



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

FARKLI İKLİM KOŞULLARI İÇİN İŞINIM
DEĞERLERİNE DAYALI GÜNEŞ ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nergiz ACET

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Umut ERCAN

Ocak-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Nergiz ACET tarafından hazırlanan “**Farklı İklim Koşulları İçin Işınım Değerlerine Dayalı Güneş Enerjisi Potansiyelinin Tahmini**” adlı tez çalışması 13/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer ALIM

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Umut ERCAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Nergiz ACET

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FARKLI İKLİM KOŞULLARI İÇİN IŞINIM DEĞERLERİNE DAYALI GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TAHMİNİ

Nergiz ACET

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Umut ERCAN

2023, 66 Sayfa

Jüri

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Umut ERCAN

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer ALIM

Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN

Her geçen gün dünyada enerji kullanım oranı artmaktadır. Enerji; sanayi, sağlık, konut ısıtması ve aydınlatılması gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkeler sağlık, eğitim, ulaşım ve üretim gibi alanlarda aktif bir şekilde enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Enerji ihtiyacını karşılayamayan ülkeler birçok konuda olumlu yönde ilerlemeler sağlayamamaktadır. Günümüz dünyasında refah seviyesini yükseltmek için birçok ülke enerji alanına yönelmiş durumundadır. Dünyada gün geçtikçe nüfusun artması ve sanayileşmeden kaynaklı enerji açığı ortaya çıkmaktadır. Fosil kaynaklı enerjinin tükeniyor olması yeni enerji üretim yolları araştırılmasına neden olmuştur. Bu yüzden, tükenmeyen ve çevre dostu olan yenilenebilir enerjilere yönelim artmıştır. Yenilenebilir enerjilerin temel olarak ana kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin bedava olması ve ülkemizin fazla miktarda güneş alabilen bir coğrafyada olması bizi bu konuda çalışmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ışınım potansiyel tahmini hakkında araştırmalar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve potansiyellerine değinilip, Türkiye'deki yenilenebilir enerji çeşitlerinin kapasitesi açıklanmıştır. Daha sonra, güneş hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Çalışmanın literatür bölümünde güneş enerjisinin potansiyel tahmini ile ilgili birçok teknik ve modelle yapılan çalışmalar sunulmuştur. Güneş enerjisinden elektrik üretimi elde ediniminde en önemli unsurun o bölgenin aldığı ışınım değerleri olduğu görülmüştür. Bu nedenle, farklı iklim kuşaklarındaki İstanbul, Ottawa ve Pekin şehirlerinin 2015-2020 yılları arasındaki ışınım değerleri temel alınarak, 2021 ve 2022 yılları için aylık olarak güneş enerjisi potansiyeli ARIMA ve yapay sinir ağı ile tahminler yapılmıştır. ARIMA ve yapay sinir ağı modellerinde en uyumlu çıkan şehir İstanbul olmuştur. ARIMA ve yapay sinir ağları içinde ise üç şehirde gerçek değer ile tahmin modeli arasında en fazla benzerlik olan yapay sinir ağları metodu olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Güneş enerjisi, Talep tahmini, Yapay sinir ağları, Arıma Modelleri, Yapay Sinir Ağı, Zaman serisi

ABSTRACT

MS THESIS

ESTIMATING THE SOLAR ENERGY POTENTIAL BASED ON RADIATION VALUES FOR DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Nergiz ACET

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Umut ERCAN

2023, 66 Pages

Jury

Advisor Asst. Prof. Dr. Umut ERCAN

Asst. Prof. Dr. Muzaffer ALIM

Asst. Prof. Dr. Cihad FİDAN

The rate of energy use in the world is increasing day by day. Energy is widely used in many fields such as industry, health, residential heating and lighting. Countries actively need energy in different areas such as health, education, transportation and production. Countries, which cannot meet their energy needs, cannot make positive progress in many areas. In today's world, many countries have turned to the energy field to increase the level of welfare. There is an energy deficit in the world due to the increase in population and industrialization day by day. Because of depletion of fossil-based energy resources, the new energy production methods are investigated. Hence, the trend towards renewable energies, which are inexhaustible and environmentally friendly, has increased. The main resource of renewable energies is the sun. The fact that solar energy is free, and our country has geography advantage that can receive so much sunlight has led us to work on this problem. In this study, research on solar energy radiation potential estimation, which is one of the renewable energy resources, have been carried out. Renewable energy types and their potentials are mentioned and the capacity of renewable energy types in Turkey is explained. In the next section, detailed information about the sun is given. In the literature part, the previous studies which include many techniques and models related to the potential estimation of solar energy are presented. It is seen that the most significant factor in electricity production from solar energy is the received radiation values in that region. For this reason, monthly estimates for solar energy potential for 2021 and 2022 were calculated by ARIMA and artificial neural network based on the radiation values of the cities of Istanbul, Ottawa, and Beijing, which are in different climate zones, for the years 2015-2020. Istanbul was the most compatible city in ARIMA and artificial neural networks methods. Among the ARIMA and artificial neural networks methods, the artificial neural network method shows the most similarity between the real value and the prediction model in all these three cities.

Keywords: Arima models, Artificial neural networks, Energy, Demand forecasting, Solar energy, Time series

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında farklı iklimde buluna 3 şehir için makine öğrenme teknikleriyle güneş enerji potansiyeli hakkında geçmiş yılların verileri göz önüne alınarak gelecek yıllar için tahminler incelenmiştir.

Tez çalışmamın başında sonuna kadar, tezin planlanması, araştırılması ve oluşturması ile ilgili yardımını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinde yararlandığım, bilgi birikimleri ile yol gösteren, sabırla her fırsatta bana yardımcı olan değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Umut ERCAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer ALIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda beni geliştiren ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan bütün hocalarıma teker teker teşekkür ederim.

Ayrıca uzun süren bu çalışma sürecinde ve hayatım boyunca bana maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Nergiz ACET
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerjinin Sınıflandırılması.....	2
1.2. Sürdürülebilirlik ve Enerji İlişkisi	5
1.3. Tezin Amacı ve Hedefleri.....	6
1.4. Tezin Yapısı	7
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	8
2.1.Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi.....	8
2.2.Yenilebilir Enerji Çeşitleri.....	10
2.2.1.Güneş Enerjisi.....	12
2.2.2.Rüzgâr Enerjisi	14
2.2.3.Hidrolik Enerji	16
2.2.4.Dalga Enerjisi	17
2.2.5.Gelgit Enerjisi	18
2.2.6.Jeotermal Enerji	18
2.2.7. Biyokütle Enerjisi	19
2.2.7. Hidrojen Enerjisi.....	20
2.3.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları Dezavantajları	20
2.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları.....	20
2.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları	21
2.4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi	22
3. GÜNEŞ ENERJİSİ: GELİŞİM VE HESAPLAMALARI	25
3.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	25
3.2. Güneş Enerjisinin Fiziksel Çalışma Prensibi ve Hesaplamaları	28
3.3. Güneş Enerjisinin Teknolojileri.....	30
3.3.1. Isıl Güneş Teknolojileri	30
3.3.2.Yoğunlaştırıcı Isıl Sistemlerle Elektrik Enerjisi Üretimi.....	31
3.4. Fotovoltaik Teknolojisi.....	33
3.4.1. Güneş hücrelerinin tarihsel gelişimi	33
3.4.2. Güneş Pillerinin Özellikleri	34

4. LİTERATÜR TARAMASI.....	41
4.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli Hakkında Geleceğe Yönelik Yapılan Çalışmalar.....	41
4.2. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Tahmini Hakkında Kullanılan Model ve Teknikler	45
5. GÜNEŞ ENERJİSİ TAHMİNİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51
5.1 Güneş Enerjisi Hesaplamaları.....	51
5.2 Işınım Verileri.....	55
5.3 Tahmin Yaklaşımı.....	58
5.3.2 Mevsimsel ARIMA Modeli	59
5.3.3 Tahmin Metotlarının Kıyaslanma	59
5.3.4 Gelecek Tahmini	60
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
6.1. Sonuç	64
6.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Enerji Kaynakların Sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.2. Güneşlenme Haritası	13
Şekil 2.3. Dünya Teknik Rüzgâr Potansiyelinin Kıtalaraya Göre Dağılımı	15
Şekil 2.4. RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı	16
Şekil 2.5. Hidrolik enerji üretimi.....	17
Şekil 2.6. Türkiye Kurulu güçte yenilenebilir enerjinin payı	23
Şekil 3.1. Dünyaya Gelen Güneş Işınlının Miktarı	29
Şekil 3.2. Güneşin Dünyaya Düşme Şekilleri	30
Şekil 3.3. Güneş enerji uygulamaları.....	32
Şekil 3.4. Güneş pili, güneş modülü, güneş paneli ve güneş tarlası görünümü	35
Şekil 3.5. Fotovoltaik modüllerin çalışma sistemi	36
Şekil 3.6. Fotovoltaik hücre tipleri	37
Şekil 3.7. Monokristal piller örnekleri.....	38
Şekil 3.8. Polikristal silikon güneş pili	39
Şekil 3.9. İnce film güneş panelleri	40
Şekil 5.1. Aylara göre ışınlın değeri.....	56
Şekil 5.2. 2015-2020 arası ışınlın değeri..... aylara göre değeri	58
Şekil 5.3. İstanbul ışınlın değeri için kıyaslama.....	59
Şekil 5.4. Ottawa ışınlın değeri için kıyaslama.....	60
Şekil 5.5. Pekin ışınlın değeri için kıyaslama	60
Şekil 5.6. İstanbul için 2021-2022 tahmini	61
Şekil 5.7. Ottawa için 2021-2022 tahmini	61
Şekil 5.8. Pekin için 2021-2022 tahmini	61

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Yenilenebilir Enerjinin Küresel Kurulu Gücü	10
Tablo 2.2. Yenilenebilir Enerji Çeşitleri ve Kaynakları	11
Tablo 2.3. Güneş Enerji Dönüşümleri.....	12
Tablo 2.4. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Konusunda 2013 ve 2017 Verileri ve 2023 Hedefleri	23
Tablo 4.1. Güneş enerjisi Potansiyeli Tahmini Literatür Örnekleri.....	50
Tablo 5.1. Geçmiş yıllar için bölgesel ısıtım değerlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri	56
Tablo 5.2. 2021 ve 2022 yılları için yapılan ısıtım değerleri tahmini.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm ²	:Santi Metre Kare
GW	:Gigawatt
mm	:Millimetre
KWh	:Kilo Watt Saat
SiO ₂	:Silisyum Dioksit
TWh	:Tera Watt Saat
W/m ²	:Watt Bölü metre Kare

Kısaltmalar

AL	: Yapay Zekâ
ARMA	: Saatlik Otoregresif Hareketli Ortalama
ARIMA	: Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
C-Si	: Kristal Silikon Hücreler
CSP	: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DVM	: Destek Vektör Makinesi
DR	: Doğrusal Regresyon
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
GSR	: Gauss Süreç Regresyonu
HES	: Hidroelektrik Santrallerin
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
KAR	: Karar Ağacı Regresyonu
k-EYKR	: K-En Yakın Komşu Regresyon
LCOE	: Levelized Cost Of Energy: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
MWm	: Mekanik kurulu güç
NWP	: Numerical Weather Prediction(Sayısal Hava Tahmini)
PV	: Solar Photovoltaics
PPA	: Power Purchase Agreement: Güç Satın Alma Sözleşmesi
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
TR	: Topluluk Regresyonu
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Enerji ve Önemi

Enerji kavramı ‘en’ ve ‘ergon’ kelimelerin bir araya gelmesiyle meydana gelmiştir. Yunancadan türetilmiş bir kelime olup bir şey yapmak veya bir şey olmak anlamındadır. Enerji doğrudan ölçülemeyen bir değerdir. Enerji çeşitlerine göre hesaplanması veya fiziksel sistemin durumunu değiştirmek için ihtiyacı olan iş ile bulunulabilir. Günlük hayatta birçok farklı alanda ve farklı biçimde kullanılmakta olan enerjinin tanımını yapmak oldukça zordur. En çok kullanılan anlamlarından birisi “iş yapabilme kabiliyeti”dir. Depolanmış iş gücü veya herhangi bir cismi harekete geçirmek, kaldırmak, ısıtma ve aydınlatmak için duyulan gereksinime denir (Übelacker, 2005). Kısacası günlük hayatımızda birçok makineli sistemin çalışması için gerekli işe enerji denir.

İnsanlık tarihinin başlangıcından beri enerji hep çok önemli bir parametre olmuştur. İnsanlık tarihi ilerledikçe enerjiye olan ihtiyaç da o kadar artmıştır. İlk enerji kullanımı ateş yakılarak ısı enerjisinin kullanımıyla olmuştur. İnsan nüfusun artması, tarımsal, siyasal sorunlar sonucu enerji ihtiyacı çağlar boyunca artarak devam etmiştir. Yeraltı kaynaklarından olan kömürden sonra ise buhar gücünden faydalanılmıştır. İnsan nüfusunun artması, teknolojik gelişmelere ve sanayileşmenin artmasıyla beraber enerji açığını oluşturmuştur. Üretimde de enerjiye gereksinim vardır. Günümüzde bu nedenlerden dolayı enerji ihtiyacı ve arayışları her geçen gün artmaktadır. Birçok farklı enerji kaynağı bulunmuş ve hâlihazırda kullanılmaktadırlar.

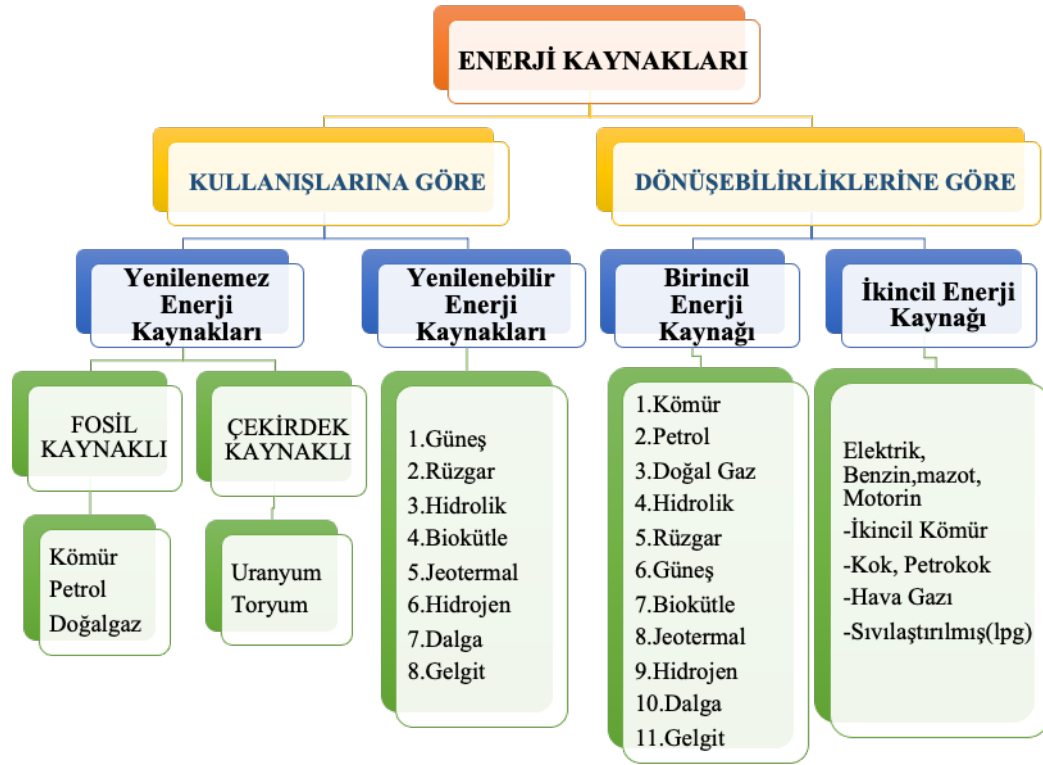
Bir ülkedeki gelişmişlik seviyesinin en önemli göstergelerinde biri enerjidir. Bir ülkede enerji gücü artıkça bununla orantılı refah seviyesi de artacaktır. Dünyada söz sahibi olmak için ham madde ve enerji kaynaklarına sahip olmak gerekliliğine inanılmaktadır. Dünyada enerji kaynaklarını elde etmek için birçok savaş olmuştur. Bu savaşların nedeni ile ilgili yapılan araştırmalarda özellikle 20. Yüzyıl ve sonrası olmak üzere savaşların ana nedeni hep enerji olmuştur. Ülkelerin aslında enerji gücünde üstünlük sağlamak için mücadelesi farklı sebeplere dayandırılmıştır. Özellikle 1.- 2. Dünya savaşları ve körfez savaşlarının ana sebeplerinde birisi enerji gücüne sahip olmak için olmuştur. Petrol geçmiş ve günümüzde halen önemli bir enerji kaynağıdır. Petrol enerjisine sahip olmak için mücadeleler olmuştur. Petrol “Siyah Altın” olarak

nitelendirilmiştir. Winston Churchill “Bir damla petrol bir damla kandan daha değerlidir” sözünden petrolün önemi anlaşılmaktadır (Koç, 2021).

1.1. Enerjinin Sınıflandırılması

Dünyada olan enerji kaynakları birçok şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunların en geneli kullanımına göre ve dönüştürülebilir olmasına göre iki şekilde olabilir. Enerji kaynakları kullanımlarına göre ele alındığında yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak iki konu başlığı altında toplanmışlardır. Yenilenebilir enerji yani tükenmeyen enerji doğada her zaman olan enerji olarak ifade edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özellikleri temiz ve çevre dostu olmalarıdır. Yerel kaynaktan üretim ve kullanımı olduğu için dış kaynaktan alım olmayacağı ve özel bir üretime ihtiyaç duyulmadığından dünya genelinde yenilenebilir enerji alanına ilgi her geçen gün artmaktadır. Güneş, rüzgâr biyokütle, jeotermal ve dalga enerjisi bu kaynak grubuna örnek verilebilir. Yenilenemez enerji ise, doğada halen olan ama her geçen gün azalan ve tükenen enerji kaynaklarıdır. Yenilenmez enerji genellikle fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan enerjilerdir. Bu yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar ve son ürünler ise çevreye zarar veren çevrede zararlı atık oluşmasına neden olmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının dünyada belli bir rezervi olup ve gelecekte tükeneyeceği düşünülmektedir. Bu kaynakların başında petrol, kömür ve doğalgaz gelmektedir.

Enerji kaynaklarının bir diğer sınıflandırılması ise dönüşebilir olmaları şeklindedir. Bu sınıflandırma birincil ve ikincil enerji kaynağı şeklinde gruplandırılır. Birincil enerji kaynağı değişmemiş, insanlar tarafında herhangi bir müdahalede bulunulmamış enerji kaynaklarıdır. Güneş, petrol, rüzgâr, hidrolik, nükleer, biyokütle, dalga, kömür, doğalgaz bu kaynağa örnek verilebilir. İkincil enerji kaynağı ise farklı enerji türüne dönüşmüş ve dışardan herhangi bir insan müdahalesi olan enerji türüdür (Koç ve ark., 2018). Şekilde 1.1’de enerji kaynakları şekil ile gösterilmiştir (Koç ve ark., 2018). Bu şekilde kullanışlarına göre ve dönüşebilirliklerine göre enerji sınıflandırması gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji Kaynakların Sınıflandırılması

Kullanışlarına göre yenilenemez enerjilerden fosil kaynakları dünya üzerindeki enerjinin çoğundan fazlasını oluşturmaktadır. Bu oranın 2050 yılına kadar da devam edeceği öngörülmektedir. Bu enerji kaynaklarından en çok kullanılanı ise fosil kaynaklı enerjilerdir. Fosil kaynakların yüksek kullanımda olması dünyaya geri dönüşü olmayan zararlara neden olmaktadır. Sadece tüketilirken değil ayrıca sıvı veya katı halde taşınırken oluşabilecek sızıntı ve kazaların sonucunda doğaya olumsuz etkileri olmaktadır.

- **Doğalgaz**

Fosil kaynaklarından doğal gaz, yerin altında petrolün üzerinde oluşan yanıcı gazlar karışımlarıdır. 2020'deki verilere bakıldığında dünya üzerinde 203,14 trilyon m³ doğal gaz rezervi bulunmuştur. Yaklaşık % 43'lük kısımla Rusya dünyada ilk sırada yer almaktadır. Doğal gaz çıkarıldıktan sonra sıvılaştırılarak veya boru hatlarıyla başka ülkelere taşınabilir. Yıllara göre doğal gaz kullanımı sürekli artmaktadır. Doğal gaz kaynağının çok olması ve üretim, tüketim yöntemlerinin kolay olması bu alana yönelimi daha da artırmıştır. Ayrıca petrol ve kömür kadar da çevreye karbon emisyonuna neden olmamaktadır. Doğal gaz bu iki enerjiye göre daha temiz bir enerjidir. Türkiye'de Trakya –Hamitabat, Siirt ve Mardin'de doğalgaz yatakları bulunmaktadır. Ancak bu yataklar çok az olduğunda Rusya'dan doğalgaz ithal edilmektedir.

2020 yılında Fatih Sondaj Gemisi ile yapılan çalışmada 320 milyar m³ doğal gaz rezervi keşfedildiği açıklandı. Bu doğalgazın 2025 yılında kullanılması hedeflenmektedir.

- **Petrol**

Petrol Latince taş anlamında olan “petra” ve yağ anlamına gelen “oleum” kelimelerinde oluşmaktadır. 3. Jeolojik çağda oluşmuştur. Petrol etan metan ve propan gazlarından oluşmaktadır. Petrol kullanımı çok eskiye dayanılmaktadır. M.Ö inşaatçılıkta, gemilerin yalıtımında, Mısırda insanları mumyalarken kullanıldığı bilinmektedir. Yanıcılık özelliğinde ısıtma ve aydınlatma alanlarında kullanılmıştır. Özellikle Polonyalı Ignacy Lukasiewicz’in petrolü aydınlatma amaçlı gaz lambalarında kullanılmasıyla petrolün önemini artırmıştır. Günümüzde teknoloji ve sanayileşmenin bu kadar ilerlemesinin en önemli etkenin petrol olduğunu söylenebilir (Koç, 2021). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafında yapılan çalışmada 2021 yılın başında 1 trilyon 779 milyar varil petrol üretilmiştir (Anonim, 2022a).

2015 yılın Uluslararası Enerji Ajansının hazırladığı raporda toplam petrol kaynağın 1 trilyon 659 milyar varil veya 263,8 milyar ton seviyelerine ulaşmıştır. 2021 yılında ise toplam üretilen petrol kaynağı 1 trilyon 779 milyar varile ulaşmıştır.

Türkiye’nin 3. Jeolojik zamanda oluşmuş toprakları çok fazladır. Ancak petrolün akışkanlığı ve yerin çok derininde olduğundan dolayı bu petrolden yeteri kadar faydalanılamamaktadır. 1940 yılında Batman Raman bölgesinde ilk petrol rezervi bulunmuştur. Türkiye’deki petrol ihtiyacının yaklaşık olarak %14’ü Raman’dan üretilmektedir. Geri kalan ihtiyaç yurt dışından ithal edilmektedir. Güneydoğu Anadolu’dan çıkartılan petrol ve ithal edilen petrolün işlendiği rafineriler vardır. Bunlar: İpraş (İzmir), Batman (Tüpraş), Ataş (Mersin), Orta Anadolu (Kırıkkale) ve Aliğa (İzmir) rafinerileridir (Yerebakan, 2010).

- **Kömür**

Kömür yeraltında bitki ve canlıların milyonlarca yıllık fiziksel ve kimyasal tepkimeler sonucunda oluşan fosil yakıtlardan biridir. Kömür dünyada bol miktarda bulunmaktadır. Bu da enerjide güvenilirliği sağladığı için ülkeler için kömürü daha önemli kılmaktadır. Kömür hidrojen, karbon ve oksijen elementlerinde oluşmaktadır. Kömürün doğada linyit, taş kömürü, odun kömürü, kok kömürü, turba ve antrasit çeşitleri bulunmaktadır (Anonim, 2022b)

Taş kömürü (maden kömürü) dünyanın 1. Jeolojik zamanında oluşmuş bir enerji kaynağıdır. Verimi çok yüksek olduğunda büyük bir kısmı demir- çelik sanayisinde kullanılmakta, geriye kalan ise elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye’ de 1. Jeolojik arazi az olduğu için üretilen taş kömürü üretimi yetersiz kalmaktadır. Özellikle Zonguldak çevresi ve Ereğli’den Amasra’ya kadarki bölgede çıkarılmaktadır.

Diğer bir kömür çeşidi ise linyittir. Linyit 3. Jeolojik zamanda oluşmuştur. Verimi taş kömürüne oranla daha azdır. Türkiye’nin birçok yerinde bulunan önemli bir madendir. Termik santrallerde ve ev ısıtmalarında kullanılırlar. Tunçbilek, Tavşanlı (Kütahya) Seyitömer, Elbistan, Soma (Zonguldak) en önemli linyit yataklarımızdır (Yerebakan, 2010).

