



T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM
VERİLERİNİN METEOROLOJİK VERİLERE BAĞLI OLARAK
YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR SOMUNCU

OCAK

OCAK 2023

**YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI**

SERDAR SOMUNCU

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM
VERİLERİNİN METEOROLOJİK VERİLERE BAĞLI OLARAK YAPAY
ZEKA YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ**

Serdar SOMUNCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Serdar SOMUNCU

23/01/2023

AMASYA ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM VERİLERİNİN
METEOROLOJİK VERİLERE BAĞLI OLARAK YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE
TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Serdar SOMUNCU

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2023

ÖZET

Son yıllarda, enerjiye olan talep gün geçtikçe artarken öte yandan da fosil yakıtların giderek azalması ve çevre kirliliğine olan duyarlılığın başlamasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Özellikle güneş enerjisi kullanımı son zamanlarda hızlı bir ivme göstermiştir. Bu çalışmada genel olarak güneş enerjisi incelenmiş olup, uygulamada ise güneş enerji santrali üretim verilerinin meteorolojik verilere bağlı olarak yapay zekâ yöntemlerinden çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) yardımıyla tahmini yapılmıştır. ÇKYSA metodu kullanılarak yapılan tahminde en iyi sonucun Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritmasıyla elde edildiği belirlenmiştir. ANFIS metodu kullanılarak yapılan tahminde ise en başarılı sonucun melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyon tipi ile girdi değerleri için 4-4-4 üyelik fonksiyonun birlikte kullanıldığı modelin ürettiği belirlenmiştir. Oluşturulan ÇKYSA ve ANFIS modelleriyle yapılan tahmin değerlerinin ölçülen değerler ile makul düzeyde yakınsadığı saçılma grafiklerinden görülmüştür. Test sonuçları sonrası yapılan regresyon eğrilerinde tahminlerin güvenilir ve isabetli olduğu anlaşılmıştır. Enerji sektörü konumunda bulunan santrallerin üretim verileri aynı yöntemlerle hesaplanabilir.

Sayfa Adedi : 51
Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji, Yapay Sinir Ağı, Uyarlamalı Bulanık Yapay Sinir Ağı Çıkarım Sistemi, Tahmin
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL

ESTIMATION OF AMASYA UNIVERSITY SOLAR POWER PLANT PRODUCTION
DATA WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS BASED ON
METEOROLOGICAL DATA

(M. Sc. Thesis)

Serdar SOMUNCU

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

In recent years, while the demand for energy is increasing day by day, the need for renewable energy sources is increasing day by day with the decrease in fossil fuels and the onset of sensitivity to environmental pollution. Especially the use of solar energy has shown a rapid acceleration in recent times. In this study, solar energy has been investigated in general, and in practice, solar power plant production data has been estimated with artificial intelligence methods, multi-layer artificial neural networks (MLPNN) and adaptive fuzzy artificial neural network inference system (ANFIS), depending on meteorological data. It was determined that the best result was obtained with the Levenberg-Marquardt (trainlm) algorithm in the estimation made using the MLPNN method. In the estimation made using the ANFIS method, it was determined that the most successful result was produced by the hybrid algorithm and the gbellmf membership function type and the model in which the 4-4-4 membership function was used together for the input values. It has been seen from the scatter plots that the predicted values made with the created MLPNN and ANFIS models converge reasonably with the measured values. It was understood that the estimations were reliable and accurate in the regression curves made after the test results. The production data of the power plants in the energy sector can be calculated with the same methods.

Number of pages : 51

Keywords : Renewable Energy, Artificial Neural Network, Adaptive Fuzzy
Neural Network Inference System, Prediction

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Canan ORAL

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini esirgemeyen, deneyimi ve bilgi birikimlerinden faydalandığım, rehberliği, desteği ve anlayışı için değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL'a ve desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Erhan BERGİL'e çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Literatür Özeti	3
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	5
2.3. Fotovoltaik Sistemler	7
2.3.1. Fotovoltaik paneller	8
2.3.2. Şarj regülatörü	8
2.3.3. Evirici	9
2.3.4. Transformatörler	9
2.3.5. Akü	9
2.3.6. Dizi montaj rafları	10
2.3.7. Topraklama aletleri	10
2.3.8. Kablolar	10
2.3.9. Çift yönlü elektrik sayacı	10
2.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri	11
2.4.1. Şebeke bağlantısız (Off Grid) sistemler	11

	Sayfa
2.4.2. Şebeke bağlantılı (On grid) sistemler	12
2.5. Güneş Enerjisi	12
2.5.1. Dünyada güneş enerjisi potansiyeli	14
2.5.2. Türkiye’de güneş enerji potansiyeli	15
2.5.3. Amasya ili güneş enerji potansiyeli.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Veri Kümesi ve Özellikler	22
3.2. Yapay Zeka	23
3.2.1. Yapay sinir ağları	24
3.2.2. Uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi	27
3.3. Performans Kriterleri	29
4. BULGULAR	30
4.1. ÇKYSA Uygulaması.....	30
4.2. ANFIS Uygulaması.....	36
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ölçüm istasyonu kayıt sistemi örnek değerleri.....	22
Çizelge 3.2. Evirici çıkış güçleri için örnek değerler.....	23
Çizelge 3.3. Santral üretim tahmini için kullanılan özellikler	23
Çizelge 4.1. ÇKYSA başarımları sonuçları	31
Çizelge 4.2. Farklı öğrenme algoritmaları ve farklı gizli katman nöron sayıları için ÇKYSA modelin başarımları sonuçları.....	34
Çizelge 4.3. ÇKYSA sonuç değerleri	35
Çizelge 4.4. 3-3-3 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımları sonuçları.....	40
Çizelge 4.5. 4-4-4 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımları sonuçları.....	41
Çizelge 4.6. 3-4-5 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımları sonuçları.....	41
Çizelge 4.7. ANFIS sonuç değerleri	43
Çizelge 4.8. ANFIS ve ÇKYSA yöntemleri için başarımları sonuçları.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Birincil ve ikincil enerji kaynakları.....	6
Şekil 2.2. Fotovoltaik sistem bileşenleri	7
Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre, panel ve diziler	8
Şekil 2.4. Şebekeden bağımsız FV sistem	11
Şekil 2.5. Şebeke bağlantılı FV sistem	12
Şekil 2.6. Türkiye güneş enerji santralleri kurulu gücünün yıllara göre değişimi	13
Şekil 2.7. Dünya’da çeşitli güneş enerji santrali kurulum yeri çalışmaları	14
Şekil 2.8. Yüzen güneş enerjisi santrali örneği.....	15
Şekil 2.9. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.....	16
Şekil 2.10. Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin coğrafi bölgelere göre dağılışı grafığı.....	17
Şekil 2.11. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin illere göre dağılışı grafığı	18
Şekil 2.12. Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin il bazında dağılışı haritası	18
Şekil 2.13. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin kırsal alanlardaki kurulum yeri örnekleri	19
Şekil 2.14. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin kentsel alanlardaki kurulum yeri örnekleri	19
Şekil 2.15. Amasya ili güneş enerjisi potansiyel atlası.....	19
Şekil 2.16. Amasya güneşlenme süreleri	20
Şekil 2.17. Amasya global radyasyon değerleri.....	20
Şekil 3.1. ÇKYSA ağ mimarisi	26
Şekil 3.2. Aktivasyon fonksiyonları.....	27
Şekil 3.3. ANFIS modeli.....	27
Şekil 4.1. ÇKYSA tahmin sonuçları	32
Şekil 4.2. Hataların dağılımı	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Eğitim, test ve doğrulama verilerinin performans değişimi	33
Şekil 4.4. ÇKYSA modeli için gerçek ve tahmin edilen sonuçlar	35
Şekil 4.5. ANFIS modeli için eğitim verileri tepkisi.....	37
Şekil 4.6. ANFIS modeli için test verileri tepkisi	38
Şekil 4.7. ANFIS modeli için kontrol verileri tepkisi	38
Şekil 4.8. ANFIS modeli ağ yapısı	39
Şekil 4.9. ANFIS modeli kural yapısı	39
Şekil 4.10. ANFIS uygulaması eğitim veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar	42
Şekil 4.11. ANFIS uygulaması test veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar	42
Şekil 4.12. ANFIS uygulaması kontrol veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
MW	Mega watt
GW	Giga watt
kWh/m ²	Kilo watt saat/metre kare
kWh	Kilo watt-saat
Ah	Amper saat
W/m ²	Watt/metre kare
C°	Santigrat derece
V	Volt
A	Amper
m/s	Metre/saat

Kısaltmalar	Açıklama
YSA	Yapay sinir ağları
ANFIS	Uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi
FIS	Bulanık çıkarım sistemi
GES	Güneş enerji santrali
FV	Fotovoltaik sistem
MSE	Ortalama kare hata
RMSE	Ortalama karekök hatası
MAPE	Ortalama yüzde hata
ÇLR	Çoklu lineer regresyon
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
ÇKA	Çok katmanlı ağ
Off Grid	Şebekeden bağımsız sistem
On Grid	Şebekeye bağımlı sistem
BR	Bayesian regularization
LM	Levenberg-marquardt
ÖEE	Ölçekli eşlenik eğim
MF	Membership function
R²	Belirleme katsayısı
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkeler enerji gereksiniminin büyük bir bölümünü fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Diğer yandan, fosil enerji kaynakları rezervlerinin tükenmeye başlaması, fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanımı dolayısıyla iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önlenmesi açısından sürdürülebilirliği sağlama ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve bilgi-iletişim alanındaki gelişmeler dolayısı ile enerjiye olan bağımlılık gün geçtikçe artmaktadır.

Yenilenebilir enerjinin tükenmez olması, sürekli kendini yenileyebilmesi, çevre dostu olması, maliyetlerinin düşmesi ile birlikte bu kaynaklara olan talep ve yatırım artmaktadır. Güneş enerjisi tahmini, güneş enerjisi santrallerinin enerji piyasasındaki rekabet gücünün artırılmasında, ekonomik ve sosyal kalkınmada fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında kilit bir unsuru temsil etmektedir.

Günümüzde dünya, elektrik üretmek için yenilenebilir enerji kullanımına yöneliyor. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji oranını artırmak, ekolojik ve dayanıklı bir elektrik sistemi oluşturmak için gerçekten çok önemlidir. Bu bağlamda güneş enerjisi, enerji üretimi için en umut verici yenilenebilir kaynaklardan biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, enerji bağlamı, fiyat değişimi, talep değişimi ve yenilenebilir enerji üretiminin istikrarsızlığı ile belirlenmektedir. Güneş enerjisi bağlamında, bu istikrarsızlık Fotovoltaik (FV) hücrelerinin üretiminde kullanılan malzemelere ve aynı zamanda durağan olmayan meteorolojik değişkenler gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle, güneş enerjisi alanında, öncelikle doğru tahminler sağlamaya yardımcı olabilecek meteorolojik değişkenleri tanımlayabilmek önemlidir. Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem gibi hava koşullarına bağlı olarak günden güne değişen çıkış gücü üretimi doğrusal olmayan davranışı sergiler. Başka bir deyişle, meteorolojik parametrelere bağlı bir modelin oluşturulması, FV sisteminin kararlılığının, güvenilirliğinin ve güvenliğinin iyileştirilmesine katkıda bulunacağı için önemlidir (Jebli, Belouadha, Kabbaj ve Tilioua, 2021).

Bu tez çalışması, makine öğrenme tekniklerine dayalı olarak güneş enerjisini tahmin etmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada, Amasya Üniversitesi İpekköy Yerleşkesinde kurulu 200 kW güneş enerjisi santrali üretim verilerinin, meteorolojik verilere bağlı olarak

çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) yardımıyla tahmini yapılmıştır. HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilen rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiğ noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri makine öğrenmesi modelleri için özellik (girdi) olarak kullanılmıştır. Algoritma tarafından öngörülecek çıkış parametresi santralde bulunan eviricilerin çıkış enerjileridir. Elde edilen tahmin algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatürdeki önceki çalışmalara değinilmiş, yenilenebilir enerji kaynakları, FV sistemler ve çeşitleri, güneş enerjisi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri kümesi ve tahmin algoritmasında kullanılan yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağı (YSA) ve Uyarlamalı Bulanık Yapay Sinir Ağı Çıkarım Sistemi (ANFIS) hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde tahmin algoritması için uygulama sonuçları verilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışmadan çıkan sonuçlar irdelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Genel bilgiler bölümünde yenilenebilir enerji kaynakları, fotovoltaik sistem ve FV sistem bileşenleri ve çeşitleri incelenmiştir ayrıca güneş enerjisine kapsamlıca yer verilerek, araştırmalar ile ilgili çalışmalar yer almıştır.

2.1. Literatür Özeti

Ok çalışmasında (2010), YSA ile ANFIS yöntemlerini kullanarak nüfus, ithalat, ihracat ve gayri safi milli hâsıla (GSMH) göstergelerinin üçer aylık değerlerini kullanarak üçer aylık dönemlere ait talep tahmininde bulunmuştur. ANFIS ile oluşturulan modelin tatmin edici ve başarılı bir tahmin performansı gösterdiğini hesaplamıştır.

Saray ve arkadaşları tarafından (2011), YSA yöntemiyle Amasya ilinin 2010 yılı yaz mevsimi için rüzgâr hızı tahmini yapılmış ve her bir ayın uygulaması için ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama karesel hata (MSE) değerleri hesaplanmıştır. Tahmin için YSA içerisinde çok katmanlı geri beslemeli ağ (BP) metodu ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Sonuçta YSA ve BP metodunun üç katmanlı ağ yapısı ile rüzgâr hızı tahmininde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Özcan ve arkadaşları (2013), Isparta iline ait rüzgâr hızlarını ANFIS ve YSA yöntemleriyle tahmin etmiştir. YSA yöntemi kullanılarak yapılan tahminde Tan-sig fonksiyonu kullanılarak en iyi sonucun LM12 algoritmasıyla oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ANFIS yöntemiyle elde edilen R^2 değerinin YSA ile elde edilen değere nazaran daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Doğancı ve arkadaşları (2016), 2007-2014 yılları arasındaki 7 yıllık nem, sıcaklık, rüzgâr hızı, basınç ve yağış verilerinin girdi olarak oluşturduğu YSA modeli ile rüzgâr hızını tahmin etmişlerdir. Elde ettikleri tahmini verilerin gerçek değerlerle olan hata sapmalarını hesaplamışlardır. Çalışmada elde ettikleri ortalama kare hata (MSE) değerlerinde, İnegöl bölgesi rüzgâr hızı tahmininde 0,00176, Bafra bölgesi rüzgâr hızı tahmininde 0,00088, Karabük bölgesi rüzgâr hızı tahmininde 0,01392 ve Zonguldak bölgesi rüzgâr hızı tahmininde 0,00257 değerlerine ulaşmışlardır.

Kaya ve arkadaşları (2016), YSA ve ANFIS yöntemleri ile farklı rüzgâr türbin verileriyle iki çeşit model oluşturarak Kastamonu ili rüzgâr gücü potansiyelini tahmin etmişlerdir. Güç tahmini için günlük maksimum rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Neticede, kullanılacak rüzgâr türbin modeline göre üretilebilecek maksimum güç değerleri tahmin edilmiştir.

Güleç ve Demirel (2017), Kastamonu iline ait 2009 ile 2016 yılları arasında ölçülmüş; aylık ortalama nispi nem, aylık ortalama sıcaklık, aylık açık gün sayısı, aylık ortalama hava basıncı, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık toplam güneş ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak YSA ile güneş radyasyon değerleri ileriye dönük olarak tahmin edilmiştir. YSA yönteminin güneş radyasyon değerlerinin tahmininde başarılı şekilde kullanılacağı görülmüştür.

İzmirli Ayan (2018), çevresel faktörler göz önünde bulundurularak, 10 aylık süre içerisinde nem, rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, rüzgâr soğuğu, panel sıcaklığı ve radyasyon değerlerinden YSA ile FV panelin üreteceği gücü hesaplamaya çalışmıştır. Ortalama yüzde hatayı (MAPE) %6,6 ve başarı oranını R^2 ise %98,9 olarak bulmuştur. YSA performansını istatistiksel yöntemlerden çoklu regresyon analizi ile karşılaştırmıştır. YSA'nın FV sistemlerin güç tahmininde başarılı bir teknik olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Var ve Türkay (2014), İstanbul ilindeki bir bölgenin elektrik puant yükünü YSA ile tahmin etmiştir. Anılan bölgede sıcaklık, elektrik yükü saat, nem geçmiş zamandaki elektrik yükü veri olarak alınıp YSA ile yük tahmini yapılmıştır. YSA ile yapılan tahminle %10 hata oranının altına inilerek istenilen amaca ulaşılmıştır.

Dandıl ve Gürgen (2019), altı farklı açısız konuma yerleştirilen panellerden elde ettikleri güç değerlerini YSA ile tahminde bulunmuşlardır. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayalı YSA ile Geriye Yayılım (GY) ve diğer optimizasyon algoritması Klonal Seçim Algoritması (KSA) ile eğitilen modellerden faydalanılmıştır. Her üç kriterden elde ettikleri doğrulama sonuçları incelendiğinde, hemen hemen bütün aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısı, GY ve KSA algoritmaları ile eğitilen YSA yapısına göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Eyvazov (2019), YSA modeli ile 2013-2018 yıllarına ait günlük güneş radyasyon değerlerini kullanarak mevsimlik ve yıllık tahminde bulunmuştur. YSA modelinde BR (Bayesian

Regularization), LM (Levenberg-Marquardt) ve ÖEE (Ölçekli Eşlenik Eğitim) öğrenme algoritmaları ile verileri eğitmiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, YSA modeli kullanılarak karşılaştırılan üç algortmadan en iyi sonucu ($MSE = 1,11$) LM (Levenberg-Marquardt) algoritması vermiştir.

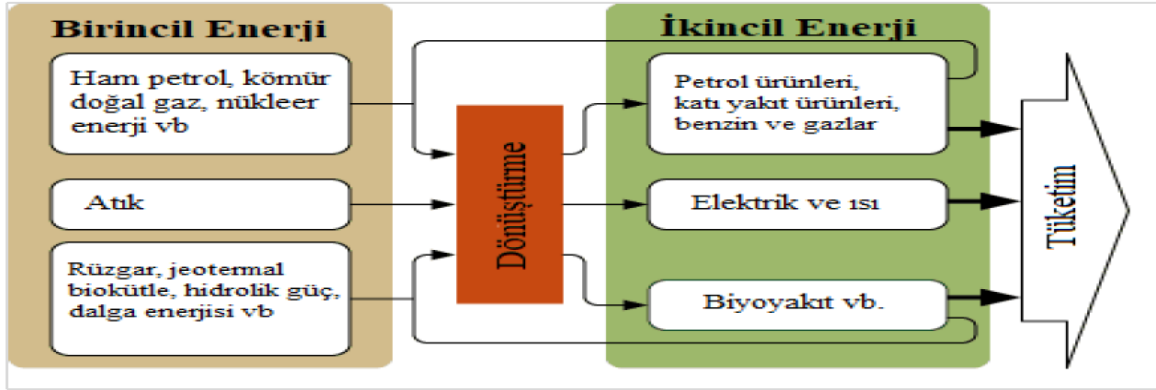
Gabralı ve Aslan (2020), güneş radyasyonu, toprak üstü sıcaklık, rüzgâr yönü, rüzgâr şiddeti vb. verilerini kullanarak güneş radyasyonu için ileriye dönük kısa ve orta vadeli tahmin çalışması yapmışlardır. Modellemede Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ile YSA kullanmışlardır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, güneş radyasyonu tahmininde YSA sonuçlarının ÇLR sonuçlarından daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. YSA modelinde güneş radyasyonu için R, nRMSE ve MAPE değerlerini, 0,912, %48,5, %28,21 olarak hesaplamışlardır.

