

T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT GÜÇ ÜRETİMİ TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ  
ALGORİTMALARININ PERFORMANS ANALİZİ

Begüm UZUNOKUR

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA  
2024

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	4
1.1.1.Rüzgar enerjisi .....	5
1.1.2.Güneş enerjisi .....	7
1.1.3.Hidrolik enerji .....	9
1.1.4.Jeotermal enerji .....	9
1.1.5.Biyokütle enerji .....	12
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	16
3.MATERYAL ve YÖNTEM .....	23
3.1.Rüzgar Türbini ve Panel Tasarımı .....	23
3.2.Rüzgar Türbini ve Güneş Paneli Gücü Hesabı .....	25
3.3. Makine Öğrenmesi .....	27
3.3.1. AdaBoost .....	28
3.3.2. Decision tree regressor .....	28
3.3.3. Gradient boosting .....	29
3.3.4. LightGBM .....	29
3.3.5. Random forest .....	30
3.3.6. XGBoost .....	30
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	32
4.1. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli: ArcGIS ile GES ve RES Yatırım Haritaları .....	32
4.2. Rüzgar ve Güneş Enerjisi Analizinde ANOVA ve Regresyon Analizi .....	35
4.2.1. Rüzgar gücü üzerine ANOVA Analizi .....	35
4.2.2. Güneş paneli gücü üzerine ANOVA Analizi .....	36
4.2.3. Rüzgar türbin, güneş paneli ve hibrit gücü değerleri .....	37
4.2.4. Rüzgar türbin gücü regresyon analizi .....	39
4.2.5. Güneş paneli gücü regresyon analizi .....	40
4.3. Çanakkale ve Balıkesir'de Enerji Potansiyeli Çözümleme .....	42
4.4. Makine Öğrenmesi Model Analizi ve Performans Değerlendirmesi .....	44
4.5. Yenilenebilir Enerji Tahmin Modellerinin Performans Analizi ve Bölgesel Etkileri .....	53
4.5.1. Etki analizi .....	54
4.5.2. Bölgesel performans analizi .....	55
4.5.3. Model performansı karşılaştırması .....	55
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	63

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## HİBRİT GÜÇ ÜRETİMİ TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ PERFORMANS ANALİZİ

Begüm UZUNOKUR

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Gencay SARIŞIK  
Yıl: 2024, Sayfa: 63

Bu tezde, Çanakkale ve Balıkesir illerinin enerji potansiyellerini çözümlmeyi ve yenilenebilir enerji tahmin modellerinin performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. İlk bölümde, rüzgar ve güneş enerjisi potansiyellerini belirlemek üzere kapsamlı bir analiz sunulmuştur. ANOVA analizi, meteorolojik değişkenlerin enerji üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Rüzgar gücü analizinde, hava yoğunluğu ve rüzgar hızının kritik öneme sahip olduğu belirlenmiş, bu durum rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu faktörlerin önemini vurgulamıştır. Güneş paneli gücü analizinde ise sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon ve çevre sıcaklığının kritik olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizi, türbin gücü ve güneş paneli gücündeki değişkenliklerin büyük bir kısmının rüzgar hızından kaynaklandığını göstermiştir. İkinci bölümde, önceki analizin sonuçlarına dayanarak, makine öğrenimi modellerinin performansını inceleyen bir değerlendirme yapılmıştır. Gerçek veri ile tahmin edilen değerler arasında yapılan karşılaştırmalar, belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi ölçütlerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, modelin çıktılarını etkileyen özelliklerin belirlenmesi için özel bir tahmin modeli kullanılmıştır. Üçüncü bölüm, bölgesel etkileri değerlendirmektedir. Çanakkale ve Balıkesir illerindeki rüzgar türbin gücü ve güneş panel gücü için altı farklı tahmin modeli kullanılarak bölgesel performans analizi yapılmıştır. Analiz, her iki il için yüksek belirleme katsayıları elde edildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, dördüncü bölümde model performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. XGBoost algoritması, eğitim setinde yüksek doğruluk göstermiş ve test setinde diğer algoritmalarla eşit derecede başarılı olmuştur. Random Forest modeli ise MAE açısından en iyi performansı sergilemiştir. Bu çıkarımsal analiz, Çanakkale ve Balıkesir illerinin enerji potansiyellerini anlamada ve makine öğrenimi modellerinin performansını değerlendirmede önemli bilgiler sunmaktadır. Tez, bölgesel enerji planlamasına katkı sağlayarak yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasına yönelik pratik uygulamalara ışık tutmaktadır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Hibrit enerji sistemleri, makine öğrenimi tahmin modelleri, güç üretimi analizi, yenilenebilir enerji tahmini, performans değerlendirmesi

# ABSTRACT

MSc Thesis

## PERFORMANCE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN HYBRID POWER GENERATION PREDICTION

Begüm UZUNOKUR

Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department Of Industrial Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Gencay SARIŞIK  
Year: 2024, Page: 63

This thesis aims to analyze the energy potentials of Çanakkale and Balıkesir provinces and evaluate the performance of renewable energy forecasting models. In the first chapter, a comprehensive analysis is presented to determine the wind and solar energy potentials. ANOVA analysis is used to evaluate the effects of meteorological variables on energy production. In the wind power analysis, air density and wind speed were found to be critical, emphasizing the importance of these factors in determining wind energy potential. In the solar panel power analysis, temperature, sunshine duration, radiation and ambient temperature were found to be critical. Regression analysis showed that most of the variability in turbine power and solar panel power is due to wind speed. In the second section, based on the results of the previous analysis, an evaluation of the performance of the machine learning models is presented. Comparisons between the actual data and the predicted values are made using metrics such as coefficient of determination, mean absolute error and root mean squared error. In addition, a custom prediction model is used to identify the features that affect the model's outputs. The third section evaluates the regional impacts. Regional performance analysis is performed for wind turbine power and solar panel power in Çanakkale and Balıkesir provinces using six different forecasting models. The analysis shows that high coefficients of determination are obtained for both provinces. Finally, in the fourth section, the model performances are compared. The XGBoost algorithm showed high accuracy on the training set and performed equally well with the other algorithms on the test set. The Random Forest model performed the best in terms of MAE. This inferential analysis provides important information for understanding the energy potential of Çanakkale and Balıkesir provinces and evaluating the performance of machine learning models. The thesis contributes to regional energy planning and sheds light on practical applications for more efficient use of renewable energy resources.

**KEYWORDS:** Hybrid energy systems, machine learning prediction models, power generation analysis, renewable energy forecasting, performance evaluation

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimi ve deneyimini esirgemeyen tavsiyeleriyle aydınlatan her konudaki örnek davranışları ve anlayışıyla bana destek olan değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Gencay SARIŞIK' a çok teşekkür ederim. Tez jürimde yer alan Doç. Dr. Eyüp ÇALIK ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Sabri ÖĞÜTLÜ hocalarıma değerli katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Her gün varlıklarına binlerce kez şükrettiğim, beni bugünlere getiren beni ben yapan değerleri kazandıran, sırtımı yasladığım dağım dünyaları verseler de hiçbir şeye asla değişmeyeceğim aileme sonsuz teşekkürler.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil.1.1. Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç.....	6
Şekil 1.2. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı.....	6
Şekil 1.3. Toplam Güneş Radyasyonu.....	7
Şekil 1.4. Güneş Enerjisi Kaynaklı Kurulu Güç.....	8
Şekil 1.5. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı.....	8
Şekil 1.6. Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası.....	11
Şekil 1.7. Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç.....	11
Şekil 1.8. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı.....	12
Şekil 1.9. Biyokütlenin Enerjiye Çevrim Yöntemleri.....	13
Şekil 1.10. Biyokütle Enerji Kaynaklı Kurulu Güç.....	14
Şekil 1.11. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı.....	14
Şekil 3.1. Helezonik yapılı rüzgar türbini ve panel tasarımı.....	23
Şekil 4.1. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç.....	33
Şekil 4.2. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı.....	33
Şekil 4.3. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi.....	34
Şekil 4.4. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri.....	34
Şekil 4.5. Yıllara göre illerin türbin gücü ve güneş paneli gücü değerleri.....	38
Şekil 4.6. Yıllara göre illerin hibrit paneli gücü değerleri.....	39
Şekil 4.7. Türbin gücü ve rüzgar hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği.....	40
Şekil 4.8. Güneş paneli gücü ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği.....	41
Şekil 4.9. Güneş paneli gücü ve çevre sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği.....	42
Şekil 4.10. Çanakkale ve Balıkesir illeri rüzgar türbini ve güneş panelini etkileyen parametrelerinin özelliklerinin önemi.....	45
Şekil 4.11. Çanakkale ili rüzgar türbin gücü ve rüzgar hızı değerleri tahmin modelleri.....	47
Şekil 4.12. Balıkesir ili rüzgar türbin gücü ve rüzgar hızı değerleri tahmin modelleri.....	48
Şekil 4.13. Çanakkale ili güneş panel gücü ve güneş radyasyon değerleri tahmin modelleri.....	50
Şekil 4.14. Balıkesir İli Güneş Panel Gücü ve Güneş Radyasyon Değerleri Tahmin Modelleri.....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 1.1. Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu.....	9
Çizelge 4.1. Rüzgar türbin gücü ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon ANOVA tablosu...	35
Çizelge 4.2. Güneş paneli gücü ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon ANOVA tablosu..	37
Çizelge 4.3. Rüzgar türbin gücü ve bağımsız değişkenleri arasındaki regresyon analizi modeli özetini.....	39
Çizelge 4.4. Güneş paneli gücü ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon analizi modeli özetini.....	41
Çizelge 4.5. Tahmine dayalı model performansları.....	53



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Kanat Süpürme Alanı
CIPM	Uluslararası Ağırlık Ve Ölçüm Komitesi
Cp:	Betz Limiti
G	Gelen Güneş Işınımı
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
Gref	Referans Koşullarında Güneş Işınması
HES	Hibrit Enerji Sistemi
KT	Maksimum Gücün Sıcaklık Katsayısı
LSTM	Uzun Kısa Vadeli Bellek
MAE	Ortalama Mutlak Hata
Md	Molar Kuru Hava Kütlesi
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
Mv	Molar Su Buharı Kütlesi
OECD	İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
P	Hava Yoğunluğu
Pçıkış	Panel Çıkış Gücü
$\rho_a$	Kısmi Kuru Hava Basıncı
PN	Referans Koşullarında Fotovoltaik Panel Nominal Gücü
Psat	Doymuş Buhar Basıncı
Pv	Su Buharı Basıncı
R	Evrensel Gaz Sabiti
Rd	Kuru Hava İçin Spesifik Gaz Sabiti
Rv	Su Buharı İçin Spesifik Gaz Sabiti
T	Sıcaklık
Tçevre	Çevre Sıcaklığı
Tref	Referans Koşullarında Panel Yüzey Sıcaklığı
Ty	Panel Yüzey Sıcaklığı
$V^3$	Hızın Küpü
D	Panel Verimi
Ø	Bağıl Nem

## 1.GİRİŞ

Günümüzde, dünya genelinde karşılaştığımız en büyük sorunlardan biri enerji krizidir. Gelecekteki 9 milyarlık dünya nüfusunu düşündüğümüzde, artan nüfusla birlikte enerji ihtiyacının daha da artacağı açık bir gerçektir. Bu durum, mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması ve birçok olumsuz etkene neden olmasıyla daha da karmaşık hale gelmektedir. Fosil yakıtların tükeniyor olması, çevreye verdiği zararlar ve küresel ısınma gibi sorunlar, enerji üretiminde alternatif kaynaklara yönelik bir arayışı hızlandırmaktadır.

