



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

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE İKLİM VERİLERİNE GÖRE
PERFORMANS TAHMİNİ İÇİN REGRESYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİMGE AKGÜL

OCAK

SİMGE AKGÜL

**YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

OCAK 2023



**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE İKLİM VERİLERİNE GÖRE
PERFORMANS TAHMİNİ İÇİN REGRESYON ANALİZİ**

Simge AKGÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Erhan BERGİL**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Simge AKGÜL tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santrallerinde İklim Verilerine Göre Performans Tahmini İçin Regresyon Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erhan BERGİL

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

Teknoloji Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul SUNAN

Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi / Uçak Bakım ve Onarım Anabilim Dalı,
Samsun Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Simge AKGÜL

23/01/2023

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE İKLİM VERİLERİNE GÖRE PERFORMANS TAHMINİ İÇİN REGRESYON ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Simge AKGÜL

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Güneş enerji santrallerinin verimliliğini arttırmak amacıyla panel teknolojisinin geliştirilmesi, uygun lokasyonların belirlenmesi ve iklim koşullarının analiz edilmesi noktasında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santralinin çıkış gücü tahmin edilmiştir. İklim verilerine bağlı olarak üretilen gücü tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılmış, yöntemlerin başarımları karşılaştırılmıştır.

Tezde tahmin yöntemi olarak Doğrusal Regresyon, Karar Ağaçları Regresyonu ve Gauss Süreç Regresyonu kullanılmıştır. 5 ve 10 katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. En yüksek başarımlar Gauss Süreç Regresyonu ile elde edilmiştir.

Sayfa Adedi : 50

Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Regresyon Analizi, Güç Tahmini

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Erhan BERGİL

REGRESSION ANALYSIS FOR PERFORMANCE PREDICTION ACCORDING TO
CLIMATE DATA IN SOLAR POWER PLANTS

(M. Sc. Thesis)

Simge AKGÜL

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

In order to increase the efficiency of solar power plants, many studies are carried out to develop panel technology, determine suitable locations and analyze climate conditions. In this study, the output power of the 200kW solar power plant installed in Amasya University İpekköy Campus was estimated. Different methods were used to estimate the power produced depending on the climate data, and the performances of the methods were compared.

Linear Regression, Decision Tree Regression and Gaussian Process Regression were used as estimation methods in the thesis. Results of analyzes performed using 5 and 10 fold cross validation were compared. The highest performance was obtained with Gaussian Process Regression.

PageNumber : 50

Keywords : Solar Power, Regression Analysis, Power Estimate

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Erhan BERGİL

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince beni her konuda sabırla dinleyen, destekleyen, cesaretlendiren ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sayın Erhan BERGİL ‘e teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım ve yaşamım boyunca fedakârlıklarını, desteklerini, emeklerini ve şefkatlerini esirgemeyen ve çocukları olmaktan hep gurur duyduğum merhum canım babam Mehmet AKGÜL ve canım annem Duygu AKGÜL’ e; her anıma ortak ve hep yanı başımda olan tatlı ikizim Özge AKGÜL UĞUR’ a; desteğini her daim hissettiğim güzel ablam Alev AKGÜL DERİN’ e; bana her konuda yol gösteren ve beni cesaretlendiren sevgili abim Levent UĞUR’ a; manevi desteğini esirgemeyen tüm dost ve arkadaşlarıma; en çok da onlara örnek olmak için yola koyulduğum bu serüvende varlıklarıyla beni mutlu edip her daim gülümseten tatlı yeğenlerim Ulaş Görkem, Güneş, Ada ve Deniz’e teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2. 1. Enerji Kaynakları	4
2. 2. Güneş Enerjisi ve Güneş Enerji Sistemleri	6
2. 3. Güneş Enerjisi Santrallerinde İklim Etkisi.....	11
2. 4. Güneş Enerji Santrallerinde Çıkış Gücü	13
2.5. Tahminleme ve İklimsel Verilerle Yapılan Çalışmalar	14
3. MATERYAL ve METOT.....	18
3.1. Veri Seti.....	18
3.2. Regresyon Yöntemleri.....	21
3. 2. 1. Doğrusal regresyon.....	22
3. 2. 2. Karar ağacı regresyonu	24
3. 2. 3. Gauss süreç regresyonu	25
3. 3. Bağımsız Değişkenler	27
3. 4. Performans Başarım Ölçütleri.....	28
3. 4. 1. R kare.....	28

	Sayfa
3. 4. 2. Ortalama mutlak hata.....	29
3. 4. 3. Ortalama kare hatası	30
3. 5. Katlamalı Çapraz Doğrulama.....	30
4. BULGULAR.....	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	49



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Enerji kaynakları.....	5
Çizelge 2.2. Alternatif enerji kaynakları.....	6
Çizelge 3.1. Ölçüm istasyonu kayıt sistemi örnek değerleri.....	20
Çizelge 3.2. Evirici çıkış güçleri için örnek değerler.....	21
Çizelge 3.3. Analizlerde kullanılan bağımsız değişkenler.....	28
Çizelge 4.1. 5-katlamalı çapraz doğrulama için yöntem başarımlar ölçütleri.....	36
Çizelge 4.2. 10-katlamalı çapraz doğrulama için yöntem başarımlar ölçütleri.....	39
Çizelge 4.3. GSR başarımlar ölçütleri.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Off-grid fotovoltaiik sistemler (Elseroof, b.t).....	9
Şekil 2.2. On-grid fotovoltaiik sistemler (Elseroof, b.t)	10
Şekil 2.3. Güneş panelleri (Biçen, 2018)	11
Şekil 3.1. İpekköy güneş enerji santrali (Tokul, 2021).....	18
Şekil 3.2. İpekköy güneş enerji santrali (Tokul, 2021).....	19
Şekil 3.3. İpekköy GES tesis yapısı (Tokul, 2021).....	19
Şekil 3.4. Basit bir karar ağacı yapısı (Ulgen, 2017)	25
Şekil 3.5. 5-katlamalı çapraz doğrulama.....	31
Şekil 4.1. Evirici çıkışları için çıkış güçlerinin ortalama değerleri.....	32
Şekil 4.2. 5-katlamalı çapraz doğrulama için DR yönteminin tepkesi	33
Şekil 4.3. 5-katlamalı çapraz doğrulama için DR dağılım grafiği	33
Şekil 4.4. 5-katlamalı çapraz doğrulama için KAR yönteminin tepkesi.....	34
Şekil 4.5. 5-katlamalı çapraz doğrulama için KAR dağılım grafiği	34
Şekil 4.6. 5-katlamalı çapraz doğrulama için GSR yönteminin tepkesi	35
Şekil 4.7. 5-katlamalı çapraz doğrulama için GSR dağılım grafiği.....	35
Şekil 4.8. 10-katlamalı çapraz doğrulama için DR yönteminin tepkesi	36
Şekil 4.9. 10-katlamalı çapraz doğrulama için DR dağılım grafiği	37
Şekil 4.10. 10-katlamalı çapraz doğrulama için KAR yönteminin tepkesi.....	37
Şekil 4.11. 10-katlamalı çapraz doğrulama için KAR dağılım grafiği	38
Şekil 4.12. 10-katlamalı çapraz doğrulama için GSR yönteminin tepkesi	38
Şekil 4.13. 10-katlamalı çapraz doğrulama için GSR dağılım grafiği.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
W_p	Watt peak
W	Watt
mW	Mega watt
kW	Kilo watt
DC	Doğru akım
R	Korelasyon katsayısı
R^2	Korelasyon katsayısı karesi, r kare, determinasyon katsayısı
X	Bağımsız değişken
Y	Bağımlı değişken
β_0	Kesim noktası
β_1	Doğru eğimi
ϵ	Hata değeri
H_0	Hipotez değeri
H_1	Hipotez değeri
C	Kovaryans fonksiyonu
μ	Ortalama fonksiyon
y_i	Gerçek değer
$\hat{y}_i$	Tahmin edilen değer
x_i	Tahmin edilen değer
$\hat{y}$	Ortalama gerçek değer

Kısaltmalar	Açıklama
PV	Photovoltaik, fotovoltaik
Max	Maksimum
vb.	Ve benzeri
STK	Standart test koşulları
PO	Performans oranı
GES	Güneş enerji santrali
MAE	Ortalama mutlak hata
MSE	Ortalama kare hatası
RMSE	Kök ortalama kare hatası
GP	Gauss süreci
GSR	Gauss süreç regresyonu
DR	Doğrusal regresyon
KAR	Karar ağaçları regresyonu
ÜAHO	Üstel ağırlık hareketli ortalama
ÜAHOG	Ağırlık hareketli ortalama bazlı gauss dağılım
YSA	Yapay sinir ağları
SVR	Support vector regression (destek vektör regresyonu)
UÖM	Uç öğrenme makinesi

1. GİRİŞ

İnsanoğlu; teknolojinin ve yaşam standartlarının gelişmesi ve değişmesiyle gün geçtikçe artan gereksinimlerini karşılamak için her türlü enerjiye ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaçları için gerekli olan enerjiyi farklı yöntemlerle karşılamayı amaçlamakta ve her geçen gün farklı ve yararlı kaynaklar bulma çabalarını sürdürmektedir. Bu çabanın insanoğlunu olumlu yönde etkilediğini söylemek mümkünken, çevre ve doğal yaşam alanları açısından ele alındığında atık ve salınımlardan kaynaklı bir risk oluşturduğunu da göz ardı etmemek gerekmektedir. Enerji ihtiyacını karşılamak için insanoğlunun başvurduğu enerji rezervlerinin başında fosil yakıtlar gelmektedir.

Günümüz dünyası, alışlagelmiş olarak adlandırılan konvansiyonel enerji kaynaklarının giderek azalması ve devamlılığının olmamasından dolayı büyük bir krizle baş başadır. Sözü geçen bu enerji kaynaklarının kıt kaynaklar olmasının yanı sıra çevre kirliliğine de büyük ölçüde sebep olan unsurlar arasındaki yerini alması kaçınılmaz bir gerçektir. Bu kaynakların yoğun olarak kullanılmasıyla birlikte küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının salınımı da artmaktadır.

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar ve konvansiyonel kaynakların sürdürülebilir olmamaları nedeniyle doğal enerji kaynaklarına yönelim hızla artmaktadır. Bundan dolayı insanoğlu güneş, rüzgâr, su vb. enerji potansiyellerinden faydalanarak enerji kaynağına doğal yolla erişim imkânı bulmakta ve çevreye zarar vermeden sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu uygulamalarla yüksek enerji maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır.

İnsanların; temiz çevre, doğal enerji potansiyellerinden faydalanma gücü, atık ve kirliliğin önlenmesi adına başvurduğu en önemli alternatif doğal kaynaklardan birisi şüphesiz güneştir. Eski dönemlerde sıcak su temini, buhar elde etme, ısıtma ve soğutma vb. amaçlarla faydalanılan güneş enerjisinden günümüzde doğrudan elektrik üretimi elde etme amacıyla da faydalanılmaktadır.

Güneş; dünyayı çepeçevre saran, yaydığı enerjiyle birçok gereksinimi karşılayabilen büyük bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelinden faydalanabilmek için güneş salınımı çok olan

bölgelerde santraller kurularak ihtiyaçları doğal yolla az maliyetle karşılamak amaçlanmaktadır.

Diğer birçok ülkede de olduğu gibi ülkemizin sahip olduğu enerji potansiyellerinden faydalanabilmek adına yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumlarına destek sağlanmakta ve gerekli araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde kalkınma ajansları, KOSGEB vb. kurumların sunduğu projelerle ve yine aynı zamanda küçük ve orta ölçekli işletmelerin desteğiyle yenilenebilir enerji sektöründe gelişim büyük hız kazanmaktadır.

Güneş enerji santrallerinin kurulduğu bölgelerde gerek güneş salınımları gerek rüzgâr, yağış, hava kirliliği, güneş radyasyonu vb. iklimsel etkiler sebebiyle santral verimlilikleri değişiklik gösterebilmektedir. Güneş enerji santralleri kurulurken iklimsel durumlar göz ardı edilmemeli; santraller, çevre etkileri de dikkate alınarak uygun bir alana kurulmalıdır. Güneş enerji santrallerinin verimliliğini arttırmak ve maliyeti azaltmak maksadıyla panel teknolojisinin geliştirilmesi, uygun lokasyonların belirlenmesi ve iklim koşullarının analiz edilmesi noktasında birçok çalışma yapılmaktadır.

Bilgi teknolojileri ve yapay zeka alanında yaşanan baş döndürücü gelişmeler enerji üretimi alanında etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İklim verileri analiz edilerek ilgili coğrafi bölgenin enerji potansiyelinin belirlenmesinden, uygun panel tipinin seçilmesine kadar birçok aşamada bu gelişmelerden yararlanılmaktadır. Arıza durumlarının ya da panel kirliliği gibi üretimi etkileyebilecek olumsuz koşulların tespitinde de makine öğrenmesi yöntemleri devreye sokulmaktadır. Bu sayede etkin bir şekilde santralin izlenmesi ve kontrol edilmesi mümkün olmaktadır.

Bu tezde temel iklim parametrelerinin, güneş enerji santrallerinin üretim potansiyeli üzerindeki etkileri incelenmektedir. Farklı regresyon yöntemleri ile hava sıcaklığı, rüzgâr yönü, hızı ve hamlesi, güneş radyasyonu, basınç ve nem gibi iklimsel veriler kullanılarak çıkış gücünün tahmin edilmesini sağlayan sistemler oluşturulmuştur. Bu iklim verilerinin güneş enerji santrallerinin performansları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu olan 200kW'lık güneş enerji santraline aittir. Evirici çıkışları ve iklim verileri bir ölçüm istasyonu ile toplanmıştır. Bağımsız iklim değişkenlerinden çıkış gücünü tahmin etmek için birçok yöntem kullanılmış, bu yöntemlerin tahminleme başarımları karşılaştırılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ve özellikle güneş enerjisiyle ilgili temel bilgiler tezin II. Bölümünde “Genel Bilgiler” başlığıyla verilmiştir. Bu bölümde ayrıca literatürde yer alan önceki çalışmalara değinilmiştir. Materyal ve Metot bölümünde tezde kullanılan veriler hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu veriler için gerçekleştirilen ön işlemler açıklanmıştır. İklim verilerinden çıkış gücü tahmini yapmak için kullanılan yöntemler ve araçlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tahmin başarımlar ölçütleri yine bu bölümde anlatılmıştır. Bulgular bölümünde regresyon yöntemlerinin başarımları tablolar ve görseller halinde verilerek açıklanmıştır. Sonuç ve Öneriler kısmında çalışmaların sonuçları verilmiştir. Bu alanda yapılacak olan araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.



2. GENEL BİLGİLER

Fizik biliminde doğrudan gözlenemeyen bir nicelik olarak değerlendirilen enerji; genel anlamda bir fiziksel sistemin başka bir sistem üzerinde iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (White, 1999). Enerji, doğada doğal yollarla veya yapay yollarla oluşturulup çeşitli yöntem ve tekniklerle farklı formlara dönüştürülebilen ısı, ışık vb. biçimde ortaya çıkan bir güçtür. Bu güçten en iyi verimi elde etmek ve gereksinimleri karşılamak adına birçok enerji kaynağı işlenmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

Çevre kirliliği, küresel ısınma ve bunlara bağlı olarak doğal kaynaklardaki azalış, insanoğlunu enerji kaynağı bulma çabasına yönlendirmiştir. Gün geçtikçe artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte enerji tüketimi artmış ve gereksinimleri karşılamak adına enerji üretimi hızlanmıştır.

Günümüzde enerji elde etmek adına kullanılan kömür, odun, doğalgaz vb. fosil rezervlerin yeterli olmayışı, çevreye verdikleri olumsuz etkiler sebebiyle insanoğlu, potansiyeli yüksek olan alternatif enerji kaynaklarının arayışına girmişlerdir. Bu arayışlar sonucunda insanoğlu; çevreye duyarlı, sınırsız ve doğal potansiyelleri olan yenilenebilir enerji kaynakları ile verimli enerji üretimi yoluna gitmişlerdir.

Bu bölümde enerji, enerji kaynakları, güneş enerjisi ve sistemleri, fotovoltaik sistemler, on-grid ve off-grid fotovoltaik sistemler, iklim etkileri ve santral performanslarının tahminlendiği çalışmalara yer verilmiştir.

2. 1. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, her türlü gereksinimi karşılamak üzere çeşitli yöntem ve tekniklerle enerji potansiyelinden faydalanmaktadır. Farklı formlarda enerji bulunduğu için enerji kaynakları da çeşitlilik göstermektedir.

