olmak üzere iki kısma ayrılır. Termo elektrik dönüşüm kısmında, güneş yoğunlaştırıcısı olarak çanaklar, parabolik aynalar, heliostat (gün dönüştürücü) veya Fresnel (doğrusal odaklayıcı düzlemsel aynalar sistemi) kullanılabilir. Fotovoltaik piller ise, yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen sistemler olarak bilinirler. Bu piller, yapısına göre farklılık göstermektedirler. Fotovoltaik piller, yapılarına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Aşağıda bu sistemler hakkında bilgiler yer almaktadır (Url 3).

### 2.2.1 Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi (CSP)

Yoğunlaştırılmış (Konsantre) güneş enerjisi (CSP-Consentrated Solar Power), küçük bir alana yoğunlaşan güneş ışınlaması ile sağlanan ısıyı kullanan bir elektrik üretim teknolojisidir.

Aynaları kullanarak, güneş ışığı ısının bir termal enerji taşıyıcısı (birincil devre) tarafından toplandığı bir alıcıya yansıtılır ve daha sonra doğrudan (su / buhar

durumunda) veya bir türbini güçlendirmek ve elektrik üretmek için bir sekonder devre vasıtasıyla kullanılır. CSP teknolojilerinin, özellikle DNI (Direct Normal Irradiance / Doğrudan normal ışım) açısından yüksek bölgelerde umut verici olduğu görülmektedir (Zhang ve diğ, 2013).

Doğrudan normal ışınım (DNI); açık havada iken, toplam güneş enerjisinin % 80-90'ını oluşturabilirken, bulutlu bir günde ise DNI oranı sifira kadar inebilmektedir. Sürekli açık hava ve doğal olarak çok DNI, yarı-kurak ve kurak platolarda ve orta rakımda olan bölgelerde rastlanacak bir durum olarak görülmektedir. Bu sınırlandırma ile CSP sistemlerinin, fotovoltaik sistemlere göre daha tercih edilebilir olmasının temel sebebi ışının daha kısa süre içinde ekonomik olarak depolanabilmesidir. Böylece akşam güneşin batışına yakın saatlerde ya da bulutlu günlerde bile elektrik sağlayabilmektedir. Bu özellik doğal gaz ile desteklendiğinde daha güçlü hale gelebilmektedir. Böylece daha çok kararsız olarak bilinen rüzgar ve FV sistemler gibi günlük hizmet süresi biraz daha kısa olan yenilenebilir enerji türlerinin de şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır (Aydar ve diğ, 2010).

Türkiye'nin güney bölgelerinde daha çok rastlanılan ılıman iklim, bulutlu gün sayısının daha az olması ve ortalama sıcaklık bir üstünlük sayılmaktadır. Bu yüzden elektrik üretimi için CSP sistemlerine oranla FV sistemlerin daha verimli ve ekonomik olarak ta daha tercih edilebilir olduğu araştırmalarda dikkat çekmektedir (Aydar ve diğ, 2010).

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojileri, noktasal ve doğrusal olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Parabolik oluk kolektörler ve doğrusal fresnel yansıtıcı sistemleri doğrusal yoğunlaştırıcılar olarak bilinirken; noktasal yoğunlaştırıcıları ise, merkezi alıcı sistemler ve çanak kolektörler oluşturmaktadır (Aydar ve diğ, 2010).

### **2.2.1.1 Doğrusal yoğunlaştırıcılar**

- **Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları**

Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları, kesiti parabolik olan dizilerden oluşur ve doğrusal yoğunlaştırma yapmaktadır. Parabolik oluğun iç kısmında yansıtıcı yüzeyler bulunmaktadır. Bu yüzeyler güneş ışığını, parabolik odağında bulunan ve enlemesine boydan boya uzanan siyah renkli soğurucu boruya yansıtmaktadırlar. Bu sistemler çoğunlukla orta derecede ki sıcaklıklar da kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca bu

sistemlerde Şekil 2.6'da görüldüğü gibi sistemin güneşi tek boyutlu hareket ile izlemesi yeterli olmaktadır. Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları, termoelektrik teknolojileri içerisinde en fazla kullanılan sistemlerdendir. Bu sistemler güneşi doğuşundan batışına kadar takip eden sistemlerdendir. Toplanan ısı, elektrik enerjisi üretimi için enerji santraline gönderilmektedir. Bu sistemlerde sıcaklıklar 350-400 °C ye kadar çıkabilmektedir (Url 4).

Isıya dayanıklı borosilikat cam tüp, radyasyon kayıplarını en aza indirmek için antirefleksif bir yapıya ve yüksek geçirgenliğe sahiptir. Sıcaklıktan kaynaklanan genişleme farklarının etkisini en aza indirmek için körüklü cam-metal birleştiriciler kullanılmaktadır. Parabolik oluk yansıtıcılar genellikle 100 m boy ve 6 m açıklıkta olmaktadır (apartür) ve çoğunlukla kuzey-güney ekseninde konumlandırılmaktadırlar. Çünkü, günümüzde geliştirilmekte olan yansıtıcılarda bu açıklıklar 8-10 m ye kadar genişlemekte ve buna bağlı olarak yoğunlaştırma oranının da yükseltilmesi istenmektedir (Aydar ve diğ, 2010).



Şekil 2.6: Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları (Url 4).

- **Doğrusal fresnel yansıtıcı sistemleri**

Doğrusal Fresnel Yansıtıcı sistemleri de Parabolik oluk yoğunlaştırıcıları gibi doğrusal yoğunlaştırıcı teknolojisine dahil olan sistemlerdendir. Parabolik oluktan farklı olarak, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi tek bir parabolik ayna kullanmak yerine çok sayıda (20 - 25 adet) düz ayna kullanarak sistemin çalışması sağlanmaktadır (Aydar ve diğ, 2010).

Doğrusal Fresnel Yansıtıcılar, güneş rölelerini aşağı doğru bakan bir doğrusal alıcının üzerine yansıtmak için uzun veya düz kavisli aynalar dizisi kullanılarak çalışmaktadır. Alıcı, yukarıda bir kule üzerine sabitlenmiş bir yapıdadır. Yansıtıcılar, tek ya da çift



eksenli bir rejimle güneşi takip edebilen aynalardan oluşmaktadır (Zhang ve diğ, 2013).

Sistemdeki alıcılar, aynalardan yaklaşık olarak 10 metre yüksekte bulunmaktadır (Şekil 2.7). Bu yükseklik, optik verinin parabolik oluk sistemlerine göre daha düşük verim de olmasına sebep olmaktadır. Çünkü yansımadan kaynaklı kayıplar çok fazladır ve buna bağlı olarak ısı verim de düşük olmaktadır (Url 4).

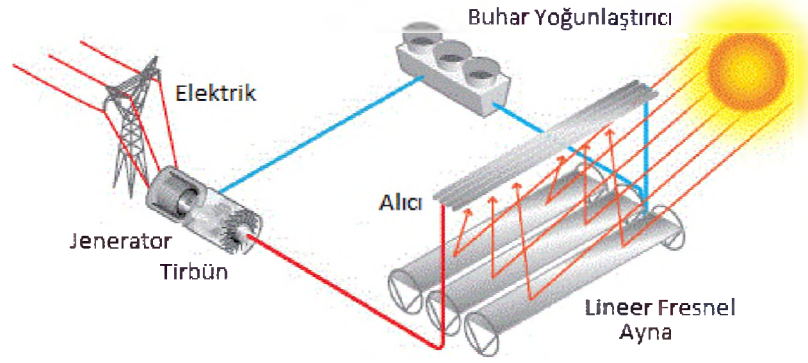


**Şekil 2.7:** Doğrusal fresnel yansıtıcı sistemleri (Url 4).

Bu sistemler, parabolik teknolojiye göre daha düşük maliyetlidir. Sistemdeki alıcıların yükseklikleri düşürüldüğü zaman verim de arttırılabilmektedir. Ancak böyle bir durumun olumsuzluğu ise daha fazla panel kullanılmasını gerektirmesidir. Çünkü yükseklik düşürüldüğünde güneş ışığı toplama alanı da azalmaktadır ve bu da doğrudan maliyeti arttıracaktır.

Dünyadaki en büyük fresnel güneş santrali İspanya'nın Murcia kentinde bulunmaktadır ve gücü de 31,4 MW olarak bilinir (Url 4).

Şekil 2.8'de Doğrusal Fresnel Yoğunlaştırıcı sistemin çalışması gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Doğrusal fresnel yansıtıcı sistemi çalışması (Url 4).

### 2.2.1.2 Noktasal yoğunlaştırıcılar

- **Merkezi alıcı sistemleri**

Güneş enerjisinin elektrik üretimi için kullanıldığı bir başka sistem merkezi alıcı güç santralleridir. Bu santrallerde düzlemsel aynalar da denilen heliostatlar kullanılmaktadır. Kuleye yansıtılan güneş ışığı, alıcıyı ısıtır ve alıcı ısındığı zaman buhar oluşur, oluşan buharlar jeneratörlere gönderilir ve bunun sonucunda elektrik üretilmektedir (Zhang ve diğ, 2013; Url 4).

Merkezi alıcı sistemleri, güneş kulesi olarak ta adlandırılmaktadır. Bu sistemlerde güneşten yansıyan ışınlar, geniş bir alanda bulunan çift eksenli güneş takip sistemleri ile donatılmış heliostatlar üzerinden kulede bulunan alıcıya gönderilir. Yoğunlaşan ışınım alıcı içerisinde dolaştırılan tuzlu ergiyik, gaz veya havaya ısı olarak iletilmektedir. Tuzlu ergiyiğin alıcıya giriş sıcaklığı yaklaşık olarak  $277^{\circ}\text{C}$  iken sıcak tanka pompalanmasında ise  $777^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmış olması gerekmektedir. Güç üretilirken sıcak kaynaktan soğuk kaynağa pompalanırken bir ısı değiştiricisi kullanılarak buhar üretilmektedir ve güneş kulesi sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 300 ile 1500 arasında değişirken, sıcaklık ise  $1500^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkabilmektedir. En yüksek güç ise 10 MW ve üzeri olarak bilinmektedir.

Diğer sistemlere göre daha verimli, ancak daha büyük yatırım yapılmasını gerektiren güneş kulesi sistemlerinin, çalışma sıcaklığı da diğer sistemlere göre oldukça yüksek bulunmaktadır. Bu sebeple emniyet ve güvenilirlik faktörleri açısından oldukça önemlidir. Güneş kulelerinde çevrim akışkanı adı verilen sistemlerde nitrat tuzları yanı sıra doğrudan su buharı ve gaz da kullanılmaktadır. Doğrudan su buharı genel olarak

sistemin daha ekonomik olmasını sağlarken, çalışma sıcaklığını da kısıtladığı için verimi de düşürmektedir. Çevrim akışkanı olarak gaz kullanıldığında ise enerji dönüşümü gaz türbini kullanılarak sağlanmaktadır (Aydar ve diğ, 2010).

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemlerinin en büyüğü 20 MW’lık güç üretimi ile İspanya’nın Sevilla şehrinde bulunmaktadır ve bu santralin adı da PS20’ dir (Url 2).



Şekil 2.9 : İspanya’da bulunan PS20 güneş kulesi santrali (Url 6).

- **Çanak Kolektörler**

Çanak motor sistemleri; toplayıcı, kolektör ve bir motordan oluşan bir sistemdir. Güneş enerjisi, bir alıcı yüzey üzerine çanak biçimli parabolik bir yüzey tarafından nokta şeklinde (yaklaşık 3000 - 4000 kat) yoğunlaştırılması sağlanır (Şekil 2.10). Alıcı yüzeyde toplanan ışınım başka bir işleme uğramadan ısı enerjisi olarak kullanılması sağlanabilir ya da Stirling motoru içindeki çalışma akışkanına aktarabilir. Stirling motoru toplanan ısıyı mekanik güce çevirebilen bir motordur. Hidrojen veya helyum gibi özgül ağırlık bakımından daha düşük bir gazın kullanıldığı bu sistemlerde gaz soğukken sıkıştırılır, güneş enerjisi tarafından ısıtılır ve bir türbin veya silindir piston sisteminde genişmesi sağlanarak iş üretimi gerçekleşmiş olur. Üretilen bu mekanik güç ise bir jeneratör yardımıyla elektriksel güce çevrilir. Bir veya birden çok yansıtıcı yüzeyden oluşan çanak kolektörler güneşi çift eksenle izlerler. Alıcı yüzey ve motor tipleri için kullanılan iki seçenek vardır, bunlar Stirling motoru veya Brayton mikro-türbini olarak bilinmektedir (Aydar ve diğ, 2010).





**Şekil 2.10** : Stirling motoru kullanılan bir parabolik çanak (Url 5).

Çizelge 2.3'te CSP teknolojilerine ait bazı türlerin teknik ve ekonomik olarak karşılaştırılması gösterilmektedir (Aydar ve diğ., 2010).

**Çizelge 2.3** : CSP teknolojilerinin teknik ve ekonomik olarak karşılaştırılması.

CSP Teknoloji Türleri	Sistem Verimi (%)		Çıkış Sıcaklığı (°C)	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kWe)	Enerji Maliyeti	
	Elektrik	Isı			Elektrik (\$/kWh)	Isı (\$/kWh)
Düzlemsel Kollektör	-	50-70	80	250-1300 \$/sistem	-	0,0013-0,004
Parabolik Oluk	14-20	46	380	2800	0,15	0,0053
Doğrusal Fresnel	7	22	450	2000	0,20	0,007
Merkezi Alıcı	18-25	46	600-700	3000	0,16	0,004
Parabolik Çanak	24	79	700	5000	0,28	-

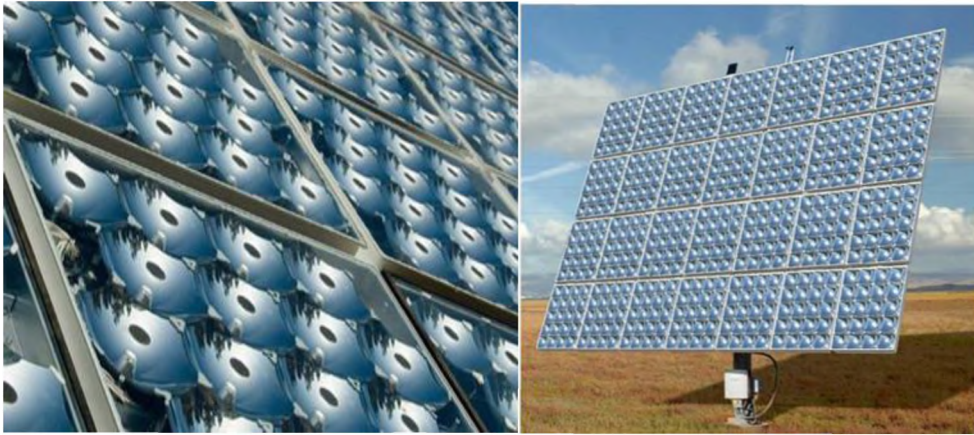
### 2.2.2 Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistem (CPV)

Yoğunlaştırılmış fotovoltaik (CPV- Concentrated Photovoltaic System) sistemi, ışığı yoğunlaştırdığı bilinen optik bileşenler içeren bir FV sistemidir; amacı hücre üzerine düşen güneş ışığının yoğunluğunun artmasını sağlamak ve doğal olarak FV modülün performansının artmasını sağlamaktır. Ancak yoğunlaştırıcı kullanmanın öncelikli nedeni üretilen enerji maliyetini en aza indirmek olmalıdır. Bir CPV sistem, ışığı yoğunlaştıracak bir optik sistemden, hücre platformu alıcısından, ısı tankı ve bunların uygun bir biçimde yerleştirileceği modül ana gövdesi ve güneş takip sisteminden oluştuğu bilinmektedir. Dünyada halihazırda kurulu olan CPV sistemlerin sayısının diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında daha az olduğu bilinmektedir. Bunun en önemli nedeni ise ısı transferinin problem olmasıdır. Çünkü güneş ışınlarının

yoğunlaştırılması sırasında hücre üzerinde yüksek ısı oluşmaktadır ve bu durum eklem yapısına zarar vermektedir. Bozulan eklem yapısının sonucunda ise verim kaybı oluşmaktadır. Oluşan yüksek ısı problemi ise, atmosferik konveksiyon veya sıvılı ısı tankı kullanılarak çözülmektedir (Aydar ve diğ, 2010).

Isı transferinin problem olması en büyük sorun olarak görülürken; CPV teknolojisi, daha az malzeme kullanılması, düşük fiyat, yüksek verim gibi avantajlar sunmaktadır. CPV sistemler, güneş ışınlarının çok küçük yaklaşık (1 cm<sup>2</sup>) lik alandaki hücre üzerine odaklanmasını sağlar ve böylelikle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlar (Şekil 2.11). Üstelik bu sistemlerde kullanılan aynalar ve merceklerin de maliyetleri de oldukça uygundur (Aydar ve diğ, 2010).

CPV sistemlerinde, yoğunlaştırıcıda var olan ışığın odaklandığı hedefe bir PV yarı iletken malzeme yerleştirilir. Diğer düzlemsel güneş hücrelerine nazaran daha yüksek verimde enerji üretimi sağlamaktadır. Burada kullanılan PV malzemesi Si dan 10 kat daha pahalıdır fakat genel duruma bakıldığında daha yüksek verim ve daha az malzemeyle sistem oluşturulabildiğinden daha kullanışlıdır (Aydar ve diğ, 2010).



Şekil 2.11 : CPV sistemin yakından ve uzaktan görünümü (Url 7).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, çok eklemli güneş hücrelerinin kullanımı ile birlikte verim % 40'lara kadar yükselmiştir. Çok eklemli PV sistemler, güneş enerjisinin elektrik enerjisine daha verimli bir şekilde dönüştürülmesinde kullanılan sistemlerdir (Aydar ve diğ, 2010).

### 2.2.3 Fotovoltaik sistemler (FV)

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü için en çok kullanılan sistemlerdendir. Üçüncü bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılan güneş enerjisinden yararlanmak için fotovoltaik sistemler kullanılır. Bu sistemler güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılmakta olup, alternatif enerji kaynağı olarak dünya üzerinde giderek kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu bölümde fotovoltaik sistemlere ait teknik özellikler ve performanslarından bahsedilmektedir.

Güneş ışığından elektrik enerjisi üreten fotovoltaik sistemler diğer adıyla güneş pilleri olarak ta adlandırılırlar. Fotovoltaik kelimesinin kökenine bakıldığında, Yunanca da, “photo” ışık anlamına gelmektedir. “Voltaic” ise elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan Alessandra Volt’tan esinlenerek voltaj anlamına gelen bir kelimedir. Bu iki kelimenin birleşmesinden oluşturulmuştur. Fotovoltaik olarak birleştirilen bu ifade PV olarak kısaltılarak ta kullanılmaktadır (Turhan ve Çetiner, 2012).

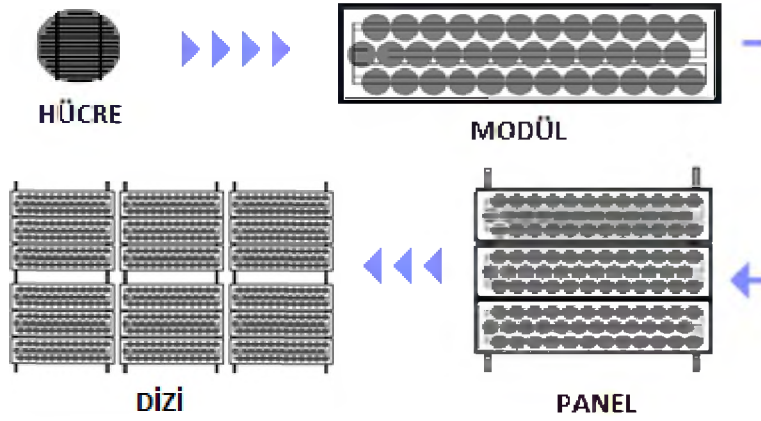
Fotovoltaik etki, bir PV hücrenin güneş ışığını elektriğe dönüştürdüğü temel işlemdir. Işık bir PV hücresinde parlarsa, yansiyabilir, emilebilir veya doğrudan geçebilir. Sonuçta emilen ışık elektrik üretebilmektedir.

1950'lerin başında, fotovoltaik hücreler transistör teknolojisinin bir parçası olarak geliştirilmiştir. Saf silikonun çok ince tabakalarına az miktarda diğer elementlerden eklenmiş ve güneş ışığına maruz bırakılarak az miktarda elektrik üretilmiştir. Başlangıçta bu teknoloji çok pahalı gibi görünse de, fiyatlar azaldıkça ev, işyeri veya çeşitli kurumlar için daha anlamlı hale gelmiştir (Url 8).

#### 3.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Yüzeylerine gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere “Fotovoltaik Sistem” denir. Bu sistemler güneş pilleri olarak ta bilinirler. Yüzeyleri dikdörtgen, kare, daire biçiminde olup, alanları da  $100 \text{ cm}^2$  civarındadır. Kalınlıkları da genellikle 0,2 veya 0,4 mm civarındadır. Deniz seviyesinde, güneşli bir günde iken güneş ışınımının şiddetinin  $1000 \text{ W/m}^2$  olduğu bilinmektedir. Bölgelere bağlı olarak her  $1 \text{ m}^2$  ye düşen enerji miktarı yılda 800 ile 2600 kWh arasında değişmektedir.

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini, güneş pilinin yapısına ve çeşidine bağlı olarak % 5 ile % 30 aralığında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürebilir. Güç çıkışını arttırmak için çok sayıdaki hücrelerin seri ya da paralel bağlanmasıyla “solar modül” (güneş modülü), modüllerin birleştirilmesiyle panel, ve panellerin de birleştirilmesiyle “solar dizisi” elde edilebilmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi çok sayıda panelin bağlanması sağlanarak daha büyük yüzeyli diziler de elde edilebilmektedir. Güneş modülleri, yalnızca doğrudan güneş ışığından değil, bulutlu havalarda da yani yaygın ışınımında da biraz daha düşük güçte olacak biçimde elektrik üretimi sağlamaktadırlar (Çelebi, 2002).



**Şekil 3.1 :** Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizisi (Url 8).

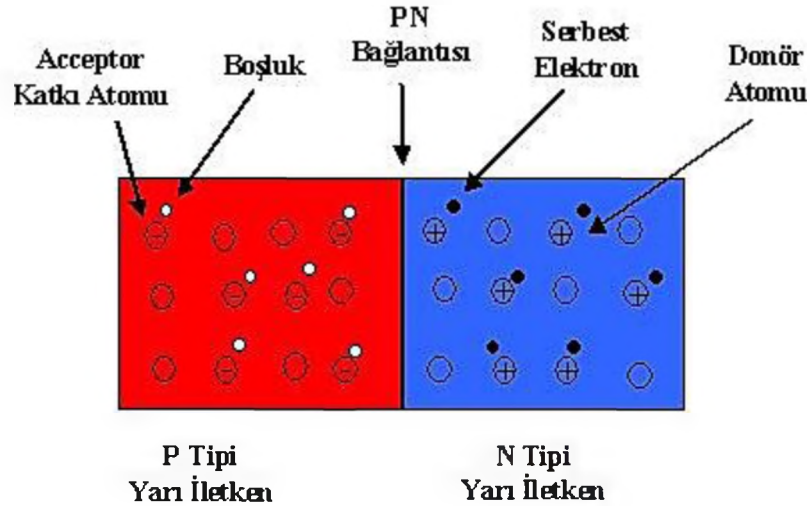
Günümüzde kullanılan transistörler de yarı iletken maddelerden yapıldığı için doğrultucu diyotlara benzerler.

Yarı-iletken özellik gösteren maddelerden, fotovoltaik hücrelerin yapımında kullanılması için en elverişli olanlar, galyum arsenit, silisyum, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı-iletken maddelerin fotovoltaik hücre olarak kullanılabilmesi için N veya P tipi katkılanmaları gerekmektedir. Katkılama, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılmaktadır. Elde edilen yarı iletkenin N veya P tipi olması kullanılan katkı maddesine bağlı olarak değişir. Güneş pili maddelerinin içinde en yaygın kullanılanı silisyumdur (Si). Silisyumdan N tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine, periyodik cetvelde 5. grupta bulunan bir element (örneğin fosfor) eklenmesi gerekir. Silisyumun dış yörüngesinde 4 elektron, fosforun dış yörüngesinde ise 5 elektron olduğundan dolayı fosforun fazla

olan elektronu, kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. grupta yer alan elementlere “verici” veya “N tipi” katkı maddesi denilmektedir.

Eriyiğe 3.grupta bulunan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklendiğinde ise P tipi Silisyum elde edilmiş olunur. 3. Grupta bulunan elementlerin son yörüngelerinde 3 elektron olduğundan kristalde bir elektron eksikliği meydana gelir, bu duruma “boşluk ya da hol” denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılmaktadır. Bu türden olan maddelere “alıcı” veya “P tipi” katkı maddeleri denmektedir.

Yarı iletken eklemlerin oluşturulması için P ve N tipi katkılandırılmış malzemelerin birleşmesi gerekir. N tipi yarı iletkende elektronlar, P tipi yarı iletkende boşluklar çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler başlangıçta nötrdür. Yani N tipi yarı iletkenlerin pozitif enerji sayıları ve elektronları eşitken, P tipinde ise negatif enerji seviyeleri ile boşluk sayıları eşittir. PN eklem oluşması için, N tipinde olan elektronların, P tipine doğru yönelmesi gerekmektedir. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşuncaya kadar devam etmektedir. PN tipi maddenin eklem bölgesinde, yani ara yüzeyinde N bölgesinde pozitif, P bölgesinde negatif yük birikir. Bu eklem bölgesi “geçiş bölgesi” veya “yükten arındırılmış bölge” olarak adlandırılır. Bu bölgede oluşan elektriksel alan “yapısal elektrik alanı” olarak adlandırılır ve ( $E_y$ ) olarak gösterilir. Şekil 3.2 de PN eklem oluşumu şekil olarak gösterilmektedir (Url 9).