Geçmez ve Genç (2020), bir güneş enerjisi santrali üretim değerlerinin meteorolojik verilere (günlük ortalama nispi nem, günlük ortalama sıcaklık vs.) bağlı olarak YSA modeli ile tahmin etmiştir. Gerçekte olması gereken çıkış değerleri ile YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, test, eğitim ve doğrulama verileriyle beraber tüm veri sonuçları regresyon değerlerinin 1'e yakın olduğu hesaplanmıştır.

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Birincil enerji, doğrudan doğruya çevreden elde edilirken, ikincil enerji ise birincil enerjiden elde edilir. Birincil enerji, yenilenemez enerji yani fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji ile atıklar olmak üzere gruplara ayrılır. İkincil enerji ise kömür, petrol, rüzgâr ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynaklarından elde edilip genellikle elektrik, benzin, hidrojen, etanol gibi enerji kaynaklarına dönüştürülür (Aydoğdu, 2021).

Birincil ve ikincil enerji kaynakları arasındaki ilişki Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Birincil ve ikincil enerji kaynakları (Aydoğdu, 2021)

Yenilenebilir enerji; sürekli devam eden ve doğal kaynaklardan elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Yeryüzünde ve doğada üretim sürecine gereksinim duymadan elde edilebilen, yenilenemez enerji kaynaklarından olmayan, elektrik enerjisi üretilirken çevreye zararlı salınımı ve etkisi çok daha düşük olan, sürekli kendini yenileyen ve kullanıma hazır şekilde doğada var olan enerji kaynaklarıdır (Özaltın ve Binark, 2021).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de enerji stratejisinin unsurlarından biri de enerji verimliliğini artırmaktır. Karadeniz’de çıkarılan 405 milyar metreküplük doğalgaz rezervinin, üretim miktarı ve maliyetinin ne olacağı henüz netlik kazanmamıştır. Türkiye’nin 2017 yılında yıllık doğalgaz ithalatı 55 milyar metreküp iken, 2020 yılında 44 milyar metreküp olmuştur. Karadeniz’de çıkarılan rezervin yakın zamanda uygun fiyatla tüketiciye kullanıma hazır hale gelmesi düşünülse bile ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı konusunda tek çözüm olamayacağı düşünülmektedir. Yakın gelecekte ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için doğadaki kaynakların elde edilmesiyle oluşan çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gerekmektedir (Yesevi, 2021).

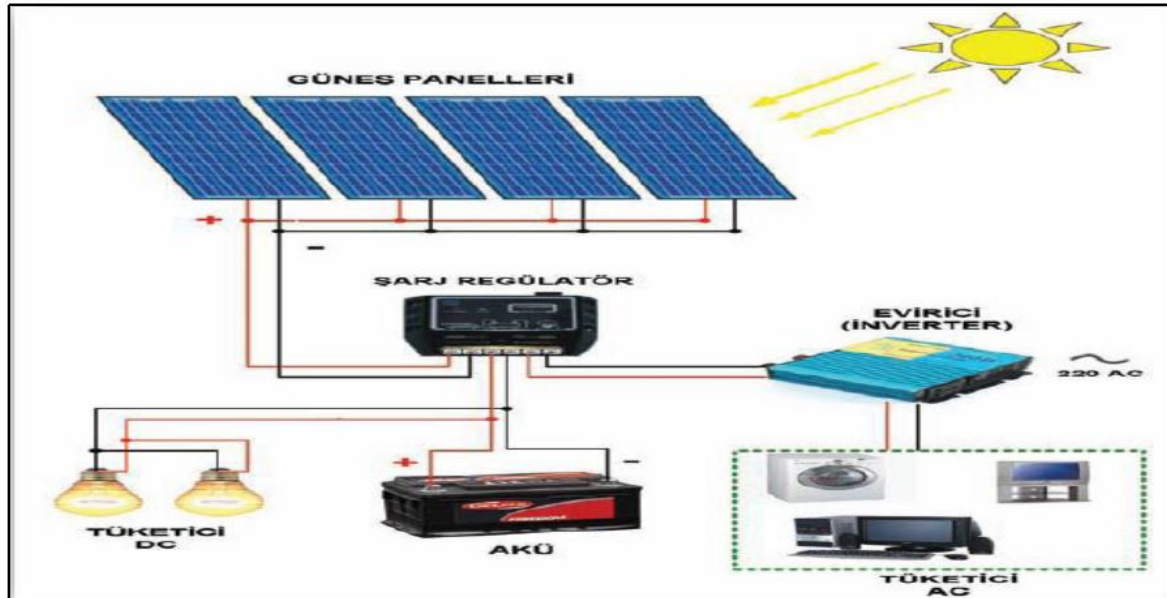
2018 yılında doksan ülkeden fazla 1 GW’ı aşkın yenilenebilir enerji kapasitesine sahip santral kurulmuştur. Son yıllarda, enerjinin tamamını yenilenebilir kaynaklardan karşılama yönünde dünyada bir eğilim olduğu görülmektedir. Norveç, Çin, Kosta Rika, Almanya ve İsveç gibi ülkeler enerji hedeflerini %100 yenilenebilir enerjiye geçiş olarak ortaya koymuşlardır. Enerji üretiminde ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artış göstermektedir. Son 10 yıla bakıldığında 2008 yılında yenilenebilir enerji üretiminin payı %19,58 iken 2018 yılında bu rakam %32,08 olmuştur. Diğer yandan 2008 yılında fosil

kaynaklı yakıtlarla enerji üretiminin payı %82,06 iken 2018 yılında %67,60'a düşmüştür. Bu durum, Türkiye'nin %100 yenilenebilir enerjiye geçişte hayati yol katettiğini göstermektedir. Atmosfere salınan zararlı emisyonların azalması ve sağlıklı bir ortam yaratmak için %100 yenilenebilir enerjiye geçiş, insanlığa sağlıklı bir hayat sunmanın yegâne yolu olarak görülmektedir. Mevcut yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması ile birlikte 2050 yılına kadar %100 yenilenebilir enerjiye sahip bir dünya olabilmek için, tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının beraber kullanılması ve depolama tekniklerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir (Karabağ, Çobanoğlu Kayıkcı ve Öngen, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, hidrojen, hidroelektrik, jeotermal, deniz-dalga ve biyokütle vb. kaynaklarıdır.

2.3. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler, kullanım amaçlarına göre farklı tasarım kriterlerine göre değişik elemanların birleştirilmesiyle oluşur. Şekil 2.2'de fotovoltaik sistemleri oluşturan bileşenler olan fotovoltaik paneller, akü, evirici, şarj kontrol cihazı vs. gösterilmiştir (Aksangör, 2019).



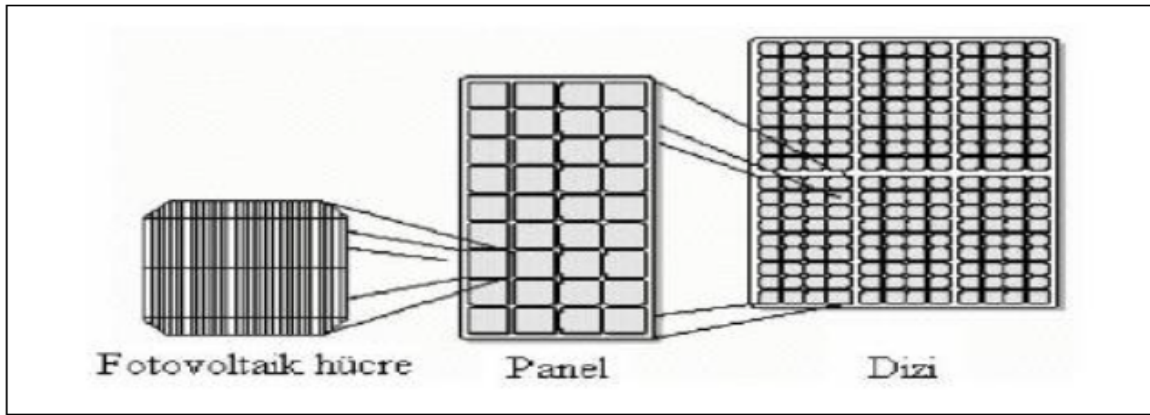
Şekil 2.2. Fotovoltaik sistem bileşenleri (Aksangör, 2019)

2.3.1. Fotovoltaik paneller

Fotovoltaik paneller, güneşten gelen fotonları, içerisinde barındıran birçok FV hücre ile doğru akıma (DC) dönüştüren sistemdir. Tek başlarına yüksek miktarda enerji üretemeyen FV hücreler, birbirine seri ya da paralel bağlanarak FV panelleri oluşturur (Aksangör, 2019).

FV paneller, koşulların uygun olması halinde nominal güçlerini oluşturabilir. Havanın çok soğuk ya da çok sıcak olması, panel camının temiz olmaması, panel camına gelen güneş ışınlarının geliş açısı panel verimini düşürebilmektedir (Baş, Zıba ve Yılmaz, 2017).

Şekil 2.3'te FV hücre, panel ve diziler gösterilmiştir. Oluşturdukları FV hücre çeşidine göre maliyetleri ve verimleri farklılaşmaktadır. Üretilen maksimum verimle çalışan bir FV panelden laboratuvar ortamında elde edilen verim % 43,5 tir. Yapımında kullanılan hücre çeşidine göre, monokristalin FV panel, polikristalin FV panel vb. olarak çeşitlere ayrılırlar (Aksangör, 2019).



Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre, panel ve diziler (Aksangör, 2019)

2.3.2. Şarj regülatörü

Şarj regülatörleri, akülerle FV diziler arasındaki gerilimi düzenleyen elemanlardır. Şarj regülatörlerinin amacı, akülerin aşırı derecede şarj edilmesinden korunmasını sağlamaktır (Öztürk ve Dursun, 2011).

Şarj kontrol ünitesine giren akım, fotovoltaik panellerden üretilen maksimum toplam akım değeridir. Şarj kontrol ünitesinin kalitesiz seçilmesi durumunda, sistemin ömrü kısalar ve sistemde yangına neden olabilmektedir (Akkaya, 2019).

2.3.3. Evirici

Fotovoltaik paneller, enerjiyi doğru akım (DC) olarak depolar. Ülkemizde enerji iletim ve dağıtım, enerji nakil hatlarında enerji kayıplarının daha az olmasından dolayı Alternatif Akım (AC) sistemi ile yapılmaktadır. Bu nedenle eviriciler FV paneller aracılığıyla üretilen düşük güçteki DC gerilimi 220 V 50 Hz'lik AC enerjiye çevirirler. Bu şekilde çevrilen AC enerji, transformatöre gönderilerek şehir şebekesine aktarılır (Akkaya, 2019).

2.3.4. Transformatörler

Transformatörler, santrallerde üretilen elektriğin şebekeye iletim ve dağıtımında kullanılan aygıtlardır. Gerilimi, yükselterek ve düşürerek elektrik enerjisinin uzak mesafelere nakledilmesini sağlarlar. Transformatörler, elektromanyetik indüksiyon yolu ile sargılar arasında enerji aktarımı sağlayan hareketsiz elemanlardır (Çıkla, 2020).

2.3.5. Akü

Aküler, şebeke bağlantısız güneş enerjisi sistemlerinde üretilen elektriğin depolanması ve enerjiye ihtiyaç olduğu zamanlarda kullanılmasını sağlayan aygıtlardır. Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden araçlardır.

Akülerin kapasiteleri amper-saat (Ah) terimi ile ifade edilmektedir. Akülerin ömürlerini mümkün olduğunca uzun tutmak için doluluk oranı %50'nin altına düştüğünce şarj edilmesi gereklidir. Şebeke elektriğinin bulunduğu yerde 2 gün, bulunmadığı yerde 3 günlük enerji gereksinimini depolayacak kadar kullanımı önerilmektedir. Akülerde depolanan enerjinin hepsini veya %70'inden fazlasını harcamak akünün yapısını bozabilmektedir (Akkaya, 2019).

2.3.6. Dizi montaj rafları

Diziler daha çok çelik direklere monte edilir. Bazen bir yapının parçası olabileceği gibi bir kısmı olarak da monte edilebilirler. Çatılara monte edildiğinde eğimi sabit kalır ancak bazı montaj şekillerinde eğimin ayarlanması sağlanabilmektedir. Direğe monte edilerek kullanıldığında güneş takibinin yapılması sağlanır ve bu durum günlük verimi %25-40 oranında arttırmaktadır (Özyiğit, 2019).

2.3.7. Topraklama aletleri

Topraklama aletleri, ani aşırı gerilim ve yıldırım darbelerine karşı sistemi korur ve voltajı dengeleyerek ortak referans noktası oluşturmaktadır. Sistem topraklaması yapılarak ve çeşitli durumlarda iletkenlerde topraklama hatası oluşacağından bütün donanımlar da ayrıca topraklanmalıdır (Özyiğit, 2019).

2.3.8. Kablolar

Bir FV dizisinde bağlantı ekipmanlarından biri olan kablolar, sistemin bilhassa güvenli ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Kablolar, sistemin gücüne göre yüksek akım değerlerine dayanıklı olmalıdır ve kablo seçimi yapılırken mevsimsel şartlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Arıza riskini en aza indirmek için DC kablo bağlantıları kısa tutulmalıdır. FV panellerdeki bağlantı kablolarının -15°C ile $+80^{\circ}\text{C}$ arasında işlev görmeleri sağlanmalıdır (Özyiğit, 2019).

2.3.9. Çift yönlü elektrik sayacı

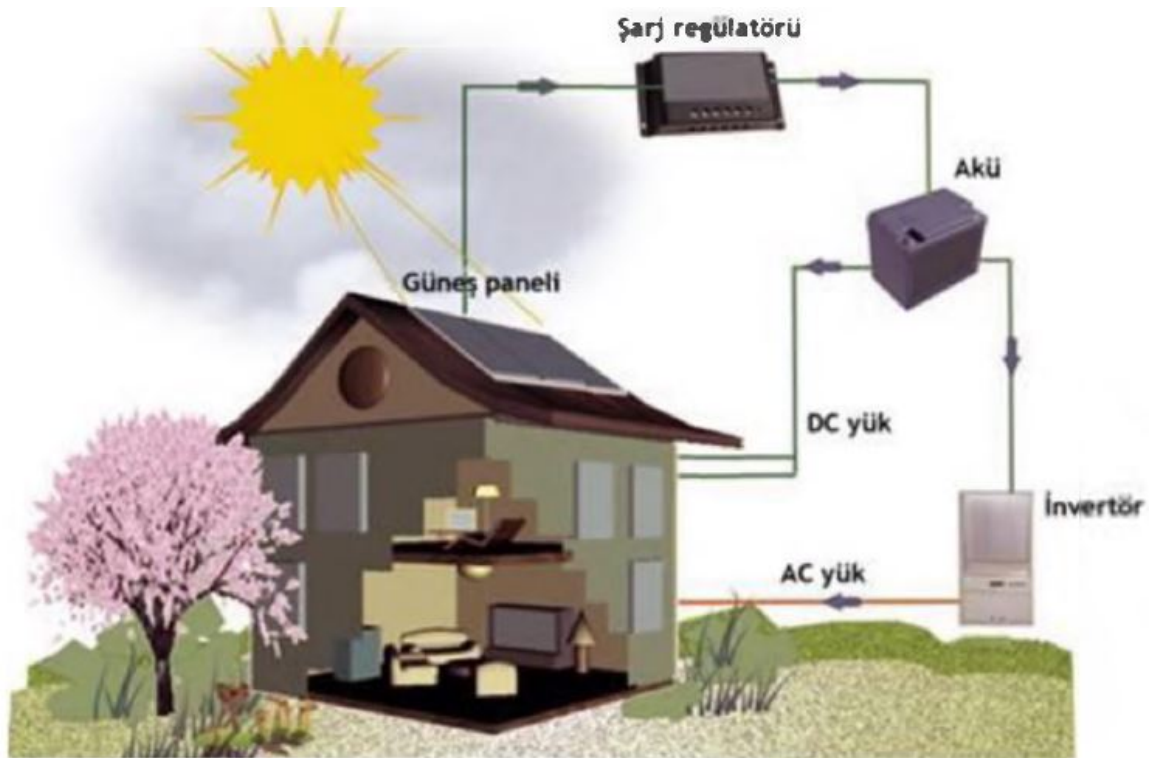
Şebekede kullanılan elektrik enerjisi ile şebekeye gönderilen enerjiyi ölçmek için kullanılmaktadır. Diğer sayaçlardan farkı çift yönde okuma yapabilmesidir. Şayet şebekede kullanılan daha fazla elektrik üretilirse dağıtım şirketinden alacaklı duruma geçilmektedir (Maltaş, 2017).

2.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler bağlantı şekillerine göre de şebeke bağlantılı (On Grid) ve şebeke bağlantısız (Off Grid) olmak üzere ikiye ayrılır.