Yaygın olarak sınıflandırıldığında enerji kaynakları; sürdürülebilirlik, dönüştürülebilirlik, yeraltı-yerüstü kaynaklı, organik-inorganik ve fiziksel hallerine göre ele alınmaktadır. Sürdürülebilirlik (tükenebilirlik) durumlarına göre kaynaklar yenilenebilir (alternatif) ve yenilenemeyen (fosil, konvansiyonel, geleneksel); dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve

ikincil; kaynaklarına göre yeraltı ve yerüstü; kökenlerine göre organik-inorganik; fiziksel hallerine göre ise katı, sıvı ve gaz enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Enerji kaynaklarının sadeleşmiş sınıflandırması Çizelge 2.1’de gösterilmektedir (Eskin, 2018).

Çizelge 2.1. Enerji kaynakları

KULLANIŞLARINA GÖRE	DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİRLİKLERİNE GÖRE
Yenilemez (Tükenir)	Birincil (Primer)
a) Fosil Kaynaklı – Kömür – Petrol – Doğalgaz b) Çekirdek Kaynaklı – Uranyum – Toryum	– Kömür – Petrol – Doğalgaz – Nükleer – Biyokütle – Hidrolik – Güneş – Rüzgar – Dalga, Gel-Git
Yenilenebilir (Tükenmez)	İkincil (Sekonder)
– Hidrolik – Güneş – Biyokütle – Rüzgar – Jeotermal – Dalga, Gel-Git – Hidrojen	– Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin – İkincil Kömür – Kok, Petrokok, – Hava Gazı – Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Bu sınıflandırmaya göre, sürekli kullanım imkanı sağlayan, tükenmeyen ve doğal oluşumları açısından ele alındığında enerji kaynakları içinde en kullanışlı olanı şüphesiz yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında mevcut enerji potansiyelinden doğrudan faydalandığı ve aşırı tepkimelere sokulmadığı için çevresel etkileri oldukça azdır. Teknik ve ekonomik sorunların çözüme kavuşması halinde verimlilik açısından kullanılacak en etkin kaynak olarak yenilenebilir enerji kaynağı geleceğin en önemli kaynağı olarak gösterilmektedir.

Enerjinin, hangi kaynaktan geldiğine bakılmaksızın çevrede yarattığı olumlu ya da olumsuz mutlaka bir etkisi vardır. Çeşitli yöntemler kullanılarak üretim sürecine destek sunulmakta, ancak çoğu zaman çevreye verdiği zararlı etkiler göz ardı edilmektedir. Önemli olan çevreye kalıcı zararlar vermeden ekolojik dengenin korunmasına fayda sağlaması ve tüm gereksinimlere cevap verecek düzeyde verimli enerji üretilmesidir. Bu şekilde gelecek

nesillere sağlıklı bir toplum bırakmak maksadıyla doğal enerji kaynaklarından olabildiğince faydalanılacaktır.

Isınma, ısıtma, soğutma, sıcak su temini vb. ihtiyaçlarımız için kullanma gereksinimi duyduğumuz enerji günlük yaşantımızda kullandığımız birçok cihaz için gereklidir. Bu sebeple de enerji elde edebilmek için birçok kaynak kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları kendi düzeni içinde tükenme tehlikesi olmayan ve kendini sık sık yenileyebilen kaynaklardır. Fosil yakıt rezervlerinin çevreye verdiği zararlar, hızla tükenmesi ve dışarıya bağımlı olması gibi sebeplerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Başlıca alternatif enerji kaynakları Çizelge 2.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Alternatif enerji kaynakları

Güneş Enerjisi	Jeotermal Enerjisi
Hidrolik (Hidroelektrik) Enerjisi	Rüzgar Enerjisi
Biyokütle Enerjisi	Dalga Enerjisi
Hidrojen Enerjisi	Gelgit Enerjisi
Piezoelektrik Enerjisi	

Çevre dostu teknolojilerle birincil enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını ve kullanılırken de atıklardan kaynaklı kirliliğin yok edilmesini amaçlayan yenilenebilir enerji kaynakları, ekonomik ve sosyal anlamda kalkınmaya katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda teşvik, yatırım desteği, yasal düzenlemeler gibi uygulamalarla yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Özellikle bu anlamda toplum bilinci geliştirilerek toplumun yenilenebilir enerji kaynaklarından nasıl yararlanabileceği, bu tür kaynaklardan üretilen enerjinin kendilerine ne gibi faydalar sağlayacağı bilincinin oluşturulması da bu anlamda önemlidir.

2. 2. Güneş Enerjisi ve Güneş Enerji Sistemleri

Eski dönemlerde ısıtma ve sıcak su temini gibi uygulamalarda kullanılan güneş enerjisi, günümüzde çeşitli sistem ve yöntemlerle doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülen ve birçok gereksinimi karşılayacak güce ve öneme sahip bir kaynak haline gelmiştir.

Günümüzde güneş enerjisinden doğrudan ısı, elektrik ve hidrojen vb. enerji türleri elde edilmektedir. Yenilenebilir (alternatif) enerji kaynakları açısından güneş enerjisi değerlendirildiğinde;

- Çevreye zarar verici herhangi bir atık bırakmaz.
- Giderleri oldukça azdır.
- Tükenmeyen ve bol bulunan bir potansiyele sahiptir.
- İhtiyaç duyulması halinde hemen hemen her uygulamada rahatlıkla kullanılabilir.
- Ekonomik piyasa ve bundan kaynaklı yaşanan değişikliklere bağlı kalmaz.

Ancak; bu olumlu yönlerinin dışında, gece ve kış aylarında güneş ışınımının az olduğu zaman dilimlerinde enerji ihtiyacı doğuracağından kesikli bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra panellerden istenilen verimin alınamaması ve fiziksel olarak panellerin kurulacağı alanların yüksek üretim düzeyi için geniş alanlar gerektirmesi dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneş ışınlarıyla gelen enerjiden yararlanmak ve yenilenebilir enerji kaynağına dönüştürmek için güneş santralleri, kollektörleri, ve pilleri (fotovoltaik piller) gibi geliştirilen teknolojiler vasıtasıyla, her türlü enerjiye dolaylı ya da doğrudan dönüşüm yapılabilmektedir. Güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılan güneş santralleri, güneş panelleri ve güneş pilleri gibi teknolojik yapıların kurulumu ya da konumu da verim elde etmek için büyük öneme sahiptir. Bu sebeple güneş santralleri kurulurken panellerin kurulacağı alanın güneş ışınımından en üst düzeyde faydalanabilecek şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Güneş enerji santrallerinin fotovoltaik ve termal sistem olarak iki farklı yapı sistemi vardır. Fotovoltaik sistemlerde, güneşten gelen ışınım, paneller vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu yolla dönüştürülen enerji, evirici ile kullanıma uygun hale getirilir. Termal sistemlerde ise güneş ışınları belli bir noktaya iletilen sıvı yardımıyla ısıtılmakta, buhar basıncı ile ısıtılan bu sıvı vasıtası ile mekanik enerji kinetik enerjiye çevrilmektedir.

Işık anlamına gelen Photo ve elektrik anlamına gelen Voltaic kelimelerinin birleşiminden oluşan PhotoVoltaic (Fotovoltaik-PV) sistemler, güneş ışığının güneş hücreleri vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmesi amacıyla kullanır. Fotovoltaik etki; iki farklı malzemenin güneş ışınımına maruz kalıp etkileşimiyle oluşan elektriksel potansiyeldir (Altın, 2005).

Enerji kaynağından (Güneş ışığı) güneş pilleri ile elektrik elde etme yöntemi olarak da adlandırılan PV sistemler az miktarda ışık yardımıyla büyük potansiyelde elektrik üretebilir. Hücreler vasıtasıyla doğru akım (DC) elektrik üreten fotovoltaik sistemlerde güneşin doğal potansiyeli kullanılarak herhangi bir hava kirliliğine de sebebiyet verilmemektedir.

PV sistemler depolama ve şebeke bağlantı durumuna göre Off-Grid ve On-Grid Fotovoltaik sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

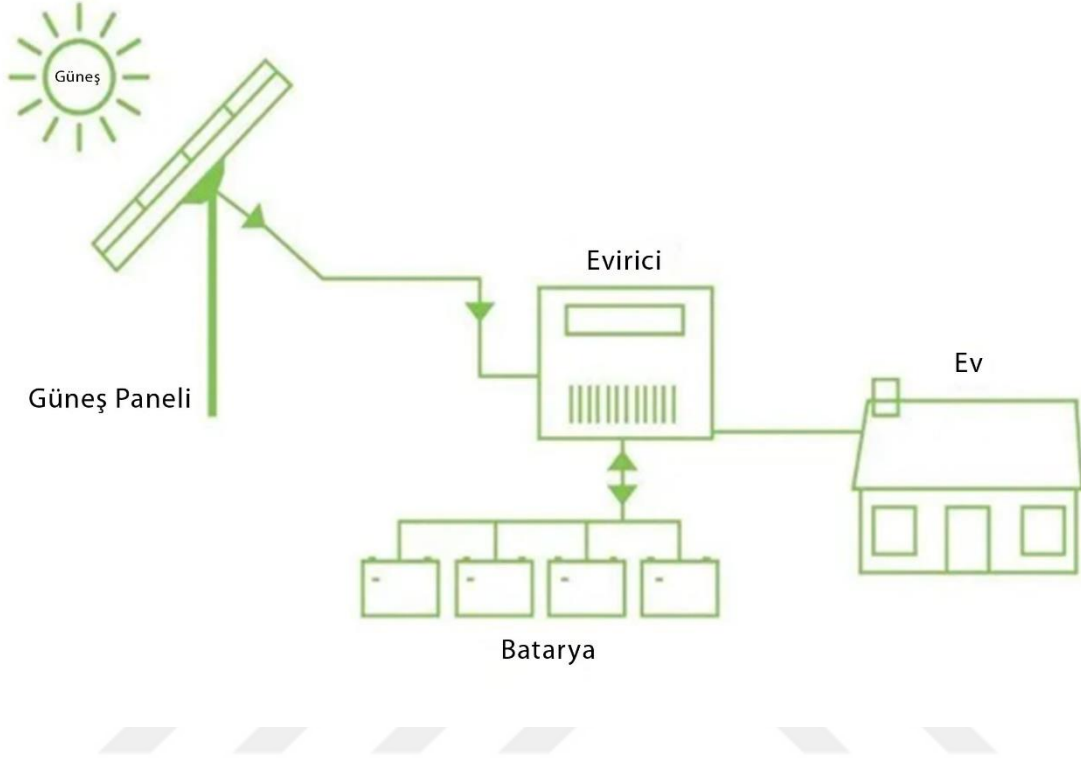
Off-grid fotovoltaik sistemlerde şebekeden ayrı kurulan güneş paneli vasıtasıyla elde edilen elektrik depolanıp elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemler şebekenin bulunmadığı yerlerde elektrik enerjisi üretimine destek olabilmek adına kullanılmaktadır (Küçük, 2019). Enerji ihtiyacına göre bu sistemlerin şebeke olmayan bölgelerde kurulumu artış göstermektedir. Ancak enerji ihtiyacının bu sistemlerle karşılanamaması halinde şebeke bağlantılı On-Grid fotovoltaik sistemler devreye sokulmaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılanması ve enerji verimliliğinin artırılabilmesi için yeterli akü kapasitesi belirlenerek sistem düzenlemesi yapılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin depolanması amacıyla kullanılan şarj kontrol cihazı vasıtasıyla depolama akülere aktararak yapılmakta ve depolanan enerji eviriciler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Atalay, Yorgun ve Erdem, 2019).

Şebekenin olmadığı durumlarda enerji ihtiyacının karşılanması adına ekonomik bir çözüm olarak gösterilen bu sistemlerde yakıt maliyetinin olmayışı, kurulum süresinin kısa oluşu en büyük avantaj olarak gösterilmektedir.

Off grid fotovoltaik sistemlerde enerji depolanmasından yüksek verim elde edebilmek için kullanılan akünün kalitesi önemlidir. Bunun için mutlaka şarj-deşarj verimi yüksek olan, uzun ömürlü ve aşırı sıcaklığa dayanıklı aküler tercih edilmelidir.

Off grid PV sistemler; güneş paneli, akü (batarya) ve evirici gibi temel parçalardan oluşmaktadır. Bu parçalar Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



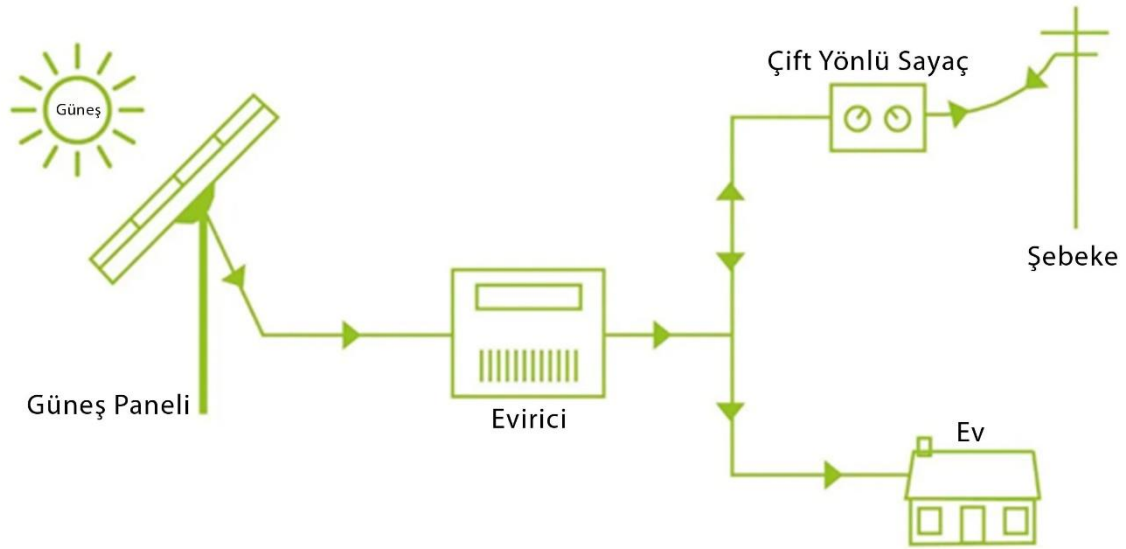
Şekil 2.1. Off-grid fotovoltaik sistemler (Elseroof, b.t)

On-Grid (şebeke bağlantılı) fotovoltaik sistemlerde ise paneller vasıtasıyla üretilen doğru akım, tek faz ya da üç faz dönüştürücü kullanılarak evirici yardımıyla alternatif akıma dönüştürülmekte ve şebekeye aktarılmaktadır. Aynı zamanda çift yönlü sayaçlar kullanılarak kullanılmayan enerjinin fazlası şebekeye verilmektedir. Bu sistemler büyüklüğüne bakılmaksızın kurulmuş santral sistemleridir.

On – Grid PV sistemlerde elektrik hattına aktarım yapılabilmesi için panellerden üretilen elektrik enerjisinin şebekeye bağlı olan eviricilere gelmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Güneş panelinden üretilen elektrik yük için kullanılırken, fazla elektrik şebekeye aktarılmaktadır (Atalay vd., 2019).

On-Grid fotovoltaik sistemlerde batarya (akü) ya da şarj kontrolünü sağlayacak cihazlara ihtiyaç duyulmaması sebebiyle cihaz masrafları en aza indirgenmiş olmaktadır (Çalıköğlu, Özdemir ve Uçar, 2011). Ancak bundan daha büyük avantajı ise üretilen enerjinin herhangi

bir depolanmaya ihtiyaç duyulmadan kullanıma elverişli hale getirilmesidir. Bu sistemler; evirici, güneş panelleri, veri kaydedici cihaz, çift yönlü sayaçlar gibi Şekil 2.2’de gösterilen parçalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.2. On-grid fotovoltaik sistemler (Elseroof, b.t)

Bu sistemlerde, şebekenin kullanılacak PV sistemiyle bağlantısının uyum içinde olması gerekmektedir. Şebekeye ek güç desteği sağlanmak istendiğinde sistemin güç kalitesi dikkate alındığında; harmonik dalgalanma, kısa devre kapasitesi, frekans değişimi, gerilim dengesizliği gibi birtakım olumsuz durumla karşılaşılabilir (Çalikoğlu vd., 2011).