İstatistik veriler, bu alternatif enerji kaynaklarına olan talebin her geçen yıl arttığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji, diğer enerji kaynaklarına kıyasla yıllık ortalama beş kat daha hızlı bir artış göstermektedir. Bu durum, sadece birkaç yıl içinde enerji üretimindeki dönüşümün ne kadar hızlı gerçekleştiğini göstermektedir.

Ülkeler arasındaki enerji talepleri farklılık gösterse de, genel eğilim her geçen yıl enerji ihtiyacının arttığı yönündedir. Bu durum, uluslararası düzeyde enerji politikalarının ve sürdürülebilir enerji çözümlerinin daha da önemli hale geldiğini vurgulamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar enerji alanındaki bu değişim ve gelişim sürecini anlamamıza katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, küresel çapta enerji sorunlarına yönelik etkili çözümler bulmak ve uygulamak, sürdürülebilir bir enerji geleceği için kritik bir öneme sahiptir.

Son yirmi yılda Türkiye, (OECD) ülkeleri arasında enerji talebinin en hızlı arttığı ülkelerin başında gelmektedir. Elektrik ve doğalgaz talebinde Çin'den sonra dünya genelinde ikinci sırada yer alması, Türkiye'nin enerji ihtiyacındaki gözle görülür artışı yansıtmaktadır. Ancak, bu artan talebin karşılanmasında Türkiye'nin yaklaşık %74'lük bir oranda dışa bağımlı olması, enerji stratejilerini çeşitlendirme ve güçlendirme ihtiyacını ortaya koymaktadır (TCDB, 20203).

Türkiye'nin enerji stratejisinin uluslararası boyutunu belirleyen temel unsurlar şu şekildedir (TCDB, 20203):

- 1. Güzergâh ve Kaynak Çeşitlendirmesi:** Artan talep ve dışa bağımlılığı göz önüne alarak, Türkiye enerji güvenliğini sağlamak adına petrol ve doğal gaz tedarikinde güzergâh ve kaynak çeşitlendirmesine odaklanmaktadır.
- 2. Bölgesel ve Küresel Enerji Güvenliği:** Türkiye, enerji güvenliğine bölgesel ve küresel düzeyde katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu çerçevede, stratejik konumu ve enerji geçiş yollarındaki rolüyle bölgesel bir enerji aktörü olma yolunda ilerlemektedir.
- 3. Enerjide Bölgesel Ticaret Merkezi:** Türkiye, enerji ticaretinin merkezi olma vizyonunu benimsemekte ve bölgesel ticaretin geliştirilmesi adına çeşitli adımlar atmaktadır.
- 4. Sosyal ve Çevresel Etkileri Dikkate Alma:** Enerji zincirinin her aşamasında sürdürülebilir kalkınma bağlamında sosyal ve çevresel etkileri göz önünde bulundurmak, Türkiye'nin enerji politikalarının temel bir prensibidir.
- 5. Yerli ve Yenilenebilir Enerji:** Türkiye, enerji portföyünde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırarak enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik amacına yönelmektedir.
- 6. Nükleer Enerji:** Türkiye, enerji sepetine nükleer enerjiyi dahil ederek enerji çeşitliliğini artırmayı ve enerji güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir.

Bu temel unsurlar, Türkiye'nin enerji stratejisinin genel çerçevesini oluşturmakta ve ülkenin enerji alanındaki geleceğine yönelik önemli hedefleri belirlemektedir. Bu stratejik hedefler, enerji sektöründeki dönüşümü desteklemekte ve sürdürülebilir bir enerji geleceği için önemli bir rehberlik sağlamaktadır.

Türkiye, enerji sektöründe sürdürülebilirliği ve çevre dostu uygulamaları desteklemek adına büyük bir çaba sarf etmektedir. Bu bağlamda, 2017 yılında kabul edilen Milli Enerji Politikası, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırma hedefini öne çıkarmıştır. Bu strateji sayesinde Türkiye, Avrupa'da beşinci sıraya ve dünya genelinde on ikinci sıraya yükselerek, yenilenebilir enerjide kurulu

güç bakımından önemli bir konuma ulaşmıştır. Dışişleri Bakanlığında alınan verilere göre 2022 itibariyle Türkiye'deki kurulu gücün %54'ü yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır (TCDB, 2022).

Hibrit enerji sistemleri, birden fazla enerji kaynağını kullanarak elektrik üreten sistemlerdir. Bu sistemler, Türkiye'nin iklim özelliklerini ve enerji ihtiyaçlarını dikkate alarak, yılın her ayında yenilenebilir enerji kaynaklarından etkili bir şekilde faydalanmayı mümkün kılar. Örneğin, yaz aylarında güneş ışınlarının yoğun olduğu dönemde rüzgar hızı genellikle düşük olabilir. Kış aylarında ise güneş enerjisi daha az olsa da rüzgar hızı artabilir. Bu durumda, hibrit sistemler sayesinde rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları birbirini tamamlayarak, enerji üretimini dengeli bir şekilde sürdürebilir.

Hibrit uygulamaların avantajlarından biri, farklı mevsimlerde ve hava koşullarında enerji üretimindeki değişkenliklere uyum sağlamalarıdır. Örneğin, rüzgar hızının yetersiz olduğu günlerde güneş enerjisi kullanılarak enerji üretimine devam edilebilir, böylece sistemde kesinti yaşanmaz. Bu esneklik, özellikle yaz-kış enerji gereksiniminin sürekli olduğu ve kesintiye yer verilemeyen sistemlerde, güneş veya rüzgar enerjisi sistemlerini desteklemek açısından son derece değerlidir (YE3DE3, 2023).

Bu yaklaşım, Türkiye'nin enerji stratejisindeki sürdürülebilirlik ve çeşitlilik hedeflerine katkı sağlayarak, gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilikçi ve çevre dostu çözümler geliştirmesine olanak tanımaktadır.

Güneş ve rüzgar enerjisi santrallerinin yüksek yatırım maliyeti nedeniyle, potansiyel bir santralin verimliliği belirlenmeden önce doğru güneş paneli gücü ve rüzgar gücü tahmini modelleri kullanılmalıdır. Bu tahminler, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi verileri içerir. Bu çalışmada, sıcaklık, nem, basınç, hava yoğunluğu, rüzgar hızı, güneşlenme süresi, çevre sıcaklığı ve güneş radyasyonu verileri kullanılarak, Çanakkale ve Balıkesir, Türkiye'deki 17112 ve 17722 numaralı istasyonlardan elde edilen verilere dayanarak güneş paneli ve rüzgar türbininde

üretilen hibrit gücü tahmin edilmiştir. Altı farklı regresyon algoritması (XGBoost, Random Forest, LightGBM, Decision Tree Regressor, AdaBoost ve Gradient Boosting Regressor), tahmin modelleri oluşturmak için kullanılmıştır.  $R^2$  performans metriğine göre değerlendirilen regresyon algoritmaları arasında en iyi performans XGBoost ve Gradient Boosting Regressor algoritmasından elde edilmiştir. Ayrıca, güneş radyasyonu ve rüzgar hızının, model tahminleri üzerinde en önemli etkiye sahip girdi özellikleri olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma sonuçlarının güneş ve rüzgar enerjisi üretimi için stratejik kararlar alınırken karar vericiye yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

### 1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye zararlı etkileri nedeniyle giderek daha fazla alternatif enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynakları alanında çeşitli çalışmaların yürütülmesine neden olmuştur. Türkiye, bu dönüşümde önemli bir aktör olarak, enerji ihtiyacını karşılamak ve çevreye duyarlı bir yaklaşım benimsemek amacıyla çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları üzerine odaklanan çalışmalar yürütmektedir.

Ülkemiz, enerji portföyünü çeşitlendirmek amacıyla kullanımı yaygın olan bir dizi yenilenebilir enerji kaynağına sahiptir. Rüzgar ve güneş enerjisinin de aralarında bulunduğu kendine özgü avantaj ve potansiyele sahip olan bu kaynaklar, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını azaltmasına ve çevresel sürdürülebilirliği güvence altına almaya katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin bu denli çeşitli enerji kaynaklarına sahip olması, ülkeyi jeotermal enerji potansiyeli açısından dünya genelinde önemli bir konuma taşımıştır. Coğrafi konumunun etkisiyle güneş enerjisi potansiyeli de fazladır. Ayrıca Türkiye'nin yer şekillerinin engebeli olmasına bağlı olarak önemli derecede hidrolik enerji ve rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmektedir (TCETKB, 2022).

Kaya'nın(2015), belirttiği gibi, Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli dünya genelinde % 8'e ulaşırken, güneş enerjisi, hidrolik enerji, ve rüzgar enerjisi gibi alanlarda da ülkenin önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu zengin ve çeşitli enerji kaynakları, Türkiye'nin gelecekte enerji ihtiyacını karşılamak ve sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa etmek adına önemli bir avantaj sağlamaktadır.

### 1.1.1.Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi, yeryüzü şekillerindeki farklılık ve yeryüzünün farklı oranda ısınmasına bağlı olarak sürekli değişen bir özelliğe sahiptir. Bu değişkenliği rüzgarın hızı ve yönü olmak üzere iki parametre ile ifade edebiliriz. Rüzgar enerjisi uygulamaları ilk yatırım maliyetinin yüksekliği dezavantajına sahip olmasına rağmen birtakım üstünlüklere sahip olması yönüyle de yatırımcının dikkatini çekmeyi başarmıştır. Bu üstünlükler:

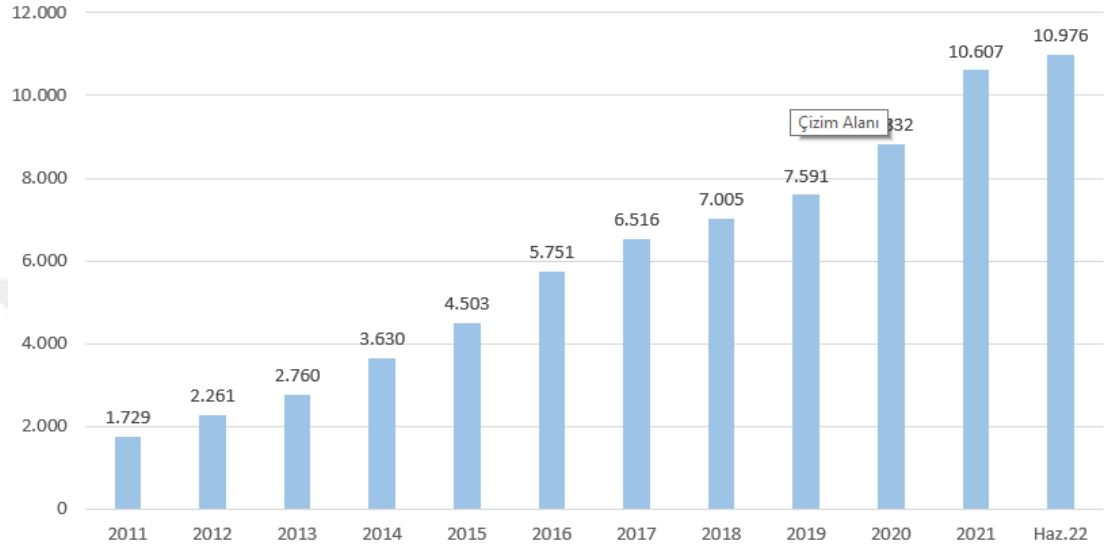
- ◆ Yenilenebilir ve çevre dostu olması.
- ◆ Tükenme ve fiyatında zamanla artma riskinin bulunmaması.
- ◆ Güç santralleriyle rekabet edebilecek etkin bir maliyete sahip olması.
- ◆ Düşük bakım ve işletme maliyetine sahip olması.
- ◆ Basit teknoloji ve hızlı kurulum.

Havadaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye sonra elektrik enerjisine dönüştüren rüzgar türbinleri çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlar.

Türkiye' de rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi ve kullanılabilir alanların değerlendirilmesi amacıyla 2006 yılında hazırlanan Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlasında, yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve yıllık ortalama rüzgar hızının 7,5 m/s üzerinde olduğu kabul edilen alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği potansiyel alanlar belirlenmiştir. Haziran 2022 itibarıyla, Türkiye'nin rüzgar enerjisine dayalı elektrik gücünün 10.976 MW olduğu saptanmıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığında alınan rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç ve toplam kurulu güç içerisinde rüzgar enerjisine dayalı gücün oransal değişimine ait grafikler sırasıyla Şekil 1.1.ve Şekil 1.2. 'de verilmiştir (TCETKB, 2022).

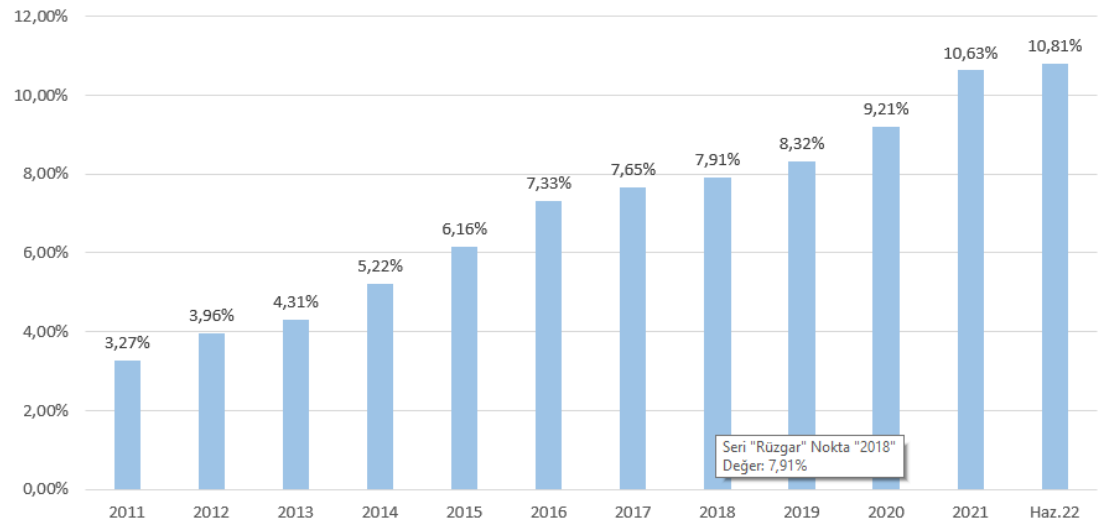
Şekillerdeki verilerden hareketle ülkemizde enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının arttığını söyleyebiliriz.

### RÜZGAR ENERJİSİNE DAYALI KURULU GÜÇ (MW)



Şekil.1.1. Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç(TCETKB, 2022)

### TOPLAM KURULU GÜÇ İÇERİSİNDEKİ ORANI



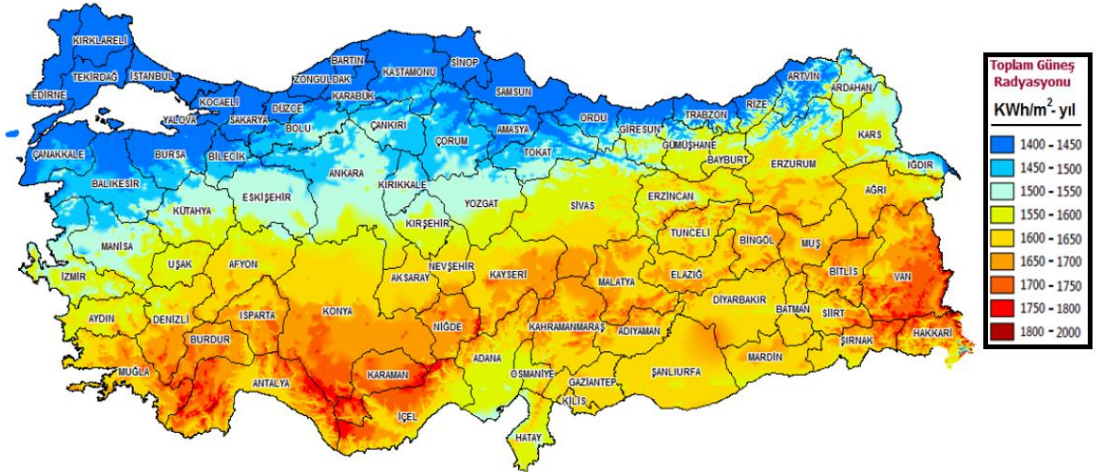
Şekil.1.2. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı(TCETKB, 2022)

### 1.1.2. Güneş enerjisi

Temiz ve tükenmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağı olan Güneş, çekirdeğinde meydana gelen nükleer füzyon süreci sonucunda ışıma enerjisi açığa çıkarır. Güneş'ten yayılan enerjinin ancak çok küçük bir kısmı Dünya'ya ulaşmaktadır. X ışınları ve ultraviyole ışınlarının zararlı etkileri bulunmaktadır. Güneş'in temiz bir enerji kaynağı olması ve kurulum sonrasındaki düşük maliyeti Güneş'i cazip bir yatırım haline getirmektedir.

Güneş'ten elektrik üretiminin pek çok yolu bulunmasına rağmen güneş ışığının doğrudan elektriğe dönüştürüldüğü fotovoltaik sistemler büyük ilgi görmektedir.

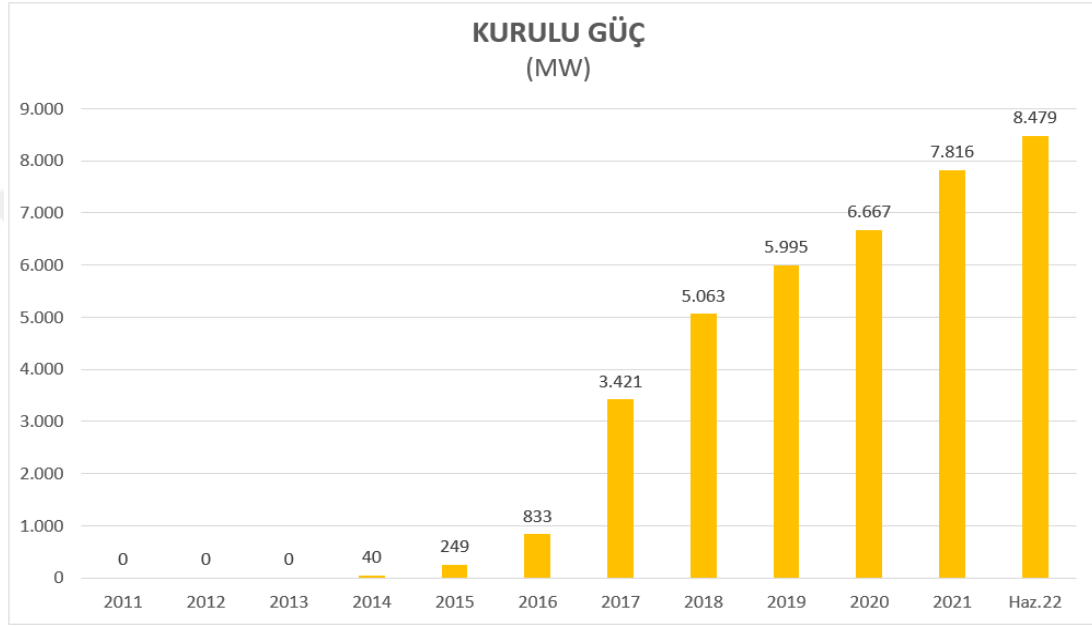
Türkiye, coğrafi konumundan kaynaklanan önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, ülkenin ortalama güneşlenme süresi 2.741 saat olarak hesaplanmıştır, aynı atlas tarafından belirlenen ortalama yıllık toplam ışıınım değeri ise 1.527,46 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan verilere göre, "Toplam Güneş Radyasyonunun illere göre dağılımı" Şekil 1.3'te gösterilmiştir (TCETKB, 2022).



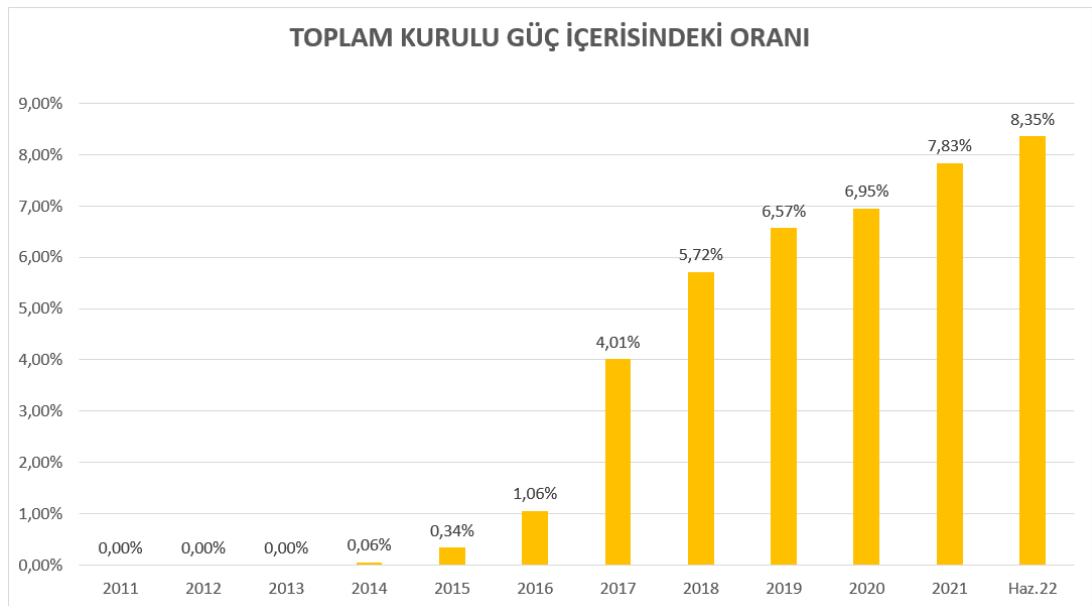
Şekil.1.3. Toplam Güneş Radyasyonu (TCETKB, 2022)

Türkiye'nin güney kesiminde Toplam Güneş Radyasyonu potansiyelinin kuzeyine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Haziran 2022 itibariyle toplam kurulu gücün % 8,35'ini oluşturan Güneş'e ait elektrik kurulu gücünün 8.479 MW olduğu tespit edilmiştir. Güneş'e ait Kurulu Güç ve Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı sırayla Şekil 1.4. ve Şekil 1.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4.Kurulu Güç(TCETKB, 2023)



Şekil 1.5.Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı(TCETKB, 2023)

Fosil yakıtların çevreye verdiği zarardan kaçınmak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmıştır. Bu kapsamda Güneş 'in temiz bir kaynak olması kurulum sonrasında düşük maliyetle çalışması önemini tercih edilebilirliğini artırmıştır.