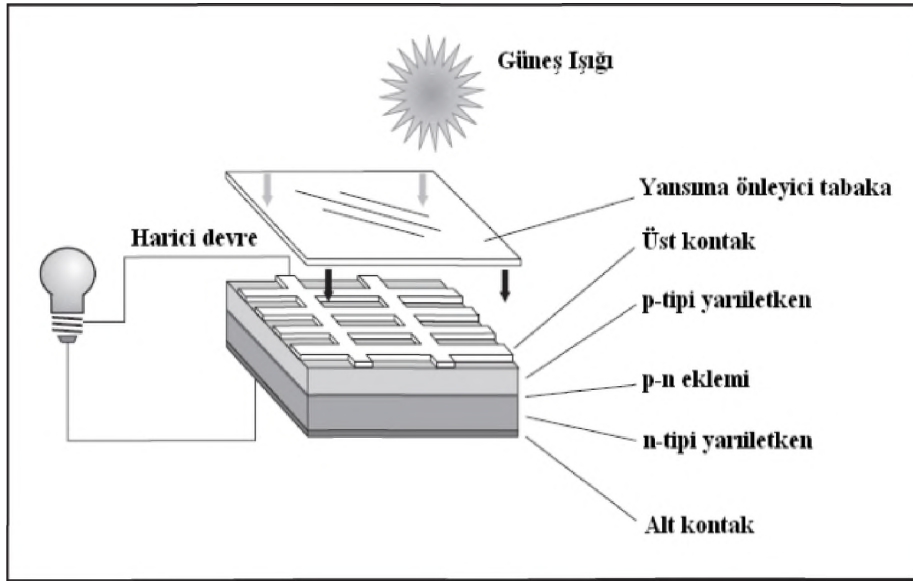


Şekil 3.2 : PN eklem oluşumu (Url 13).

Yarı iletken bir eklem fotovoltaiik dönüşümünün yapılarak fotovoltaiik hücre gibi davranmasının sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki basamakta gerçekleştirilir;

birincisi, eklem bölgesine ışığın gelmesi sağlanarak elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikincisi ise bu oluşan çiftler elektrik alanı ile birbirlerinden ayrılırlar. Yarı iletkenler Valans bandı ve İletkenlik bandı adı verilen ve yasak enerji bandı adı verilen iki enerji bandından oluşmaktadırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit ya da bu aralıktan daha büyük enerjili bir foton, yarı iletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini Valans bandındaki bir elektrona verir ve elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Bu durumun sonucunda elektron-hol çifti oluşur. Bu olay PN eklem fotovoltajik hücresinin ara yüzeyinde oluştuğunda elektron-hol çiftleri birbirlerinden ayrılırlar. Bu şekilde fotovoltajik hücre holleri P bölgesine, elektronları da N bölgesine doğru iter. Birbirinden ayrılan elektron- hol çiftleri, fotovoltajik hücrenin uç kısımlarında güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç aynı şekilde devam eder (Url 2; Demir, 2015).

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi PV hücrelerin yüzeyine ışık düşmesiyle bir elektrik alanı ve dolayısıyla kuvvet sağlar. Bunun sonucunda ışıkla uyarılmış elektronlar oluşmaktadır Bu hücre bir devreye bağlandığında ise elektrik akımı meydana gelmektedir (Özçelik, 2016).

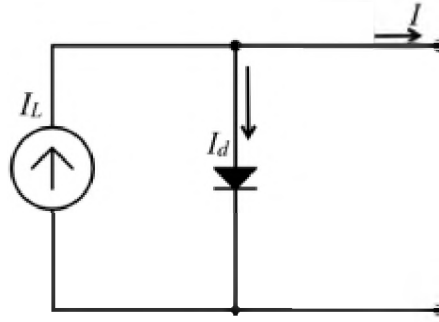


Şekil 3.3 : PV hücrelerin çalışma ilkesi (Özçelik, 2016).

### 3.1.1 İdeal güneş pili modeli

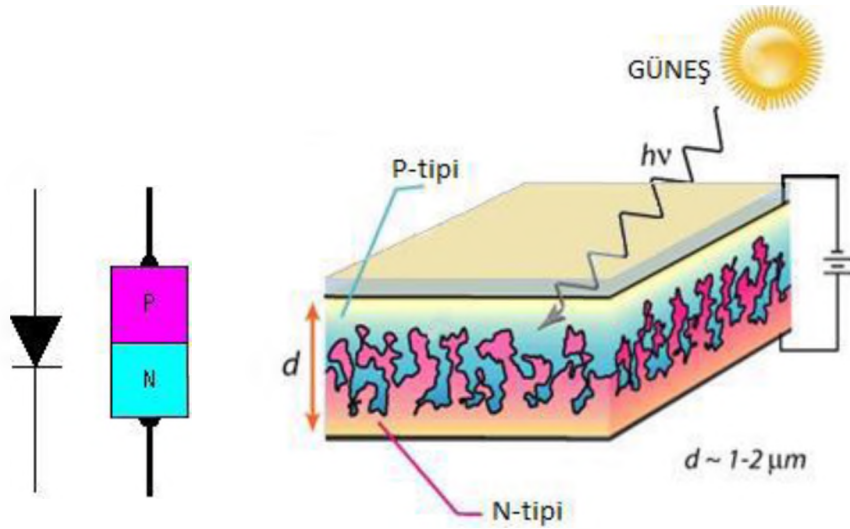
Güneş pilleri p-n eklemenden oluşur ve p-n eklemi ışığa maruz kalan bir yarı iletken devre elemanıdır. Güneş pilinin bütün karakteristiklerini ortaya koyan bir matematiksel model, Şekil 3.4’de ki gibi gösterilmektedir. Güneş pilinin büyüklüğü ve şekli soğurucu yüzey alanının genişletilmesi ve kontak direncinin azaltılmasını sağlayacak şekilde tasarlanabilir (Özçalık ve diğ, 2013).





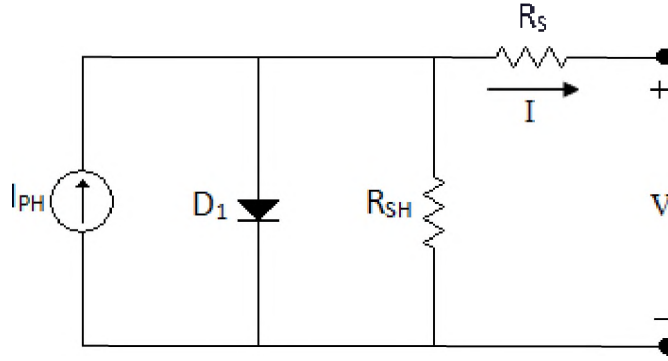
**Şekil 3.4 :** İdeal güneş pili modeli (Özçalık ve diğ, 2013).

Güneş pilleri P-N tipi yarı iletken malzemesinin ince bir katman haline getirilmesiyle oluşur ve Şekil 3.5’de görüldüğü gibi karanlıkta fotovoltaiik hücrenin I-V çıkış karakteristiği diyotun karakteristiğine oldukça benzemektedir. Işıkla temas ettiğinde ya da ışıklı bir ortamda bulunduğunda fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanmaktadır (Özçalık ve diğ, 2013).



**Şekil 3.5 :** Güneş pilinin diyota benzerliği (Özçalık ve diğ, 2013).

Şekil 3.6’da bir akım kaynağı (IPH), akım kaynağına paralel bağlı direnç (RSH) ile bir diyot (D1) ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç (RS) ile bir FV modeli eşdeğer devresi ifade edilmektedir (Bingöl ve diğ, 2017).



**Şekil 3.6** : FV hücre tek diyot iki dirençli eşdeğer devresi (Bingöl ve diğ., 2017).

Seri direnç etkisini yarı iletken malzemedan yapılan metal kontaklar, hücrenin üst yüzeyindeki metalik parmak kontak dirençleri ve yarı iletken malzeme içindeki tabakaların iç dirençleri oluştururken, paralel direnç etkisini ise kristal kusurlar oluşturur. Seri direnç etkisini hücrenin kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltan bir etken iken, paralel direnç etkisi ise dolun faktörünü ve hücrenin açık devre gerilimini azaltan etkenlerdendir (Özçalık ve diğ., 2013).

Devreye Kirchoff'un akımlar kanunu uygulanırsa;

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} \quad (3.1)$$

FV hücresinin çıkış akımı denklem (3.1)' de verilmiştir.

$$I_D = I_o \cdot (e^{\frac{qV_D}{kBT}} - 1) \quad (3.2)$$

$I_D$  , doyum akımı ile doğru orantılıdır ve 3.2 numaralı denklemde verilen diyot akımıdır.

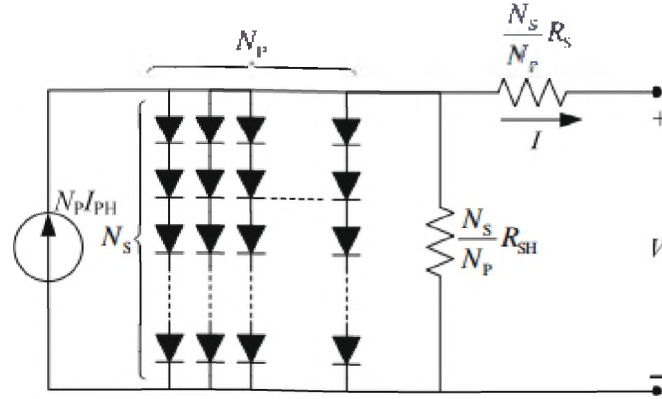
$$I_{SH} = (V + IR_S)/R_{SH} \quad (3.3)$$

$I_{SH}$  , seri direnç üzerinden geçen akımı,  $I_{PH}$  , paralel direnç üzerinden geçen akım,  $I_D$  diyot akımını,  $I_o$  devrenin doygunluk akımını,  $q$  elektron yükünü ( $1.602 \times 10^{-19} C$ ),  $k$  Boltzman sabitini ( $1.381 \times 10^{-23} J/K$ ),  $V$  devrenin gerilimi göstermektedir. Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3'de belirtilmiştir (Özçalık ve diğ., 2013).

Tipik bir fotovoltaik hücreden elde edilecek güç yaklaşık olarak 0.5V'de 2W'dan daha düşük olmaktadır. Bu nedenle, çıkış gücü ve voltajını arttırmak için PV hücrelerinin modüle seri-paralel konfigürasyonda bağlanması öngörülür. Bir PV modülü, NP paralel hücre ve NS serisi hücrelere sahiptir. PV modülünün eşdeğer devresi Şekil



3.7'de gösterilmektedir. Fotovoltaik modülün çıkış akımı, denklem (3.4)'de verilmektedir (Bingöl ve diğ, 2017).



Şekil 3.7 : Fotovoltaik modülün eşdeğer devresi (Bingöl ve diğ, 2017).

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_0 \left( e^{\frac{q \left( \frac{V}{N_s} + I R_s \right)}{k T A n h}} - 1 \right) - \frac{N_p}{N_s} \frac{V + I R_s}{R_{SH}} \quad (3.4)$$

Burada;

$I_0$ , hücre ters doygunluk akımı,

$T$ , hücrenin referans sıcaklığı,

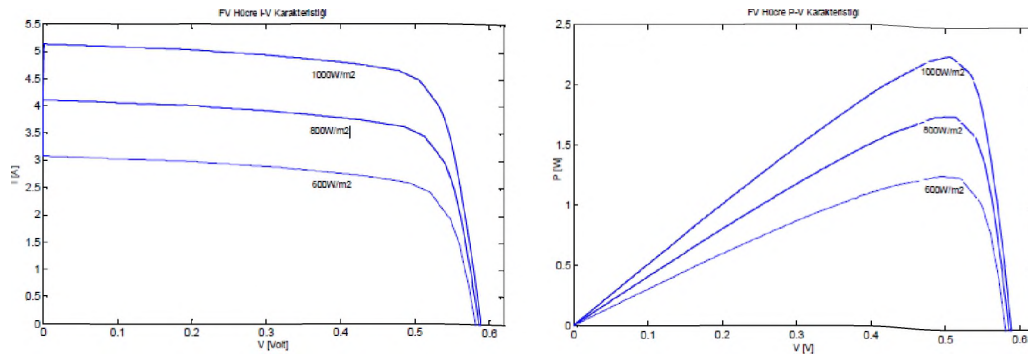
$k$ , Boltzmann sabiti ( $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ),

$q$  bir elektron yüküdür ( $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ),

$A$ , diyodun ideal bir faktörüdür,

$N_P$ , paralel bağlanan PV hücrelerinin sayısıdır,

$N_S$ , seri bağlanmış PV hücrelerinin sayısıdır.



Şekil 3.8 : FV Hücre farklı ışınımlardaki I-V ve P-V eğrileri (Ünlü ve Arifoğlu, 2005).

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi FV modülünün I-V (akım voltajı) ve P-V (güç-voltajı) özellikleri güneş ışınımı ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Güneş ışınımı arttıkça, FV modülünün kısa devre akımı artar ve maksimum çıkış gücü de artar. Sıcaklık arttıkça, FV hücrenin kısa devre akımı artar ancak maksimum çıkış gücü azalır. Çıkış akımındaki artış voltajdaki azalmadan çok daha düşük olduğu için yüksek güçte net güç azalır (Bingöl ve diğ, 2017; Ünlü ve Arifoğlu, 2005).

### **3.1.2 Fotovoltaik modüller**

Fotovoltaik modüller sistemin en önemli parçasıdır. Fotovoltaik hücreler güneşten aldığı enerji sayesinde elektrik üretebilen yarı iletken malzemelerden oluşturulmuşlardır. Bir tane fotovoltaik hücrenin ürettiği enerji doğal olarak azdır. Bu sebeple birden fazla hücre seri ya da paralel bağlandığında modülleri oluşturur, oluşan bu modüller de birleştirildiğinde panelleri oluştururlar. Büyük miktarlarda elektrik üretiminin sağlanması için de panellerin birbirine bağlanması ve dolayısıyla fotovoltaik dizi oluşturulması gerekir (Sayın ve Koç, 2011).

Günümüzde farklı ülkelerde şirketlerin ürettikleri çeşitli fotovoltaik modüller bulunmaktadır. Bu modülleri yapılarına göre aşağıdaki başlıklar altında inceleyebiliriz.

#### **• Alüminyum çerçeveli ve camlı modüller**

Alüminyum bir çerçeve içerisine güneş enerjisi modülü bir panel şeklinde yerleştirilir. Bu panel, cam bir tabakadan ve pilleri dış etkenlerden koruyan bir filmle kaplanmış FV pillerinden oluşmaktadır. En fazla kullanılan modül tipi olarak bilinir (Oluklulu, 2001).

#### **• Çerçevesiz modüller**

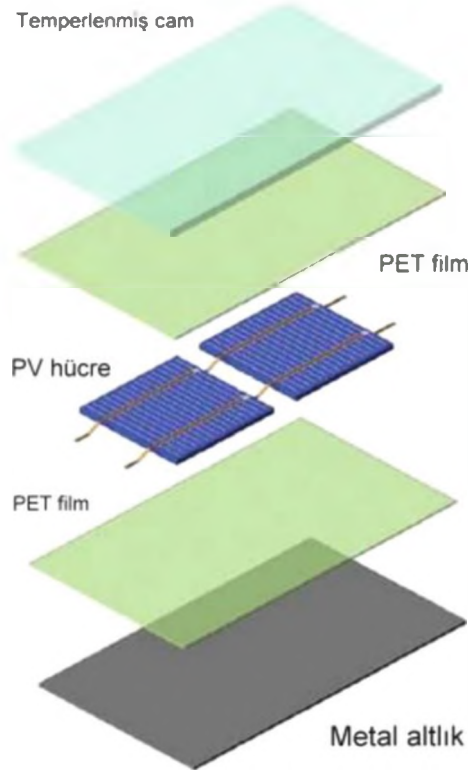
Monokristal silikon FV pillerinden yapılmaktadırlar bu piller yüksek etkinliğe sahiptirler. Ayrıca iki tabaka optik film ile kaplanmaktadır. Modülün ön bölümünde PET (poly ethylene terephthalate) film veya camdan oluşurken, arka bölümünde sadece PET filmi, orta bölümünde FV pilinden oluşmaktadır. Çoğunlukla başka bir sistemle bağlantı gerekmeyen durumlarda kullanılmaktadırlar (Sayın ve Koç, 2011).

### • Metal tabanlı modüller

Bu modüller, monokristal silikon güneş enerjisi pillerinden üretilmektedirler. Özel yapışkan ve yalıtım kaplama ile desteklenmiş paslanmaz çelikten metal veya alüminyum alaşımının üzerine monte edilmektedir. Modüller ise metal bir taban, PET film, ortasında fotovoltajik piller, ön kısmında PET film veya camdan oluşmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

### • Çift yüzeyli modüller

Hem ön hem arka olmak üzere her iki yüzeyi ile enerji üretebilen yeni modüllerdendir. Bu modüller her çeşit FV uygulamalarında kullanılabilir. Enerji maliyetlerinde de gözle görülür düzeyde azalma sağlamaktadır (Sayın ve Koç, 2011).



Şekil 3.9 : Tipik bir PV modül yapısı (Sayın ve Koç, 2011).

### 3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler çeşitli malzemelerden üretilmektedir. Fotovoltaik güneş pilinin üretiminde en çok kullanılan malzeme silisyumdur. Silisyum yarı iletken özelliğe sahip olan bir maddedir ve ham maddesi kumdur. Hammaddesi olan kumdan doğa da oldukça fazla bulunduğu için hammadde sıkıntısı yaşanmamaktadır. Farklı

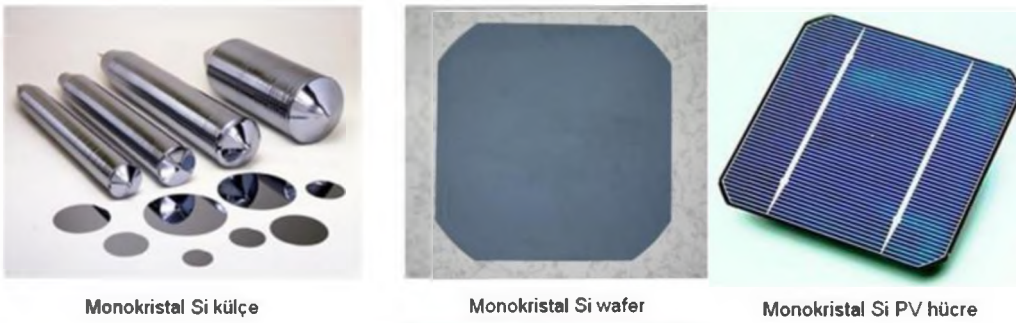
teknikler ve çeşitli katkı maddeleri kullanılarak birbirlerinden farklı olan fotovoltaik modüller üretilmektedir (Sayın ve Koç, 2011).

### 3.2.1 Kristal silisyum hücreler

Yarı iletken silisyum maddesi yapısal, elektriksel ve soğurma özelliklerini koruyabilen, ayrıca kullanım aşamasında iken kararlılığını da kaybetmeyen bir maddedir. Bu özelliklerinden yola çıkarak silisyum maddesi üzerinde derinlemesine araştırmalar yapılmış ve yeni üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Farklı metotlar ile üretilen bu hücreler günümüzde çok tercih edilen FV hücreleri arasında yer almaktadır. Ribbon silisyum, tek kristal ve çok kristal olmak üzere üç farklı türde bulunmaktadır (Sarıtış, 1988; Sayın ve Koç, 2011).

#### • Tek kristal güneş pilleri

Tek kristal silisyum malzemesinden yapılan piller yüksek bir verime sahiptir. Silisyum malzemesi özelliklerini uzun süre koruyan bir maddedir. Ayrıca yapısal ve elektriksel özellikleri madde içinde homojen bir dağılıma sahip olduğundan fotovoltaik piller için en çok tercih edilen malzeme haline getirmiştir. Tek kristal silisyum üretim açısından zor bir süreç ve maddi olarak da pahalı bir işittir. Siyah, koyu kahverengi homojen bir görünümündedirler. Verimlilik oranları ise % 24 ile % 30 arasında değişir fakat seri üretilen modüllerde verim oranı % 16 ile % 17'lere düşmektedir (Göksal, 1998; Oktik, 2001).

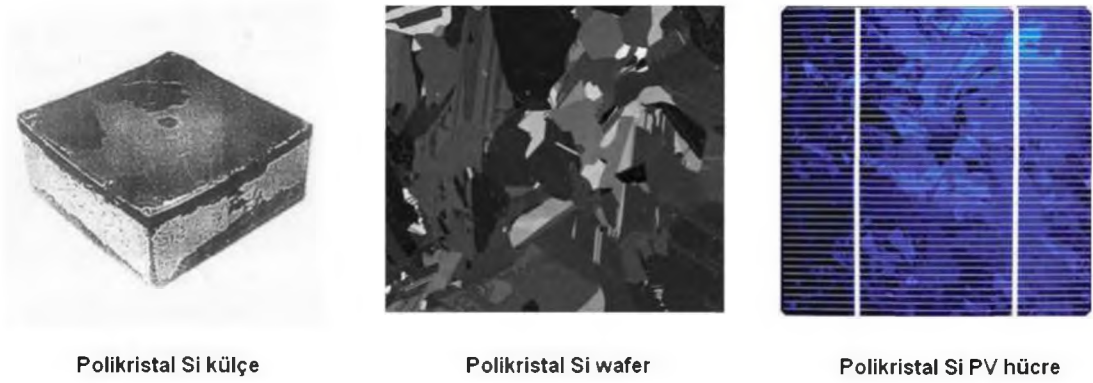


Şekil 3.10 : Tek kristal PV hücreler (Oktik, 2001).

#### • Çok kristal silisyum güneş pilleri

Gri-mavi renkli olan çok kristalli hücreler tek kristal silisyum hücreler ile karşılaştırıldığında daha kolay üretilirler ve yine tek kristalli hücrelere göre maliyeti oldukça düşüktür. Bunun sebebi ise çok kristalli madde içerisinde bulunan

damarların yapısal ve elektriksel farklılık göstermesi ve bundan dolayı verimliliği tek-kristal hücreler kadar iyi değildir. Bu da en önemli dezavantajlarındandır. Damarlar arasındaki süreksizlik ve bundan dolayı oluşan kusurlar verimin düşmesine de sebep olmaktadır. Heterojen bir yapısı olan çok kristalli hücrenin laboratuvar ortamında %18 civarında olan verimliliğinin seri üretimde %13-14 oranlarına kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Göksal, 1998; Oktik, 2001).



**Şekil 3.11 : Çok kristal PV hücreler (Oktik, 2001).**

- **Ribbon silisyum PV hücreler**

Tek kristal hücre üretilirken malzeme kayıpları görülmektedir. Bu kayıplar, şekillendirilmiş şerit yöntemi adı verilen bir yöntem ile azaltılarak yeni hücreler üretilmesi sağlanmıştır. Üretilen bu hücrelere de ribbon silisyum hücre adı verilmiştir ve farklı kalınlık seçenekleri mevcuttur. Bu hücrelerin laboratuvar şartlarında verimliliklerinin %15 civarında olduğu gözlemlenmiştir (Goetzberger ve diğ., 2002).

### 3.2.2 İnce film güneş pilleri

İnce film güneş pilleri, güneş gözelerinde kullanılan malzemeyi ve işçiliği azaltarak üretimi tercih edilen pillerdendir (Şekil 3.12). Ayrıca teknoloji de daha basit hale getirilerek maliyetler düşürülmüş ve yarı iletken malzemenin geniş yüzeylerde kullanımını için ince film kaplanarak kullanılması gibi özellikler ile geliştirilmiştir. Bu sistemle daha ucuz maliyetle daha büyük açıklıklı hücreler üretilmektedirler. Uygulaması daha kolay olan ince film pillerin verimliliği her ne kadar % 18'lere kadar çıkmış görünse de en büyük dezavantajı olarak malzemenin kararlılığını koruyamamasıdır.

Bu sebeplerden dolayı ince film piller üzerine yapılan yatırımlar sınırlı kalmıştır. İnce film malzemeler; amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum-diselenid olarak bilinmektedir (Oktik, 2001).

- **Amorf silisyum güneş pilleri**

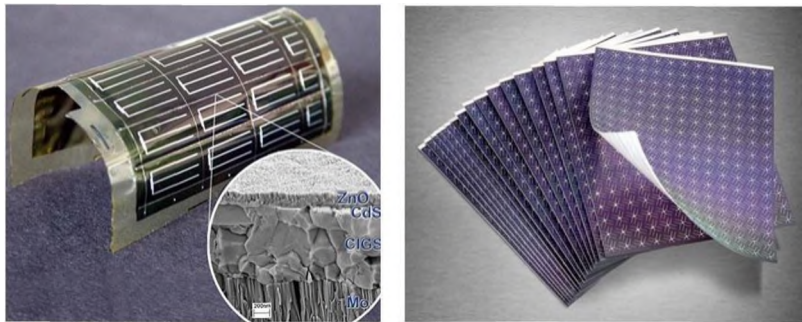
Amorf Silisyum güneş pili (a-si) kırmızımsı kahverengi bir görünüme sahiptir ve soğurma katsayısı çok yüksektir. İlk olarak 1981’li yıllarda kullanıldığı bilinmektedir. Verimlilik düzeyi laboratuvar ortamında %15’ lere kadar çıkmış olsa da güneş ışığı altında kullanıldığında malzemenin veriminin düştüğü gözlenmiştir. Ancak her ne kadar bu tip sıkıntılar görülmüş olsa da küçük ölçekli enerji üretmek amacıyla çok kullanılan güneş pili olarak bilinmektedir (Oktik, 2001).

- **Kadmiyum tellür (CdTe) ince güneş pilleri**

Bu tip güneş pilleri geniş yüzey alanlı üretimlere olanak tanıyan ve soğurma özelliği yüksek olan güneş pillerindedir. Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan kadmiyum (Cd) ve altıncı grupta bulunan Tellür (Te) elementlerinden Kadmiyum Tellür (CdTe) oluşturulmuştur. Bu güneş pillerinin de verimlilikleri uzun süre kullanım için yetersizdir (Oktik, 2001).

- **Bakır indiyum diselenid (CIS) güneş pilleri**

Periyodik tablonun birinci grubundan bakır (Cu), üçüncü grubundan İndiyum (In) ve altıncı grubunda yer alan selenyumdan (Se) üretilen bu güneş pillerinin verimliliği de laboratuvar ortamında %18’lere kadar ulaştığı gözlenmiştir. Fakat buna karşın pil ömrü olan 20 yıl süresince verimliliğin düştüğü de görülmüştür ve güneş ışığı altında verimlilik %10 sınırını aşamadığı bilinmektedir (Oktik, 2001).



Şekil 3.12 : İnce film hücreler (Oktik, 2001).

### **3.2.3 Grup III-V bileşik fotovoltaik hücreleri**

Bu hücreler, periyodik cetvelin üçüncü ve beşinci grubunda bulunan elementlerin bir araya gelmesinden oluşur. Oluşan yeni bileşiğin soğurma özelliği oldukça yüksektir. Bu hücreler için galyum arsenitten (GaAs) yapılan güneş pilleri en iyi örnek olarak gösterilmektedir. Bu pillerin verimi (%24) en yüksek olduğu için maliyetleri de oldukça yüksektir. Bu yüzden yalnızca uzay araştırmalarında kullanıldığı bilinmektedir (Oktik, 2001).