Şebekeden yüke elektrik aktarımı olduğu için hava kapalı olup yeterli güneş ışığı alınmadığında ya da elde edilen enerjiden düşük verim alındığında yine de elektrik ihtiyacı karşılanmış olur. Ancak, şebeke kaynaklı bir sorun yaşanırsa aktarım yapılamayacağından evirici kendini kapatır ve elektrik kesintisi yaşanır.

PV sistemlerinin en temel parçası olan güneş panelleri, yarı iletken malzemelerden yapılmış hücreler vasıtasıyla elektriğin üretilmesini sağlamaktadırlar. Monokristal, polikristal, thinfilm vb. yapıda farklı güç kapasitelerine sahip güneş panelleri bulunmaktadır ve güneş hücre alanlarına ve diziliş şekillerine göre çeşitlenmektedirler. Şekil 2.3’te güneş paneli örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Güneş panelleri (Biçen, 2018)

PV sistemlerde güneş pilleri paralel veya seri olarak bağlanmaktadır. Voltaj sabitlenip akım ikiye katlanmak istendiğinde paralel bağlantı; tam tersi durumda yani akım sabitlenip voltaj ikiye katlanmak istendiğinde ise seri bağlantı yapılır. Güneş pilleri tasarlanırken sert dış ortam koşullarına dayanıklı olacak şekilde tasarlanması ve tüm bağlantıların bu ortamlardan korunması için bileşenlerin kapsüllenmesi gerekmektedir.

Fotovoltaik güç santralleri kurulum bölgesine göre; çatı tipi, bahçe, garaj gibi yerlere kurulan, geniş alan santralleri olarak adlandırılmaktadır. Çatının eğimi ve yönüne bağlı olarak montajı yapılan çatı tipi santrallerde kurulum sabit konumda yapıldığı için getirisi düşük olmaktadır. Bu sistemlerde verimi artırmak için panellerin temiz tutulması dışında farklı bir işlem yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Hareketli düzenekler üzerine yerleştirilen panellerin bahçe, garaj gibi yerlere kurulumuyla oluşturulan santrallerden manuel veya otomatik yönlendirmelerle yüksek verimli enerji elde etmek mümkündür. Tarla, otlak, yayla gibi geniş alanlara kurulumu yapılan geniş alan santralleri ise yüksek boyutlu santrallerdir. En yüksek verimin elde edilebilmesi için, güneşin yıllık olarak en etkili olduğu yerlerin tespiti yapılmalıdır.

2. 3. Güneş Enerjisi Santrallerinde İklim Etkisi

Güneş enerji santrallerinin kurulmasındaki en önemli etken şüphesiz mümkün olan en yüksek verimle talebe yanıt verebilecek güneş enerji potansiyeline sahip olmaktır. Güneş

enerji santrallerinde (GES) kurulacak panellerin mutlaka iyi konumlandırılması gerekmektedir. Güneş panellerinden en yüksek verimi en iyi çıkış gücünü elde edebilmek için iklim parametrelerinin bölgesel etkileri iyi bilinmeli ona göre gerekli tedbirler alınmalıdır.

Birçok çalışmada; hava sıcaklığı, rüzgâr ve hızı, güneş radyasyonu, hava kirliliği, toz vb. etmenler, güneş enerji sistemlerinin verimini etkileyebilecek en önemli iklimsel parametreler olarak ele alınmaktadır.

Güneş ve rüzgârdan aynı oranda faydalanmak her daim mümkün olamamaktadır. Bu nedenle güneş ışıınımlarının etkisinin yüksek olduğu durumlarda güneş enerjisinden, rüzgârın etkisinin verimli olduğu düşünülen durumlarda ise rüzgâr enerjisinden faydalanarak güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin uyumlu bir şekilde elektrik üretmesini sağlayan hibrit sistemler tasarlanmaktadır.

Coğrafi etkenler ve özellikle çevresel ve iklimsel engeller, rüzgâr – güneş sistemlerinden alınan ölçüm sonuçlarının ve bu sonuçlardan alınan verilerin değerlendirilmesinde önemli paya sahiptir. Yapılan araştırmalarda rüzgâr ve güneşin birbirlerini tamamlayıcı yapıda olması sebebiyle güneş paneli ile rüzgâr türbininin birlikte kullanımının enerji üretiminde büyük ölçüde kararlı olduğu tespit edilmiştir.

Sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde panellerde meydana gelen ısı artışı sebebiyle panellerinin soğutulmaya ya da soğuk tutulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple rüzgarın etkisinden faydalanılarak; panellerin soğutulması, böylelikle de panel ve enerji sistemlerinin iç dirençlerinde artışa sebep verecek her türlü sorunun çözüme kavuşması sağlanmakta ve amaçlanmaktadır. Rüzgârın bu panel soğutucu etkisine bağlı olarak santrallerden daha yüksek verimli enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Rüzgârın panel ya da sistemlerde oluşan ısı artışını engellemedeki etkisinin yanı sıra panellerde oluşacak ve cihazların çalışma kapasitesini engelleyecek toz, kalıntı gibi birtakım kirliliği de en aza indirme konusunda etkisi büyüktür. Oluşabilecek bu kirlilikleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek için panellerin su ile temizlenmesinin yanı sıra rüzgarın basınç etkisinden faydalanılarak soğutma ve yüzey temizliği işlemlerinin ikisi birlikte gerçekleştirilebilir.

Güneş enerjisinden en yüksek seviyede yarar sağlayabilmek için, üretim tesisini özellikle yüksek rakımlı açık alanlara (rüzgar alan) kurmakta fayda vardır. Güneş ışınlamalarının fazla olduğu zamanlarda güneş radyasyonu da aynı oranda artmaktadır. Bunun etkisiyle de güneş kaynağından gelen ışınlamaların enerji üretimini arttırdığı öngörülmektedir.

Güneş radyasyonu ve üretime etkisi değerlendirildiğinde verimi artıran en önemli faktörün güneş ışınlamaları olduğu söylenebilir. Ancak, ışınlamalar fazla olduğunda panel hücrelerinde sıcaklık artışı görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı sistemlerde iç direnç artışı da oluşabileceğinden enerji veriminde bir düşüş yaşanmaması için panellerin soğutulması büyük önem arz etmektedir.

Güneş panellerinin etrafında ısınan havanın yükselmesiyle atmosferde oluşacak soğuk hava rüzgârın etkisiyle havadaki nem miktarını artıracak ve yağmur yağışını tetikleyecektir. Rüzgâr türbinlerinin çalışmasıyla türbin kanatlarının atmosferdeki havayı değiştirmesi ve güneş santrallerindeki panellerin güneş ışınlamalarını emerek ısınması ile yağış miktarının artabileceği düşünüldüğünde güneşten gelecek ışınlamalardan yeterli verim elde edilmeyecektir.

2. 4. Güneş Enerji Santrallerinde Çıkış Gücü

Son dönemlerde güneş enerji santrallerindeki çıkış gücü tahmini için yapılan araştırmalar çıkış gücüne etki eden verilerin de büyük çapta incelenmesine olanak sağlamıştır. Güç tahmini için fiziksel ve istatistiksel olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Fiziksel yöntemde PV ‘den elde edilen güç ve tahmini hava durumu ya da iklimsel etkiler kullanılarak bir denklem fonksiyonu oluşturulurken, istatistiksel yöntemlerde geçmiş güç verileri kullanılarak çıkış gücü tahmini yapılmaktadır.

Çıkış gücü farklı bağımsız değişkenlere bağlı olarak ve bu değişkenlerin durağan olmamaları sebebiyle kesin bir tahmin sonucu ortaya koyamamaktadır. Ancak dinamik olan bu verilerin etkili yöntemlerle işlenmesiyle çıkış gücü tahmini gerçekleştirilerek gerekli analizler yapılabilmektedir.

Standart Test Koşulları (STK) ile güneş radyasyonunun teste tabi tutulmasıyla elde edilen verilerle güneş panellerinin kalitesi belirlenmektedir. PV sistemlerinde üretilen enerji ile

sistemsel kayıpların farkının alınmasıyla şebeke çıkış gücü elde edilir. Fotovoltaik sistem, kayıpları düşük olsa da doğru orantılı olarak yüksek Performans Oranı 'na (PO) sahip olur.

PV güç çıkışı ile sıcaklık arasında ters orantı bulunmaktadır. Modül sıcaklığı yükseldikçe PV 'den alınan güç azalmaktadır. Sıcaklıktan dolayı yaşanacak kayıplar, doğrudan hücre sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Ortam sıcaklığı yükseldiğinde hücre sıcaklığı da yükselecektir. Bunun sonucunda da üretilen enerji azalacaktır.

Kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde, üreteç çıkışlarındaki karlanmadan dolayı ve ışınlımların az olması sebebiyle kayıpların görülmesi olasıdır. Birçok araştırmanın temelinde araştırmaya konu olan değişkenler arasındaki ilişkinin tahminlemesi büyük öneme sahiptir. Bu sebeple birçok araştırmacı bilimsel çalışmalarında değişkenler arası (iki veya ikiden fazla) ilişkilerin tespiti yoluna gitmektedir. Bu yöntemle bilimsel çalışmalara konu olan araştırmaların sonuçlarını yorumlayabilmek onlar için büyük önem taşımaktadır.

2.5. Tahminleme ve İklimsel Verilerle Yapılan Çalışmalar

Son dönemlerde fotovoltaik (PV) sistemler veya farklı alanlarda tahminleme yöntemleri kullanılarak değerlendirmeye alınan birçok araştırma bulunmaktadır. Bu tür araştırmalarda, PV ya da benzer sistemlerin çıkış gücü tahmini, iklimsel parametreler baz alınarak elde edilecek verimlilik gücü tahminleri, talep tahminleri gibi birçok tahminleme; çeşitli regresyon yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmalar sonucunda tahminleme yöntemlerinde hangi yöntemin daha etkili olduğu ya da olabileceği ve yöntemlerin üstün ya da eksik yanları gibi birçok bilgiye ulaşılmış olup çevresel ve iklimsel etkilerin neler olduğu gibi konulara yer verilmiştir.

Zhu ve arkadaşlarının PV santrallerinde güç tahminine yönelik yaptıkları çalışmada değişken verilerin dinamik özelliğinden dolayı çıkış gücü tahmini geleneksel yöntem değil de dalgacık analizi yöntemi benimsenerek analiz edilmiştir. Bu çalışmada dalgacık ayrışımı ve yapay sinir ağlarını birleştiren hibrit tahmin yöntemi önerilmiştir (Zhu vd, 2015).

Skagestad tarafından gerçekleştirilen araştırmada güvenilir bir elektrik talebi tahmini için mevsimsel hava tahminleri ve bunlara bağlı veri kümeleri kullanılarak Gauss Süreç

Regresyonu ile tahminleme yapılmıştır. Yapılan araştırmada bir elektrik şirketinden alınan elektrik talebi verileriyle tahminleme yöntemleri sonucu elde edilen verilerle karşılaştırılmış Gauss süreç regresyonu tahminleme yönteminin üstün sonuçları olduğu belirlenmiştir (Skagestad, 2018).

Kılıç yaptığı çalışmada; Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Batman ve Mardin illerinin birkaç yıllık güneş radyasyonu ve güneşlenme sürelerine ait verilerle Üstel Ağırlık Hareketli Ortalama (ÜAHO) modeli ve Üstel Ağırlık Hareketli Ortalama bazlı Gauss Dağılım (ÜAHOG) yöntemlerinin ortalama mutlak yüzde hata (MAE) ve belirleme katsayısı (R^2) değerleri hesaplanarak başarıları analiz edilip karşılaştırması yapılmıştır. Her iki modelin tahmin gücünün etkili olduğu, ancak ÜAHO modelinin daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir (Kılıç, 2016).

Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün tahmini konusunda yapılan bir çalışmada Uç Öğrenme Makinesi (UÖM) algoritmasının tahmin gücü araştırılmıştır. 180 W 'lık panel kurularak, 15 dk aralıkla panel sıcaklığı ve açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve güneş ışıınımı ölçümü yapılmıştır. Giriş nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonu gibi parametreler en iyi sonucu verebilmesi için ayarlanarak, veri kümesi haline getirilmiştir. 5 katlı çapraz doğrulama ile incelenen yöntemde kullanılan MATLAB yazılımı ile çıkış gücü tahmini için UÖM algoritması dışında farklı regresyon modelleri de kullanılmıştır. Çalışma sonucunda UÖM' nin sonuçları ile diğer yöntemlere ait sonuçlar karşılaştırılmış ve UÖM yönteminin PV sistemindeki çıkış gücü tahminlemesinin çok yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. Ayrıca diğer modellere göre üstün yönleri bulunduğu için UÖM modelinin PV panellerin çıkış gücü tahminlemesinde etkili olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Toprak, 2019).

İklim parametreleri üzerine yapılan bir diğer çalışmada; çevre etkilerinin farklılık gösterdiği üç ilde (Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa) kurulan panellerde güneş ışıınımı, PV panel sıcaklığı, rüzgâr ve nem gibi iklimsel veriler ve PV panel gücü ölçülüp kaydedilmiştir. Güç tahmini için yapay sinir ağları (YSA) ve destek vektör regresyonu (support vector regression – SVR) algoritmalarından yararlanılmıştır. PV panel gücü tahmininde YSA algoritmaları ile elde edilen doğruluk oranının SVR algoritmasına göre daha yüksek olduğu ve PV panel güç tahminlemesinde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Çalışmada İçel; geliştirilecek yapay sinir ağları modelleri ile farklı lokasyonlarda kurulan fotovoltaik enerji sistemlerinin

sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş ışınımı gibi iklimsel verilerle çıkış gücü tahmininin yüksek doğrulukta olabileceğini ifade etmiştir (İçel, 2019).

Şahin çalışmasında; fotovoltaik sistemlerde enerji veriminin iklim şartlarının etkisiyle ne kadar değiştiğini, verimin artırılması için iklimsel ve çevresel etkilerin gücünü değerlendirmiştir. Çalışmada; 200 kW 'lık fotovoltaik güneş enerji sisteminden alınan ölçüm değerleriyle uzaktan izleme sistemiyle elde edilen meteorolojik iklimsel veriler karşılaştırılmış ve grafiklerle etkisi değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı değerlendirmelere göre; güneş ışınımından en iyi verimi alabilmek için PV sistemlerin kurulduğu bölgenin verime doğrudan katkısı olduğu; rüzgârın panel kirliliğine sebep olabilecek toz vs. gibi etkileri ortadan kaldırmaya ve PV panel sıcaklığını düşürmeye destek olduğu belirtilmiştir (Şahin, 2019).

Gauss süreç regresyon (GSR) modeli kullanılarak hastaya en çabuk ve doğru bir zamanda ulaşılabilmenin tahminlemesine yer verildiği çalışmada; GSR modelinin önceki bilgileri kodlayabilme özelliği açısından olumlu etkiler yarattığı ve hastaya erken müdahale imkanı sağlamada hedefe en yakın değeri verebilmesi açısından ve tahmin işlemede belirsizliklerin saptanması yönünde GSR modelinin üstünlüğüne vurgu yapılmıştır (Nabarro, Fletcher and Shawe-Taylor, 2018).

Becker ve arkadaşları; hasta ve sağlıklı bireylerin beyin anormalliğinde yaş tahmini çalışmalarında, gauss süreç regresyon (GSR) belirsizliğine dayalı olarak nöropatolojiyi değerlendirmişlerdir. Çalışmada farklı değişkenleri karşılaştırabilmek için yaş ve hacim değerleri normalize edilmiştir. GSR modelinin hastalığın doğasıyla ilgili varsayımlar yapmadığı bunun yerine hastalık değişikliklerinin sağlıklı yaşlanmadan kaynaklanan saptamalar olduğunu modellediğini belirtmişlerdir (Becker, Klein and Wachinger, 2018).

Tercan; taşımacılık türlerinin çevre kirliliğine sebep olacak etkilerinin en aza indirilmesi için yaptığı çalışmasında, sürdürülebilir ulaşımın önemine dikkat çekmiştir. Sürdürülebilir ulaşımındaki etkisi düşünüldüğünde güneş enerjisi panellerinin, yalnız enerji üretmek değil aynı zamanda yenilikçi bir sistem olduğunu vurgulamıştır. Güneş enerjisi yoluyla enerji elde eden ve bunu sistemlerinde kullanan bir taşımacılık türünün çevreye olan etkileri simülasyon verilerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Güneş enerji sisteminin kullanımıyla yakıt tasarrufu sağlandığı ve bunun yanı sıra emisyon gaz salınımının azaldığı belirlenmiştir. Elde

edilen bu verilerle, yakıt ihtiyacını güneş enerji panelinden sağlayan taşımacılık türlerinin fosil yakıt kullanımı yapan türlere oranla çevre kirliliğine sebep olan etkileri en aza indirdiği belirtilmiştir (Tercan, 2021).