1.2. Sürdürülebilirlik ve Enerji İlişkisi

Sürdürülebilirlik kelimesi sürekli olan, devamlılık anlamını taşır. Bir toplumun, bir canlı sistemin veya bunlar gibi etkileşimli sistemlerin ana kaynakları bitirmeden ve çevreyi koruyarak sürekli işleme becerisidir. Bir başka tanımı ise doğal yapı ile yapay çevrelerin, sosyal, çevreyle ilgili, siyasal ve kültürel uyumun devamı olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilirlik birçok araştırma sonucunda çevresel, sosyal ve ekonomik olarak 3 bölüme ayrılmıştır. Ekonomik sürdürme az ücret ve çok verimle gelişme ve kalkınma olarak ifade edilir. Sanayileşme ve nüfusun artması ekonomik sürdürmeyi çok zorlamaktadır. Ekonomi ile yalnız ekonomik sermayeyi değil insan, çevre ve sosyal sermaye ile hava ve su gibi insanların kullandığı kaynaklar da ifade edilmektedir. Sosyal sürdürülebilirlikte yasalar, çoğulculuk, eşitlik, sosyal birlik ve bütünlük, hoşgörü gibi konularda yapılan faaliyetlerdir. İnsanların eğitim, barınma ve beslenme alanındaki yatırımları, çalışan haklarının korunması ve iyileştirilmesi gibi konular sosyal sürdürülmenin amaçlarındandır. Çevresel sürdürülebilirlik ise ekosistemin bozulmamasını ve ekosistem ile ilgili yapılan bütün düzenlemelerdir. Örneğin doğalgaz kullanımı, erozyon kontrolü, yenilenebilir enerji, tarım ve hammadde kullanımı bu alanlardaki çalışmalardır (Özçuhadar, 2007).

Resmi olarak Norveç başbakanı Gro Harlem Brundtland’in imzasını taşıyan raporda ilk kez sürdürülebilir kalkınma kavramı açıklanmıştır. Bu açıklama raporunda sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaç ve isteklerinin gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini ve beklentilerini karşılama olanaklarını tehlikeye sokmadan karşılmasını sağlamak amaçlamaktadır (Çepik, 2015).

Bir ülkenin gelişmesi, ekonomisinin büyümesi ve refah seviyesinin yükselmesi için sürdürülebilir kalkınmanın çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli etmenlerinde birisi de enerjidir. Enerji; sürdürülebilir kalkınmada, ekonomik büyümede, sosyal denge ve çevre koruma ile ilgili amaçların başarılı olmasında önemli bir elemandır. Sürdürülebilir enerji birincil enerji kaynaklarının yüksek verimde ve çevre dostu teknoloji ile yapılması, fosil kaynaklı enerjileri daha çevreye duyarlı teknoloji ile kullanma ve olabildiğince yenilenebilir enerjiden faydalanma, bir sistemdeki çıktı ürününü yeni bir sistemde tekrardan dönüştürerek kullanma prensibini taşıyan kavramdır. Buradan anlaşılabileceği üzere sürdürülebilir enerji en az ücretle, en az çevresel ve sosyal maliyetlerde devamlılık sağlayan teknolojik uygulamalardır (Öymen, 2020).

Bir ülkenin sürekli gelişmesi ve kalkınabilmesi için enerji en önemli etmenlerden birisidir. Enerji kaynaklarının artırılması ve yüksek üretimler elde edilmesi sürdürülebilir bir kalkınma olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmez ve çevre dostu olması sürdürülebilirliği artıracığından bu alandaki yatırımlar, araştırmalar ve çalışmalar desteklenmeli ve halk bilinçlendirilmelidir. Sürdürülebilirlik ve enerji birçok devletin ekonomik politikalarında, enerji kaynakları kullanımında, teknolojik gelişmelerinde, üretiminde ve tasarımlarında sıkça kullanılan bir kavram olarak ifade edilmektedir (Hoşkara, 2007).

Sürdürülebilirlik ve enerjinin birbiri ile bağlantısı görmezden gelinemeyecek kadar büyüktür. Birçok araştırmacı enerji çalışmaları yaparken enerjide sürdürülebilirlik kavramlarını birlikte kullanmaya başlamıştır. Enerjinin temiz ve devamlı olması sürdürülebilir kalkınmayı da sağlamaktadır. Sürdürülebilir enerjiler hem çevre dostu hem de devamlılık sağladıkları için gittikçe önemi artmaktadır.

1.3. Tezin Amacı ve Hedefleri

Bu çalışmada üç farklı iklim kuşağında bulunan İstanbul, Ottawa ve Pekin için güneş enerjisinden etkin ve verimli bir şekilde yararlanılabilmesi için gelecek dönem tahmini yapılması amaçlanmıştır. Güneş enerjisi için en önemli verilerden olan ışıma verilerine deneysel olarak ulaşılması hem uzun zaman gerektirmekte hem de ekonomik açıdan uygun değildir. Bu nedenle geçmiş verilere dayalı olarak istatistik programları yardımı ile ışıma verilerine ulaşmak çok daha elverişlidir. Bu şehirler için 2015-2020 yılları arasında PVGIS yazılımından alınan ışıma verileri ile istatistik R programları

kullanılarak iki farklı model (ARIMA ve Yapay Sinir Ağı) ile 2021 ve 2022 yılları için aylık olarak tahminlerde bulunulmuştur.

1.4. Tezin Yapısı

Birinci bölümde enerji hakkında genel bilgiler verilmiştir. Enerji çeşitlerinin oluşumları ve özellikleri açıklanmıştır. Enerji ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki ve önemi açıklanmıştır. İkinci bölümde ise yenilenebilir enerji hakkında bilgiler verilmiştir. Yenilenebilir enerji gelişimi, çeşitleri ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli açıklanmıştır. Üçüncü bölümde güneş enerjisinin tarihsel gelişimi, kullanım alanları açıklanmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretme yollarından güneş panelleri ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde enerji, güneş enerjisi ve güneş enerjisinin potansiyelinden faydalanma ve bu alanlarda yapılan çalışmalar hakkında literatür çalışması yapılmıştır. Beşinci bölümde güneş enerjisinin geçmiş 5 yıllık ışıyım şiddetine bakılarak gelecek 2 yıllık ışıyım şiddeti hakkında tahminlerinde bulunulmuştur. Hazır paket program olan R programının içinde olan yapay sinir ağıları ve ARIMA modellerinden faydalanarak 3 farklı iklimde olan şehirlerin potansiyeli açıklandı. Altıncı bölümde ise güneş enerji tahmini hakkında kullanılan modellerin kıyaslaması ve gelecekte güneş enerjisinin durumu hakkında bilgiler verilmiştir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ

2.1.Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi

Teknolojinin ilerlemesi, sanayileşme ve nüfus artışlarıyla beraber, enerji kullanımını da artırmıştır. Gün geçtikçe kullanım alanı ve enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Buda var olan enerji ile istenilen enerjinin birbirini karşılayamadığını gösterir. Hayatımızın neredeyse her alanında enerji vardır. Tarım, sanayi, ulaştırma, sağlık gibi birçok yerde enerji kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte önemi de artmaktadır. Günümüzde kullanılan enerjinin %80'i yenilenemeyen (fosil) enerji kaynaklarından meydana gelmektedir. Fosil kökenli enerji kaynakları tekrardan kullanılamaması ve tüketim oranın değişen doğal kökenli enerjilerdir. Bunlara doğal gaz, kömür, petrol, uranyum gibi enerji kaynaklarını örnek verilebilir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının meydana gelmeleri uzun zamana ihtiyaç duyarlar. Yenilenmeyen enerji kaynakların çevreye verdikleri zarar, tükenmesi, enerji oluşumlarının çok uzun zaman alması ve dünyada iklim değişikliğine neden olmaları gibi faktörlerden dolayı insanoğlunu başka alanlara yönlendirmiştir. Bu arayış yenilenemeyen (fosil) enerji kaynaklarından yenilenebilir kökenli enerji kaynaklarına yönelim oluşturmuştur. Bilhassa 1973 senesinde yaşanan petrol krizinden sonra enerji kaynaklarına bir güven sorunu oluştu. Özellikle petrol bağımlısı ülkelerde enerjiden kaynaklı ekonomik sorunlar diğer ülkelerin müdahalelerde bulunmasına ortam hazırlamıştır. Sanayileşmiş ve teknolojisi iyi olan ülkelerde bu kriz daha hafif bir şekilde atlatılmıştır. Böyle bir kriz durumuna bir daha düşmemek için dünyada enerjide bağımsız olmanın ne derece önemli olduğunu ortaya çıkmıştır. Başka önemli konulardan birisi ise geçmiş iki yüzyılda endüstrileşmedeki yüksek artış çevreye olan hassasiyeti artırmıştır. Uzun senelerden beri var olan ama fosil kaynaklarla yarışamayan yenilenebilir (temiz) enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları her ülkede olması sebebiyle, bu alanında yapılan çalışmalar için birçok ülke destekleyici önlemler almasını sağlamıştır.

Dünya üzerinde oluşan savaşların bir nedeni de enerjidir. Ülkelerin endüstrileşmesiyle beraber enerji hayatımızın merkezine gelmiştir. Olası bir savaş durumunda devletler kendilerini güvenceye almak için bağımsız enerji sistemlerine yönelmiştir. Kesintiye uğrayan bir enerjinin birçok hastane, fabrika ve bunun gibi aklımıza gelebilecek her

alanı derinden etkileyecektir. Ülkenin refah ve huzur seviyesini düşürecektir. Yenilenebilir enerji kaynakların enerji arz güvenliği daha fazladır. Hemen hemen her ülkenin yenilenebilir enerji kaynağı vardır.

Fosil kaynaklı enerjilerin sebep olduğu iklim değişikliğinden kaynaklı ülkeler daha temiz enerjilere yönelmiştir. 1992 yılında iklim değişikliğinin önüne geçmek ve daha fazla küresel iklim değişikliğinin negatif etkilerini en aza indirmek için Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni (UNFCCC) imzaladılar. 1997 senesinde ise UNFCCC sözleşmesini genişleten, sera etkisini azaltmak için Japonya'nın Kyoto kentinde Kyoto Protokolü hazırlandı. Bu protokole göre sera etkisi yapan gazların kullanımı sınırlama veya azaltmayı amaçlanmıştır. Aynı şekilde 2015 yılında Paris Anlaşması imzalayarak dünyadaki sıcaklık yükselişlerini 1,5 °C tutmayı hedeflemişlerdir. Anlaşmaları imzalayan ülkeler bu konuda ciddi gayret göstermelidir. Çernobil ve Fukuşima'daki oluşan nükleer kazalar dünyanın yenilenebilir enerji alanına yönelimini artırmıştır. Bu kazalar felaketin olduğu ülkelerin dışında birçok ülkeyi etkilemiştir. Ukrayna'da gerçekleşen Çernobil felaketi Türkiye'yi de etkilemiştir. Örneğin Fransa 14 tane nükleer santrali olmasına rağmen 2035 yılında bu santralleri kapatma kararı aldı. Burada oluşan enerji açığını yenilenebilir enerji kaynaklarından kapatmayı amaçlamaktadır (Yılmaz, 2019).

Yenilenebilir enerji teknolojileri hızla gelişmektedir. Bu gelişmeler yenilenebilir enerji pazarı oluşturarak maliyetini düşürmüştür. Ayrıca 2017 yılında %17'lik artışla yenilenebilir enerjiden elektrik elde edilmiştir. Dünyada kullanılan toplam enerjinin %8,4'üne denk gelmektedir. 2018, yılında da güneş, rüzgâr, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerjilerde artış meydana gelmiştir. İlerleyen zamanlarda da tüketilen enerji miktarı artacağından, tükenmeyen enerjiye olan isteğin artacağını ve bu alanda çalışmaların artacağı ön görülmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA, 2019a) raporuna bakıldığında teknolojik ve devletlerin ekonomik teşviklerin artırmasıyla yenilenebilir enerjide hızlı bir artış elde edilmiştir. Tablo 2.1'de yenilenebilir enerjinin küresel kurulu gücü verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi son on sene iki kat artmıştır (Yılmaz, 2019).

Tablo 2.1.Yenilenebilir Enerjinin Küresel Kurulu Gücü

Yıllar	Toplam Kapasite (MW)	Büyüme Oranı
2009	1,136,226	7.4%
2010	1,224,050	7.7%
2011	1,329,202	8.6%
2012	1,441,393	8.4%
2013	1,563,122	8.4%
2014	1,693,254	8.3%
2015	1,848,157	9.1%
2016	2,007,996	8.6%
2017	2,179,448	8.5%
2018	2,350,755	7.9%

Dünyada yenilenebilir enerjinin önemi her geçen gün artmakta ve gelecekte kullanım alanını artacağı varsayılıyor. Teknolojik gelişmelerin ve sanayi alanında geri kalmak istemeyen ülkelerinde bu alana yönelik ekonomik teşvikleri ve oluşan iş gücü için کافیyeli insan gücünü arttırmaktadır. Ülkelerin daha bağımsız, refah ve huzurlu olmak için bu alana ilginin hız kesmeden artacaktır. Yenilenebilir enerji ne kadar geliştirilmek isteniyorsa o oranda da gündemlerin de olmalıdır. Unutulmamalıdır ki yenilenebilir enerji çalışmaları arttıkça yenilenebilir teknolojik gelişmeler de o derecede artacaktır.

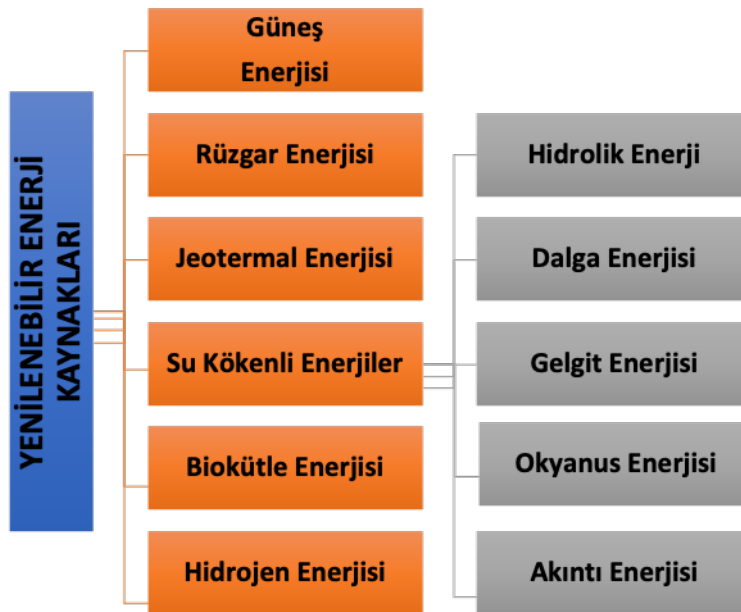
2.2.Yenilebilir Enerji Çeşitleri

Yenilenebilir (tükenmeyen) enerji kaynakları gücünü kaynağını güneşten alan, tükenmeyen, yani belirli zamanlarda kendini tekrarlayabilen enerji kaynaklarına denir. Yenilenebilir enerji rezervleri insanlar tarafından bütünü olarak tüketilemez. Tekrarlanabilen bu enerji rezervleri büyük kısmı güneşten gelen ısı enerjisinin şekil değiştirmesiyle oluşmaktadır (Üçgül ve Elifbüyük, 2015). Her bir yenilebilir enerji çeşidinin farklı kaynağı bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji çeşitlerine bakıldığında en önemli kaynak güneş olmuştur. Yenilenebilir enerji güneş, rüzgâr, su ve biyolojik atık gibi kaynaklardan meydana gelmektedir Tablo 2.2’de yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları verilmiştir.

Tablo 2.2. Yenilenebilir Enerji Çeşitleri ve Kaynakları

Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	Enerjinin Kaynağı
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
Jeotermal Enerjisi	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerjisi	Nehirler ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Yenilenebilir enerji doğada farklı birçok biçimde bulunabilirler. Genel olarak güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, gelgit enerjisi, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi olmak üzere çeşitleri mevcuttur (Üçgül ve Elifbüyük, 2015). Aşağıda verilen Şekil 2.1. yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitleri verilmiştir. Güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, hidrojen ve su kökenli yenilenebilir enerji kaynakları verilmiştir. Yenilenebilir enerji çeşitleri içinde su kökenli enerji kaynaklarının birçok çeşidi bulunmaktadır.

**Şekil 2.1.** Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2.2.1.Güneş Enerjisi

Güneşten yayılan ısı ve ışık kaynağına güneş enerjisi denir. Güneş enerjisi dünya ve insan yaşamı ve her türlü canlı için hayati öneme sahip bir enerji kaynağıdır. Öyle ki güneş enerjisi olmazsa dünyanın var olması düşünülemez, herhangi bir canlının yaşam döngüsünün devam etmesi beklenilmez. Dünyada bütün enerji kaynakları birçoğu güneşin neden olduğu tepkimeler sonucu açığa çıkmışlardır. Güneşten gelen ışınların sadece yarısı dünya üzerine ulaşabilmektedir diğer yarısı ya tekrar yansiyarak uzaya gider ya da hava kürede soğrulur. Dünya'ya gelen Güneş ışınlarında doğal ve yapay dönüşümler olmak üzere iki şekilde faydalanılır. Bu dönüşümler Tablo 2.3'te özetlenmiştir (Öztürk, 2008).

Tablo 2.3. Güneş Enerji Dönüşümleri

GÜNEŞ ENERJİSİ DÖNÜŞÜMLERİ	
<i>Doğal Dönüşümler</i>	<i>Yapay Dönüşümler</i>
<i>Toprak</i>	Güneş Işınımı: ısı (toplaçları) ve elektrik (güneş pilleri)
<i>Fotosentez</i>	Güneş Mimarlığı Uygulamaları
<i>Su döngüsü</i>	Su Gücü: mekanik => elektrik (barajlar)
<i>Rüzgâr ve dalga oluşumu</i>	Rüzgâr: elektrik => mekanik (türbinler)
<i>Doğal yangınlar</i>	Biokütle: ısı => gaz ve sıvı yakıt
	Fosil Yakıt: ısı ve elektrik

Doğal dönüşümlerinde su döngüsü suyun buharlaştırılması ile suyun devamlı bir devri daim yapmasını sağlar. Suyun devamlılığı dünyadaki bütün canlılar için yaşam kaynağıdır. Meydana gelen bir diğer dönüşüm ise fotosentez işlemidir. Canlıların devamlılığını sağlayarak oksijen üretilir. Dünyaya gelen Güneş ışınların sıcaklık etkisi ile atmosferde basınç farkları oluşur. Basınç farkları bir hava akımı oluşturur. Bu hava akımına rüzgâr denir. Sıcak soğuk havanın oluşmasında güneş etkin rol oynar (Öztürk, 2008).

Yapay dönüşümler ise insanoğlunun enerjiden farklı yollardan yararlanmak için geliştirdiği güneş enerji dönüşüm teknikleridir. Elektrik ve ısınma enerjisi olarak günlük hayatta birçok alanda yararlanılmaktadır. Sanayileşmede enerji üretimi sağlamaktadır.

Dünya üzerine gelen güneş enerjisi o kadar büyüktür ki; tüm dünyanın 1 yıllık enerjisini sadece 90 dakikada karşılayabilecek potansiyeli vardır.

Güneş enerjisi kullanımına bakıldığında Çin 78 GW'lık güç ile şebekeye bağlantılı sistemlerde yani on-grid sistemde dünyada ilk sırada yer almaktadır. Çin devletinden sonra ilk sıralarda Japonya, Almanya, ABD, İtalya, İngiltere ve Hindistan yer almaktadır (Anonim, 2022c).

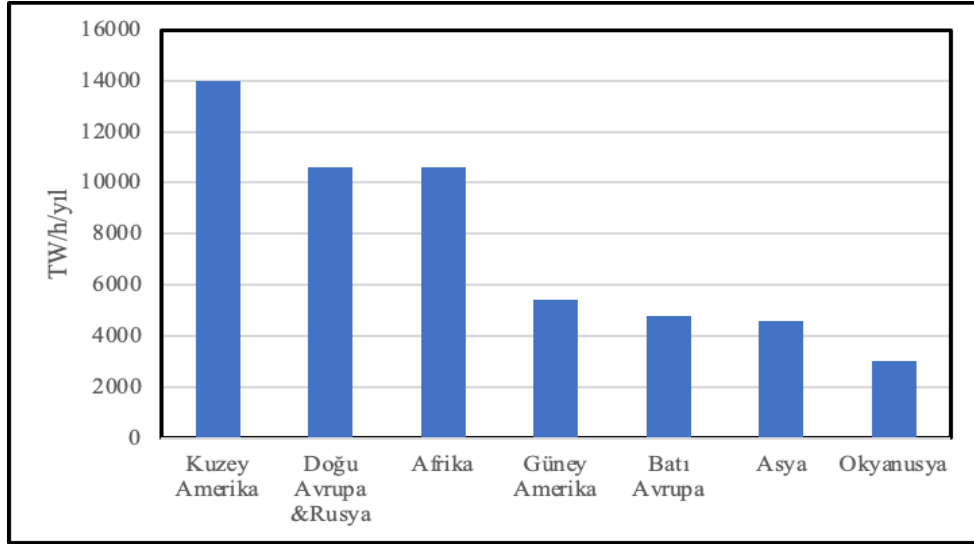
Türkiye’ de ise Güney Doğu Anadolu bölgesi güneş enerji potansiyeli bakımında ilk sırada yer almaktadır. Güneş enerji potansiyeli en düşük olan bölge ise Karadeniz'dir. Buna karşın Karadeniz’de görülen güneş enerjisi potansiyel değerleri Almanya’nın en fazla potansiyele sahip olan yerlerinden bile daha fazladır (Dinçer ve Ezan, 2020). Türkiye’de güneşlenme saatinin en çok olduğu ay temmuz ayıdır, aralık ayı ise güneşlenme saatinin en az olduğu aydır. Türkiye’nin günlük olarak bakıldığında güneşlenme zamanı yaklaşık 7,49 saat/gündür. Bir yıllık güneşlenme saatinin toplamı yaklaşık 2736,89 saat-yıl ($7,49 \times 365$) dır. Bu değerler göz önüne alındığında Türkiye’nin güneşlenme süresine göre yüksek bir potansiyeli vardır. Aşağıda verilen Şekil 2.2’de Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgeleri belirtilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2017). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi güneş enerji potansiyeli en fazla Güneydoğu Anadolu bölgesidir. İkinci sırada ise Akdeniz yer almaktadır. En az güneşlenme potansiyeline sahip bölgemiz ise Karadeniz bölgesidir.



Şekil 2.2. Güneşlenme Haritası

2.2.2.Rüzgâr Enerjisi

Güneş enerjilisinden faydalanarak oluşturulan enerji kaynaklarında birisi de rüzgâr enerjisidir. Dünyanın dönme eksenin eğimi, şekli, dünya yüzeyindeki heterojen yapı nedeniyle ile yeryüzünün soğuması veya ısınmasından kaynaklı ortaya çıkan farklı basınçlarda oluşan hava hareketlerine rüzgâr denir. Daha basit bir şekilde ifade edilecek olursa hava kütlelerinin değişik ısı alanlarında karşılaşmasından meydana gelen hava olayına rüzgâr denir. Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesine yarayan sisteme ise rüzgâr türbini denir. Rüzgâr enerjisinin tercih edilmesinin en önemli sebepleri dışa bağımlılığı azaltması, yerli enerji, zararlı gaz emisyonlar yaymaması, çevre dostu ve her zaman kullanılabilen bir enerji olmasıdır. Ama fazla yer kaplaması ve ilk kurulum ücretlerinin fazla oluşu rüzgâr enerjisinin olumsuz yönlerindedir (Şengül ve ark., 2015). Rüzgâr enerji üretimi giderek yükselen ve kapasitesi yeni bulunmuş yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. IEA tarafında dünyadaki rüzgâr enerjisi kapasitesini belirlemek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Araştırma sonucunda dünyada olan toplam rüzgâr kapasitesi 53.000 TWh/yıl olarak bulunmuştur (Şenel ve Koç, 2015). Rüzgâr enerjisi piyasasında 93 GW'lık güç ile rekor sevide yeni kurulumlarla imza atıldı. Denizde ve karada toplam rüzgâr enerji potansiyeli 743 GW'a kadar artı. Rüzgâr enerji kapasitesi fazla olan bölgeler veya kıtalar genellikle durumu şöyledir; ABD ve Dünyaya bakıldığında en yüksek rüzgâr enerji potansiyeline sahip Kuzey Amerika kıtası 14.000 TWh/yıl enerjiyle ilk sırada bulunmaktadır. İkinci sırada ise 10.600 TWh/yıl rüzgâr gücü ile Afrika, üçüncü sırada Rusya ve Doğu Avrupa yer almaktadır. Dünya Teknik Rüzgar potansiyelinin kıtalara göre dağılımı Şekil 2.3.'te yapılan araştırmalar ışığında verilmiştir (Şenel ve Koç, 2015).

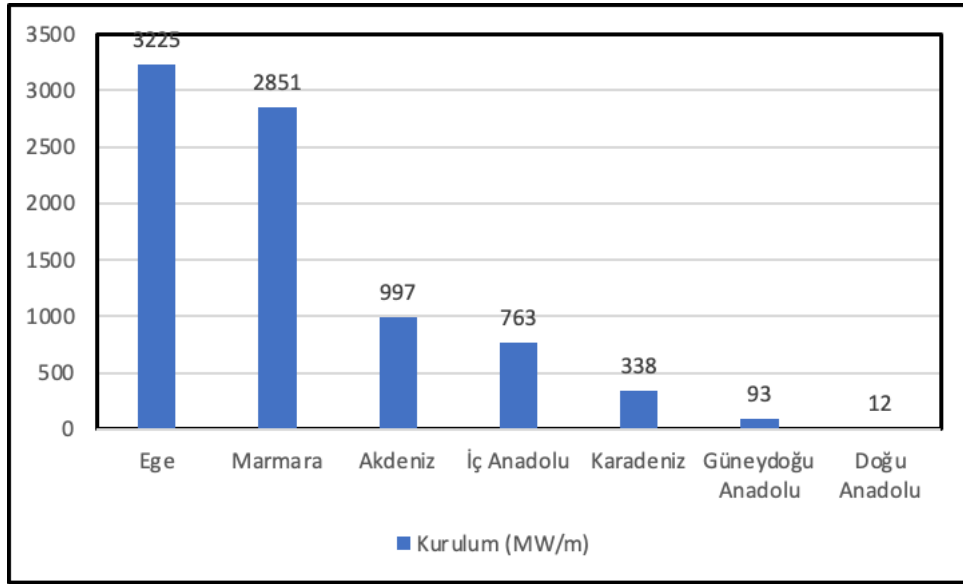


Şekil 2.3. Dünya Teknik Rüzgâr Potansiyelinin Kıtalarla Göre Dağılımı

Küresel ölçekte Türkiye rüzgâr enerjisinde ilk sıralarda yer alan ülkelerin içindedir. Türkiye’de her geçen sene rüzgâr santralinde artışlar olmuştur. 2019 yılında kurulu gücü 686 MW olan rüzgâr santralleri 2020 yılında ise kapasitesini artırarak 9.280 MW’lık güce ulaşmıştır.