### 1.1.3.Hidrolik enerji

Kullanımı yaygın enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli şüphesiz nehirler üzerine barajlar inşa ederek suyu rezervuarlarda biriktirmek ve biriken suyun potansiyel enerjisinden elektrik enerjisi üretmektir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433000 GWh/yıl iken ekonomik potansiyeli ise 165064 GWh/yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye Norveç'ten sonra Avrupa'nın en yüksek hidroelektrik enerjisi potansiyeline sahip ülkesidir (TCETKB, 2023). Çizelge 1.1.'de Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu verilmiştir.

Çizelge 1.1. Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu(TCETKB, 2023)

Ülkeler	Teorik Kapasite (TWh/yıl)	2013 Yılı Sonundaki Kurulu Gücü(GW)	2013 Yılı Elektrik Enerjisi Üretimi(TWh)	Teorik Kapasite Kullanım Oranı	Dünya Hidrolik Enerji Üretimindeki Payı(% )
Çin	5920	260	91.6	15.40	24.1
Kanada	758	76	391.6	51.66	10.4
Brezilya	3040	86	385.4	12.68	10.2
ABD	2040	78	271.9	13.33	7.2
Rusya	2295	47	181.2	7.9	4.8
Hindistan	2638	44	131.9	5.0	3.5
<b>Türkiye</b>	<b>432</b>	<b>22</b>	<b>59.3</b>	<b>13.73</b>	<b>1.6</b>
<b>Toplam</b>	<b>40150</b>	<b>1000</b>	<b>3782.00</b>	<b>9.42</b>	

### 1.1.4.Jeotermal enerji

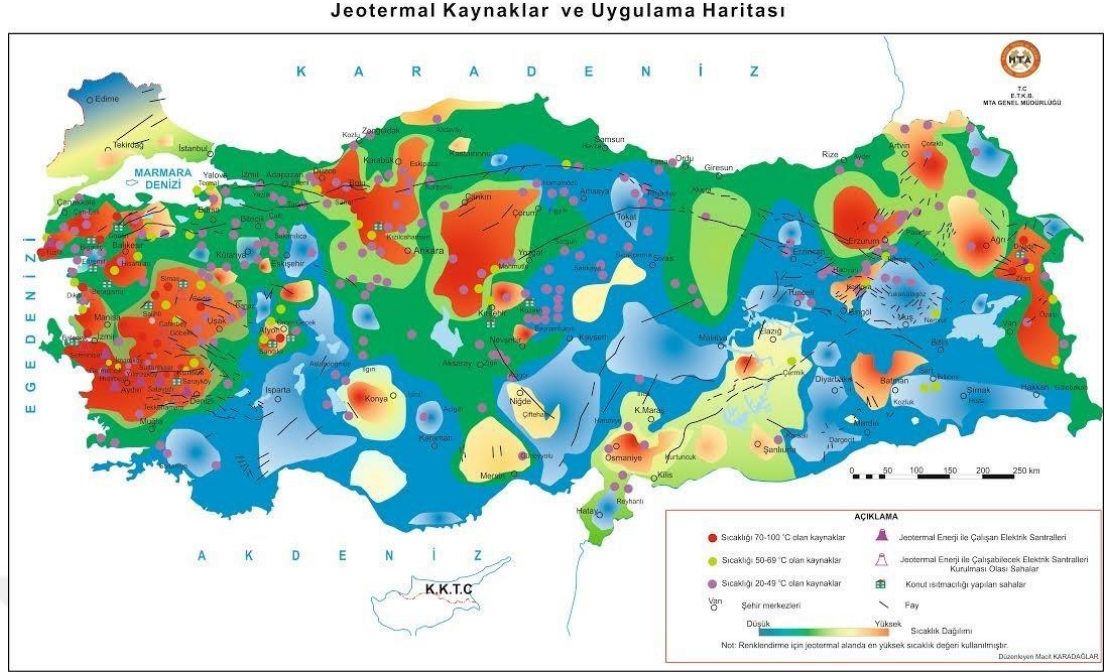
Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji, dünyanın alt yüzeyinden elde edilen ısıdır. Su ve/veya buhar, jeotermal enerjiyi dünya yüzeyine taşır. Isıtma, soğutma ve elektrik üretmek gibi çeşitli kullanım alanları vardır. Elektrik

üretimi için tektonik olarak aktif bölgelerde yüksek veya orta sıcaklık kaynaklarına gereksinim duyulur (TCETKB, 2022).

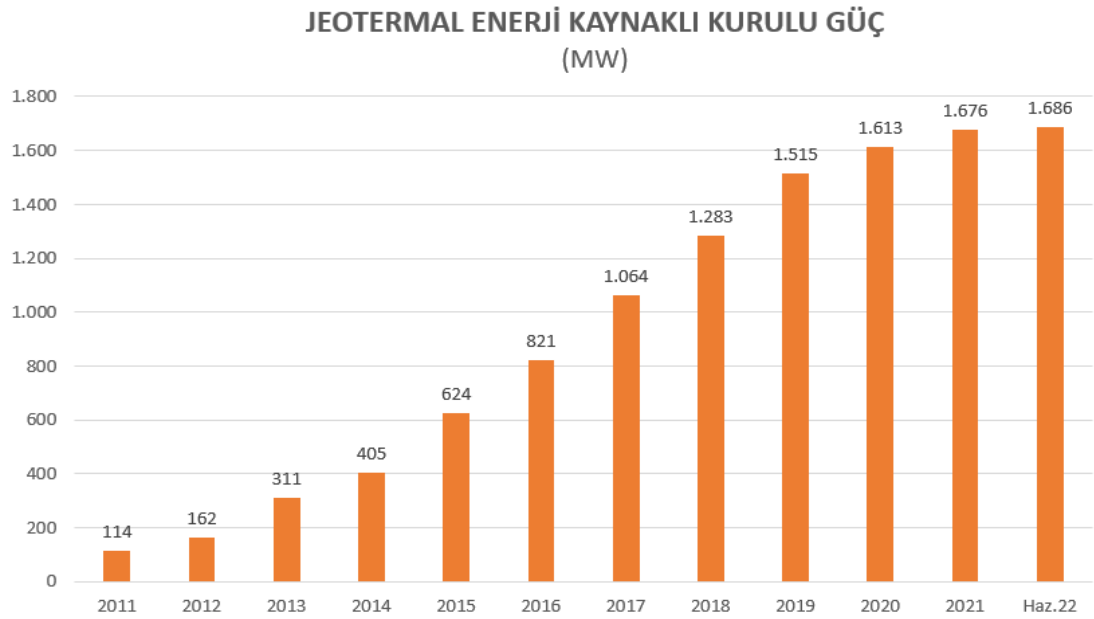
İzlanda, El Salvador, Yeni Zelanda, İtalya, Kenya ve Filipinler gibi ülkelerde elektrik üretiminin önemli bir kısmı jeotermal enerji ile karşılanır. Jeotermal enerjiden elektrik elde eden ilk beş ülke :ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Dünya'nın ilk jeotermal santrali İtalya'nın Toskana bölgesindedir (TCETKB, 2022).

Jeotermal enerji temiz, ucuz ve çevre dostu bir kaynak olup diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine yılın 365 günü faydalanılabilir özelliğe sahiptir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli yüksektir. Bu potansiyel alanın % 78'i Batı Anadolu'da,%9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara bölgesinde,%5'i doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer alır. Şekil 1.6.'da Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası verilmiştir. Jeotermal kaynakların % 10'u elektrik enerjisi üretimi için uygundur. Jeotermal enerji uygulamalarında ilk elektrik üretimi 1975 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından kurulan ve 0,5 MW güce sahip Kızıldere Santrali ile başlamıştır (MTA Genel Müdürlüğü, 2022).

Haziran 2022 itibariyle Türkiye'nin jeotermal enerji kurulu gücü 1686 MW ve toplam kurulu gücün % 1,66 ' sını oluşturmaktadır. Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç'ün yıllara göre değişimi Şekil 1.7.'de ve Jeotermal Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı Şekil 1.8.'de verilmiştir.

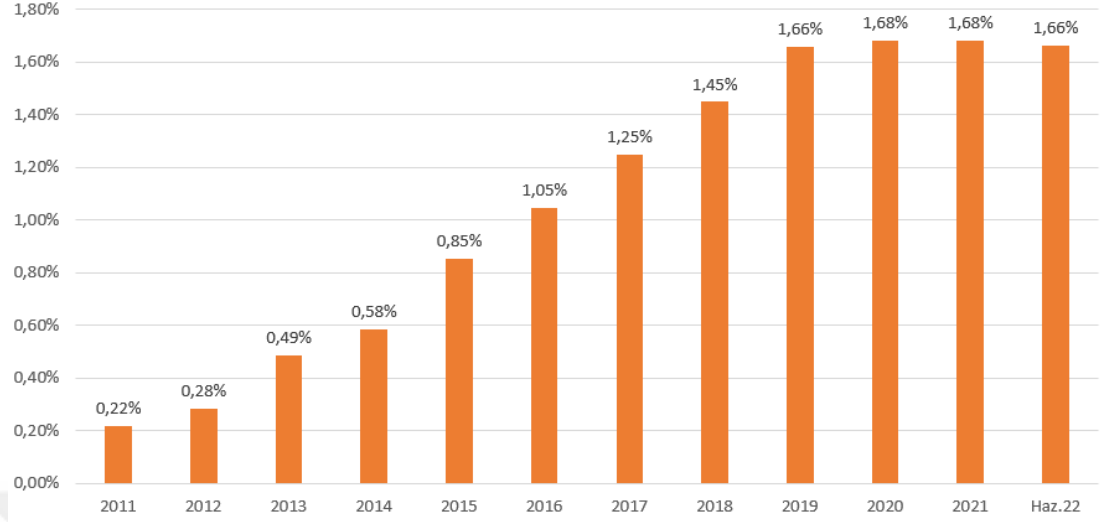


Şekil 1.6. Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası (MTA Genel Müdürlüğü, 2022)



Şekil 1.7. Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç (TCETKB, 2022)

## TOPLAM KURULU GÜÇ İÇERİSİNDEKİ ORANI



Şekil 1.8. Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı(TCETKB, 2022)

**1.1.5. Biyokütle enerjisi**

Tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, her yerden elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere katkısı sebebiyle önemi büyük olan biyokütle enerjisinin geleneksel ve modern olmak üzere iki kullanımı mevcuttur. Hayvan atığı, kömür gibi biçimlerinin yanmasını temsil eden geleneksel kullanımına karşın modern kullanımında bagasse ve diğer bitkilerden üretilen sıvı biyo-yakıtları; biyo-rafinerileri, kalıntıların anaerobik sindirimi yoluyla üretilen biyogaz, odun palet ısıtma sistemleri diğer teknolojileri kapsar (TCETKB, 2022).