2.4.1. Şebeke bağlantısız (Off Grid) sistemler

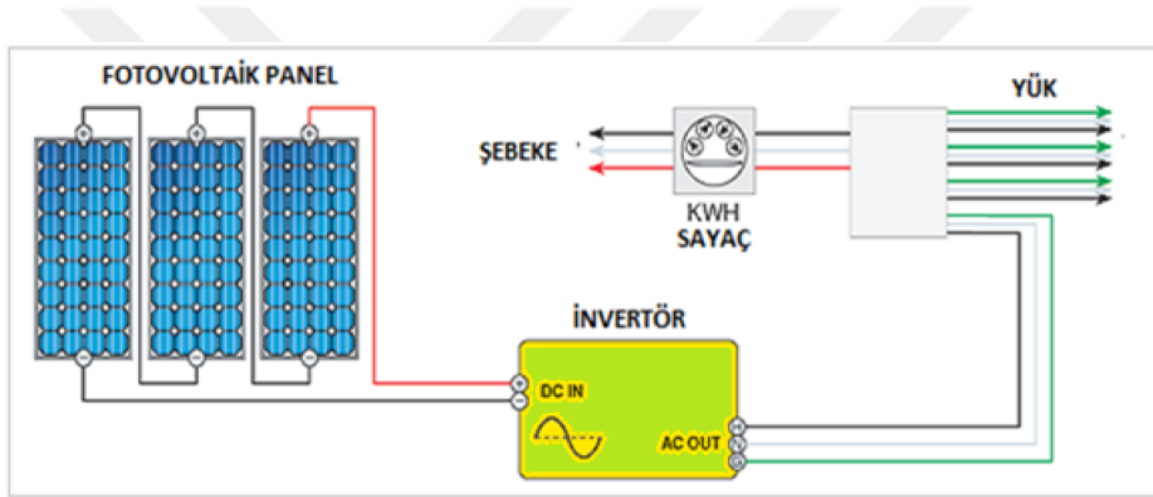
Şebeke bağlantısız sistemler, şebekeye ulaşmanın zor olduğu yerlerde enerji gereksinimini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu sistemler şebekeden bağımsız çalıştıkları için, gerekli miktarda FV modül kullanılarak enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeye erişirler. Bunun yanı sıra depolanan enerji şebeke yardımı olmadan kullanılabilir. Depolanan DC enerjinin kullanılabilir halde olması için AC enerjiye çevrilmesi ve şebeke bağlantısı ile uyumlu olması gereklidir. Şebekeden bağımsız sistemler genellikle ev aydınlatması, kara yolu, ışıklandırma, yaya geçidi ışığı, güneşe maruz kalan konutlarda kullanılmaktadır. Akü desteğiyle birlikte kullanılan sistem elektrik kesintisi olduğu zamanlarda uzak bölgelerde kullanılarak avantaj sağlamaktadırlar (İzmirli Ayan, 2018). Şebeke bağlantısız sistem Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Şebekeden bağımsız FV sistem (İzmirli Ayan, 2018)

2.4.2. Şebeke bağlantılı (On grid) sistemler

Şebeke bağlantılı sistemler, şebekenin olduğu yerlerde doğrudan şebekeye yapılan bağlantı ile üretilen enerji miktarını dağıtım hattına aktaran sistemlerdir. Şebekeye bağlı üretim yapan FV sistemlerde, herhangi bir depolama ünitesine gerek duyulmaz. Şebekeye bağlı sistemler, gereksinim duyulduğunda depolanan elektrik enerjisini evirici aracılığıyla alternatif akıma dönüştürerek, dönüştürülen bu enerjiyi şebekeye aktarabilir veya sistemde üretilen enerjinin yetersiz olduğu veya çevre koşullarının elverişsiz olduğu zamanlarda gerek görülürse şebeke aracılığıyla bu enerjiyi doğru akıma çevirerek depolayabilir. Şekil 2.5'te şebeke bağlantılı FV sistemin blok şeması görülmektedir (İşler, 2020).



Şekil 2.5. Şebeke bağlantılı FV sistem (İşler, 2020)

2.5. Güneş Enerjisi

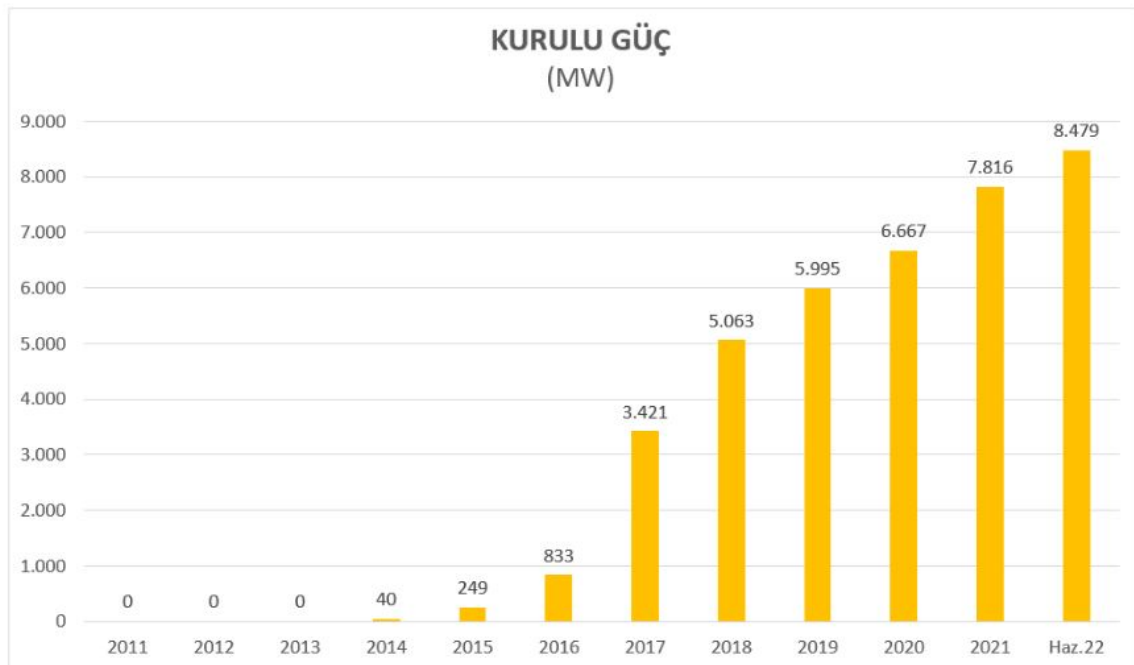
Güneş enerjisi, güneş çekirdeğindeki füzyon reaksiyonu süreciyle meydana gelen ışıma enerjisidir. Atmosfer dışında yer alan güneş enerjisi şiddeti ortalama 1370 W/m^2 'dir. Bu değer yeryüzüne ulaşınca atmosferden dolayı ortalama $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişir. 1970'li yıllardan sonra güneş enerjisinden faydalanma konusunda çalışmalar giderek artmış, güneş enerjisi alanında teknolojik olarak ilerlemeler kaydedilmiş ve maliyetin düşmesi ile birlikte çevresel anlamda temiz enerji kaynağı olarak kendini ispat etmiştir (Yolcan ve Köse, 2020).

Çevreye zararlı emisyon vermediğinden en kullanışlı kaynaklardan biri olan güneş enerjisinden, güneşin az olduğu ülkelerde bile yararlanılmaktadır. Güneş enerjisinden

fotovoltaik ve termal yöntemler başta olmak üzere çeşitli yöntemlerle elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Diğer bir kullanım alanı olarak meskenlerde kullanılan güneş panelleriyle sıcak su elde etme ve bu sıcak su ile meskenlerin ısıtılması sağlanmaktadır. Güneş enerjisi panelleri meskenler dışında arazilerde, araçlarda ve cihazlarda da kullanılabilir (Bekar, 2020).

2018 yılında güneş enerjisi en yüksek üretim değerlerini görerek, küresel anlamda en fazla ilgi gören yenilenebilir enerji türü olmuştur. 2018 yılı sonunda en az 32 ülke güneş enerjisi kapasitesini 1 GW ve üzerinde artırmıştır. Çin, güneş enerjisinde küresel kapasitenin ortalama %74'ünü oluştururken, bunu sırasıyla Türkiye, Brezilya ile ABD izlemektedir (Karabağ ve diğerleri, 2021).

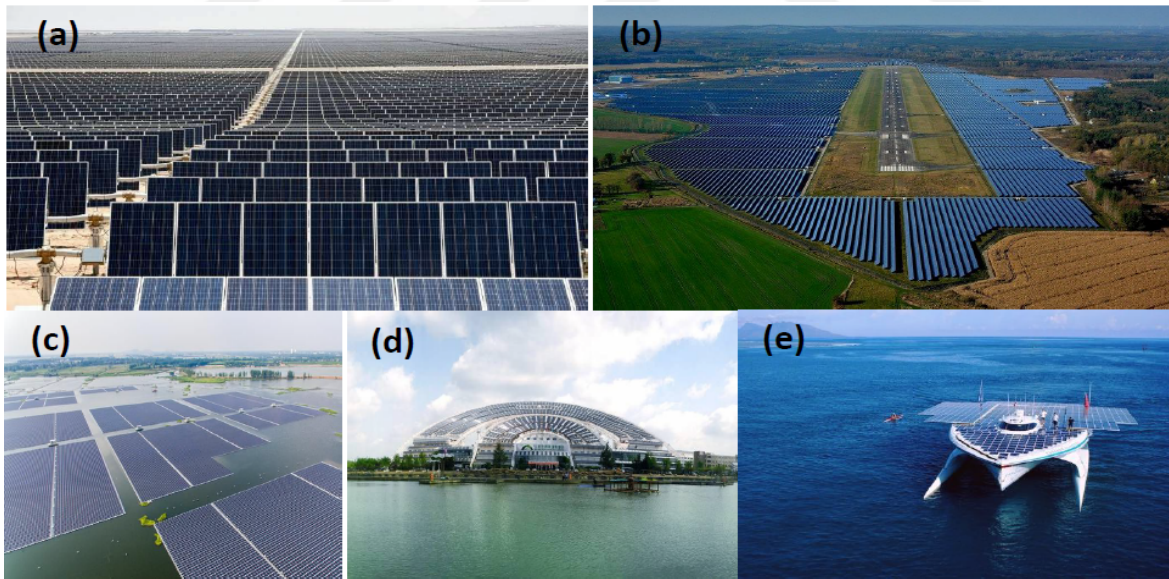
Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) 2022 Ekim kurulu güç raporuna göre, Türkiye’de 9203 güneş enerjisi santralinin bulunduğu ve toplam kurulu gücün 9120,4 MW olduğu bildirilmiştir. Şekil 2.6’da Türkiye’de güneş enerji santralleri kurulu gücünün yıllara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 2.6. Türkiye güneş enerji santralleri kurulu gücünün yıllara göre değişimi (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022)

2.5.1. Dünyada güneş enerjisi potansiyeli

Güneş enerjisinin yoğun, çöl arazilerinin fazla alan kapladığı Avustralya ve Fas gibi ülkelerde kurulu gücü 1000 MW'ın üzerinde güneş enerjisi santralleri bulunmaktadır. ABD, Mısır, Meksika, Tunus, Cezayir ve İspanya gibi ülkelerde de kurulu gücü yüksek güneş enerjisi santralleri vardır. Diğer yandan enerji üretimi için pek çok devlet her geçen zamanda yeni yeni fikirler üretmektedir. Dünyada; havaalanlarında, baraj ve göl yüzeylerinde, ulaşım araçlarında ve okyanus üzerlerinde güneş panelleri kurulmaktadır. Güney Kore'de otoyollar arasına yerleştirilmiş güneş panelleri, Hindistan'da ise hidroelektrik santrallerinin yüzeyine kurulu güneş panelleri ile FV kurulumlar sağlanmaktadır. Çin son zamanlarda açık deniz alanlarına büyük ölçekte FV kurulumlar yaparak enerji gereksinimine çözüm yolu bulmaktadır. Bu konuda yalnız sabit kurulumlar değil ilaveten kara, hava ve deniz taşıtları üzerinde de gerçek anlamda çalışma yapılmaya devam etmektedir (Pınar, Buldur ve Tuncer, 2020). Dünya'da çeşitli güneş enerji santrali kurulum yeri çalışmaları Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Dünya'da çeşitli güneş enerji santrali kurulum yeri çalışmaları a) çöl yüzeyi, b) havaalanı c) hidroelektrik santral yüzeyi, d) dış bina cephesi e) deniz taşıtı üstü (Pınar ve diğerleri, 2020)

Diğer yandan Tayland, dünyanın en büyük yüzen güneş enerjisi santralini kurmayı tasarlayarak Güneydoğu Asya'nın en büyük ikinci ekonomisini güçlendirmeyi

hedeflemektedir (Dünyaenerji, 2021). Yüzen güneş enerjisi santrali örneği Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

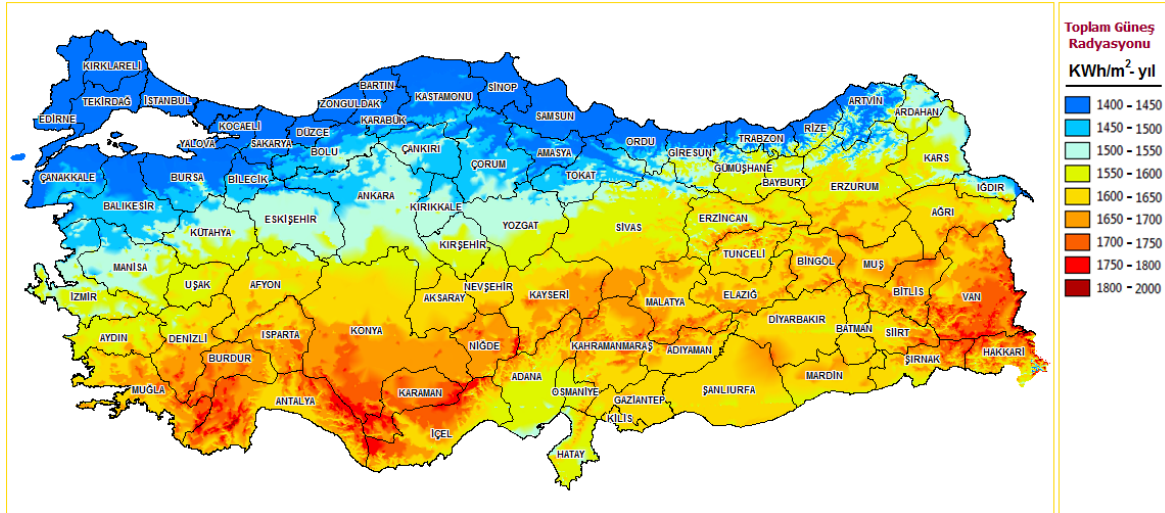


Şekil 2.8. Yüzen güneş enerjisi santrali örneği (Dünyaenerji, 2021)

2.5.2. Türkiye’de güneş enerji potansiyeli

Ülkemiz 36^0 - 42^0 kuzey enlemleriyle 26^0 - 45^0 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye, coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu ülkelerden biridir. Ülkemizde güneşlenme sürelerinin en fazla ve en az olduğu aylar Temmuz ve Aralık ayıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi en çok güneşlenme süresi olan bölgelerdir. Öte yandan Marmara ve Doğu Karadeniz Bölgeleri ise en az güneşlenme süresine sahip olan bölgelerdir (Erdoğan, 2020).

Şekil 2.9’da ülkemize ait güneş ışımasından en fazla yararlanabilen şehirler açık ve koyu kırmızı renklendirme ile yapılmıştır. Bu renkler ile belirtilen şehirlerde güneş enerjisi global radyasyon değerleri 1600 - 1800 kWh/m²-yıl arasında değişim göstermektedir (Kaynar, 2020).

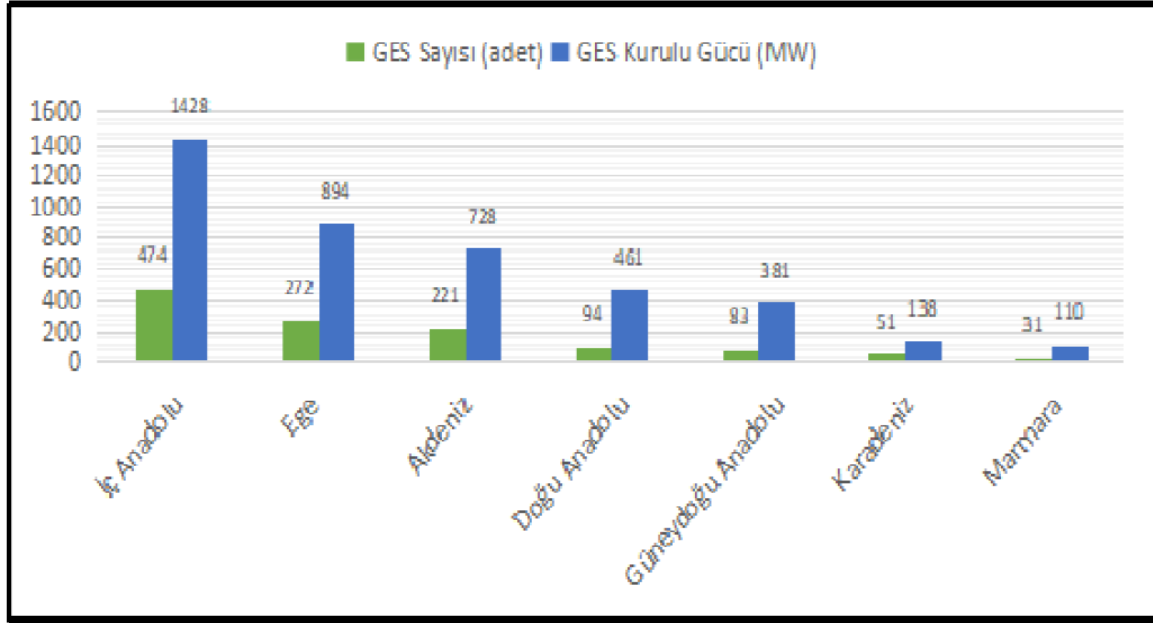


Şekil 2.9. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022)

Türkiye’de ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7,2 saat iken ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2460 saattir. Karadeniz Bölgesinde güneş enerjisi üretimi çok az olduğu için hariç tutularak, ülkemizin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli yıllık 110 gündür. Ülkemizde yılda birim metre karesinden 110 kWh’lik güneş enerjisi üretilme olanağı bulunmaktadır. Güneşten dünyaya saniyede ortalama 170 milyon MW enerji yansımaktadır. Ülkemizde yıllık 100 milyon MW enerji üretiminin olduğu düşünülürse saniyede dünyaya ulaşan güneş enerjisi miktarı ülkemizin enerji üretiminin 1,7 katı civarındadır (Çetin, Turan ve Bayraktar, 2019).

Ülkemizde en çok güneş enerji santrali (GES) ile kurulu gücü bulunan bölgelerimiz İç Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleridir. Belirtilen bölgelerin, yıllık güneşlenme süreleri ve elverişli arazi koşulları öteki bölgelere nazaran daha üstün konumda olduklarından dolayı çok daha tercih edilmektedir. Diğer yandan Güney Doğu Anadolu Bölgesi avantajlı konumda olmasına rağmen potansiyel düzeyinin çok gerisinde kalmıştır. Bu durum, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin yatırımcılarca nispeten daha az tercih edildiği sonucunu çıkarmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi’nde dağlık ve engebeli arazi koşulları ve Karadeniz Bölgesi’nin diğer bölgelere göre yıllık güneşlenme sürelerinin daha az olması, o bölgelerdeki güneş enerjisi santrallerinin daha az kurulmasına yol açmıştır. Marmara Bölgesi’nin değişik ekonomik sektörlerce yoğun bir şekilde kullanımı büyük ölçekli tesislerin daha az kurulmasına neden olmuştur (Pınar ve diğerleri, 2020).