Türkiye, 8 bin MW’lık rüzgâr enerjisi kurulu gücüyle dünyada 12. Sırada ve Avrupa’da 6. Sırada bulunmaktadır. Ayrıca rüzgâr enerji santrallerin araç ve gereçlerinin üretiminde Avrupa’da ilk 5 devlet arasındadır. Türkiye’de yerden 50 m yüksekten ve hızı 7,5 m/s üzerinden rüzgâr hızına sahip alanlarda bir santralin kurulması için km^2 başına tam 5 MW’lık güce sahip bir rüzgâr santrali kurulacağı varsayılmaktadır. Rüzgâr üretim bilgileri için orta ölçekli sayısal hava tahmini modeli ile mikro ölçekli rüzgâr akış modelinden faydalanılmaktadır. Elde edilen verilerden Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası raporu hazırlanmıştır.

Türkiye’de toplam 48.000 MW gücünde rüzgâr enerjisi kapasitesi olduğu kabul edilmiştir. Bu kapasiteye karşılık gelen toplam yerin rüzgâr potansiyeli Türkiye’nin %1,30’luk yüz ölçümüne denk gelmektedir. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Santrallerinin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.4’te gösterilmiştir. Bu grafiğe göre 3.235 MW/m Kurulu rüzgâr enerji gücüyle Ege Bölgesi birinci sırada bulunmaktadır. 2851 MW/m kurulu güç ile Marmara ikinci sırada yer almaktadır. Sırasıyla Akdeniz 997 MW/m, İç Anadolu 763 MW/m, Karadeniz 338 MW/m ve en son sırada Güneydoğu Anadolu 93MW/m bölgesi yer almaktadır (Anonim 2022d).

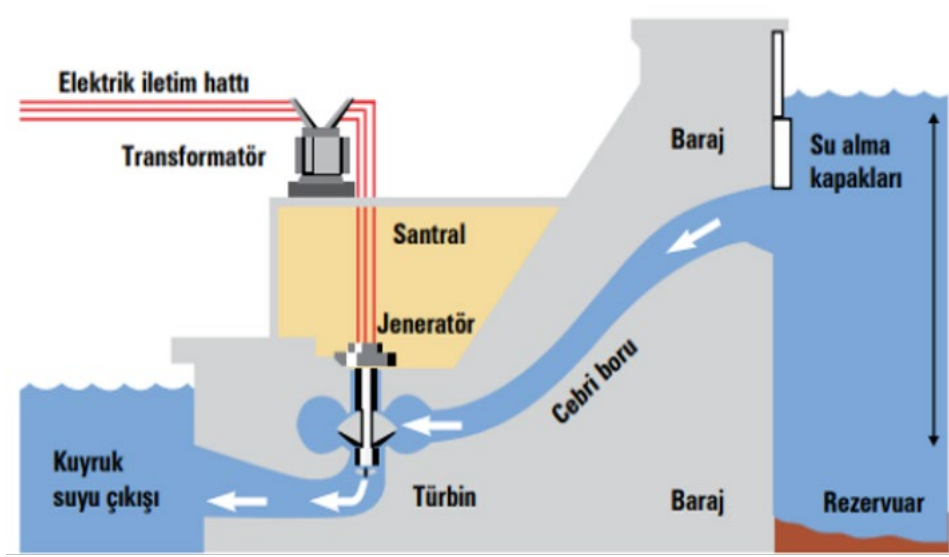


Şekil 2.4. RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı

Türkiye’de Van (Gevaş ilçesi)’de en yüksek yere sahip rüzgâr enerji santrali kurulmuştur. Gevaş ilçesindeki bu rüzgâr enerji santralin 53,2 MW’lık RES ve 2 bin 900 yükseklik ile toplam 50 bin evin elektrik ihtiyacını gidermektedir (Anonim, 2022e).

2.2.3.Hidrolik Enerji

Su kökenli enerji kaynaklarına hidrolik enerji denir. Bir başka deyişle hidrolik enerji belli miktarda yüksekliğe sahip suyun veya akışkanın potansiyel enerjisine denir. Hidroelektrik enerjisi üretilirken ilk başta mekanik enerjiye dönüştürülür, arkasından ise elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile meydana gelir. Hidrolik enerjisinden elektrik üretim yerlerine hidroelektrik santraller (HES) adı verilir. Güneş enerjisinden faydalanarak göl ve denizde su buharlaşarak su döngüsüyle bir devamlılık oluşturulur. Devamlı oluşması hidrolik enerji kaynağını yenilenebilir bir enerji kaynağı yapmaktadır. Suyun kinetik enerjisinden potansiyel enerjiye dönüştürülerek elektrik üretimi yapılır. Şekil 2.5’te hidroelektrik santrallerde enerji üretimi gösterilmektedir (DSİ, 2011). Şekilde görüldüğü gibi suyun belli bir yükseklikte aşağıya doğru akmasıyla, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşerek elektrik enerjinin üretimi olmaktadır.



Şekil 2.5. Hidrolik enerji üretimi

Hidroelektrik üretimi sayısal olarak incelendiğinde 2020 yılında %1,5 artışla yaklaşık 4.370 TWh'ye seviyesine geldi. Bu veriler dünyadaki toplam enerji üretiminin %16,8'ine tekabül etmektedir. Devletlerin dünyada bulunduğu coğrafi konumu hidrojen enerjisi için önem teşkil etmektedir. Sulak bölgelerde veya engebeli arazi yapısına sahip ülkelerin elektrik üretme potansiyeli daha fazladır. Örneğin Brezilya, Vietnam, Malezya, Hindistan ve Türkiye hidroelektrik potansiyeli fazladır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Ayrıca elektrik üretiminde Çin'de ön gelen bir ülkedir 2020 yılında son yıllardaki en büyük yükselişini yaparak 2,6 GW güçlü bir santral inşa etti. Çin'den sonra en büyük santrallere sahip ülkeler Brezilya, Hindistan ve Angola devletleridir (Anonim, 2022f). Türkiye'ye bakıldığında 31.336 MW'lık HES Kurulu gücü vardır. 2019 yılında toplamda HES'ler 88.850.170.000 kilovatsaat elektrik üretmişlerdir. Şanlıurfa'da yapılan Atatürk Barajı Türkiye'nin en büyük HES Kurulu gücüne sahip barajdır. Bu barajın kurulu güç potansiyeli yaklaşık olarak 2.405 MW'dır ve 1.864.058 kişinin enerji gereksinimini karşılayacak kapasitededir (Anonim, 2022a).

2.2.4.Dalga Enerjisi

Dalga üzerinde veya dalga yüzeyinin altındaki basınçta elde edilen enerjiye dalga enerjisi denir. Denizler ve okyanuslarda esen rüzgârlar ile dalgalar oluşturulur.

Meydana gelen bu dalgalar çok kuvvetli bir güce sahiptir. Dalgalarda oluşan yüzey hareketler ve oluşan basınçtan doğrudan dalga enerjisi oluşur (YEGM, 2014). Yenilenebilir enerji pazarında en küçük yere sahiptir. Birçok proje küçük boyutlarda ve 1 MW'lık daha küçük potansiyelde enerji üretimi yapmaktadır. 527 MW işletme kabiliyeti ve 2 MW'lık güç ile 2020 senesinde büyük bir artış olmuştur. Birçok ülkede işletme kapasitesi artmıştır. Özellikle İskoçya kıyılarında yüksek potansiyel sayesinde dalga enerjisi kurulumunda aşırı miktarda artış olmuştur. Dalga enerjisinden çok yüksek verim elde edilir. Ama halen dalga enerjisi istenilen seviyede değildir (Anonim 2022f). Türkiye'de dalga enerjisinden elektrik üretimi Zonguldak'ta yapım aşamasındadır. Bu santralin elektrik üretim gücü 50 kilovattır.

2.2.5.Gelgit Enerjisi

Gelgit enerjisi, gelgit sebebi veya akıntı ile yeri değişen su kütlelerinden kaynaklı potansiyel veya kinetik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesine denir. Su seviyelerindeki değişimler güneş, dünya ve ayın konumunun değişmesiyle deniz tabanı ve kıyı kesimlerinde gelgit akım gücü meydana gelir (Gülsaç, 2009).

2.2.6.Jeotermal Enerji

Yerkabuğunun en derinlerindeki magma kütesinin içinde olan henüz soğumamış ısıda meydana gelen enerji çeşidine jeotermal enerji denir. Sular yüksek sıcaklık derecesinde yeraltından yeryüzüne doğru geçirimli ve gözenekli yapıya sahip geçirimsiz örtü olan kayalarda toplanır. Bu sayede kırıklı ve çatlaklı yapılardan geçen sıcak su yeryüzüne çıkıp jeotermal sistemlerinin çalışmasını sağlar. Yerkabuğunda bulunan doğal su dolaşımını kendi halinde bırakarak, ısı birikimiyle doğal olmayan kırıklar meydana getirilerek suyun dolaşımıyla jeotermal enerji elde edilir. Su ile çalışan bu teknolojik sistem kızgın kuru kaya olarak isimlendirilmiştir (Erkul, 2012). Jeotermal enerji elektrik ve evlerde sıcak su olarak kullanılabilir. Özellikle yanardağ bölgelerinde 140 °C' deki sıcaklıklarda jeotermal enerjiden elektrik elde edilir.

Jeotermal enerjisinden faydalanmak için ısı uygulamaları çok fazla kullanılmaktadır. Japonya, Çin, İzlanda ve Türkiye'de kullanılan enerjinin %70'ini meydana getirmektedir. Isıtma uygulamalarında doğrudan kullanılabilmesi ve ısıtma alanlarından ilk tercih sırasında olmasından dolayı son senelerde kullanımda %8 oranında bir artış

olmuştur. 2020 yılında jeotermal enerji kurulumu tahmini olarak 97 TWh iken, doğrudan jeotermal enerji kullanımında ise 128 TWh seviyelerine ulaşılmıştır. Son senelerdeki jeotermal alanında elektrik üretiminde artışlar yaşanmıştır. Özellikle en çok tesis kuran ülke Türkiye olmuştur (Anonim 2022f). Ayrıca Maden Tetkik Arama (MTA)'nın yapmış olduğu araştırmalar sonucunda Türkiye'nin jeotermal alanında çok yüksek kapasitesi olduğu sonucuna varılmıştır. Türkiye Avrupa'da jeotermal enerji potansiyeli olarak 1. Sırada dünyada ise 7. Sırada yer almaktadır. Türkiye'de termal ısı kapasitesi toplam 31.500 MW güce sahiptir. Ama jeotermal kaynak aramalarındaki yüksek maliyetler sebebiyle bu enerjiden yeteri kadar faydalanılamamaktadır (Anonim, 2022g).

2.2.7. Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi, belli bir zamanda bir tür veya canlıdan oluşan bir toplumun organizmalarından oluşan kütle miktarına denir. Ayrıca yeşil renkli bitkilerin güneş enerjisinden faydalanılarak fotosentez ile bitkilerin kimyasal enerjiye dönüştürülüp depolanmasında oluşan organik madde kaynaklarıdır. Biyokütle enerjisinin ana bileşiği karbon-hidrat bileşikler, bitkisel ve hayvansal kökenli doğal atıklardır. Başka bir tanımı da yıllar içindeki dönemlerde oluşan orman ürünlerinin, kentsel atıkların, karada veya suda yaşayan tüm bitkilerin, hayvansal atıkların ve besin sanayisinde olan bütün organik maddelere biyokütle enerjisi denir (Kaplukan, 2014). Aşağıda bazı biyokütle enerji kaynakları verilmiştir.

- Hayvansal kökenli atıklar,
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum),
- Yağlı tohum bitkiler (ayçiçek, aspir, soya, kolza, pamuk(çiğit), gibi),
- Odun (ağaç artıkları enerji ormanları),
- Karbonhidrat kökenli bitkiler (pancar, patates, mısır, buğday, v.b),
- Şehirsel ve sanayi atıkları,
- Bitkisel kökenli atıklar (saman, dal, sap, kök, kabuk v.b).

Türkiye'de iklim çeşitliliğinin fazla olması tarımsal alanlarda üretimi artırmıştır. Bu sayede Türkiye'de birçok tarımsal atıklar oluşmaktadır. Ayrıca artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak evsel ve sanayi atıklarında artış meydana getirmektedir. Türkiye'deki biyokütle potansiyeli göz önüne alındığında ülkeyi daha çevre dostu ve enerjide bağımsızlaştıracaktır. Türkiye' de 1.184 MW'lık toplamda üretilen biyogaz

enerjisi vardır. 2019’da toplam 4.266.000.000 kilovatsaat elektrik üretim yapılmıştır (Anonim, 2022h).

2.2.7. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen elementi dünyada en çok bulunan elementlerin başında gelir. Hidrojenin ana kaynağı su olduğu için denizler ve akarsuların içeriğinde çok fazla bulunur. Doğada saf halde değildir. Hidrojen elementinden yararlanmak için çeşitli yöntemlere başvurulur. En çevre dostu ve temiz olan enerji kaynağıdır. Hidrojen enerjisi birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak hidrojen elde edilip, elde edilen bu enerjinin başka yere iletilerek farklı yöntemlerle çevrilen bir enerji kaynağıdır (İder, 2003). Hidrojenin 3 üretim yöntemi vardır. Bunlar kimyasal, elektrokimyasal ve biyolojiktir. Kimyasal yolla metanın buharla fermantasyonu, biyokütle veya kömürü gaz haline getirilerek yapılan yöntemlerdir. Biyofotoliz veya bakteri fermantasyonu alanında yapılan hidrojen üretiminde biyolojik yöntem kullanılır. Son olarak ise PEM, deniz suyu ve alkali ile hidrojen üretimine elektrokimyasal yöntem denir. Genel olarak hidrojen enerjisi hidrojen yakıt hücreleri ve hidrojenli araçlarda kullanılır. Hidrojen ve oksijen elementlerinin birleştirilmesiyle elektrik enerjisi üretilme işlemine hidrojen yakıt hücre teknolojisi denir. Askeri uygulama alanlarında telefon ve dizüstü bilgisayarlarda kullanılabilir. Araçlarda ise otobüs ve otomobillerde kullanılabilmektedir (Yüksel ve Topçu, 2019). Hidrojen enerjisinin dünyada her geçen gün hem önemi hem de kullanımı artmaktadır. Birçok ülke bu alana ilgiyi artırmak için hem destekleme politikaları hem de ödüllü yarışmalar düzenleyerek hidrojen enerjisi geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2.3.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları Dezavantajları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak yenilenebilir enerjinin avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır.

2.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları

Yenilenemez enerjilerin neden olduğu meselelerden dolayı, yenilenemez enerjinin alanında yeni arayışlara yönelim artmıştır. Yenilenebilir (sürdürülebilir) enerjinin çok avantajı vardır. Bunlardan en önemlileri:

- Çevresel Yararlar: Sürdürülebilir enerji kullanımları sonucunda çevreye herhangi bir olumsuz durum ve kirletici oluşturmazlar.
- İş ve Ekonomik Yararları: Çok fazla maliyetler ödeyerek enerji satın almak yerine, yerel malzeme ve iş gücü kullanılması ile yerel kurum ve halk ekonomik olarak desteklenir. Yeni iş imkânları ortaya çıkarak ülke ekonomisi desteklenmiş olur. Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojilerin satışını yapmak birçok ülke için gelir kaynağı oluşturmaktadır.
- Enerji Güvenliği ve Siyasi Yararlar: 1970 petrol kriziyle birlikte insanlar daha güvenilir ve istikrarlı enerjilere yönelmişlerdir. Bununla beraber yenilenebilir enerji kaynakları petrole olan bağımlılığı azaltarak ülkelerin kendi siyasi enerji politikalarını özgür bir şekilde belirleyerek dışa bağımlılığı azaltacaktır.
- Yenilenebilir enerji kaynağı tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Bakım ve işletme maliyeti çok azdır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları genellikle yerli kaynaklardır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak cari açıkta oluşan dış ticaret açığı azaltılabilmektedir.

2.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları

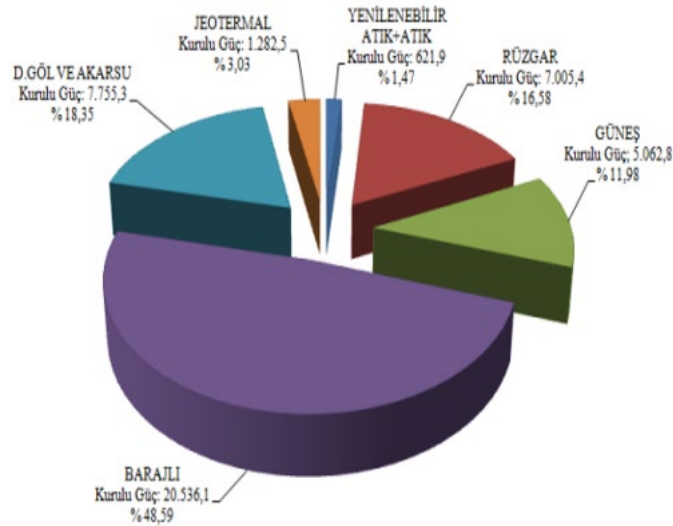
- Daha fazla yatırım maliyeti vardır. İlk kullanılmaya başlandığı zamana göre gittikçe maliyeti düşmesine rağmen hala çok pahalıdır.
- Kesintili bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji 7/24 bulunmamaktadır. İklim değişikliği, hava şartları ve gece-gündüzün yaşanması enerjide devamlılığı önüyor. Fosil kaynakları ise devamlı ve kesintisiz bir enerji kaynağı olduğu için talebi artırıyor.
- Kesintili bir enerji kaynağı olduğu için depolama çok büyük önem taşıyor. Ancak günümüz teknolojileri genellikle çok pahalı olmaktadır.
- Yenilenebilir enerji için coğrafi kısıtlamalar vardır. Dünyanın güneş etrafında dönmesi sonucunda oluşan mevsimsel farklar yenilenebilir enerjiyi olumsuz etkileyebilir.

- Günümüzde yenilenebilir enerji hakkında çalışmalar artsa bile yenilenebilir enerjide yararlanma konusunda yeterli bilgi ve teknolojileri yoktur.

2.4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Gelişimi

Bir ülkenin bulunduğu coğrafya o ülkeyi hem avantajlı hem de dezavantajlı durumuna sokabilmektedir. Bulunduğumuz çağa bakıldığında dini, milli ve ekonomik nedenlerden dolayı savaşlar çıkmaktadır. Özellikle ekonomik savaşlar hem başka ülkelerin müdahalesi hem de iç sorunlar haline dönüşerek çok kötü sonuçlar doğurabilmektedir. Her ülke istikrarlı bir şekilde ekonomisini artırma gayreti içindedir. Türkiye tarih boyunca coğrafi konumu sayesinde çok önemli olmaktadır. Geçmiş, günümüz ve yarına baktığımızda da bu böyle olacaktır. Özellikle Türkiye bulunduğu stratejik konumundan dolayı birçok savaş ve çatışmalardan etkilenmiştir. Türkiye’nin bağımsız bir şekilde kararlar verebilmesi ve başka ülkelerin baskısından korunmak için bağımsız bir ekonomiye ihtiyacı vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yerli olması Türkiye gibi bir ülke için daha çok önemli hale gelmektedir Türkiye’nin coğrafi konumuna bakıldığında yenilebilir enerjiler yüksek potansiyel vadetmektedir. Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjileri konusunda birçok ülkeye kıyasla çok daha iyi konumdadır. Ancak enerji kullanım ihtiyacının çoğunu dış devletlerden almaktadır. Dışa bağımlı bu durum ülkede cari açığı her geçen gün artırmaktadır.

Türkiye 2009 yılında yenilenebilir enerji konusunda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Yenilenebilir enerji üretiminde 2009 yılında Türkiye’de toplam kurulu gücü 15,5 GW (GigaWatt) güç iken yüksek bir artışla 2015 yılından sonra 31,7 GW seviyelerine gelerek ilk kez bu alanda böyle yüksek sıçrayış olmuştur (Karagöl ve Kavaz, 2017). Yenilenebilir enerji kurulu gücü TEİAŞ 2022 Nisan ayı raporuna göre 10.119 tane santralle bir önceki yıla göre 160,3 MW artarak 53,787 GW olmuştur (Anonim, 2022i). Aşağıda verilen Şekil 2.6’da Türkiye’nin 2019’daki yenilenebilir enerji alanındaki kurulu güç oranı verilmiştir (TEİAŞ). Bu şekilde görüldüğü gibi en yüksek kurulu güç barajlar ile üretilen enerji kaynaklarıdır. İkinci sırada ise göl ve akarsu enerjisi yer almaktadır. Daha sonra sırasıyla rüzgâr, güneş, jeotermal ve en son yenilenebilir atık enerjisi olmaktadır.



Şekil 2.6. Türkiye Kurulu güçte yenilenebilir enerjinin payı

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunma potansiyeli çok fazla olmasına karşın yenilenebilir enerji kaynakları kullanmada yeterli potansiyeli bulunmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının az kullanılmasının başlıca nedenleri verimlilik, maliyet ve yasal düzenlemeler olduğunu söylenilebilir.

Türkiye’nin enerjide dışa olan bağımlılığı düşünüldüğünde elde hazır bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması Türkiye’nin uzun dönem geleceği için önemli bir durum olmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Aşağıdaki Tablo 2.4’te Türkiye’deki yenilenebilir enerji gücünün 2013, 2017 ve 2021 verileri ve 2023 hedefleri yer almaktadır. 2013, 2017 ve 2021 verilerine bakıldığında her sene kurulum gücü artmaktadır. Bu artış 2023 hedeflerine ulaşmasını kolaylaştıracaktır. 2023 yılında yenilenebilir enerji alanında artış olacağı öngörülmüştür.

Tablo 2.4. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Konusunda 2013, 2017, 2021 verileri ve 2023 Hedefleri

Yıllar	Kurulu Elektrik Üretimi Gücü	Hidroelektrik	Rüzgâr	Jeotermal	Güneş	Biyokütle
2013	MW	22289	2759	310	0	224
2017	MW	27000	6300	1000	1500	500
2021	MW	31492	10607	1676	7815	1642
2023	MW	35000	20000	1900	9010	1825

Türkiye sahip olduğu konum sayesinde güneş enerji potansiyeli çok yüksektir. Sahip olduğu kaynakları aktif bir şekilde kullanmak için 2023 hedeflerinde enerjiye çok yatırım yapmıştır. Yenilenebilir enerjilere büyük amaçlar koyup, toplam enerji

kullanım payını yükseltmek istemektedir. Ülkemizin çok büyük güneş enerji potansiyeli olduğunda bu alanda daha fazla çalışmalar yapılmalıdır. Bu alanda yetiştirilmek üzere insanlara eğitim verilmelidir. Kurum veya kişiye yönelik teşvik politikaları yapılmalıdır. Güneşten elde edilen verim yaklaşık olarak %20-40 seviyelerine ulaşmıştır. Bu alanda artırılan çalışma ve teknolojik gelişmeler sayesinde daha uzun ömürlü, çevre dostu ve yüksek verim elde edilebilir. Yükselen verim ve geliştirilen teknoloji sayesinde hem dışa bağımlılık azaltılacak hem de kullanılan çevre dostu tesisler sayesinde su, hava gibi çevre kirlilikleri azalacaktır. Türkiye 2023 ve 2030 yıllarında kısa ve uzun dönem çalışma hedefleri gerçekleştirip, bölgede önde gelen enerji merkezi olmayı amaçlamaktadır (Deniz, 2020)

Türkiye’ de en yüksek tüketim enerjilerinden olan doğalgaz ve petrol enerji kaynaklarında dışa bağımlı durumdadır. Yenilenebilir enerjinin kullanımının artmasıyla enerji tüketen ülke durumundan enerji üreten bir ülke haline gelecektir. Türkiye sahip olduğu jeopolitik konumunu avantajlı duruma getirmeye çalışmaktadır. Bununla beraber yerli enerji kullanımı artıkça jeopolitik değerde artış olacaktır. Ayrıca ekonomik sorunlardan kaynaklanan sorunların bazılarını çözerek ülkenin refah seviyesi yükselecektir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ: GELİŞİM VE HESAPLAMALARI

3.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Dünyaya en yakın yıldız olan güneş, yer kürenin en temel enerji kaynağıdır. Güneşin özelliklerine belirtirsek ağırlığı; $2,2 \times 10^{26}$ ton çapıysa; $1,39 \times 10^6$ km, son olarak yoğunluğuysa; $1,41 \text{ g/cm}^3$ sıcak gazın bir araya gelmesiyle meydana gelmiş orta büyüklükte bir gezegendir. Bu gezegenin sıcak gaz yapısında %75'i hidrojen, % 24'ü helyum ve % 1'i de başka elementlerden meydana gelmiştir. Carl Von Weisecker güneş aracılığıyla üretilen enerjinin füzyon sonucunda oluştuğunu açıklamış ve yapılan bilimsel araştırmalar da bunu kanıtlamıştır. Hidrojen atomları bağlanmasıyla tepkimeye girmesi ve helyum oluşurken enerjinin oluşmasına güneş enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır. Yapılan araştırmalar neticesinde güneş enerjisinin kökeni 3-5 milyar senelik olduğu saptanmış. Araştırmalar sonucunda 3-5 milyar sene daha enerji kaynağı olacağı belirtiliyor (Özbay ve Sarıışık, 2020). Güneşten yeryüzüne gelen ışınımın tamamı doğrudan gelmez. Bu ışınım ve radyasyonun % 30'una yakını dünya etrafını kaplayan atmosfer ile tekrardan yansıtılır, % 50'siyse atmosfer tabakalarından ilerleyerek dünya deniz ve karalar üzerine gelir. Gelen bu radyasyon ve ışınım atmosferde soğurulduktan sonrasında yeryüzü tabakasının metrekaresine düşen güç; 1000 W/m^2 civarında bulunur. Günümüzde güneş enerji teknolojisindeki olan yenilikler ve gelişmeler kullanımını hız kesmeden artırmıştır (Özbay ve Sarıışık, 2020). Bu çeşit çalışmalar günden güne artarak dünya ekonomisine yardımcı olmaktadır.