Koussa ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; enerji ihtiyacına cevap verebilmek için şebeke bağlantısı olmayan Cezayir'in kırsal bir bölgesinde güneş, rüzgâr ve dizel enerji potansiyelinden faydalanabilmek için hibrit sistem üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda rüzgar hızının verimliliğe etkisinin yüksek olduğunu ve rüzgarın yoğun olduğu bölgede enerji ihtiyacına kurulacak sistemlerle destek sağlanabileceğini belirtmişlerdir (Saheb-Koussa, Haddadi and Belhamel, 2009).

Küçük ölçekli tuzdan arındırma ünitesinin ekonomik analizini değerlendirmek için araştırma yapan Gökçekuş ve arkadaşları, şebekeden bağımsız bir PV sistem ile bulgular elde etmeyi amaçlamışlardır. Suyun uzak bir bölgeden taşındığı ve iklimsel etkilerin olumlu olduğu yerlerde off-grid fotovoltaiik sistemlerin etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, küçük ölçekli tuzdan arındırma üniteleri için şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi PV sisteminin güneşten enerji üretmenin çevresel bir etkisi olmaması sebebiyle az maliyetli olduğu ve hava kirliliğine sebep olmadığını vurgulamışlardır (Gökçekuş, Kassem, Godwin and Babangida, 2022).

3. MATERYAL ve METOT

Güneş enerji santrallerinin üretim potansiyelleri üzerinde etkili olan birçok husus söz konusudur. Özellikle iklim koşulları santrallerin kurulumu aşamasında dikkate alınması gereken başlıca değişkenlerdir. Bu nedenle santrallerin kurulumu aşamasında iklim koşulları titizlikle ölçülmekte ve detaylı olarak analiz edilmektedir. Olası yatırımlar için verimlilik düzeylerine göre gerçekleştirilmelerinin faydalı olup olmayacağına karar verilmektedir. Yatırım maliyetlerinin geri dönüşü için modeller geliştirilmektedir. Bu tezde iklim verileri kullanılarak güneş enerji santralleri için çıkış gücü tahmin edilmiştir. Bu bölümde çalışmada kullanılan veri kümeleri, tahminleme yöntemleri, yöntemlerin işleyişi ve başarımlar ölçütleri vb. konularına değinilmiştir.

3.1. Veri Seti

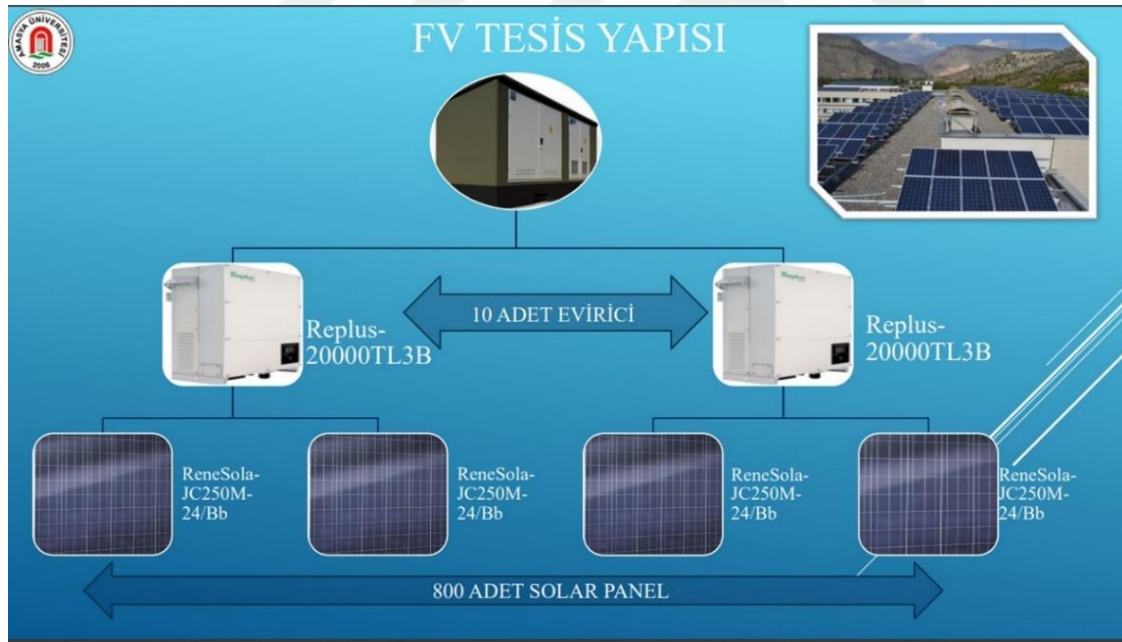
Tezde kullanılan veriler Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu olan güneş enerji santraline aittir. Güneş enerji santraline ait görseller Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmektedir. 200 kW kurulu güce sahip olan santralde 10 adet evirici ve 800 adet solar panel bulunmaktadır (Tokul, 2021) ve şebeke bağlantılı on-grid PV tesis yapısı Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3.1. İpekköy güneş enerji santrali (Tokul, 2021)



Şekil 3.2. İpekköy güneş enerji santrali (Tokul, 2021)



Şekil 3.3. İpekköy GES tesis yapısı (Tokul, 2021)

İpekköy güneş enerji santralinde birçok iklimsel veri ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Veri seti rüzgâr yönü, rüzgar hamlesi, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava basıncı, hava sıcaklığı ve nemi, çiy noktası ve son olarak batarya gerilim seviyesinden meydana gelmiştir. Bu değişkenler 5 dakikalık periyotlarda ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Tezde

gerçekleştirilen analizlerde 15 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ve bu anlarda evirici çıkışlarında okunan anlık çıkış güçleri kullanılmıştır. İklim parametreleri için yapılan ölçümlere ait örnekler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Güneş enerji santralinde 10 adet evirici bulunmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi ölçüm sonuçları eş zamanlı olarak eviricilerin çıkış güçleriyle birlikte kaydedilmiştir. Toplam 10 eviriciden çıkış gücü eksiksiz olan sekizinin aritmetik ortalaması hesaplanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Evirici çıkış güçlerine ait ölçümler Çizelge 3.2’de örneklenmiştir. 4 Ocak 2016 ve 20 Eylül 2016 tarihlerinde 15 dakikalık dönemler için ölçülen 24356 örnek makine öğrenmesi yöntemleriyle analiz edilerek çıkış gücü tahmini yapılmıştır.

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]
'01-Jan-2016 15:00:00'	22	3,5	6,5	188	-0,12	972,3	-0,85	39,0	-13,06	4,56
'01-Jan-2016 15:05:00'	34	2,5	6,5	177	-0,12	972,3	-0,82	39,1	-13,0	4,56
'01-Jan-2016 15:10:00'	22	2,8	6,5	166	-0,12	972,5	-0,76	39,0	-12,98	4,56
'01-Jan-2016 15:15:00'	34	4,3	7,8	153	-0,34	972,4	-0,96	40,5	-12,69	4,56
'01-Jan-2016 15:20:00'	34	3,3	7,1	141	-0,65	972,5	-1,04	41,2	-12,56	4,56
'01-Jan-2016 15:25:00'	351	2,8	6,3	127	-0,56	972,6	-1,24	42,2	-12,44	4,56
'01-Jan-2016 15:30:00'	14	3,8	7,3	112	-0,56	972,8	-1,41	42,6	-12,48	4,56
'01-Jan-2016 15:35:00'	3	2,3	5,0	93	-1,33	972,8	-1,38	42,7	-12,43	4,56
'01-Jan-2016 15:40:00'	6	4,5	9,6	77	-1,01	972,7	-1,61	43,8	-12,32	4,56
'01-Jan-2016 15:45:00'	351	2,5	5,3	63	-1,81	972,8	-1,64	45,1	-11,98	4,56

Çizelge 3.2. Evirici çıkış güçleri için örnek değerler

Tarih Saat	Evirici 1 kWAC	Evirici 2 kWAC	Evirici 3 kWAC	Evirici 4 kWAC	Evirici 5 kWAC	Evirici 6 kWAC	Evirici 7 kWAC	Evirici 8 kWAC	Evirici 9 kWAC	Evirici 10 kWAC
14-Apr-2016 09:00:00	11,123	10,929	10,819	10,792	11,119	11,228	11,024	10,831	10,640	10,698
14-Apr-2016 09:15:00	11,164	10,866	11,211	11,271	11,097	11,151	11,135	11,145	11,159	11,342
14-Apr-2016 09:30:00	11,846	11,565	11,804	11,914	11,906	11,924	11,861	11,773	11,761	11,891
14-Apr-2016 09:45:00	12,695	12,331	12,532	12,569	12,584	12,608	12,524	12,492	12,439	12,585
14-Apr-2016 10:00:00	13,467	13,060	13,259	13,294	13,290	13,310	13,238	13,201	13,083	13,272
14-Apr-2016 10:15:00	14,143	13,738	13,954	13,947	14,001	13,997	13,934	13,905	13,873	13,958
14-Apr-2016 10:30:00	14,731	14,323	14,655	14,520	14,621	14,657	14,570	14,521	14,493	14,522
14-Apr-2016 10:45:00	15,218	14,819	15,099	14,999	15,060	15,069	15,028	14,983	14,939	15,015
14-Apr-2016 11:00:00	15,636	15,221	15,497	15,426	15,504	15,491	15,445	15,449	15,388	15,482
14-Apr-2016 11:15:00	16,053	15,635	15,927	15,809	15,957	15,953	15,866	15,916	15,793	15,948

3.2. Regresyon Yöntemleri

Regresyon bir bağımlı değişken ve birkaç bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi belirleyen yöntemdir. Regresyon analizinde, bağımsız değişkenler değiştiğinde bağımlı değişkenin nasıl değişebileceğini anlama yönünde tahminleme yapılır.

Regresyona konu olan bağımsız değişken, herhangi bir değişkenden etkilenmeyen ancak, ilişki kurulan değeri etkileyen bir ya da birden fazla değişkendir. Bağımlı değişken ise bağımsız değişkenlerden etkilenen ve sonucu onlara göre değişiklik gösteren ve onlara bağlı olarak açıklanması beklenen değişkendir.

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin birbirleriyle etkileşimlerinin bulunması yöntemidir. Bu yöntem, değeri bilinen değişkenlerden yola çıkarak diğer değişkenler hakkında tahminleme yapılmasına olanak sağlar.

En yaygın kullanılan regresyon yöntemleri, doğrusal regresyon, polinomal regresyon, destek vektör regresyonu, karar ağacı regresyonu, rastgele orman regresyonu, gauss süreç

regresyonu olarak gösterilebilir. Bunların dışında da bilimsel araştırmalarda tahminleme amacıyla kullanılan farklı ve çok sayıda regresyon yönetimi bulunmaktadır.

Analizlerde; bağımsız değişken veya değişkenler $X, X_1, X_2, \dots$, ; bağımlı değişkenler de Y ile ifade edilir. Güneş santrallerinde hava sıcaklığının, rüzgârın, radyasyonun; çıkış gücünü ya da üretilen enerjiyi nasıl etkileyebileceği yolunda tahminleme yapılacak olursa güneş santralleri çıkışındaki güç ya da enerji, bağımlı değişken (Y); hava sıcaklığı, rüzgâr, radyasyon ise verimi etkileyen bağımsız değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. 2. 1. Doğrusal regresyon

Regresyon tekniğinin en yaygın türlerinden biri olan doğrusal regresyonda, girdi değişkenine bağlı olarak bir hedef değişkeni tahmin etme işlemi gerçekleştirilir. Aralarında sebep sonuç ilişkisi olan birden fazla değişken kullanılarak tahminleme yoluna gidilir. Bu yöntemde amaç, hedef değişken ile tahminleme arasında doğrusal bir ilişki olmasıdır.

Değişkenlerin tamamının doğrusal olduğu bu regresyon modeli, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin tahminlemesinde kullanılan yöntemdir.

Basit doğrusal regresyonda bağımsız değişken sabit tutulurken, bağımlı değişkenler farklılık gösterebilir. X 'in her bir değeri için Y bağımsız şekillerde oluşarak normal dağılım gösterir. Hataların 0 ya da 0 'a çok yakın bir değer olması beklenir ve bağımlı bağımsız değişkenlerle arasında herhangi bir ilişki yoktur.

Bunlar arasındaki ilişki matematiksel bir formülle ifade edilir. Basit doğrusal regresyonun matematiksel formülü şu şekildedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (1)$$

Bu formülde; X bağımsız değişken, Y bağımlı değişken, β_0 kesim noktası, β_1 doğrunun eğimi, ϵ hata değerlerini ifade eder.

Regresyon analizinde ϵ hata değerinin en küçük değerde tutulması önemlidir. Bunu gerçekleştirebilmek için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Bu yöntemle, hata kareler toplamının türevleri alınarak β_0 ve β_1 katsayıları tahmin edilir. Hata değeri;

$$\epsilon = (Y - Y^*) \quad (2)$$

olarak hesaplanır.

Değişkenler arasında mutlaka doğrusal bir ilişki olmalıdır. Bunun tespiti için hipotez kontrolleri yapılarak tahminlemeye gidilir.

$$H_0: \beta = 0 \quad (3)$$

$$H_1: \beta \neq 0 \quad (4)$$

Çoklu doğrusal regresyon ve basit doğrusal regresyon analizlerinin farkına değinilecek olunursa, basit regresyonda iki değişken arasındaki ilişki incelenirken, çoklu regresyonda ikiden fazla değişken arasındaki ilişki incelenir.

Çoklu regresyon analizi, bağımsız değişkenler aracılığıyla bağımlı değişken değerlerindeki değişimleri tahmin etmek ve hangi bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni daha fazla etkilediğini belirleyip ilişkilerini tespit etmek amacıyla yapılan analizlerdir.

Çoklu doğrusal regresyonun matematiksel formülü şu şekildedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (5)$$

Bu formülde; $X_1, \dots, X_k$ bağımsız değişkenler, Y bağımlı değişken, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ bilinmeyen parametreler, ϵ hata değerini ifade eder.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde değişkenler arasında ilişki katsayılarının sıfır olması ya da sıfıra çok yakın olması gerekmektedir. Aksi halde elde edilen analiz sonuçlarında tutarsızlık görülecektir.

Çoklu doğrusal regresyonda bağımsız değişken sabit tutulduğunda, bağımlı değişkenler normal dağılımda farklılık göstermektedir. Hata değerlerinin birbirinden bağımsız olması ve 0 ya da 0 'a çok yakın bir değer olması beklenir.

3. 2. 2. Karar ağacı regresyonu

Karar ağaçları, kullanılacak verilerin sınıflandırılıp, tüm elemanların ağaç dallanması şeklinde alt gruplara ayrılarak aynı özelliklere sahip olana kadar ayrıştırılmasıdır (Orhan, 2012). Ayrıştırma için ölçümlerden faydalanılır. Karar ağaçları sınıflandırmada hibrit yani farklı algoritmalar kullanılarak daha iyi sonuçlar alınabilir. Karar ağaçları güvenilir, düşük maliyetli, anlaşılması kolay bir veri madenciliği tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karar ağaçları, her seviyede bölme tekniği tanımlanarak sınıflandırma yapılacak regresyon yöntemlerinde kullanılır. Karar ve yaprak düğümleri şeklinde iki düğüm yapısıyla sınıflandırma tekniği uygulanır. Yine diğer yöntemlerde olduğu gibi test ve eğitim aşamalarından geçen karar ağaçlarında, standart sapma azaltılarak karar ağaçlarının temel çalışma şeklinin uygulandığı ideal algoritmalarından biri olan ID3 algoritması kullanılabilir.

Karar ağaçları yönteminde, eğer oluşturulan bir sınıftan tahmini değer belirleniyorsa sınıflandırma ağaçları, gerçek bir sayı tahmin değeri olarak kabul ediliyorsa da regresyon ağaçları olarak isimlendirilir.

Sınıflandırma ağacında en iyi belirleyicilik yapan nitelik bulunur. Bu nitelik ağacın dalları ya da yaprakları olarak ayrıştırılıp yeni bir değer kümesi elde edilir. Alt değerleri tanımlayan sınıfsal nitelikler kalmazsa dallanma tamamlanır aksi takdirde yeni bir nitelik aranır (Orhan, 2012). Hangi nitelik en büyük kazanca bizi ulaştırırsa o nitelik ağacın kökü olarak belirlenir.