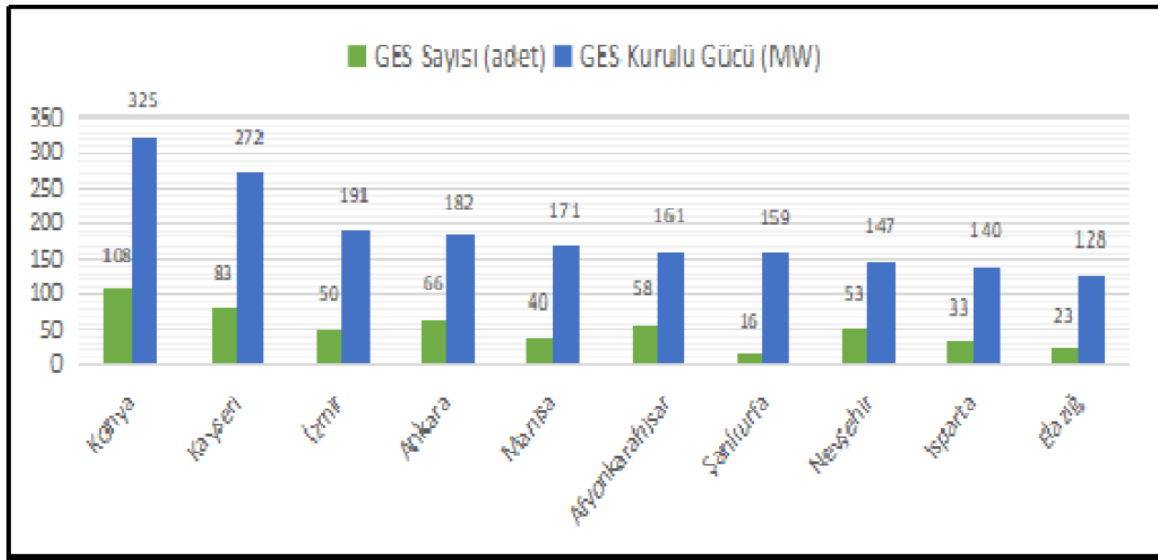
Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin coğrafi bölgelere göre dağılışı grafiği Şekil 2.10’da verilmiştir.



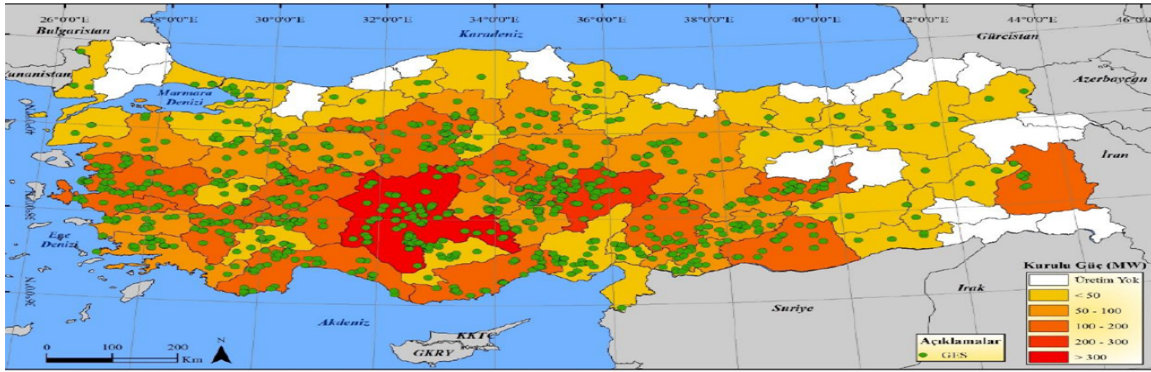
Şekil 2.10. Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin coğrafi bölgelere göre dağılışı grafiği (Pınar ve diğerleri, 2020)

Ülkemize ait 81 ilin 64’ünde değişik sayı ile büyüklükte güneş enerjisi santralleri mevcuttur. Yıllık güneşlenme süresi, bulutluluk süresi, güneş radyasyon değeri ile arazinin engebelik durumu açısından avantajlı olan illerde GES kurulumu daha çoktur. Ülkemizde en çok GES kurulu gücüne sahip illerimiz sırayla; Konya, Kayseri, İzmir, Ankara ile Manisa illeridir. Özellikle Kayseri ile Konya gibi illerimizin arazi kullanımının oldukça avantajlı olması ve yüksek güneş enerjisi almaları bu illerdeki kurulum miktarını artırmıştır (Pınar ve diğerleri, 2020).

Şekil 2.11’de Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin illere göre dağılışı grafiği, Şekil 2.12’de ise ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin il bazında dağılışı haritasına yer verilmiştir.



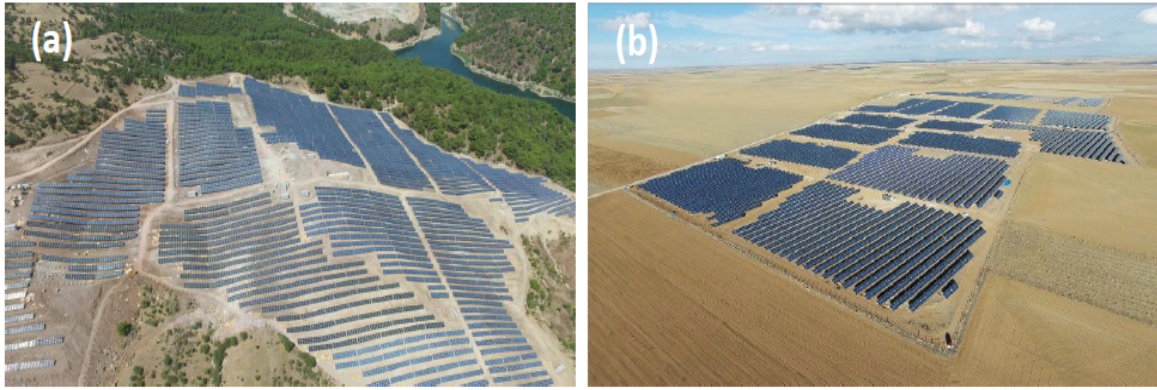
Şekil 2.11. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin illere göre dağılışı grafiği (Pınar ve diğerleri, 2020)



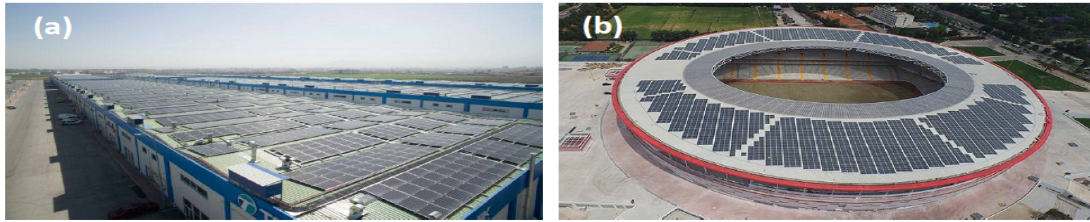
Şekil 2.12. Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin il bazında dağılışı haritası (Pınar ve diğerleri, 2020)

Ülkemizde kentsel alanlardaki kurulu güneş enerjisi santralleri sayıca kırsal alandakilere nispeten çok daha fazladır. Fakat kentsel bölgelerde genellikle bahçe ya da çatı gibi yerlere kurulduklarından kurulu güç küçük değerlere sahip iken sanayi alanlarına kurulanlar daha büyük güç değerlerine sahiptir. Elverişli arazi şartlarının olması durumunda kırsal alanlarda daha büyük kurulu güce sahip güneş enerjisi santrallerinin kurulumuna imkân sağlamıştır (Pınar ve diğerleri, 2020).

Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin kırsal alanlardaki ve kentsel alanlardaki kurulum yeri örnekleri aşağıda Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



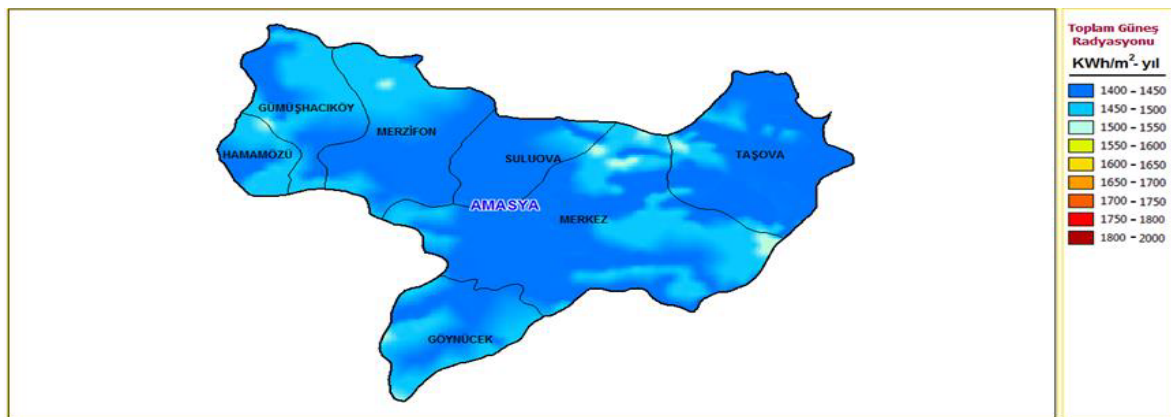
Şekil 2.13. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin kırsal alanlardaki kurulum yeri örnekleri (Pınar ve diğerleri, 2020)



Şekil 2.14. Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin kentsel alanlardaki kurulum yeri örnekleri (Pınar ve diğerleri, 2020)

2.5.3. Amasya ili güneş enerji potansiyeli

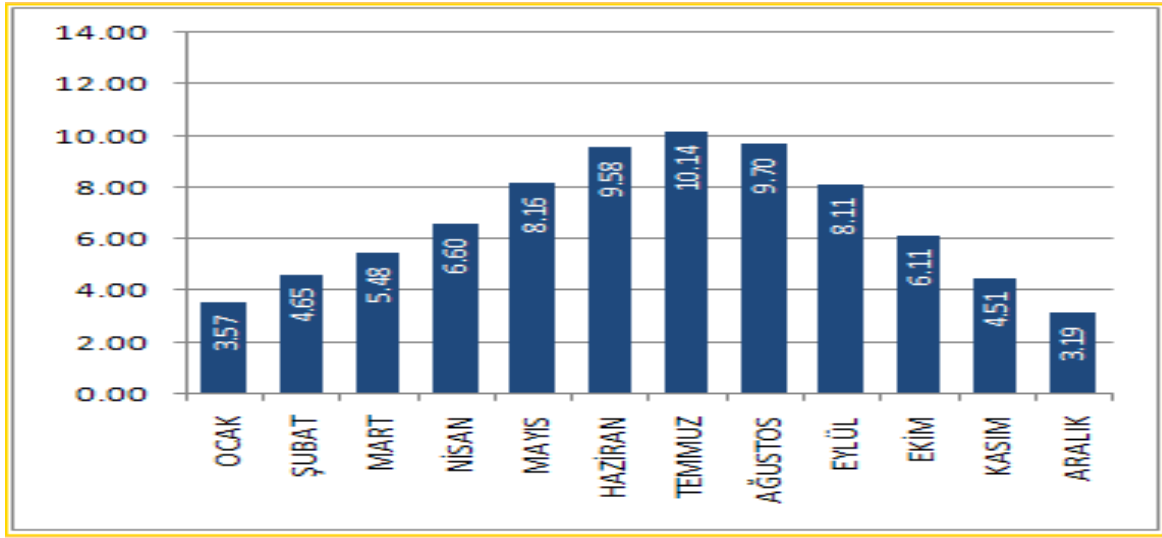
Amasya, 35° 00’ ve 36° 30’ doğu boylamları ile 40° 15’ ve 41° 03’ kuzey enlemlerinde Orta Karadeniz Bölgesinde bulunan 5520 km² yüz ölçümüne sahip bir ilimizdir. Amasya ili güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.15’te verilmiştir.



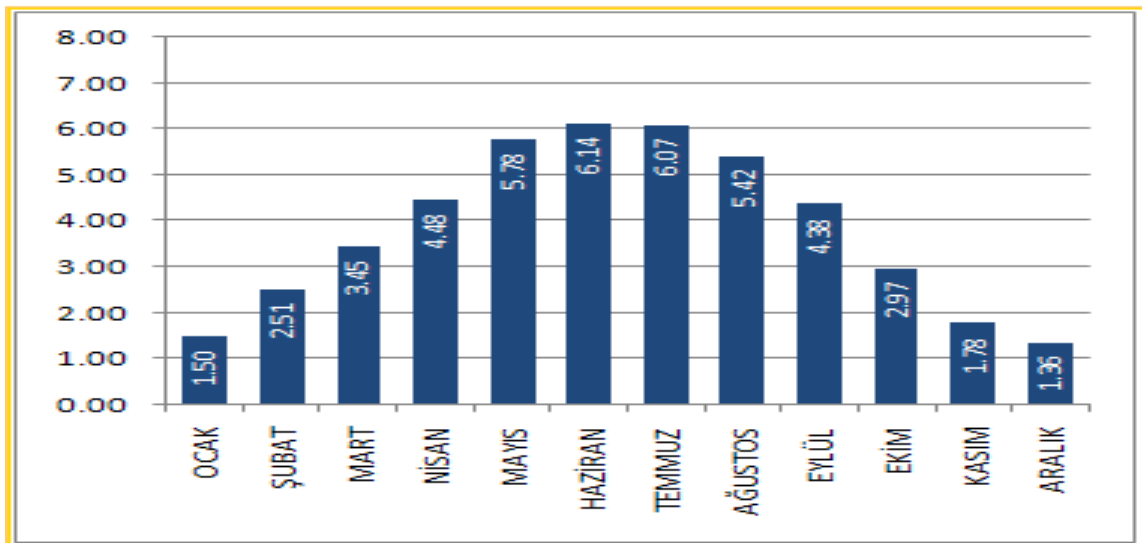
Şekil 2.15. Amasya ili güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA), 2022)

Şekil 2.15 incelendiğinde Amasya ilçelerinin güneş ışıma ortalamasının $1400\text{--}1550 \text{ kWh/m}^2$ – yıl değerleri arasında olduğu görülmektedir (Kaynar, 2020).

Şekil 2.16’da ise, Amasya ili ortalama güneşlenme süresinin en yüksek değerine Temmuz ayında 10.14 (saat) ile güneşlenme süresi en düşük değerine Aralık ayında 3.19 (saat) ile ulaştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.16. Amasya güneşlenme süreleri (saat) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi) (GEPA, 2022)



Şekil 2.17. Amasya global radyasyon değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu) (GEPA, 2022)

Şekil 2.17’de grafikte maksimum ışıınım şiddetine $6.14 \text{ k Wh/m}^2\text{-gün}$ ile Haziran ayında, minimum ışıınım şiddetine ise $1.36 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Aralık ayında vardığı anlaşılmaktadır (Kaynar, 2020).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan veri kümesi ve özellikleri ile uygulamada kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemleri incelenmiştir ayrıca modellerin performans kriterlerine yer verilmiştir.

3.1. Veri Kümesi ve Özellikler

Bu çalışmada, Amasya Üniversitesi İpekköy Yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santralinin üretim verileri kullanılmıştır. Sistemde rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiğ noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilmiştir. Bu değişkenler 5 dakikalık periyotlarda ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Tezde gerçekleştirilen analizlerde 15 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ve bu anlarda 10 evirici çıkışındaki enerjileri kullanılmıştır. İklim parametreleri için yapılan ölçümlere ait örnekler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ölçüm istasyonu kayıt sistemi örnek değerleri

Tarih Saat	Rüzgar Yönü [°]	Rüzgar Hızı [m/s]	Rüzgar Hamlesi [m/s]	Güneş Radyasyonu [W/m ²]	Panel Sıcaklığı [°C]	Hava Basıncı [mBar]	Hava Sıcaklığı [°C]	Hava Nemi [%]	Çiy Noktası [°C]	Batarya Gerilimi [V]
1/1/16 11:00:00	190	0,8	2,3	493	8,79	971,5	-1,58	62,3	-7,85	4,57
1/1/16 11:05:00	211	1,5	3,5	353	8,94	972,2	-2,74	65,1	-8,38	4,57
1/1/16 11:10:00	223	1,5	3,3	283	8,07	972,5	-2,68	65,1	-8,33	4,56
1/1/16 11:15:00	225	0,8	2,8	336	8,47	972,2	-2,04	64,6	-7,82	4,57
1/1/16 11:20:00	208	0,3	1,8	251	7,82	972,5	-1,53	63	-7,65	4,57
1/1/16 11:25:00	181	0,5	2,8	279	5,51	972,1	-1,67	62,8	-7,83	4,57
1/1/16 11:30:00	159	0,5	2	311	4,82	972,1	-1,64	62,1	-7,94	4,57
1/1/16 11:35:00	180	0,8	2,5	463	6,53	971,5	-1,24	61,5	-7,69	4,57
1/1/16 11:40:00	192	1,3	3,3	438	6,86	971,3	-1,24	60,4	-7,92	4,57
1/1/16 11:45:00	216	1	2,8	447	8	971,2	-0,96	58,7	-8,02	4,56

Santralde toplam 10 evirici bulunmaktadır. Evirici çıkış enerjileri de HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilmiştir. 10 eviriciye ait kaydedilmiş olan çıkış enerjileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Evirici çıkış enerjileri için örnek değerler

Tarih Saat	Evirici1 kWhAC	Evirici2 kWhAC	Evirici3 kWhAC	Evirici4 kWhAC	Evirici5 kWhAC	Evirici6 kWhAC	Evirici7 kWhAC	Evirici8 kWhAC	Evirici9 kWhAC	Evirici10 kWhAC
10/01/2016 07:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/2016 07:30:00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
10/01/2016 07:45:00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10/01/2016 08:00:00	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
10/01/2016 08:15:00	0,7	0,7	0,5	0,7	1,1	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5
10/01/2016 08:30:00	0,9	0,9	0,6	0,8	1,3	0,9	0,9	0,8	0,8	0,5
10/01/2016 08:45:00	1,7	1,7	0,9	1,2	2	1,1	1,1	1,1	1,3	0,9
10/01/2016 09:00:00	1,9	1,9	0,9	1,1	1,7	1,1	1,1	1	1,5	1
10/01/2016 09:15:00	2,1	2,1	0,9	0,9	2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,1
10/01/2016 09:30:00	2,4	2,4	1,2	1,6	2,1	1,3	1,3	1,3	1,8	1,2

Tez çalışmasında güneş enerjisi üretim verilerinin tahmini için kullanılan özellikler Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Santral üretim tahmini için kullanılan özellikler

Özellikler
1. özellik
2. özellik
3. özellik
4. özellik
5. özellik
6. özellik
7. özellik
8. özellik
9. özellik
10. özellik
11. özellik
12. özellik

3.2. Yapay Zeka

Yapay zeka, insanların zihinsel eylem ve davranışlarını canlı bir varlığın yardımı olmadan ortaya koyabilen makineleri yaratma ve geliştirme teknolojisidir. Günümüzde yapay zekâ

uygulamaları her yerde hayatımıza girmiş durumdadır. Bankada, arabada, hastanede, evde, internette, mobil cihazlarda ve daha birçok alanlarda günlük hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Günlük hayatta herkesin yaptığı Google araması buna verilebilecek en basit örnektir. Google arama motorları yapay zekâ teknolojilerine dayanarak çalışmaktadır. Buna ilaveten sağlık, finans ve ulaşım sistemleri de yapay zekâ teknolojilerini kullanmaktadır.

Günümüzde 60'tan fazla yapay zeka tekniklerinden bahsedilmektedir. Bu tekniklerden önde gelenleri şunlardır (Paksın, 2020).