MÖ 215'te Arşimet güneş enerjisiyle ilk cihaz üretimini, Syracuse'yi abluka altına alan gemiler ile güneş ışınlarını odaklayarak diğer gemilerin yanmasını sağlamıştır (Kaplukan, 2015). Eski zamanlardan beri güneş enerjisinden faydalanılmıştır. İlk güneş enerjisinin kullanımı 18. yüzyıllara denk gelmiştir. Galile'nin 17. yüzyılda merceği bulmasıyla güneş enerjisinin kullanımına başlanılmıştır. İlk kez 1767 senesinde güneş kolektörü, bilim insanı Horace de Saussure tarafından yapılmıştır.

1816 yılında İskoç bilim insanı Robert Stirling yaptığı güneş enerjisi alanındaki buluşu için paten başvurusunda bulunmuştur. Bu makineli sistem daha sonrasında ise yoğunlaştırıcı güneş ısı elektrik alanında kullanılmaya başlanmıştır.

Fransız fizik insanı Alexandre Edmund Becquerel 1839 senesinde ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz yapmıştır. Bu cihaz ile iki metal plaka arasındaki elektrik akım şiddetini inceleyerek ışık şiddetini elde etmişlerdir. Ayrıca yapılan cihaz ile fotovoltaiik etki bulunmuştur. Güneş ışınları cihaz aracılığıyla emilerek, güneş enerjisinin elektronları atomlarından ayrılıp malzeme içinde ayrışması sağlanır. Güneş ışınlarının (fotonları) elektriğe (gerilime) çevrildiği olaya fotovoltaiik veya fotoelektrik etki denir (Kaplukan, 2015).

1873 senesinde İngiliz bilim insanı Willoughby selenyum elementin foto iletken olduğunu bulmuştur.

1877 senesinde ise İngiliz bilim insanları R.E.Day ve W.G.Adams katı selenyum içeriğindeki fotovoltaiik etki ile ilgili çalışma yaparak makale yayınlamışlardır.

1860 senesinde Auguste Mouchout ürettiği bir araç için buhar türbinini çalıştırmayı başarmıştır. Bu türbin güneş enerjisi kullanılarak suyun kaynatılmasıyla oluşan buharla çalıştırıldı. Dünyada keşfedilen ilk güneş enerjisiyle çalışan cihazdır.

1865 senesinde bu alandaki çalışmalar fazlaştırılarak, çanak şeklinde bir reflektör kullanılarak yeni bir buhar türbini yapılmıştır (Kaplukan, 2015).

1884 yılında bilim insanı Charles Fritts tarafından dünyada ilk kez güneş pilini keşfetmiştir. Güneş pilini çok ince bir altın tabakayla kaplayarak üretmiştir.

1888, 1894 ve 1897 senelerinde Amerikan Dairesi'nden çok fazla sayıda değişik panel ile çalışmalar üreterek, bu çalışmalardan patent almıştır (Kaplukan, 2015).

18. yüzyılda yoğunlaştırılmış güneş ışıınımları ve güneş ocakları kimyasal tepkimelerde kullanılmıştır. 19. yüzyılda güneş enerjisi kullanılarak çalışan baskı makinesi ve buhar makinesi icat edilmiştir. Güneş enerjisinin bir diğer kullanım alanı ise su dağıtımında olmuştur. Fransız asıllı mühendis Charles Tellier ilk kez yansıtmasız, yoğunlaştırmamasız bir güneş makinesi tasarlamıştır. ABD'de ilk kez ticareti yapılmıştır.

1892-1900 senelerinde Boston'lu Aubrey Eneas güneş enerji ile cihaz deneylerini yapmış ve bu tarihte güneş enerjisiyle alakalı firmalar kurulmuştur. Bu dönemin en önemli çalışması Albert Einstein'ın 1905 senesinde yaptığı fotoelektrik etki üzerinde çalıştığı makalesidir. Yazdığı bu makale kendisine Nobel Fizik Ödülü kazandırmıştır. Güneş enerjisi hakkında çok fazla araştırmalar yapılmıştır.

1914 yılında ise bu alandaki çalışmalar uzun bir zaman durmuştur. O tarihte güneş enerjisinin maliyetin yüksek olması, dengesiz bir enerji olması, altyapı eksikliğinden ve savaş gibi nedenlerden dolayı sektörde duraklama meydana gelmiştir. Daha çok geleneksel enerjilerden olan petrol ve kömüre yatırım yapılmıştır.

1946 yılında ilk kez silikonlu güneş hücresiyle ilgili çalışma Russell Ohl yapmıştır. Onun yaptığı çalışma sonrasında Gerald Pearson, Daryl Chapin ve Calvin Fuller gibi bilim insanları da silikonlu güneş hücresi üretmeyi başarmışlardır. Bu silikonlu güneş pillerin fiyatı 286 USD seviyesinde, verimleri ise %4,5-6 watt arasındadır.

1920-1930'lu senelerinde ABD'de güneş enerji ısıtma sistemlerinde düz levhali kolektör kullanımı yaygınlaşmıştır.

1950 senesinde yeniden güneş enerjisi tüketilmeye başlanmıştır. 1950 ve 1955 yılları arasında su ısıtmak için güneş enerjisinden faydalanılmıştır.

1970'lerden önce güneş enerjisinin maliyetlerinin yüksek olmasından ötürü fosil kaynaklarla rekabet edememiştir. 1970'li senelerde yaşanan kriz nedeniyle güneş enerjisi yeniden gündeme gelerek önem kazanmıştır.

1980 senesinde Luz Corporation tarafında Los Angeles'ta sanayi tip enerji yapılmaya başlanmıştır. Kurulumu yapılan bu parabolik aynalı düzenekte 354 MW'lık bir enerji elde edilmiştir.

1990'lı senelerde 10 MW'lık Ürdün'de ve Kaliforniya'da iki tane 30 MW'lık güneş kulesi inşa edilmiştir.

2000'li senelerde ise araştırma çalışmaları ve yatırımlar hızla yükselmiştir. Özellikle sanayi alanında fotovoltaiik araştırmalar çok gelişme kaydetmiştir (Kaplukan, 2015).

2006 senesine gelindiğinde artık güneş enerjisinde direkt elektrik enerjisi elde edilmeye başlanmıştır.

2007 senesine kadar fotovoltaiik güneş panel fiyatının yüksek olması bu alandaki gelişmelerin önüne geçmiştir. Aynı yıl teknolojik ilerlemeler ve yatırımların fazlaştırılmasıyla güneş tarlalarının sayısını artırmıştır.

Türkiye dünya üzerinde bulunduğu konumdan dolayı güneş enerji kapasitesi çok yüksektir. 1975 senesinde Türkiye'de İzmir ilinde ilk defa güneş enerjisiyle su üretilmeye başlandı. Türkiye dünya güneş enerjisiyle sıcak su üretiminde öncü ülkelerden biridir.

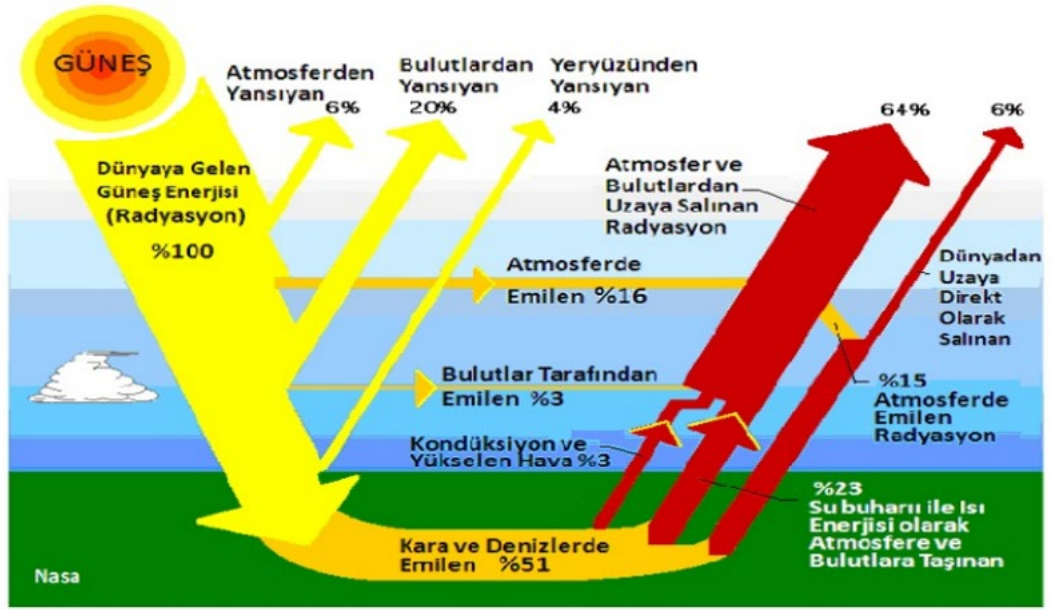
1966-1982 senelerinde Türkiye'deki güneş enerji kapasitesini araştırmak için birçok araştırmalar yapıldı. Devlet Meteoroloji İşleri'nin (DMİ) verilerini kullanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kurumunun yaptığı çalışma sonucunda yıllık güneşleme şiddetinin günlük yaklaşık olarak 7,2 saat olduğunu bulmuştur. 1311

kWh/m²-yıl ise Türkiye'nin yıllık ışınlam şiddeti olarak hesaplanmıştır (Karamanav, 2007).

Türkiye' de fotovoltaiik maliyetlerin yüksek olması ve yeterli düzeyde bilginin olmaması, güneş enerjisiyle elektrik üretimi istenilen seviyede değildir. Güneş enerjisiyle elektrik üretimini artırmak için büyük firmaların ve üniversitelerin araştırmalar ve yatırımlarını arttırmaları gerekmektedir. Fosil kaynaklardan oluşan sorunlar ve ekonomideki dengesizlik yüzünden dünyada olduğu gibi Türkiye'de de güneş enerjisi önemini artırmıştır. Türkiye'de güneş panelleri (PV) üretimini yapan şirket sayısı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizin sanayileşmesi artıkça enerjiye olan gereksinimde artacaktır. Bu gereksinimin karşılanması için yenilenebilir, temiz ve birincil enerji kaynağından biri olan güneş enerjisine ihtiyaç artacaktır (Kaplukan, 2015).

3.2. Güneş Enerjisinin Fiziksel Çalışma Prensipleri ve Hesaplamaları

Güneş çekirdeğinin içinde bulunan hidrojen gazının yüksek sıcaklıklarda füzyon tepkimesine girerek helyuma dönüşmesi sonucu ortaya çıkan ışıma enerjisine güneş enerjisi denir. Güneşte bulunan enerji şiddeti dünya atmosferinin haricinde 1370 W/m² civarında bir değeri vardır. Ama yeryüzüne ulaşan enerji şiddetinin miktarı atmosferdeki oluşan kırılmalar sonucu 0-1100 W/m² değerlerde olur. Dünyaya gelen güneş ışınlamalarının bütünü enerjiye dönüşmez. Bu ışınların bir kısmı bulutlardan geri yansırken diğer bölümü atmosfer tarafından soğurulur. Şekil 3.1'de Dünya'ya gelen güneş ışınlarının dağılımı verilmektedir (Tunç, 2009). Dünyaya gelen güneş ışınlamı atmosfere, bulutlara, yeryüzüne, kara ve denizlere gelmektedir. Güneş ışınlamı %51'lik değeriyle en yüksek kara ve denizlere gelmektedir.



Şekil 3.1. Dünyaya Gelen Güneş Işınlarnın Miktarı

Güneş ışınlarnının dünyaya düşme şekline göre hesaplamalar yapılır, bu güneş ışınlarnı hesaplamaları 3 ayrı ışınlarnı çeşidine göre yapılmaktadır. Farklı türdeki ışınlarnı dünyaya gelme şekline göre aşağıdaki Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bunlar:

Doğrudan Işınlarnı: Güneşten doğrudan alınan ışınlarnı değeri olarak tanımlanmaktadır. Bilhassa güneş enerjisinden ısı üretimi ve yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemleri hesaplamalarında kullanılır.

Yayılmış ışınlarnı: Güneş ışınlarnının dünya atmosferinde yayılmasıyla oluşan ve yeryüzü ile atmosferden yansıyan toplam ışınlarnı miktarıdır.

Küresel Işınlarnı: Yayılmış ışınlarnı ile doğrudan ışınlarnı toplamına denir. Fotovoltaik sistem hesaplamalarında çok fazla kullanılır.



Şekil 3.2. Güneşin Dünyaya Düşme Şekilleri

Yöntem, malzeme ve teknolojik bakımdan güneş enerjisi sistemleri, çok farklılık göstermekle beraber fotovoltaik ve ısı teknolojileri olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Isıl güneş teknolojilerinde en başta güneşten ısı almak gerekiyor. Isıl güneş teknolojisiyle doğrudan elektrik elde edilmesinde kullanılabilir. Yoğunlaştırılmış güneş santrali (CPS) ile yüksek sıcaklıktaki güneş enerjisi ısıya çevrilerek elektrik elde edilir (Mahmutoğlu, 2013).

Güneş hücresinin başka ismi fotovoltaik pillerdir. Fotovoltaik piller yarı iletken malzemeden elde edilip, güneş ışığıyla üretilen enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çevirir (Ceylan, 2012).

3.3. Güneş Enerjisinin Teknolojileri

3.3.1. Isıl Güneş Teknolojileri

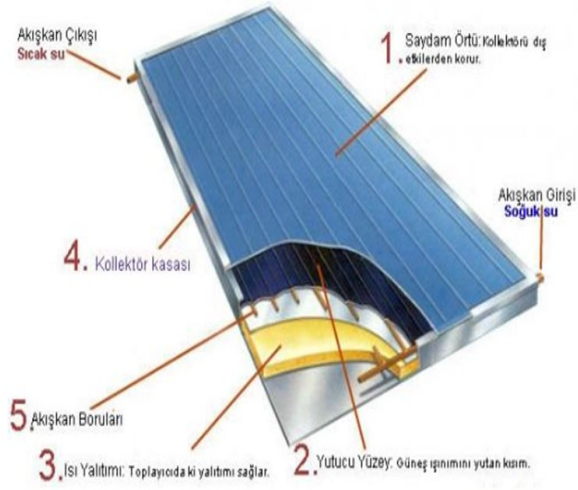
Yapılan tarihi araştırma kaynaklarına bakıldığında güneş enerjisinin ısıtma alanında kullanımı çok eskiye dayandığı sonucuna varılmaktadır. Hemen hemen insanlığın başlangıcından beri güneş enerjisi ısıtıcı olarak kullanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle, güneş ısıtıcıların yapısı da gelişmiş ve farklı düzenekler yapılmıştır. İhtiyaç duyulan ısıнын yoğunluğuna göre basit ya da karmaşık düzenekler

oluşturulmuştur. Güneş ısıtıcılarının çalışma tekniği açıklayacak olursak en yaygın güneş kolektörleri tekniğiyle elde edilen ısı enerjisinin kullanılan akışkan ile ihtiyaç duyulan yere eklenmesi tekniğine dayanan yöntemdir.

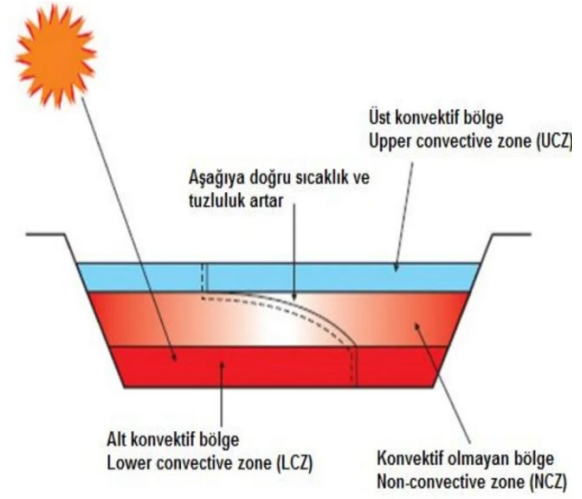
Düşük sıcaklıklarda kullanılan vakumlu tip ve düzlemsel güneş kolektör sistemleri vardır. Bunun yanında, günlük yaşamda pasif ısıtma teknolojileri gibi uygulamalarda da örnekleri vardır. Güneş enerjisi ısıtmasının uygulama alanları vardır. Bunlar: Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş bacaları, güneş mimarisi, vakumlu güneş kolektörleri, ürün kurutma ve seralar gibi uygulama alanlarıdır.

3.3.2.Yoğunlaştırıcı Isıl Sistemlerle Elektrik Enerjisi Üretimi

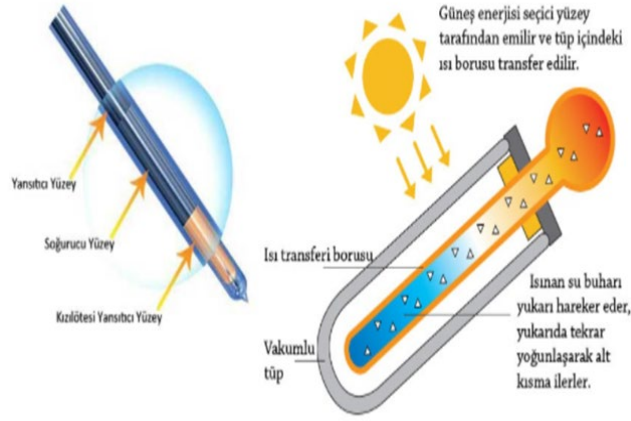
Güneş enerjisiyle kızgın buhar elde edilerek konvansiyonel tekniğiyle yoğunlaştırıcı ısı sistemler yardımıyla üretilen elektrik enerjisidir (Ceylan, 2012). Bu sistemde güneş ışınları belli bir yerde toplanır, daha sonradan oluşan sıcak buhar türbini gibi sistemlerle elektrik enerjisi elde edilir. Aşağıda verilen Şekil 3.3'te bu uygulama alanları ile ilgili görseller bulunmaktadır.



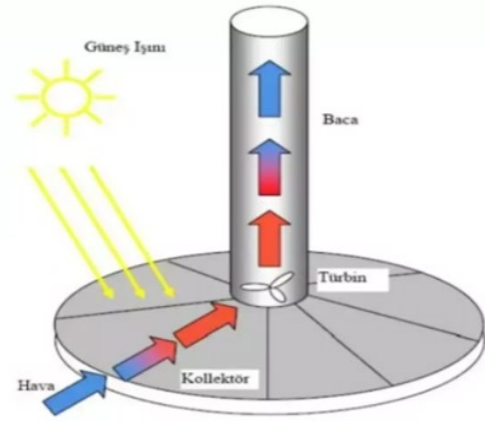
Şekil 3.3.a) Düzlemsel güneş kolektörleri



Şekil 3.3.b) Güneş havuzları (Anonim 2022ı)



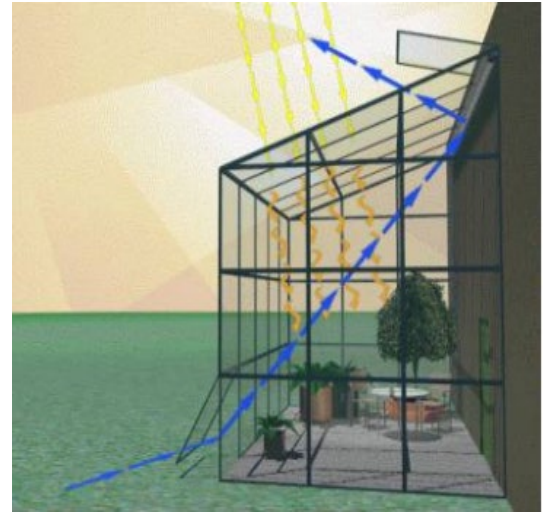
Şekil 3.3.c) Vakumlu güneş kolektörleri (Anonim, 2022j)



Şekil 3.3.d) Güneş bacası (Anonim, 2022k)



Şekil 3.3.e) Güneş mimarisi (Anonim 2022l)



Şekil 3.3.f) Ürün kurutma ve seralar (Anonim 2022m)

Şekil 3.3. Güneş enerji uygulamaları

3.4. Fotovoltaik Teknolojisi

3.4.1. Güneş hücrelerinin tarihsel gelişimi

Güneş hücresi (fotovoltaik diyotlar-piller) yüzeyine güneş ışığı düştüğünden, güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Güneş enerji dönüşümünde rastgele hareketli bir yer yoktur. Güneş hücresinin çalışma prensibi, fotovoltaik (Photovoltaic) olay ile olur. 1839 senesinde İlk adımı bilim insanı olan Fizikçi Becquerel, elektrolit içine konulmuş elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üstüne düşen ışığa bağımlı olduğu inceleyerek fotovoltaik enerjisi keşfetmiştir. Katılarda aynı olay ilk kez 1876 senesinde selenyum kristalleri ile ilgili G.W. Adams ve R.E. Day bilim insanları bulmuştur. Bu yapılan çalışmalardan sonraki yıllarda fotoğrafçılık alanında selenyum ve bakır oksit de dayalı foto pilleri ışık metresi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fotovoltaik pillerin 1914 yılına kadar verimliliği %1 değerine ancak ulaşmıştır. 1954 senesinde Chapin'in bulduğu silikon kristaller sayesinde %6 seviyelerinde bir verim elde edilmiştir. Fotovoltaik teknolojisi için büyük bir olay olan buluş sonraki yıllarda farklı alanlarda kullanımını da arttırmıştır. Fotovoltaik alanında yapılan araştırmalar öncelikli olarak uzay araçlarının enerji ihtiyacını karşılamakta kullanılmıştır. Fotovoltaik pilleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarında güvenilirliği kanıtlayan bir enerji çeşidi olmaya devam etmektedir. 1970 senesinde ise fotovoltaik teknolojide bir duraklama meydana gelmiş ve çalışmalar azalmıştır. 1954'te bulunan bu teknoloji gerçek ilgiyi 1973 senesindeki "1. petrol bunalımı" ile başlamıştır. Dünyanın hemen hemen gelişmiş bütün ülkelerinde fotovoltaik alanında geniş kapsamlı çalışmalar başlanmıştır. Avrupa, Amerika ve Japonya gibi gelişmiş yerlerde büyük mali programlar, geniş araştırma ve iyileştirici projeler başlatılmıştır. Bir taraftan uzay alanında kendini kanıtlamış silikon kristalleri ile ilgili güneş pillerinin verimlerini artırmaya çalışılırken diğer bir taraftan ise başka bir seçenek olmak üzere çok az enerjiye gerek olan ve maliyeti az olan yarı iletken ince film güneş pilleri alanında araştırma çalışmaları hızlanmıştır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin kolay, çevreyi kirletmeyişi fotovoltaik sistemlerin geliştirilmesi, araştırılması ve maliyetinin azaltılarak yaygınlaştırılması uzun senelerden beri birçok üniversitenin amaçları arasındadır. Bu nedenle toplum için hep üniversite laboratuvarlarda kalan bir çalışma olmuştur. Fakat dünya genelinde son 20

yılda çevreye olan duyarlılığın artması ve toplumun oluşturduğu baskı çok büyük firmaların fosil kaynaklı olmayan temiz ve yenilenebilir olan enerji kaynakları alanında yatırım yapmaya mecbur bırakılmıştır.

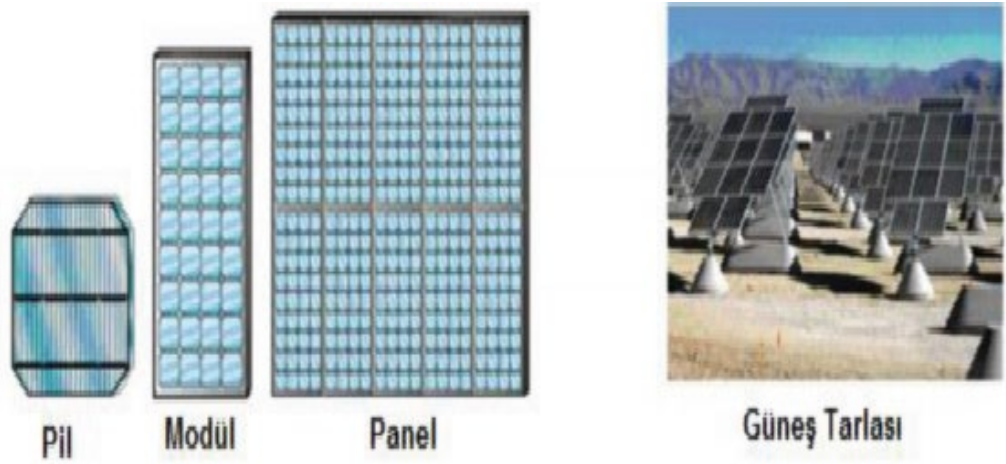
Büyük firmaların bu alana yönelmesi ile fotovoltaik pillerinde teknolojik gelişmeler meydana gelmiştir. Fotovoltaik sistemlerine olan ihtiyaç ve bununla ilgili üretim gücünün artması maliyetlerin hızla azalmasını sağlamıştır. Buradan yakın geçmiş tarihe bakıldığında fotovoltaik güç sistemleri geleneksel elektrik enerji üretim yöntemlerine göre çok maliyetli olarak değerlendirilmiştir. Yakın gelecekte ise gelecek vadeden enerji sektörlerine katkı sağlayabilecek bir sistem olarak görülüyor. Bilhassa fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlere göre elektrik enerjisi üretirken hesaplanmayan ve görülmeyen maliyet olarak değerlendiren “sosyal maliyet” hesaba katıldığında daha az maliyetli olarak görülebilir.