### **3.2.4 Çok eklemli (tandem) fotovoltaik hücreler**

Kullanılan çeşitli malzeme türleri güneş ışığının farklı biçimde soğurmaktadır. Bu sebeple güneş ışınımından en yüksek düzeyde faydalanmak için farklı malzemeler kullanılarak tandem adı verilen çok eklemli hücreler üretilmiştir (Kazmerski, 1997). Bu hücrelerin en üst tabakasında bulunan malzeme, güneş ışınımını en iyi soğuran kısımdır. En üstteki malzemenin soğuramadığı ışınım, bir alt tabakadaki malzeme tarafından soğurulur. Bu tip hücrelerin yapımında çoğunlukla amorf silisyum, galyum arsenid, galyum indiyum fosfat ve bakır indiyum diselenid malzemelerinin kullanıldığı bilinmektedir (Oktik, 2001).

### **3.2.5 Organik ve polimer fotovoltaik hücreler**

Organik olmayan FV hücrelerin üretim teknolojileri ne kadar gelişmiş olsa da maliyetleri yüksektir. Bu yüzden bu tip hücrelere alternatif olarak organik ve polimer hücre üretimi teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Fakat bu tip hücrelerin verimleri %2,5 gibi çok düşük düzeylerde kaldığı için organik olmayan hücrelerle kıyaslanacak düzeyde değildir. Ancak bu olumsuzluğa rağmen üretim esnasında daha az toksik maddenin açığa çıkması, maliyetlerinin de diğerlerine oranla daha düşük olması gibi sebeplerden dolayı gelecekte kullanılabilmesi düşünülmektedir (Oktik, 2001).

## **3.3 Fotovoltaik Sistem Çeşitleri**

FV Modüller dışında FV Sistemi oluşturan çeşitli bileşenler de bulunmaktadır. Bunlardan;

*Invertorler* diğer adıyla dönüştürücüler; enerjinin dönüştürülmesi amacıyla kullanılır. FV Hücreler, doğru akım (DC) üretirler. Bu enerjinin kullanılabilir hale getirilebilmesi

için alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi gerekmektedir. Enerji dönüştürücüler, şebekeye bağlı sistemlerde ise yüksek gerilimli (110V ve üstü) ve şebekeden bağımsız sistemlerde düşük gerilimli (12-48V) olarak kullanılmaktadır (Pearsall ve Hill, 2001).

*Aküler;* depolama amacıyla kullanılırlar. FV hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisinin fazlasının tüketilmediği durumlarda depolanarak saklanması gerekir. Güneş ışınımı olduğu sürece üretilen enerji akülerde depolanmaktadır. Kurulacak bir sistem için bazı hesaplamalar yapılarak bu sistemin ne kadar aküye ihtiyacı olduğu önceden tespit edilmelidir. Günümüzde FV sistemlerde en çok nikel kadmiyum ve kurşun-asit tipi aküler kullanılmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

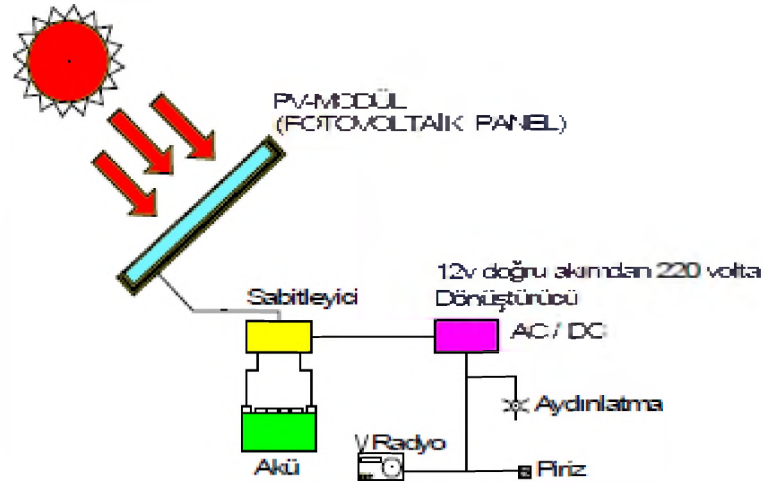
*Şarj Denetim Birimleri;* FV hücreler tarafından üretilen elektrik doğrudan aküye gönderildiğinde akülere zarar verebilmektedir. Bu olumsuzluğu önlemek için şarj denetim birimleri kullanılarak aşırı enerji yüklenmesini ve boşalması sağlanabilmektedir. Başka bir ifadeyle akülerin şarj ve deşarj olmasını engelleyen birimlerdir (Sayın ve Koç, 2011).

*Diğer Sistem Bileşenleri;* PV sistemlerde modüller, aküler vb. bileşenler dışında farklı elemanlardan da faydalanılmaktadır. Bunlar; kablolama, topraklama, sigortalar, diyotlar vb. çeşitli devre elemanlarıdır (Sayın ve Koç, 2011).

### **3.3.1 Şebekeden bağımsız (Off Grid) sistemler**

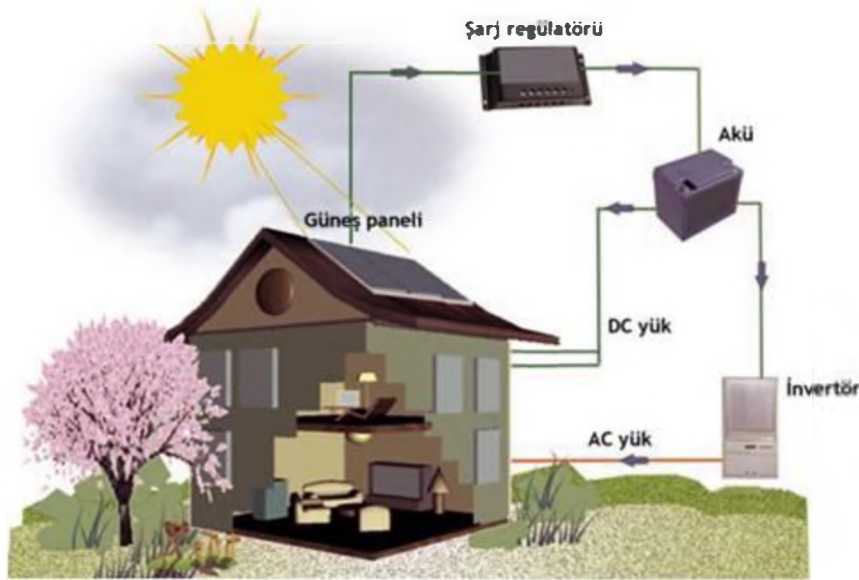
Şebekeye ulaşımın zor olduğu koşullarda bu sistemler enerji ihtiyacını karşılaması amacıyla tasarlanmışlardır. Bu sistemler şebekeden bağımsız oldukları için, yeterli miktarda fotovoltaiik modül kullanılırsa enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeyde olacaktır. Güneşten üretilen enerji, akü gibi depolama birimleri ile depolanabilir ve ihtiyaç halinde gerektiği gibi kullanılabilir. Bunun yanı sıra gece şebeke yardımı olmadan depolanan enerji kullanılabilir hale getirilir. Depolanan DC elektriğin kullanılabilir olması için AC elektriğe dönüştürülmesi ve şebeke bağlantısı ile uyumlu olması yeterlidir (Sayın ve Koç, 2011).





**Şekil 3.13 :** Şebekeden bağımsız PV modül kullanımı (Sayın ve Koç, 2011).

Ancak bazen şebekeye bağlanmak için harcanan maliyet FV sistemin kurulmasındaki maliyetinden daha fazla olabilmektedir. İlk yatırım maliyetinden sonra başka herhangi bir bakım ve gideri olmayan bu sistemlerin genellikle kırsal kesimlerde uygulandığı bilinmektedir. Şekil 3.13’de görüldüğü gibi akü kullanılan bu sistemlerde depolama ihtiyacı vardır. Bundan dolayı sistemin maliyeti artmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).



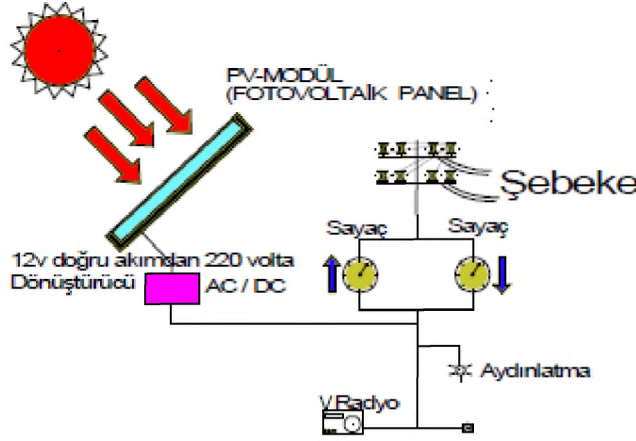
**Şekil 3.14 :** Şebekeden bağımsız PV Sistem (Url 9).

Şebekeden bağımsız sistemler (Şekil 3.14); en eski fotovoltaik sistemleri olarak bilinmektedirler. Çünkü şebekeden bağımsız oldukları için yalnız birimlerde elektrik problemini çözebilecek tek kaynaktır. Bu sistemler genellikle ışıklandırma, ev aydınlatması, demiryolu, kara yolu, yaya geçidi ışığı, botlar, yatlar, güneşe maruz

kalan küçük konutlar gibi yerlerde kullanılmaktadır. Akü desteğiyle birlikte kullanılan bu sistemler elektrik kesintisi olduğu durumlarda uzak bölgelerde kullanılarak avantaj sağlamaktadırlar. Aynı zamanda ekonomik ve çevreci sistemler olarak bilinmektedirler (Kantaroğlu, 2010).

### 3.3.2 Şebeke bağlantılı (On Grid) sistemler

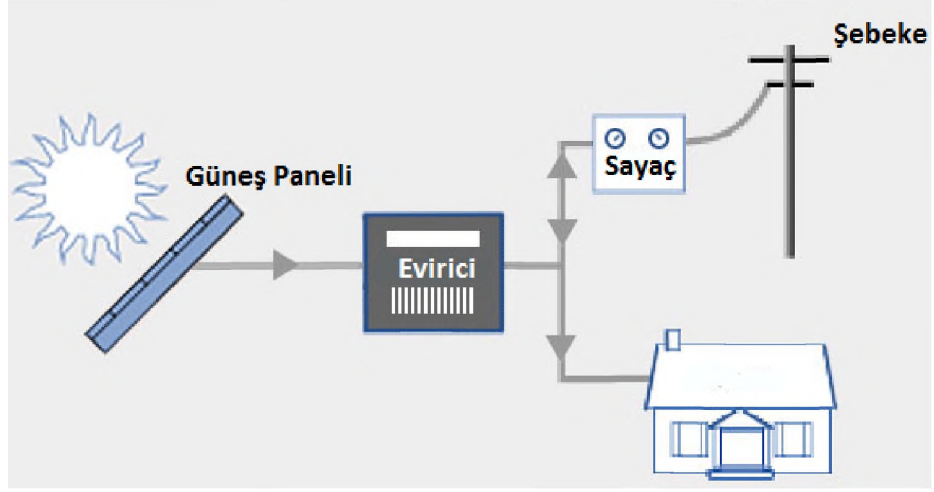
Şebeke bağlantılı sistemler, güneşten elde edilen enerjinin hiçbir depolama biriminde depolanmadan şebekeyi beslediği ve anında kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemler Şekil 3.15’de görüldüğü gibi iki yönlü bir sayaçla şebekeye bağlanarak, o anda şebekeyi beslediği gibi gerekli tarifelerin belirlenmesiyle fazla elektriğinde satışına kanunların uygun olduğu sürece izin verilebilen sistemlerdir.



Şekil 3.15 : Şebeke bağlantılı PV sistem (Sayın ve Koç, 2011).

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi sistemde akü benzeri depolama birimleri kullanılmayacağından depolama için ek bir maliyet gerektirmemektedir. Sisteme yakın yerlerde olduğundan yalnızca üretilen DC akımın, AC akıma çevrilmesi ile şebekeye uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Enerji dönüşümünün daha az olmasından dolayı kayıplar, genellikle çok düşük miktarlarda olmaktadır. Üretilen enerji şebekeye bağlı olduğundan üretilen enerjinin yetmediği durumlarda şebeke devreye girerek ve enerji kesintisi olmadan sistemi besleyecektir (Aktacir ve diğ, 2008).

Ayrıca şebekeye elektrik üretilip satan, büyük güç üretim merkezleri de bulunmaktadır. Bu güç üretim merkezlerinin gücü 600-700 kW dan başlayarak daha yüksek MegaWatlara kadar değişmektedir (Oluklulu, 2001).



Şekil 3.16 : Şebeke bağlantılı (On-Grid) sistem (Url 10).

### 3.3.3 Hibrid sistemler

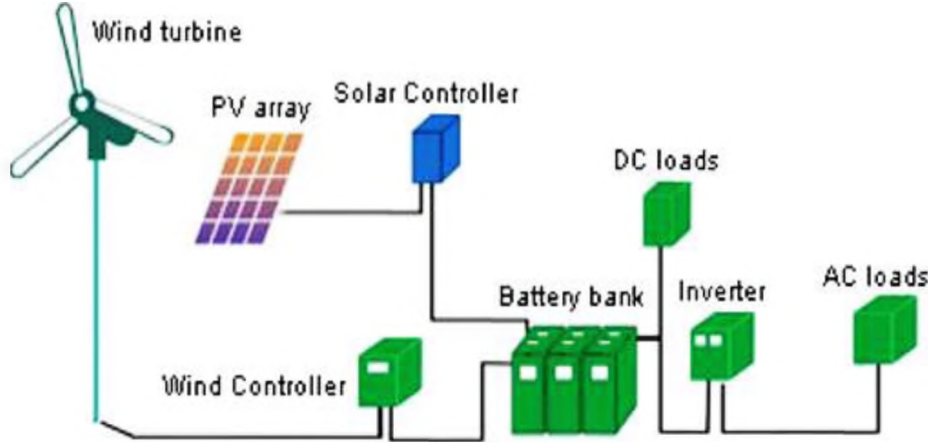
İklim koşulları göz önüne alındığında küçük rüzgar türbinlerinin ve fotovoltaik güneş panellerinin enerji üretimi değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple tek tek kullanıldığında zengin bir enerji üretim kaynağı olarak görülmemektedir. Enerji üretim kaynağını daha zengin bir hale getirmek amacıyla rüzgar ve güneş kaynaklarının birleştirilerek kullanılmasına "Hibrid sistem" denir. Yenilenebilir enerji uzmanlarına göre, rüzgar ya da fotovoltaik güneş sistemini birleştiren hibrit sistemler, tek bir sistem için oldukça avantajlı olarak belirtilmektedir.

Güneş ışınlarının en parlak ve güçlü olduğu yaz aylarında rüzgarın hızı düşük olmaktadır. Güneş ışınlarının daha az olduğu kış aylarında ise rüzgar hızı yüksek olmaktadır. Bu iklimsel koşullardan yola çıkarak, güneş ve rüzgar enerji sistemlerinde üretilen enerjinin yılın farklı zamanlarında değişkenlik gösterdiği söylenebilmektedir. Rüzgar hızının düşük veya verimsiz olduğu günlere alternatif olarak güneş enerjisinden yararlanılarak oluşturulan bu hibrid sistemlerde enerji üretiminin kesintisiz olarak devam etmesi sağlanabilmektedir.

Hibrid sistemlerin en önemli olumsuzluğu ise; güneş panelleri veya rüzgar türbinlerinin maliyetinin tekil kullanımına oranla biraz daha fazla olmasıdır. Fakat aradaki bu fark oldukça az miktardadır, çünkü kullanılan bileşenler Şekil 3.17 de görüldüğü gibi rüzgar ve güneş enerjisi sistemleriyle (Pil, İnverter, kontrol ve güvenlik birimleri gibi temel bileşenler) kullanılan bileşenlerle aynıdır.

Hibrid sistemler genellikle yaz kış her mevsimde enerji gereksiniminin olduğu ve bir an bile kesintinin olmasının istenmediği durumlarda ya da rüzgar enerji sistemlerinin

desteklenmesi amacı ile kullanılan ve uygulanan sistemlerdir. Hibrid sistemlerde güneş, rüzgar veya dizel enerji kaynakları ikili ya da duruma göre üçlü olarak kullanılabilir. Sistem üçlü kullanıldığında da ikili kullanımda olduğu gibi çalışabilir sadece farklı olarak sisteme ek bileşenler yapılması gerekebilir (Url 11).



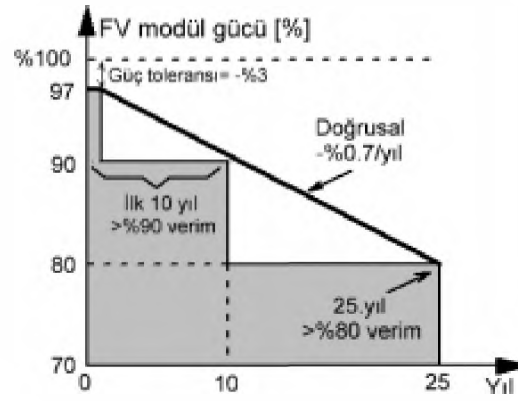
Şekil 3.17 : Rüzgar türbinli bir hibrit sistemde bulunan bileşenler (Url 11).

### 3.4 Fotovoltaik Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler

FV sistemlerin performansını etkileyen bir çok etmen bulunmaktadır. Teknik özellikler, panelin konumu, yüzey eğim açısı, panelin yerleştirildiği yön, rüzgar yönü ve hızı, sıcaklık, nem, hava kirliliği, panelin yüzey temizliği, panelin bakımı, havalandırılması, temizlenmesi gibi değişik faktörler bulunmaktadır. (Demir, 2015).

#### 3.4.1 Teknik özellikler

Güneş panelleri adı verilen sistemler 36 ya da daha çok güneş gözesinin seri bağlanması ile oluşturulmuş olup, laminasyon tekniği kullanılarak hermetik olarak paketlenmesiyle dış ortamın bozucu etkilerinden uzun yıllar (yaklaşık 25 yıl) etkilenmemesi amaçlanarak üretilmişlerdir. Bir FV güç sisteminin ömrü FV panellerin ömründen doğrudan etkilediği için mümkün olduğunca uzun ömürlü ve dayanıklı güneş panelleri tercih edilmesi sistemin verimliliği için önemli etkenlerdendir. Genellikle üreticilerin çoğu 25. yılda %80 panel gücünü garanti etmektedir. Şekil 3.18 de görüldüğü gibi birçok üretici güçte meydana gelen azalmayı doğrusal olarak ifade ederken, bazı üreticiler ise 10.yılda % 90 , 25. Yılda ise %80 güç garantisi şeklinde kademeli düşüş olarak belirtmektedirler (Boztepe, 2017).



Şekil 3.18 : FV panel garanti süreleri (Boztepe, 2017).

FV panelin özellikleri, ebatları, rengi, çerçevesiz yada çerçevesiz montaj sistemi gibi özelliklerinin hem yapının görünümünü hem de sistemden elde edilebilecek enerji değerlerini etkileyebilecek olduğu bilinmektedir. Güneş hücreleri çoğunlukla mavi, siyah yada lacivert renklerde üretilmektedirler ama bunun yanında kırmızı, sarı, turuncu, gri, yeşil renklerde de üretilmektedir. Ancak bu renklerin standart bir üretimi bulunmadığı için genellikle diğerlerine göre biraz daha pahalı oldukları bilinmektedir. Ayrıca performansa etki eden önemli faktörlerden birisi olarak hücre yapımında kullanılan malzeme de sayılabilir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Çizelge 3.1 : Güneş hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri (Prasad ve Snow, 2005).

Panel Tipi	Performans(%)	Alan(m <sup>2</sup> /kWp)
Yüksek Performanslı	17-18	6 – 7
Mono Kristal Silisyum	12 – 15	7 - 9
Poli Kristal Silisyum	11- 14	7 - 10
İnce Film Bakır İndiyum Selenoid	9 – 11	9 - 11
İnce Film Kadmiyum Tellur	6- 8	12 – 17
İnce Film Amorf Silisyum	5 – 7	14 – 20

### 3.4.2 Konum

Dünyamızın şekli geoit olduğundan güneş ışınlarının yeryüzüne düşüş açısı bölgelerden bölgelere farklılıklar göstermektedir (Turhan ve Çetiner, 2012). Güneşten doğrudan gelen enerji 174 Petawatt olarak bilinmektedir. Bu enerjinin 10 PW'lık kısmının atmosferden, 35 PW'lık kısmının bulutlardan ve 7 PW'lık kısmının dünya yüzeyinden yansıtılarak uzaya geri döndüğü bilinmektedir. Geriye kalan kısım ise atmosfer, karalar ve denizler tarafından emilmektedir. Enerjinin atmosfer tarafından

emilen kısmının 33 PW, kara ve denizler tarafından emilen kısmının ise 89 PW civarında olduğu bilinmektedir.

FV sistemlerde güç çıkışı üzerinde en büyük etkiye sahip olan etmen güneş radyasyonudur. Birimi  $W/m^2$  olan güneş ışınımı, literatürde güneş yoğunluğu (sun intensity) veya güneş radyasyonu (solar radiation/solar irradiance) olarak da bilinir (Zengin ve Köse, 2015).

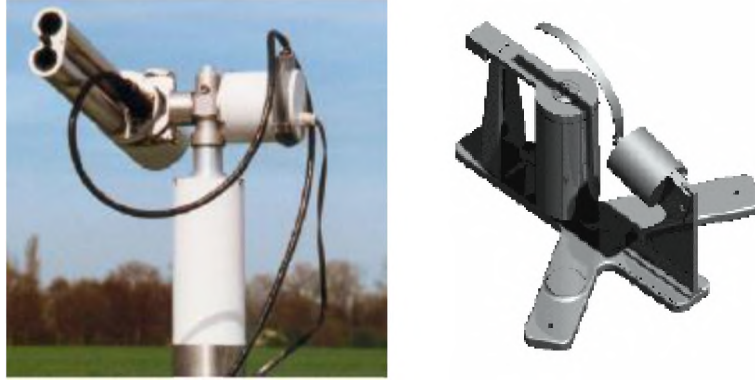
Ülkemiz güneş radyasyonu bakımından şanslı bir konumda bulunmaktadır. Bu nedenle PV sistemlerin kullanılacağı bir bölgede veya konumda, elde edilecek güneşlenme değerlerinin PV sistemin üreteceği enerjiyi doğrudan etkileyeceği göz önünde bulundurularak buna uygun şekilde konumlandırılmalıdır. 2. Bölümde de bahsedildiği gibi ülkemizde yıllık güneşlenme süresi bakımından en zengin bölgeler Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri iken, güneşlenme veriminin en düşük olduğu bölge Karadeniz Bölgesidir.

### **3.4.3 Gölgeleme**

PV Sistemlerde enerji çıkışını etkileyebilecek diğer en önemli etken gölgeleme. Gölgeleme, PV panelin veya sistemin bulunduğu bölgenin etrafında gölge yapabilecek herşey ile olabilir. Binalar, ağaçlar, etrafta bulunan farklı nesnelere gölgeleme sebep olabilir. Bu gibi durumlar PV sistemin performansının düşmesine sebep olur. Bu durumu engellemek için PV sistem konumlandırılırken uygun yer seçilmeli, etrafta gölgeleme sebep olabilecek nesnelere mümkün olduğunca kaçınılmalıdır (Roberts ve Guariento, 2009).

### **3.4.4 Güneş takip sistemleri**

Güneş takip kontrolörleri, FV sistemlerde güneşin panele göre olan yönünü belirlemek ve paneli güneşin yönüne göre yönlendirmek amacıyla tek eksenli veya çift eksenli çalışmasını sağlayacak şekilde ayarlanmış sistemlerdir. Bu kontrolörlerde güneşin panele göre yönünü belirleyebilmek amacıyla algılayıcı kullanılır. Aynı şekilde yönlendirmenin gerçekleşmesi içinde komutları uygulayan bir denetleyici sistemi bulunmaktadır. Kullanılan algılayıcılar fotometrelerdir. Şekil 3.19'da hareketli ve gölgeleme prensibine göre çalışan iki ayrı fotometre bulunmaktadır (Nakir, 2007).



**Şekil 3.19** : Hareketli ve gölgelemeli fotometreler (Nakir, 2007).

Panellerin monte edilmesi gereken yön çoğunlukla güney yönüdür. Ancak bazı performans düşüklükleri göz önünde bulundurulduğunda Güney-Doğu ve Güney-Batı yönlerinde de uygulama yapılabildiği görülmektedir (Prasad ve Snow, 2005). Türkiye’de FV panellerin yaz ve kış ayları dikkate alındığında en iyi yerleştirme açısı genellikle  $30^\circ$  dir. Farklı yönde ve açılarda yerleştirilen FV panellerde gerçekleşen performans düşüşü, modül tipine göre değişiklikler göstermektedir. Türkiye şartlarında  $10^\circ$  ile  $30^\circ$  arasındaki yıllık performans farkı %15’i geçmemektedir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Sabit ya da hareketli bir düzlemde bulunan güneş panelinin yüzeyine gelen güneş ışınlarının değeri, bu düzlemin bulunduğu bölgeye, bölgedeki coğrafi konuma ve o günün tarihine, o günün zaman dilimi ile bağlantılı olarak değişiklikler göstermektedir. Bunlarla ilgili olarak bilinmesi gereken bazı güneş açıları şunlardır (Şenpınar, 2006):

#### **a. Enlem açısı ( $\phi$ )**

Ekvatorun kuzey veya güneyinde, ekvator merkezine göre oluşan açıdır. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilmektedir.

Enlem açısı,  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  arasında değerler alabilmektedir (Şenpınar, 2006).

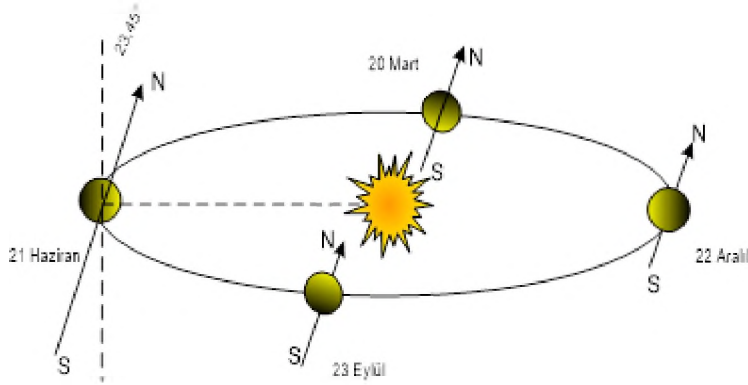
#### **b. Deklinasyon açısı ( $\delta$ )**

Deklinasyon, güneş ve dünyanın merkezini birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açığa verilen addır. Artık yıldan dolayı deklinasyon açısında değişim meydana gelmektedir.