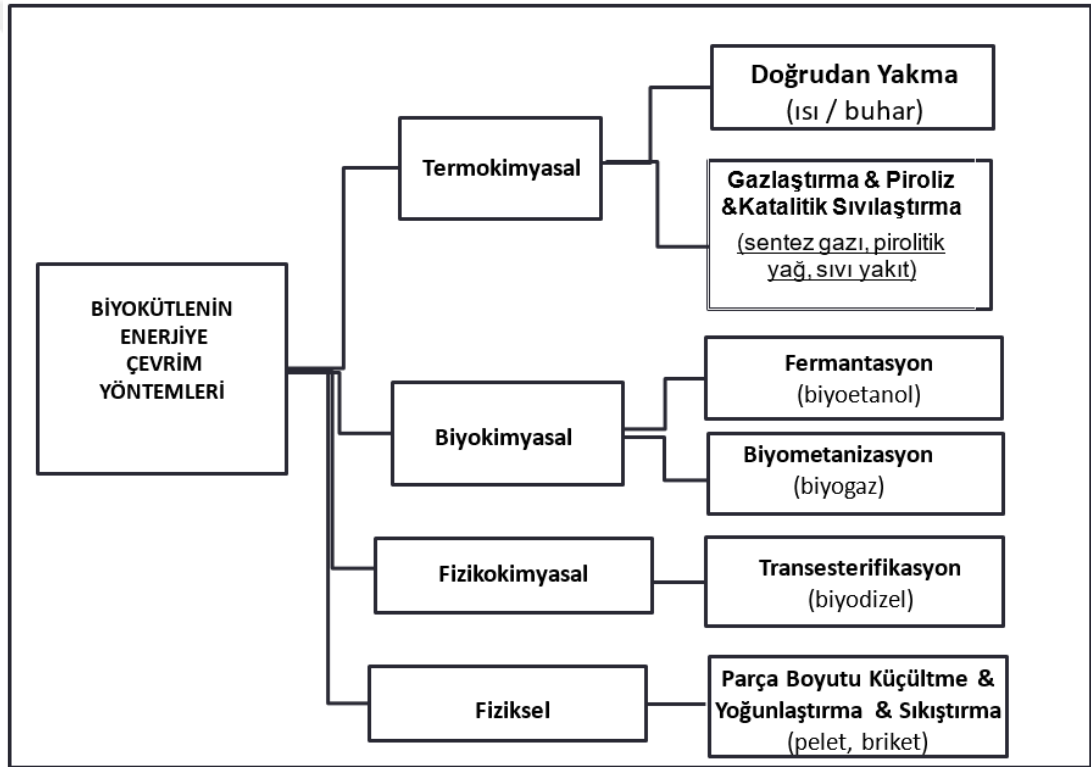
Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaklaşık dörtte üçünü biyoenerji oluşturur. Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Derneği'nden alınan veriye göre biyoenerji 2015 yılında toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 10'unu ve küresel enerji üretiminin %1,4'ünü oluşturmaktadır (YANEDER, 2023).

Biyokütleden enerji elde edilebilmesi için kırsalda iş sahalarının genişletilmesi ve köyden kente göçün kontrol altına alınması gerekir. Hemen her yerden elde edilebilmesi, depolanabilmesi, sera etkisi ve asit yağmuruna sebebiyet vermemesi

biyokütle enerjisinin tercih edilmesinin başlıca sebepleri olarak sıralanabilir (TCETKB, 2022).

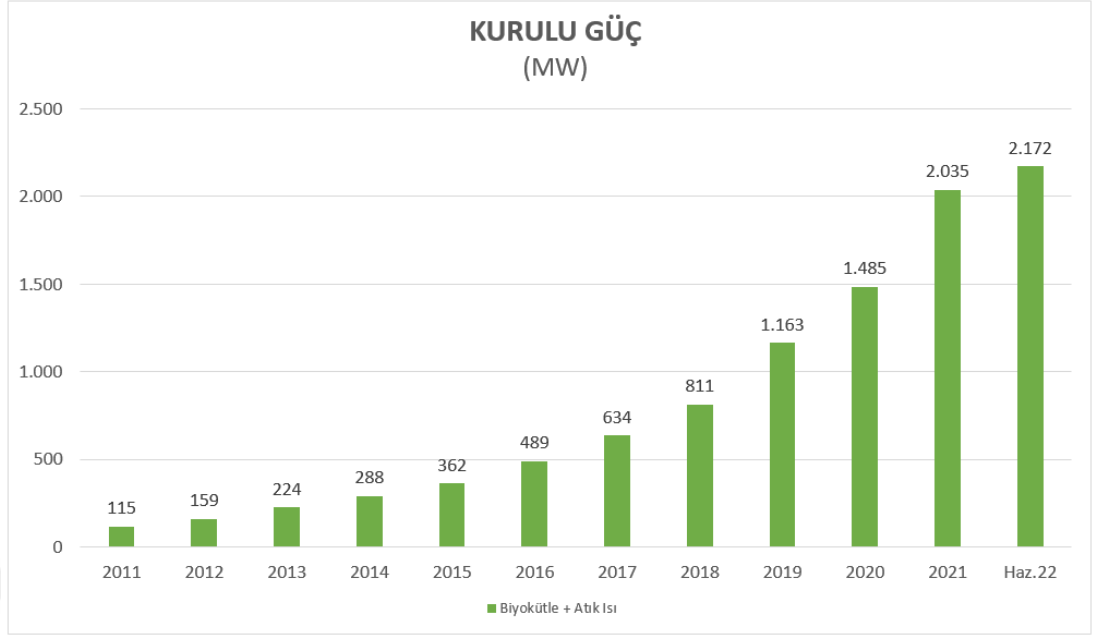
Yıllık 117 milyar ton biyokütle potansiyele sahip Türkiye’de bu kapsamda en büyük pay sırayla yıllık bitki(14,5 Mtep),orman atıkları(5,4 Mtep) ve çok yıllık bitkilere aittir. Orman, tarım, organik şehir atıkları ve hayvansal atıklar Türkiye’nin biyokütle kaynaklarını oluşturur (TCETKB, 2022).

Biyokütle kaynaklarından Şekil 1.9.’da verilen çevrim yöntemleri kullanılarak farklı yakıt türlerinin eldesi mümkün olabilmektedir.

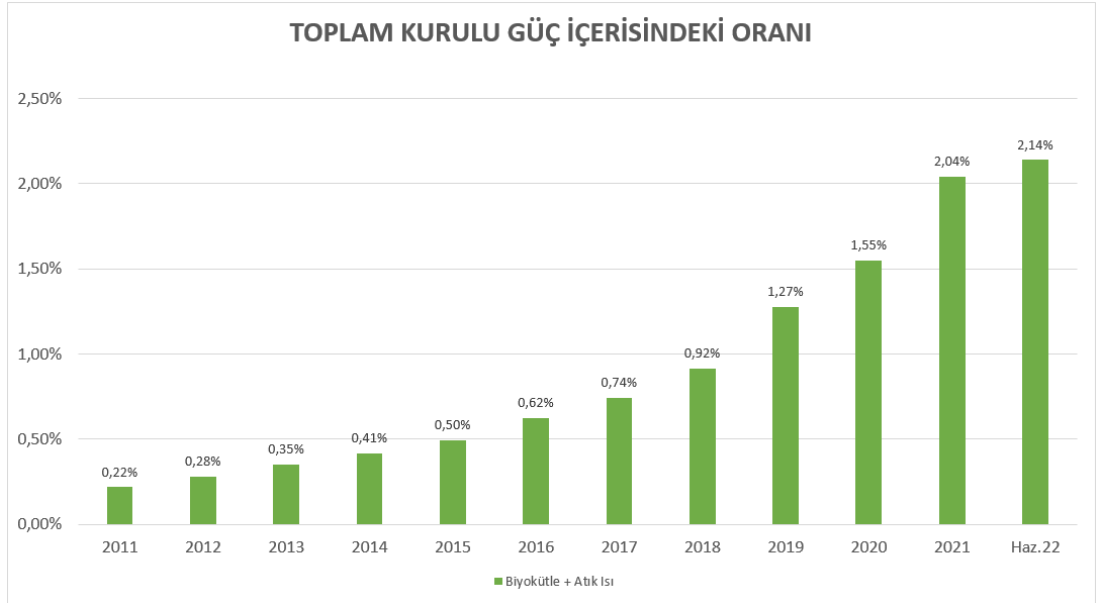


Şekil 1.9. Biyokütlenin Enerjiye Çevrim Yöntemleri (TCETKB, 2022)

Biyokütle enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 itibarıyla 2.172 MW ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2.14 olup kurulu gücün yıllara göre değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Şekil 1.10. ve Şekil 1.11.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.10.Kurulu Güç(TCETKB, 2022)



Şekil 1.11.Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı(TCETKB, 2022)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının pek çok avantajına rağmen enerji gereksiniminin önemli kısmı yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (YE3DE3, 2023). Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyelinden maksimum fayda sağlayabilmek için mevcut projelere ivme kazandırmanın ve enerji iletim alt yapısının güçlendirilmesinin gerektiğini vurgulamıştır.

Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılması, enerji alt yapısının güçlendirilmesi;enerji güvenliğimizi artırarak ulusal ekonomiye katkı sağlayacaktır.



## 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar kampüsünde Karadöl ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada rüzgar ve güneş enerjili hibrit bir sistem tasarlanmıştır. Sistemden anlık olarak alınan veriler kaydedilmiş ve değerlendirilmiştir. Güneş ve rüzgarın bir arada kullanılmasının, bir kampüs ya da evin enerji gereksinimini karşılamak için etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Yüzer, Erduman ve Durusu, 2018 tarafından mikroişlemci tabanlı bir hibrit şarj regülatörü tasarlanmıştır. Yüksek gerilimdeki farklı karakteristiklere sahip aküler için uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu regülatör, yazılım güncellemeleri ile farklı gerilim seçeneklerine ve giriş gerilimlerine adapte edilebilir.

Yıldız ve Bingöl, 2019 tarafından rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen enerjiyi maksimize etmek amacıyla bir model tasarlanmıştır. Bu model, son kullanıcının basit aylık bilgilerini kullanarak yıllık enerji üretimini tahmin etmeye olanak tanımaktadır. Ayrıca, modelin HOMER ile karşılaştırıldığı bir değerlendirme yapılmış ve mikro sistemlerin ekonomik modelini tehlikeye atmayacak düzeyde güvenilir tahminlerin yapılabileceği belirtilmiştir.

Nacar ve Erdebili (2021), uzun ve/veya kısa vadeli satış tahminlerinin hatalı olması nedeniyle yaşanan müşteri memnuniyetsizliğini, mali kayıplarını ortadan kaldırmak için doğrusal regresyon, Ridge, Lasso, K-en yakın komşu ve rastgele orman algoritmalarını kullanarak tahmin modeli geliştirmiştir. Çalışmanın neticesinde en düşük hatayı veren rastgele orman algoritmasının en etkili tahmin modeli olduğu görülmüştür.