- Yapay Sinir Ağları
- Genetik Algoritmalar
- Makine Öğrenmesi
- Konuşma Tanıma
- Bulanık Mantık
- Robotik
- Uzman Sistemler

3.2.1. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin yapısı esas alınarak geliştirilmiş bir sistemdir. YSA'lar, çok sayıda işlem birimini kendi kendine uyum sağlama, kendi kendini organize etme ve gerçek zamanlı öğrenme gibi bir dizi özellik ile birleştiren uyarlanabilir doğrusal olmayan bilgi işleme sistemleridir. YSA'ların avantajları esas olarak ağ mimarisi ve algoritmalar tarafından temsil edilmesidir. Bir YSA, nöronlar olarak da adlandırılan bir dizi işlem biriminden oluşur ve bunlar birbirine bağlıdır. Yönlendirilmiş bir grafik olarak tanımlanabilir ve her nöron bir transfer fonksiyonudur. Bir nöron genellikle çok girişli ve tek çıkışlı doğrusal olmayan bir elemandır. Bir sinir ağının mimarisi, ağın tüm bağlantıları ve nöronların transfer fonksiyonları tarafından belirlenir (Ding, Li, Su, Yu ve Jin, 2013; Özcan ve diğerleri, 2013).

Günümüzde YSA'lar, mükemmel kendi kendine öğrenme, uyarlanabilirlik, hata toleransı, doğrusal olmama ve bir çıktı eşlemesine girişte ilerleme gibi mükemmel özelliklerinden

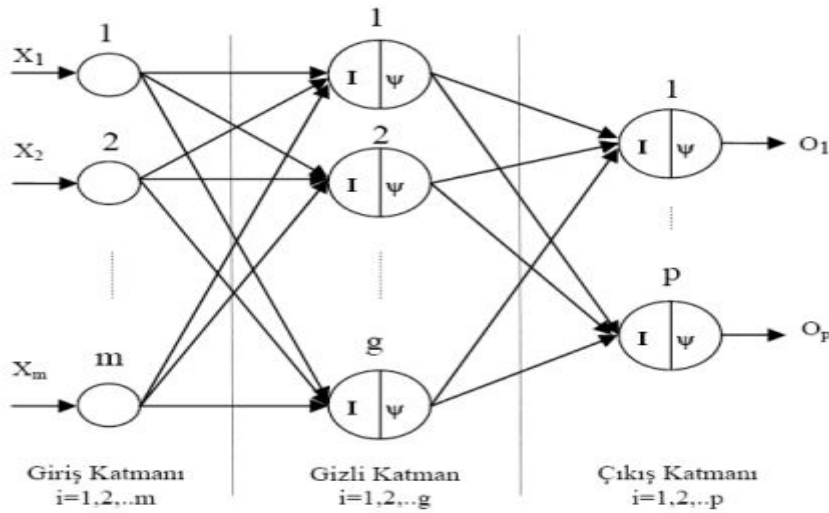
dolayı sayısal paradigmalarda çoğunlukla evrensel fonksiyon yaklaşımı için kullanılmaktadır (Abiodun, Jantan, Omolara, Dada, Mohamed ve Arshad, 2018).

YSA'larda öğrenme süreci genellikle örneklerle (özellikler) gerçekleştirilir; buna 'eğitim' denir çünkü öğrenme süreci, bağlantı ağırlıklarının yinelemeli olarak ayarlanmasıyla sağlanır. Optimizasyon algoritmaları, geri yayılım algoritması gibi gradyan inişine dayalıdır, bağlantı ağırlıklarını yinelemeli olarak ayarlamak ve böylece hatayı en aza indirmek için kullanılabilirler. Bir öğrenme algoritmasının özü, ağırlık güncelleme kuralını belirleyen öğrenme kuralıdır. Birkaç popüler öğrenme kuralı, delta kuralı, Hebbian kuralı ve rekabetçi öğrenme kuralıdır. YSA'da en çok kullanılan öğrenme yöntemi olan danışmanlı öğrenmede, YSA'ya hem girişler hem de bu girişlere karşılık gelen hedef çıkışlar uygulanmaktadır. Ağ kendisine verilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretir (Ding ve diğerleri, 2013).

Yapay sinir ağları, girdi ile çıktılar arasındaki ilişkiyi kurabilmek için genelde birden fazla katman halinde sıralanmışlardır. YSA'nın en yaygın kullanılan biçimi çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağıdır (Oral,2011).

Çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA), bir özellik (giriş) kümesi ile buna karşılık hedef (çıkış) değerleri arasında doğrusal olmayan bir eşlemeyi temsil eden bir modeldir. Çok katmanlı yapay sinir ağı, denetimli öğrenme metodunu kullanmaktadır. Girişler ve bu girişlerin karşılığındaki hedef çıkışlar ağa verilmektedir. ÇKYSA, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi basit birbirine bağlı nöronlar veya düğümler sisteminden oluşur. Düğümler, basit bir doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu tarafından değiştirilen, düğüme girişlerin toplamının bir fonksiyonu olan ağırlıklar ve çıkış sinyalleri ile bağlanır. Giriş katmanında veri kümesindeki özellik sayısı kadar nöron bulunur. Giriş katmanı uygulanan veri kümesini değişikliğe uğratmadan gizli katmana iletir. ÇKYSA, bir veya daha fazla gizli katman ve son olarak bir çıkış katmanı içermektedir. ÇKYSA, eğitim yoluyla öğrenme yeteneğine sahiptir. Eğitim, bir dizi girdi ve ilgili çıktı vektörlerinden oluşan bir dizi eğitim verisi gerektirir. Eğitim sırasında, ÇKYSA eğitim verileri ağa tekrar tekrar sunulur ve ağdaki ağırlıklar, verilen girişe karşılık istenen çıktı elde edilene kadar eşlemesi oluşana kadar değiştirilir. Eğitim sırasında, belirli bir giriş vektörü için ağın çıkışında hesaplanan çıktı, istenen çıktıya eşit olmayabilir. Hesaplanan ve gerçek çıktı arasındaki fark alınarak hata hesaplanır. ÇKYSA'yı eğitmek için kullanılabilecek birçok algoritma vardır. Hatayı minimum yapmak

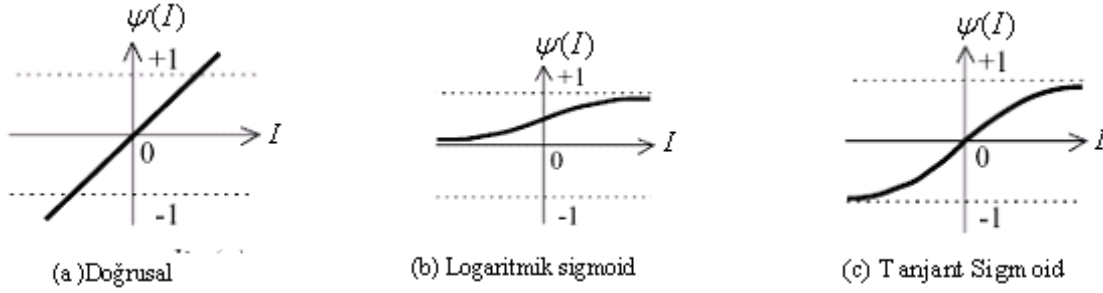
için gradyan iniş olarak bilinen geriye yayılım eğitim algoritması kullanılır. Eğitimin amacı, en küçük hatayla sonuçlanan ağırlıkların kombinasyonunu bulmaktır. Ağ, hatayı azaltmak için ağıdaki ağırlıkları değiştirerek, çıkıştaki hatayı geriye iletir. Böylece hata ağda geriye doğru yayılarak toplam hata en aza indirilir. Bu öğrenme algoritması hatayı minimize etmeyi amaçlar. Hatayı azaltmak için ağıdaki ağırlıkları değiştirerek, çıkıştaki hatayı geriye iletir. Böylece hata ağda geriye doğru yayılarak toplam hata en aza indirilir (Gardner and Dorling, 1998; Oral, 2011).



Şekil 3.1. ÇKYSA ağ mimarisi (Oral, 2011)

Gizli katman, girdi katmandan aldığı veriyi ağırlıklarıyla çarparak probleme uyumlu bir fonksiyonla işleyerek sonraki katmana iletir. Toplama fonksiyonu, yapay sinir hücresine gelen net girdi değerini hesaplar. Bununla ilgili çeşitli fonksiyonlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada yapay sinir hücresine gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılıp toplanır. Bu şekilde ağa gelen net girdi değeri hesaplanmış olur. Yapay sinir hücresinin diğer önemli ögesi de aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonu üzerinden gelen verileri çıktıya dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonunda da çıktıyı hesaplamak için değişik metotlar vardır. Problemin çeşidine ve kullanılan ağ yapısına göre çeşitli fonksiyonlar tercih edilebilir. Çoğunlukla aktivasyon fonksiyonu olarak; basamak, doğrudan, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmaktadır. YSA'nın en uç katmanı ise çıkış katmanı olarak adlandırılır. Gizli katmandan alınan bilgiyi ağın kullanmış olduğu fonksiyonla işleyerek çıktısını verir. Çıkış tabakasında yer alan nöron sayısı, ağa gönderilen verilerin çıkış sayısı kadardır (Var ve Türkay, 2014).

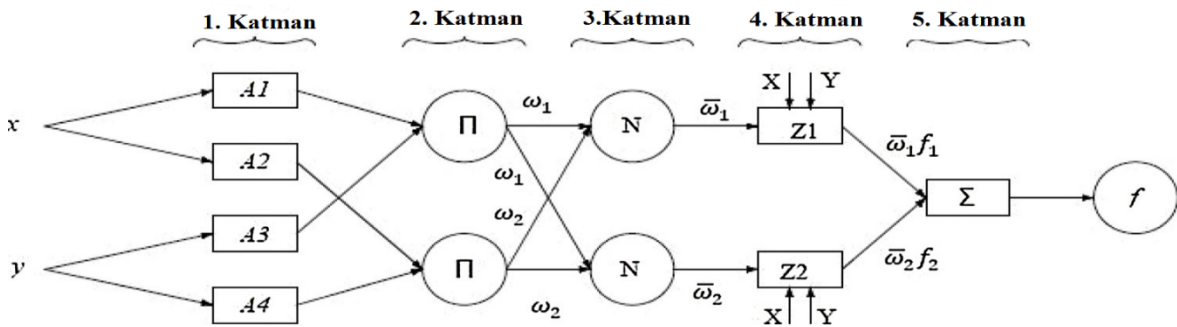
ÇKYSA’da sıklıkla kullanılan aktivasyon fonksiyonları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Aktivasyon fonksiyonları (Oral, 2011)

3.2.2. Uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi

ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System); YSA ile bulanık mantığın bir arada kullanıldığı sistemdir. ANFIS, ile ileri beslemeli bir sinir ağının düğümlerinin bulanık parametreleri işlediği hibrit bir sistemdir. ANFIS modeli, bulanıklaştırma adı verilen bir süreçte girdi üyelik fonksiyonlarını kullanarak girdi özelliklerini üyelik değerlerine dönüştürdüğü birinci dereceden Sugeno çıkarım sistemlerine eşdeğerdir. Ardından, model çıktısını anlamak için bir dizi mantıksal kurallar kullanılır. Daha sonra, çıkarım çıktısını gerçek değerler çıktısına durulaştırmak için çıktı üyelik fonksiyonları kümesi kullanılır. Bu algoritma, girdi verilerini ayırmak için girdi üyelik fonksiyonlarını ve bulanık parametreleri ayarlamak için sinir ağlarının geri yayılım özelliğine benzer hata optimizasyon algoritmaları kullanır. ANFIS’in eğitimi yapısındaki parametreleri bir optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenmesi anlamına gelir. Genel ANFIS mimarisi Şekil 3.3’de gösterildiği gibi 5 katmandan oluşur. Her katman, bir matematiksel işlem gerçekleştirir (Zaghloul, Hamza, Iorhemen ve Tay, 2020; Karaboga ve Kaya, 2019; Gökçe ve Sonugür, 2016).



Şekil 3.3. ANFIS modeli (Karaboga ve Kaya; Zaghloul ve diğerleri, 2020)

1. Katman: Bulanıklaştırma katmanıdır. Girdi değerlerinden bulanık kümeler elde etmek için üyelik fonksiyonlarını kullanır. Üyelik değerleri hesaplanır.
2. Katman: Kural katmanıdır. Kurallar için ateşleme güçleri (w_i), bulanıklaştırma katmanında hesaplanan üyelik değerlerini kullanarak oluşturulur.
3. Katman: Normalizasyon katmanıdır. Her bir kurala ait normalize ateşleme kuvvetleri hesaplanır.
4. Katman: Durulaştırma katmanıdır. Kuralların ağırlık değerleri bu katmanın her bir düğümünde hesaplanır. Bu değer birinci dereeden çok terimli kullanarak belirlenir.
5. Katman: Toplama katmanıdır. ANFIS'in gerçek çıktısı durulaştırma katmanındaki her bir kural için elde edilen çıktıların toplanmasıyla elde edilir (Zaghloul ve diğerleri 2020; Karaboga ve Kaya, 2019; Gökçe ve Sonugür, 2016).

ANFIS süreci aşağıda gösterildiği gibi özetlenmiştir.

$$\text{Kural kümesi: EĞER, } x \text{ } A_i \text{ VE } y \text{ } B_i \text{ İSE } f_i = p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i \quad (1)$$

1. Katman: Bir üyelik fonksiyonu ($\mu(x)$) seçilip sözel değişken değerlerinin üyelik dereceleri belirlenir ($\mu A_i(x)$).
2. Katman: $w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y)$
3. Katman: $\overline{w_i} = \frac{w_i}{\sum w_i}$
4. Katman: $\overline{w_i} \cdot f_i$ katman çıktısıdır.
5. Katman: $x_0 = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i}$ şeklindedir (Doğan, 2016).

ANFIS, üyelik fonksiyonu parametrelerini ve sonuç parametrelerini tahmin etmek için optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç duyar. Geri yayılım, çıktı katmanındaki hatayı hesaplar ve bunu parametre ayarlaması için girdi katmanına geriye doğru yayar. Bu algoritma yerel minimumda sıkışabilir ve yavaş bir performansa sahiptir. Hibrit optimizasyon, gradyan iniş ve en küçük kareler optimizasyon yöntemlerini birleştirerek daha hızlı performansa sahip ve yerel minimum tuzağından kaçınan alternatif bir optimizasyon algoritmasıdır (Zaghloul ve diğerleri 2020; Karaboga ve Kaya, 2019; Gökçe ve Sonugür, 2016).

3.3. Performans Kriterleri

YSA ve ANFIS uygulamalarında önemli kıstaslardan biri de performans kriterleridir. Ağın performans değeri, ağın başarısı ile modellemenin öğrenme becerisini gösteren özelliklerin başında gelir. Bu çalışmada oluşturulan ANFIS ve YSA modellemelerinde performans yorumlanması 3 farklı istatistiksel ölçüt baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu istatistiksel ölçütler; belirleme katsayısı (R^2), ortalama kare hata (Mean Squared Error-MSE) ve kök ortalama kare hata (Root Mean Square Error – RMSE) olarak belirlenmiştir. Bu metriklerle ilişkin matematiksel ifadeler aşağıda denklemlerde gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (2)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{x}_i)^2}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Eşitliklerde belirtilen y_i tahmin edilen değeri, x_i gerçek değeri, $\bar{x}_i$ gerçek değer ortalamasını ifade ederken, n ise veri sayısını göstermektedir.

Belirleme katsayısı (R^2), ölçülen gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin birbirlerine hangi derecede bağlı oldukları, aralarında doğrusal bir ilişkinin bulunup bulunmadığını tespit etmede kullanılan test yöntemidir. Belirleme katsayısının aldığı değerler 0-1 arasında değişmekle birlikte, 1 değerine yakın değerler alması gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki bağımlılığın güçlü olduğu anlamına gelmektedir.

RMSE değeri, ağın tahmin ettiği değerlerin ölçüm değerlerinden ne oranda saptığının ölçüsüdür. Her zaman pozitifdir, ideal değeri sıfırdır ve sıfır değerine yakınsa modelin performansı o kadar iyidir. Öte yandan, ortalama hataların karesi (MSE) değeri ne kadar sıfıra yakın bir değer olursa oluşturulan modelin o denli başarılı sayılması beklenir.

4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde güneş enerji santrali çıkış enerjisi tahmini için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tez çalışmasında, Amasya Üniversitesi İpekköy Yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santralinin 4 Ocak 2016 ve 20 Eylül 2016 tarihlerinde ölçülen üretim verileri kullanılmıştır. HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilmiş olan rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiğ noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri ve 10 evirici çıkış enerjileri kullanılmıştır. Bu değişkenler 5 dakikalık periyotlarda ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Tezde gerçekleştirilen analizlerde 15 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ve bu anlarda 10 evirici çıkışındaki enerji değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Özellik veri kümesinde 12 özellik ve 24356 örnek bulunmaktadır. Ay, gün, saat, rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiğ noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri özellik kümesini oluşturmaktadır. Çıkış tahmini için öncelikle 10 eviriciye ait çıkış enerjileri kullanılmıştır. Daha sonra işlem karmaşıklığını azaltmak ve tahmin algoritmasının başarımı iyileştirmek için 10 eviricin çıkış enerjilerinin ortalaması hesaplanmıştır. Çıkış kümesi evirici enerjilerinin ortalamasını içermektedir.

ÇKYSA ve ANFIS yöntemleriyle analiz gerçekleştirilerek çıkış enerjisi tahmini yapılmıştır. Başarım sonuçlarının değerlendirilmesi için korelasyon katsayısı karesi (R^2), ortalama kare hata (MSE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. MATLAB programı kullanılarak bütün analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1. ÇKYSA Uygulaması

Uygulamanın bu kısmında çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Farklı öğrenme algoritmaları seçilerek ve gizli katmandaki nöron sayısı değiştirilerek farklı modeller denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. ÇKYSA modeli, 12 girdi değişkeni (ay, gün, saat, rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiğ noktası, basınç ve batarya gerilimi) ve bir çıktı

değişkenine (evirici ortalama enerjisi) göre tasarlanmıştır. Veri kümesinin (24356 örnek); %70'i (17050 örnek) eğitim, %15'i (3653 örnek) doğrulama ve %15'i (3653 örnek) test için kullanılmıştır. Model bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmandan oluşmaktadır.