21 Mart ekinoksu ve 23 Eylül ekinoksu tarihlerinde deklinasyon açısı sıfır iken, 21 Aralık kış gündönümünde  $-23,45^\circ$  ve 21 Haziran yaz gündönümünde  $23,45^\circ$  değerini



alır. Buna göre diğer günlerde de  $-23,45^\circ$  ile  $23,45^\circ$  arasında değerler alır ve Şekil 3.20'de gösterilmektedir (Ajder, 2011).



**Şekil 3.20** : Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu (Şenpınar, 2006).

Deklinasyon açısı ampirik formüller yardımıyla elde edilebilir. Bu formüllerden en çok kullanılanları denklem 3.5 te verilen Cooper (1969) formülü ve denklem 3.6 da ki Lunde (1980) formülü olarak bilinmektedir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n+284}{365}\right) \quad (3.5)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n-80}{370}\right) \quad (3.6)$$

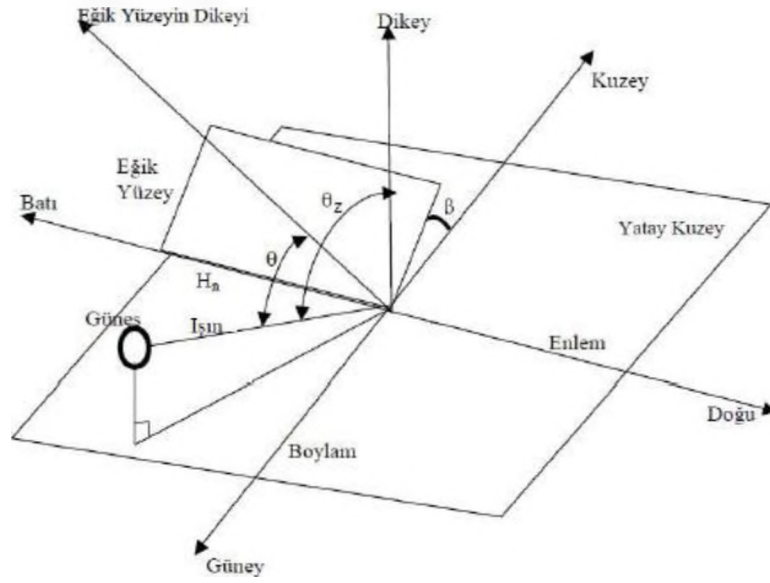
### c. Zenit açısı ( $\theta_z$ )

Güneşin yer doğrultusunun, yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Güneş doğarken de ve batarken de zenit açısı  $90^\circ$ , güneş ışınları yatay düzleme dik geldiğinde ise  $0^\circ$  olur. Aynı zamanda güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarı olarak ta bilinir. Yatay bir düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı esnasında zenit açısı  $90^\circ$  ve öğle saat 12:00'de ise zenit açısı  $0^\circ$  'dir. Güneş öğle saatinde en yüksek noktada bulunur ve güneş ışınlarını dik açıyla alırız. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişim Şekil 3.21'de görülmektedir (Messenger ve Ventre, 2000; Şenpınar, 2006).

Zenit açısı 3.7 denkleminde görüldüğü gibi hesaplanır (Beckman ve Duffie, 1991).

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



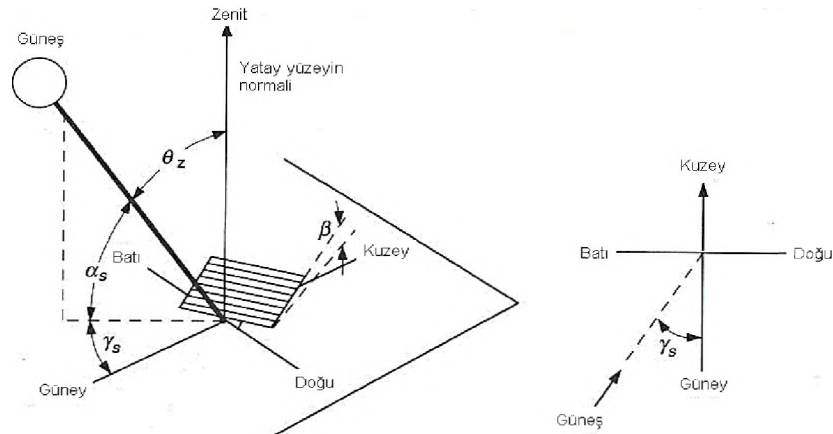


**Şekil 3.21 : Zenit açısı (Deriş, 1979).**

Burada  $\theta_z$  zenit açısı,  $\theta$  geliş açısı,  $\beta$  eğim açısını göstermektedir.

#### **d. Azimut açısı ( $\gamma$ )**

Kuzey güney doğrultusunun, eğik yüzeyin normal düzlemi ile yaptığı açıdır (Ruckstuhl ve diğ., 2008). Güneyde  $0^\circ$ , batıda  $90^\circ$ , doğuda  $270^\circ$ , kuzeyde  $180^\circ$  dir. Şekil 3.22 azimut açısını göstermektedir (Kılıç ve Öztürk, 1983).



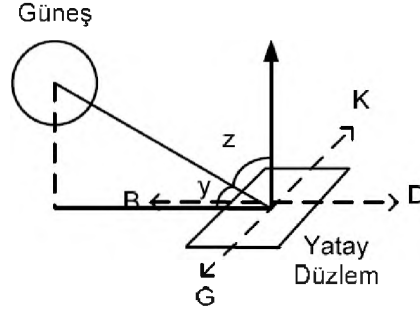
**Şekil 3.22 : Azimut açısı (Şenpınar, 2006).**

#### **e. Güneş yükseklik açısı ( $\alpha_s$ )**

Güneş ışığının geliş doğrultusu ile yatay düzlemde oluşan açı miktarıdır. Zenit açısını  $90^\circ$ 'ye tamamladığından dolayı, buradan güneş yükseklik açısı;  $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$

olmaktadır (Şenpınar, 2006). Şekil 3.23 te güneş yükseklik açısı ile beraber zenit açısı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere iki açı birbirlerini 90° ye tamamlamaktadır. Güneş yükseklik açısı 3.8. Denklemden görüldüğü gibi hesaplanabilir (Ajder, 2011).

$$\sin(\gamma) = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos w + \sin\delta \cdot \sin w \quad (3.8)$$



Şekil 3.23 : Güneş yükseklik açısı (Ajder, 2011).

#### f. Saat açısı ( $\omega$ )

Saat açısı, güneş ışınlarının bulunduğu güneş boylamı ile gözlenen yerin boylamı arasındaki açı olarak bilinmektedir. Saat açısı, gözlenen yer ile güneş boylamının kesiştiği güneş öğlesi adı da verilen güneş saati 12:00' den önce ise ( - ), daha sonra ise ( + ) olarak alınır. Güneş saati ile ilgili zaman arasındaki fark alınır ve 15 sabit sayısı ile çarpılarak bulunur. Bu sabit sayı, dünyanın güneşin etrafında bir tur dönmesiyle elde ettiği 360°'lik açının 24' e bölünmesiyle elde edilen bir sayıdır. Farklı bir söylemle bu kat sayı, dünyanın güneşin çevresinde 1 saatte yapmış olduğu açıdır. Güneş yükseklik açısı başlığında belirtilen 3.8 denklemden  $\omega$  simgesi saat açısına karşılık gelmektedir (Abuşka, 2014).

#### 3.4.5 Maksimum güç noktası

Fotovoltaik sistemlerde çıkış gücünün en yüksek verimde olduğu nokta maksimum güç noktası olarak bilinir. Maksimum güç noktası güneş ışınlarının panel yüzeyine gelişi açığa ve panelin sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ancak bu değerlerin her zaman en yüksek değerde olması maksimum verim alınacak anlamına gelmemektedir (Onat ve Ersöz, 2009).

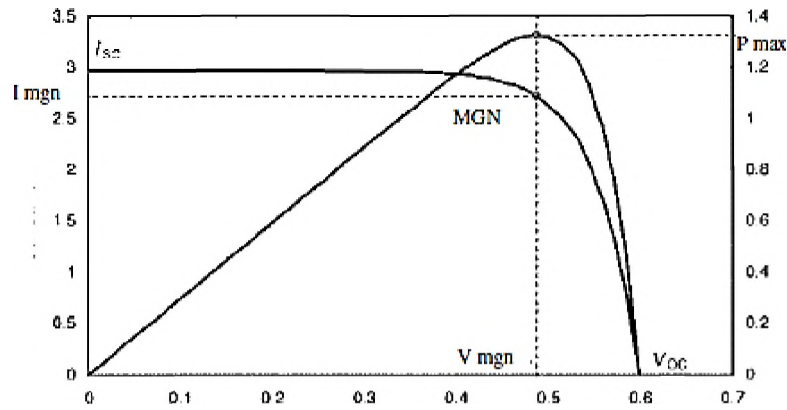
Güneş panellerinden en yüksek düzeyde güç aktarımının yapılabilmesi için bir DC dönüştürücü sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Panelleri yük ve akü gerilimlerinden bağımsız olarak kontrol edebilen bu arabirime MGTS yani maksimum güç takip

sistemi (Maximum Power Point Tracker, MPPT) denir. Maksimum güç sistemlerinin temel amacı, panelden elde edilebilecek maksimum gücün yüke veya depolama sistemine aktarılmasını sağlamaktır (Nakir, 2007).

PV sistemler enerjiyi DC ürettikleri için bir PV panelden yüke aktarılan güç ifadesi,

$$P_{PV} = V_{PV} \cdot I_{PV} \quad (3.9)$$

3.9 denkleminde olduğu gibi ifade edilmektedir. Bu güç ifadesi kullanılarak şekil 3.25 te bir güneş paneli için akım- gerilim ve güç-gerilim karakteristiğinin üzerinde maksimum güç noktası (MGN) olarak gösterilmiştir (Volker, 2005).



**Şekil 3.24 :** PV panele ait I-V ve P-V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası (Nakir, 2007).

Şekilde de görüldüğü gibi güneş panellerinin I – V ve P – V karakteristikleri, her ışınım değerine göre farklılıklar göstermektedir. Panel yüzeyine gelen ışınım değerlerinin farklılaşması her PV sistemdeki maksimum güç noktasının da farklı olması anlamına gelmektedir. Bir PV panele ait maksimum güç noktası güneşten gelen ışınım değerlerine göre değiştiği gibi, bu değişikliği ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı gibi değerler de etkilemektedir (Nakir, 2007).

### 3.4.6 Çevresel faktörler

FV sistemler güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kullanılan sistemlerdir. Ancak bu doğrultuda fazla güneş enerjisi daha fazla elektrik enerjisi anlamına gelmemektedir. PV Paneller güneş enerjisinin % 5 ile % 25 arasında dönüşümünü sağlarlar. Güneş enerjisinin çok fazla olduğu durumlarda panel ısınarak, enerji kaybına sebep olmaktadır. Örneğin; kristal silisyum hücreler, amorf silisyum hücrelere nazaran sıcaklıktan daha çok miktarda etkilenmektedirler. Bu nedenle de daha fazla performans düşmesine sebep olurlar (Thomas ve Fordham, 2001).

FV panelin ve dış ortamın arasında bulunan sıcaklık farkı güneş ışınlarının yoğunluğuna göre değişkenlik göstermektedir. Sıcaklığın fazla olduğu günlerde 40°C üzerine kadar çıkabilir. Dış ortam sıcaklığı daha yüksek olan yaz aylarında FV panel sıcaklığı 70 - 75°C' ye kadar yükselebilir (Roberts ve Guariento, 2009). 25°C modül sıcaklığında modüllerde oluşan her 10°C artış enerjinin % 0,4 ile % 0,5 oranında düşmesine sebep olmaktadır (Thomas ve Fordham, 2001).

FV sistemin arkasında ortaya çıkan sıcaklık, panellerin havalandırmasıyla doğrudan ilgilidir. Eğer FV sistem monte edilirken arka yüzeyinden havalandırılmasına imkan verilmeyecek şekilde yerleştirilmişse, arka yüzeyinde oluşan sıcaklık FV panelin performansının düşmesine sebep olur. Bunun yerine başlangıçta, monte edilirken FV sistemlerin arka kısımlarında hava boşluğu kalacak şekilde doğal yoldan havalandırılması sağlanırsa sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan olumsuzluklarda en aza indirgenmiş olacaktır (Roberts ve Guariento, 2009; Turhan ve Çetiner, 2012).

PV panellerinin güç üretiminde nemin etkisi olduğu bilinmektedir. Umman' da yapılan çalışmada Monokristal, Polikristal ve Amorf silikon PV türlerinde yüksek bağıl nem oranına göre performans değişimlerini incelenmiştir. Bu çalışmada; bağıl nemin, akım, voltaj ve gücü etkilediği için fotovoltaik verimi de etkilediği görülmüştür. Bağıl nem azaldığında voltaj, akım ve verimin arttığı görülmüştür. Ayrıca, Monokristal panelin, diğer teknolojilere göre bağıl nem azaldığında en yüksek verime sahip olduğu bulunmuştur (Kazem ve diğ., 2012).

Rüzgar hızının da hücre performansının düşüşü ile ilgili bir etkisi bulunmaktadır. Yüksek rüzgar hızları, bir hücrede yüksek toz birikmesine de yol açarak performans düşüşlerine neden olmaktadır. Düşük rüzgar durumunda ise, hücre performansındaki düşüşün de daha az olduğu söylenebilmektedir. Yapılan deneylerde, rüzgar hızının genellikle toz birikimini tetiklemesinden kaynaklanan PV performansının düşmesine sebep olduğu görülmüştür (Goossens ve Van Kerschaeffer, 1999).

Ayrıca panel kalitesi ve sağlamlığını korumak açısından şu açıklamaların da göz önünde bulundurulması enerji üretim performansının daha iyi olması açısından önemli etmenlerdendir. (Martinez ve Moreno, 2013)

- LID (Light Induced Degradation) / "Işığa bağlı bozulma" etkisi enerji üretiminin tahmin hesaplaması yapılırken dikkate alınmalıdır.

- Üretici garantisi, PID (Potential Induced Degradation) / “Potansiyele Bağlı Bozulma” dan kaynaklanan panel hasarlarını içermelidir.
- FV panellerin gözle görülemeyecek düzeyde çatlaklarını önlemek için darbelerden ve titreşimden korunmalıdır.
- Enerji üretiminin yüksek performansta olabilmesi için paneller güneşe dönük olarak doğru yerleştirilmelidir.
- Paneller üreticiden geldiğinde temiz olması gerekmektedir, cam yüzey üzerinde kalıntı parçacıklar kalmış olmamalıdır.
- Sehpaların tepesine "Kuş-Engelleyici" araçları yerleştirilmelidir.
- Bağlantı kabloları güvenilir bir bağlantının olması için aynı modelde tercih edilmelidir.
- Bağlantı kabloları çok kısa ya da çok uzun bırakılmamalı ve her panelin çevresi ayrı ayrı topraklanmalıdır.
- Her panel dizisi için mümkün olduğunca küçük düğümler yapılmalıdır.
- FV sistemlerin kurulumundan sonra da düzenli olarak hasar tespitleri yapılmalı, gerekli kontrolleri sağlanmalıdır.

#### 3.4.7 Bakım ve temizlik

PV panellerin tozlanması ve kirlenmesi sistemin enerji performansını etkilemektedir. Özellikle tozlu, kumlu ortamlarda yağmurun yağması, panelin temizlenmesi için tek başına yeterli olamayabilir. Tozlanmaya bağlı kayıplar % 20 lere, hatta daha büyük sistemlerde daha fazla enerji kaybına bile sebep olabilmektedir. Şekil 3.25 te görülen PV santral sahile yakın bir yerde bulunduğu için ortamdaki toza çok fazla maruz kalmıştır. Bu gibi durumlarda sistemin temizlenmesi programlı olarak yapılmalıdır (Martinez ve Moreno, 2013).



**Şekil 3.25 :** Sahil yakınındaki, fabrika bölgesine kurulmuş bir PV santral.



#### 4. YAPAY ZEKA

Yapay zekâ (YZ) ile ilgili çalışmalar McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında yapılmıştır. YZ, zeka ve düşünmeye dayalı işlemlerin bilgisayar yardımıyla daha iyi bir şekilde yapılması ve bu yönde daha iyi sonuçların alınarak geliştirilen bir bilim dalıdır. Yapay zekâ; “*düşünme, anlama, yorumlama, kavrama ve öğrenme yapılarının, programlamayla taklit edilerek, problemlerin çözümüne uygulanması*” olarak ta ifade edilebilir (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

Elmas (2007)' e göre; “*Yapay zeka, insan beyninin çalışma prensiplerini anlayarak ve bu sistemi taklit edecek biçimde üstün yetenekler kullanarak bilgisayar işlemlerini yapabilmek*” olarak tanımlamaktadır. Zeka nın bir diğ er tanımı ise, ilk defa karşılaşılan ya da beklenmedik bir olaya uygun bir biçimde ayak uydurabilme, anlama, öğrenme, analiz etme, sonuç oluşturma olarak tanımlanabilmektedir.

Günümüzde bilgisayar sistemleri yapay zeka çalışmalarını kullanarak, olaylar hakkında ilişki kurarak karar verebilme, matematiksel olarak ilişki kurmanın zor olduğu problemlerde sezgisel yöntemleri kullanarak çözümlene yapabilmektedir. Bir problemin çözümünü sağlamak için geliştirilmiş formül ya da algoritmalar geleneksel bilgisayar sistemleri ile mümkündür, fakat önemli olan çözümün elde edilemediği durumlarda yapay zeka yöntemleri kullanılarak problemin çözümünü hızlandırmaktır (Öztemel, 2012).

##### 4.1 Yapay Zekanın Gelişim Süreci

Literatürde yapay zeka alanındaki ilk gelişmelerin başlangıcı olarak Turing makinesinin icadı kabul edilmiştir. Bu gelişme insanlar tarafından gerçekleştirilebilen bir çok işlemin daha hızlı ve daha güvenilir bir şekilde yapılabileceğinin de temelini oluşturmaktadır. Bu icad, bilgisayar teknolojilerinin de daha hızlı gelişmesine ve artmasına sebep olmuştur (Bayır, 2006).

Günlük olayların ve problemlerin sürekli farklılaşmasından dolayı yapay Zeka alanında yapılan çalışmalar farklı teknolojilerin de ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bilgisayarların da bu amaçla kullanılmasından yola çıkarak yapay zeka

teknolojileriyle beraber günümüzde 60 dan fazla yapay zeka teknolojisinden bahsedilmektedir. Bunlardan yaygın bir şekilde çalışma yapılan ve araştırma yapılan dalların bazıları aşağıda verilmiştir:

*Uzman Sistemler*, yapay zekanın bu alanında, özellikle uzmanlık gerektiren konularda yüksek performans gösteren teknolojiler olarak kullanılmıştır. Uzman sistemlerin oldukça büyük bir bilgi tabanına sahip olmaları gerekir. Ancak, değişime ve gelişime açık olması gereken bilgi tabanı kısmı ile program bölümünün birbirinden ayrılması önemli bir noktadır (Rich, 1983; Harmon ve diğ., 1988).

*Genetik Algoritmalar*, Genetik algoritmalar Holland tarafından biyolojik evrim sürecinden yola çıkarak önerilen bir türdür. Genetik algoirtmalarda bir problem için sunulan bir çözüm yerine, birden fazla çözümü değerlendirerek sonuca ulaşılması sağlanır. Bu özellik, genetik algoritmanın paralel arama özelliği olarak nitelendirilmektedir. Problem çözümü ifade edilirken genlerden oluşan bir kromozom ile belirtilmektedir (Coşkun, 2007).

*Makine Öğrenmesi*, Yapay Zekanın bu teknolojisinde belirli algoritmalar ve teknikler kullanarak bilgisayarın öğrenmesi amaçlanır. Bu öğrenmenin gerçekleşebilmesinde geçmiş deneyimlerden ve örnek verilerden faydalanılır (Yıldırım, 2017).

*Bulanık Mantık*, matematiksel modelin çıkarılmasının zor olduğu belirsiz ya da yaklaşım durumları için uygundur ve Bulanık mantık eksik yada belirsiz veriler varken tahmin edilen veriler ile karar verilmesine olanak sağlar (Özpınar, 2007).

*Yapay Sinir Ağları (YSA)*, insan beyninin modellenerek geliştirilmesi amacıyla, her bir yapay sinir hücresinin birbirine bağlandığı ve kendi belleğine sahip olduğu paralel bilgi işleme yapılarıdır. Ayrıca YSA, insan beyninden esinlenerek, öğrenme yöntemleriyle yeni bilgiler öğrenen, bu bilgileri türetebilen ve türetilen bu bilgilerden yola çıkarak tahminler yapabilen ve sonuçlar üretebilen bilgisayar sistemleridir. Bu yöntemlerin klasik programlarla çözümü çok daha zaman alıcı ve zor olmasından dolayı yapay sinir ağları geliştirilmiştir (Öztemel, 2012; Sağıroğlu, 2011; Yıldırım, 2017).

Yapay Zeka teknolojileri kullanılarak yapılan çalışmaların ortak amaçları;

- İnsan beyninin fonksiyonlarını modeller kullanarak anlamayı ve uygun çözümler üretmeye çalışmak,



- İnsan beyninin bilgiyi öğrenme analiz ve sentez yapma gibi zihinsel fonksiyonlarını kullanırken izlediği yöntemleri araştırmak,
  - Bu metotları bilgisayar sistemleri ortamında uygulamaya çalışmak,
  - Bilgisayar ortamında bu metotlar için uygun program ara yüzleri geliştirmek,
  - Uzman Sistemler ile genel bilgi sistemlerini geliştirmek,
  - Yapay Zeka yardımcı teknolojilerini uyarlamak ve zeki sistemler geliştirebilmek,
  - Bilimsel araştırma ve buluşlarda bu yöntemleri geliştirmek,
- olarak sıralanabilmektedir (Saraç, 2004).

## 4.2 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağlarının bilim adamları tarafından yapılan çeşitli tanımları aşağıda verilmiştir.

Bir Yapay Sinir Ağı (YSA), biyolojik sinir ağlarının yapısıyla ve işlevsel açıdan esinlenerek hesaplanan bir modeldir. Birbirine bağlı yapay nöronlardan oluşan bir gruptan oluşur ve hesaplama için bağlantılı bir yaklaşım kullanarak bilgi işler. Çoğu durumda, YSA, yapısını, öğrenme aşamasında ağ üzerinden akan harici veya dahili bilgilere dayalı olarak değiştiren uyarlanabilir bir sistemdir (Quaiyum, 2011).

Yapay sinir ağları insan beyninin en önemli özelliklerinden biri olan öğrenme işlemi gerçekleştirebilen bilgisayar sistemleri olarak tasarlanmışlardır. Öğrenme işlemi gerçekleştirebilmesi için örneklere ihtiyaç duyarlar. YSA lar birbirlerine bağlı işlem birimlerinden oluşurlar. Her bağlantının kendine özel bir ağırlık değeri bulunur. YSA nın sahip olduğu bilgi bu ağırlık değerleri vasıtasıyla tüm ağa yayılır.

YSA, bilindik hesaplama yöntemlerinden farklı yöntemler öneren bir sistemdir. Örneğin; eksik bilgi ile çalışabilmesi, ortama uyum sağlaması, belirsizlikler olduğu durumlarda da karar verme yeteneğine sahip olması, hatalara karşı tolerans gösterebilmek gibi özellikleri sayesinde bir çok alanda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. YSA ile çözülebilen problemlerde; oluşturulan ağ yapısı belirlenirken ya da ağ içinde kullanılacak parametreler seçilirken belirli standartlar bulunmamaktadır. Var olan problemler yalnızca numerik ifadelerle gösterilebilmektedir. Eğitimin sonlandırılması ya da ağın davranışlarının her zaman açıklanamaması gibi durumlara rağmen YSA lara olan ilgi oldukça yoğundur. YSA'nın en güçlü kullanıldığı alanlara örnek olarak; veri sıkıştırma problemleri,

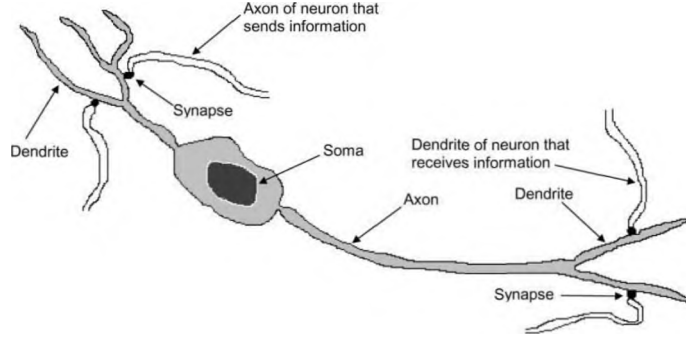
örüntü tanıma, optimizasyon çalışmaları, sinyal filtreleme gibi alanlar verilebilmektedir. Ayrıca, veri madenciliği, parmak izi tanıma, yüz tanıma, rota belirleme, malzeme analizi, kalite kontrol, tıbbi analizler, tahmin programları gibi birçok alanda günlük hayatımızda sıkça kullanımına rastlanılmaktadır (Öztemel, 2012).

Bir sinir ağı, küçük ve birbirine bağlı işlem ünitelerinin toplamıdır. Bilgiler, bu birimler arasında birbirine tüm bağlantı boyunca iletilirler. Gelen bir bağlantının bir giriş değeri ve bir ağırlığı olmak üzere iki girdi değeri vardır. Ünitelerin çıktısı toplanan değerlerin bir fonksiyonudur. Bilgisayarlarda uygulanırken YSA'lar belirli görevleri yerine getirmek üzere programlanmamıştır. Bunun yerine, girdi olarak kullanılan kalıpları öğreninceye kadar veri setlerine göre eğitilirler. Bir kez eğitim aldıklarında, tahmin veya sınıflandırma için onlara yeni modeller sunabilir hale gelirler. YSA'lar otomatik olarak gerçek sistemlerden veya fiziksel modellerden, bilgisayar programlarından veya diğer kaynaklardan gelen verilerin kalıplarını tanımayı öğrenebilirler. Bir YSA birçok girdiyi idare edebilir ve tasarımcılar için uygun bir biçimde cevaplar üretebilir (Mellit ve Kalogirou, 2008).

YSA'lar matematik, mühendislik, tıp, ekonomi, meteoroloji, psikoloji, nöroloji ve diğer pek çok alanda başarılı bir şekilde uygulanmıştır ve uygulanmaya devam etmektedir. Bunlardan en önemlileri arasında, elektromiyografların ve diğer tıbbi imzaların analizinde, askeri hedeflerin belirlenmesinde ve yolcu çantalarında, patlayıcıların tanımlanmasında, desen, ses ve konuşmanın tanınması amaçlı olanları sayabiliriz. Mineral arama alanlarının tahmininde, elektriksel ve termal yük tahmini ile adaptif ve robotik kontrollerde, hava tahmininden iktisadi amaçlı Pazar trendlerine kadar başarıyla kullanılan bilim dallarındandır (Kalogirou, 2001).