3.4.2. Güneş Pillerinin Özellikleri

Güneş panel yüzeyine gelen ışığı doğrudan elektrik enerjine çeviren yarı iletken sistemlere güneş pilleri denir. En çok kullanılan silisyum güneş pilleri yüzey şekilleri daire, dikdörtgen ve kare şeklinde ve alanları yaklaşık olarak 100 cm^2 'dir. Güneş pillerinin kalınlıkları 0.2-0.4 mm arasında değişmektedir.

Geleneksel bir silisyumlu güneş pilinde 0.5 volta kadar elektrik elde edilebilir. Güneş pili diğer bir ismi olan güneş hücresi, güneş enerji santralının en küçük parçasıdır. Bu en küçük birimden oluşan hücre en az iki yarı iletken katmanlı maddeden oluşmaktadır. Bu katmanlar pozitif katman ve negatif katmanlar olarak isimlendirilmiştir. Güneş hücresine güneş ışığı geldiğinde, güneş ışınlarını oluşturan fotonlar aracılığıyla yarı iletken katmanlar tarafından emilir. Emilme sonrasında negatif kattaki elektronlar serbest kalarak pozitif katmana doğru ilerleyerek elektrik akımını oluştururlar. Oluşan akım çok az miktarda olup, uygulamalarda kullanmak için yetersiz kalmaktadır (Karataş, 2009). Pillerde oluşan gerilim değerini artırmak için piller birbirlerine seri bir şekilde bağlanabilir. Örneğin bir 12 voltluk aküyü şarj edebilmek için genellikle 30 ila 36 tane güneş hücresi birbirine bağlanır. Bu hücreler toplamda 15-17 volt arası bir çıkış gücü elde ederler. Değişik çıkış güçleri verecek biçimde üretilmiş, değişik büyüklüklerde güneş pilleri vardır. Deniz düzeyinde ve bulutsuz güneşli bir günde yaklaşık 1000 W/m^2 ışıınım şiddetindedir. Bölgenin konumuna göre 1 m^2 'ye düşen güneş enerjisi ışıınım miktarı 800-2600 KWh arasında değişkenlik gösterir. Elde edilen

güneş enerji %5- %70 aralığında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Çıkış gücünü artırmak için birçok güneş hücresi birbirleriyle seri ya da paralel bağlanarak panel yüzeyine monte edilir. Silisyum güneş hücresi birbirine bağlanarak modülleri oluştururlar. Modüller ise birbirine bağlanarak güneş panellerini oluştururlar. Güneş panellerin birbirine bağlanması ile güneş tarlaları yapılır. Her güneş modülü seri ya da paralel bağlanabilecek şekilde, bağlantı kutusuyla beraber tasarlanır (Karamanav, 2007). Güneş pili, güneş modülü, güneş paneli ve güneş tarlası görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4' de görüldüğü gibi güneş panellerin en küçük parçası hücrelerdir. Hücrelerin bir araya gelmesiyle modül, modüllerin bir araya gelmesiyle ise güneş panelleri oluşmaktadır.

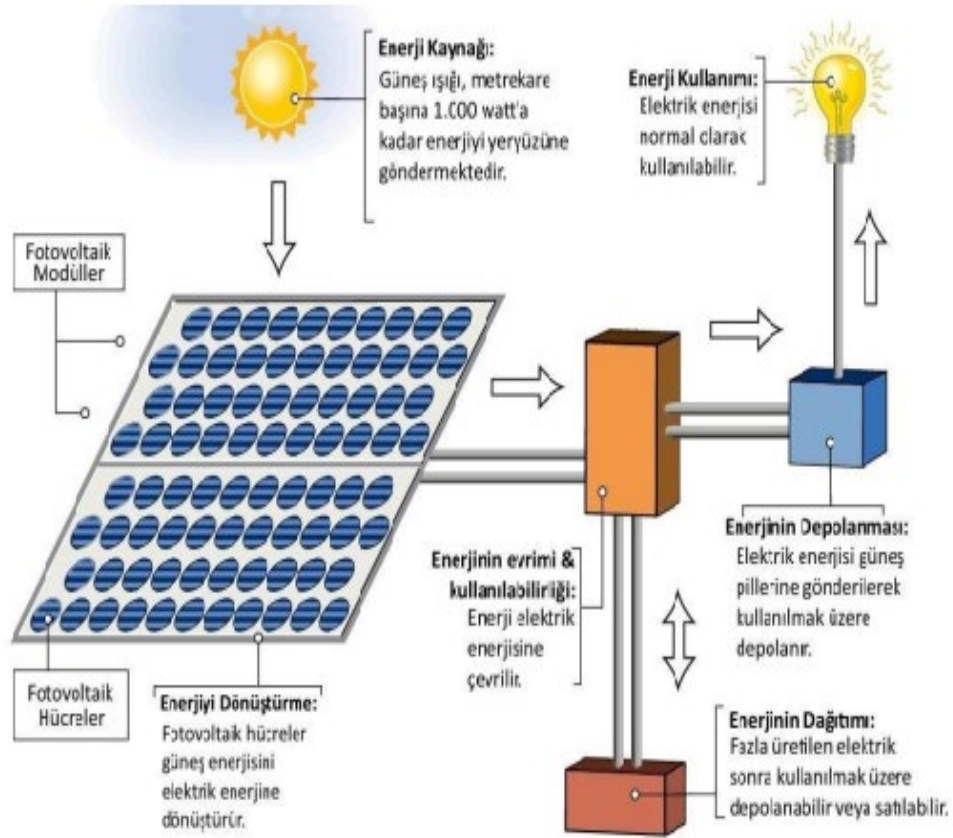


Şekil 3.4. Güneş pili, güneş modülü, güneş paneli ve güneş tarlası görünümü

Güneş hücresi fotovoltaiik prensibe bağlı çalışırlar. Güneş hücresinin yüzeyine ışık düştüğü an uçlarda elektrik enerjisi elde edilir. Elde edilen elektrik enerjisinin kaynağı yüzey üzerine düşen güneş enerjisidir.

Güneş pillerinde üretilen doğru akım güneş enerjisini evirici yardımı ile alternatif enerjiye dönüştürülür. Bu sistemler şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) olarak ikiye ayrılır. Esas fark şebekeden bağımsız sistemlerin ürettikleri enerjinin depolanabiliyor olmasıdır. Şebekeden bağımsız sistemleri oluşturan diğer elemanlar şöyledir; aküler, eviriciler, şarj kontrol cihazı ve batarya sistemleridir. Şebekeye bağlı sistemlerde üretilen fazla enerjinin şebekeye satılabilmesi ya da sistemin güneş modülünde enerji alamadığı durumlarda şebekeden beslenebilmesi sistemin en önemli özelliğidir. Şebekeye bağımlı sistemler kesintisiz bir elektrik enerjisi sağlıyor. Şebekeye bağımlı sistemlerde jeneratör veya batarya sistemleri kullanılabilir. Şekil

3.5'te fotovoltaik modüllerin çalışma prensipleri görülmektedir. Güneşten gelen ısıtım panel yüzeyine panellerde enerjiye dönüştürülerek depolanır ya da elektrik enerjisi olarak kullanılabilir.

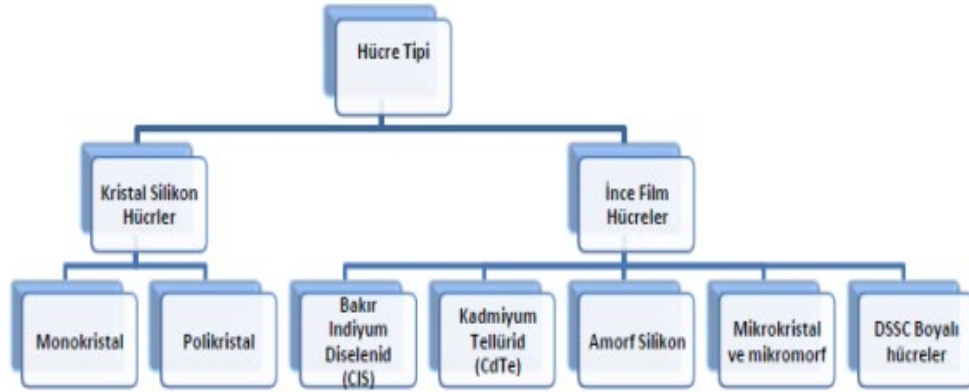


Şekil 3.5. Fotovoltaik modüllerin çalışma sistemi

3.4.2.1. Fotovoltaik Pil Çeşitleri

Fotovoltaik piller esasında ince film hücre ve kristal silikon hücreler (C-Si) olmak üzere iki kola ayrılmaktadır. Güncel kullanım oranlarına bakıldığında %93'lük oranla en yüksek pazar payına sahip pil çeşidi kristal silikon hücrelerdir. İnce film güneş hücre teknolojisi ise son senelerde büyük bir ilerleme kat etmiştir. Ayrıca pazarlama payını da artırmıştır. Şekil 3.6'da fotovoltaik hücre tipleri sınıflandırılmıştır (Girgin, 2011). Hücre tipleri kristal silikonlu hücre ve ince film hücreler olmak üzere gruplandırılmıştır. Kristal silikonlu hücreler monokristal ve polikristal olmak üzere ikiye ayrılır. İnce film

hücreler ise kendi içinde Bakır indiyum diselenit, kadmiyum tellürid, amorf silikon, mikrokristal ve DSSC boyalı hücreler olmak üzere gruplandırılır.



Şekil 3.6. Fotovoltaik hücre tipleri

Kristal Silikon Piller

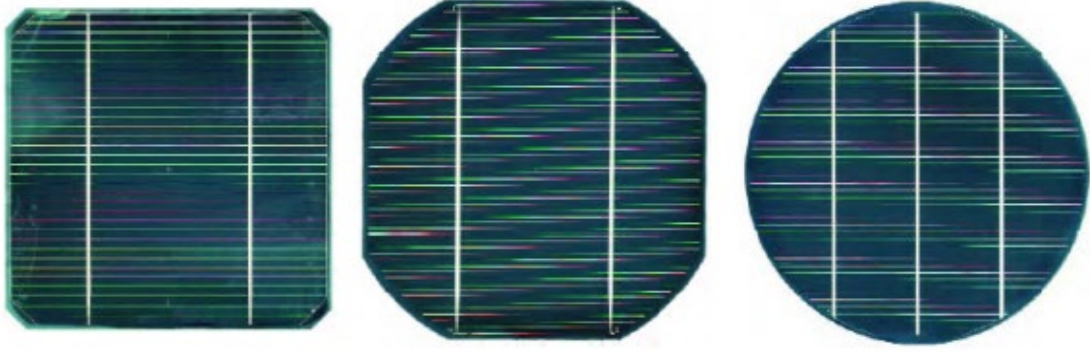
Silisyum, kristal silikon güneş hücrelerin (pillerin) en önemli ham maddesidir. Doğada en çok bulunan oksijen elementinden sonra silisyum elementi bulunur. Silisyum elementi doğada bulunan halini saflaştırdıktan sonra güneş pillerinde kullanılabilir. Saflaştırma işlemi için yüksek sıcaklıkta silisyum dioksit (SiO_2)'e ısıtma işlemi uygulanarak bileşenlerine ayrılması sağlanır (Upadhyaya, Yelundur, Rohatg, 2006). Bu işlemler sayesinde silisyum elektriksel özellikleri ve yapısı 20 ile 30 yıl, değişmemektedir. Isıtma işlemi sonrası kazandığı bu özellikler onun güneş pili üretiminde en çok kullanan element olmasını sağlar (Erkul, 2010).

Kristal silikon güneş hücreleri; monokristal güneş pilleri (hücre) ve polikristal güneş pilleri (hücre) olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Monokristal Güneş Pilleri**

Güneş pillerinde enerji elde etme yöntemleri içinde eski ve maliyetli olmasına karşın, hâlihazırdaki pil türleri arasında şimdi bile en fazla verimlilik değerine sahip piller arasında monokristal yapıllı piller gösterilmektedir. Pazarda hâlihazırda bulunan monokristal pillerin verimlilik değeri %15-%18 arasında değişmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber %20-%22 verimlilikte monokristal piller piyasaya sürülmüştür. Monokristal pilleri üretilirken “Czochralski Metodu” kullanılmıştır. Bu metod çok

yüksek sıcaklık gerektirir. Kullanılan silikon silindirler birkaç metre boyunda ve 300 mm çapında olan tek kristalden oluşmaktadır. Şekil 3.7’de farklı monokristal piller gösterilmektedir (Girgin, 2011). Bu monokristal piller yuvarlak, dörtgen ya da çokgen biçiminde pahlanarak 0,15-0,2 mm kalınlıklarda dilimlenir.



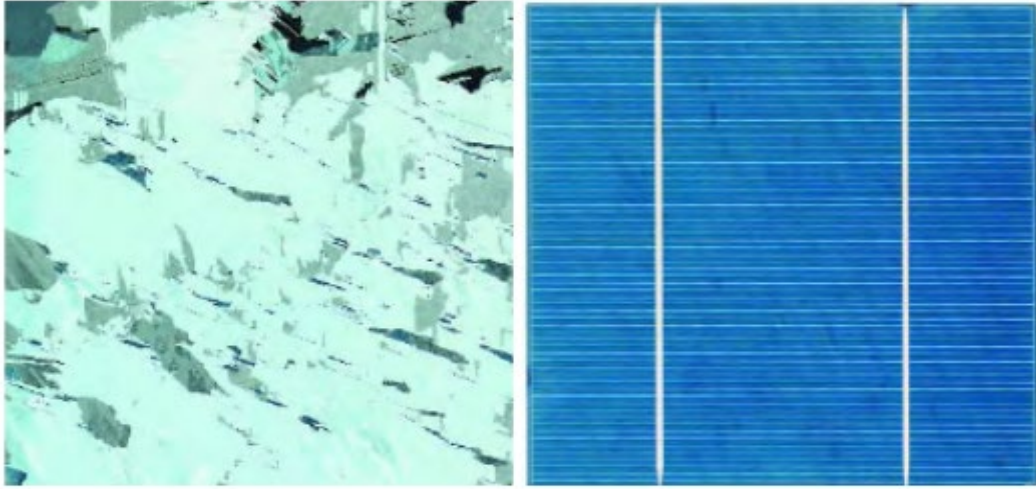
Şekil 3.7. Monokristal piller örnekleri

Monokristal piller üretilirken yüksek değerlerde malzeme kaybı olduğu ifade edilmektedir. Bilhassa, monokristal yüksel ısıtma işleminden geçtikten sonra yapılan dilimleme işleminde hacimsel kayıplar olmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Monokristal piller yapıları homojen ve renkleri tipik olarak koyu mavi renginden siyah renge doğru farklılaşır. Monokristal pillerin boyutları 4, 5 ve 6 inç olabilir. Şekilleri ise kare, dairesel ve yarı köşeli olabilir.

- **Polikristal Güneş Piller**

Polikristal yapıları silisyum güneş pili, erimiş durumdaki yarı iletken silisyumun kalıplarda soğutulması ile oluşturulur. Monokristal güneş pili gibi dairesel, çokgen ve dikdörtgen şekilde olarak ve 0,2-0,3 mm kalınlıklarda dilimlenir. Soğuyan yarı iletken silisyum maddelerin bağlantıları yapılır. Bu bağlantılar birbirinde ayrılmayacak biçimde özel bir yapıştırıcı ile tutturulur. En son adım ise yansımayı engelleyici cam tabakaya sabitlenerek güneş pili üretilir. Polikristal silisyum güneş pillerin monokristal güneş pillerinden farklı olarak üretilirken başka bir saflaştırma tekniği kullanılmadığından üretilen polikristal silisyum güneş pilleri homojen değildir (Erkul, 2010). Dolayısıyla monokristal güneş pillerinin verimleri ve fiyatları Polikristal güneş pillerine kıyasla daha yüksektir. Şekil 3.8’te polikristal silikon güneş pili gösterilmektedir (Girgin M.H, 2011). Eğer üretilen Polikristal güneş pillerinde yansımayı önleyecek cam bulunuyorsa

mavi renkte olmaktadır. Yansıma önleyecek cam bulunmuyorsa gümüş rengindedir (Ghazali, Rahman, 2012).



Şekil 3.8. Polikristal silikon güneş pili

İnce Film Güneş Piller

Yarı iletken malzemelerin büyük yüzeylerin kaplanmasıyla ince film güneş pilleri oluşmaktadır. Bundan dolayı başka özellikleri içinde bulunduran yarı iletkenler kullanılarak, farklı tiplerdeki özelliklere sahip güneş pilleri üretilir. Yapılan incelemelerde güneş pili üretilirken kullanılabilecek sayısız yarı iletken malzemenin az maliyetlerle paslanmış çelikte, cam veya plastikten yapılmış büyük yüzeylere uygulanacağı kanıtlanmıştır. İnce film güneş pillerin yapımında kullanılan yarı iletken madde büyüklüğü bir milimetrenin binde birinden, milyondan ise birine dek farklı damarlardan oluşur. Bu sayede ince film güneş hücrelerinde yapılan paneller esnek bir yapıya sahiptir (Karamanav, 2007). İnce film güneş hücrelerinde en fazla kadmiyum tellür ve amorf silisyum elementleri ile oluşan bileşikler kullanılır. Güneş ışığını soğurma değerleri çok fazla olmasına rağmen ince film güneş pilleri çıkış akımları düşüktür. Dolayısıyla kristal silisyumlara göre çıkış voltajları yaklaşık 2,5 kat daha fazla olmasına karşın akım değerleri ise bir o kadar azdır. İnce film malzemenin en büyük avantajı istenilen malzemenin istenilen ebatta kaplanabilirken, silisyum pillerinde ise malzemenin ebatları kullanılan kristalin boyutunda olmalıdır. İnce film pillerde modül ve panel yapılırken malzeme kullanımı daha basit ve elverişlidir. İnce film güneş pillerin verimleri % 5 ile % 8 arasında değişir (Köroğlu, ve ark., 2010). Şekil 3.9’da İnce film güneş panelleri verilmiştir (Girgin, 2011). İnce film güneş pilleri kullanılan

malzemeye göre isimlendirilmektedir. Şekil 3.9'a bakıldığında sırasıyla amorf silikon, kadmiyum tellür ve mikromorf ince film güneş panelleri verilmektedir.



Şekil 3.9. İnce film güneş panelleri

4. LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli Hakkında Geleceğe Yönelik Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde güneş ışınımının gelecekteki durumu ve güneş enerjisinin ışınım potansiyelinde kullanılan tahmin modelleri hakkında derinlemesine araştırmalar yapıldı.

Sanayileşme ile her geçen gün enerji tüketimi artmaktadır. Bunun sonucunda kullanılan fosil kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Eski tarihlerde toprak ve ganimet için savaş yapılırken, yerine enerji için savaşlar yapılmaya başlanılmıştır. Özellikle üst üste olan 1. ve 2. Dünya savaşlarından sonra 1974 senesinde patlak veren petrol sorunu bütün dünyayı etkilemiştir. 1974 senesinden sonra zamanla petrol fiyatlarında artış yaşanmıştır. Bu petrol fiyat artışları, enerji piyasasını önemli oranda yönlendirmektedir. Bu sonuçtan dolayı farklı enerji türleri arayışlarına başvurulmuştur (Girgin, 2011). Bu enerjilerden biri güneş enerjisidir.

Güneş sistemi içinde güneş ve gezegenler olan ve dünya için en temel enerji kaynağıdır. Her şeyden önce Güneş dünyada yaşayan tüm canlılar için çok gerekli bir kaynaktır. Bu durum örtbas edilemez bir gerçektir. Güneşin birçok faydası bulunmaktadır. Güneş enerjisinin neden olduğu olaylar neticesinde bugün kullanılan enerji çeşitlerinin büyük bir bölümü oluşmaktadır. Güneş enerjisiyle fotosentez olayı, yağışlarla beraber su döngüsünü ve güneşten gelen ışınlama dünya aydınlanmaktadır. Bu olaylar canlıların yaşamlarını sürdürmeleri için olmazsa olmazlarındadır. Ayrıca güneş sanayide enerji üretiminde de fayda sağlamaktadır (Girgin, 2011).

Öymen ve Ömeroğlu (2020), yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirlik üzerindeki rolünü araştırmışlardır. Derinlemesine mülakat yöntemi kullanılmıştır. Nitel bir yöntem olan bu yöntem ile kişilerle görüşmüş ve bu kişilerin duygu, deneyim, gözlem ve bilgilerine başvurulmuştur. Konu ile ilgili Türkiye'nin enerji geçmiş tarihine, sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji durumuna ilişkin gibi sorular sorulmuştur. Bu araştırma sonunda verilen cevaplara göre çevre kirliliğinin en önemli nedenlerinde biri geleneksel(fosil) enerji kaynağıdır. Fosil kaynakların tükenmesi yenilenebilir enerjiye olan önemi artırmıştır. 21. Yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgili büyük hamle yapılan bir yüzyıl olacağı düşünülüyor (Öymen ve Ömeroğlu, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her ülkede eşit oranda olmadığından ellerinde mevcut

olan yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli yüksek bir şekilde kullanılmalıdır. Ülkemiz bir yıllık enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu fosil kaynaklardan karşılamaktadır. Bu fosil kaynakların çoğuna yakını ithal edilir. Temiz ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili politikalar geliştirilmelidir. Ayrıca Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakların potansiyeli çok olduğu için teşvikler artırılmalıdır. Bu dışa bağımlı olan ülkemiz için çok gerekli bir durumdur (Özen, 2019).

Vural (2019), yaptığı araştırmada hâlihazırdaki koşullar ve ileriki zaman göz önüne alınarak dünya ve Türkiye için enerji incelemesi yapılmıştır. Bu incelemeden sonra Türkiye’nin sürdürülebilir enerji kaynaklarındaki olası enerji, kurulum kapasitesi ve amaçları açısından incelemelerde bulunulmuştur. Türkiye’nin Vizyon 2023 hedefi için bugüne kadar yaptığı yatırımların neredeyse aynı miktarda yatırımda bulunması gerekmektedir. Tahmini olarak 61,0 milyar ABD doları yatırım yapması gerekmektedir. 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının hepsi 60.000 GWh üretim kapasiteye dayanıyor. Yani Türkiye’nin bu sürdürülebilir enerji kaynakları dışında 100.000 GWh daha üretime ihtiyacı vardır. Türkiye mevcut konumu ve iklimi sayesinde bu potansiyeli karşılayabilecek durumdadır. Ancak Türkiye’deki teknoloji eksikliğinin, teknik alt yapı, nitelikli işgücü, enerjinin araştırma ve geliştirmesi gibi konularda bazı eksiklikleri bulunmuştur (Vural, 2019).

Güneş panellerinin her geçen gün üretim gücünün artırılması ve malzeme biliminin gelişmesiyle beraber güneş panellerinin maliyetinde hızlı bir düşme olduğu görülmüştür. Yapılan araştırma çalışmalarında güneş panel fiyatlarının maliyetinin yarısına ineceğine ve gelecekte normal şebeke elektriği ile hemen hemen aynı olacağı belirtilmektedir. Bundan dolayı dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi yakın zamanlarda büyük alanlara yayılacaktır. Güneş enerjisi kullanımda en büyük problem olan kesintili bir enerji olması, son yıllarda üzerine daha fazla önem verilmiştir. “Akıllı Şebeke (Smart Grid)” teknolojisinin gelişmesiyle beraber kesintili olan enerjiye büyük oranda çözüm bulunacaktır. Ayrıca bu alanda talep artacağı ve büyümenin de hızlanacağı düşünülmektedir. Üstelik uluslararası anlaşmalardan olan Kyoto protokolü ve Kopenhag anlaşmasında alınan kararlar ve cezai işlemlerin de artırılması bütün ülkelerin yenilenebilir enerjiye olan yönelimini artıracaktır. Bütün bu gelişmeler sonucunda 21. Yüzyılın en önemli enerji kaynaklarından biri güneş enerjisi olacağı belirtilmektedir (Girgin, 2011).

Güllü ve Kartal (2021), yaptıkları araştırmada 1 MW’lık güç başına düşen güneş enerji santrallerinin işletme sürecinde ve kurulum etapları için çalıştırma metrikleri

Dalton ve Lewis (2011)'in de kullandığı çalıştırma metrikleri kullanılmıştır. Buna bağlı olarak farklı yenilenebilir enerjiler içinde en çok iş imkânı yaratan enerji çeşidi bulunacak ve karşılaştırılmıştır. Türkiye’de güneş enerji santrallerinin kurulumu ve malzeme üretimi aşamasında 1 MW enerji başına 25,48 doğrudan, dolaylı ve uyarılmış şekilde iş imkânı yaratmıştır. İşletme sırasına ise güneş enerjisi alanında 1 MW’lık enerji için 1.28 doğrudan dolaylı ve uyarılmış şekilde iş imkânı yaratmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil kaynakları karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarında fazla çalıştırma olanağı yarattığı sonucuna ulaşıldığı, çevre dostu olduğu ve daha fazla sosyoekonomik yarar sağladığından son yıllarda gittikçe tercih edildiği görülmektedir (Güllü ve Kartal, 2021).