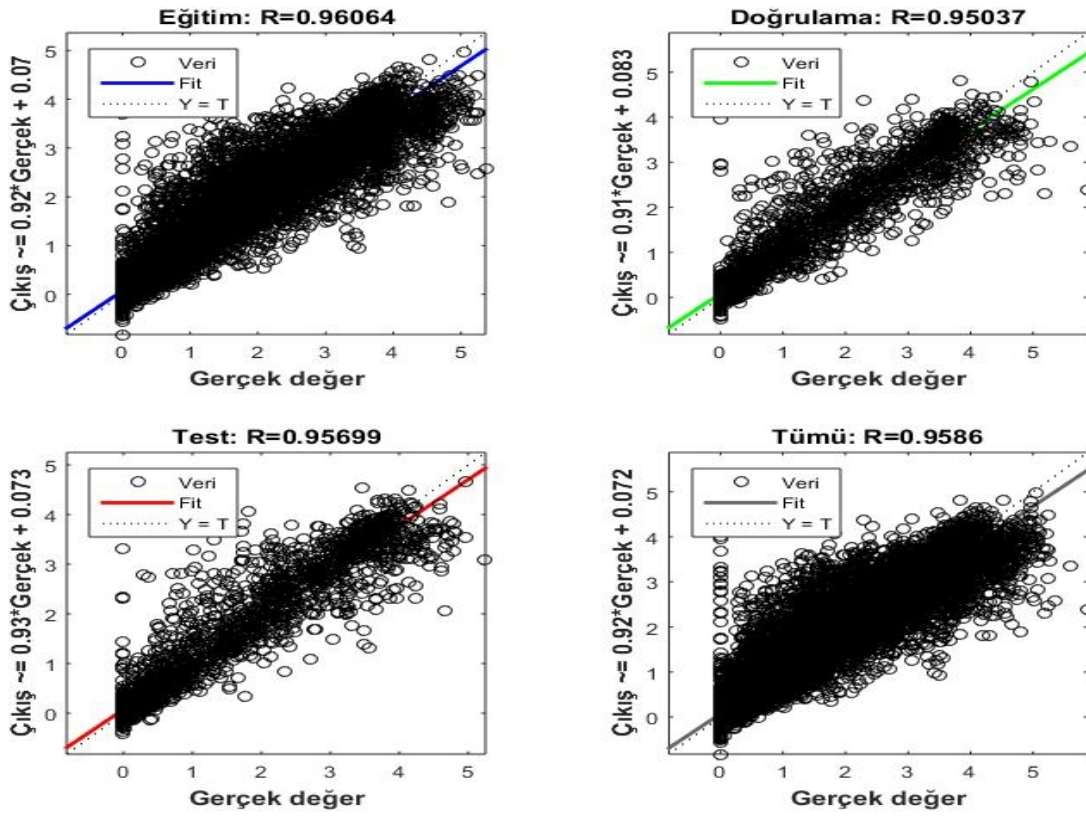
Gizli katman nöron sayısı 50 seçildiğinde elde edilen başarımlar sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. ÇKYSA başarımlar sonuçları

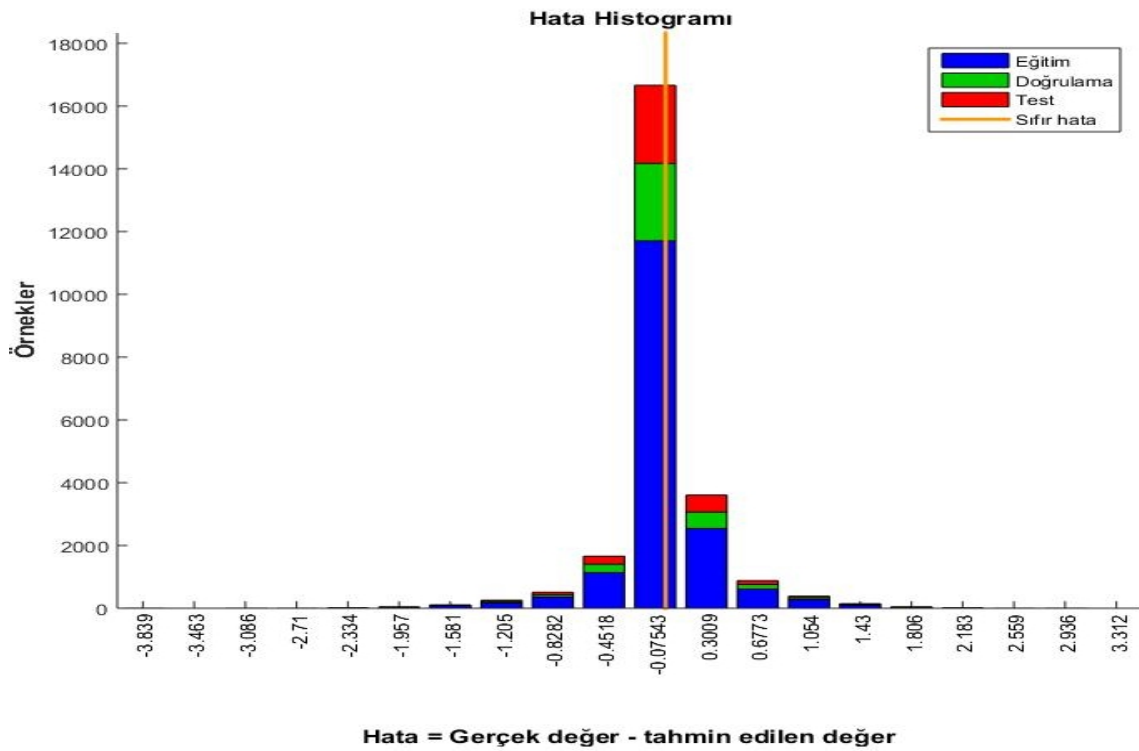
	Örnek	MSE	RMSE	R ²
Eğitim	17050	0,1342	0,3663	0,9606
Doğrulama	3653	0,1634	0,4042	0,9503
Test	3653	0,1434	0,3786	0,9569

YSA'larda nöronların ağırlıkları eğitim iterasyonları süresince belirli öğrenme kurallarına göre güncellenmektedir. Değişik öğrenme algoritmaları verilerin kendilerine has yapıları nedeniyle farklı tahmin başarımları ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada literatürde hayli sık rastlanan Levenberg-Marquardt (trainlm) ile Scaled Conjugate Gradient-Ölçekli Eşlenik Gradyan Geri Yayılım Algoritması (trainscg) eğitim algoritmaları seçilerek ayrı ayrı denenmiştir. Gizli katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid ve çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu lineer olarak alınmıştır. Yapılan denemelerde epoch sayısı 1000 olarak kullanılmıştır. Her bir ağ için en uygun değer elde edebilmek maksadıyla 10'ar defa çalıştırılmıştır.

Şekil 4.1, gerçek çıkış enerjisi değerleri ve tahmin edilen çıkış enerjisi değerleri için ÇKYSA modelinin eğitim, doğrulama, test ve tüm değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Eğitim verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0,96064$, doğrulama verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0,95037$ iken test verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0,95699$ olarak bulunmuştur. Oluşturulan ağın, verilerin tümü için oranı ise $R^2 = 0,9586$ 'dır. Bu oran ağın gayet başarılı olduğunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan modelin başarılı olduğu görülmektedir. Sonuçlar, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki korelasyonun, tüm verilerde güçlü olduğunu göstermektedir.

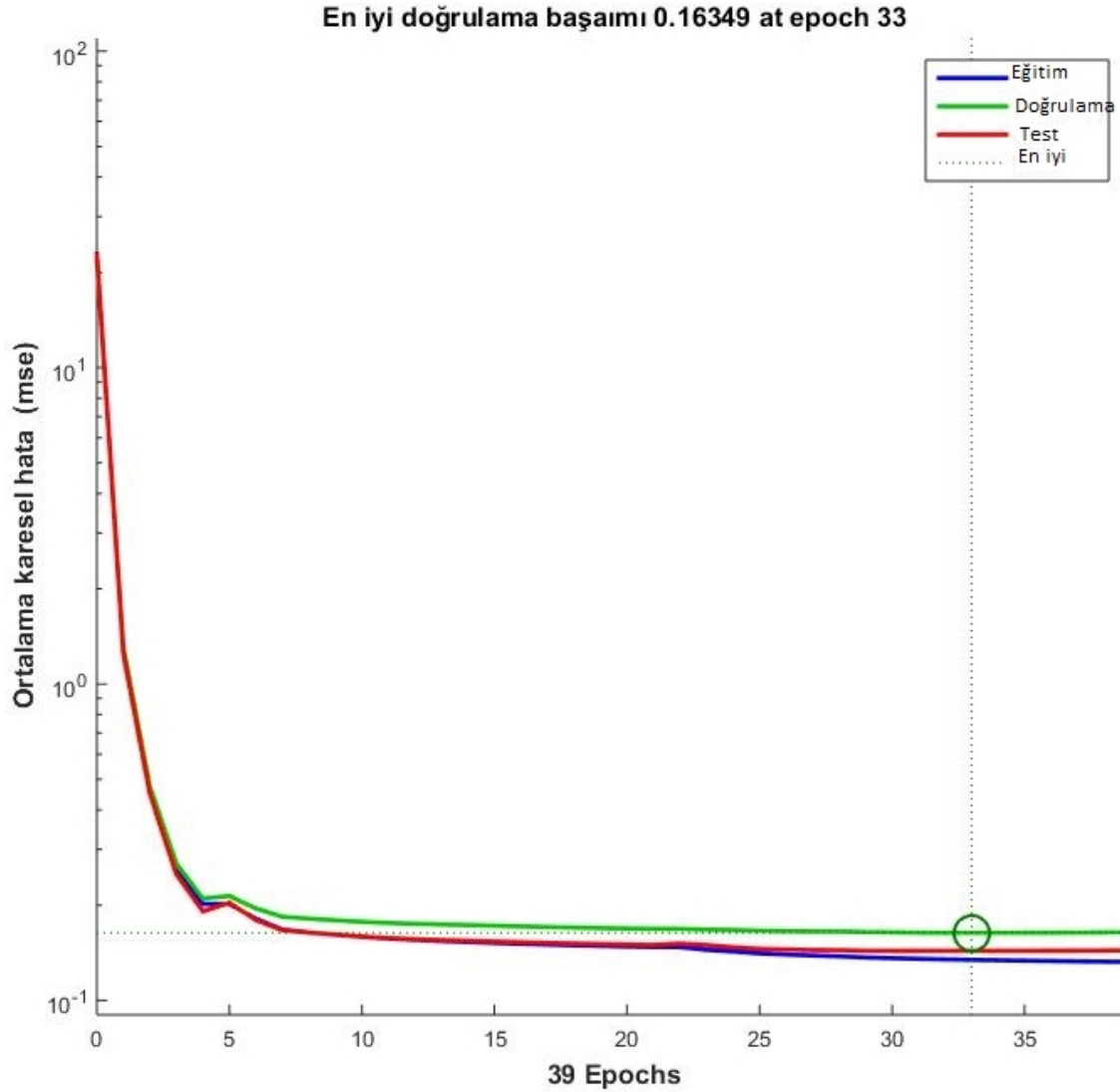


Şekil 4.1. ÇKYSA tahmin sonuçları



Şekil 4.2. Hataların dağılımı

Şekil 4.2’de hataların histogramı gösterilmektedir. Yatay eksen de hata değeri (gerçek değeri ve tahmin değeri arasındaki fark) gösterilirken, dikey eksen de örnekler gösterilmiştir. Şekilde hataların çoğunlukla -0,4518 ve 0,3009 değeri arasında dağılım gösterdiği, en fazla hatanın ise -0,7543 değeri toplandığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Eğitim, test ve doğrulama verilerinin performans değişimi

Şekil 4.3’te her bir iterasyonda ki eğitim, test ve doğrulama verilerine ait eğitim esnasındaki başarımlarının değişimi verilmiştir. Modelin başarımlarına bakıldığında en düşük hata değeri 33. iterasyonda gerçekleşmiş ve bu noktada MSE değeri ise 0,16349 olarak bulunmuştur.

Diğer yandan, YSA modellerinin eğitimi aşamasında aşırı öğrenme (over-fitting) olayının gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrol edilmesi gereklidir. Eğitim sürecinde eğitim ve doğrulama setlerindeki hata kayıtları gözlemlenerek bu kontrol gerçekleştirilebilir. Test ve doğrulama hata eğrilerinin eğitim iterasyonları sürecinde birbirlerinden zıt yönde seyir izlemesi istenilmeyen durumdur ve YSA eğitiminin istenilen düzeyde başarısız olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.3'te en başarılı sonucu üreten YSA eğitimine ilişkin hata kayıt grafiği incelendiğinde 33. iterasyon sonucunda eğitimin tamamlandığı anlaşılmaktadır. Grafikteki yeşil halka ile gösterilen iterasyonda en az doğrulama hatası elde edilmiştir. Grafikteki test ve doğrulama hata vektörlerinin benzer şekilde seyir izlediği görülmektedir. Bu durumda oluşturulan YSA modelinin eğitimi aşamasında aşırı öğrenme olayının gerçekleşmediği kanaati oluşmuştur.

Farklı öğrenme algoritmaları ve farklı gizli katman nöron sayısı seçilerek elde edilen ÇKYSA modelinin tahmin sonuçları aşağıda Çizelge 4.2'de verilmiştir.

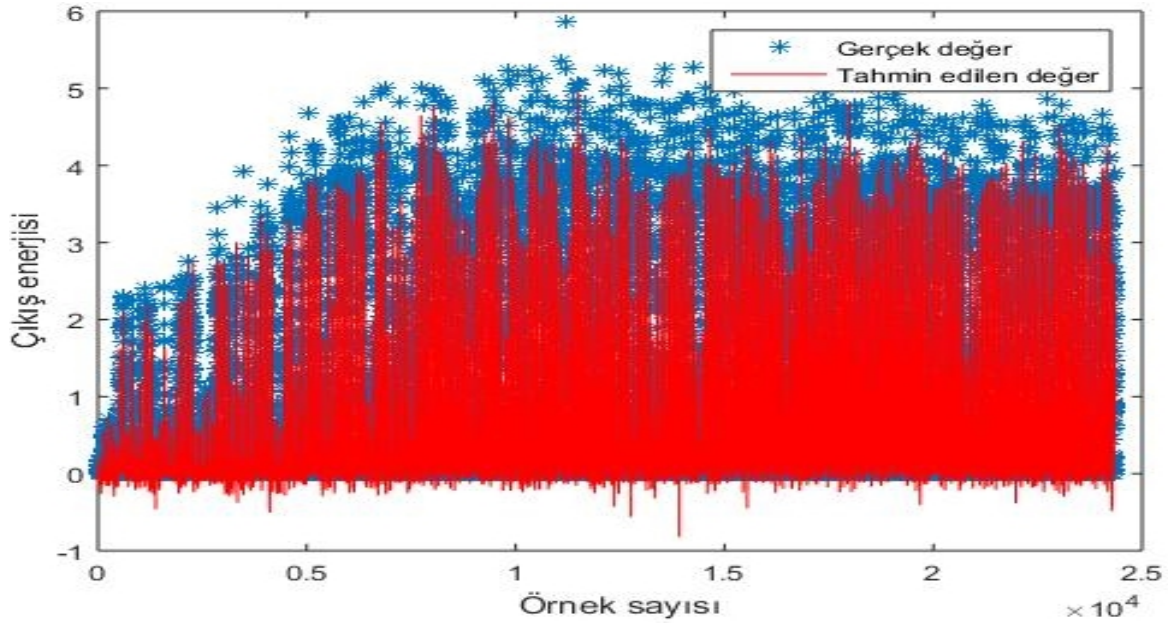
Çizelge 4.2. Farklı öğrenme algoritmaları ve farklı gizli katman nöron sayıları için ÇKYSA modelin başarımları

Eğitim Algoritması	Nöron Sayısı	Eğitim			Doğrulama			Test		
		MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
Trainlm	n = 8	0,1859	0,4311	0,9444	0,2090	0,4571	0,9377	0,1954	0,4420	0,9426
	n = 10	0,1687	0,4107	0,9495	0,1816	0,4261	0,9468	0,1918	0,4379	0,9435
	n = 11	0,1760	0,4195	0,9482	0,1690	0,4110	0,9452	0,1752	0,4185	0,9495
	n = 12	0,1697	0,4119	0,9491	0,1687	0,4107	0,9500	0,1604	0,4004	0,9542
	n = 13	0,1634	0,4042	0,9513	0,1592	0,3989	0,9528	0,1688	0,4108	0,9504
	n = 20	0,1533	0,3915	0,9537	0,1575	0,3968	0,9555	0,1582	0,3977	0,9545
	n = 50	0,1342	0,3663	0,9606	0,1634	0,4042	0,9503	0,1434	0,3786	0,9569
Trainscg	n = 8	0,2141	0,4627	0,9360	0,2070	0,4549	0,9389	0,2076	0,4556	0,9369
	n = 10	0,2241	0,4733	0,9329	0,2253	0,4746	0,9324	0,2285	0,4780	0,9311
	n = 11	0,2132	0,4617	0,9360	0,1946	0,4411	0,9401	0,2220	0,4711	0,9360
	n = 12	0,1948	0,4413	0,9417	0,2121	0,4605	0,9380	0,2034	0,4509	0,9386
	n = 13	0,2269	0,4763	0,9331	0,2224	0,4715	0,9305	0,2054	0,4532	0,9357
	n = 20	0,2228	0,4720	0,9328	0,2194	0,4684	0,9360	0,2210	0,4701	0,9343
	n = 50	0,2463	0,4962	0,9262	0,2426	0,4925	0,9287	0,2282	0,4777	0,9285

Çizelge 4.2'de verilen başarımları değerlendirildiğinde trainlm (Levenberg-Marquardt) eğitim algoritmasının daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda gösterilen algoritmalarından gizli katman sayısı 50 olarak seçildiğinde, ağırlık eğitimi aşamasında R² değerinin 0,9606 ve MSE değerinin 0,1342, test aşamasında R² değerinin 0,9569 ve MSE değerinin 0,1434, doğrulama aşamasında ise R² değerinin 0,9503 ve MSE değerinin 0,1634

olduğu görülmektedir. Ayrıca gizli katmanda nöron sayısı değişiminin tahmin performansını etkilediği gözlenmiştir.

Şekilde 4.4'te veri setindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin ne oranda çakıştığı görülmektedir.



Şekil 4.4. ÇKYSA modeli için gerçek ve tahmin edilen sonuçlar

ÇKYSA modelinin ürettiği çıktı değerleri ile mevcut çıktı değerlerinin bir kısmı Çizelge 4.3'de gösterilmektedir. Çizelge incelendiğinde gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. ÇKYSA sonuç değerleri

Gerçek Değer	ÇKYSA'nın Ürettiği Çıktı Değeri
0,1250	0,1102
0,2375	0,2205
0,4625	0,4227
0,6375	0,6188
1,1875	1,1760
2,9500	2,9602
3,2875	3,2905
3,0500	3,0143
0,4500	0,5031
3,6125	3,6796

4.2. ANFIS Uygulaması

Literatürde yöntemi geliştiren Jang'ın da ortaya koyduğu ANFIS metodu az girdi ile etkili bir çözüm getirmektedir. Bu sebeple girdi sayısının azaltılması daha düşük hata oranıyla tahmin yapma olanağı verebilir (Doğan, 2016).