#### **4.2.1 Yapay sinir ağının (YSA) biyolojik yapısı**

Biyolojik bir nöron Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Beyinde, sinapslardan aksona doğru, kodlanmış bir bilgi akışı (elektrokimyasal medyayı kullanarak, nörotransmitter olarak adlandırılır) vardır. Her bir nöronun aksonu birtakım diğer nöronlara bilgi iletir. Nöron, sinaptaki çok sayıda diğer nörondan bilgi alır. Her bir nöronun, diğer nöronlardan 10.000 den daha fazla uyaran aldığı tahmin edilmektedir. Nöron grupları alt sistemler halinde organize edilirler ve bu alt sistemlerin birleşmesiyle beyin oluşur. İnsan beyninin yaklaşık olarak birbirine bağlanmış 100 milyar nörona sahip olduğu tahmin edilmektedir. (Kalogirou, 2001).



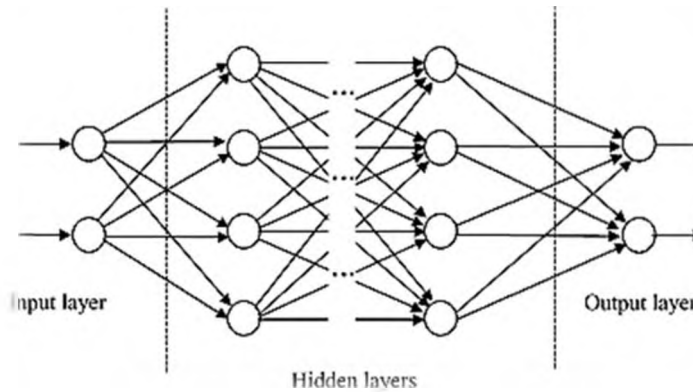
**Şekil 4.1 :** Biyolojik bir nöronun basitleştirilmiş bir modeli (Kalogirou, 2001).

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve bu bilgiye uygun olarak bir karar üreten beynin yani merkezi sinir ağının bulunduğu temel olarak üç katmanlı bir sistem olarak Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.2 :** Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi (Saraç, 2004).

Alıcılar (receptors), organizmanın içinden veya dış ortamdan algıladığı uyarıları, beyne bilgi olarak gönderen elektriksel sinyallere dönüştürürler. Tepki sinirleri ise, beyin tarafından üretilen elektriksel darbeleri organizmanın çıktısı olacak biçimde tepkilere dönüştürürler. Merkezi sinir ağı olan beyinde ise, alıcı ve tepki sinirleri ileri ve geri besleme olarak değerlendirilerek uygun tepkilerin üretilmesi sağlanır. Bu yönü ile, biyolojik sinir sistemi için kapalı çevrim sistemi özelliklerini taşıdığı söylenebilmektedir (Kabalıcı, 2014).



**Şekil 4.3 :** Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağının şematik gösterimi.

Tipik bir çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı mimarisinin şematik bir diyagramı Şekil 4.3' te gösterilmektedir. Ağ genelde bir girdi katmanından, bazı gizli katmanlardan ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Bu basit formda olduğu gibi, her bir nöron uyarlanabilir sinaptik ağırlıklarla bir önceki tabakanın diğer nöronlarına bağlanır. Bilgi genellikle bağlantı ağırlıkları seti olarak saklanır (muhtemelen biyolojik sinir sistemlerinde sinaps etkinliğine karşılık gelir). Eğitim, bağlantı ağırlıklarını uygun bir öğrenme yöntemi kullanarak düzenli biçime getirmeye çalışır. Ağın kullandığı öğrenme moduna göre; bir girdi istenen çıktı ile birlikte ağa sunulur ve ağlar istenen çıktıyı üretmeye çalışacak şekilde ağırlıkları ayarlar. Eğitime başlamadan önce rastgele ve anlamsız olan ağırlıklar, eğitimden sonra anlamlı bilgiler içermiş olurlar (Kalogirou, 2001).

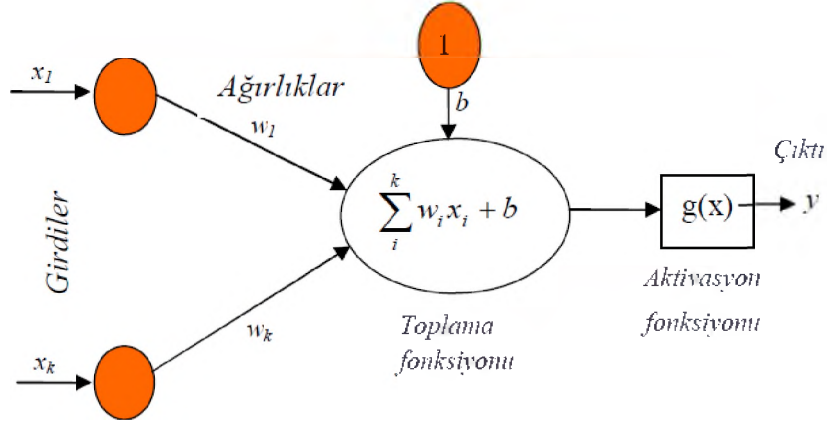
**Çizelge 4.1** : Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağlarının karşılaştırılması (Fausett, 1994).

<b>Biyolojik Sinir Sistemi</b>	<b>Yapay Sinir Ağları</b>
Nöron	İşlemci Eleman
Dentrit	Nöronlar Arası Bağlantılar
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay Nöron Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

#### 4.2.2 Yapay sinir ağı birimleri

Literatürde bir yapay sinir hücresi beş kısımdan oluşmaktadır (Çayıroğlu, 2015):

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu)
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar



**Şekil 4.4 :** Yapay Sinir Hücresi (Es,2013).

*Girdiler* : Dış dünyadan yapay sinir hücresine gelen bilgiler için girdi kavramı kullanılmaktadır. Ancak burada gözden kaçırılmaması gereken nokta, bir Yapay sinir hücresine yalnızca dış dünyadan değil kendisinden de bilgilerin gelebileceğidir (Öztemel, 2012).

*Ağırlıklar* : Yapay sinir hücresine girdiler vasıtasıyla gönderilen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe iletilmeden önce geldikleri bağlantılardaki ağırlıklar ile çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin, oluşacak çıktı üzerine olan etkileri sağlanmış olunur. Ancak bu ağırlıklar belirlenirken değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Herhangi bir ağ için negatif veya pozitif değerler ağa olan etkisi duruma göre değişkenlik gösterir. Ağırlığı sıfır olan girdilerin çıktı üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır (Çayıroğlu, 2015).

*Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu)* : Bir yapay sinir hücresine gelen girdi ve ağırlık değerinin çarpılmasıyla elde edilir ve o sonunda tüm girdilerin ağırlıklarla çarpılarak toplanmasıyla net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur.

Aşağıdaki Çizelge 4.2’de bazı toplama fonksiyonları verilmiştir (Öztemel, 2012) :

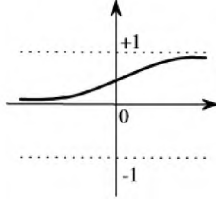
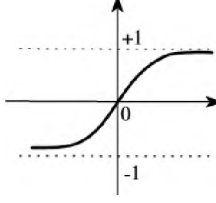
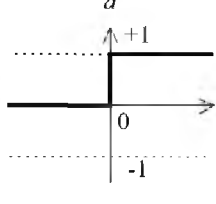
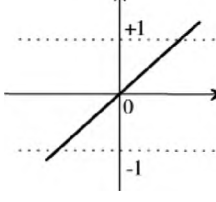
**Çizelge 4.2 : Bazı toplama fonksiyonları ve açıklamaları.**

	Fonksiyon	Açıklaması
Toplam	$Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerlerinin girdiler ile çarpılması ve bulunan değerlerin birbiriyle toplanarak hesaplanmasından Net girdi bulunur.
Çarpım	$Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerlerinin girdiler ile çarpılması ve daha sonra bulunan değerlerin yine birbiriyle çarpılması ile Net girdi hesaplanır.
Maksimum	$Net = Max(X_i * W_i)$	N adet girdi içinden ağırlıkların girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğünün Net girdi olarak kabul edilir.
Minumum	$Net = Min(X_i * W_i)$	N adet girdi içinden ağırlıkların girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğünün Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk	$Net = \sum_{i=1}^N Sgn(X_i * W_i)$	N adet girdi içinden ağırlıkların girdilerle çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur ve büyük olan sayının hücrenin net girdisi olarak kabul edilmesidir.
Kümülatif Toplam	$Net = Net(eski) + \sum_{i=1}^N (X_i * W_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıkları ile toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri de eklenerek hücrenin net girdisinin hesaplanmasıyla bulunur.

*Aktivasyon Fonksiyonu* : Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirleyen bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan fonksiyonlardan seçilmektedir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” özelliği aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmamasından dolayı kaynaklanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olması gerekir. Günümüzde kullanımı yaygın olan “Çok katmanlı algılayıcı” modelinde genellikle “Sigmoid fonksiyonu” aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edilmektedir (Çayıröglü,2015).

Aşağıdaki Çizelge 4.3’de En çok kullanılan Aktivasyon fonksiyonları verilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Aktivasyon Fonksiyonları (Öztemel, 2012 ; Demuth ve diğ, 2008).**

Aktivasyon Fonksiyonu	Formülü	Grafığı	Açıklaması
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	$f_{NET} = \frac{1}{1 + e^{-NET}}$		Sigmoid fonksiyon, sürekli ve türevi alınabilen bir fonksiyondur. Doğrusal olmadığı için YSA'lar da en sık tercih edilen fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında değer üretir.
Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu	$f_{NET} = \frac{e^{NET} + e^{-NET}}{e^{NET} - e^{-NET}}$		Sigmoid fonksiyona benzer bir fonksiyondur. Farklı olarak girdi değerleri -1 ile 1 arasında değişir.
Eşik aktivasyon fonksiyonu	$f_{NET} = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$		Gelen Net girdinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
Doğrusal (Özdeşlik) Aktivasyon Fonksiyonu	$f_{NET} = A * f_{NET}$ A sabit bir sayı		Doğrusal problemler çözmek amacıyla tercih edilen bir fonksiyondur. Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısı olarak hesaplanır.

**Çıktı :** Yapay sinir ağlarında problemin çözümü çıktı olarak bilinir. Girdilerden her biri kendine ait olan ağırlık değeri ile çarpılarak, uygun olan birleştirme fonksiyonu yardımıyla net girdiye dönüştürülmektedir. Daha sonra bu net girdi de aktivasyon fonksiyonu yardımıyla net çıktı olarak hesaplanmaktadır (Alan, 2013).

#### 4.2.3 Yapay sinir ağı özellikleri

Yapay Sinir Ağları ile bilimin bir çok alanında çalışmalar yapılmaktadır. Literatürdeki bu çalışmalar incelendiğinde, yapay sinir ağlarının hemen hemen tüm alanlarında kullanılan bazı genel özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir.

*Doğrusal Olmama*, YSA'nın doğrusal ya da doğrusal olmayan problemler için tercih edilen aktivasyon fonksiyonu sayesinde, iyi çözümlere ulaşılabilirlik mümkündür. Burada tercih edilen aktivasyon fonksiyonu önemlidir (Haykin, 1994).

*Öğrenme*, Yapay sinir ağlarının öğrenme biçimi, insan beyninin öğrenme şekline yola çıkarak bulunmuştur. YSA lar kendilerine verilen örnekleri kullanarak öğrenme gerçekleştirebilirler (Hamzaçebi, 2011).

*Genelleme*, Ağ yapısının, eğitim sırasında kullanılan sayısal veriler ile eşleştirme yapabilmesi, kaba veya kullanılmayan özelliklere sahip olan verileri ayırt etmesi ve bunlardan anlamlı sonuçlar çıkarabilmesidir (Efe ve Kaynak, 2006).

*Uyarlanabilirlik*, Belirli bir problemi çözmek için eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilmelidir ve değişimler devamlı ise gerçek zamanda denetim gibi alanlarda kullanılmaya elverişli olmasıdır (Ergezer ve diğ., 2003).

*Paralellik*, YSA lar bir araya geldiğinde çok fazla hücre olurlar ve bu hücreler birlikte çalışırlar, bilgisayar sistemleri ise beyine nazaran çok daha hızlı olmasına rağmen, doğal olarak beynin toplam hızı bilgisayarlara göre çok daha fazla yüksektir. YSA lar da tüm sistem eş zamanlı ve hızlı çalışabilmektedir. Böylelikle doğrusal olmayan problemlerin çözümüne de olanak sağlamaktadır (Temür, 2013).

*Eksik verilerle çalışma*, YSA, geleneksel sistemlerin aksine, eksik bilgilerle de çalışabilmektedir ve sonuç üretebilmektedir. Modelin performansı ise eksik bilgilerin ne derecede önemli olduğu ile ilişkilidir (Yiğit, 2011).

*Hata Toleransı*, YSA' lar birçok sayıda hücrenin bağlanması ile oluşmaktadır ve paralel bir çalışma şekline sahiptir. Ağa giren bilgiler, tüm bağlantılar üzerine dağılmaktadır. Bu sebeple, YSA'nın eğitiminde bazı hücrelerin olmaması ya da etkisiz olması, buna rağmen ağın doğru bilgi üretebilmesini önemli bir seviyede etkilememektedir. Bunun için, geleneksel yöntemlere nazaran hatayı tolere etme yeteneğinin daha iyi olduğu söylenebilir (Bahadır, 2008).

*Uyum*, YSA'ların kendisine gösterilen örnekler ile yeni durumlara uyum sağlaması ve oluşan yeni olayları öğrenmesi mümkündür (Öztemel, 2012). YSA'lar, tanımı veya parametreleri değişkenlik gösteren problemlere veya sistemlere uygun olarak çözümler üretebilmek için her defasında eğitilebilirler, bu eğitimler gerçek zamanda da gerçekleştirilebilmektedir (Sağıroğlu, 2003).



#### 4.2.4 Yapay sinir ağları kullanım alanları

YSA ile karşılaşılan problemlerin en doğru ve en kısa sürede çözümü için YSA topolojisinin iyi bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Problemin türüne uygun olarak YSA topolojisi belirlenir (Atasoy, 2010).

Aşağıdaki Çizelge 4.4'te çeşitli ağ türlerini, kullanım amaçlarına göre kullanım alanlarını göstermektedir. Bu tabloda en çok kullanılan ağ topolojileri gösterilmiştir. İleri beslemeli geri yayılım ağları hemen hemen tüm problemlerin çözümünde kullanılan ve en çok tercih edilen ağ topolojisidir (Anderson ve McNeill, 1992; Masaebi, 2016)

**Çizelge 4.4 :** Yapay sinir ağlarının amaçlarına göre kullanım alanları (Masaebi, 2016).

Kullanım alanları	Ağ türleri
Tahmin-Öngörü Amaçlı	Çok Katmanlı Ağlar Yönlendirilmiş Rastsal Tarama (Directed Random Search) Yüksek Dereceli Sinir Ağları Geri Yayılım içinde SOM Radyal Tabanlı Fonksiyon Elman Ağı Jordan Ağı
Desen (Örüntü) Sınıflandırma	LVQ ART Olasılık Tabanlı Sinir Ağları Tek veya Çok Katmanlı Algılayıcı Boltzmann Makinesi RBF
Veri İlişkilendirme Amaçlı	Kohonen's SOM Hopfield Ağları Boltzmann Makinesi Hamming Ağları Çift Yönlü İlişkili Hafıza Spatio-Temporal Desen Tanıma ART
Kavramlaştırma - Kümeleme	LVQ SOM ART
Veri Filtreleme Amaçlı	Yeniden Dolaşım (Recirculation)

**Çizelge 4.4 (devam) :** Yapay sinir ağlarının amaçlarına göre kullanım alanları (Masaebi,2016).

Kullanım alanları	Ağ türleri
Optimizasyon Amaçlı	Geri Yayılım Olasılık Tabanlı Sinir Ağları RBF
Kontrol Amaçlı	Geri Yayılım LVQ RBF

#### 4.2.5 Ağ parametreleri seçimi

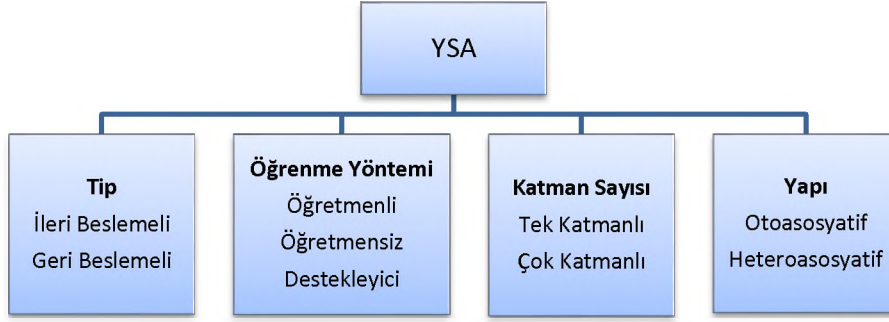
Yapay Sinir Ağları kullanılarak oluşturulan modellerde öncelikli amaç YSA mimarisini modele sorunsuz uygulamak ve hızlı sonuç almaktır. Sinir ağı modeli ve bir sinir ağı mimarisi, bir ağıın girdisini bir çıktıya nasıl dönüştürdüğünü belirlerken aslında hesaplama işlemi yapar. Genellikle başarı, ağ mimarisi ne olursa olsun sorunun net bir şekilde anlaşılmasına bağlıdır. Bununla birlikte, hangi sinir ağı mimarisinin en iyi tahminini sağladığını belirlerken, iyi bir model oluşturmak gereklidir. Bu süreçte değişkenleri tanımlayabilmek, en uygun modeli üretmek, üretilen bu modeli tanımlamak oldukça önemli ve tartışmalı bir konudur.

Yapay sinir ağları, sistemin davranışını öğrenmek için kullanılır ve daha sonra sistemin davranışını taklit etmek ve tahmin etmek için kullanılır. Sinir ağı modelini tanımlarken, ilk önce süreç ve süreç kontrol kısıtlarının anlaşılması ve tanımlanması gerekir. Daha sonra model tanımlanır ve doğrulanır.

YSA'larla ilgili bir problemi başarıyla ele almak için takip edilmesi gereken temel işlem, uygun mimariyi ve uygun öğrenme oranını, her bir gizli katmandaki nöron sayısını ve aktivasyon işlevini seçmektir. Bu zahmetli ve zaman alıcı bir yöntemdir ancak deneyimler bir araya geldiğinde bazı parametreler kolayca tahmin edilebilir, böylece gerekli süre kısaltılmış olur (Kalogirou, 2001).

#### 4.3 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

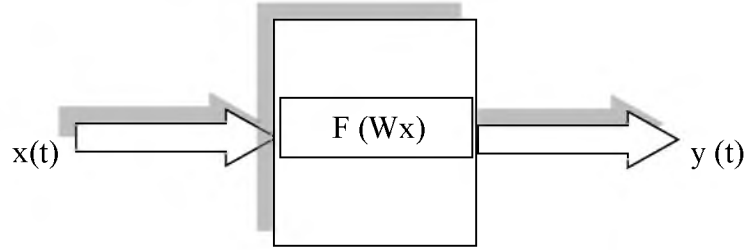
Yapay sinir ağlarını, farklı ölçütleri göz önüne alarak sınıflandırmak mümkündür. Genel olarak YSA lar, öğrenme yöntemlerine, katman sayılarına, tiplerine ve yapılarına göre ayrı ayrı sınıflandırılmaktadır (Hamzaçebi, 2011). YSA'ların sınıflandırılması Şekil 4.5'te verilmiştir.



**Şekil 4.5 :** YSA'nın sınıflandırılması (Hamzaçebi, 2011).

#### 4.3.1 İleri beslemeli ağ

İleri beslemeli bir ağ yapısında yapay sinir hücreleri genellikle katmanlara ayrılmış olurlar. Giriş katmanlarındaki nöronlar, yapay sinir hücreleri tarafından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. Genel olarak bir katmanda bulunan yapay sinir hücreleri bir önceki katmandaki yapay sinir hücreleri tarafından beslenmektedir. Şekil 4.6'da ileri beslemeli sinir ağının blok gösterimi verilmiştir (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

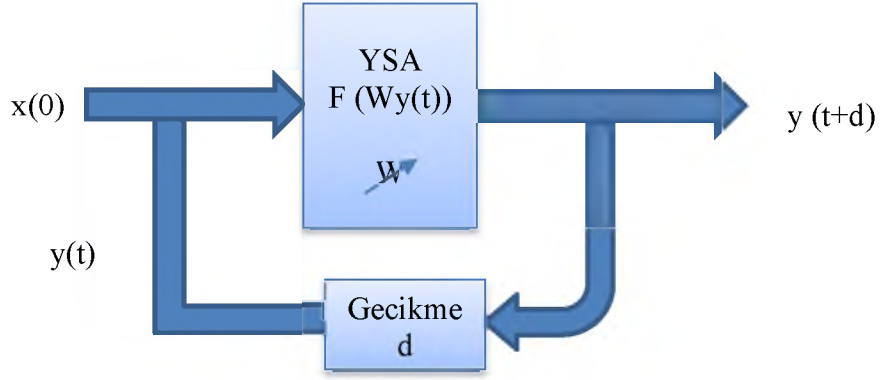


**Şekil 4.6 :** İleri beslemeli sinir ağı için blok gösterimi (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

Yapay sinir hücreleri bir katmandan başka bir katmana doğru bağlantı kurarken, aynı katmanın içerisinde bağlantı kuramazlar. İleri beslemeli ağlara MLP (Çok Katmanlı Algılayıcılar) ve LVQ (Doğrusal Vektör Parçalama) ağları örnek olabilir (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

#### 4.3.2 Geri beslemeli ağ

Geri beslemeli yapay sinir ağları, ara katman ve çıkış katmanlarındaki çıkışların, giriş birimlerine ya da bir önceki katmana doğru (ara katmanlara) geri beslendiği bir ağ yapısı olarak bilinmektedir. Böylece, şekil 4.7'de gösterildiği gibi; girişler hem ileri, hem geri yönde aktarılmaktadır (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

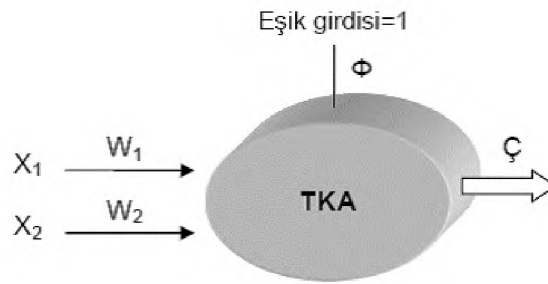


**Şekil 4.7 :** Geri beslemeli sinir ağı için blok gösterimi (Sağıroğlu ve diğ, 2003).

Geriye beslemeli ağların dinamik hafızaları bulunmaktadır bir katmandan diğer bir katmana gelen çıkış, hem o anda ki girişleri hem de önceki girişleri yansıtmaktadır. Bundan dolayı, geri beslemeli sinir ağları çoğunlukla tahmin amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadırlar ve bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde de oldukça başarı sağlayan bir ağ yapısı olarak bilinirler. Geri beslemeli ağlara Hopfield, Elman, Jordan, Narmax gibi ağlar örnek verilebilir (Sağıroğlu ve diğ, 2003).

#### 4.4 Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları, yalnızca girdi ve çıktı katmanlarından oluşmaktadırlar. Her ağda bir ya da daha fazla girdi veya çıktı olabilir. Şekil 4.8’de tek katmanlı YSA modeli görülmektedir. Girdiler başka hiçbir katmanda işleme uğramadan doğrudan çıktı katmanına iletilirler (Güç, 2016).



**Şekil 4.8 :** Tek katmanlı YSA modeli (Öztemel, 2012).

Burada;

X:Giriş değeri

W:Ağırlık

$\phi$ : Eşik Girdisi

Ç:Çıkış değerini ifade etmektedir.

Çıkış değerleri

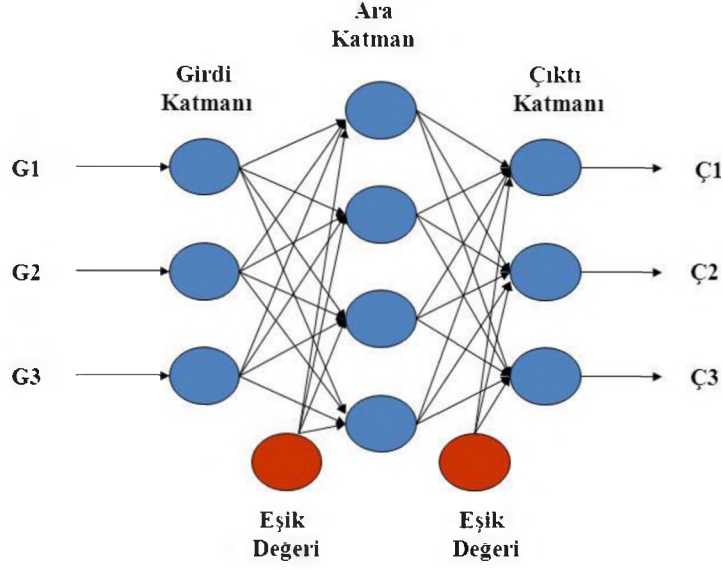
$$\zeta = x_1 * w_1 + x_2 * w_2 + x_3 * w_3 + \dots + x_n * w_n + \varphi \quad (4.1)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır.

Tek katmanlı YSA yapısında ağırlık çıkışı, girdilerin ağırlıklarıyla çarpılıp eşik değeri ile toplanması sonucu sonrasında elde edilen değerlerin aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle hesaplanır. Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları doğrusal olmayan problemlerin çözümde etkili olmayabilir (Güç, 2016).

#### 4.5 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Tek katmanlı ağların çözemeyeceği problemler için çok katmanlı yapay sinir ağları geliştirilmiştir. İlk olarak Rumelhart ve arkadaşları (1986), tarafından geliştirilen bu model, hatayı geriye yayma yöntemi (backpropagation) olarak ta bilinmektedir. Bu ağlar, öğrenme yöntemi olarak Delta Öğrenme Kuralı'nı kullanırlar. Bu öğrenme yönteminde ağırlık ürettiği çıktı ile beklenen çıktı arasındaki hatanın en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu işlemleri hatayı ağırlık yayarak gerçekleştirmektedir. Çok Katmanlı Ağlar, öğretmenli öğrenme yöntemine göre çalıştığından dolayı, başlangıçta bu tip ağlara girdiler ve bu girdilere göre üretilen çıktılar da verilir. Öğretmenli öğrenme yöntemlerinden Delta Kuralına göre çalışan bu ağlar ileri doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki basamakta çalışmaktadırlar. İleri doğru hesaplama kısmı; ağırlık çıkışı hesaplama basamağıdır, geriye doğru hesaplama ise ağırlık değiştirme basamağı olarak bilinmektedir. Geriye hata hesaplaması ileriye doğru hesaplamalardan sonra yapılır. Bu yüzden bu ağlara ileri beslemeli ağlar da denilmektedir. Tüm katmanlardaki işlemler alt katmanlardaki tüm işlem elemanlarına bağlanır. Bu model teknik ve mühendislik problemlerinin büyük bir kısmı için uygulanabilen yöntemlerin başında gelmektedir (Öztemel, 2012).