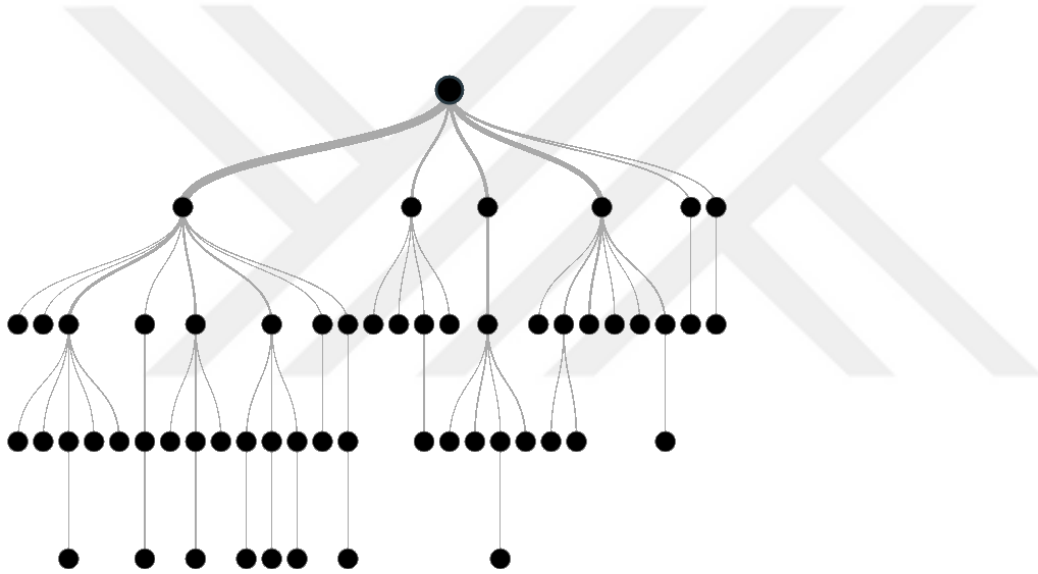
Eğer veriler sınıflara bağlı değilse ayırım, karar ağacı yapısını oluşturan düğüm noktasına göre, tahmini toplam varyansın düşürülmesi ile regresyon ağaçları oluşturulmuş olur.

Karar ağacı sınıflandırma veya regresyon mantığı, elimizdeki verileri (değişken) kök düğümden başlayarak alt dallara ayırarak kendini tekrarlayan ve hedef tahmini en iyi elde ettiğimiz düğüme kadar tahminleme işleminin uygulanmasıdır. Eğer sonuca götürmeyen ya

da tahminlemeye bir etkisi olmayan dallar varsa bu dallar budanır (çıkarılır) ve regresyon kararlı bir hale dönüştürülür.

Veri kümesinin fazla ve karmaşık olduğu durumlarda birçok alt dala ayrılması sebebiyle problem çözümlerinde dallanmaların takibi zor olabilmektedir. Bu sebeple diğer yöntemlere oranla; analizlerde ve literatürde talep tahmini için fazla yer verilmemektedir.

Sınıflandırma tekniğine uygunluğu, hızlılığı, veri analizinin değerlendirilmesinin basit oluşu ve açıklamasının kolay olması sebebiyle tercih edilen ve tahminlemede kullanılan bir yöntemdir. Şekil 3.4'te basit bir karar ağacı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Basit bir karar ağacı yapısı (Ulgen, 2017)

3. 2. 3. Gauss süreç regresyonu

Gauss Süreç Regresyonu (GSR) parametrik olmayan çok değişkenli çekirdek tabanı baz alınarak yapılan bir olasılık tekniğidir. Bu teknik belirsizlik tahminlerinde avantaj sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gauss süreçleri istatistiksel yöntemlerde, hedef değerlerinin çoklu olduğu yüksek boyutlu haritalamaların analizinde kullanılır. (Zhang and Leatham, 2018)

Gauss süreci, ön olasılık dağılımı baz alınarak son olasılık durumunu tahminler ve bu duruma bağlı olarak verilerin ön olasılık dağılımlarını tekrar yeniler. (Rasmussen and

Williams, 2005) GSR bu sürece bağlı olarak eşit dağılım gösteren bir doğrusal kombinasyona sahiptir. Yapılan birçok çalışmada GSR yöntemleri uygulama ve analizleri anlama bakımından değerlendirildiğinde diğer yöntemlere kıyasla üstünlük kazanmıştır. Bu sebeple de tahmin gücü yönünden en çok tercih edilen yöntemler arasında yerini almaktadır.

GSR yönteminde belirli bir aralık belirlenerek tahmini kovaryans dağılımı veya çekirdek yapısı ele alınmalıdır. Kovaryans birbirini etkileyen ve değişime sebep olabilecek iki rastgele farklı değişken arasındaki değişkenlik ölçütüdür. İstatistiksel incelemeler sonucunda değişkenlerin birlikte nasıl değiştikleri gözlemlenir. Makine öğreniminde yaygın olarak kare üstel kovaryans işlevi kullanılmaktadır. Çekirdek yapısı ise değişken veri kümesinin modellenmesinde kullanılan çoklu parametrelerdir. Karmaşık yapılarda basit yöntemlerle tahminleme için uygun bir şekilde modellenmemektedir.

Gauss teoreminde sonlu sayıda rastgele değişkenlerin ortalama fonksiyonu $\mu(x)$ ve kovaryans fonksiyonu $C(x, x')$ olarak ifade edildiğinde $x, x' \in X$ değerleri rastgele değişkenler olarak ifade edilir (Hong vd., 2015). Denklemler aşağıda belirtildiği gibidir.

$$f(x) \sim GP(\mu(x), C(x, x')) \quad (6)$$

$$\mu(x) = E[f(x)] \quad (7)$$

$$C(x, x') = E[(f(x) - \mu(x))(f(x') - \mu(x')))] \quad (8)$$

İki rastgele değişkenin sisteme dahil edildiğinde birlikte nasıl değiştiklerini inceleyen kovaryans fonksiyonlar, çıktı verilerinin girdi verileriyle benzerliğini hedeflemektedir. Bu sebeple mevsimsellik ve sistem özellikleri gibi bazı parametrelere bağlı olarak veri kümeleri seçilebilmektedir (Nabarro vd., 2018).

GSR ile referans veri üretimi ve regresyonun yanı sıra metodolojik yönden veri odaklı bir modelin nasıl doğrulanabileceği yönünde analizler yapılmaktadır. Bu tür araştırmalarla tahminleme yönteminde hızlı büyüme öngörülmekte ve uygulamalarda GSR yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Deringer vd., 2021).

GSR rastgele değişkenlerin herhangi bir sonlu alt koleksiyonunun çok değişkenli bir Gauss dağılımına sahip olduğu rastlantısal bir süreçtir. Fonksiyon değerlerinin dağılımını önceden tahminleyen, parametrik olmayan (non-parametric) bir regresyon modelidir (Barkan, Weill and Averbuch, 2016).

GSR ‘nin farklı kovaryans fonksiyonları vardır. Üstel, rasyonel kuadratik, matern 5/2 ve kare üstel modelleri en bilinen alt dallarıdır. Rasyonel kuadratik model genellikle çok değişkenli farklı verilerin istatistiksel analizi için kullanılır. Kare üstel modelin yorumlanması tahminlemesi yapılacak veri kümesinin az olması sebebiyle kolaydır. Üstel modelin çalışma prensibi kare üstel modelle aynıdır fakat üstel modelde, düzgün işleyen verilerin az hatayla işlenmesine rağmen süreksizliklerde aynı etkiyi bırakmadığı görölmektedir (Yergök, 2020).

3. 3. Bağımsız Değişkenler

Regresyon yöntemlerinde bağımsız değişkenler (öznitelikler) tahminleme ve ölçüm değerlerine etki edeceğinden büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada tahminleme yöntem sonuçları değerlendirilirken bağımsız değişken olarak iklimsel etkiler ele alınmıştır. Şüphesiz iklim parametreleri santral kurulumundan, üretim aşamasındaki performansına kadar her adımda verimliliğe de etki etmektedir.

Bağımsız değişken olarak ele alınan iklim parametrelerinden rüzgârın hızı, yönü ve hamlesi hem soğutucu etkisi hem de santral panellerinde oluşan aynı zamanda verimliliğe etki eden kirliliklerin ortadan kaldırılmasında büyük öneme sahiptir.

Güneş radyasyonun panel sıcaklığını artırması ve güneş ışıınımların fazla olduğu dönemlerde elde edilecek enerji durumu düşünöldüğünde PV sistemlerinde iklim koşulları, verimlilik değerlerinde farklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Havadaki nemin ve çiy miktarının yağış etkisi yaratması ve bunun sonucunda ölçüm sonuçlarında dönemsel olarak verimliliğe etkisi göz ardı edilmeyecek bir durumdur. Bundan dolayı iklimsel parametrelerin dönemlik olarak PV sistemlere etkisi ölçölmekte, sonuçlara göre santral kurulumu ve verimliliğe etki eden bu değişkenlerin etkisi düşünölerek daha yüksek enerji gücü elde etmek için gerekli çalışmalar yapılmaktadır.

Çizelge 3.3. Analizlerde kullanılan bağımsız değişkenler

No	Bağımsız değişken	No	Bağımsız değişken
1	Ay	7	Güneş Radyasyonu
2	Gün	8	Hava Basıncı
3	Saat	9	Hava Sıcaklığı
4	Rüzgar Yönü	10	Çiy Noktası
5	Rüzgar Hızı	11	Nem
6	Rüzgar Hamlesi	12	Batarya Gerilimi

Evirici çıkışı tahmin etmek için kullanılan bağımsız değişkenler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Güneş ışınlarının panellere geliş açılarının çıkış gücü üzerindeki etkisini de gözlemleyebilmek için ay, gün ve saat bilgisi bağımsız değişken olarak kullanılmış, öznitelik matrisi bu şekilde oluşturulmuştur.

3. 4. Performans Başarım Ölçütleri

Tahminleme analizlerinde şüphesiz gerçek değere yakın sonuçlar elde etmek amaçlanır. Tahminleme modellerinin en iyi performansa sahip olanını seçme sürecinde en büyük kriter şüphesiz verilerle en iyi uyumu gösteren modelin belirlenmesidir. Bu sebeple karşılaştırılmalı tahmin yöntemlerinde çeşitli istatistiksel veriler kullanılmaktadır. En küçük değeri verebilecek, sıfıra en yakın değere ulaştırabilecek başarımlar ölçütlerini bulma hedeflenmelidir (Ceyhan, b.t). Örneğin hata değerleri büyüklük açısından benzerlik gösterirse ortalama kare hatası kullanılabilir ancak, bu yöntemde hataların kareleri alındığından gerçekten sapmalar yaşanabilir. Bu sebeple ortalama mutlak hatanın da kontrolü sağlanmalıdır.

Bu bölümde tahminleme modellerinin doğruluğunun değerlendirilmesinde kullanılan bazı performans başarımlar ölçütlerine kısaca değinilmiştir.

3. 4. 1. R kare

R kare, regresyon analiz yöntemlerinde değişkenler arasında herhangi bir ilişki olup olmadığının bulunabilmesi için kullanılan başarımlar ölçütlerinden biridir. İki rastgele değişken arasında doğrusal ilişkiyi analiz etmektedir (Zou, Tuncali and Silverman, 2003).

Analize dahil edilen bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin oranı korelasyon katsayısını (R) verir. Korelasyon katsayısı 0 – 1 arasında değişen bir değerdir ve değişkenler arasında ilişki analiz edildiğinde $r + 1$ olduğunda artan, $r - 1$ olduğunda ise azalan bir ilişki vardır.

Belirlilik katsayısı olarak ifade edilen R^2 , korelasyon katsayısının karesidir. Regresyon analizinde çok fazla bağımsız değişken olması modelin eğitim verilerinde uyumluluk gösterdiğini ifade etmekte ama bu durum testte başarılı olacağı anlamına gelmemektedir. Veri noktasının fazla oluşu R karenin güvenilirliğini artırmaktadır. 1 değerine eşit olması başarımlı ölçütünün verilerle kusursuz eşleştiğini ve 1'e yaklaşması bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenlerle açıklanabilir olduğunu göstermektedir. Örneğin R^2 değeri 0,60 olarak bulunan bir yöntemde değişkenler arasındaki ilişki toplamının %60' ının açıklanabilir %40' ının açıklanamaz olduğu anlamına gelmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \quad (9)$$

Formülde; y_i gerçek değeri, x_i tahmin edilen değeri, $\hat{y}$ ise ortalama gerçek değeri ifade etmektedir (Chicco, Warrens and Jurman, 2021).

3. 4. 2. Ortalama mutlak hata

Ortalama mutlak hata (Mean absolute error (MAE)), hedef – değer değişkenleri arasındaki mutlak farkın hesaplanmasıdır. Denklemden x ve y; yöntemde kullanılan tahmin edilecek ve ölçülen değerler olarak belirlenmiş farklı değişkenlerdir.

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{n} \quad (10)$$

Formülde; y_i gerçek değeri, x_i tahmin edilen değeri; bu iki değer arasındaki mutlak farkı ise hata sonucunu ifade etmektedir. MAE ise hesaplanan hata değerlerinin toplamı alınarak başarımlı ölçütü olarak kullanılmaktadır. (Köseoğlu, 2021).

3. 4. 3. Ortalama kare hatası

Regresyon yöntemleri arasında en sık kullanılan performans ölçütlerinden biri olan ortalama kare hatası (Mean squared error -MSE); tahminlemenin gerçek değere ne kadar yaklaştığını ifade etmektedir. Birden fazla regresyon yöntemi kullanılarak en iyi sonuç karşılaştırması yapması için gerçek bir sayı üretilir. Böylelikle en uygun regresyon yönteminin seçilmesini sağlanır. Regresyon yöntemlerinde genellikle kayıp fonksiyon olarak ifade edilmektedir (Haltakov, b.t). Kök Ortalama Karekök Hatası (RMSE), ortalama kare hatası değerinin karekökünün alınmasıyla hesaplanır. MSE değeri kolayca karşılaştırılmayacak kadar büyük olduğunda yorumlamayı kolaylaştırmak için RMSE hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (11)$$

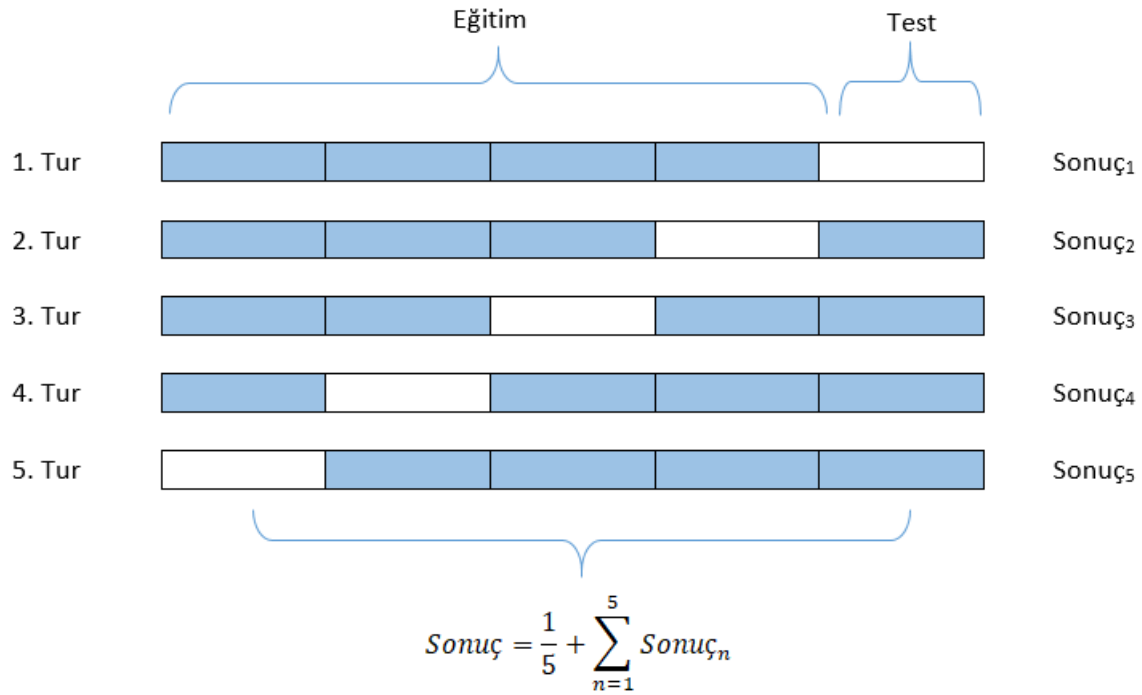
Formülde; y_i gerçek değeri, $\hat{y}_i$ tahmin edilen değeri ifade etmektedir. Bu iki değer arasındaki farkı ise hata sonucunu ifade etmektedir. Hesaplanan MSE değerinin küçük çıkması tahminlemenin gerçek değerlere yakın olduğunu; değerinin büyük çıkması ise gerçeklikten uzaklaştığını gösterir.