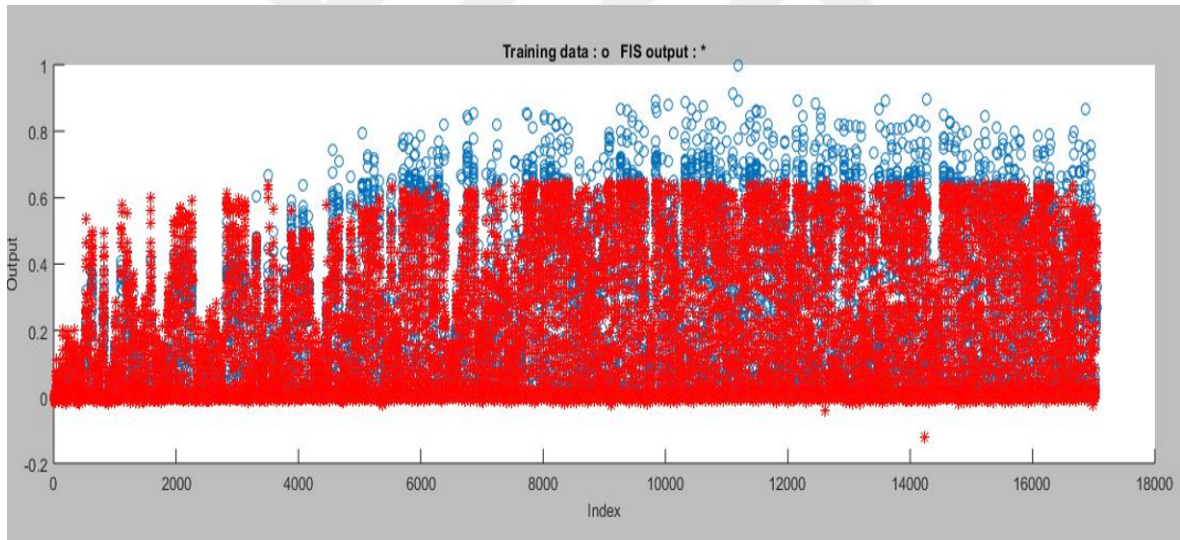
Özelliklerin boyutunun fazla olması ANFIS uygulamasında hesaplama karmaşıklığını artırmaktadır. Bu nedenle temel bileşenler analizi kullanılarak boyut azaltımı gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, temel bileşenler analizi ile boyut indirgeme işlemi sağlanarak güneş enerjisi santrali çıkış enerjisine etki eden 12 özellik 3 özelliğe indirilmiştir. Bir başka deyişle, problem üç girdi ve bir çıktıdan oluşan sisteme dönüştürülmüştür.

Veri kümesinde, temel bileşenler analizi ile boyut indirgeme işleminden sonra veriler [0,1] aralığında normalize edilmiştir. Çıkış enerjisi tahmin modeli oluşturulurken, veriler eğitim veri seti, test veri seti ve kontrol veri seti olmak üzere 3 ayrı veri kümesine ayrıştırılmıştır. Ağı eğitmek için kullanılan eğitim veri seti tüm verilerin yaklaşık %70'i olan 17050 veri satırı, test için tüm veri setinin yaklaşık %23'ü olarak 5601 veri seti ve kontrol veri seti için de tüm setin %7'si olarak 1705 veri setine ayrılarak üç ayrı dosya olarak kaydedilip modele yüklenmiştir. Veri setinin eğitim, test ve kontrol olarak üç parçaya ayrılması için basit rassal ayırım yöntemi kullanılmıştır. Girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişki model içerisinde bulunan 8 adet üyelik fonksiyonu kullanılarak sistemin eğitilmesi sağlanmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak melez (Hybrid) algoritması uygulanmış ve hata oranları gözlemlenerek sonuçlar elde edilmiştir. Melez algoritma, geri yayılım algoritması (Backpropagation) ile en küçük kareler yönteminin beraber kullanıldığı öğrenme algoritmasıdır. Üyelik fonksiyonları seçildikten sonra eğitim döngü (Epoch) sayısı belirlenmiştir. Gözlemler sonucunda modelin 50 devir sonrası durduğu anlaşıldığından eğitim döngü değeri 50 olarak belirlenmiştir. Eğitim döngü değeri belirlendikten sonraki aşamada, eğitimler sırasıyla başlatılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Eğitim veri seti, ağı girdileri ile çıktı değişkenleri arasındaki bağlantıyı öğrenerek üyelik fonksiyon değişkenlerini, belirtilen devir sayısına veya istenilen hata seviyesine ulaşmaya kadar ayarlamaktadır. Modelin eğitim adımında eğitim verileriyle birlikte kontrol verilerinin de yüklenmesinin nedeni, kontrol verisinin modelin aşırı öğrenme etkisini kontrol etmede kullanılmasıdır. Kontrol verisi ANFIS'e yüklendiğinde, FIS (Fuzzy Inference System-

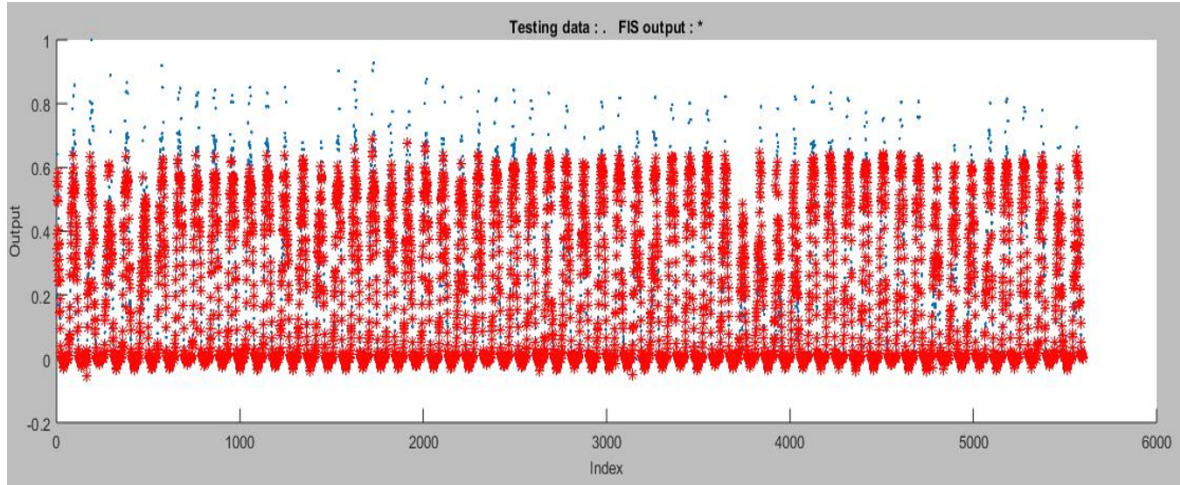
Bulanık Çıkarım Sistemi) modeli kontrol verisi hatasını asgari yapacak biçimde değişkenlerini ayarlar. Eğitim aşaması sırasında eğitim hatası azalırken belirli bir noktadan sonra kontrol seti hatası birden artabilmektedir. İşte tam bu noktaya aşırı uyum noktası (overfitting point) denilir. Eğitim aşaması, eğitim hata değerinin sabitlenmesi veya kontrol seti için aşırı uyum oluşana dek sürer. Bu noktada eğitim aşamasına son verilerek ağ daha önce hiç karşılaşmadığı test veri kümeleri ile test edilir. Ağın ne kadar hata derecesi ile test verilerini tahminde bulunduğu görülür. Elde edilen hata oranı makul sınırdan ise, hedeflenen ağ modeline varılmış demektir. Ancak hata oranı yüksekse ağın eğitim sürecine dönülerek ilgili değişkenler değiştirilir. İstenen hata oranına erişildiğinde oluşturulan modelin başarımı değerlendirilir (Demirci, 2020).

Şekil 4.5'te görüleceği üzere, mavi yuvarlak çizgiler eğitim verisi çıktılarını, kırmızı yıldızlar ise FIS çıktı değerlerini göstermektedir.



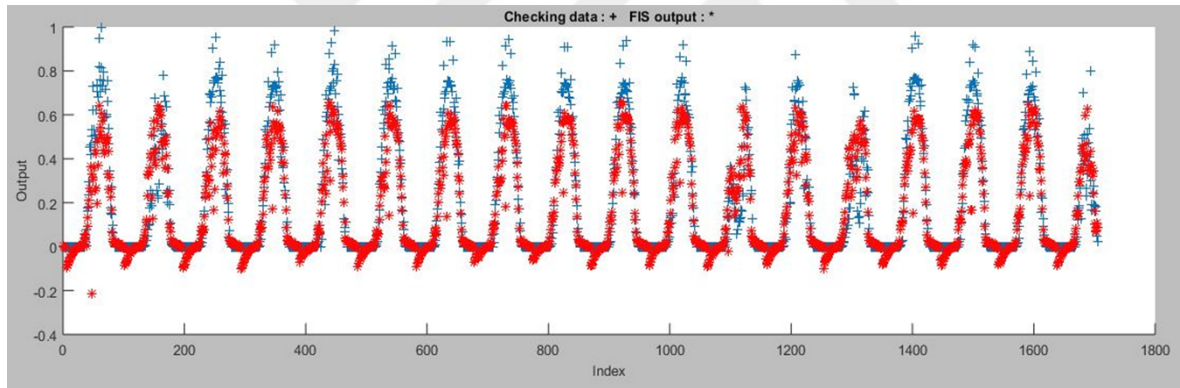
Şekil 4.5. ANFIS modeli için eğitim verileri tepkisi

Şekil 4.6'da, mavi noktalar test verisini temsil ederken kırmızı yıldızlar ise FIS çıktı değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.6. ANFIS modeli için test verileri tepkisi

Şekil 4.7’de ise, mavi artılar kontrol verisini temsil ederken, kırmızı yıldızlar ise FIS çıktı değerini göstermektedir.

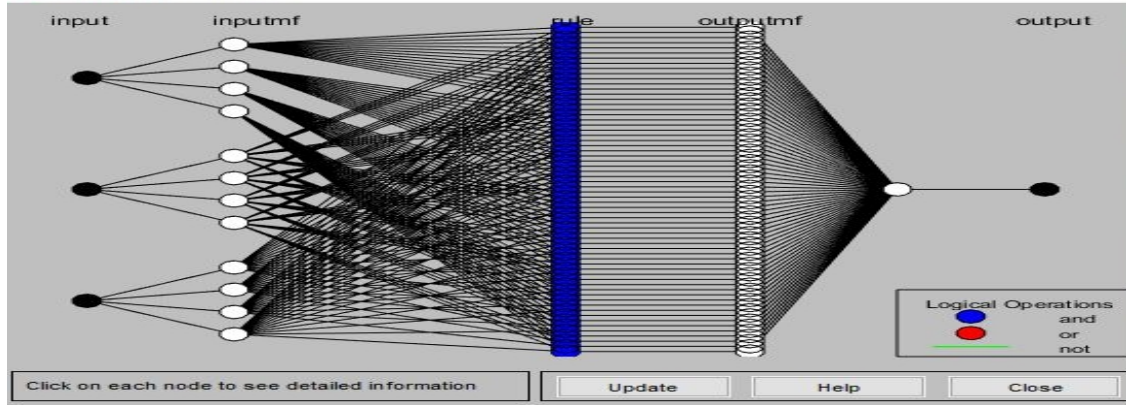


Şekil 4.7. ANFIS modeli için kontrol verileri tepkisi

Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 incelendiğinde gerçek değerler ile tahmin edilen çıktı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Bu uygulamada, birkaç üyelik fonksiyon sayısı, tüm üyelik fonksiyon tipleri ile çıktı tipi constant/linear için sırasıyla denenmiştir, Şekil 4.8’de oluşturulan ANFIS modelinin yapısı görülmektedir. İlk aşamada üç bağımsız değişken girdi olarak sisteme girilmiştir. İkinci aşamada ise girdi değerleri 4-4-4 üyelik fonksiyonuna belirli bir üyelik derecesinde model tarafından atanmıştır. Sonraki sütunda ise üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilen 64 kural yer almaktadır. Bulanık ağı en iyi şekilde öğrenmeyi gerçekleştireceği 64 kural

belirlemiş ve her kuraldan bir değer üretmiştir. Oluşturulan çıktı üyelik fonksiyon değerleri tek çıktı değerine dönüştürülmüştür.



Şekil 4.8. ANFIS modeli ağ yapısı

Şekil 4.9’da kural editörü, girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak ifade etmektedir. Sol taraftaki üç sütun girdileri ve sağ taraftaki sütunda çıktıyı ifade etmektedir. Sütunlar üzerindeki kırmızı çizgi sağa sola hareket ettirilerek girdi değerleri değiştirilerek elde edilen modele göre çıktı değeri tekrar hesaplanabilir.



Şekil 4.9. ANFIS modeli kural yapısı

Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da ızgara bölümlendirme yönteminin alternatif girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarındaki hata değerleri görülmektedir. Tablolardaki sonuçların incelenmesinde en başarılı sonucun 0,0946 hata oranıyla, melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyon tipi ile girdi değerleri için 4-4-4 üyelik fonksiyonun birlikte kullanıldığı modelin ürettiği gözlemlenmektedir. Ayrıca çizelgelerden anlaşıldığı gibi çıktı üyelik fonksiyon tipi sabit (constant) olmalıdır.

Çizelge 4.4. 3-3-3 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımlar

Sabit		Eğitim			Test			Kontrol		
Fonksiyon Tipi	Üyelik Fonksiyon Sayısı	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
trimf	3-3-3	0,0083	0,0913	0,9048	0,0091	0,0955	0,9268	0,0144	0,1201	0,9243
trapmf	3-3-3	0,0084	0,0918	0,9037	0,0101	0,1007	0,9175	0,0210	0,0145	0,8766
gbellmf	3-3-3	0,0082	0,0904	0,9066	0,0092	0,0957	0,9270	0,0149	0,1222	0,9266
gaussmf	3-3-3	0,0083	0,0910	0,9055	0,0092	0,0960	0,9272	0,0151	0,1228	0,9275
gauss2mf	3-3-3	0,0082	0,0907	0,9060	0,0093	0,0967	0,9264	0,0161	0,1270	0,9241
pimf	3-3-3	0,0083	0,0914	0,9046	0,0092	0,0957	0,9260	0,0159	0,1263	0,9125
dsigmf	3-3-3	0,0086	0,0925	0,9020	0,0094	0,0967	0,9253	0,0164	0,1279	0,9155
psigmf	3-3-3	0,0086	0,0925	0,9020	0,0094	0,0967	0,9253	0,0164	0,1279	0,9155
Doğrusal		Eğitim			Test			Kontrol		
trimf	3-3-3	0,0078	0,0884	0,9109	0,0096	0,0997	0,9246	0,0209	0,1446	0,8925
trapmf	3-3-3	0,0078	0,0885	0,9109	0,0100	0,0999	0,9197	0,0217	0,1473	0,8794
gbellmf	3-3-3	0,0078	0,0882	0,9113	0,0094	0,0971	0,9259	0,0178	0,1335	0,9105
gaussmf	3-3-3	0,0078	0,0886	0,9107	0,0094	0,0971	0,9262	0,0158	0,1257	0,9218
gauss2mf	3-3-3	0,0078	0,0881	0,9117	0,0096	0,0978	0,9249	0,0192	0,1384	0,8987
pimf	3-3-3	0,0076	0,0874	0,9130	0,0097	0,0987	0,9222	0,0176	0,1326	0,9056
dsigmf	3-3-3	0,0077	0,0875	0,9129	0,0099	0,0997	0,9203	0,0176	0,1328	0,9102
psigmf	3-3-3	0,0076	0,0874	0,9132	0,0097	0,0983	0,9227	0,0168	0,1297	0,9158

Çizelge 4.5. 4-4-4 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımlar

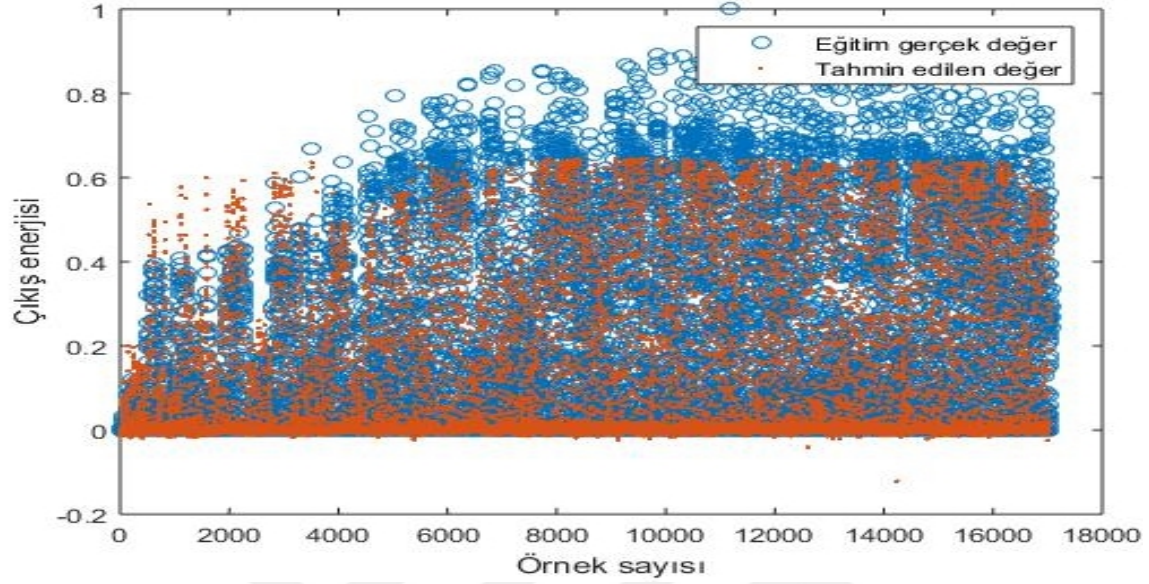
Fonksiyon Tipi	Üyelik Fonksiyon Sayısı	Eğitim			Test			Kontrol		
		MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
trimf	4-4-4	0,0082	0,0904	0,9068	0,0092	0,0957	0,9268	0,0161	0,1270	0,9099
trapmf	4-4-4	0,0083	0,0908	0,9058	0,0095	0,0972	0,9234	0,0179	0,1340	0,8976
gbellmf	4-4-4	0,0081	0,0899	0,9079	0,0089	0,0946	0,9294	0,0163	0,1278	0,9175
gaussmf	4-4-4	0,0081	0,0901	0,9073	0,0090	0,0948	0,9293	0,0174	0,1317	0,9139
gauss2mf	4-4-4	0,0081	0,0900	0,9075	0,0095	0,0975	0,9247	0,0217	0,1472	0,8776
pimf	4-4-4	0,0082	0,0904	0,9067	0,0093	0,0965	0,9252	0,0167	0,1292	0,9057
dsigmf	4-4-4	0,0081	0,0901	0,9073	0,0091	0,0956	0,9269	0,0161	0,1270	0,9115
psigmf	4-4-4	0,0081	0,0901	0,9073	0,0091	0,0956	0,9269	0,0161	0,1270	0,9115
Doğrusal		Eğitim			Test			Kontrol		
trimf	4-4-4	0,0078	0,0884	0,9109	0,0096	0,0977	0,9246	0,0209	0,1446	0,8925
trapmf	4-4-4	0,0077	0,0876	0,9126	0,0116	0,1076	0,9058	0,0228	0,1511	0,8583
gbellmf	4-4-4	0,0073	0,0856	0,9167	0,0104	0,1022	0,9162	0,0228	0,1510	0,8582
gaussmf	4-4-4	0,0074	0,0858	0,9165	0,0110	0,1049	0,9107	0,0237	0,1538	0,8458
gauss2mf	4-4-4	0,0073	0,0857	0,9166	0,0118	0,1085	0,9054	0,0233	0,1527	0,8586
pimf	4-4-4	0,0076	0,0870	0,9139	0,0181	0,1344	0,8525	0,0416	0,2040	0,7407
dsigmf	4-4-4	0,0074	0,0860	0,9159	0,0124	0,1114	0,8998	0,0293	0,1712	0,8184
psigmf	4-4-4	0,0074	0,0860	0,9159	0,0124	0,1114	0,8998	0,0293	0,1712	0,8184