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) yayınladığı raporda yenilenebilir enerji alanında bütün dünyada istihdamın 2017 yılında yaşandığı %5,3’lük yükselmeye 10,3 milyon insana ulaştığını gösteriyor. Yenilenebilir enerji gelişmesi hakkında tahminlerde bulunulduğunda yenilenebilir enerji alanındaki çalışan 2030 yılında 23,6 milyon insan olurken, 2050 yılında ise 28,8 milyon insana ulaşması öngörülmektedir. Yeniden 2018 yılında IRENA’nın araştırma yaptığı bir çalışmaya göre ise, yenilenebilir enerji alanındaki toplam insan istihdamının 3’te 1’inin yani 3,4 milyon kişi güneş enerjisi alanına aittir. Yoğunlaşmış makine-donanım üretimiyle Çin iç pazarda %8,7’lik istihdamının %65’ine sahip olduğu görülüyor. Türkiye ise 2017 yılı içinde güneş kurulum artışı sırasında Çin, Hindistan, ABD ve Japonya gibi ülkelerden sonra toplam istihdam sırasında 9. sırada yer alıyor. 2017 yılında güneş enerjisi alanında Türkiye’de toplam istihdam 16.600 solar ısıtma ve 33.400 solar FV alanında olmak üzere 50.000 insan olduğu hesaplanmıştır. Yenilenebilir enerji alanındaki toplam çalışan sayısının %60’ına denk gelmektedir (GÜNDER, 2018).

Güneş ışınlarının hem ısı hem de elektrik gibi kullanılabilir enerji biçimlerine dönüşmesi yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemini daha da artırmıştır. Çevre dostu ve yer yerde yerel bol bir enerji kaynağıdır (Singh, 2013). Güneş enerjisi 2009-2019 yılları arasında dünyanın en hızlı yol kat eden teknolojisi olmuştur (REN21, 2020). 2009 senesinde dünya genelinde 23 GW güneş enerjisi kurulu gücü varken sadece 10 yıl sonra bu kurulu güç 627 GW’a çıkmıştır. Bunun başlıca nedenlerinden biri maliyetinin düşmüş olmasıdır (BNEF, 2018a). Bu gelişmeler sayesinde gelecekte güneş enerjisi elektrik üretiminde rekabeti artıracaktır (Phillips, 2019).

IRENA’nın yaptığı bir diğer çalışma da yenilenebilir enerji üretiminde devamlı gelişen teknolojiler, yarış halindeki firmalar, yenilenebilir enerji alanındaki gelişmelerin

sağladığı deneyimlerle son yıllarda gözle görülür şekilde üretim maliyetlerini azaltmıştır. Bu pozitif maliyet azalmaları 2023 ve sonrasında da devam edeceğini göstermektedir (IRENA, 2019).

Son yıllarda devam eden teknolojik yenilikler, tedarik zincirinin gücünü arttırmasıyla beraber yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin (CSP) sisteminin kurulu maliyetleri azalmıştır. Güneş enerjisinin fazla olduğu yerlerde CPS tesisleri yapıldı. Bu tesisler dünyada çoğunluklu olarak LCOE'Sİ (Seviyelendirilmiş enerji maliyeti) 2010-2012 yıllarında yaklaşık olarak 0,35 ABD Doları / kWh 'ti. Fakat 2010-2019 yılları arasında %47 azaldı. PPA (Güç Satın Alma Sözleşmesi) sonuçları ve son yapılan açık artırma, CPS'den gelen elektrik fiyatı 0,07 ABD Doları / kWh ve 0,08 ABD Doları / kWh değerleri arasında bir azalma yaşanacağı belirtildi. Bu sebepten dolayı güneş kaynaklarına sahip bölgelerde CPS tesislerinin önemi daha da artacağı belirtildi (IRENA, 2019).

Reyes ve Belmonte, (2021), bu çalışmada yenilenebilir bir enerji olan güneş enerjisi alanında yapılan çalışmalar ile ilgili bibliyometrik araştırma yapıldı. Bu araştırma sonucunda Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri güneş enerjisinin verimliliği sırasında ilk üçte olmuşlardır. Çalışma 2015-2020 yılları arasındaki 5 seneyi kapsamıştır. İlk 10 ülkenin dünyadaki enerjinin %83'ü oluşturduğu belirlenmiştir ve güneş enerjisinin gelecekte daha da iyi yerlere gelineceğinden bahsedilmiştir (Reyes ve Belmonte, 2021).

Yapılan çalışma neticesinde dünya geneline bakıldığında enerji çeşidine göre kurulu güç kapasitesi yüzyıldan beri birinci sırada kömür iken 2035'te ise doğal gazın zirvede olacağını 2035'ten sonra ise güneş enerjisinin hem kömürü hem de doğal gazı geçeceği ön görülüyor (Dinçer ve Ezan, 2020).

Geçmiş senelere bakıldığında fotovoltaik enerjiye olan yatırımlarda her sene artış sağlanmıştır. 2010 senesinde 77 milyar dolar iken, 2018 senesinde ise 114 milyar dolar düzeylerine çıkmıştır. Fotovoltaik sistemlerde gerçekleşen bu büyüme ile güneş enerji kurulu gücü 2050 senesine kadar fotovoltaik enerji yatırımlarında %68 yükselme olacağı öngörülüyor (IRENA, 2019a).

2020'de yaşanan KOVID-19 yüzünden çıkan ekonomik krize rağmen yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar %2 arttı. Yenilenebilir enerji ve yakıtlara yapılan küresel yatırımlar 2020'de 303,5 milyar ABD doları oldu. 2020 yatırımlarına bakıldığında gelişmiş ülkelerin yatırımları %13 artarken gelişmekte olan ve yükselen ülkelerde ise %7 oranında düşüş yaşandı. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjileri alanında

yatırımlar artırıldı. Güneş enerjisine yapılan yatırım bütün yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların yarısına denk geldi. 2020 yılında güneş hariç bütün yenilenebilir enerji yatırımlarında düşüş yaşandı (Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu Özeti Haziran, 2021).

4.2. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Tahmini Hakkında Kullanılan Model ve Teknikler

Güneş enerjisinin elektrik şebekesinde kullanımının artması, güneş enerjisinin önemini artırmıştır. Fotovoltaik (PV) sistemlerinde enerji üretilirken dalgalanan enerji çıktısının verimli bir şekilde kullanılması istenir. Bu yüzden güvenilir tahmin bilgisi gereklidir. Güneş ışığının değişimi büyük bir doğrulukla tahmin ediliyorsa, güneş enerjisinin elektrik şebekesinde kullanımı daha iyi hizmet kalitesi sunabilir. Bu çalışmada da güneş enerjisinin talep ve potansiyel artışı hakkında yapılan çalışmalarda birçok analiz tekniklerinden bahsedilmiştir.

Bu çalışmada, güneş ışıınım şiddetini tahmini amacıyla regresyon analiz yöntemleri ile yapay sinir ağlarını kullanarak hangisi daha etkili olduğu araştırıldı. Işıınım şiddetini ölçmek için kullanılan bu iki yöntem düşük hata değerlerinde olduğu bulunmuştur. Bu iki teknikte düşük hataya ve yüksek korelasyon katsayısına sahip olmuşlardır. Bu yüzden güneş ışıınım şiddetleri için tahminde bulunurken kullanılabilir.

Regresyon analiz tekniğinin YSA'ya göre daha doğru değerler elde edilmiştir. Hesaplanan değerler ve ölçülen değerler arasında yapay sinir ağlarında kullanım oranı %3.25, regresyon analiz tekniğinde kullanım değeri ise %1.28'lik ortalama bağıl bir hata değerine ulaşılmıştır (Deniz ve Atik, 2007).

Makine öğrenimi ve hibrit modeller, tüm iklimlerde saat içi performans için en iyi performansa sahiptir. Günlük tahminlerde de hibrit modeller tüm iklimlerde çok iyi performansa sahiptir (Blaga Sabadus, Stefu, Dughirb, Paulescu and Badescuc, 2019).

Küresel Yatay Güneş Işıınımını (GHI) kısa vadeli zaman dilimlerinde (yani gelecekteki 15 ila 120 dakika arasında) tahmin etmek için iki farklı doğrusal olmayan otoregresif sinir ağının uygulanması için yenilikçi bir metodoloji öneriyorlar. Her iki sinir ağı da gerçek bir hava istasyonu tarafından toplanan dört yıllık güneş radyasyonu değerlerinden oluşan bir veri kümesinden yararlanarak uygulanmış, eğitilmiş ve doğrulanmıştır. Ayrıca, her iki sinir ağının doğruluğunu tartışan ve karşılaştıran deneysel sonuçlar da sunarlar (Aliberti, Bottaccioli, Cirrincione, Macii, Acquaviva, ve Patti, 2018).

Bu çalışma makalesinde güneş radyasyonu ve gün ışığı aydınlatma modeli gelişmelerini ve gökyüzü sınıflandırma yöntemlerini gözden geçirmektedir. Bulgular, Makine Öğrenme tekniklerinin güneş ışıınımını ve gün ışığı aydınlatmasını tahmin etmek ve standart gökyüzünü sınıflandırmak için etkili bir şekilde kullanıldığını göstermiştir. Bu tür yaklaşımlar, yenilenebilir ve sürdürülebilir gelişmeler ve enerji tasarruflu bina tasarımları için gerekli iklim verilerini hesaplamak için küresel olarak benimsenebilir ve yararlı olabilir (Li, ve Lou, 2018).

Bu makale, bir ila altı saatlik bir tahmin ufkunda güneş enerjisinin üretiminin çok sahalı tahmini için kullanılan parametrik olmayan bir makine öğrenme yaklaşımı sunmaktadır. Tahmin performansı ve model kurulumunun basitliği, artırılmış ağaç modelini geleneksel tahmin tekniklerine basit ve çekici bir hale getirir (Persson, Bacher, Shiga, ve Madsen, 2017).

Fiziksel yöntemler söz konusu olduğunda farklı bulut görüntüleri ve uydu tabanlı modeller incelenmektedir. Bu iki toplam gökyüzü görüntüleyicinin yanı sıra NWP modelleri de fiziksel yöntemlerin bir parçasıdır. Pahalı yer tabanlı pirometre ağlarına alternatif olarak uydu görüntüleme tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar, başka hiçbir verinin bulunmadığı ortamlarda ışıınım tahmini için en iyisidir. Bu yöntemlerin tek dezavantajı, uydu örnekleme frekansı ve uydu görüntülerinin uzamsal çözünürlüğündeki sınırlar nedeniyle zamansal ve uzamsal sınırlamalardan etkilenmiş olmalarıdır (Chaturvedi ve Isha, 2016).

Bu çalışmada, bir Temel Bileşen Analizi (PCA) araştırılıyor. Güneş ışıınımı için, 8 yıllık bir süre boyunca (Kaggle rekabet veri setine dayanarak) toplu güneş radyasyonu enerji çıktısının günlük verilerini göz önünde bulundurulmuştur. Daha sonra nihai tahminleri elde etmek için PCA çıktısına bir Sinir Ağı (NN) ve bir Analog Topluluk (AnEn) post-processing uygulanır. Uygulamalarına göre PCA'da azalma olmadan bu post işleme teknikleri ile PCA birleştirerek daha iyi sonuçlar veren çalışma yapılıyor (Davò, Alessandrini, Sperati, Delle Monache, Airola, ve Vespucci, 2016).

Modellenen veriler, güneybatı Fas'ta açık havada maruz kalan CSP tesislerinde tipik olarak kullanılan ikinci yüzey cam aynalarının yansıma ölçümleridir. Veri ölçümleri kampanyası 26 Haziran- 29 Aralık 2014 tarihleri arasında haftada iki kez ortalama ölçüm sıklığı ile gerçekleştirilmiştir. Model seçim kriterlerini yerine getirdikten sonra, temizlikteki uzun vadeli değişimi tanımlayan en uygun model, 0.95'lik optimal indirim faktörü göz önüne alındığında daha da iyi performans gösteren yerel doğrusal eğilimdir (Bouaddi, Ihlal, ve Fernández-García, 2015).

Çoklu doğrusal regresyon analizi modeli güneş enerjisi tahminleri için iyi performans gösterdi. Tahmin saatleri açık gökyüzü ile olsaydı, modelin performansı yakın gelecek tahmininde uzak gelecek tahmininden daha iyi olacaktır. Ancak bulutlu saatlerin olması modelin tüm performansını etkileyecektir. Verilerin çizilmesi, değişkenler arasındaki korelasyon ve duyarlılık analizi ile aykırı değerlerin veri temizliği, tahmin modelini oluşturmada önce temel veri hazırlama adımlarındandır (Abuella ve Chowdhury 2015).

Güneş ışıınımı tahmininin çeşitli sonuçlarının açıklamasından, uygun tahmin modellerinin seçiminin gelecek tahmini ve mevcut verilere bağlı olduğunu savunuyoruz. Bulut görüntüleri ve hibrit bir model, güneş ışıınımı birçok ada bölgesinde olduğu gibi güçlü bir değişkenlik gösterdiğinde tahmin sonuçlarını iyileştirebilir. Farklı modeller farklı gelecek tahminlerinden en iyisidir. Çoğunlukla havanın hem açık olduğu hem de bulutlu olduğu zamanlarda en iyi tahmin değerlerini RMSE yöntemi vermiştir (Diagne, David, Lauret, Boland, ve Schmutz, 2013).

Gelecekteki hava şartları ve sıcaklık bilgileri Ulusal Çevre Ajansı (NEA) aracılığıyla elde edilir. Hava ve sıcaklık bilgileri değişik kurallara göre farklı değişik kümeler olarak gruplandırılır. Değişik mantık ve sinir ağının beraber kullanımı, tahmin sonuçları farklı hava ve sıcaklık şartlarında gerçek değerleri çok iyi takip edebilir. Bu yöntemlerde, dört değişik senaryonun test edilip bir vaka araştırmasıyla doğrulanır (Chen, Gooi, ve Wang, M.2013).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük sorunu doğadaki iklim değişkenliği ve doğaya olan duyarlılıklarıdır. Oluşan bu değişkenlerden kaynaklı gelen gücün tahmin edilmesi istenmektedir. Kumar ve Kalavathi (2018), yaptıkları bu çalışmada fotovoltaiik üretimini tahmin etmek için ANN ve ANFIS modeli kullanılmıştır. En sonda ise fotovoltaiik enerji üretim istasyonunun veri seti dikkate alınarak doğrulanır. Bu veriler en sonda karşılaştırılır (Kumar ve Kalavathi, 2018).

Gabralı ve Aslan, yaptıkları bu çalışmada 2016 yılındaki meteorolojik verilerden yararlanarak güneş enerjisi hakkında geleceğe dönük kısa ve uzun dönemli tahmin çalışması yapmaktadırlar. Makine kullanım modellerinde çoklu lineer regresyon (ÇLR) ve yapay sinir ağları (YSA) modelleri kullanıldı. İstatistiksel hesaplamalar sonucu YSA modelinin ÇLR modelinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca en yüksek güneş radyasyon tahmini haziran ayında elde edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda haziran ayında güneş enerji gücünün kapasitesi tahmin edilebilir olacağı belirtilmiştir (Gabralı ve Aslan, 2020).

Bekçioğulları ve ark., yaptıkları bu çalışmada güneşten enerji üretimi meteorolojik değişkenlere bağlıdır. Enerji üretim planlanması yapılırken meteorolojik parametrelerden elde edilecek enerji üretim miktarını bulmayı zorlaştırmaktadır. Meteorolojik değişiklikler güneş enerjisinin şebeke işletmelerinde sorunlara yol açacaktır. Bu sorunu önlemek için tahmin modelleri kullanılmaktadır. Tahmin modelleri güneş enerjisi alanında kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada farklı makine öğrenme yöntemi ile kısa dönem güneş enerji tahmini hakkında bir araştırma yapılmıştır. Makine öğrenmede en çok kullanılan Topluluk Regresyonu (TR), Gauss Süreç Regresyonu (GSR), Doğrusal Regresyon (DR), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve Karar Ağacı Regresyonu (KAR) yöntemlerine başvurulmuştur. Makine öğrenme tekniklerin hepsi metrik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu metrik karşılaştırma sonuçlarına göre en iyi makine öğrenme tekniği DVM'nin tahmin sonuçları olduğu ortaya çıkmıştır (Bekçioğulları ve ark., 2021).

Uğuz ve ark., bu çalışmada makine öğrenme tekniğine başvurulmuştur. Türkiye için farklı bölgelerde kurulması planlanan güneş santralleriyle elde edilecek elektrik enerjisinin üretimi tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Makine öğrenme yöntemlerinde yapay sinir ağları (YSA), Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ve k-En Yakın Komşu Regresyon (k-EYKR) makine öğrenme tekniklerine başvurulmuştur. Bu yöntemlerin performansını bulmak için birçok değerlendirme yapılmıştır. Deneysel verilerin sonucunda YSA modelinde en iyi performans elde edilmiştir. Makine öğrenme modelleri ile PV elektrik enerjisi hakkında yüksek oranda doğru tahmin sonuçlarına ulaşılabileceği anlaşılmıştır (Uğuz ve ark., 2019).

Eşlik ve ark., yaptıkları çalışmada hibrit bir yaklaşım olan Ayırıştırma-Birleştirme öğrenme modeli kullanılmıştır. Bu modelle güneş ışıyım şiddetinin değerini performans ve kullanılabilirliği incelenecektir. Bununla birlikte geleceğe yönelik güneş ışıyım değerlerinin tahminleri en doğru şekilde bulmayı hedeflenmiştir. Ampirik Kip Ayırışımı (AKA) işlemi ve En Küçük Kareler Destek Vektör Regresyon (EKK-DVR) yöntemiyle bireysel tahmin yöntemlerinden faydalanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Ayırıştırma-Birleştirme öğrenme modelin diğer güneş ışıyım verilerine göre daha doğru tahmin sonuçlarına ulaşılmıştır (Eşlik ve ark., 2021).

Güneş enerjisinin potansiyel tahmini hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Ülkelerin gelecekleri hakkında bağımsız bir şekilde karar almaları ve güneş enerjisinin bedava bir kaynağa sahip olması bu alana yönelimi fazlalaştırmıştır. Güneş enerjisinin

elektrik şebekesinde, sulama sistemleri gibi alanlarda kullanımı artıkça önemi de bir o kadar artmıştır. Bu çalışmaların bazıları aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli Tahmini Literatür Örnekleri

Yazar/Yıl	Çalışmanın Adı	Kullanılan Makine Öğrenme Analiz Tekniği	Sonuç
Kara, 2019	Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini	LSTM Karar Ağaçları ve Rastgele Orman Regresyon, Gradyan Güçlendirme K-En Yakın Komşu	Bu çalışmada LSTM modeli yaklaşımı kullanılmış. LSTM modelin potansiyelini belirlemek için birkaç farklı makine öğrenme yöntemleri kullanılıp ve karşılaştırılmıştır. 1983-2018 yılları arasında güneş ışınım değerlerini sıralı zaman serileri ile Çorum ilinin verinden yararlanılmıştır. LSTM yöntemi diğer makine kullanma modellerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
Aksu, 2021	Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi	Reel Opsiyon Analizi	Reel opsiyon Analiz yöntemi kullanılarak güneş santrallerinde yatırımın desteklendiği ve desteklenmediği durumlar araştırılmıştır. Yatırımların desteklenmediği durumlarda santralin kurulumunda vazgeçilmezse de belirli sınırlandırmalara neden olmuştur. Yatırımın desteklendiği durumda ise stratejik değerleri artmıştır.
Girgin, 2011	Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi	Pvsyst Yazılımı	Pvsyst Yazılımı ile çalışmada 36 sistem incelenmiştir bu sistemlerin enerji üretimine göre en çok verim güneş enerjisi santralin, çift eksenli güneş takip sistemidir. Ayrıca iç kararlılık oranına göre yapılan ekonomik analiz karşılaştırma sonucunda 36 farklı sistem içinde "Sistem 1.5 Firstsolar 75 W SMA Tripower 17000 32° Sabit" değerle sistemde en yüksek iç kararlılık oranı çıkmıştır.
Güç, 2016	Bilecik ili için güneş enerjisi analizi ve yapay sinir ağları ile hava sıcaklığı tahmini	Yapay Sinir Ağları (YSA)	YSA modeli ile ulaşılan değerlerinin oldukça iyi olduğunun ve kullanılan YSA modelin ortalama hava sıcaklığının gelecek seneler için uygun olacağı görülmüştür.
Samadianfar et al., 2018	Ateşböceği ile entegre destek vektörü regresyon uygulaması küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için optimizasyon algoritması	Ateşböceği optimizasyon algoritması (FFA) ve entegre destek vektörü regresyon (SVR) uygulaması	Küresel radyasyonunun tahmin etmek için SVR-FFA hibrit modelin verimi alışımlı SVR'den daha iyi sonuç vermiştir.
6) Singh ve Pozo, 2019	A Guide to Solar Power Forecasting using ARMA Models	ARMA modeli	ARMA modellerini kullanarak bir fotovoltaik güneş jeneratöründen güç çıkışını tahmin etmek ve ARMA modelinin nasıl oluşturulacağını, doğrulamak için istatistiksel testlerin nasıl kullanılacağını ve saatlik örneklerin nasıl oluşturulacağını belirtiyorlar. Elde edilen model, daha karmaşık operasyon ve planlama modellerine gömmek için güzel özellikler devralırken, aynı zamanda nispeten iyi bir doğruluk gösterir. Ek olarak, stokastik enerji optimizasyon modelleri için örnek üretimi için iyi bir tahmin aracını temsil eder.
7)Dörenkämper ve ark., 2021	Yüzer PV'nin iki farklı iklim bölgesinde soğutma etkisi: Hollanda ve Singapur'dan saha testi verilerinin karşılaştırılması	PVsyst modeli	İki farklı iklim bölgesinde yer alan saha testlerine yapılmıştır. Ilıman deniz iklimi (Hollanda) ve tropikal iklim (Singapur) bölgeleri seçilmiştir. Bu hesaplamalara sonucunda, kaynak PV sistemlerine kıyasla FPV sistemlerinin soğutma etkisinden üretilen enerji verimindeki değerler Hollanda'da % 3'e iken Singapur'da % 6'ya kadar olduğunu gözlemlenmiştir.

5. GÜNEŞ ENERJİSİ TAHMİNİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sürdürülebilir kalkınma için Birleşmiş Milletlerin belirlediği hedefler yönünde temiz ve erişilebilir enerji olan yenilenebilir enerji kaynakları çok büyük önem teşkil etmektedir. Bilhassa güneş enerjisi, hava kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtlara olan bağılılığı azaltmaya yardımcı olabilecek yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi aynı zamanda merkezi olmayan bir enerji üretim türü olduğu için kullanım noktasında üretilebilmektedir. Böylelikle elektriğin uzun mesafeli iletimi ve dağıtımı ihtiyacını azaltmaktadır. Tüm bunlar sayesinde güneş enerjisi, karbon ayak izini azaltmada oldukça faydalı olacak potansiyelde bir enerji türüdür.

Güneş enerjisi potansiyelinin tahmin edilmesi, belirli bir yer ve zaman aralığındaki güneş enerjisi miktarını tahmin etme işlemi olarak tanımlanabilir. Fotovoltaik paneller gibi güneş enerjisi sistemleri elektrik üretmek için güneşe ihtiyaç duymaları nedeniyle ürettikleri enerji miktarı günün saati, bulut örtüsü ve güneşin açısı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu da bir yatırım planı yapılırken enerji potansiyelinin tahmin edilmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Doğru güneş enerjisi tahmini, kamu hizmetlerinin, işletmelerin ve bireylerin güneş enerjisindeki potansiyel değişiklikleri planlamasına ve bunlara uyum sağlamasına olanak tanıyarak güneş enerjisi kullanımının optimize edilmesine yardımcı olur. Ayrıca yedek güç kaynaklarına olan ihtiyacın azaltılmasına ve güneş enerjisi sistemlerine güvenilirliğin artırılmasına katkı sağlar. Genel olarak, güneş enerjisinin kullanımı ve doğru güneş enerjisi tahmini, yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltarak, sera gazı emisyonlarını düşürerek ve enerji güvenliğini iyileştirerek sürdürülebilirliğin desteklenmesine yardımcı olabilir.

5.1 Güneş Enerjisi Hesaplamaları

Günümüz toplumlarının son yıllarda karşı karşıya kaldığı en kritik sorunlardan ikisi elektrik enerjisi kıtlığı ve çevre kirliliğidir. Bu bağlamda, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjinin araştırılması ve uygulanması acil hale gelmektedir. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, büyük enerji potansiyeli ve temiz doğası nedeniyle umut vericidir. Elektrik, dünyanın toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Elektriğin enerji hizmetleri

içindeki payı yüksek verimliliği nedeniyle daha yüksektir. Günlük hayatın merkezinde birçok yönü ile yer alır. Elektrik, elektrikli araçlar (EV'ler) ve ısı pompaları gibi yeni son kullanıcılara yayıldıkça daha da merkezi hale gelmektedir. Elektrik sektörü, 2021'de küresel olarak kullanılan tüm kömürün %59'unu, doğal gazın %34'ünü, petrolün %4'ünü, tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının % 52'sini ve nükleer enerjinin yaklaşık % 100'ünü oluşturdu. Ayrıca 2021'deki enerjiyle ilgili tüm CO₂ emisyonlarının üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır. Enerji üretimi sürecinde zararlı gaz emisyonları nedeniyle çevresel bozulmanın en aza indirilmesi için kullanılması enerji kullanımını temiz ve sürdürülebilir hale getirebilir. Güneş enerjisi, geniş ölçüde güneş radyasyonundan enerji toplayan yenilenebilir enerji üretim yaklaşımlarından biridir. Fotovoltaik (PV) ve konsantre güneş enerjisi (CSP), güneş enerjisini yakalamak için birincil teknolojilerdir.

Güneş panellerinden elektrik üretimi hesaplamaları yapılırken, ilk önce panellerdeki toplanan toplam radyasyon, daha sonra ise üretilecek olan elektrik miktarı hesaplanmaktadır.