Balouch ve ark. (2021), tarafından bir çağrı merkezine gelen çağrı sayısını tahmin etmek için 12,24,36 ve 48 saatlik tahminler geliştirilmiştir. Çok Katmanlı Algılayıcı(MLP) ve Uzun Kısa Vadeli Bellek(LSTM) tabanlı modeller Ortalama

Mutlak Hata(MAE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak MLP tabanlı modellerin daha düşük MAE değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Yürek ve Birant (2021), hava durumu raporlarından elde edilen verilerden hareketle 24 saatlik rüzgar enerjisi üretim miktarı tahminine yönelik model önerilmiştir. Denetimli ve denetimsiz öğrenme algoritmaları bir arada kullanılmıştır.

Emeç ve Tekin (2022), tarafından Konya ili için konut talebi tahmininde Yapay Sinir Ağı, Lineer Regresyon, Destek Vektör Makinesi, Gauss Proses Regresyonu ve Regresyon Ağacı modelleri kullanılarak bu modellerin performansı karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, YSA' nın Konya'nın konut talebi tahmininde en iyi performansı sergilediği görülmüştür.

Alp (2022), tarafından İzmir, Aydın, Balıkesir, Çanakkale ve Manisa illerine ait gün bazında 10 yıllık veriler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, rüzgar türbinli ve güneş panelli sokak aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Teknolojinin gelişimi ve rüzgar-güneş enerjisinin sürdürülebilirliğinin desteklenmesi amaçlanmıştır.

Yağmur (2022), tarafından, 2018 yılı boyunca SCADA sisteminden elde edilen veri seti ile aynı konuma ait NASA'dan alınan veri seti kullanılarak rüzgar gücü tahmini gerçekleştirilmiştir. Modelde hesaplamayı zorlaştıran gereksiz olduğu düşünülen veriler sarmal seçim yoluyla modelden çıkarılmıştır. Genetik Algoritmanın kullanıldığı modelde değişken sayısı 47'den 9'a indirilerek  $R^2$  değeri 0,98 olan güçlü bir tahmin modeli elde edilmiştir.

Atik ve Sekin (2022), tarafından yapılan çalışmalar güneş ve rüzgar enerjisinin bir arada kullanıldığı hibrit sistemlerin, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlere oranla daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Dursun ve Saltuk (2022), Balıkesir ili için PVSol programı kullanılarak tasarlanan hibrit sistemi üzerinden etkin kaynak kullanımı ve enerji akışının

kesintisiz yönetimi planlanmıştır. Kılınç(2022)tarafından, İzmir bölgesi için güneş ve rüzgar enerjisinin bir arada kullanıldığı hibrit çalışan bir sera tasarlanmıştır. Çalışma, güneş enerjili sulama sisteminin enerji harcaması ve geri ödeme süresi gibi faktörleri ele almış, bu tür sistemlerin tarımsal üretim maliyetine etkisi değerlendirilmiştir.

Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde Yallı Kılıç ve diğerleri(2022) tarafından yapılan çalışmada tekstil fabrikasının enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla fotovoltaiik sistem tasarlanmıştır. Bu çalışma, fabrikalarda fotovoltaiik enerji kullanımını ekonomik ve teknik açıdan ele almıştır.

Akbudak ve Doğan (2022), tarafından yapılan çalışmada hibrit düzey rüzgar türbinlerinin analizi yapılmış ve simülasyon ortamında test edilmiştir.

Zilyas ve Yılmaz (2023), tarafından yapılan anket verilerinden hareketle eğitim alanında başarıyı tahmin etmek ve başarıyı etkileyebilecek faktörleri tespit ederek olumsuz etkileri önlemek amaçlanmıştır. Çeşitli algoritmaların kullanıldığı çalışmada Rastgele Orman algoritmasının en başarılı sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Güney ve Selvi (2023), tarafından Kayseri ilinde 2006-2022(ilk 6 ay) sayaç, abone ve tüketim verileri incelenilerek veri seti oluşturulmuştur.7 farklı anomali analiz yönteminin kullanımının ardından tüm tüketim 4 farklı sınıfa ayrılmış, veriler gözetimli hale getirilmiş, 7 farklı sınıflandırma algoritmasının da kullanımıyla tüketim sınıfı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında suyun israfını önlemeye ve verimli kullanımına yönelik politikalar ortaya konmuştur.

Yağlı ve Yıldız (2020), tarafından yapılan çalışmada, güneş panellerinin optimum açısını belirlemek için Perez transpozisyon modelini kullanarak, elde edilen transpozisyon faktörleri üzerinden yapılan analiz sonucunda 31° açının optimum olduğunu ortaya koymakta ve PVSyst programıyla yapılan karşılaştırmalar sonucunda 30° panel eğim açısının benzer enerji üretimi sağladığı tespit edilmiştir.

Bilhan ve Emikönel (2021), tarafından yapılan çalışmada, Nevşehir ili için güneş enerji potansiyelini inceleyerek, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışınım şiddetleri hakkında bilgi sunmayı amaçlamaktadır.

Çetin ve ark. (2019), rüzgar enerjisinin daha etkili bir şekilde kullanılabilmesi için düşey eksenli türbinlerin geniş bir kullanım alanına yayılması gerekmekte olup, özellikle Savonius ve Darrieus tipi türbinlerin bir arada kullanıldığı Savonius-Darrieus kombinasyonunun performans açısından tek başına kullanılanlardan daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, özellikle şehir içi uygulamalarda kullanılabilen düşey eksenli türbinler üzerine daha fazla araştırma yapılması ve yeni tasarım çalışmalarının gerçekleştirilmesi önemlidir.

Çelebi ve Fidan (2024), tarafından yapılan çalışmada, rüzgar enerjisi sektörünün etkin ve sürdürülebilir bir şekilde işlemesi için önemli olan uzun vadeli rüzgar enerjisi tahminleri yapmak amacıyla, gerçek dünya koşullarında çalışan bir rüzgar türbini sisteminden elde edilen iklim verilerini kullanarak, tekrarlayan sinir ağı (RNN) tabanlı derin öğrenme yaklaşımını önermektedir. Çalışmanın öne çıkan modeli, karmaşık veri setlerini ve zamanla değişen serileri etkili bir şekilde işlemek üzere tasarlanmış olan dört ayrı katmandan oluşan bir RNN mimarisine dayanmaktadır. Önerilen model, test veri setinde %91 R2 tahmin doğruluğu elde etmiştir, bu da çok katmanlı RNN tabanlı yöntemin rüzgar türbini verilerinin zaman içindeki ilişkilerini başarıyla yakalayabildiğini göstermektedir.

Soylu (2019), tarafından yapılan çalışmada, enerji talebinin artışıyla birlikte Türkiye genelinde ve özellikle Konya ilindeki yenilenebilir enerji potansiyelini inceleyerek, bu kaynakların ülke ekonomisine katkısını değerlendirmeyi ve yerel doğal kaynaklarla enerji ihtiyacını karşılayabilme olasılığını araştırmayı amaçlamaktadır. Sonuçlar, fosil enerji sınırlamaları, çevresel etkiler ve enerji güvenliği açısından yeni teknolojilere ve yenilenebilir enerji tesislerine olan gerekliliği vurgulamaktadır.

Güler (2019), tarafından yapılan çalışmada, geleneksel enerji kaynaklarındaki azalma ve çevresel zararlar nedeniyle artan bir ilgiyle, dikey eksenli rüzgar türbinleri kullanarak sokak lambalarının enerji ihtiyacını karşılamayı amaçlamaktadır. Yapılan simülasyonlar, dikey eksenli rüzgar türbini ile çalışan sokak lambasının düşük maliyetli ve verimli bir enerji çözümü olabileceğini göstermektedir, bu da ülke ekonomisine olumlu bir katkı sağlayabilir ve yenilenebilir enerji araştırmalarına yeni olanaklar sunabilir.

Brova-Rodriguez ve ark. (2020), tarafından yapılan çalışmada, güç kalitesi problemlerinin ekonomik etkisi göz önüne alınarak, güç kalitesi bozukluklarının tanınması ve sınıflandırılması için Stockwell dönüşümü (ST) tabanlı bir hibrit makine öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Güç kalitesi bozukluklarının ST' si, farklı makine öğrenme yöntemleri (K-en yakın komşular algoritması, karar ağacı ve destek vektör makinesi) için giriş vektörlerini oluşturan önemli dalga formu özelliklerini çıkarmak için kullanılmıştır. Önerilen metodoloji, genetik algoritma ve rekabetçi sürü optimizasyon algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen ST-tabanlı CSO-SVM yöntemi, sınıflandırma doğruluğu ve gürültü direnci açısından iyi sonuçlar sağlamaktadır.

Musbah ve ark. (2021), tarafından yapılan çalışmada, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren hibrit enerji sistemlerinin (HES), karbon salınımını en aza indirmeye yardımcı olduğu ve çevresel kriz nedeniyle bu sistemlerin performansını artırmak için yapılan araştırmaların kritik bir ihtiyaç haline geldiği bir dönemde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, farklı makine öğrenme algoritmaları kullanarak enerji yönetimi stratejilerini karşılaştırarak HES'in talep tarafını hangi enerji kaynağının karşılaması gerektiğini belirlemeyi ve bu algoritmaları performans ve doğruluk açısından değerlendirerek en iyi performansı gösteren algoritmayı seçmeyi amaçlamaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Karar Ağacı (DT) algoritmasının en iyi performansı gösterdiği, diğer algoritmaların ise güvenilir olduğu görülmüştür.

Abualigah ve ark. (2021), tarafından yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları için kesin bir tahmin modeli oluşturmak amacıyla öğrenmeye dayalı modelleme yöntemlerinin kullanıldığına odaklanmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi tedariklerinde kullanılan çeşitli Derin Öğrenme (DL) ve Makine Öğrenimi (ML) algoritmalarının performansı, bu alandaki en güncel ve önemli araştırmalara dayalı olarak yeni bir taksonomi ile değerlendirilmektedir. Çalışma, öğrenme tekniklerinin geniş veri setlerinde etkinliğinin diğer hesaplama yöntemlerine göre belirgin şekilde daha iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, gelecekte enerji üretim problemleri ile başa çıkmak için hibrit öğrenme tekniklerini kullanmanın önerildiği, çünkü hibrit yöntemlerin doğru tahminler sağlamak için iki veya daha fazla tekniğin avantajını kullandığı belirtilmektedir.

Zazoum (2022), tarafından yapılan çalışmada, güneş fotovoltaik (PV) enerjisi ile çeşitli giriş parametreleri arasındaki ilişkiyi inceleyerek destek vektör makinesi (SVM) ve Gauss süreç regresyonu (GPR) gibi makine öğrenimi (ML) modellerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Matern 5/2 GPR algoritması en iyi performansı sağlarken, kübik SVM en düşük performansı göstermiştir. Modellerin tahminleri deneysel değerlerle uyumludur ve SVM ile GPR modelleri, güneş PV enerjisi tahmininde etkili ve doğru sonuçlar vermektedir.

Alkhatat ve Mehmood (2021), tarafından yapılan çalışmada, son beş yılda derin öğrenme temelli güneş ve rüzgar enerjisi tahmin araştırmalarını inceleyerek, kullanılan modellerin ve yöntemlerin genel özelliklerini özetlemektedir. Araştırma, hibrit tahmin modellerinin en yaygın kullanılanlar olduğunu, özellikle Tekrarlayan Sinir Ağı modellerinin ve olasılıksal tahmin yöntemlerinin artan ilgi gördüğünü ortaya koymaktadır.