3. 5. Katlamalı Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama, bir tahmin modelinin performans değerlendirmesinde bağımsız veri kümesi kullanılarak genelleme yapılan istatistiksel analiz ölçümüdür. Tekrarlanan rastgele alt örnekleme doğrulaması, K-katlı çapraz doğrulama, K2 çapraz doğrulamaları gibi birçok çapraz doğrulama türü vardır (Rohani, Taki and Abdollahpour, 2018).

Katlamalı Çapraz Doğrulama (K Fold Cross Validation), veri setlerinin belirlenen k sayısı (3, 4, 5.....) kadar sınıflandırılıp verilerin eşit parçalara ayrılması yöntemidir. Basit bölme yönteminde verilere bağımlılık söz konusu olduğunda sistemde sapmalar ve hatalar ortaya çıkabilir. Oluşabilecek bu sapma ve hataları en aza indirmek ve verilere bağımlılığı azaltmak için K fold yöntemi kullanılarak veri setleri k parçaya bölünerek bir parçası test için ayrılırken geri kalan kısmı eğitim için kullanılır. Veri setleri k değeri kadar işlenir. Küçük ve orta boyutlu veri setlerinin kullanımında oldukça etkilidir.

Örneğin; 500 örnekten oluşan bir veri setinin 5-katlamalı çapraz doğrulamasında, veri kümesi 5 parçaya bölünüp her tur sonunda elde edilen sonuçların ortalaması alınarak modelin performans puanını bulunur. Şekil 3.5'te basit bir 5-katlamalı çapraz doğrulama mantığı gösterilmiştir.



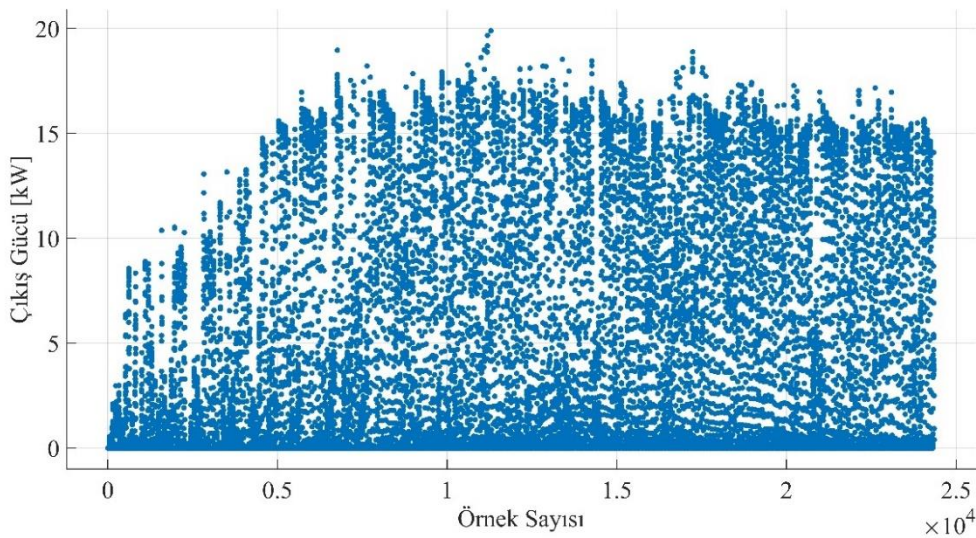
Şekil 3.5. 5-katlamalı çapraz doğrulama

K- Fold yönteminin başka bir modeline (5x2 çapraz) göre ise rastgele veri kayıtları yarıya bölünerek hesaplama yapılır. K sayısına kadar tur tekrarlanır ve bulunan sonuçlar toplanır. Bu teknikte kullanılan veri setlerinin yarısı eğitim için geri kalanı da test için ayrılır ve sonrasında tersi alınarak yöntem tamamlanır. Veri setindeki bütün örnekler 1 kez test, (k-1) kez eğitim amaçlı kullanılır.

4. BULGULAR

Bu bölümde çalışmada kullanılan tahminleme yöntemlerin 5 ve 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarına ve bu sonuçlardan elde edilen verilerin tahminleme değerlerine yer verilmiştir. Analizler Matlab 2020a versiyonunun Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Araç Kutusu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

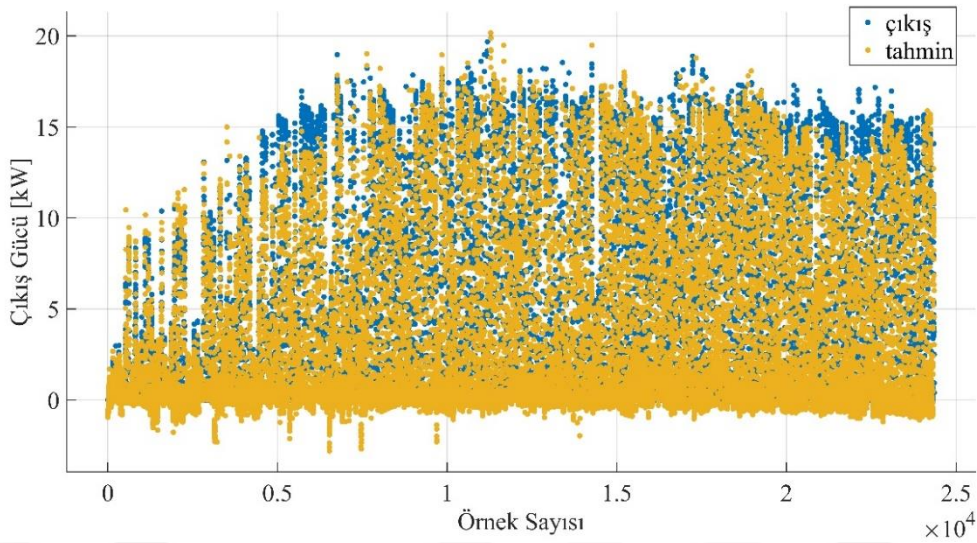
Şekil 4.1’de sekiz eviricinin anlık güç çıkışlarına ait ortalama değerler gösterilmiştir. Değerlere göre evirici çıkış gücünün 20 kW değerine ulaştığı durumlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Evirici çıkışları için çıkış güçlerinin ortalama değerleri

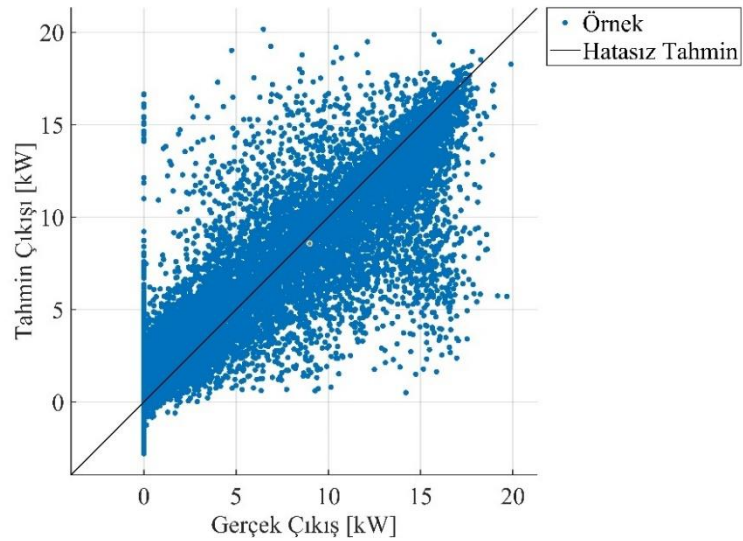
Çıkış gücü tahminlemesinde; doğrusal regresyon (DR), karar ağaçları regresyonu (KAR) ve gauss süreç regresyonu (GSR) yöntemlerinde 5 ve 10 katlı çapraz doğrulama ile sonuçlar alınarak ve çıkış gücü tahmini için gerekli veriler elde edilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

5 katlı çapraz doğrulama kullanıldığı durumda, doğrusal regresyon yöntemine ait tahmin çıktıları ve gerçek çıkış güçleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Doğrusal regresyon yöntemine ait çıkış değerleri ile gerçek değerler arasındaki farklılaşma grafikte gözlenmektedir.



Şekil 4.2. 5-katlamalı çapraz doğrulama için DR yönteminin tepkisi

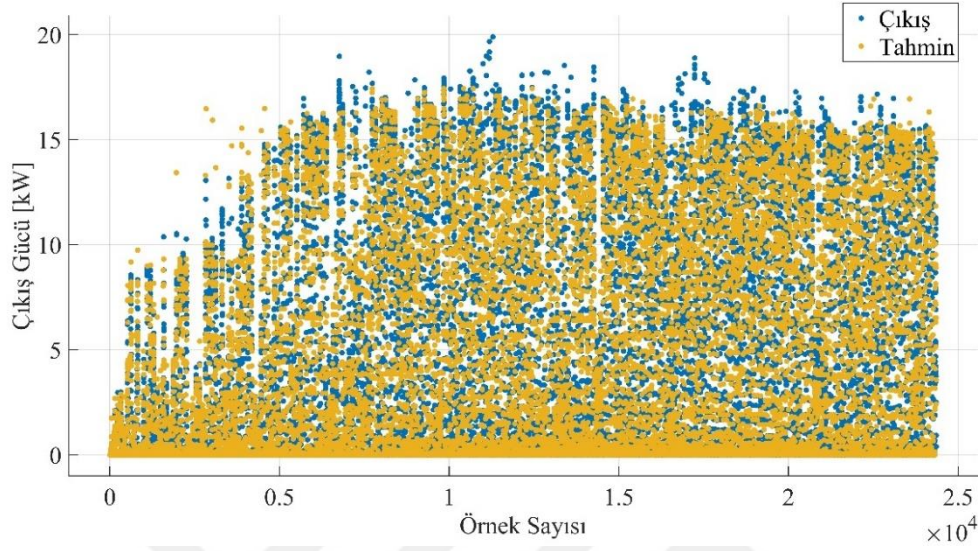
Doğrusal regresyon yöntemine ait dağılım grafiği Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Çıkışta güç elde edilemeyen durumlar için bile yöntemin yüksek çıkış değerlerine sahip tahminlerde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. 5-katlamalı çapraz doğrulama için DR dağılım grafiği

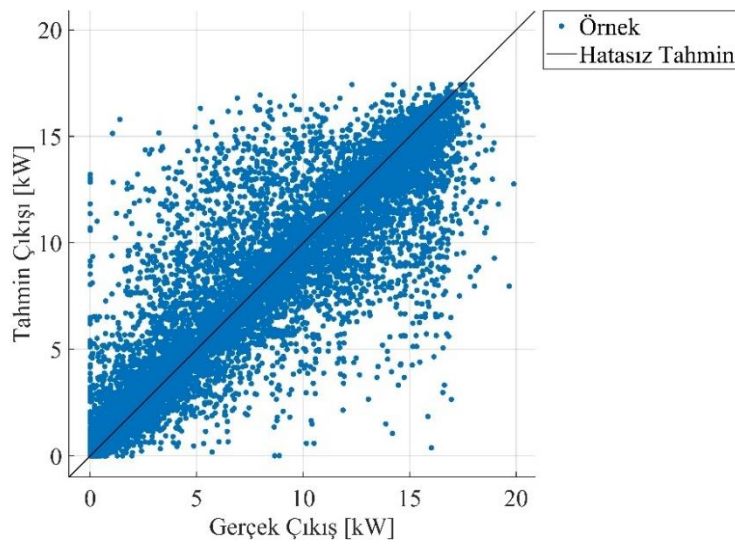
Şekil 4.4'te ise 5-katlamalı çapraz doğrulama durumunda karar ağacı regresyon yöntemine ait tahmin çıkışları ve gerçek çıkışlar gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrusal regresyon yönteminde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında çıkış ve tahmin değerlerinin

birbirine daha yakın olduğu yine belirli değer aralıklarında benzerlik sergilediği gözlemlenmiştir.

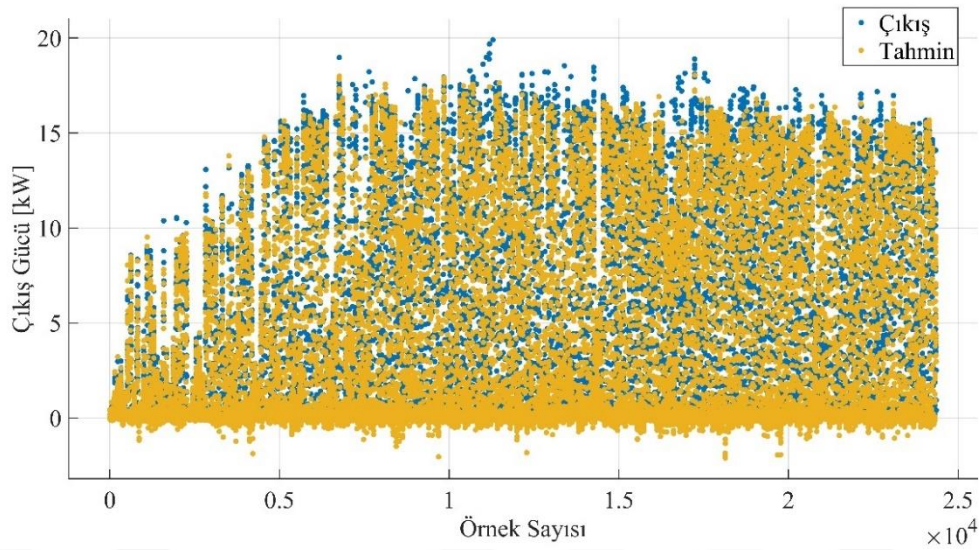


Şekil 4.4. 5-katlamalı çapraz doğrulama için KAR yönteminin tepkisi

Şekil 4.5'te 5-katlamalı çapraz doğrulama için elde edilen karar ağacı regresyonu dağılım grafiği verilmektedir. Grafiğe göre karar ağacı yöntem tahminlemesinin doğrusal regresyon yöntemine göre daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

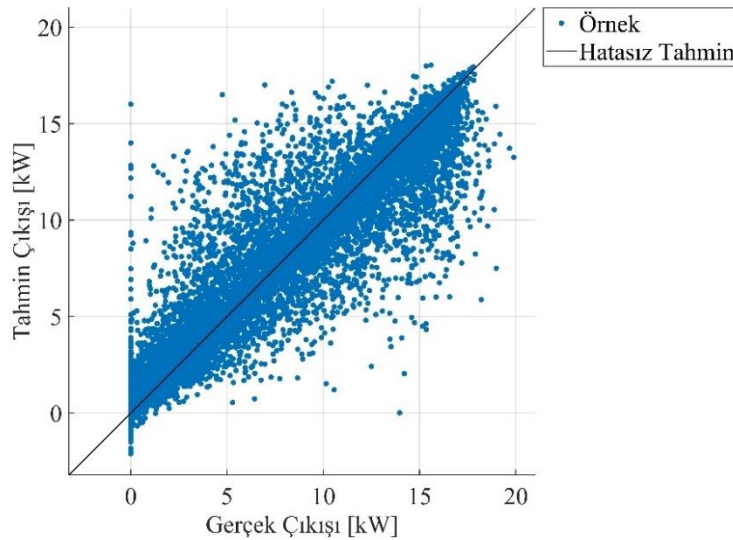


Şekil 4.5. 5-katlamalı çapraz doğrulama için KAR dağılım grafiği



Şekil 4.6. 5-katlamalı çapraz doğrulama için GSR yönteminin tepkisi

5-katlamalı çapraz doğrulama için Gauss süreç regresyonu sonucunda elde edilen tahmin çıkışları ve gerçek değerler Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrusal ve karar ağacı regresyon yöntemlerinde elde edilen verilerle karşılaştırıldığında çıkış ve tahmin değerlerinin birbirine daha yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. 5-katlamalı çapraz doğrulama için GSR dağılım grafiği

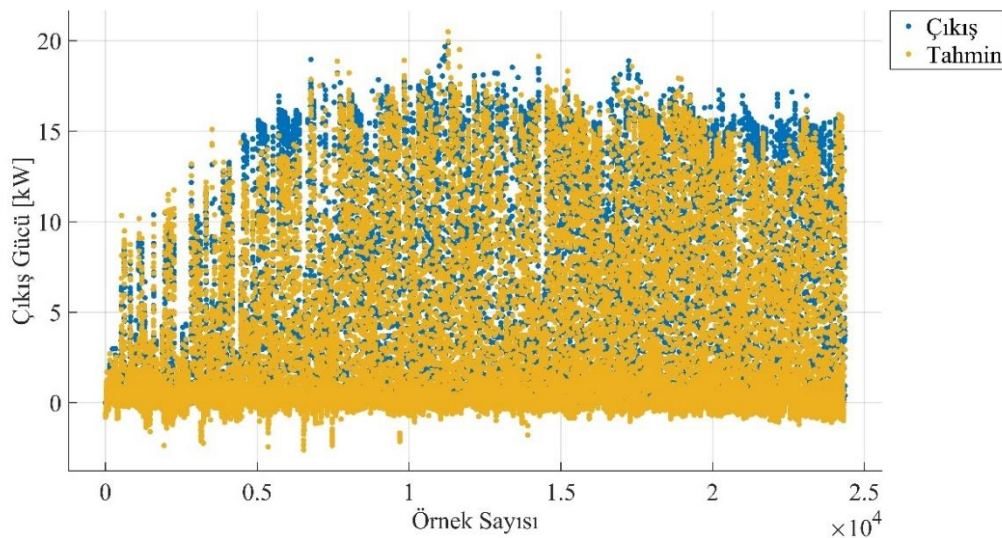
5-katlamalı çapraz doğrulama durumunda Gauss süreç regresyonu ile elde edilen dağılım grafiği Şekil 4.7’de verilmektedir. Gauss süreç regresyona ait dağılım grafiğine bakıldığında tahmin çıkışlarının diğer yöntemlere göre daha düşük hatalarda gerçekleştiği görülmektedir.