**Şekil 4.9 : Çok katmanlı ağ yapısı.**

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi çok katmanlı ağ mimarisinde girdi ve çıktı katmanları arasında ara katmanlar vardır. Bu ara katmanlar girdi katmanından almış oldukları bilgileri çıktı katmanına göndermektedirler. Ara katmanlar gizli katmanlar olarak ta bilinirler. Gizli katmanların sayısı birden fazla olabilmektedir (Öztemel, 2012).

#### **4.6 Geriye Yayılım Algoritması**

Geriye yayılım algoritması, yapay sinir ağlarında kullanılan değişkenlerin güncellenmesi için en çok tercih edilen öğrenme algoritması olarak bilinmektedir. Günümüzde ses tanıma problemleri, doğrusal olmayan sistem problemleri gibi yapay sinir ağlarıyla çözüm geliştirilebilen birçok alanda başarı ile kullanıldığı bilinmektedir (Efe ve Kaynak, 2000 ; Özveren, 2006).

Ağ içerisinde oluşan hatayı geri yönde azaltmaya çalışmasından dolayı algoritmaya geriye yayılım algoritması adı verilmiştir (Özveren, 2006).

Günümüzde geriye yayılım algoritmasının gelişmiş birçok türevi oluşturulmuştur. Fakat geriye yayılım algoritması genellikle geliştirilmiş delta öğrenme algoritması ile ifade edilmektedir. Geriye yayılım algoritmalarında hesaplama ileri ve geri hesaplama olmak üzere iki bölümden oluşur (Özveren, 2006).

Aşağıda bazı geri yayılım algoritmaları açıklanmaktadır. (Haykin, 1994)

#### 4.6.1 Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması (trainlm)

Levenberg-Marquardt yöntemi, maksimum komşuluk fikri üzerine geliştirilmiş olan en küçük kareler hesaplama metodu olarak bilinir. Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının üstün özelliklerinin alınmasıyla oluşturulmuştur. Üstünlük olarak bu iki metotta var olan kısıtlamaları ortadan kaldırmaktadır. Levenberg-Marquardt' de amaç parametre vektörünün, amaç hata fonksiyonunun en düşük değerde iken bulunmasıdır (Demuth ve diğ., 2008). Levenberg-Marquardt algoritması, Quasi-Newton algoritmasına benzer olarak Hessian matrisinin yaklaşık değerini kullanmaktadır. Levenberg-Marquardt algoritması için Hessian matrisinin değeri yaklaşık olarak aşağıdaki eşitlik 4.2 ile bulunabilmektedir (Özveren, 2006).

$$H(t) = J^T(t)J(t) + \mu I \quad (4.2)$$

Denklemdaki  $\mu$  Marquardt parametresi ve  $I$  birim matristir. Burada  $J$  (Jakobien) matrisi, olarak adlandırılır ve ağda oluşan hataların ağırlıklara göre birinci türevlerinden oluşmasından elde edilir.

$$J(t) = \frac{\partial E(t)}{\partial w(t-1)} \quad (4.3)$$

denklem (4.3)'deki  $E$ , ağ hataları vektörüdür. Jakobien matrisi, hesaplamada Hessian matrisinden daha kolay bulunduğu için tercih edilmektedir. Ağın gradyeni, denklem (4.4) ile hesaplanır.

$$g(t) = J^T(t)E(t) \quad (4.4)$$

Ağırlıklar ise 4.5 denklemine göre değiştirilmektedir.

$$W(t + 1) = w(t) - [H(t)]^{-1}g(t) \quad (4.5)$$

Marquardt parametresi,  $\mu$ , skaler bir sayıdır. Eğer  $\mu$  parametresi sıfır ise, bu yöntem yaklaşık Hessian matrisi kullanan Newton algoritması; eğer  $\mu$  büyük bir sayı ise, küçük adımlı gradyen azalması yöntemi haline gelmektedir (Haykin, 1994 ; Özveren, 2006).

#### 4.6.2 BFGS Yarı Newton geri yayılım algoritması (trainbfg)

Newton algoritması, daha hızlı optimizasyon sağladığı için geliştirilmiş geriye yayılım algoritmasına bir alternatif olarak kullanılır ve denklem 4.6 ile ifade edilir.

$$x_{k+1} = x_k - w_k^{-1}g_k \quad (4.6)$$

Hessian matrisi olarak adlandırılan H, ağırlık ve eşik değerlerin mevcut değerlerindeki tanımlanan performans indeksinin ikinci dereceden türevlerini ifade etmektedir. Newton yöntemi, Eşlenik Gradyen algoritmasına göre daha hızlı yakınsamasına rağmen, ileri beslemeli ağlar için kullanılan Hessian matrisinin hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcı bir yöntemdir. Newton algoritmasının temelinde Hessian matrisi'nin hesaplanmasına gerek olmayan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere Quasi Newton algoritmaları denmektedir. Quasi Newton yöntemlerinden en başarılı olan yöntem Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) yöntemidir. BFGS yöntemi, her iterasyonda Hessian matrisinin yaklaşık değerinin hesaplanması yöntemine dayanmaktadır (Sağiroğlu ve diğ., 2003 ve Özveren, 2006).

$$p(t) = -w^{-1}(t)g(t) \quad (4.7)$$

$$w(t + 1) = w(t) + \Delta w(t) \quad (4.8)$$

$$\Delta W(t) = \frac{g(t)g(t)^T}{g(t)^T p(t)} \cdot \frac{\Delta g(t)\Delta g(t)^T}{\Delta g(t)^T \Delta x(t)} \quad (4.9)$$

BFGS'de arama doğrultusu 4.7 denkleme göre seçilir, ilk iterasyonda Hessian matrisi, birim matris veya Jakobian matrisinin türevi olarak seçilebilir. 4.8 denkleminde görülen  $\Delta w(t)$  değeri, (4.9) denklemi ile hesaplanır.  $\Delta w(t)$ , t. iterasyonundaki ağırlık değişimini ifade etmektedir (Sağiroğlu ve diğ, 2003).

#### 4.6.3 Momentumlu ve değişken öğrenme oranlı eğitim (traingdx)

Bu algoritma, değişken öğrenme oranlı eğitim algoritması (traingda) ile momentum kullanarak gradyant düşürme (traingdm) algoritmasının birleşimi olarak bilinmektedir. Değişken Öğrenme Oranı ile Gradyant Düşürme (traingda) algoritması, Standart gradyant düşürme algoritmalarında öğrenme oranı eğitim boyunca sabit tutulmaktadır. Algoritmanın performansı öğrenme oranının doğru seçilmesiyle ilgilidir. Öğrenme oranı çok büyük olursa sistem dengesiz bir hale gelebilir, öğrenme oranı çok küçük seçilirse algoritmanın istenen sonuca ulaşması daha uzun sürebilir. Aslında optimum öğrenme oranını eğitimden önce belirlemek pratik bir yaklaşım olarak kabul edilmemektedir, çünkü optimum öğrenme oranı eğitim süreci içerisinde değişiklik göstermektedir. Standart gradyant düşürme tekniğinin performansı öğrenme oranı değişken yapılarak arttırılabilmektedir (Elmas, 2007).



Momentum Kullanarak Gradyant Düşürme (traingdm) algoritmasında ise, Temel Gradyant düşürme algoritması ile benzerlik gösterir, Ağırlık değerlerindeki değişme gradyanın (-) değeri ve de öğrenme oranının çarpılmasıyla bulunur. Temel Gradyant düşürme algoritmasına göre iki farklı parametre kullanılır (Elmas, 2007).

#### **4.6.4 Tek adım algoritması (trainoss)**

Bu algoritma Hessian matrisinin tamamını saklamamaktadır ve her bir ağırlık değişimi durumunda bir önceki Hessian matrisini birim matrisi olarak kabul etmektedir. Bu durumun avantajı yeni arama yönünü matrisin tersini almaya gerek kalmadan hesaplayabilmesidir. Tek adım algoritması BFGS algoritmasına göre daha az hafızaya ihtiyaç duyarken, konjuge gradyan algoritmalarına göre ise biraz daha fazla hafızaya ihtiyaç duymaktadır (Elmas, 2007).

#### **4.6.5 Eşlenik gradyan geri yayılımı (traincgp)**

Bu algoritma konjuge gradyan algoritmaları adı altında kullanılan bir algoritmadır. Temel geri yayılım algoritmaları ağırlık değerlerini gradyanın negatif yönünde hareket ettirerek optimum sonucu bulmaya çalışırlar, bu işlem performans fonksiyonunun en hızlı şekilde düştüğü yöndür. Konjuge gradyan algoritmalarında konjuge yönlerde de bir arama yapılarak bu sayede temel gradyan düşürme tekniğine göre optimum değerlere daha hızlı bir yaklaşım sağlanması amaçlanır (Elmas, 2007).

#### **4.6.6 Powell- Beale eşlenik gradyan geri yayılımı (traincgb)**

Bütün konjuge gradyan algoritmalarında arama yönü periyodik olarak gradyanın negatif yönüne tekrar gelecektir. Bu olay eğitim setinin üzerinden ağdaki ağırlık ve bias değerleri sayısı kadar geçildiğinde meydana gelmektedir. Bu işlemi farklı şekillerde hayata geçirerek eğitim işleminin verimini arttırmak mümkündür. Bunun için önerilen yöntemlerden biri Powell-Beale güncellemesidir (Elmas, 2007).

Bu teknikte, bir önceki eğitimde kullanılan gradyan ile o andaki gradyanın aralarındaki ortogonalite test edilir. Eğer iki vektör arasındaki ortogonalite çok küçülmüşse ağ başlangıçtaki gradyanın negatif yönüne geri dönmektedir (Elmas, 2007).

#### **4.6.7 Ölçekli gradyan eşlenik geri yayılımı (trainscg)**

Tüm konjuge gradyant algoritmaları her safhada bir arama yapılmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu arama süreci hesaplama bakımından fazla zaman alıcı bir süreçtir. Moller tarafından geliştirilen ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritması bu fazla hesaplamaların yükünü azaltmak için geliştirilmiş olan bir algoritmadır (Elmas, 2007).

## **5. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERDEN ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ**

Bu tez çalışmasında, üretilen gücün tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları ve istatistiksel yöntemlerden olan çoklu regresyon analizinden yararlanılmıştır. Gücün tahmin edilmesi için ölçülen veriler, literatüre bakılarak en çok kullanılan verilerden seçilmiştir. Bu çevresel verilerin, güce olan etkisini incelemek ve kullanılan çevresel verilerden hangilerinin daha etkili olduğunu bulabilmek için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. İstatistiksel yöntemlerden çoklu regresyon analizi ve YSA ile tahmin edilen değerlerin performansı araştırmanın sonucunda karşılaştırılmıştır.

### **5.1 Araştırma Verilerinin Normal Dağılımı ve Dönüştürme İşlemleri**

İstatistiksel hesaplamalar için kullanılacak verilerin öncelikle dağılımı incelenmektedir. Normal dağılım, korelasyon ve regresyon gibi parametrik testlerin kullanılması için sağlanması gereken ölçütlerden ilki olarak bilinir (Sipahi, 2010: 65). Verilerin normal dağılım özelliğini incelemeye yönelik yöntemlerden birisi, Çarpıklık ve Basıklık katsayılarına bakılmasıdır. Çarpıklık katsayısının  $\pm 1$  sınırları içinde kalması, puanların normal dağılımdan büyük ölçüde sapmadığını göstermektedir (Büyüköztürk, 2006:40). Basıklık katsayısı değeri ise -3 ile +3 aralığında söz konusu değişken değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu bilinmektedir (Kalaycı, 2009: 209).

Araştırmada parametrik testler kullanılacağı için testler yapılmadan önce, değişkenlerin normal dağılıma uygun olup olmadığını tespit etmek için analiz yapılmıştır. Normal dağılımı tespit etmek için Skewness ve Kurtosis değerleri dikkate alınmıştır. Normal dağılımdan sapma gösteren değişkenler logaritmik dönüşüm yöntemi ile dönüştürülmüş ve tüm değişkenler normal dağılım koşullarını sağlamıştır.

### **5.2 Korelasyon Analizi**

Korelasyon analizi, iki değişken arasında olan doğrusal ilişkiyi veya bir değişkenin iki veya daha fazla değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini

ölçmek amacıyla kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Korelasyon analizinin sonucunda, doğrusal ilişkinin varlığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanarak öğrenilmektedir (Kalaycı, 2009: 115).

Korelasyon katsayısının 1.00 olması, mükemmel pozitif ilişkinin varlığını gösterirken, -1.00 olması, mükemmel negatif ilişkiyi göstermektedir. Korelasyon katsayısının 0 olması ise, belirtilen değişkenler arasında ilişkinin olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı hesaplanırken, mutlak değer alındığında, 0.70 ile 1.00 arasında olması yüksek ilişki, 0.70 ile 0.30 arasında olması, orta düzeyli ilişkiyi ve 0.30 ile 0.00 arasında olması ise düşük düzeyli bir ilişki olarak tanımlanmaktadır (Büyüköztürk, 2011:32).

### 5.3 Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımlı bir değişken ile bağımsız bir veya birden fazla değişken arasındaki ilişkilerinin bir matematiksel eşitlik ile açıklanmasıdır. (Kalaycı, 2009:199). Bağımlı değişken bir, bağımsız değişken iki ve daha fazla ise çoklu regresyon analizi kullanılmaktadır (Büyüköztürk, 2011:91).

Korelasyon analizi herhangi iki değişken arasında ilişki olup olmadığını istatistiksel olarak test eder. Regresyon analizi ise bir bağımlı değişkenin diğer bağımsız değişkenler tarafından nasıl açıklandığını belirlemeye çalışır (Sipahi, 2010:154).

Çoklu regresyon analizinden olumlu ve doğru sonuçlar alınabilmesi için, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sayısal olarak ve aynı ölçüm birimi cinsinden ölçülmesi gerekmektedir. Bağımsız değişken seçilirken de kendi aralarında yüksek korelasyona sahip bağımsız değişkenlerden sadece bir tanesi alınmalıdır (Kaysal ve diğ, 2013; Hocaoğlu ve diğ, 2015). Çoklu regresyonda kullanılan formül denklem 5.1'de gösterilmiştir.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (5.1)$$

$y$  : Bağımlı değişken

$a$  : Doğrunun  $y$  eksenini kestiği nokta

$b_1$  : İlk tahmin değişkeninin  $x_1$  kat sayısı

$b_2$  : İkinci tahmin değişkeninin  $x_2$  kat sayısı

$b_n$  :  $n$ . tahmin değişkeninin  $x_n$ . Kat sayısı

$x_1$  : İlk bağımsız değişken

$x_2$  : İkinci bağımsız değişken

$x_n$  :  $n$ . Bağımsız değişken

## 6. YAPAY SİNİR AĞI ALGORİTMASININ FOTOVOLTAİK PANELİN GÜÇ TAHMİNİNDE UYGULANMASI

Tez kapsamında yapılan çalışmada, Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu bahçesinde konumlandırılmış FV panelden üretilen gücün Yapay Sinir Ağı algoritmaları kullanılarak tahmini yapılmıştır. Bu bölümde, öncelikle kullanılan sistem hakkında bilgiler verilmesinden sonra çevresel verilerin ölçülmesinden, kullanılan YSA algoritmalarından ve son olarak elde edilen sonuçların analizi ve değerlendirilmesinden bahsedilmektedir.

### 6.1 Sistemde Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada kullanılmak üzere 120W'lık monokristal fotovoltaik panel seçilmiştir (Çizelge 6.1). Panel, Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu bahçesinde 38 derece güney yönüne doğru konumlandırılmıştır.

**Çizelge 6.1:** Test edilmiş fotovoltaik panel özellikleri (120W).

<b>Parametreler</b>	<b>Değerler</b>
Tipik tepe gücü ( $P_p$ )	120 W
Pik gücündeki voltaj ( $V_{mp}$ )	17.2 V
Pik gücündeki akım ( $I_{mp}$ )	6.98 A
Kısa devre akımı (ISC)	7.51 A
Açık devre voltajı (VOC)	21.6 V
Çıkış toleransı	$\pm 3\%$
Çalışma sıcaklığı	-40°C +80 °C

Panelin elektrik üretimini etkileyen meteorolojik veriler gün, saat ve dakika olarak ölçü aletleri ile 10 ay süre ile panelin tam bulunduğu noktadan ölçülmüştür. Bu meteorolojik veriler radyasyon, ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar soğluğu, nem ve bu değerlere bağlı olarak panelin ürettiği güç değerleridir. Bu çalışmada kullanılan sistem görünümü Şekil 6.1'de verilmektedir. Elde edilen ölçümlere göre gerekli algoritmaların geliştirilmesi Matlab ortamında yapılmıştır.



**Şekil 6.1** : Kullanılan sistem.

## 6.2 Çevresel Verilerin Ölçülmesi

Fotovoltaik bir sistemden elde edilecek gücün önceden tahmin edilmesi sistemin maliyeti ve zamanlama açısından bir çok avantaj sağlamaktadır. Bir bölgede veya kuruluştaki kurulacak sistem için tüm avantajlar ve dezavantajlar önceden planlanarak gerekli adımlar atılmaktadır.

İncelenen bir çok araştırmada FV sistemlerin en verimli çalışma koşulunun doğrudan güneş ışınımına maruz kaldığı durumlar olduğu bilinmektedir. Ancak bu çalışmada, radyasyon miktarının yanında ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar sıcaklığı, nem verilerinde panelin performansını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu nedenle ifade edilen çevresel faktörler uygun cihazlar ile ölçümü yapılmış ve bir veri tabanı oluşturulmuştur.



**Şekil 6.2** : Kullanılan sistem görüntüleri.



Şekil 6.3 : Ölçümde kullanılan teknik cihazlar.

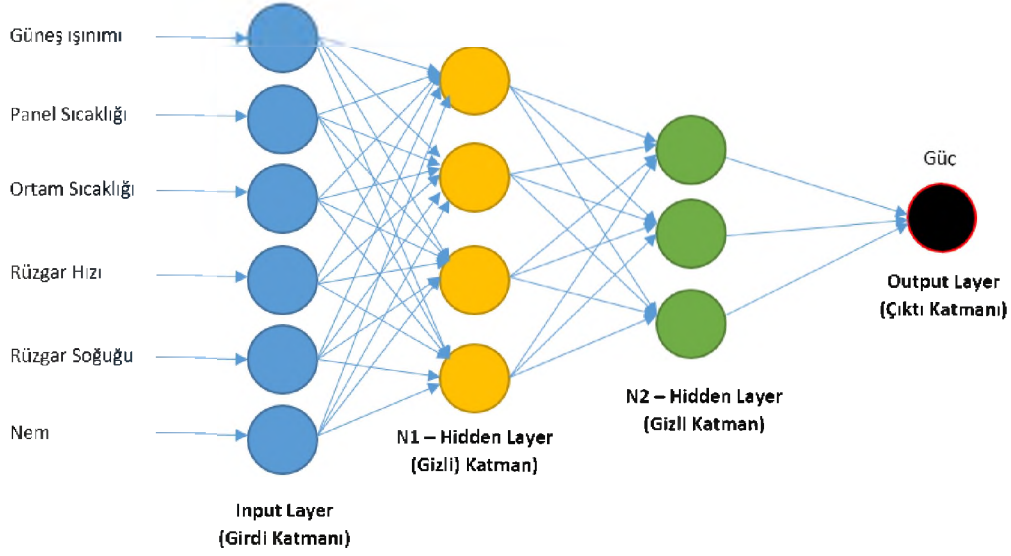
Bu çalışma için Pınarhisar Meslek Yüksekokulu'n da  $38^\circ$  açı ile güney yönüne konumlandırılmış olan güneş panelinden 10 ay süreyle güneşin doğuşundan batışına kadar rastgele zamanlarda ve rastgele saat aralıklarında Şekil 6.3'de görülen teknik cihazlar kullanılarak ölçülmüştür.

- Güneş radyasyonu (ışınımı) ( $W/m^2$ )
- Panel Sıcaklığı ( $^\circ C$ )
- Ortam Sıcaklığı ( $^\circ C$ )
- Rüzgar Hızı ( m/sn)
- Rüzgar Soğuğu ( $^\circ C$ )
- Nem (% RH)

Çevresel koşulların özelliklerini belirleyen veriler ile birlikte FV panel tarafından üretilen Güç (Watt) verisi de anlık olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak her bir parametreden 550 adet değer elde edilmiştir.

### 6.3 YSA nın Oluşturulması

Bu çalışmada, Matlab programından yararlanılmıştır. Matlab programı yardımı ile geliştirilen YSA mimarisi yapısı Şekil 6.4'te görülmektedir.



**Şekil 6.4 : Kullanılan YSA mimarisi.**

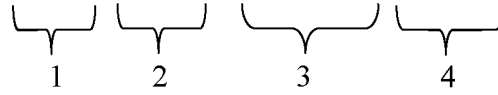
Çalışmada kullanılan 550 verinin %80' i eğitim diğer %20' lik kısım ise test verisi olarak ayrılmıştır. YSA modelinde Şekil 6.4'te görüldüğü gibi kullanılan YSA mimarisine göre çevresel koşulların ölçüldüğü altı girdi verisi, çıktı değeri olarak ta panelin ürettiği Güç belirlenmiştir. Ayrıca bu mimaride belirlenen gizli katmanlar n1 ve n2 olmak üzere iki aşama olarak belirlenmiş ve bu aşamalarda kullanılan katman sayıları değiştirilerek en uygun değerler hesaplanmıştır.

Bu çalışmada YSA' da en çok kullanılan ileri beslemeli geri yayılım algoritmaları kullanılmıştır. Gizli katmanlarda kullanılan nöron sayısı programda döngü mantığı kullanılarak hesaplanmıştır. Matlab programı kullanılarak yazılan programda her algoritma için 10x10 luk matris halinde tüm olasılıklar kaydedilmiştir. Elde edilen bu olasılıklardan en yüksek sonucun bulunduğu satır ve sütun sayısı programda gizli katmanlardaki nöron sayısı olarak belirlenmiştir. En uygun YSA modellerine karar verirken sigmoid fonksiyon kullanılmış sadece eğitim algoritmaları değiştirilmiştir. Kullanılan eğitim algoritmaları bu tip sistemlerde doğruluğu kabul edilebilir olan ve Sinir Ağların da kullanılan algoritmalarından seçilmiştir.

Matlab programında yapay sinir ağı oluşturmak için tanımlanmış newff fonksiyonu bulunmaktadır. Programımızda kullandığımız newff fonksiyonu 6.1 denkleminde gösterilmiştir.



$$net = newff((giris), [n1, n2], {'logsig'}, 'trainlm') \quad (6.1)$$



Matlab programında kullanılan “newff” fonksiyonu yukarıdaki denklem 6.1 de gösterilmiştir. Bu denklem 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş değerleri bulunur, ikinci bölümde katman sayıları belirtilir. Birden fazla katman sayısı virgülle birbirinden ayrılır. Üçüncü bölümde katmanlar için kullanılacak aktivasyon fonksiyonu türü belirtilir. Her katman için sırayla yazılır. Dördüncü bölümde ağız eğitim algoritması belirtilir.

Matlab ta kullandığımız newff fonksiyonunun içeriği denklem 6.2 de verilmiştir.

$$net = newff(tin, ttn, [n1, n2], {'logsig' 'logsig' 'purelin'}, 'trainlm') \quad (6.2)$$

oluşturulan newff fonksiyonunda;

tin: training için input verisi,

ttn: training için target verisi,

n1 ve n2: katman sayıları,

{ } : sırasıyla katmanlarda kullanılacak aktivasyon fonksiyonları. Gizli katmanlar için logsig, çıktı katmanı için purelin fonksiyonu kullanıldı.

‘trainlm’ : Ağız eğitim fonksiyonu, (Programın çalışması esnasında değiştirilerek diğer eğitim algoritmaları da denenmiştir)

#### 6.4 Verilerin Normalizasyonu

Elde edilen verilerin YSA’da kullanılmadan önce normalize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada elde edilen tüm veriler seçilen min max normalizasyon kuralı ile normalize edilmiştir. Denklem 6.3’te normalize fonksiyonu verilmiştir.

$$Normalize edilmiş değer = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (6.3)$$

x: Normalize edilecek verinin değeri

$x_{min}$ : Normalize edilecek veri türünün tüm veri setindeki en küçük değeri

$x_{max}$ : Normalize edilecek veri türünün tüm veri setindeki en büyük değeri

## 6.5 Yapay Sinir Ağıının Eğitilmesi

Fotovoltaik panelden toplanan 550 verinin %80'i eğitim ve %20'si test verisi olacak şekilde iki bölüme ayrılmıştır.

Matlab programında yapay sinir ağlarının eğitimi için "train" fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon aşağıdaki denklem 6.4 de gösterilmiştir.

$$[net, tr] = train(net, input, target) \quad (6.4)$$

Burada;

net : newff ile oluşturulan ağı,

input : Eğitim girdi setini,

target: girdi değerlerine karşılık gelen çıkış

değerlerini ifade etmektedir.

Programda kullanılan net program sonunda ulaşılabilecek değerleri göstermektedir. Oluşturduğumuz genel formül incelendiğinde sonuçta ulaşılabilecek değerler net değeri ile birlikte çıkış parametreleri olarak yazılır, programa sunulan değerler ise nn ifadesiyle beraber yazılan input (girdi) değerleridir. Kullanılan formül;

$$[ net tv gv MAPE MABE R2 RMSE MSE ] = nn( input, target, training\_rate, i, k, lrate ); \quad (6.5)$$

Denklem 6.5 te belirtilen fonksiyona göre eşitliğin sol tarafı program çıktısında görmek istediğimiz verileri, eşitliğin sağ tarafı ise programa sunulan verileri göstermektedir. Bu veriler;

Net : Denklem 6.5 te bahsedilen newff fonksiyonunun çıktıları

tv : Normalize olmayan tahmin çıktısı

gv : Normalize olmayan gerçek çıktı verileri

MAPE : Mean Absolute Percentage Error- Mutlak Hata Oranları Ortalaması

MABE : Mean Absolute Bias Error- Mutlak Ortalama Bias Hata

R<sup>2</sup> : Belirlilik Katsayısı

RMSE : Root Mean Square Error- Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü

MSE : Mean Square Error – Ortalama Karesel Hata

Denklem 6.5’te bahsedilen nn fonksiyonunun girdileri

İnput :Girdi Verileri

Target : Çıktı verileri

training rate : Öğrenme oranı

i : birinci gizli katman için hesaplanan nöron sayısı

k : ikinci gizli katman için hesaplanan nöron sayısı

lrate : (learning rate) öğrenme oranı

Programda kullanılan Girdi değerleri, input (girdi verisi), target (çıktı verisi), training rate (eğitim oranı %80), i ve k (gizli katmanların en iyi sonucu), learning rate (öğrenme katsayısı 0,8).