Khan ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada, rüzgar enerjisi tesislerinde kullanılan rüzgar türbinlerinin SCADA verileri üzerinden genetik algoritma tabanlı bir ensemble öğrenme modeli ile anormallik tespiti yapmayı amaçlamaktadır. XGBoost, random forest ve extra tree modelinden oluşan ensemble yöntemi, genetik algoritma ile seçilen optimal özelliklerle kullanılarak rüzgar türbinlerindeki hataları erken tespit

etmeyi hedeflemektedir. Önerilen modelin MAPE değeri %0.83 olarak bulunmuştur ve diğer makine öğrenimi algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır.

Shao ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada, sadece normal örnekler kullanarak rüzgar türbinlerinde anormallik tespiti için bir yöntem önermektedir. Yeni geliştirilen genelleştirilmiş çok ölçekli Poincare çizimleri (GMPOP) aracı, titreşim sinyallerinin davranış değişikliklerini başarılı bir şekilde yakalamakta ve bu bilgiler, destek vektör veri açıklaması (SVDD) ile anormallik tespiti için kullanılmaktadır. GMPOP-SVDD modeli, diğer temel yöntemlere kıyasla daha iyi performans göstermektedir.

Sambana ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada Çalışma, rüzgar türbinlerinde rulman yağı eksikliğinin tespiti için makine öğrenimi tekniklerini kullanarak durum izleme yapmaktadır. Elde edilen sonuçlar, anomali tespiti yönteminin doğruluk ve duyarlılık açısından SVM' lere göre daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

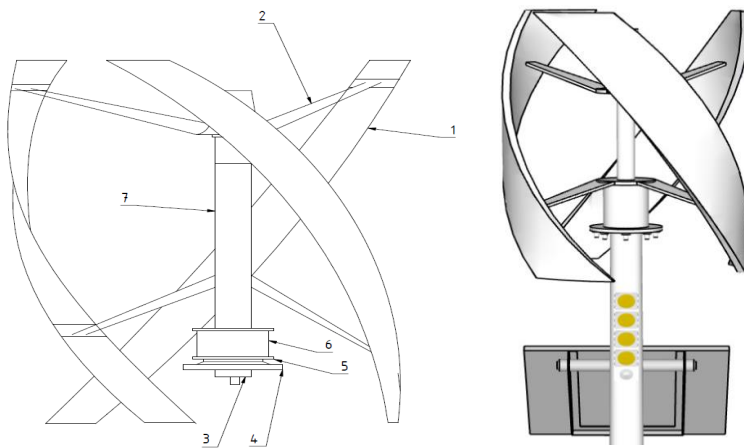
Çakıroğlu ve ark. (2024), tarafından yapılan çalışmada Çalışma, Çanakkale, Türkiye'deki bir rüzgar istasyonunda 2011-2020 verilerini kullanarak sıcaklık, nem, basınç, hava yoğunluğu ve rüzgar hızı verileri temelinde altı farklı regresyon algoritmasıyla rüzgar türbininde üretilen enerjiyi tahmin etmektedir. XGBoost algoritması en iyi performansı gösterirken, LightGBM modeli en hızlı hesaplama sağlamıştır. SHAP metodolojisi, model tahminlerine en büyük etkiyi rüzgar hızının sağladığını göstermiştir.

### 3.MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1.Rüzgar Türbini ve Panel Tasarımı

Günümüzde enerji ihtiyacının sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde karşılanması amacıyla, farklı türbin tasarımları ile önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı haline gelmiştir. Rüzgar türbinleri genellikle dönme eksenlerine göre yatay, dikey ve eğik eksenli olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır.

Rüzgar yönüne dik konumda olan kanatlarıyla dönme eksenini rüzgar yönüne paralel olarak tasarlanan yatay rüzgar türbinleri, rotor kanat sayısına bağlı performans göstermektedir. Geleneksel spiral kanatlı rüzgar türbinleri, hedeflenen performansı gerçekleştirilmede zorlanmaktadır. Bu sebeple, üç kanatlı helezonik yapıya manyetik alan destekli rüzgar türbinleri tasarımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu yeni tasarımın rüzgar esme yönüne bağlı olmaksızın çalışma yeteneği ve enerji üretimi için sürtünme oluşturmayan manyetik alan desteği bulunmaktadır. Hafif, dayanıklı, sessiz ve uzun ömürlü olma gibi özelliklere sahiptir. Düşük bakım maliyetine sahip olması tasarımın ekonomikliğini ortaya koymaktadır. Şekil 3.1.'de Helezonik yapıya rüzgar türbini ve panel tasarımı verilmiştir.



Şekil 3.1. Helezonik yapıya rüzgar türbini ve panel tasarımı(Sarıışık ve ark., 2019)

Teknolojinin hızla gelişimi ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talebin artması, bu projede rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlayan bir çevre aydınlatma sistemi tasarlanmasına ilham vermiştir.

Geliştirilen rüzgâr türbinli ve güneş panelli çevre aydınlatma sistemi, çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır:

- 1. Rüzgar Türbini (Direk, 3 Adet Kanat, Gövde):** Sistemin temelini oluşturan rüzgar türbini, yüksekliği belirlenmiş bir direk üzerine monte edilmiş, üç adet kanat ve özel bir gövde tasarımına sahiptir. Rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek sistemde kullanılan diğer bileşenlere güç sağlar.
- 2. Taşıyıcı Gövde:** Rüzgar türbini, taşıyıcı gövde üzerine entegre edilmiştir. Bu gövde, sistemdeki diğer elemanları destekler ve güvenli bir şekilde monte edilmiş türbini taşır.
- 3. Jeneratör:** Rüzgar türbini tarafından üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren jeneratör, sistemin enerji üretimini sağlar.
- 4. Güneş Paneli:** Sistemin diğer enerji kaynağını oluşturan güneş paneli, güneş ışığından gelen enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bu panel, çevresel aydınlatma sistemine ek bir enerji kaynağı sağlar.
- 5. LED Lamba:** Aydınlatma sistemini oluşturan LED lambalar, düşük enerji tüketimi ile enerji verimliliğini artırır. Bu lambalar, sistem tarafından üretilen elektrik enerjisiyle beslenir.
- 6. Batarya:** Elektrik enerjisinin depolanması için kullanılan batarya, rüzgar ve güneş enerjisinin üretildiği zamanlarda enerjiyi depolar. Bu sayede, ihtiyaç duyulduğunda enerji temini sağlanır.
- 7. Hareket Sensörü:** Çevre aydınlatma sistemi, hareket sensörleri sayesinde çevresel koşullara adapte olabilir. Sensörler, çevredeki hareket algılandığında aydınlatma sistemini etkinleştirerek enerji tasarrufu sağlar.

Bu entegre sistem, çevre dostu bir yaklaşım benimseyerek rüzgâr ve güneş enerjisinin bir arada kullanılmasıyla sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlamaktadır.

Aynı zamanda, hareket sensörleriyle akıllı bir kontrol mekanizması, enerji verimliliğini artırarak çevresel etkiyi minimize etmeyi hedeflenmiştir.

### 3.2.Rüzgâr Türbini ve Güneş Paneli Gücü Hesabı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Çanakkale ve Balıkesir ili için 17112 nolu istasyonda 2011-2020 yılları arasında alınan sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), nem (%), hava basıncı (hPa) ve rüzgâr hızı (m/s) verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada rüzgâr türbini gücü hesaplamalarında 2-4 m/s rüzgâr hızı ile çalışabilecek üç kanatlı dikey rüzgâr türbini ele alınmıştır.

Rüzgârdan elde edilecek güç; hava yoğunluğu ( $\rho$ ), kanat süpürme alanı (A), betz limiti ( $C_p$ ) ve hızın küpü ( $V^3$ ) ile Denklem 3.1.'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Çakıroğlu ve ark. 2024).

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3 \quad (3.1)$$

$$A = 2\pi r \quad (3.2)$$

Kanat süpürme alanı hesabında kanat çapı 1 m olarak ele alınmıştır. Kanat süpürme alanı Denklem 3.2'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

Rüzgâr belli bir hızdayken rüzgâr türbinleri elektrik üretimine başlayabilir ve devreye girme(cut-in:2-4 m/s) ve devreden çıkma(cut-out:25-34 m/s) hızları arasında üretim yapabilme özelliğine sahiptir. Rüzgâr türbinlerinin güç üretimini hesaplarken Betz limiti( $C_p$ ) dikkate alınır. Mevcut olanaklar ile havanın kinetik enerjisinin tamamını elektrik enerjisine dönüştürmek olası değildir. Bu sebeple hesaplamalarda havanın kinetik enerjisinden en yüksek derecede elektrik enerjisi üretilebilmesi için Betz limiti yaklaşık bir değer olarak(%59,26) alınmıştır.

Hava yoğunluğu Uluslararası Ağırlık ve Ölçüm Komitesi'nin (CIPM) geliştirmiş olduğu denklemde  $\rho$  nemli hava yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $p_d$  kısmi kuru hava basıncı (Pa),  $R_d$  kuru hava için spesifik gaz sabiti  $287.058 \text{ J/(kg K)}$ ,  $T$  sıcaklık (K),  $p_v$  su buharı basıncı (Pa),  $R_v$  su buharı için spesifik gaz sabiti,  $461.495 \text{ J/(kg K)}$ ,  $M_d$ olar kuru hava kütlesi  $0.0289654 \text{ kg/mol}$ ,  $M_v$ olar su buharı kütlesi  $0.018016 \text{ kg/mol}$ ,  $R$  evrensel gaz sabiti  $8.314 \text{ J / (K mol)}$  değişkenleri ile hesaplanmıştır (Denklem 3.3 ve 3.4).

$$\rho = \frac{p_d}{R_d T} + \frac{p_v}{R_v T} \quad (3.3)$$

$$\rho = \frac{p_d M_d + p_v M_v}{RT} \quad (3.4)$$

Suyun buhar basıncı ( $p_v$ ), doymuş buhar basıncı ( $p_{sat}$ ) ve bağıl nem ( $\phi$ ) hesaplamaları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'daki formüllerle yapılmaktadır.

$$p_v = \phi p_{sat} \quad (3.5)$$

$$p_{sat} = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5T}{T+273.3}} \quad (3.6)$$

Bu hesaplamalar  $180 \text{ W}$  gücünde bir güneş paneli dizisi ve  $1 \text{ m}^2$  aktif yüzey alanı varsayımı için yapılmıştır.

Panel yüzey sıcaklığı ve çıkış gücü Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 yardımı ile hesaplanabilir (Daud and Ismail 2012).

$$T_y = T_{\text{çevre}} + 0,0256 \times G \quad (3.7)$$

Paneller tarafından sağlanan güç;

$$P_{\text{çıkış}} = P_N \cdot x \left( \frac{G}{G_{\text{ref}}} \right) \cdot \left[ 1 + K_T (T_y - T_{\text{ref}}) \right] \quad (3.8)$$

Burada;

$P_{\text{çıkış}}$ ; panel çıkış gücü (W)

$P_N$ ; referans koşullarında fotovoltaik panel nominal gücü (W)

$G_{\text{ref}}$ ; referans koşullarında güneş ışınması ( $G_{\text{ref}}=1000$  W/m<sup>2</sup>)

$G$ ; gelen güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>)

$K_T$ ; maksimum gücün sıcaklık katsayısıdır (Poli Si-C için  $K_T=-3,7 \times 10^{-3}$  (1/°C))

$T_y$ ; panel yüzey sıcaklığı (°C)

$T_{\text{çevre}}$ ; çevre sıcaklığı (°C)

$T_{\text{ref}}$ ; referans koşullarında panel yüzey sıcaklığı ( $T_{\text{ref}}=25$  °C)'dir.