Çalışmada çıkış gücünü tahmin etmek için Doğrusal Regresyon (DR), Karar Ağacı Regresyonu (KAR) ve Gauss Süreç Regresyonu (GSR) yöntemleri kullanılmıştır. 5-katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları irdelenmiştir. Başarım ölçütü olarak korelasyon katsayısı karesi (R^2), ortalama kare hata (mean square error: MSE) ve ortalama mutlak hata (mean absolute error: MAE) değerleri kullanılmıştır. Her yöntem için elde edilen başarım ölçütleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Güneş enerji santralinin çıkış gücünün tahmininde Gauss Süreç Regresyonu yöntemi ile en iyi performans elde edilmiştir. Bu yöntem için R^2 değeri 0,93 olarak hesaplanmıştır. Ortalama kare hata 2,0342; ortalama mutlak hata 0,65605 olarak hesaplanmıştır. GSR yöntemini sırasıyla KAR ve DR yöntemleri takip etmiştir.

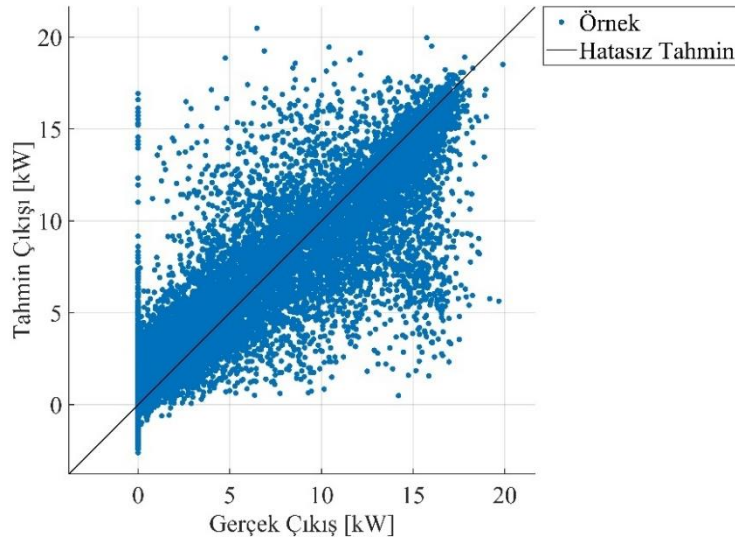
Çizelge 4.1. 5-katlamalı çapraz doğrulama için yöntem başarım ölçütleri

Yöntem	Model	R^2	MSE	MAE
DR	Etkileşimli	0,84	4,3207	1,1948
KAR	Orta Ölçekli	0,90	2,7543	0,71816
GSR	Üstel	0,93	2,0342	0,65605

5 katlı çapraz doğrulama sonrasında 10 katlı çapraz doğrulama tekniği de uygulanarak yöntemlerin başarımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Doğrusal regresyon yöntemiyle elde edilen tahmin çıkışları ve gerçek güç değerleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

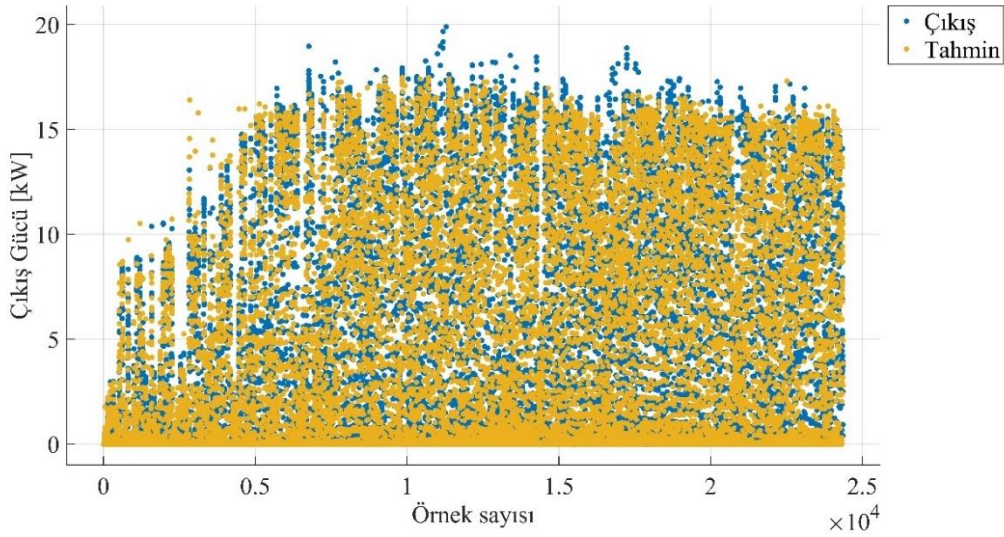


Şekil 4.8. 10-katlamalı çapraz doğrulama için DR yönteminin tepkisi



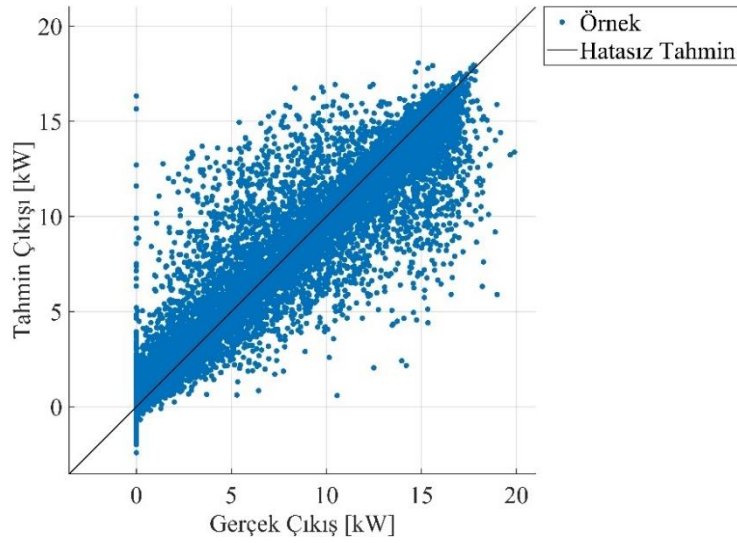
Şekil 4.9. 10-katlamalı çapraz doğrulama için DR dağılım grafiği

Tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki farklılaşma grafikten kolaylıkla gözlenebilmektedir. Benzer şekilde 10-katlamalı çapraz doğrulamayla elde edilen dağılım grafiği Şekil 4.9'da verilmektedir. Yöntem ile bu koşullar için elde edilen sonuçlar, 5 katlamalı çapraz doğrulamayla ulaşılan sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



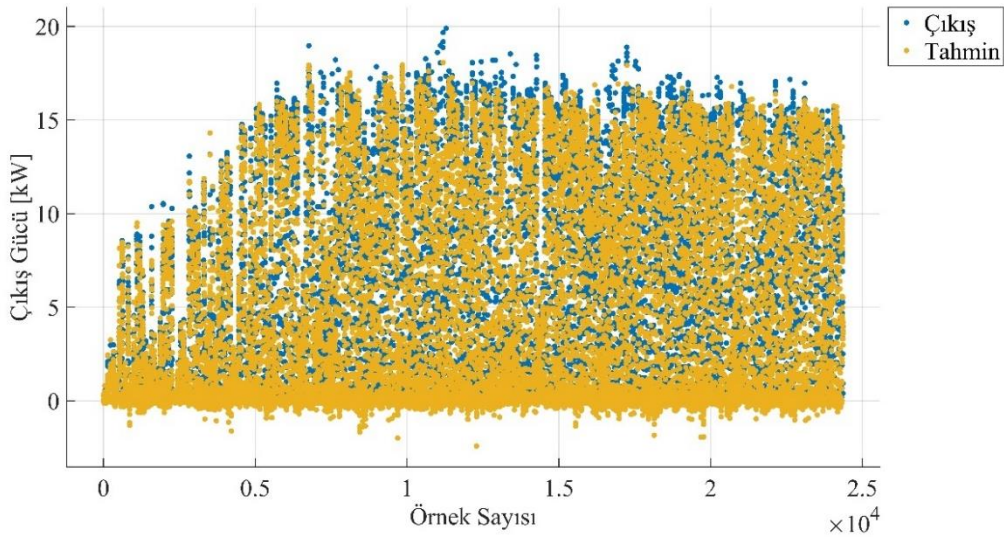
Şekil 4.10. 10-katlamalı çapraz doğrulama için KAR yönteminin tepkisi

10-katlamalı çapraz doğrulama yöntemiyle elde edilen karar ağacı regresyon yöntemine ait tahmin değerleri ve çıkış değerleri Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Sonuçlar 5-katlamalı çapraz doğrulamayla elde edilen sonuçlarla benzerdir.



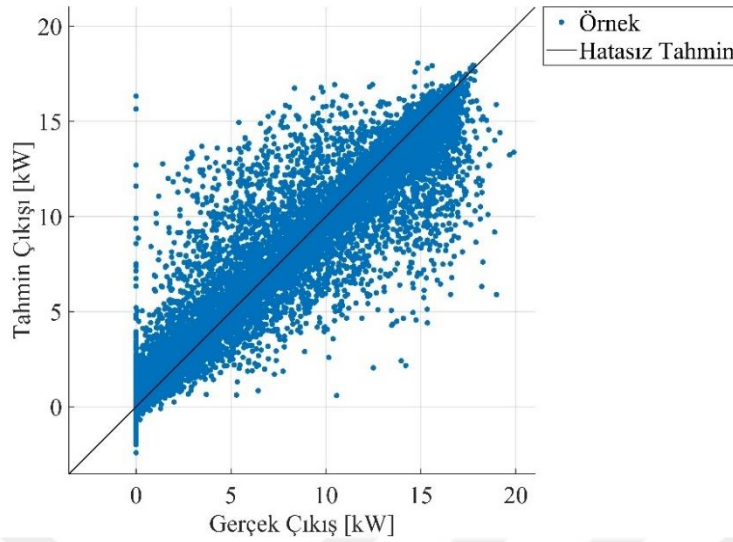
Şekil 4.11. 10-katlamalı çapraz doğrulama için KAR dağılım grafiği

Şekil 4.11’de verilen 10-katlamalı çapraz doğrulama için karar ağaçları regresyonu dağılım grafiği sonuçlarına göre karar ağaçları yöntem tahminlemesinin doğrusal regresyon yöntemine göre daha başarılı olduğu ve karar ağaçları regresyon yönteminin 5-katlamalı çapraz doğrulamadaki sonuçlarla benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.12. 10-katlamalı çapraz doğrulama için GSR yönteminin tepkesi

Şekil 4.12’de 10-katlamalı çapraz doğrulama sonucunda oluşan gauss süreç regresyonu tahmin değerleri ve gerçek çıkışlar gösterilmiştir. Diğer yöntemlere göre tahmin değerlerinin gerçek çıkışlara daha yakın olduğu ve hatanın daha düşük düzeyde kaldığı değerlendirilebilir.



Şekil 4.13. 10-katlamalı çapraz doğrulama için GSR dağılım grafiği

Şekil 4.13'te 10-katlamalı çapraz doğrulama durumunda elde edilen gauss süreç regresyon yöntemine ait dağılım grafiği verilmiştir. Gauss süreç regresyonuyla elde edilen tahmin değerlerinin diğer yöntemlere göre daha az hataya sahip olduğu grafikten görülmektedir.

10-katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Doğrusal Regresyon (DR), Karar Ağaçları Regresyonu (KAR) ve Gauss Süreç Regresyonu (GSR) yöntemleri açısından değerlendirilmiştir. Başarım ölçütü olarak korelasyon katsayısı karesi (R^2), ortalama kare hata (mean square error: MSE) ve ortalama mutlak hata (mean absolute error: MAE) değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. 10-katlamalı çapraz doğrulama için yöntem başarım ölçütleri

Yöntem	Model	R^2	MSE	MAE
DR	Etkileşimli	0,84	4,3145	1,19360
KAR	Orta Ölçekli	0,90	2,7690	0,71774
GSR	Üstel	0,93	1,9849	0,64182

Çizelge 4.2'de, her yöntem için elde edilen başarım ölçütleri verilmiştir. Güneş enerji santralinin çıkış gücünün tahmininde gauss süreç regresyonu yöntemi ile en iyi performans elde edilmiştir. Bu yöntem için R^2 değeri 0,93 olarak hesaplanmıştır. Ortalama kare hata

1,9849; ortalama mutlak hata 0,64182 olarak hesaplanmıştır. Gauss süreç regresyonu yöntemini sırasıyla regresyon karar ağaçları ve doğrusal regresyon yöntemleri takip etmiştir.

Tüm bu elde edilen verilere göre; doğrusal, karar ağaçları ve gauss süreç regresyonlarının tahminleme analizi değerlendirildiğinde en iyi başarıma Gauss regresyon yöntemiyle ulaşılmıştır. Çizelge 4.3'te sonuçların başarımlar ölçütleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar regresyonun 5 ve 10 katlamalı çapraz doğrulamada kararlılık gösterdiğini ve sonuçların birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.3. GSR başarımlar ölçütleri

GSR (Üstel)	R^2	MSE	MAE
5-katlamalı	0,93	2,0342	0,65605
10-katlamalı	0,93	1,9849	0,64182

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hem dünyada hem de ülkemizde, doğal kaynaklardan enerji üretimi yaygınlaşmakta ve günümüz itibariyle bu doğal kaynak kullanımına gereken önem verilmektedir. Bu amaçla toplumsal bilinç oluşturulmaya, kaynak kullanımına ilişkin teşvik ve yatırım desteği sunulmaya başlanmıştır. Doğal dengenin bozulması, küresel ısınma ve bunların sonucunda oluşan doğal kaynakların azalması gibi birçok nedenden dolayı ihtiyaç duyulan enerji; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla kesintisiz ve doğal yollarla karşılanmaktadır.

Yenilenebilir enerji uygulamalarına gereken önem verilip, gerekli teşvik ve yatırım desteği sağlınırsa; çevreye duyarlı enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji, gün geçtikçe gelişecek ve enerji, doğal yollarla tüm gereksinimlere cevap verecektir. Ülkemizin de bu bağlamda payına düşeni yapmasıyla hem ekonomik hem de sosyal anlamda kalkınacağı yadsınamaz bir gerçektir.