Eğitimde katmanlar arasındaki ağırlık ve bias değerleri başlangıçta rastgele alınır, ancak ağa sunulan veriler kullanılarak bu değerler en iyi benzetim sonucuna göre iyileştirilir. Ağ eğitilirken en iyi sonuca ulaşıncaya kadar iterasyon devam eder ve en iyi sonuca ulaştığında sona erer.

Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla kullanılan eğitim algoritmaları şöyledir: “trainlm”, “trainbfg”, “traingdx”, “trainoss”, “traincgp”, “traincgb”, “trainscg” ve “trainrp” dir. Öğrenme fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Eğitim algoritmasının en iyi olduğu değerler belirlenirken en büyük R<sup>2</sup> ve en düşük MAPE, RMSE, MSE, MABE değerlerine bakılmıştır.

## 6.6 Belirlilik Katsayısı ( R<sup>2</sup> )

Yapay Sinir ağı modeli oluşturulduğunda sonuçları incelemek için R<sup>2</sup> (belirlilik katsayısı) değerlerine bakılır. Bu değer aynı zamanda oluşturulan ağın tahminleme başarısını gösterir. R<sup>2</sup> değeri, birden çok bağımsız değişkenin (girdi verilerinin), bağımlı değişkeni (çıktı verisini) açıklama oranını gösterir. 0 – 1 arasında değişir. 0’a yaklaşması, modelin çıktıyı açıklamadığı anlamına gelirken, 1’ e yaklaşması modelin çıktıyı açıkladığını gösterir. (Bayata ve Hattaoğlu, 2010; Alpar, 2003). Denklem 6.6’da gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - g_i)^2}{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g}_i)^2} \quad (6.6)$$

$R^2$  ile hesaplanan bu çalışmada kullanılan veri setindeki değerlerin hatalarının kareler toplamının, ortalama toplam hataların kareler toplamına bölünerek bulunmasıdır. Burada  $t_i$  değeri tahmin değerini,  $g_i$  değeri gerçek değeri,  $\bar{g}_i$  gerçek değerlerin ortalamasını göstermektedir.

## 6.7 Hata Değerlerinin Hesaplanması

Yapay sinir ağı modeli oluşturulduktan sonra sonuçların incelenmesi için bazı değerlere bakmak gerekir. Bir önceki başlıkta bahsedildiği gibi bu değerlerden en iyi tahmin sonucu için  $R^2$  değerine bakılırken, hata değerleri için de MAPE, RMSE, MSE, MABE değerleri kullanılabilir (Zhang ve Hu, 1998:500, Cho, 2003:328, De Lurgio, 1998:53; Karaatlı ve diğ., 2012). Bu çalışmada bu hata değerlerinden MAPE(Mean Absolute Percentage Error- Mutlak Hata Oranları Ortalaması) değeri kullanılmış ve denklemi 6.7’te gösterilmiştir.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|actual_i - forecast_i|}{actual_i}}{n} \quad (6.7)$$

Bu denklemde

actual<sub>i</sub> : Gerçek değeri

forecast<sub>i</sub> : Tahmin değeri

n: Girdi sayısını ifade etmektedir.

## 6.8 Bulgular

Çalışmada, sistemden ölçülen çevresel verilerin girdi olarak kullanıldığı Yapay sinir ağları algoritmaları yardımıyla güç tahmini yapılmıştır. Bu tahminleme işlemi radyasyon, panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar soğuşu ve nem verileri kullanılmıştır. Bu verilerin çıkış gücüne olan etkilerini incelemek için farklı bir yöntemde karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Bunun için istatistiksel yöntemlerden Çoklu regresyon analizi yapılmış ve sonuçları YSA algoritmalarının performansı ile karşılaştırılmıştır.

İlk olarak ölçülen verilerin çoklu regresyon analizi için gerekli işlemler güvenilirlik, korelasyon, regresyon ve varyans analizi yapılarak çoklu regresyon analizi kısmı gerçekleştirilmiştir.

- **Güvenilirlik Analizi**

Ölçülen verilerin normalize edildikten sonra programda kullanılması sağlanmış ancak bu verilerin doğru olup olmadığını ölçmek için SPSS programı kullanılarak öncelikle güvenilirlik analizi yapılmıştır. Güvenilirlik analizinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.2’de aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 6.2 : Güvenilirlik analizi sonuçları.**

Cronbach's Alpha	Değer Sayısı
,829	7

Güvenilirlik analizi için en yaygın yöntemlerden olan Cronbach’s Alpha yöntemi kullanılmıştır. Bu tablonun yorumlanması için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Güvenilirlik analizi Cronbach’s Alpha değeri  $\alpha$  ile gösterilir ve Çizelge 6.3’te aralıkları verilmektedir (Sipahi, 2010:89).

**Çizelge 6.3 : Güvenilirlik analizi Cronbach’s Alpha değerleri.**

Aralıklar	Güvenilirlik Durumu
$0,00 \leq \alpha < 0,40$	ölçek güvenilir değil
$0,40 \leq \alpha < 0,60$	ölçek düşük güvenilirlikte
$0,60 \leq \alpha < 0,80$	ölçek oldukça güvenilir
$0,80 \leq \alpha < 1,00$	ölçek yüksek derecede güvenilir

Tablodaki bilgilere dayanarak verilerimizin % 82,9 oranında yüksek derecede güvenilir olduğu sonucuna varabiliriz.

- **Korelasyon Verileri**

Verilerin arasındaki ilişkiyi bulmak için normalize edilen verilere SPSS programı kullanılarak korelasyon uygulanmıştır. İki değişken arasındaki ilişkinin varlığını tespit etmek için en sık kullanılan yöntem korelasyon yöntemidir. Eğer bir değişkenin değeri artarken diğeri de artıyorsa “pozitif yönde ilişki var”, bir değişkenin değeri artarken diğeri azalıyorsa “negatif yönde ilişki var” olarak kabul edilmektedir. Çizelge 6.4’te bu verilere ait Pearson korelasyonu SPSS programı kullanılarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.4 : Korelasyon analizi.**

	Radyasyon	Panel Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	Rüzgar Hızı	Rüzgar Soğuğu	Nem	Güç
Radyasyon	1						
Panel Sıcaklığı	,621	1					
Ortam Sıcaklığı	,635	,982	1				
Rüzgar Hızı	,132	,003	,023	1			
Rüzgar Soğuğu	,563	,900	,905	-,022	1		
Nem	-,219	-,059	-,054	-,038	-,147	1	
Güç	,973	,612	,630	,125	,555	-,203	1

Çizelge 6.4 incelendiğinde, araştırmamıza dahil edilen parametreler arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmektedir. Güç ve radyasyon arasında ( $r=0,973$ ) yüksek düzeyli pozitif ilişki, güç ve panel sıcaklığı arasında ( $r=0,612$ ) orta düzeyli pozitif ilişki, güç ve ortam sıcaklığı arasında ( $r=0,630$ ) orta düzeyli pozitif ilişki, güç ve rüzgar hızı arasında ( $r=0,125$ ) düşük düzeyli pozitif ilişki, güç ve rüzgar soğuğu arasında ( $r=0,555$ ) orta düzeyde pozitif ilişki, güç ve nem arasında ise ( $r= -0,203$ ) düşük düzeyde negatif ilişki olarak görülmektedir.

Korelasyon tablosu incelendiğinde panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı değerleri arasında ( $r=0,982$ ) güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Bu durum çalışmamızı olumsuz olarak etkilemektedir. Çünkü, bağımsız değişkenlerin modele olan katkısı birbirine çok yakın olarak yorumlanmakta ve değişkenlerin modelde olması veya olmaması modelin gücünü etkilemediğini göstermektedir. Böyle bir durumda bağımsız değişkenlerin birbiri ile arasında olan korelasyon değeri 0,80 ve üzerinde ise bu değerlerden biri modelden çıkarılabilmektedir (Kalaycı, 2009:267).

Bu tablodaki korelasyon analizi için Pearson Korelasyon analizi kullanılarak bu verilere ulaşılmıştır. Pearson korelasyon verilerinin sig değerlerine bakıldığında bu değerlerin anlamlı olduğu görülmektedir. Güç verisini etkileyen bu verilerin tek tek korelasyonuna bakıldığında bu tabloda verilen r değerlerinden yola çıkarak aşağıdaki  $R^2$  tablosu oluşturulmuştur.

**Çizelge 6.5 : Girdi verilerinin korelasyon tablosu.**

	r	$R^2$
Radyasyon	0,973	0,943
Panel Sıcaklığı	0,612	0,369
Ortam Sıcaklığı	0,630	0,398
Rüzgar Hızı	0,125	0,015
Rüzgar Soğuğu	0,555	0,313
Nem	-0,203	0,041

Tabloya göre güç tahminini en çok etkileyen verinin Radyasyon verisi olduğu söylenebilir. Güneş panelinden elde edilen enerjiyi % 94 oranında radyasyon verisi oluşturmaktadır. Bu verilerin toplamı yüzdeliği tamamlamak için kullanılmaz. Sonra sırasıyla ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı ve rüzgar soğuğu verilerinin gücü etkileyen ve aralarında yüksek düzeyli ilişkiyi gösteren veriler olduğu görülmektedir. Yalnız rüzgar hızı 0,125 korelasyon değeri ile düşük düzeyde pozitif ilişkiyi gösterirken, nem verisinin -0,203 değeri ile negatif yönlü düşük düzeyde ilişkiyi göstermektedir.

#### • Regresyon Verileri

Regresyon yöntemi için normalize edilmiş olan veriler SPSS programında regresyon analizi yapılarak çizelge 6.6'da gösterilmiştir. Bu çizelgedeki "Adjusted R Square" değeri "Düzeltilmiş R kare" oluşturulan denklemin tahmin gücünü göstermektedir.  $R^2$  (R Square) belirleme katsayısı X bağımsız değişkenlerinin yani tabloya göre girdi verilerinin, Y bağımsız değişkenini yani Çıkış verisi olan gücü, etkileme gücünü gösterir. 0 ve 1 arasında değerler alabilir. 1'e yakın olması yüksek düzeyde etkilediğini göstermektedir.

**Çizelge 6.6 :** Tüm verilerin kullanıldığı regresyon sonuçları tablosu.

R	R Kare	Düzeltilmiş R kare	Std. Tahmini Hata	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
,974 <sup>a</sup>	,948	,948	,021821215	,948	1662,895	6	543	,000 <sup>b</sup>

a. Bağımsız Değişkenler: radyasyon, panelsıcak, ortamsıcak, rüzgarhızı, rüzgarsogugu, nem

b. Bağımlı Değişken: Güç

$R^2$  değeri bağımlı değişkenin yüzde kaçının bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını göstermektedir. Değişkenlerimize uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda bağımlı değişkenin % 94,8'lik kısmının açıklandığı görülmektedir.

**Çizelge 6.7 :** Varyans analizi tablosu.

Model	Kareler toplamı	df	Ort. karesi	F	Sig.
Regression	4,751	6	,792	1662,895	,000 <sup>b</sup>
Residual toplam	,259	543	,000		
	5,009	549			

b.Bağımlı değişken: Güç

Belirleyiciler: panelsıcak, ortamsıcak, ruzgarhizi, nem, radyasyon, ruzgarsogugu

Çizelge 6.7, Varyans analizi tablosu, regresyon modelinin anlamlılık yorumunun yapılabilmesi içindir. Varyans analizi tablosu modelimizin bir bütün olarak anlamlı

olup olmadığını test etmemize yarar (Kalaycı, 2009:268). Tablodaki Sig.= ,000<sup>b</sup> değeri, modelimizin bir bütün olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

"Sig." değer 0.000<0.05 olduğu için oluşturulan modelin anlamlı bir model olduğu yorumu yapılabilir. Bu değerler her bir verinin anlamlılık düzeyini gösteren Coefficients (regresyon katsayıları) tablosundaki Sig. değerine bakılarak ta bulunabilir. Bu verilere bakarak; sırasıyla radyasyon, ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı verilerinin anlamlılık düzeyinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

**Çizelge 6.8 : Regresyon katsayıları tablosu.**

Model	Standartlanmamış Katsayılar B	Standart Katsayılar Beta değeri	Sig.	Korelasyon Değerleri			Doğrusal İstatistikler	
				Zero-order	Partial	Part	Tolerançe	VIF
(Constant)	,007		,253					
Radyasyon	1,056	,963	,000	,973	,953	,712	,547	1,828
Panel Sı.	-,180	-,125	,018	,612	-,102	-,023	,034	29,195
Ortam Sı.	,220	,156	,005	,630	,121	,028	,031	32,046
RüzgarHızı	-,012	-,006	,568	,125	-,025	-,006	,959	1,043
Rüzgar Soğ.	-,025	-,015	,529	,555	-,027	-,006	,166	6,018
Nem	,018	,007	,506	-,203	,029	,006	,882	1,133

Çizelge 6.8’de gösterilen Regresyon Katsayıları tablosudur. Bu tablodan okuyabileceğimiz sonuçlar şöyledir. Tablodaki Beta değeri girdilerimizin (bağımsız değişkenlerin) önem sırasını verir. Beta değerleri incelendiğinde çıktıyı etkileyen en önemli değer radyasyon değeri olduğu söylenebilir. (Burada – değerler dikkate alınmaz.) Tablodaki Sig. değerlerine bakıldığında ise radyasyon ve sıcaklık değerlerinin anlamlılık düzeyinin bu analiz için tüm verilere oranla daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. Tabloda görülen bir diğer önemli nokta, VIF değerleridir. VIF değerleri regresyon açısından problem oluşturabilecek yüksek korelasyonun bulunup bulunmadığını göstermektedir. VIF değerinin yüksek olması durumunda değişkenlerden birinin çıkarılıp yeniden analiz yapılması gerekir.

- **YSA’dan elde edilen veriler**

YSA nın oluşturulması ve eğitilmesi başlıkları altında programda oluşturulan fonksiyonlar ve kullanılan algoritmalarından bahsedilmiştir. YSA ile oluşturulan modelde iki gizli katman kullanılmıştır. Bunun sebebi literatürdeki araştırmalara göre YSA ile oluşturulan bir ağız eğitiminde gizli katman sayısı çoğunlukla bir ve iki olmak



üzere sınırlandırılmaktadır. Gizli katmanın çoğalması ağıın öğrenmesini değil, ezberlemesini sağlamaktadır. Burada YSA modeli ile ağıın öğrenmesi sağlanmaktadır. Sistemde kullanılan YSA modeli için gizli katman sayılarını belirlemek için de literatürde bir çok çalışmada deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada ise deneme yanılma yöntemi yerine Matlab ta oluşturulan algoritma ile matris halinde programa katmanlar sunulmuş ve en iyi sonucun olduğu katmanlar kaydedilerek eğitim algoritmasında bu katman sayıları kullanılmıştır. Çizelge 6.9’da programa sunulan 6 girdi değeri ile (radyasyon, ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar soğluğu) oluşan sonuçlar yazılmıştır. Sonuçlar yazılırken her algoritma için ortalama en yüksek değerler kullanılmıştır.

**Çizelge 6.9 :** Enerji verilerini tahmin etmek için kullanılan eğitim algoritmaları ve hesaplanan değerler.

Eğitim Alg.	İterasyon	n1	n2	Öğrenme Oranı	R <sup>2</sup> (%)	RMSE (MJ/m <sup>2</sup> )	MSE (MJ/m <sup>2</sup> )	MABE (MJ/m <sup>2</sup> )	MAPE (MJ/m <sup>2</sup> )
trainlm	13	1	3	0,8	0,9893	0,5318	0,2828	0,3822	0,0660
trainbfg	33	1	6	0,8	0,9711	0,8743	0,7645	0,6788	0,0951
traingdx	88	4	9	0,8	0,9469	1,1855	1,4054	0,9117	0,1688
trainoss	42	1	5	0,8	0,9795	0,7371	0,5432	0,5747	0,0826
traincgp	22	1	1	0,8	0,9783	0,7571	0,5733	0,5699	0,0945
traincgb	33	1	5	0,8	0,9741	0,8274	0,6846	0,6128	0,0929
traincsg	33	2	5	0,8	0,9749	0,8149	0,6640	0,6374	0,0976
trainrp	75	5	1	0,8	0,9772	0,7768	0,6034	0,5703	0,1052

n1 ve n2: gizli katmanlardaki nöron sayıları

Bilindiği gibi YSA algoritmalarında hesaplanan değerlerin başarısını en iyi R<sup>2</sup> ve MAPE değerlerine bakarak okuyabiliriz. R<sup>2</sup> belirlilik katsayısıdır. Bu değer, 0 ve 1 aralığında olup, iyi bir sonucun elde edilmesi için 1’e yakın olması gerekir. R<sup>2</sup> değerinin 1’ e yakın olması demek tahminle gerçek çıktı arasındaki bağ kuvvetli yani tahmin değer gerçek çıktıya çok yakın demektir.

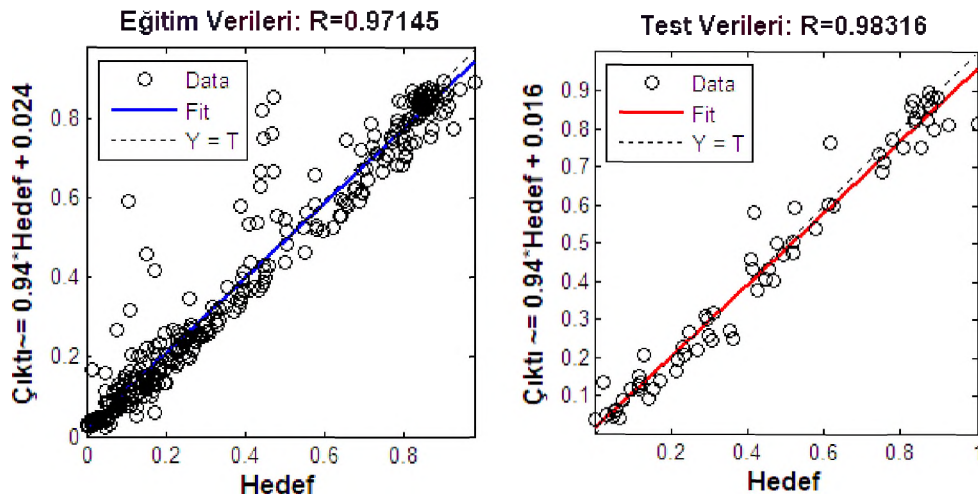
Tahmin performans ölçümleri için ise literatürde en çok kullanılan formüller MAPE (Mean Absolute Percantage Error - Mutlak Hata Oranları Ortalaması) veya MSE (Mean Squared Error – Ortalama Karesel Hata) olarak görülmektedir. MAPE değerleri için %10’ dan düşük olan modellerin “çok iyi”, %10 ve %20 arasında olan modellerin “iyi”, %20 ile %50 arasında olan modellerin “kabul edilebilir” ve %50’nin altında olan modellerin ise “hatalı ve yanlış” olarak gruplandırıldığı literatürde ifade edilmiştir (Lewis, 1982).

Çizelge 6.9 incelendiğinde  $R^2$  değerini en yüksek % 98 olduğu görülmektedir. Tahmin edilen çıktının % 98 oranında veriler aracılığıyla oluşturulduğunu, %2 sinin ise tesadüfen oluşturulduğu gözlenmektedir.

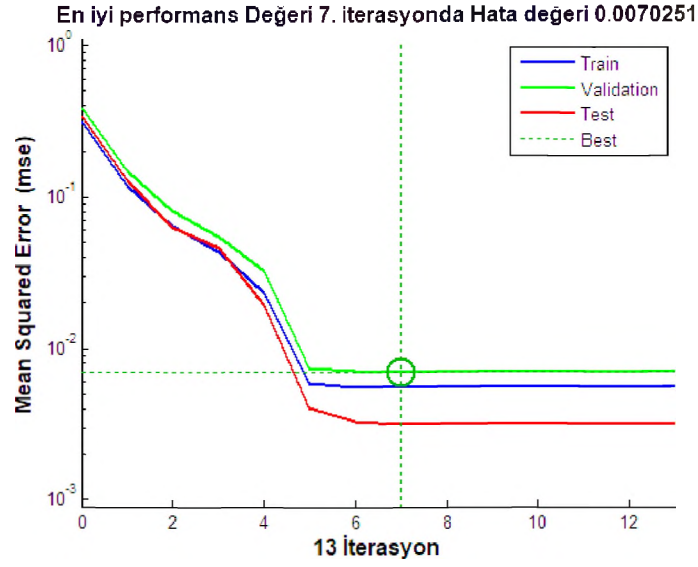
Eğitim algoritmaları incelenirken mümkün olan en kısa sürede eğitimi en iyi iterasyonla tamamlaması da önemli bir husustur.

Çizelge 6.9 için uygulanan işlemler şöyledir: 2016-2017 yılına ait veriler Matlab R2014a programına kaydedilmiştir. Verilerin %80'i eğitim ve % 20'si test verisi olmak üzere ayrılmıştır. Öğrenme katsayısı (learning rate) 0.80 olmak üzere sabit tutulmuştur. Gizli katman sayıları n1 ve n2 olmak üzere iki basamak olarak belirlenmiştir. Gizli katmanlardaki nöron sayılarının belirlenmesinde yazılan matlab programı 10 defa çalıştırılarak buradan elde edilen en iyi değerde ki satır numarası n1 gizli katmanı için nöron sayısını "i" değeri, sütun numarası ise n2 gizli katmanındaki nöron sayısını "k" değeri göstermektedir.

Gizli katmanlar belirlendikten sonra programa bu değerler kaydedilerek her bir algoritma için program 10 kez çalıştırılarak ortalama en iyi değerler kaydedilmiştir. YSA kullanılarak trainlm algoritmasının verdiği en iyi sonuç grafikleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Şekil 6.5'te ki grafiğe göre test verileri, eğitime sokulan veri setine oranla biraz daha iyi olduğu yorumlanabilmektedir. Bu grafikte daireler veri noktalarını, mavi, kırmızı ve siyah çizgiler çıktılar ve hedef veriler arasındaki en iyi eğrileri göstermektedir. Dairelerin kesik çizgi boyunca yerleşmiş olması, çıktı değerlerinin hedeflere yakın olduğunu göstermektedir.



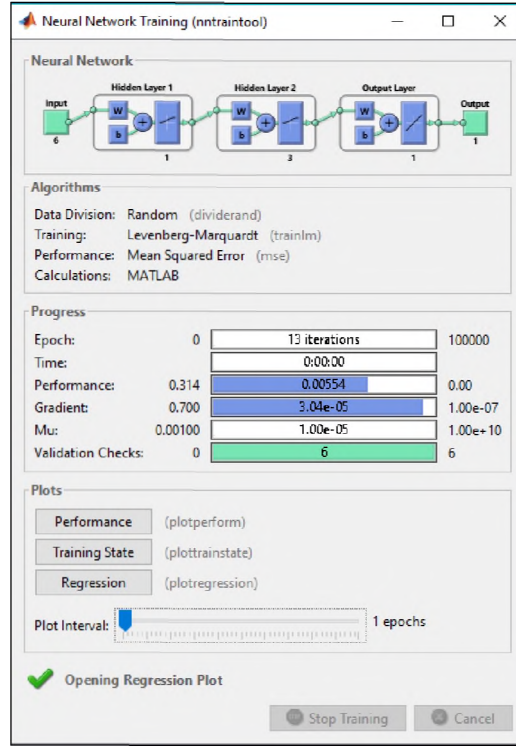
Şekil 6.5 : YSA modeline ait trainlm algoritmasının eğitim verileri ve test verileri grafikleri.



**Şekil 6.6 :** Trainlm algoritmasına ait n1=1 ve n2=3 kullanıldığında oluşan performans çıktısı (Performans ölçütü MSE).

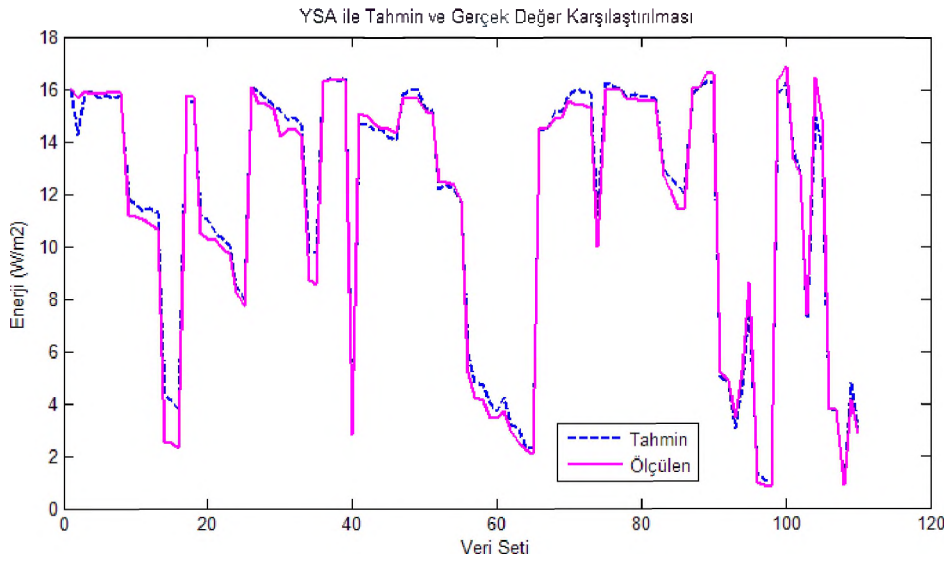
Şekil 6.6’da verilerin trainlm modeline ait (6-1-3-1) MSE grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre eğitim 13 iterasyonda tamamlanmıştır. Sistemin 7. iterasyonda 0.0070251 ile en iyi doğrulama performansına ulaştığı ve bu noktadan sonra sabitlendiği görülmektedir. Eğitim verilerini (training) mavi çizgi, doğrulama (validation) verilerini yeşil çizgi, test verileri de kırmızı çizgi ve en iyi eğri de noktalarla gösterilmiştir.