Panellerde toplanacak olan solar radyasyonun bulunuşu:

$$I_T = K_T H_u \left[\left(r_t - \frac{H_d}{H} r_d \right) R_b + \frac{H_d}{H} r_d \left(1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) + \rho_g r_t \left(1 - \frac{\cos \beta}{2} \right) \right] \quad (5.1)$$

Burada, I_T : eğimli yüzeye gelen saatlik ışıınım miktarı, H_u : uzaydan gelen günlük radyasyon, H_d : Günlük difüz radyasyon, H : Günlük ışıınım, ρ_g : yerin yansıtma katsayısı, β : eğim açısı, K_T : hava için günlük açıklık indeksi,

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (5.2)$$

R_b : eğimli yüzeye gelen radyasyonun yatay yüzeye gelene oranı,

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (5.3)$$

r_t : Saatlik toplam radyasyonun günlük toplam radyasyona oranı,

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b * \cos w) \frac{\cos w - \cos w_s}{\frac{\pi}{180} w_s \cos w - \sin w_s} \quad (5.4)$$

Denklem (5.4.)’te gösterilen a ve b katsayıları ise

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(w_s + 60) \quad (5.5)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(w_s + 60) \quad (5.6)$$

denklem takımı ile hesaplanmaktadır.

r_d : saatlik difüz radyasyonun günlük difüz radyasyona oranıdır.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos w - \cos w_s}{\frac{\pi}{180} w_s \cos w - \sin w_s} \right) \quad (5.7)$$

Uzaydan gelen günlük radyasyon miktarının, günlük difüz katsayısına oranı güneşin doğuşu ve batışı arasındaki saatlik açı değeri ile hava için günlük açıklık değerinin büyüklüğüne göre belirlenir. w_s : güneşin doğuşu ve batışı saatlik açı değeridir.

$w_s < 81,4$ ve $0,3 \leq K_T \leq 0,8$ ise

$$\frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,560 K_T - 4,189 K_T^2 - 2,137 K_T^3 \quad (5.8)$$

$w_s > 81,4$ ve $0,3 \leq K_T \leq 0,8$ ise,

$$\frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022 K_T + 3,427 K_T^2 - 1,821 K_T^3 \quad (5.9)$$

Saatlik uzay radyasyonu değeri ise denklem (5.10)’e göre hesaplanmaktadır. Denklem (5.10)’de I_u : uzaydan gelen saatlik radyasyonu, G_s : solar sabiti, n : gün sayısını, w :

saatlik açı değerini, ϕ : lokal açı değerini, δ : ise sapma açısı değerini ifade etmektedir.

$$I_u = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} G_s \left(1 + 0,33 \cos \frac{360n}{365} \right) \left[\cos \phi \cos \delta (\sin w_2 - \sin w_1) + \frac{\pi(w_2 - w_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (5.10.)$$

Uzaydan gelen saatlik radyasyon değeri ile eğimli yüzeye gelen saatlik ışın değerleri bulunduğundan sonra,

$$Z_i = \left(\frac{I_u}{I_T} \right)^2 (a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3) \quad (5.11)$$

Denklem (5.11)'deki katsayılar ise aşağıda sırayla verilen denklem (5.12.) -(5.17.) bulunur,

$$a_1 = \frac{R_b^2 + \rho(1 - \cos \beta)R_b + \rho^2(1 - \cos \beta)^2}{4} \quad (5.12)$$

$$a_2 = \frac{R_b(1 + \cos \beta - 2R_b) + \rho(1 + \cos \beta - 2R_b)(1 - \cos \beta)}{2} \quad (5.13)$$

$$a_3 = \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} - R_b \right)^2 \quad (5.14)$$

$$b_1 = -0,1551 + 0,9226 K_T \quad (5.15)$$

$$b_2 = 0,1456 + 0,0544 \ln K_T \quad (5.16)$$

$$b_3 = K_T(0,2769 - 0,3184 K_T) \quad (5.17)$$

Kolektörün toplam ısı kaybı U_K , τ : iletim, α : emilim kesri, nominal işletme sıcaklığı için pil sıcaklığı, T_C : ortam sıcaklığı ise T_A : nominal işletme sıcaklığı için eğimli yüzeydeki radyasyon miktarı G_T ile gösterilmiştir. Kolektördeki ısı kaybı hesaplaması ise,

$$\frac{U_K}{\tau + \alpha} = \frac{G_T}{T_C - T_A} \quad (5.18)$$

Modül saatlik verimi η ise, maksimum güç verimi η_{mpr} : maksimum güç noktası elektroniği verimi η_e : maksimum güç noktası sıcaklık katsayısı μ_{mp} : saatlik sıcaklık (12 ayın ortalaması), T_a : referans sıcaklık T_r ifade edilmektedir. Modül saatlik verim hesaplaması,

$$\eta = \eta_{ref} \eta_e \left[1 + \frac{\mu_{mp}}{\eta_{mpr}} (T_a - T_r) + \frac{\mu_{mp} I_T}{\eta_{mpr} U_K} (1 - \eta_{mpr}) Z_i \right] \quad (5.19)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

Ortalama saatlik elektrik üretimi, E_u , Panel alanı A_k ile gösterilmiştir. Elektrik üretimi ise

$$E_u = \eta A_k I_T \quad (5.20)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

5.2 Işınım Verileri

Işınım, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde uzayda dolaşan bir enerji şeklidir. Güneş ise dünya için birincil ısıtım kaynağı olduğu için güneş enerjisinin vazgeçilmez bir bileşenidir. Güneş enerjisi, güneş ışığını elektrik akımına dönüştüren yarı iletken malzemelerden yapılmış fotovoltaik hücreler kullanılarak güneş radyasyonunun elektriğe dönüştürülmesiyle üretilir. Güneş panelleri birçok fotovoltaik hücreden oluşur ve güneş enerjisini yakalayıp kullanılabilir elektriğe dönüştürmek için kullanılır. Bu nedenle üretilen enerji miktarı, ısıtım değerine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, farklı iklim kuşaklarından üç farklı şehrin geçmiş ısıtım değerleri incelenerek en uygun tahmin yöntemi ile gelecek dönem ısıtım değerleri tahmin edilecektir.

Geçmiş 2015-2020 yılların güneş ısıtım değerlerinin PVGIS (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi) simülasyon programından alınmıştır. PVGIS programı uydu görüntülerinde faydalanılarak güneş ısıtımının ölçülmesini sağlar. Güneş ısıtımının kalitesini, yüksek çözünürlük seviyesindeki veriler, rüzgâr hızı, değişen ikliminin

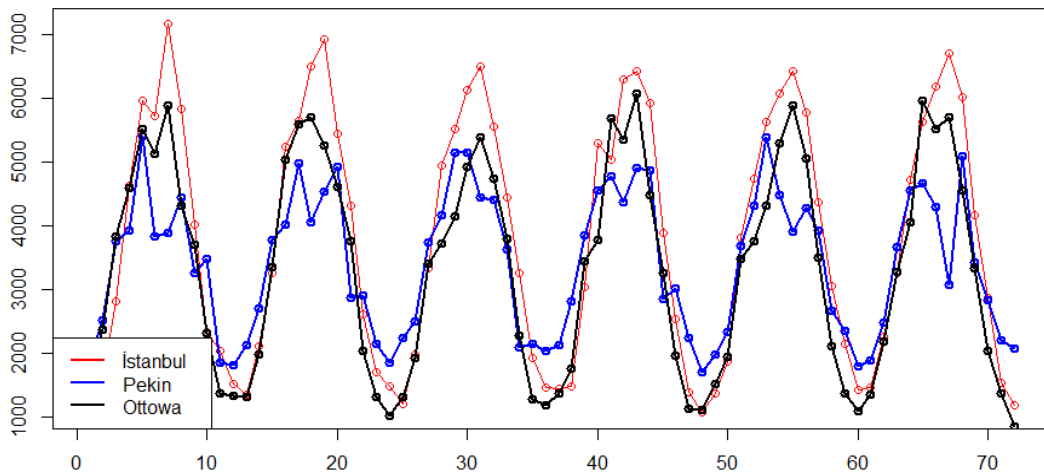
ortalama sıcaklığı ve fotovoltaik sistem performansı hakkında bilgi veren ücretsiz bir web sitesidir.

Tablo 5.1’de yıllara göre bölgesel ışıınım değerlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri verilmiştir. İstanbul için ortalama ışıınım değerleri $3817,88 \text{ W/m}^2$, Ottawa $3336,93 \text{ W/m}^2$ Pekin için ise $3421,94 \text{ W/m}^2$ ‘dir. Ortanca değer ise 2015-2020 yılları arasındaki değerlerin medyan değeridir. Değişim katsayısı ise standart sapmanın ortalamaya oranıdır. En büyük ve en küçük değerleri ise verilerden alınmış minimum ve maksimum ışıınım değerleridir.

Tablo 5.1. Geçmiş yıllar için bölgesel ışıınım değerlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri

	İstanbul	Ottowa	Pekin
Ortalama	3817,88	3336,93	3421,94
Standart Sapma	1920,24	1657,13	1108,19
Ortanca	3847,05	3461,85	3648,15
Değişim Kat sayısı	0,50	0,50	0,32
En Büyük	1070,7	857,4	1701,3
En Küçük	7158,9	6078,6	5408,1

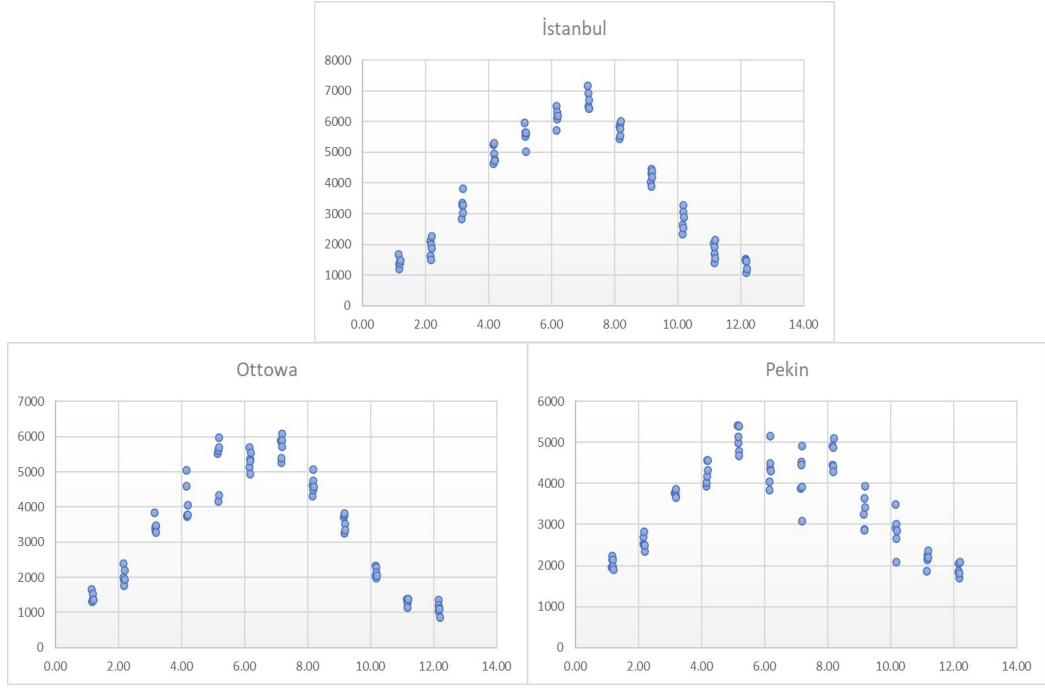
Tahmin verileri bağlı olarak da güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli hesaplanacaktır. 2015-2020 yılları arasında aylık olarak ölçümlenen ışıınım değerleri her bir seçilen lokasyon için Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Bu şekilde en yüksek ışıınım değerleri İstanbul almaktadır. İkinci sırada ise Ottawa ve son sırada Pekin almaktadır.



Şekil 5.1. Aylara göre ışıınım değerleri

Beklendiği gibi Şekil 5.1’de verilen geçmiş dönem ısıtım değerleri incelendiğinde, ısıtım değerlerinde bir mevsimsellik olduğu açıkça görülmektedir. İstanbul (Türkiye), Ottawa (Kanada) ve Pekin (Çin) bölgelerinin seçilme nedeni ise her bir şehrin farklı iklim kuşakları üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Dünyada araştırmalarda en çok tercih edilen iklim sınıflandırma yöntemi olan Köppen iklim sınıflandırmasına göre İstanbul CSA, Ottawa DFB ve Pekin ise DWA iklim bölgelerinde bulunmaktadır. CSA bölgesi yazları sıcak ve kuru olarak gerçekleşen Akdeniz iklimidir. DFB ise yazların sıcak fakat havanın oldukça nemli olduğu karasal iklim bölgesidir. DWA ise yine D bölgesinde yer alması nedeniyle DFB ile benzerlik göstermesine karşın nem oranı daha düşük ve Musondan etkilenen bir karasal iklim kuşağıdır. Farklı iklim bölgelerinden şehirlerin seçilmesi ile farklı iklim kuşaklarının güneş enerjisi potansiyelleri hakkında tahmin yapılma ve karşılaştırma imkânı olacaktır. Ayrıca Şekil 5.2’de verilen ve her bir bölgenin aylara göre ısıtım değerlerini gösteren grafik sayesinde farklı yıllardaki aylık değerlerin sapması görülmektedir.

İstanbul için ısıtım değerlerin aylar için çok fazla oynaklık göstermemektedir. Ottawa şehrindeki ısıtım verilerine göre Nisan (4. ay) ve Mayıs (5. ay) ayları için diğer aylara göre artan bir oynaklık görülmektedir. Pekin’de ise Haziran (6.ay) ve Temmuz (7. ay) aylarında büyük değişkenlik görülmesine karşın bazı diğer aylarda da ısıtım değerleri daha büyük bir aralıkta hareket etmektedir. Tüm bölgeler için bakıldığında ısıtım değerlerindeki oynaklığın Ocak, Şubat, Kasım, Aralık gibi güneş ışığından daha az faydalanılan aylarda çok daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. 2015-2020 arası ışıınım değęerlerinin aylara göre değışimi

5.3 Tahmin Yaklaşımı

İşınım değęerlerinde mevsimsellik gőrőldőđő için bu alanda kullanılan en başarılı tahmin yöntemlerinden yapay sinir ağları ve mevsimsel ARIMA modeli tercih edilmiştir. Her iki yöntem de üç farklı bölge için veri uyumu incelenerek gerçęk değęerlere daha iyi uyum sağlayan metot gelecek tahmininde kullanılmıştır.

5.3.1 Yapay Sinir Ağları

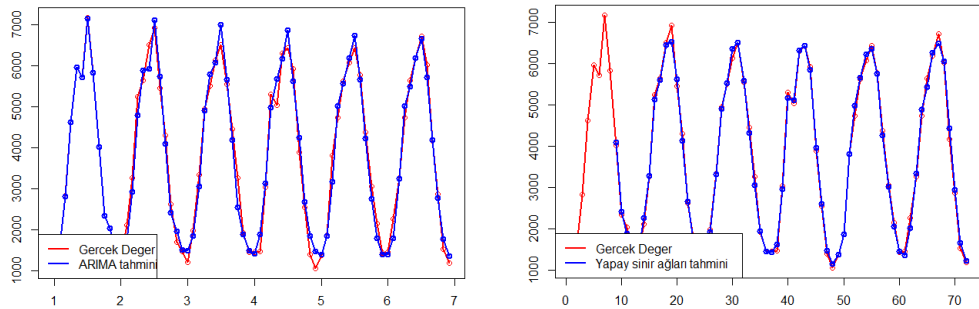
Yapay sinir ağlar, geçmiş verilere dayalı olarak gelecek hakkında tahminler yapmak için kullanılan bir tür yapay zekâ yöntemidir. İnsan beyninin bilgiyi işleme biçimini taklit eden birbirine bağlı dőđőmlerden veya nőronlardan oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile analiz edilmek istenilen veriler sinir ağı içerisindeki bir dizi gizli katman aracılığıyla işlenir. Bu gizli katmanlar, verileri analiz etmek ve kalıpları veya trendleri belirlemek için çeşitli algoritmalar kullanan birbirine bağlı nőronlardan oluşur. Son olarak, sinir ağı, tanımladığı kalıplara dayalı olarak bir tahmin üretir.

5.3.2 Mevsimsel ARIMA Modeli

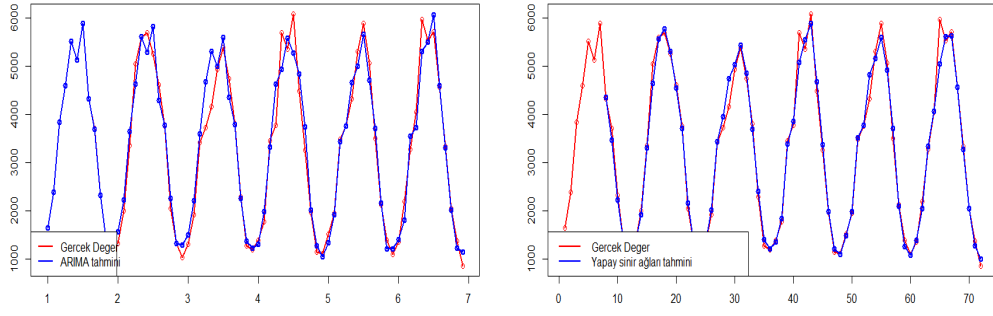
Mevsimsel ARIMA modeli, bir zaman serisi veri setindeki gelecek değerleri tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. ARIMA, Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama anlamına gelmektedir ve gelecek dönem tahminleri için geçmiş dönem verileri kullanan bir tür matematiksel yaklaşımdır. Verilerde mevsimsellik gözlemlendiği durumlarda ARIMA modelin mevsimsel bileşenleri de belirlenir. Modelin mevsimsel bileşeni, yılın belirli bir zamanında meydana gelen verilerde yinelenen kalıpları veya eğilimleri hesaba katabileceğini ifade etmektedir. Klasik bir ARIMA modelinde (p,d,q) olmak üzere üç parametre varken mevsimsel modelde bu parametrelere ek olarak (P,D,Q) mevsimsel bileşenleri dâhil edilir. Seçilen mevsimsellik periyoduna göre modelin gerçek veriye en çok uyum sağlayacağı şekilde bu parametreler belirlenir ve modelin hata değerleri ölçülür. Genel olarak, mevsimsel ARIMA modeli, bir zaman serisi veri setinde gelecekteki değerleri tahmin etmek için güçlü bir araçtır. Çünkü yinelenen kalıpları veya eğilimleri hesaba katara daha doğru tahminler yapılmasını sağlar.

5.3.3 Tahmin Metotlarının Kıyaslanması

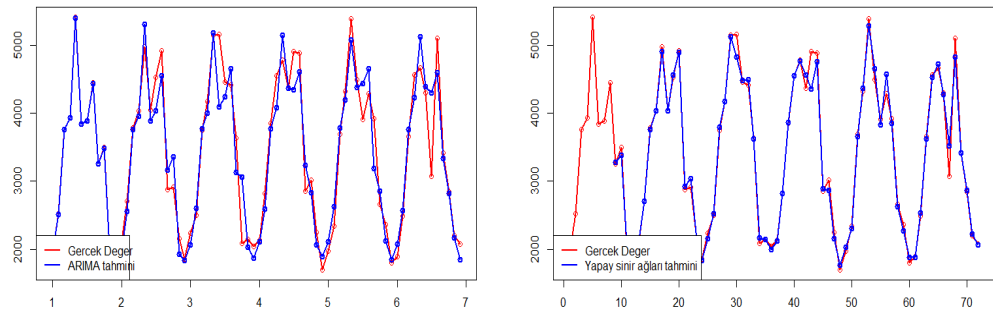
Seçilen tahmin yöntemleri R programı içerisindeki paket uygulamalarla test edilmiş ve eldeki veriler üzerinden iki yöntemin kıyaslaması yapılmıştır. Seçilen üç bölgenin verileri de iki yöntemle test edilerek sonuçlar Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5'te sunulmuştur. ARIMA model ve yapay sinir ağlarında en uyumlu çıkan şehir İstanbul olmuştur. İki model içinde ise üç şehirde de gerçek değer ile tahmin modeli arasında en fazla benzerlik olan yapay sinir ağıdır.



Şekil 5.3. İstanbul ısıtım değerleri için kıyaslama



Şekil 5.4. Ottawa ısıtım değerleri için kıyaslama



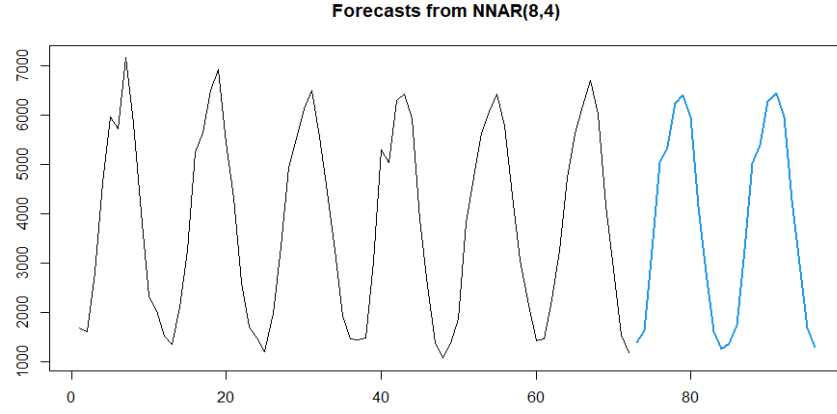
Şekil 5.5. Pekin ısıtım değerleri için kıyaslama

Yapay sinir ağı ve ARIMA modeli için sunulan karşılaştırma grafikleri iki yöntemin de aslında gerçek verilere oldukça uyumlu hareket ettiği ve mevsimselliği yakalayabildiğini göstermektedir. Bunun yanında yapay sinir ağı modelindeki sonuçların çok daha uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 5.5'teki Pekin için olan verilerde ARIMA modeli bazı tahminlerde ciddi uyumsuzluk yaratırken yapay sinir ağı tahmininde uyumsuzluğun çok daha az olduğu görülmektedir. Bu nedenle gelecek dönem ısıtım değerleri tahmininde yapay sinir ağı yöntemi kullanılacaktır.

5.3.4 Gelecek Tahmini

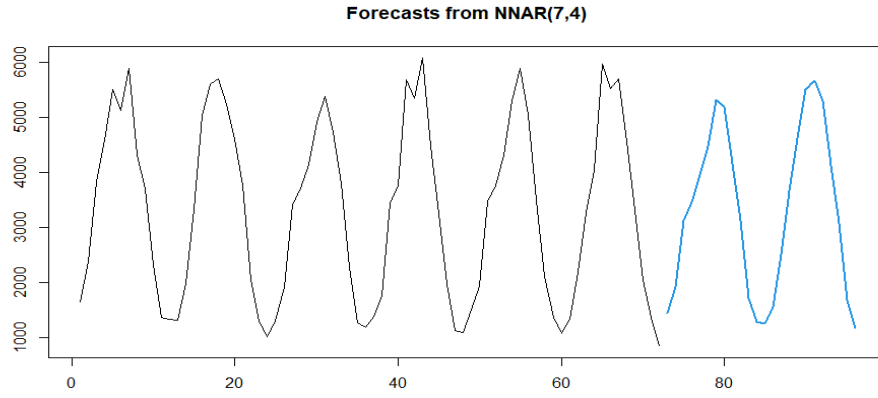
Yapay sinir ağı modeli ile R programı üzerinden gelecek tahmini için iki yıllık bir tahmin aralığı belirlenmiştir. Buna göre 2015-2020 Aralığındaki aylık ısıtım değerleri 2021 ve 2022 yılı değerlerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Şekil 5.6'da R programı ile İstanbul için yapılan tahmin sonuçları verilmiştir.