Bu alanda yapılan tüm bilimsel araştırmalar; yüksek verim elde etmede, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanmasında büyük bir role sahiptir. Yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi, uygun yöntem, teknoloji ve ekipmanın kullanılması başta olmak üzere bütün aşamalar bilimsel yaklaşımlar doğrultusunda yürütölmektedir. Bu çalışmaların ışığında, yenilenebilir enerji uygulamalarının iyi planlanması; enerji kaynaklarından en etkin şekilde faydalanabilmek açısından oldukça önemlidir.

Bu tezde güneş enerji santrallerinin üretim değeri üzerindeki iklim etkisi analiz edilmiştir. Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200 kW gücündeki güneş enerji santraline ait üretim değeri ve ölçüm istasyonu aracılığıyla toplanan iklimsel veriler irdelenmiştir.

Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak iklim verilerinden çıkış gücü tahmini yapılmıştır. Regresyon yöntemi olarak DR, KAR ve GSR yöntemleri kullanılmıştır. Yöntem ve analizlerin gerek eğitim verisine gerekse test verisine bağımlılığını en aza düşürmek amacıyla analizler çok katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada sırasıyla 5 ve 10 katlı çapraz doğrulamayla analizler tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları R kare, Ortalama Mutlak Hata ve Ortalama Kare Hatası başarımlı ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Bütün başarımlı ölçütleri için en yüksek başarımlı GSR yöntemiyle

ulaşılmıştır. Bu yöntem için 10-katlamalı çapraz doğrulama durumunda R kare, Ortalama Mutlak Hata ve Ortalama Kare Hatası başarımlı ölçütleri sırasıyla 0,93; 0,64182 ve 1,9849 olarak en iyi değerler elde edilmiştir. GSR yöntemini sırasıyla KAR ve DR yöntemleri takip etmiştir. 5 ve 10 katlamalı analizler için sonuçlar benzerlik göstermiştir. En iyi performans GSR yöntemiyle elde edilen bulgular ışığında ortalama iklim verileri için belli bir döneme ait santral üretim kapasitesinin tespiti mümkün olmaktadır.

Analizlerle öncelikle evirici çıkışındaki gücün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tahmin sonuçları kullanılarak santralin izlenmesi ve kontrol edilmesi işlemleri için de faydalı bilgiler elde edilmiştir. Çıkış verilerinde yaşanan olası dalgalanmaların arıza nedeni olması durumlarının tespitinde de bu yöntemler kullanılabilir. Tahmin sonuçlarına bağlı olarak arıza durumu veya panel kirliliği gibi istenmeyen koşullar için bir uyarı sistemi oluşturulabilir. Farklı bölgeler ya da farklı iklim koşulları için benzer analizlerin karşılaştırmalı olarak yapılması, tahmin sonuçlarının denetim maksadıyla kullanılması için sistem geliştirilmesi gelecek çalışmalar için önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkkar, M. ve Sivrikaya, O. (2020). Yıkanmış Türk Linyit Kömürlerinin Üst Isıl Değerinin Destek Vektör Regresyonu ile Tahmini. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Araştırma Makalesi, Sayı 18, S. 16-24, Mart-Nisan 2020.
- Ağlarıcı, A. V. (2017). Basit ve Çoklu Regresyon Modellerinde Parametre Tahminlerinin Karşılaştırılması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Akçetin, E. ve Çelik, U. (2014). İstenmeyen Elektronik Posta (Spam) Tespitinde Karar Ağacı Algoritmalarının Performans Kıyaslaması: The Performance Benchmark Of Decision Tree Algorithms For Spam E-Mail Detection. İnternet Uygulamaları ve Yönetimi Dergisi, Cilt 5 Sayı 2, 43-56.
- Akhil, R. K., Sreejith, S., Amal, R. K., Vidhu, N. K. and Sanju, B. (2019). Implementation of an Automatic Solar Tracking. GRD Journal for Engineering National Conference on Emerging Research Trend in Electrical and Electronics Engineering (ERTE'19).
- Akman, Ö. (2019). Fotovoltaik Panellerde Sıcaklığın Elektriksel Verime Etkileri ve Termal Güç Eldesi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. EVK 2013, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli.
- AlSkaif, T., Dev, S., Visser, L., Hossar, M. and Sark, W. (2020). A Systematic Analysis of Meteorological Variables for PV Output Power Estimation. Renewable Energy, 153, 12-22.
- Altın, M. (2005). Research On The Architectural Use Of Photovoltaic (PV) Components in Turkey From The Viewpoint Of Building Shape. Yayınlanmış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Amelia, A. I. (2016). Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance. International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology, 6(5), 682-688.
- Atalay, Ö., Yorgun, B. ve Erdem, R. (2019). Fotovoltaik (PV) Güneş Enerji Sistemleri ve Çatı Uygulamaları. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 8-9 Kasım 2019, Mersin.
- Ataman, A. R. (2007). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi (Yönetim Bilimleri) Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Balo, F. and Şağbaşı, L. (2016). The Selection of the best Solar Panel for the Photovoltaic System Design by Using AHP. Energy Procedia, 100, 50-53.

- Barkan, O., Weill, J. and Averbuch, A. (2016). Gaussian Process Regression for Out-of-Sample Extension. 2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), Vietri sul Mare, Salerno, Italy.
- Becker, B. G., Klein, T. and Wachinger, C. (2018). Gaussian Process Uncertainty in Age Estimation as a Measure of Brain. *NeuroImage*, Vol 175, 246-258.
- Bıçek, E. ve Çelik, H. E. (2020). Fotovoltaik Sistemin Güç Üretiminin Meteorolojik Değişkenler ile Modellenmesi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 25, Sayı 3, 135-146.
- Biçen, T. (2018). Güneş Panelleri ile Elektrik Üretiminin Teknik ve Ekonomik Analizi: Bursa Örneği. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa.*
- Boztepe, M. (2002). İzmir (Bornova) Koşullarında Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Bir Sistemin Tasarlanıp Denenmesi / Design and Test Of A Grid Connected Photovoltaic Energy System At İzmir (Bornova). *Yayınlanmış Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Ana Bilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir.*
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler. IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, Vol 45(1), 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. and Stone, C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks Cole Advanced Books and Software.
- Chicco, D., Warrens, M. J. and Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 2021 July 5, 7: e623.
- Çalıkoğlu, S., Özdemir, E. ve Uçar, M. (2011). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri. 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011), 12-13 Mayıs 2011, Kocaeli.
- Deringer, V. L., Bartok, A. P., Bernstein, N., Wilkins, D. M., Ceriotti, M. and Csanyi, G. (2021). Gaussian Process Regression for Materials and Molecules. *American Chemical Society Journal, Chemical Reviews*, 121(16), 10073-10141.
- Eskin, M. C. (2018). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevreye ve Ekonomiye Etkisi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı Mali Hizmetler Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Gençoğlu, M. T. (2002). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 57 - 64 Cilt:14 Sayı: 2.

- Gökçekuş, H., Kassem, Y., Godwin, M. H. and Babangida, A. (2022). Economic analysis of an off-grid solar PV for small scale desalination unit. Future Technology Open Access Journal, November 2022, Volume 01, Issue 03, Pages 26-43.
- Gülay, A. N. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Güneroglu, A. (2008). Fotovoltaik Sistemlerde FPGA Kullanımı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Hamzaoglu, S. (2013). Çoklu Regresyon Yöntemlerinde Güç Analizi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Hong, S., Zhou, Z., Lu, C., Wang, B. and Zhao, T. (2015). Bearing remaining life prediction using Gaussian process regression with composite kernel functions. Journal of Vibroengineering . Mar2015, Vol. 17 Issue 2, p 695-704.
- İçel, Y. (2019). Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Verimliliğin İncelenmesi. Yayınlanmış Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- İnternet: Ceyhan, V. (b.t.). Performans Ölçümleri ve Seçim Kriterleri (.pdf). URL: [https://avys.omu.edu.tr/vceyhan/Ders Notları adresinden alındı](https://avys.omu.edu.tr/vceyhan/Ders%20Notları%20adresinden%20alındı). Son Erişim Tarihi: 15.11.2022.
- İnternet: Elseroof. (b.t.). Off Grid Sistemler. Gumbel Group, URL: <https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/off-grid-sistemler/> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.12.2022.
- İnternet: Elseroof. (b.t.). On Grid (Şebekeye Bağlı) Sistemler. Gumbel Group, URL: <https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/on-grid-sistemler/> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.12.2022.
- İnternet: Haltakov, V. (b.t.). Mean Squared Error (MSE). URL: <https://suboptimal.wiki/explanation/mse/> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- İnternet: Köseoğlu, B. (2021). Model Performansını Değerlendirmek: Regresyon. <https://medium.com/> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 25.11.2022.
- İnternet: Ulgen, E. K. (2017). Makine Öğrenimi Bölüm-5 (Karar Ağaçları). <https://medium.com/> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 16.11.2022.
- İnternet: Tokul, A. (2021). T.C. Amasya Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı. İpekköy Yerleşkesi, Güneş Enerji Santrali 200kWp. URL: <https://yitdb.amasya.edu.tr/media/10339/200kwp-ges.pdf> adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.

- Jayakumar, P. (2009). Solar Energy Resource Assessment Handbook. Renewable Energy, Corporation Network for the Asia Pacific.
- Karabulut, R. ve Şeker, K. (2018). Belirlenmiş Değişkenlerin Vergi Gelirleri Üzerindeki Etkisi: Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi - Effects On Determined Variants On Tax Revenues: Multiple Linear Regression Analysis. Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Y.2018, C.23, S.3, s.1049-1070.
- Kılıç, H. (2016). Güneş Enerjisi ile İlgili Meteorolojik Verilerin Tahmini İçin Yöntem Geliştirilmesi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Mühendis ve Makine, Cilt: 56 Sayı: 668.
- Koç, O. (2019). Polinomial Regresyonla Gelecekteki Maksimum Yağışların Tahmini. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Küçük, S. (2019). Off Grid Güneş Sistemleri İçin Yeni Bir Projelendirme Aracı Tasarımı. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Millad, M. A. (2019). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Santralinin Benzetimi ve Performans Analizi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.
- Nabarro, S., Fletcher, T. and Shawe-Taylor, J. (2018). Spatiotemporal Prediction of Ambulance Demand using Gaussian Process Regression. arxiv preprint 1806.10873v1.
- Orhan, U. (2012). Entropi, Karar Ağaçları (ID3 ve C4.5 algoritmaları), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları. Makine Öğrenmesi Ders Notları, Ders03.pdf. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2012.
- Ostertagová, E. (2012). Modelling Using Polynomial Regression. Procedia Engineering, 48, 500–506.
- Rasmussen, C. E. and Williams, C. K. (2006). Gaussian processes for machine learning. Vol 1, p159, MIT press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Rohani, A., Taki, M. and Abdollahpour, M. (2018). A novel soft computing model (Gaussian process regression with K-fold cross validation) for daily and monthly solar radiation forecasting (Part: I). Renewable Energy an International Journal, Renewable Energy Volume 115, January 2018, Pages 411-422.

- Saheb-Koussa, D., Haddadi, M. and Belhamel, M. (2009). Economic and technical study of a hybrid system (wind–photovoltaic–diesel) for rural electrification in Algeria. *Applied Energy Journal*, Vol 86,1024-1030.
- Seber, G. A. and Lee, A. J. (2003). *Linear Regression Analysis*. (Vol. 330). John Wiley & Sons., New York.
- Sevgen, S. C. ve Aliefendioğlu Y. (2020). Mass Appraisal With A Machine Learning Algorithm: Random Forest Regression. *Araştırma Makalesi, Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Cilt 13, Sayı 3, 301-311.
- Skagestad, R. (2018). *Electricity Demand Forecasting with Gaussian Process Regression*. Master's thesis, Department of Mathematical, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian.
- Swanson, R. (2000). "The Promise of Concentrators", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. Cilt 8, No 1, 93-111.
- Şahin, S. (2019). Güneş Enerji Santrallerinin Verimlerine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi*.
- Tercan, Ş. H. (2021). Sürdürülebilir Ulaşım İçin Güneş Enerjili Teknelerin Kullanılması ve Çevresel Etkileri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(1), 223-232.
- Toprak, S. (2019). Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Uç Öğrenme Algoritması ile Tahmini. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ*.
- Ukhurebor, K. E. and Akinola, O. S. (2018). Effects of Meteorological Variables on the Efficiency of Solar Panel. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 4, 1-9.
- Vapnik, V., Golowich, S. and Smola, A. (1996). Support Vector Method For Function Approximation, Regression Estimation, and Signal Processing. *NIPS'96: Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing Systems*, December 1996, pp. 281-287.
- White, W. (1999). *Geochemistry-Fundamental Concepts of Thermodynamics*. John Hopkins Universty press Washington.
- Yazıcı, K. (2021). Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Kısa Dönem Rüzgar Gücü Tahmini. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*.
- Yergök, D. (2020). Yapay Zekâ Yöntemleri ile Toplu Yemek Üretiminde Günlük Talep Tahmini. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin*.

- Zahedi, A. (2006). Solar Photovoltaic (PV) Energy; Latest Developments In The Building Integrated and Hybrid PV Systems. *Renewable Energy*, Cilt 31, No 5, 711-718.
- Zhang, N. and Leatham, K. (2018). Neurodynamics-Based Nonnegative Matrix. In *International Conference on Neural Information Processing*, 519-529, Springer, Cham.
- Zhu, H., Li, X., Sun, Q., Nie, L., Yao, J. and Zhao, G. (2015). A power prediction method for photovoltaic power plant based on wavelet decomposition and artificial neural networks. *Energies*, 9(1), 11.
- Zou, K. H., Tuncali, K. and Silverman, S. G. (2003). Correlation and Simple Linear. *Radiology*, 227(3), 617-628.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Simge AKGÜL

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Kurşun, B., Kurt, Ü., Güvercin, S., Ökten, K., Akgül, S. ve Yıldız, A. (2016). An Application For The Failure Mode and Effects Analysis Integrated With The Grey Relational Analysis. Trakya University Journal of Engineering Sciences. (Diğer Kurumların Hakemli Dergileri).

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

Akgül, S. (2016). Bankacılık Sektöründe Değişen Müşteri Profiliyle Birlikte İnternet Bankacılığı ve Telefon Bankacılığı Kullanımının Müşteri İlişkileri Yönetimine Crm Etkisi Üzerine Bir Uygulama. 17th International Symposiumon Econometrics, Operations Research and Statistics, Sivas, Türkiye, 02 -04 Haziran 2016, Ss.28-35.

Akgül, S., Uğur, L., Yıldız, A. ve Uğur, Ö. (2017). Bilgisayarın Bilinçli Kullanımı. 2. Uluslararası Yükseköğretimde Mesleki Eğitim ve Öğretim Sempozyumu (Isvet2017), Ankara, Türkiye, 12 -14 Ekim 2017, Ss.3.

Akgül, S., Uğur, L. ve Yıldız, A. (2017). Efqm Mükemmellik Modeli Yardımıyla Meslek Yüksekokulu Temel Performans Sonuçlarının İncelenmesi 2. Uluslararası Yükseköğretimde Mesleki Eğitim ve Öğretim Sempozyumu (Isvet2017), Ankara, Türkiye, 12 -14 Ekim 2017, Ss.4.

Akgül, S. ve Bergil, E. (2022). Güneş Enerji Santrallerinde Çıkış Gücü Tahmini. Cumhuriyet 7. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 29 Ekim 2022, Ankara, Ss.1.

- Akgül, S. ve Uğur, L. (2016). İlçelerdeki Meslek Yüksekokulları Mezunlarının İş Bulma Kaygısı. Uluslararası Yükseköğretimde Mesleki Eğitim ve Öğretim Sempozyumu, Çorum, Türkiye, 12 - 15 Ekim 2016.
- Yıldız, A., Akgül, S. ve Güvercin, S. (2017). Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Ağ Prosesi (Anp) Yönteminin Kullanılması. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyum Programı, Düzce, Türkiye, 11 -13 Eylül 2017, Ss. 43-51.
- Yıldız, A., Akyüz, M. ve Akgül S. (2017). Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Tüketici İsteklerinin Önem Derecelerinin Belirlenmesi. 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, Türkiye, 12 -13 Mayıs 2017, Ss.496-497.
- Yıldız, A., Akgül, S. ve Güvercin, S. (2017). Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu (Umas2017), Düzce, Türkiye, 11 -13 Eylül 2017, Ss.39.
- Yıldız, A., Ergül, E. U. ve Akgül, S. (2017). Ürün Geliştirme Performansının Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, Türkiye, 12 -13 Mayıs 2017, Ss.507-508.