Çizelge 6.9’da bulunan, ileri beslemeli geri yayımlı ağlarda kullanılan genel performans ifadeleri incelendiğinde, Trainlm algoritmasında hesaplanan gizli katman değerleri 1-3 olarak belirlenmiş, ulaşılan  $R^2$  değeri 0,9893, MSE değeri 0,2828 MJ/m<sup>2</sup> ve MAPE değeri 0,0660 MJ/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



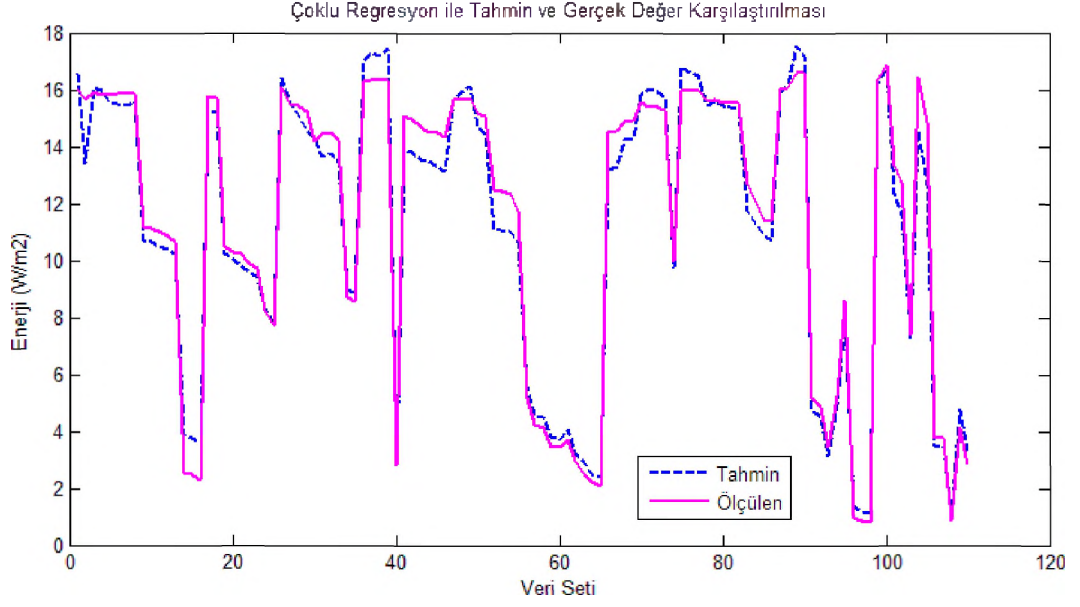
Şekil 6.7 : Kurulan YSA yapısı.

Şekil 6.7 ise kurulan YSA yapıları hakkında bilgi vermektedir. Birinci yapı da 6 girdinin input olarak kullanıldığı, gizli katman ve gizli katmanlardaki nöron sayıları (1 - 3), çıktı katmanı görülmektedir. Gizli katmanlarda kullanılan aktivasyon fonksiyonu logsig, çıktı katmanında ise purelin olarak belirlenmiştir. En iyi sonucu veren algoritma olan trainlm algoritması 13 iterasyon ile programı tamamlamıştır.



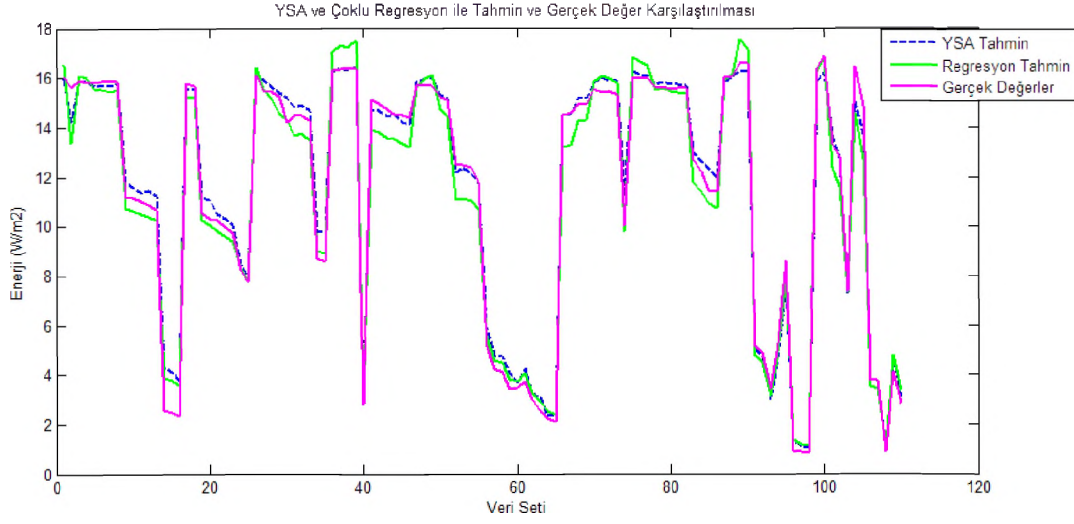
Şekil 6.8 : Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin YSA ile karşılaştırılması.

Şekil 6.8 de YSA ile trainlm algoritmasından elde edilen tahmin değerleri ve gerçek verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi tahmin gücü %98,9 olan trainlm algoritmasının tahmin ettiği değerlerin ölçülen değerlere oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6.9 : Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin çoklu regresyon analizi ile karşılaştırılması.

Şekil 6.9 da ise Regresyon analizi sonucunda elde edilen tahmin değerleri ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafik görülmektedir. Regresyon analizinin tahmin gücü %94,8 olarak hesaplanmış ve  $y = 1,056x_1 - 0,18x_2 + 0,22x_3 - 0,012x_4 - 0,025x_5 + 0,018x_6 + 0,007$  olarak bulunmuştur.



**Şekil 6.10 :** Gerçek değerlerin ve tahmin değerlerinin çoklu regresyon analizi ve YSA ile karşılaştırılması.

Şekil 6.10'da ise Regresyon analizi ve YSA'nın tahmin değerleri ve gerçek değerler ile karşılaştırılması görülmektedir. Mavi kesikli çizgi YSA tahminini, yeşil çizgi regresyon analizi sonucunu ve pembe çizgi ise gerçek değerleri ifade etmektedir.

## 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Kırklareli ilinin Pınarhisar ilçesinde Pınarhisar Meslek Yüksekokulu bahçesinde güney yönlü 38° açı ile konumlandırılmış olan fotovoltaik sistemden elde edilen gücü tahmin etmek amacıyla 2016 Aralık ve 2017 Kasım tarihleri arasındaki 10 aylık süre için de radyasyon ( $W/m^2$ ), panel sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), rüzgar hızı (m/sn), rüzgar soğluğu ( $^{\circ}C$ ), ve nem (% RH) verileri toplanmıştır. Elde edilen veriler YSA algoritmasında kullanılmak amacıyla uygun bir dönüşüm kullanılarak normalize edilmiştir. Bu parametreler ile oluşturulan veriler % 80 eğitim ve % 20 test olmak üzere ayrılmıştır. Analiz ve deneyler sonucunda oluşturulan çok katmanlı ve ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modeli ile kullanılan algoritmalar ile yapay sinir ağının tahmin yeteneği sınanmıştır.

Bilindiği gibi bu tip algoritmalarda hesaplanan değerlerin tahmin başarısını en iyi  $R^2$  ve MAPE değerlerine bakarak okuyabiliriz. Bu değerler 0 ve 1 aralığında olup, iyi bir sonucun elde edilmesi için  $R^2$  değerinin 1'e yakın, MAPE değerinde 0'a yakın olması gerekir.  $R^2$  değerinin 1'e yakın olması demek tahminle gerçek çıktı arasındaki bağ kuvvetli yani tahmin değer gerçek çıktıya çok yakın demektir. Bu veriler ışığında değerler incelendiğinde, en iyi sonucu veren ileri beslemeli geri yayımlı algoritmanın Trainlm olduğu görülmektedir.  $R^2$  değerinin %98 ile en yüksek başarı değeri elde edilmiştir. MAPE değeri ise % 6,6 olarak bulunmuştur. Ayrıca eğitim algoritmaları incelenirken mümkün olan en kısa sürede eğitimi en iyi iterasyonla tamamlaması da önemli bir husustur, trainlm algoritması diğer algoritmalarla oranla optimum ağ yapısına 13 iterasyonda ulaştığı görülmüştür. Tüm algoritmalar incelendiğinde MAPE değerinin %6,6 ile %16,8 arasında değiştiği,  $R^2$  değerinin ise %94 ile %98 arasında değerler aldığı genel sonuçlar olarak görülmüştür.

Tüm eğitim algoritmaları için gizli katmanlardaki nöron sayıları deneme yanılma yönteminin aksine döngü yöntemiyle hesaplanarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değerlerle YSA programı, her algoritma için 10 defa çalıştırılarak elde edilen en iyi değer tabloya yazılmıştır. Bütün algoritmaların bir karşılaştırması yapılması gerekirse bu çalışmada en iyi sonuca en kısa sürede ulaşabileceğimiz algoritma Trainlm

(Levenberg Marquardt Geri Yayılım Algoritması) algoritmasıdır. Trainlm algoritmasının tahmin başarısı %98 olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca gizli katman sayısının rastgele değerler verildiğinde programın performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Gizli katmanların her algoritma için farklı nöronlar alması gerektiği programdan çıkarılan bir diğer sonuçtur.

Bu çalışma için gerçekleştirilen bir diğer araştırma girdi verilerinin güce olan etkisini incelemektir. Bu verilerin güce olan etkisinin ne düzeyde olduğunu görmek için istatistiksel yaklaşım ile Çoklu regresyon analizi yapılarak verilerin çıkışa olan ilişkileri incelenmiştir. Bunun için korelasyon ve regresyon yöntemleri kullanılmıştır.

Verilerin korelasyon değerlerine bakarak girdi verilerinin çıktı üzerinde bir ilişkisi olup olmadığı incelenmiştir. Ayrıca korelasyon katsayıları ve girdi verilerinin birbiri üzerindeki ilişki düzeyleri de incelenmiş panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığının birbirini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Korelasyon tablosuna bakılarak verilerin korelasyon değerleri yorumlandıktan sonra, regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinde ise modelimizde kullandığımız girdi verilerinin çıktı verisini nasıl açıkladığı incelenmiştir. Buna göre kullandığımız girdi verilerinin (bağımsız değişkenlerin), çıktı verisini (bağımlı değişkeni) %94,8 oranında açıkladığı görülmüştür. Bu da ölçüm yapmak için seçtiğimiz parametrelerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca varyans analizi yapılarak modelimizin bir bütün olarak anlamlı olduğu (Sig.=,000<sup>b</sup>) istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Çoklu Regresyon analizinden çıkan en önemli sonuç, kullandığımız modeldeki girdi verilerinden, gücü etkileyen en önemli etkenin radyasyon ve sıcaklık değeri olduğudur.

Sonuç olarak, fotovoltaik sistemin güç tahmini için çoklu regresyon ve yapay sinir ağı'nın (YSA) tahmin yetenekleri karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağı modelinin %98 çoklu doğrusal regresyon modelinin %94,8 başarı ile güç çıktısını açıkladığı ve y denkleminin  $y = 1,056x_1 - 0,18x_2 + 0,22x_3 - 0,012x_4 - 0,025x_5 + 0,018x_6 + 0,007$  olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, yapay sinir ağlarının fotovoltaik sistemlerin güç tahminlemede çoklu regresyon analizine göre daha başarılı bir yöntem olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



## KAYNAKÇA

- Abuşka, M.** (2014). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notu*. Selçuk Üniversitesi [http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db\\_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf](http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf)
- Ajder, A.** (2011). *Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aktacir, M. A., Yeşilata, B., ve Işiker, Y.** (2008). Fotovoltaik-Rüzgâr Hibrid Güç Sistemi Uygulaması, *Yeni Enerji. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri*, 3, 56-62.
- Alan, E.** (2013). *Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Cüruflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alpar, R.** (2003). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş-1*, Nobel Yayınları, Ankara.
- Anderson, D. ve McNeill, G.** (1992). *Artificial Neural Networks Technology, Rome Laboratory, ELIN: A011*, New York.
- Atasoy, S.** (2010). Yapay Sinir Ağları ve Sinirsel Bulanık Ağlar ile İnsan Kaynaklarında Performans Yönetimi Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydar, E., Üresin, E. ve Livatyalı, H.** (2010). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi. Tübitak Marmara Araştırma Merkezi. TTMD, Temmuz-Ağustos 2010, 35-40.
- Bahadır, İ.** (2008). Bayes Teoremi ve Yapay Sinir Ağları Modelleriyle Borsa Gelecek Değer Tahmini Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayata, H. F. ve Hattaoğlu, F.** (2010). Yapay Sinir Ağları ve Çok Değişkenli İstatistik Yöntemlerle Trafik Kaza Modellemesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 3(2), 207-219.
- Bayır, F.** (2006). *Yapay sinir ağları ve tahmin modellemesi üzerine bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul.
- Beckman, W. A. ve Duffie John, A.** (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC, Canada, 888p. Ruckstuhl, C., vd. (2008), Aerosol and cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming*
- Bingöl, O., Özkaya, B. ve Paçacı, S.** (2017). Değiştir ve Gözlemle ve Bulanık Mantık Yöntemleri İle Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası

- Takibinin Karşılaştırılması. *Mugla Journal of Science and Technology*, 3 (1), 51-57.
- Boztepe, M.** (2017). Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. Ege Üniversitesi.
- Büyüköztürk, Ş.** (2006). *Sosyal Bilimler için Veri Analizi El Kitabı*. Ankara: Pegem A Yayıncılık.
- Cho, V.** (2003). A comparison of three different approaches to tourist arrival forecasting. *Tourism Management*, 24: 323-330.
- Coşkun, A.** (2007). Yapay zeka optimizasyon teknikleri: literatür değerlendirmesi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 27, 142-146.
- Coşkun, C., Koçyiğit, N., ve Oktay, Z.** (2016). Estimation of Pv Module Surface Temperature Using Artificial Neural Networks. *Mugla Journal Of Science And Technology*, 2(2), 15-18.
- Çayıroğlu, İ.** (2015). İleri Algoritma Analizi-5 Yapay Sinir Ağları. <http://www.ibrahimcayiroglu.com/dokumanlar/ilerialgoritmaanalizi/ilerialgoritmaanalizi-5.hafta-yapaysiniraglari.pdf> Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım ilkeleri. Gazi Üniversitesi, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3) 17-33.
- De Lurgio, A. S.** (1998). Forecasting principles and applications. Singapore: Irwin McGraw-Hill.
- Demir, M.** (2015). *Dış Duvara Sonradan Tespit Edilen Fotovoltaik Panellerin Performansının Deneysel Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demuth, H., Beale, M. ve Hagan, M.** (2008). Neural Network. *Toolbox 6 User's Guide, Natick, MA: The Math Works*.
- Deriş, N.** (1979). *Güneş enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği*, Sermet Matbaası, İstanbul, 12-37, 42-43s.
- Efe, Ö. ve Kaynak, O.** (2006). *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, İstanbul Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Elmas, Ç.** (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, 1, Ankara.
- Elmas, Y.** (2007). *Mikroelektromekanik Anahtarların Hfss ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E.** (2003). Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri, *Pivolka*, 2, 6, 14-17.
- Es, H. A.** (2013). *Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fausett, L.** (1994). Fundamentals of Neural Networks, Prentice-Hall, New Jersey.
- Goetzberger, A., Luther, J. ve Willeke, G.** (2002). "Solar cells: past, present, future", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 74, 1-11.

- Goossens, D., ve Van Kerschaever, E.** (1999). Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance. *Solar Energy*, 66(4), 277-289.
- Göksal, T.** (1998). *Mimaride Güneş Enerjisi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Görçelioğlu, E.** (1987). Güneş açıları ve bunların feyzaj düzenlemelerindeki önemi *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 19 (3).
- Güç, R.** (2016). *Bilecik İli İçin Güneş Enerjisi Analizi ve Yapay Sinir Ağları İle Hava Sıcaklığı Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F.** (2004). Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini, Ankara, Gazi Üniversitesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19, 227-233.
- Hamzaçebi, C.** (2011). *Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı*, Ekin Yayınevi, Trabzon.
- Harmon, P., Maus, R., ve Morrissey, W.** (1988). *Expert System Tools and Applications*, John Wiley & Sons Inc., Canada, 1988.
- Haykin, S.** (1994). *Neural Network, A Comprehensive Foundation*, Macmillan College Publishing Company, New York.
- Hocaoğlu, F., Kaysal, K. ve Kaysal, A.** (2015). Yük Tahmini İçin Hibrit (YSA ve Regresyon) Model. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 33-39.
- Kabalıcı, E.** (2014). “Yapay Sinir Ağları – Artificial Neural Networks” Nevşehir Üniversitesi Elektrik –Elektronik Müh. Ders Notu.
- Kalaycı, Ş.** (2009). *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik uygulamaları*. Ankara: Asil Yayınevi.
- Kalogirou, S.A.** (2001). Artificial Neural Networks In Renewable Energy Systems Applications: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 373-390.
- Kantaroğlu, F.** (2010). Fotovoltaik Sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği. TTMD*, Temmuz-Ağustos.
- Karaatlı, M., Helvacıoğlu, Ö. C., Ömürbek, N., ve Tokgöz, G.** (2012). Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Otomobil Satış Tahmini. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 8(17), 87-100.
- Kaysal, K., Hocaoğlu, F.O., Oğuz, Y. ve Kaysal, A.** (2013). Short term load forecasting for a micro region using NNs and regression models. *Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 20, 14042779, 177-180.
- Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Shezawi, I. M., Al-Saidi, H. S., Al-Rubkhi, H. S., Al sinani, K. ve Al-Waeli, A. H.** (2012). Effect of Humidity on the PV Performance in Oman. *Asian Transactions on Engineering (ATE ISSN: 2221 - 4267) Volume 02 Issue 04*.

- Kılıç, A. ve Öztürk A.** (1983). Güneş Enerjisi KİPAŞ Dağıtımçılık Çağaloğlu İstanbul
- Lewis, C.D.** (1982). "Industrial and Business Forecasting Methods" Londra, Butterworths Publishing.
- Li, J., Ward, J., Tong, J., Collins, L., ve Platt, G.** (2016). Machine learning for solar irradiance forecasting of photovoltaic system. *Renewable Energy*, 90, 542-553.
- Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D. ve Beyer, H.** (2009). Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems. *IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, 2(1), 2-10.
- Martinez, F. ve Moreno N. T.** (2013). Çeviren: C. Alperen Soyalp, *Fv Sistemlerin Kalitesini Artırma Ve Maliyetini Azaltma Kılavuzu*, İyi ve Kötü Uygulamalar.
- Masaebi, P.** (2016). *Yapay Sinir Ağları ile İran Elektrik Üretim Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mellit, A., Kalogirou, S., Shaari, S., Salhi, H. ve Hadj Arab, A.** (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, 33(7), 1570-1590.
- Mellit, A., Kalogirou, S., ve Drif, M.** (2010). Application of neural networks and genetic algorithms for sizing of photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 35(12), 2881-2893.
- Mellit, A. ve Kalogirou, S.** (2008). Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Progress In Energy And Combustion Science*, 34(5), 574-632.
- Messenger, R. A. ve Ventre, J.** (2000). Photovoltaic systems engineering.
- Mühürücü A. ve Toyran H.** (2018). Fotovoltaik Sistemlerde PSO ile Optimize Edilmiş Mirac Algoritması Kullanarak Maksimum Güç Noktası Takibi, *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu*, 18-20 Nisan 2018, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Nakir, İ.** (2007). *Fotovoltaik güneş panellerinde GTS ve MGTS kullanarak verimliliğin artırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Oktik, Ş.** (2001). *Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.
- Oluklulu, Ç.** (2001). *Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimari Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Onat, N. ve Ersöz, S.** (2009). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması. *V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu* – Diyarbakır. Syf 50-56.

- Özçalık, H. R., Yılmaz, S. ve Kılıç, E.** (2013). Güneş Pilinin Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkarılması ve Parametrelerinin İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 16(1).
- Özçelik, S.** (2016). Fotovoltaik PV Teknolojileri Ders Notu. *Gazi Üniversitesi, Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi*.
- Özpınar, M. A.** (2007). *Yenilenebilir enerji santrallerinde yapay sinir ağları yöntemiyle enerji üretiminin modellenmesi ve planlanması*. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztemel, E.** (2012). *Yapay Sinir Ağları*, 3. Baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Özveren, U.** (2006). *Pem Yakıt Hücrelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pearsall, N.M. ve Hill, R.** (2001). "Photovoltaics modules, system and applications", *Clean Electricity From Photovoltaics*, Sydney.
- Pirim, H.** (2006). Yapay Zeka, Journal of Yaşar University 1 (1), 81–2006 dergipark.ulakbim.gov.tr
- Prasad, D.K., ve Snow, M.** (2005). *Designing With Solar Power , A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*, Australia, Images Publishing.
- Quaiyum, S.** (2011). Application of Artificial Neural Network in Forecasting Solar Irradiance and Sizing of Photovoltaic Cell for Standalone Systems in Bangladesh. *International Journal Of Computer Applications, Volume 32– No.10,(0975 – 8887)*.
- Rich, E.** (1983). *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill Inc., The University of Texas at Austin.
- Roberts, S. ve Guariento, N.** (2009). *Building Integrated Photovoltaics A Handbook*, Birkhauser Press, Berlin, Germany.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M.** (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları*, Ufuk Kitap Kırtasiye, Kayseri.
- Sağiroğlu, Ş., Yolaçan, E. N. ve Yavanoğlu, U.** (2011). "Zeki saldırı tespit sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Ankara, Cilt:26 No:2, 325-340.
- Saraç, T.** (2004). *Yapay Sinir Ağları, Basılmamış Seminer Projesi*, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Ankara.
- Sarıtaş, M.** (1988). Review paper on Solar Cell Technology, *Proceedings of ECA Electronics Technology Workshop*, TUBITAK, Gebze.
- Sayın, S. ve Koç, İ.** (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ*, 26(3).
- Sipahi, B., Yurtkoru E. S., Çinko, M.** (2010). *Sosyal bilimlerde SPSS'le veri analizi*. Beta Yayıncılık, 3. Basım, İstanbul.

- Strong, S. ve Scheller, W.** (1993). The Solar Electric House, Sustainability Press, Massachusetts. "Photovoltaics: Basic Design Principles and Components", *Consumer Energy Information: EREC Fact Sheets*.
- Su, Y., Chan, L., Shu, L. ve Tsui, K.** (2012). Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems. *Applied Energy*, 93, 319-326.
- Şenpınar, A.** (2006). Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.
- Temür, G.** (2013). *Yapay Sinir Ağlarının Otomatik Olarak FPGA Çipine Uygulanması İçin Denetleyici Tasarım Aracı*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Thomas, R. ve Fordham, M.** (2001). *Photovoltaics and Architecture*, Spon Press, London and Newyork.
- Toprak, A., Kılıç, H. Ş., Toprak, A., ve Kepceoğlu, A.** (2016). Güneş Piliinin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve Iv İle Pv Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, (12), 13-22.
- Turhan, S. ve Çetiner, İ.** (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu* 12 – 13 Nisan 2012 Uludağ Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi - Görükle Kampüsü - Bursa.
- Url 1** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>> Alındığı Tarih: 07.06.2018
- Url 2** <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>> Alındığı Tarih: 07.06.2018
- Url 3** <<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-enerjisinden-nasil-elektrik-elde-edilir/8172#ad-image-0>> Alındığı Tarih: 12.01.2018
- Url 4** <<http://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinden-elektrik-uretimi/>> Alındığı Tarih: 11.01.2018
- Url 5** <<http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/gunes-panellerinin-otesi-/2855#ad-image-0>> Alındığı Tarih: 11.01.2018
- Url 6** <[http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx)> Alındığı Tarih: 11.01.2018
- Url 7** <[http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx)> Alındığı Tarih: 12.01.2018
- Url 8** <<http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm>> Alındığı Tarih: 07.12.2017
- Url 9** <<http://www.schmid-pekintas.com/tr/off-grid.php>> Alındığı Tarih: 21.12.2017
- Url 10** <<http://www.minerji.com/hizmetlerimiz/sebeke-baglanti-on-grid-sistem/>> Alındığı Tarih: 27.12.2017

- Url 11** <<http://www.ksrenergy.com/hibrid.asp>> Hibrit Sistemler Alındığı Tarih: 29.12.2017
- Url 12** <[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENARE\\_Capacity\\_Statistics\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENARE_Capacity_Statistics_2017.pdf)> Alındığı Tarih: 21.10.2017
- Url 13** <<https://lutfusevincexample.wordpress.com/2016/06/06/3-diyot-pn-eklemi/>> Alındığı Tarih: 21.12.2017
- Ünlü, M., Çamur, S. ve Arifoğlu, B. (2005).** Devre Temelli Fotovoltaik Hücre Modeli. *Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi*, 41380.
- Varmca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006).** Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK’2006: *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran 2006, Esogü*, 270-275. Eskişehir.
- Verma, D., Nema, S., Shandilya, A.M., Dash, S.K. (2016).** Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1018-1034.
- Volker, Q. (2005).** Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan, Kanada.
- YEGM, (2017).** Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. ([www.yegm.gov.tr](http://www.yegm.gov.tr))
- Yıldırım, M. Z. (2017).** *Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Network Üzerinde Saldırı Tespiti*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Yılmaz, M. (2012).** Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre bilimleri Dergisi* 4(2), 33-54.
- Yiğit, P. (2011).** *Yapay Sinir Ağları ve Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yona, A., Senjyu, T., Saber, A., Funabashi, T., Sekine, H. ve Kim, C. (2007).** Application of Neural Network to One-Day-Ahead 24 hours Generating Power Forecasting for Photovoltaic System. 2007 *International Conference On Intelligent Systems Applications To Power Systems*.
- Yücesoy, M. (2011).** *Temizlik Kağıtları Sektöründe Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zengin, E. ve Köse. E. (2015).** Güneş pillerinin enerji dönüşüm kalitesini etkileyen önemli faktörlerin değerlendirilmesi. *6. Enerji Verimliliği, Kalitesi, Sempozyumu ve Fuarı, 4-6 Haziran. Kocaeli*.
- Zhang, H., Baeyens, J., Degrève, J. ve Cacères, G. (2013).** Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 22, 466-481.
- Zhang, G., ve Hu, M. Y. (1998).** Neural network forecasting of the british pound/US Dollar exchange rate, *Omega International journal of Management Science*, 26(4), 495-506.





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Sultan Mehtap İZMİRLİ AYAN

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Samsun 01.09.1984

**E-Posta** : mehtap.izmirli@klu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik- Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- İzmirli Ayan S. M., Toylan H. (2017). Estimation About Electricity Generation of Photovoltaic Panel by Using Artificial Neural Networks. 8. Uluslararası Gelişmiş Teknolojiler Sempozyumu, 19-22 Ekim, 2017 Elazığ, Türkiye