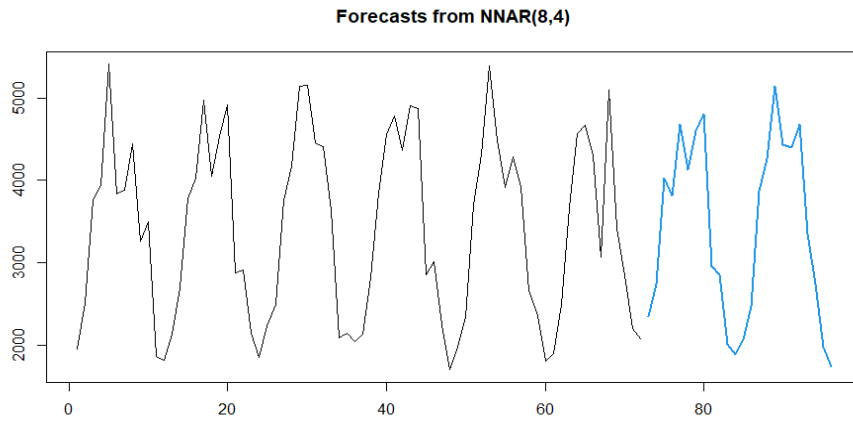
Şekil 5.6. İstanbul için 2021-2022 tahminleri

R programı ile Ottawa için yapılan tahmin sonuçları Şekil 5. 7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Ottawa için 2021-2022 tahminleri

Pekin için R programı ile yapılan tahmin sonuçları Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Pekin için 2021-2022 tahminleri

Tablo 5.2’de R programı ile yapılan tahmin sonuçları verilmiştir. İstanbul için 2021’ de en yüksek temmuz ayında 6423.72 W/m^2 , en düşük değeri ise 1250.05 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. 2022 yılı için ise en yüksek temmuz ayında 6447.60 W/m^2 , en düşük değer ise aralık ayında 1275.57 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Ottawa için 2021’de en yüksek 5834.60 W/m^2 , en düşük değer ise 1134.10 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. 2022’de en yüksek 5774.03 W/m^2 , en düşük değer ise 1051.71 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Pekin için 2021’de en yüksek haziran ayında 4935.63 W/m^2 , en düşük değer ise 2104.98 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. 2022’de en yüksek 4946.18 W/m^2 , en düşük değer ise 2073.86 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. 2021 ve 2022 yılları için yapılan ısıtım değerleri tahmini

	Yıl/AY	İstanbul	Ottowa	Pekin
2021	Ocak	1351.57	1449.45	2288.18
	Şubat	1620.90	1886.93	2484.60
	Mart	3256.36	3243.34	3798.75
	Nisan	4996.92	3521.76	3591.77
	Mayıs	5308.91	4329.44	4739.74
	Haziran	6258.21	5162.80	4935.63
	Temmuz	6423.72	5834.60	4711.24
	Ağustos	6041.67	5015.44	4628.97
	Eylül	4214.95	3825.79	3904.15
	Ekim	2811.99	2424.03	2290.37
	Kasım	1602.28	1385.14	2206.38
	Aralık	1250.05	1134.10	2104.98
2022	Ocak	1316.25	1273.20	2073.86
	Şubat	1723.16	1764.67	2415.64
	Mart	3188.93	3225.52	3445.83
	Nisan	4975.18	3855.57	4290.37
	Mayıs	5343.20	5355.36	4891.90
	Haziran	6252.99	5507.65	4946.18
	Temmuz	6447.60	5774.03	4515.05
	Ağustos	6049.91	4809.36	4314.99
	Eylül	4295.90	3689.42	4190.64
	Ekim	2974.39	2281.69	2198.26
	Kasım	1647.71	1390.51	2487.06
	Aralık	1275.57	1051.71	2074.00

Bu ısıtım değerlerine bağlı olarak olası güneş enerji yatırımlarının geri ödeme süreleri ve fizibilite çalışmaları yapmak doğru bir yatırım için oldukça faydalı analitik destek sağlayacaktır. Sadece zaman zaman daha iyi ısıtım değerlerine sahip olmak yatırım için yeterli olmayabilir. Çünkü tüm dönem boyunca yapılacak üretim kısa süreli

yapılacak enerji üretiminden daha ekonomik olabilir. Elimizdeki verilere baktığımızda hem mevsimselliğin en net olduğu hem de saplamaların daha az olduğu ve ayrıca ortalama ışıınım değerleri olarak da en yüksek olduğu için İstanbul bölgesi olası bir güneş yatırımı için uygun görülmektedir. Pekin’de geçmiş yıllardaki bazı dönemlerde görülen farklı kırılmalar gelecekte de belirsizliği arttırmaktadır. Işıınım değerleri tek başına yeterli bir ölçü olmayıp sadece genel bir potansiyel göstermektedir. Bu ek olarak havanın kapalılık durumu, panelin açısı gibi farklı mevsimsel ve operasyonel parametrelerin de dikkate alınması daha doğru, daha hassas bir analiz yapmak için gereklidir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

2015-2020 yılları arasındaki verilere dayalı olarak İstanbul, Pekin ve Ottawa için güneş enerjisi ışıınım değerlerinin 2021 ve 2022 yılları için yapılan istatistiksel programların sonuçları incelenmiştir. Genel olarak bakıldığında hem mevsimselliğin en net olduğu hem de saplamaların daha az olduğu ve ayrıca ortalama ışıınım değerlerinin de en yüksek olduğu İstanbul bölgesi olası bir güneş yatırımı için uygun görülmektedir. Pekin’de geçmiş yıllardaki bazı dönemlerde görülen farklı kırılmalar gelecekte de belirsizliği arttırmaktadır. Işıınım değerleri tek başına yeterli bir ölçü olmayıp sadece genel bir potansiyel göstermektedir. Buna ek olarak havanın kapalılık durumu, panelin açısı gibi farklı mevsimsel ve operasyonel parametrelerin de dikkate alınması daha doğru bir ekonomik analiz yapmak için olmazsa olmazdır.

Dünyada hayat var oldukça enerjinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Kendi ülkesini bağımsızlaştırmak isteyen devletler enerjiye sahip olmak için çaba sarf etmektedirler. Enerji kaynaklarına sahip olan ve enerji taşımacılığında söz sahibi olan ülkeler güçlü devlet kategorisinde olacaklardır. Enerji kaynakların yetersizliği ve tükenmesin ve fosil kaynakların tükenmesine rağmen halen alternatif yeterli enerji kaynakları bulunmaması bütün ülkeleri etkilemekte ve bu ihtiyacı kapatacak bir enerji bulunmadığı müddetçe enerji mücadelelerin devam edecektir. Türkiye’nin de enerji politikalarını gözden geçirip, sürdürülebilir yenilikleri uygulamaya koyup, enerji yatırımlarını kanunlar ile desteklemesi faydalı olur. Enerji politikaları sözde kalmayıp bütüncül ve tamamlayıcı olmalıdır.

Yenilenebilir enerji çeşitlerinin potansiyeli çok yüksektir. Ancak buna rağmen dünyada ilk sıraları fosil kaynaklar almaktadır. Bunun en önemli nedenleri, yenilenebilir enerjilerin ilk maliyetlerinin genellikle pahalı olması, yeteri kadar bu alanda bilgi ve teknolojik gelişmelere sahip olunmaması, günümüz teknolojileri ile verimlerinin istenilen oranda olmaması ve insanların bu konuda yeterli bilgiye sahip olmaması olarak sıralanabilir. Güneş enerjisine yönelik yakın ve uzak hedefler belirlenmelidir bu hedefler geliştirmeli ve uygulamalar yapılmalıdır. Bu alanda yapılacak araştırma çalışmalarına göre yol haritası ve bir plan oluşturulmalıdır. Bu alandaki çalışmalarla Türkiye’de güneş enerjisi alanında yol gösterici olarak önem kazanacaktır. Ayrıca Türkiye’nin en önemli cari açıklarında birisi de enerji ve enerji türevleridir.

Yenilenebilir enerji önemi gittikçe artmaktadır. Bununla birlikte en büyük yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisine yönelik ilgi hızla artmaktadır. Güneş enerjisinin en büyük sorunlarından biri olan dünya üzerine gelen güneş ışınimleri değişkenlik göstermesidir. Bu sorunu çözmek için çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi güneş ışınimleri ve meteorolojik değişkenlere bağlıdır. Bir güneş enerji santrali kurulurken fizibilite çalışması yapılmalıdır. Bu sayede enerji üretiminde istikrar sağlanacaktır. Güneş enerjisinde elektrik üretim santrallerin için birçok ön çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de makine öğrenme yöntemleridir. Makine öğrenme yöntemleriyle güneş enerjisinden elektrik üretiminde geçmiş verilerden yararlanarak ileriye yönelik tahminlerde bulunulmasını sağlamaktır. Bu alandaki literatür çalışmalar araştırılıp, incelenmiştir.

Güneş enerji potansiyelinde en yüksek verimde yararlanmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada ise üç farklı iklim kuşağındaki şehirde mevsimsel değerlere göre geçmiş veriler ile gelecek tahmini yapılmıştır. Kullanılan ARIMA ve yapay sinir ağ modellerinde İstanbul, Ottawa ve Pekin şehirleri seçilmiştir. Yapılan model ve güneş enerji potansiyeline bakıldığında güneş enerji potansiyeli en iyi İstanbul şehri çıkmıştır ve en iyi model ise yapay sinir ağları bulunmuştur. Gelecek tahmini için yapay sinir ağları kullanılabilirliği ön görülmüştür.

6.2. Öneriler

Yenilenebilir enerji potansiyeli, sürekliliği ve temiz bir kaynak olması nedeniyle kullanım oranı hızla artmaktadır. Yapılan araştırma sonucu gösteriliyor ki bu alanda yatırımların artırılmasıyla beraber yenilenebilir enerji potansiyeli de artmakta ve ekonomik olarak her geçen gün kolay ulaşılabilir olmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının oranını artırmak için devlet destekleri artırılmalıdır. Büyük şirketler ve üniversitelerde bu alandaki çalışmalara teşvik edilmelidir. Enerji alanında bilimsel yayın ve çalışmalar ile yenilikçi çalışmalar yapılmalıdır. Ülkemiz güneş enerji potansiyeli yüksektir. Güneş enerji teknoloji alanında yatırımlar yapılmalı ve nitelikli elemanlar yetiştirmelidir. Özellikle nitelikli elemanlar yetiştirilmesi için güneş enerjisi alanındaki mühendislik ve yüksek lisans eğitimlerinde laboratuvarlar açılmalı ve uygulamalı çalışmalar artırılmalıdır. Ayrıca İstanbul bölgesi için yapılacak gelecek tahmin ve güneş santralin kurulumunda yapay sinir ağı kullanılabilir.

Güneş enerji alanında simülasyon tahmin programları çok önemlidir. Tahmin programı ile güneş enerjisinin kurulacağı yerin enerji gereksinimini ve sistem güvenilirliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bu programlarda ayrıntılı ve güncel veriler olacak şekilde analizleri yapılabilirdir. Güneş enerjisinde mevsimsellik olduğunda ışıyım şiddetinin gün, hafta, ay ve yıllık olarak güncel tutulmalıdır. Gerçek veri ve programdaki tahmin verileri arasında daha az sapmalar olacaktır.

Türkiye’de güneş enerji santrallerin kurulumunda daha iyi sonuçlar verecek istatistik programları yapılabilir. Bu alanda yerli ve milli programların yapılması desteklenebilir, lisansüstü çalışmalar yapılabilir.

Havanın kapalılık durumu, panelin açısı, panel çeşidi gibi farklı mevsimsel ve operasyonel parametrelerin de dikkate alınması ile daha doğru bir analiz yapmak mümkündür. Eldeki verilere eklenerek ilerdeki çalışmalar daha hassas yapılabilir. Bu çalışma Türkiye genelindeki illerde uygulanıp, en uygun iller tespit edilebilir. Sonrasında ise bu illerdeki açısı hesaplamaları, panel çeşidi, malzeme çeşitleri gibi diğer faktörlerle birlikte hesaplamalar yapılarak çalışmalar daha da zenginleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abuella, M., & Chowdhury, B. (2015, April). Solar power probabilistic forecasting by using multiple linear regression analysis. In SoutheastCon 2015 (pp. 1-5). IEEE.
- Aksu M. 2021, Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi Doktora Tezi, T.C. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Aliberti, A., Bottaccioli, L., Cirrincione, G., Macii, E., Acquaviva, A., & Patti, E. (2018). Non-linear autoregressive neural networks to forecast short-term solar radiation for photovoltaic energy predictions. In Smart Cities, Green Technologies and Intelligent Transport Systems (pp. 3-22).
- Anonim 2022a, Web:Enerji Atlası, 2019, <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/ataturk-barajı.html>, [Ziyaret tarihi:5 Haziran 2022].
- Anonim 2022b Web: Enerji, T. C., & Bakanlığı, T. K. Kömür., 2019.
- Anonim 2022c Web: Enerji Atlası, 2021, <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>[Ziyaret tarihi: 15 Haziran2022].
- Anonim 2022d, Web:<https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/fizibilite/ sinop -ili-res-on-fizibilite-raporu2021.pdf> [Ziyaret tarihi 18 Haziran 2022].
- Anonim, 2022e Web: <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/vanda-3-bin-rakimli-ruzgar-enerjisi-santralinde-50-bin-haneye-elektrik-uretiliyor/2519256>. [Ziyaret tarihi 19 Haziran 2022].
- Anonim 2022f Web:REN21 2021, Renewables 2021 Global Status Report, https://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf. [Ziyaret tarihi 30 Haziran 2022].
- Anonim, 2022g Web: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2007 faaliyet raporu. http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/faaliyet_raporu_2007.pdf adresinden edinilmiştir.03.07.2019 [Ziyaret tarihi 1 Temmuz 2022].
- Anonim, 2022h Web: Enerji Atlası, 2021, [https://www.enerjiatlası.com/rezerv/dunya-petrolrezervi.html#:~:text=Uluslararası%C4%B1%20Enerji%20Ajansı%C4%B1%20\(IEA\)%20taraf%C4%B1ndan,trilyon%20779%20milyar%20varile%20y%C3%BCKselmi%C5%9Ftir](https://www.enerjiatlası.com/rezerv/dunya-petrolrezervi.html#:~:text=Uluslararası%C4%B1%20Enerji%20Ajansı%C4%B1%20(IEA)%20taraf%C4%B1ndan,trilyon%20779%20milyar%20varile%20y%C3%BCKselmi%C5%9Ftir).
- Anonim, 2022i Web:<https://www.solar.ist/wp-content/uploads/2022/05/Nisan-2022-Kurulu-Gu%CC%88c%CC%A7-Raporu.pdf> [Ziyaret tarihi 4 Temmuz 2022].
- Anonim 2022ı Web: www.slideshare.net/ysnbulut/03-gne-havuzlar [Ziyaret tarihi 5

Temmuz 2022].

Anonim 2022j Web: Yenilenebilir yaşam dergisi, 2011, <http://yenilenebiliryasam.com/2011/05/gunes-enerjisi-ile-su-istmasistemleri.html> [Ziyaret Tarihi 5 Temmuz 2022].

Anonim 2022k Web: mühendis portali, 2021, <https://muhendisportali.com/gunes-bacasi/> [Ziyaret tarihi Temmuz 7 2022].

Anonim 2022l Web: Güneş mimarisi: www.emlaktasondakika.com [Ziyaret Tarihi 10 Temmuz 2022].

Anonim 2022m Web: Ürün kurutma ve seralar: http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunesisil_files/image005.jpg [Ziyaret Tarihi 11 Temmuz 2022].

Bekçioğulları, M. F. , Dikici, B. , Açıkgöz, H. & Keçecioğlu, Ö. F. (2021). Güneş Enerjisinin Kısa-Dönem Tahmininde Farklı Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırılması . EMO Bilimsel Dergi , 11 (22) , 37-45 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/emobd/issue/66349/953373>.

Blaga R, Andree Sabadus, Nicolet Stefu, Ciprian Dughirb, Marius Paulescu and Viorel Badescuc, 2019, A current perspective on the accuracy of incoming solar energy forecasting, Progress in Energy and Combustion Science Volume 70, January 2019, Pages 119-144).

Bouaddi, S., Ihlal, A., & Fernández-García, A. (2015). Soiled CSP solar reflectors modeling using dynamic linear models. Solar Energy, 122, 847-863.

Ceylan, M. 2012, Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı, (1. Baskı) Ankara : Seçkin Yayınları.

Chaturvedi, D. K., & Isha, I. (2016). Solar Power Forecasting: A Review. International Journal Of Computer Applications, 145(6), 28-50.

Chen, S. X., Gooi, H. B., & Wang, M. Q. (2013). Solar radiation forecast based on fuzzy logic and neural networks. Renewable Energy, 60, 195-201.

Crompton G. Cameron P.,2008, Solar power plant pre-feasibility study, Brisbane, Avustralya.

Çepik, B. (2015). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde Türkiye'de yenilenebilir enerji politikaları / Renewable energy policies in the framework of sustainable development (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Çolak, S. Ç., 2010, Fotovoltaik Paneller Yardımı İle Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi Ve Gelecekteki Projeksiyonu Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

- Davò, F., Alessandrini, S., Sperati, S., Delle Monache, L., Airolidi, D., & Vespucci, M. T. (2016). Post-processing techniques and principal component analysis for regional wind power and solar irradiance forecasting. *Solar Energy*, 134, 327-338.
- Deniz E. Ve Atik K., 2007, Güneş Işınım Şiddeti Tahminlerinde Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analiz Yöntemleri Kullanımının İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 27, 2, 15-20, 2007 78050, Karabük .
- Deniz Y., Türkiye'nin Paris Anlaşması Sonrası Enerji Politikasında Güneş Enerjisinin Rolü Ve Önemi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Kamu Yönetimi Programı Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- Dünya Enerji Konseyi, 2021, Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu Özeti, Türkiye 2021 Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu Özeti Haziran,2021.
- Dinçer, İ. (2018). TÜBA-Güneş enerjisi teknolojileri raporu; TÜBA 26. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Dinçer, İ. ve Ezan, M. A. 2020, TÜBA-Enerji depolama teknolojileri raporu: TÜBA 35. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Diagne, M., David, M., Lauret, P., Boland, J., & Schmutz, N. (2013). Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 65-76.
- Dörenkämper, M., Wahed, A., Kumar, A., de Jong, M., Kroon, J., & Reindl, T. (2021). Yüzen PV'nin iki farklı iklim bölgesinde soğutma etkisi: Hollanda ve Singapur'dan saha testi verilerinin karşılaştırılması. *Güneş Enerjisi* , 219 , 15-23.
- Erkul, A., 2010, Monokristal, Polikristal ve Amorf Silisyum Güneş Panelleri Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği . *Yönetim Bilimleri Dergisi* , 10 (19) , 115-133 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/comuybd/issue/4104/54063>.
- Eşlik, A. H. , Akarslan, E. & Hocaoglu, F. O. (2021). Güneş Işınımı Tahmininde Ayrıştırma-Birleştirme Öğrenme Yaklaşımı . *Journal of the Institute of Science and Technology* , 11 (1) , 132-144 . DOI: 10.21597/jist.732025.
- Gabralı, D. & Aslan, Z. (2020). Güneş Enerjisi Potansiyelinin Çoklu Lineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi . *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 4 (1), 23-36. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ajesa/issue/55595/604289>.
- Ghazali, A., Rahman, A. M., 2012, The Performance Of Three Different Solar Panels For Solar Electricity Applying Solar Tracking Device Under The Malaysian

Climate Condition, Energy And Environment Research, Volume 2 Number 1, Pages 235- 243.

- Girgin, M.H., 2011, Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi Karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirme ve ekonomik analizi, Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi enerji enstitüsü, İstanbul 8-9.
- Güç, R. (2016). Bilecik ili için güneş enerjisi analizi ve yapay sinir ağları ile hava sıcaklığı tahmini (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Gülsaç, I.I., 2009. "Okyanuslardan Gelen Enerji Dalga Enerjisi".(18.10.2014). http://www.vizyon21yy.com/documan/Genel_Konular/Enerji/Dalga_Enerjisi/Dalga_Enerjisi.pdf.
- Güllü M., Kartal Z., 2021, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi Sakarya İktisat Dergisi Cilt 10, Sayı 1, 2021, Ss. 36-65 The Sakarya Journal Of Economics, Volume 10, Number 1, 2020, Pp. 36-65.
- GÜNDER, 2018, Güneşin Sürdürülebilirliğini Sağlamak, Güneş Enerjisi Yol Haritası, Ankara Güneş-Enerjisi-Yol-Haritası.pdf (enerjiportali.com).
- GWEC (Global Wind Energy Council). Global Wind Report 2021.
- Hoşkara, E., 2007. Ülkesel koşullara uygun sürdürülebilir yapım için stratejik yönetim modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 301 s., İstanbul.
- İder, S.K., "Hidrojen Enerji Sistemi", TMMOB Metalürji Mühendisler Odası Metalürji Dergisi, 134: 1-8,2003.
- IRENA 2019, Renewable Power Generation Costs In 2019, Isbn 978-92-9260-244-4.
- IRENA (2019a), Future of solar photovoltaic: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (a global energy transformation: paper). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Jackson F., 2008, Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, architects and engineers second edition,Londra, İngiltere, 10.
- Kara, A. (2019). Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 7 (4) , 882-892 . DOI: 10.29109/gujsc.571831.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji. Analiz. Seta, 197, 18-28.
- Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

- Karataş, S. 2009, Türkiye’de Yenilenebilir Kaynaklar İçerisinde Rüzgâr ve Güneş Enerjilerinin Yeri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki Ve Türkiye’deki Kullanım Durumu . Marmara Coğrafya Dergisi , 0 (30) , . Doi: 10.14781/Mcd.98631.
- Kapluhan, E. (2015). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya’daki Ve Türkiye’deki Kullanım Durumu . Coğrafya Dergisi , 0 (29) , 70-98 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25074/264647>.
- Koç, A. , Yağlı, H. , Koç, Y. & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makina, 59 (692) , 86-114. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/48388/614281>.
- Koç, M., 2021, Türkiye'nin güneş enerjisi ile ilgili araştırmalara katkısı: 2000-2019 dönemi için bibliyometrik analiz https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=tqUiYt63sTQLTpozMJ92QqngDUvXr-Xrne-GJrOFZs2MC_lufeWQE1HcgicfdplR.
- Köroğlu, T., Teke, T., Bayındır, Ç., Tümay, M., 2010, Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı Elektrik Mühendisliği Dergisi, Cilt 409, Sayı Temmuz, Sayfa 98-014.
- Kumar, K. R., & Kalavathi, M. S. (2018). Artificial intelligence based forecast models for predicting solar power generation. Materials today: proceedings, 5(1), 796-802.
- Lemoine D. M., 2013, The Economics of Solar Electricity, The University of Arizona, Annual Review of Resource Economics 5(1):387-426.
- Li, D. H., & Lou, S. (2018). Review of solar irradiance and daylight illuminance modeling and sky classification. Renewable Energy, 126, 445-453.
- Mahmutoğlu, M. (2013). Türkiye Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerjinin Rolü. Yüksek Lisan Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Olçar, K. (2010). Uluslararası Çatışmaların Enerji Politik Analizi Güvenlik Stratejileri Dergisi,6(11), Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/guvenlikstrjtj/issue/7532/99196>.
- Öymen, G. ve Ömeroğlu, M. Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirlik Üzerindeki Rolü, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Yıl:19 Sayı:39 Güz:2020/3 s.1069-1087 DOI: <https://doi.org/10.46928/iticusbe.769022>.
- Özbay, K., & Saruışık, M.,2020 Yatlarda Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Üzerine Bir Değerlendirme. Journal Of

Gastronomy Hospitality And Travel, 3(2), 234-243.
<https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Joghat/Issue/59161/850844>.

Özçuhadar, T. (2007). Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngüsü sürecinde incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Özen İ., 2019, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinde Akdeniz Bölgesindeki Büyük Akarsuların Yeri Ve Önemi.

Özdemir, Hüseyin(2008), Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Persson, C., Bacher, P., Shiga, T., & Madsen, H. (2017). Multi-site solar power forecasting using gradient boosted regression trees. Solar Energy, 150, 423-436.

Phillips, L. (2019). Solar energy. Managing Global Warming. pp. 317– 332. doi:10.1016/b978-0-12-814104-5.00009-0.

REN21 2020, Renewables 2020 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-948393-00-7.

Reyes-Belmonte, M. A. (2021). Quo Vadis Solar Energy Research?. Applied Sciences, 11 (7), 3015.

Samadianfard S.ve ark. 2018, Application of support vector regression integrated with firefly optimization algorithm for predicting global solar radiation, Journal of Energy Systems Volume 2, Issue 4 DOI: 10.30521/jes.458328.

Singh, G. K. 2013, Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. Energy. 53, pp. 1-13. doi: 10.1016/j.energy.2013.02.057.

Singh B., ve Pozo D., 2019, A Guide to Solar Power Forecasting using ARMA Models, SAND2019-11760C.

Siwei Lou . and Danny H.W.L., 2018, Review of solar irradiance and daylight illuminance modeling and sky classification, Renewable EnergyVolume 126, October 2018, Pages 445-453.

Springer, Cham.Blaga R., ve ark, 2018, Gelen Güneş Enerjisi Tahminlerinin Doğruluğuna Güncel Bir Bakış Açısı, Enerji ve Yanma Bilimindeki İlerleme Cilt 70, Ocak 2019, Sayfalar 119-144.

Şenel, M. C. & Koç, E. (2015). Dünyada Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina, 56 (663), 46-56. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/muhendismakina/issue/54195/733672>.

Şengül, Ü. , Tan, S. , Atak, Ş. & Şengül, A. B. (2015). Türkiye Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli. Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD) , 6 (11) , 41-55. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/kilisiibfakademik/issue/19259/204564>.

- Topsakal S. 2021, Hakkâri İli Örneği İçin Güneş Enerjisi Potansiyeli Belirlenmesi Ve Ekonomik Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Sinop Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Disiplinler Arası Nükleer Enerji Ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Sinop.
- Tunç Ş., 2009 . Güneş enerjisi ile elektrik üretimi saha ve potansiyel belirleme, Ankara Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği (TÜREP), Rüzgâr Enerjisi Santralleri Raporu, 2020.
- Uğuz, S. , Oral, O. & Çağlayan, N. (2019). PV Güç Santrallerinden Elde Edilecek Enerjinin Makine Öğrenmesi Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi . International Journal of Engineering Research and Development , December 2019 - Special Issue , 769-779 . DOI: 10.29137/umagd.514933.
- Upadhyaya, A., Yelundur V., Rohatg. A., 2006, High Efficiency Mono-Crystalline Solar Cells With Simple Manufacturable Technology, Gerorgia Institute of Technology.
- Übelacker, E. (2005). Enerji. Tudem Publishing.
- Üçgül, İ. & Elibüyük, U. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Enerji Jeopolitiği. AnkaE-Dergi,2(1),0-0Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/anka/issue/32212/357703>.
- Vural M., 2019, Renewable Energy Potential And Production Of Turkey: 2023 Vıسیون, Ankara Yıldırım Beyazıt University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü), 2014. “Dalga Enerjisi”.(17.10.2014).
- Yerebakan, Metin (2010), Güneş Kollektörü Uygulamaları, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.
- Yılmaz M.C., 2019, The renewable energy transition in Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has University School Of Graduate Studies Energy And Sustainable Development Program, İstanbul.
- Yüksel, S., & Topcu, Y., 2019 13-Hidrojen Depolama Teknolojilerinin Değerlendirilmesi. Kimya Sanayiinde Proses İyileştirme Ve Yenilikçi, 13.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nergiz ACET
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği	2018
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019-2020	Özel Batman Bilim Teknik Koleji	Yenilenebilir Enerji Öğretmenliği
2020-2021	Özel Bismil Teknoloji Koleji	Yenilenebilir Enerji Öğretmenliği

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji Ve Güneş Enerjisi

YABANCI DİLLER

İngilizce