Çizelge 4.6. 3-4-5 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımlar

Fonksiyon Tipi	Üyelik Fonksiyon Sayısı	Eğitim			Test			Kontrol		
		MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
trimf	3-4-5	0,0082	0,0905	0,9065	0,0092	0,0961	0,9263	0,0162	0,1273	0,9159
trapmf	3-4-5	0,0083	0,0908	0,9057	0,0096	0,0977	0,9231	0,0167	0,1291	0,9066
gbellmf	3-4-5	0,0082	0,0903	0,9069	0,0092	0,0960	0,9266	0,0162	0,1272	0,9179
gaussmf	3-4-5	0,0081	0,0900	0,9075	0,0091	0,0954	0,9274	0,0154	0,1243	0,9235
gauss2mf	3-4-5	0,0082	0,0903	0,9069	0,0095	0,0974	0,9235	0,0152	0,1231	0,9177
pimf	3-4-5	0,0081	0,0902	0,9072	0,0099	0,0995	0,9196	0,0162	0,1272	0,9075
dsigmf	3-4-5	0,0082	0,0907	0,9062	0,0095	0,0974	0,9236	0,0162	0,1274	0,9123
psigmf	3-4-5	0,0082	0,0908	0,9059	0,0095	0,0976	0,9228	0,0156	0,1250	0,9136
Doğrusal		Eğitim			Test			Kontrol		
trimf	3-4-5	0,0076	0,0873	0,9134	0,0105	0,1022	0,9164	0,0285	0,1689	0,8360
trapmf	3-4-5	0,0077	0,0879	0,9120	0,0166	0,1290	0,8662	0,0434	0,2083	0,7502
gbellmf	3-4-5	0,0073	0,0855	0,9170	0,0100	0,0999	0,9198	0,0214	0,1461	0,8780
gaussmf	3-4-5	0,0076	0,0873	0,9132	0,0099	0,0996	0,9211	0,0190	0,1379	0,8950
gauss2mf	3-4-5	0,0075	0,0868	0,9143	0,0128	0,1131	0,8968	0,0250	0,1581	0,8502
pimf	3-4-5	0,0076	0,0874	0,9130	0,0144	0,1201	0,8824	0,0385	0,1961	0,7637
dsigmf	3-4-5	0,0076	0,0870	0,9139	0,0107	0,1037	0,9132	0,0201	0,1419	0,8799
psigmf	3-4-5	0,0076	0,0870	0,9139	0,0107	0,1037	0,9132	0,0201	0,1419	0,8799

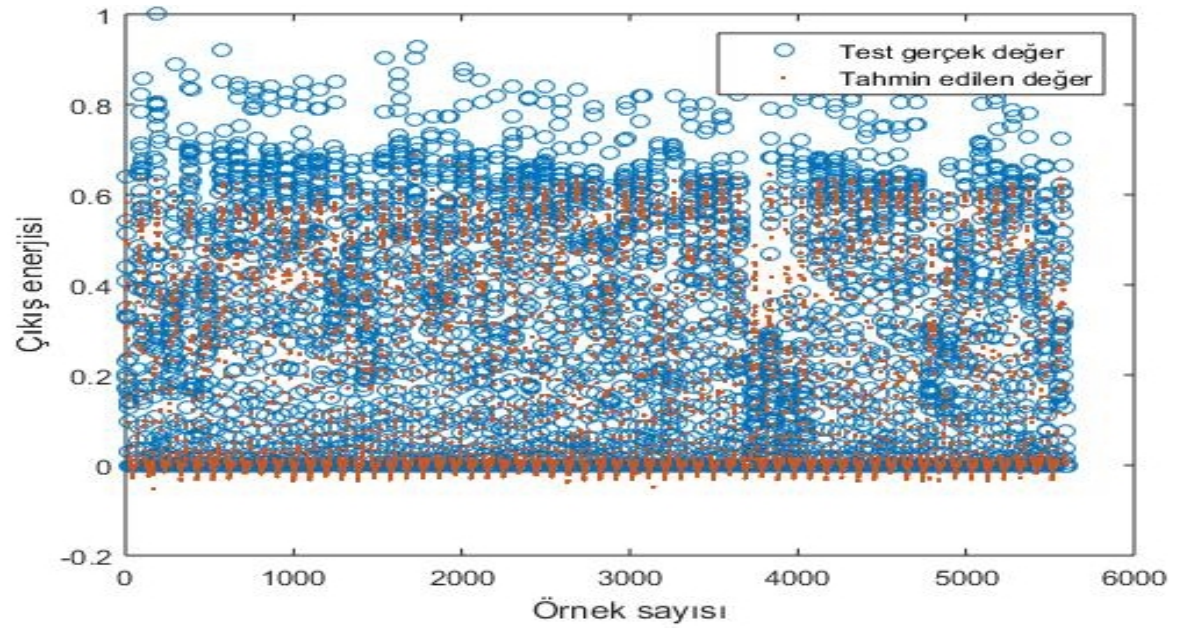
Elde edilen sonuçlar baz alınarak en iyi sonucu üreten üyelik fonksiyon tipi ve fonksiyon sayısı gbellmf (4-4-4) kullanılarak ağı eğitilmesi sonucunda ağı eğitim hatası RMSE = 0,0899'dur.

Eğitim veri setindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerinin ne oranda çakıştığı Şekil 4.10'da görülmektedir.



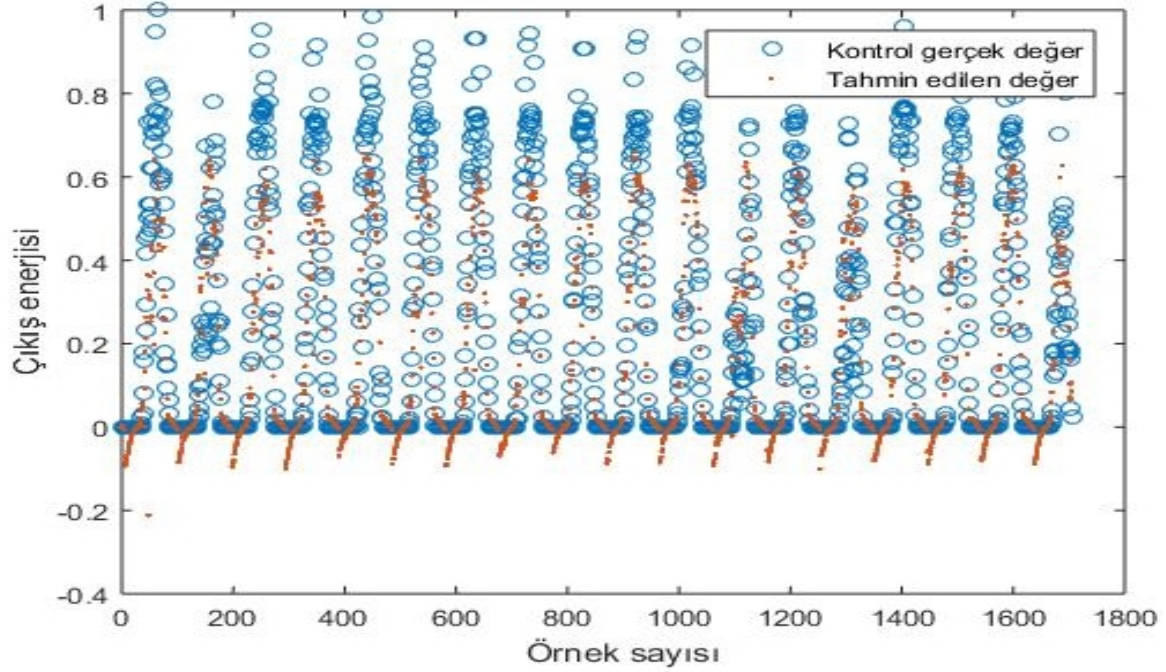
Şekil 4.10. ANFIS uygulaması eğitim veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar

Şekil 4.11'de test veri setindeki gerçek değerler ile tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin test hatası $RMSE = 0,0946$ 'dır.



Şekil 4.11. ANFIS uygulaması test veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar

Şekil 4.12’de ise kontrol veri setindeki gerçek değerler ile tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin kontrol hatası $RMSE = 0,1278$ ’dir.



Şekil 4.12. ANFIS uygulaması kontrol veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar

ANFIS modelinin ürettiği çıktı değerleri ile mevcut çıktı değerlerinin bir kısmı Çizelge 4.7’de gösterilmektedir. Sistem 0,0946 RMSE hata payıyla tablodakine benzer şekilde çıktı üretmiştir.

Çizelge 4.7. ANFIS sonuç değerleri

Gerçek Değer	ANFIS’in Ürettiği Çıktı Değeri
0,1425	0,1460
0,2383	0,2794
0,3274	0,2486
0,1581	0,2431
0,1737	0,1859
0,1269	0,1515
0,0958	0,0954
0,0312	0,0378
0,5546	0,5388
0,5724	0,5385

ÇKYSA ve ANFIS kullanarak güneş enerjisi santrali çıkış enerjisi tahminlerinden elde edilen performans sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. ANFIS ve ÇKYSA yöntemleri için başarımlar sonuçları

Yöntem	R^2	MSE	RMSE
ANFIS	0,9294	0,0089	0,0946
YSA	0,9569	0,1434	0,3858

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Güneş enerjisinin potansiyeli diğer tüm yenilenebilir kaynaklardan çok daha yüksektir, ancak bazı sınırlamalar mevcuttur. Güneş ışınımının değişkenliği ve iklim koşulları bir FV tesisin enerji üretimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Güneş enerjisi, günümüzde daha düşük maliyetli panellerin mevcudiyeti sayesinde kademeli olarak modern şebekelere entegre edilmektedir. Fotovoltaik enerjinin kullanımının artması göz önüne alındığında, literatürde güneş enerjisi tahmini için yapay tekniklerinden yararlanmak için çeşitli araçlar ve yaklaşımlar önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında, meteorolojik verilere bağlı olarak bir güneş enerji santrali üretim enerjisi tahmini için makine öğrenme tekniklerine dayalı bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler Amasya Üniversitesi İpekköy Yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santrali üretim verileridir. Tahmin algoritması olarak ÇKYSA ve ANFIS yöntemleri kullanılmıştır. Algoritma sonuçlarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

ÇKYSA metodu kullanılarak yapılan tahminde en iyi sonucun Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritmasıyla elde edildiği belirlenmiştir. ANFIS metodu kullanılarak yapılan tahminde ise en başarılı sonucun melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyon tipi ile girdi değerleri için 4-4-4 üyelik fonksiyonun birlikte kullanıldığı modelin ürettiği belirlenmiştir. ÇKYSA uygulaması sonucunda R^2 değeri 0.9569, MSE değeri 0,1434 ve RMSE değeri 0,2858 olarak elde edilmiştir. ANFIS uygulaması sonucunda R^2 değeri 0,9294, MSE değeri 0,0089 ve RMSE değeri 0,0946 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan ÇKYSA ve ANFIS modelleriyle yapılan tahmin değerlerinin ölçülen değerler ile makul düzeyde yakınsadığı saçılma grafiklerinden görülmüştür. Belirleme katsayısı (R^2) açısından ÇKYSA, ANFIS metoduna göre daha başarılı performans gösterirken, ortalama kare hata (MSE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) açısından ANFIS, ÇKYSA'ya göre daha başarılı bir performans sergilemiştir.

Bu çalışma ile güneş enerjisi santrali çıkış enerjisinin tahmininde ÇKYSA ve ANFIS modellerinin kullanılabilirliği belirlenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde modellerin yaptıkları tahmin değerlerinin tutarlı ve güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Farklı jeolojik

konumlarda yer alan santraller veya diğ er enerji santrallerinde de üretim verileri aynı metotlarla hesaplanabilir.



KAYNAKLAR

- Abiodun, O. I., Jantan, A., Omolara, A. E., Dada, K. V., Mohamed, N. A. and Arshad, H. (2018). State-of-the-art in artificial neural network applications: *A survey*, Heliyon, 4(11), e00938.
- Akkaya, S. (2019). *Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Aksangör, N. N. (2019). *Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydoğdu, Ç. (2021). Yenilenebilir Enerji Sektöründe ve Enerji Verimliliğinde Kamusal Destekler ve Türkiye’de Yansımaları. *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 6(1), 52-74.
- Baş, Z., Zıba, S. ve Yılmaz, S. A. (2017). Fotovoltaik Üretim Sistemlerinin Şebekeye ve Maliyetlere Etkisinin İncelenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 72-78.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye’nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3(1), 37-54.
- Çetin, S., Turan, E. ve Bayrakdar, E. (2019). Türkiye’nin Güneş Enerjisi Politikaları. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(2), 949-968.
- Çıkla, R. (2020). *Samsun İlinde Kurulu Şebekeye Bağlı Bir Güneş Enerji Santralinin Performansına Gölgeleme Etkisinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Dandıl, E. ve Gürgen, E. (2019). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıkışlarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar İle Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 146-158.
- Demirci, E. K. (2020). ANFIS İle Doğalgaz Talep Tahmini, Türkiye Örneği. *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, 2(3), 495-511.
- Ding, S., Li, H., Su, C., Yu, J. and Jin, F. (2013). Evolutionary artificial neural networks: a review. *Artificial Intelligence Review*, 39(3), 251-260.
- Doğan, O. (2016). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 257-288.
- Doğancı, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A. ve Arcaklıoğlu, E. (2016). Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi Rüzgâr Enerjisi Tahmin Çalışması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1).

- Erdoğan, N. (2020). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler İle Yenilenebilir Enerji Üretimi Arasındaki Etkileşim ve Finansal Yansımaları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Eyvazov, A. (2019). *Yapay Sinir Ağları İle Güneş Enerjisi Potansiyelinin Modellenmesi ve Güneş Pilleri Verim Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gabralı, D. ve Aslan, Z. (2020). Güneş Enerjisi Potansiyelinin Çoklu Lineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1, 23-36.
- Gardner, M. W. and Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
- Geçmez, A. ve Gençer, Ç. (2020). Güneş Enerji Santrali Üretim Verilerinin Meteorolojik Verilere Bağlı Olarak Yapay Zekâ Yöntemleri İle Tahmini. *International Studies on Natural and Engineering Sciences*, 2-37-51.
- Gökçe, B. ve Sonugür, G. (2016). ANFIS ve YSA Yöntemleri İle İşlenmiş Doğal Taş Üretim Sürecinde Verimlilik Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 174-185.
- Güleç, G. H. ve Demirel, H. (2017). Meteorolojik Veriler Kullanılarak Kastamonu İli Güneşlenme Şiddetinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Technological Applied Sciences*, 12(3), 114-121.
- İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2022). URL: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. Son erişim tarihi: 20.09.2022
- İnternet: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, (2022). URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/5.aspx>. Son erişim tarihi: 01.01.2022
- İnternet: Dünya Enerji Konseyi, (2021). URL: <https://www.dunyaenerji.orgtr/tayland-dunyanin-en-buyuk-yuzen-gunes-santralini-kurmayi-planliyor>. Son erişim tarihi: 20.04.2021
- İnternet: Yesevi, Ç, G, (2021). URL: <https://21yyte.org/tr/merkezler/islevsel-arastirma-merkezleri/enerji-ve-enerjiguvenligiarastirmalari-merkezi/turkiye-nin-enerji-stratejisi-ve-enerji-gorunumu>. Son Erişim Tarihi: 15.02.2021
- İşler, S. Y. (2020). *Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Performans Analizi ve Verim Artırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- İzmirli Ayan, S. M. (2018). *Fotovoltaik Sistemin Yapay Zekâ Algoritması İle Güç Tahmini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

- Jebli, I., Belouadha, F. Z., Kabbaj, M. I. and Tilioua, A. (2021). Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning. *Energy*, 224, 120109.
- Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkcı, C. B. ve Öngen, A. (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 230-240.
- Karaboga, D. and Kaya, E. (2019). Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 52(4), 2263-2293.
- Kaya, Ü., Caner, M. ve Oğuz, Y. (2016). Rüzgâr Türbin Modelleri Kullanarak Kastamonu İli Rüzgâr İle Elektrik Üretim Potansiyeli Tahmini. *Technological Applied Sciences*, 11(3), 65-74.
- Kaynar, K. N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli. *Bilge International Journal Of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54.
- Maltaş, M. (2017). *Manisa İli İçin 1 MW Güneş Enerjisi Santrali Fizibilitesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ok, Y. (2010). *Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) İle Türkiye’de Orta Dönemli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Oral, C. (2011). *Sayısal Mamografi Görüntülerine Yapay Zekâ Yöntemlerinin Uygulanması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Özaltın, S. ve Binark, K. A. (2021). Eğirdir Gölü Çevresinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 07-17.
- Özcan, İ., Şahin, Ş. A., Dikmen, E. ve Bayram, G. (2013). Isparta İlinde Rüzgâr Hızı Değerlerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 109-112.
- Öztürk, A. ve Dursun, M. (2011). 2, 10 ve 20 KVA’lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ.
- Özyiğit, Y. F. (2019). *Sivas İl Merkezi ve İlçelerinde Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Ekonomik Fizibilitesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Paksın, B. (2020). *Görsel Sanatlarda Yapay Zekâ ve Yaratıcılık İlişkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir.
- Pınar, A., Buldur, D. A. ve Tuncer, T. (2020). Türkiye’deki Güneş Enerji Santralleri Dağılımının Coğrafi Perspektiften Analizi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(69), 425-435.

Saray, U., Lüy, M. ve Çam, E. (2011). *Amasya İli İçin Yapay Sinir Ağlarıyla Rüzgar Hızı Tahmini*. Eleco 2014 Elektrik Elektronik Mühendisliği Sempozyumu, Ankara.

Var, H. ve Türkay, E. B. (2014). *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kısa Dönem Elektrik Yüğü Tahmini*. Eleco 2014 Elektrik-Elektronik, Bursa.

Yolcan, O. O. ve Köse, R. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. *Kırklareli University Journal Of Engineering and Science*, 6(2), 196-215.

Zaghloul, M. S., Hamza, R. A., Iorhemen, O. T. and Tay, J. H. (2020). Comparison of adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) and support vector regression (SVR) for data-driven modelling of aerobic granular sludge reactors. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103742.



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Serdar SOMUNCU

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

- 1-) Somuncu, S. ve Oral, C. (2022). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Güneş Enerji Santrallerinde Çıkış Enerjisi Tahmini, Akdeniz 8th International Conference On Applied Sciences, Girne, November 19-20, 2022, 27. E-ISBN: 978-605-72051-5-5