Panel verimi ise Denklem 3.9 ile hesaplanmıştır.

$$\eta = P_{\text{çıkış}} / G \cdot A \quad (3.9)$$

Paneller tarafından günlük sağlanan güç Denklem 3.10 ile hesaplanmıştır.;

$$P_{\text{günlük}} = P_{\text{çıkış}} \cdot t \quad (3.10)$$

### 3.3. Makine Öğrenmesi

Bir yığın veriden insan müdahalesi olmaksızın deneyim yoluyla öğrenerek otonom bir şekilde performans sergileyen bilgisayar bilimi dalı olan makine öğrenmesi algoritmaları çalışır. Öğrenme verilerine dayalı geliştirilen tahmin modellerinden hareketle kararlar verir. Bu sayede, bilgisayarları belirli görevleri gerçekleştirmek için açıkça programlamak zorunda kalmadan, verilerden öğrenen algoritmaların kullanılmasını içerir.

Verilerden çıkarım yapma yönüyle istatistik, model geliştirmek için matematik ve modeli uygulamak için bilgisayar bilimi ile yakından ilişkilidir. Makine öğrenmesi,

IoT uygulamalarında giderek yaygınlaşmaktadır. Tahmin, sınıflandırma, kümeleme, desen bulma, eğilim gibi kullanımları alanları bulunan makine öğrenmesi sahip olduğu analiz yeteneğiyle çeşitli endüstrilerde verimliliği artırmak ve yenilikçi çözümler üretmek için başvurulan başlıca kaynaklardan biri olmuştur.

### 3.3.1. AdaBoost

Yoav Freund ve Robert Schapire tarafından 1995 yılında geliştirilen AdaBoost algoritması, özellikle sınıflandırma problemlerinde yüksek doğruluk oranları elde etmek için kullanılır. Algoritmanın temel çalışma mantığı, her aşamada bir önceki aşamanın yanlış tahminlerine odaklanarak, bu yanlış tahminlere daha fazla ağırlık vermek ve sınıflandırıcıyı tekrar çalıştırmaktır. AdaBoost algoritması, zayıf sınıflandırıcıları güçlü bir şekilde birleştirdiği için genellikle yüksek doğruluk elde eder.

### 3.3.2. Decision tree regressor

Genellikle karmaşık sorunların çözümünde ve stratejik kararların alınmasında kullanılan karar ağaçları, tahmine dayalı modellerin tasarımında da kullanılır. Karar ağacı, bir ağaç yapısı şeklinde temsil edilir, her bir iç düğüm bir özelliği, her bir dal bir karar kuralını ve her bir yaprak düğüm sonucu temsil eder. Karar ağacının oluşturulması sırasında bilgi kazanımı prensibi kullanılır, yani her bir özellik değeri ile en iyi bölme kararını almak için çalışılır.

Karar ağaçları, anlaşılması ve yorumlanması kolay olmaları, doğrusal olmayan verileri tanımlayabilme esnekliği ve veri ön işleme gerektirmemeleri gibi avantajlara sahiptir. Ancak, hassas oldukları ve aşırı uyuma eğilimli oldukları dezavantajları da vardır. Karar ağaçları, problemleri hızlı bir şekilde ele alabilme yetenekleri nedeniyle tercih edilir.

Karar ağaçları, "budama" olarak adlandırılan bir teknikle aşırı uyuma sorununu çözebilirler. Bu teknik, gereksiz dalları kaldırarak modelin karmaşıklığını azaltmayı

amaçlar. Karar ağaçları, makine öğreniminde kullanılan önemli araçlardan biridir ve birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır.

### 3.3.3. Gradient boosting

Gradient Boosting algoritması, karar ağaçlarına dayalı bir öğrenme algoritmasıdır. Gradient Boosting, zayıf öğrencileri güçlü öğrencilere dönüştürmek için gradyan artırma yöntemini kullanan bir algoritmadır (Feng ve ark., 2018). Her yeni karar ağacı, bir önceki ağaçta hesaplanan hataları en aza indirme prensibine dayanır. Gradient Boosting algoritması, hata oranını belirli iterasyonlarla en aza indirerek, yapay sinir ağlarına benzer bir şekilde çalışır.

Gradient Boosting'in yapay sinir ağlarına kıyasla sağladığı önemli avantajlardan biri, açıklanabilirliğinin kolay olmasıdır. Yapay sinir ağları genellikle karmaşık yapılara sahip olduğu için içerdikleri bilgilerin anlaşılması zor olabilirken, Gradient Boosting algoritması daha şeffaf bir şekilde çalışarak elde ettiği sonuçları daha anlaşılır kılar.

### 3.3.4. LightGBM

LightGBM, histogram tabanlı çalışan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Bu algoritma, sürekli değerlere sahip değişkenleri kesikli (discrete bin) hale getirerek hesaplama maliyetini azaltır. LightGBM, bu yaklaşımı kullanarak eğitim süresini kısaltmak ve kaynak kullanımını azaltmak avantajına sahiptir. LightGBM, yaprak odaklı büyüme stratejisiyle diğer boosting algoritmalarından ayrılır. Bu strateji, modelin daha düşük hata oranına sahip olmasını ve daha hızlı öğrenmesini sağlar. Ancak, bu strateji, veri sayısı az olduğunda aşırı öğrenmeye yatkın olabilir. Bu nedenle, algoritma genellikle büyük veri setlerinde daha etkili kullanılır.

LightGBM, GOSS ve EFB gibi inovatif teknikleri kullanarak veri boyutunu azaltır, eğitim süresini kısaltır ve daha etkili bir öğrenme süreci sağlar. Bu özellikleri,

özellikle büyük veri setleri üzerinde başarılı sonuçlar elde etmek için algoritmaya güç kazandırır.

### 3.3.5. Random forest

Rassal Orman (Random Forest), regresyon ve sınıflandırma problemlerine uygulanabilen popüler bir makine öğrenmesi modelidir. Bu modelin çekici kılan özelliklerinden biri, hiper parametre ayarlamasına gerek duymadan iyi sonuçlar elde edebilmesi ve geniş uygulama alanına sahip olmasıdır. Ancak, karar ağaçlarının aşırı öğrenme ve veriyi ezberleme eğilimi gibi geleneksel yöntemlerden kaynaklanan problemleri vardır. Rassal Orman modeli, bu sorunu çözmek için veri seti ve öznitelik setinden rassal olarak seçilen 10'larca veya 100'lerce farklı alt-küme üzerinde eğitim yapar. Eğer regresyon problemi varsa, karar ağaçlarının tahminlerinin ortalaması alınır; eğer sınıflandırma problemi varsa, tahminler arasında en çok oy alan sınıf seçilir.

Rassal Orman modeli, farklı veri setlerinde eğitim aldığı için varyansı azaltarak, yani karar ağaçlarının aşırı öğrenme sorununu azaltır. Rassal Orman'ın diğer önemli bir özelliği, özniteliklerin önem derecesini belirleyebilmesidir. Bu, bir öznitelikliğin bağımlı değişkenin varyansındaki açıklamaya ne kadar katkıda bulunduğunu gösterir.

### 3.3.6. XGBoost

XGBoost, Gradient Boosting algoritmasının optimize edilmiş bir türüdür ve önceki versiyonlara kıyasla bir dizi avantaj sunmaktadır, bu da kullanımının giderek yaygınlaşmasının temel nedenidir.

Gradient Boosting algoritması birinci dereceden fonksiyonları kullanarak kayıp fonksiyonunu hesaplarken, XGBoost bu hesaplamaları ikinci dereceden fonksiyonlar kullanarak gerçekleştirir. Bu, modelin daha hassas ve optimize edilmiş bir şekilde eğitilmesine olanak tanır.

XGBoost' un diğ er algoritmalara göre daha hızlı sonuçlar vermesi büyük veri setleri üzerinde etkili bir şekilde çalışabilmesini ve zaman açısından verimli olmasını sağlar. Tüm bu avantajlar, XGBoost' un makine öğrenimi topluluğ u içinde önemli bir konuma gelmesine ve birçok uygulama alanında tercih edilmesine katkıda bulunur.



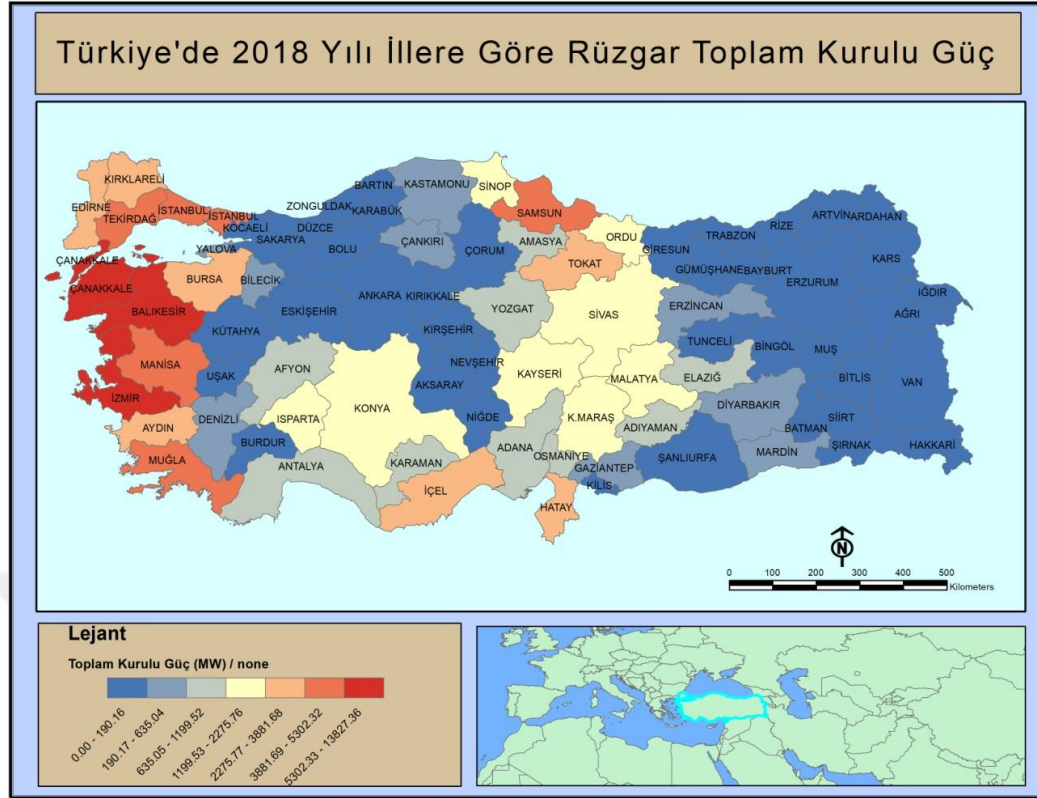
## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli: ArcGIS ile GES ve RES Yatırım Haritaları

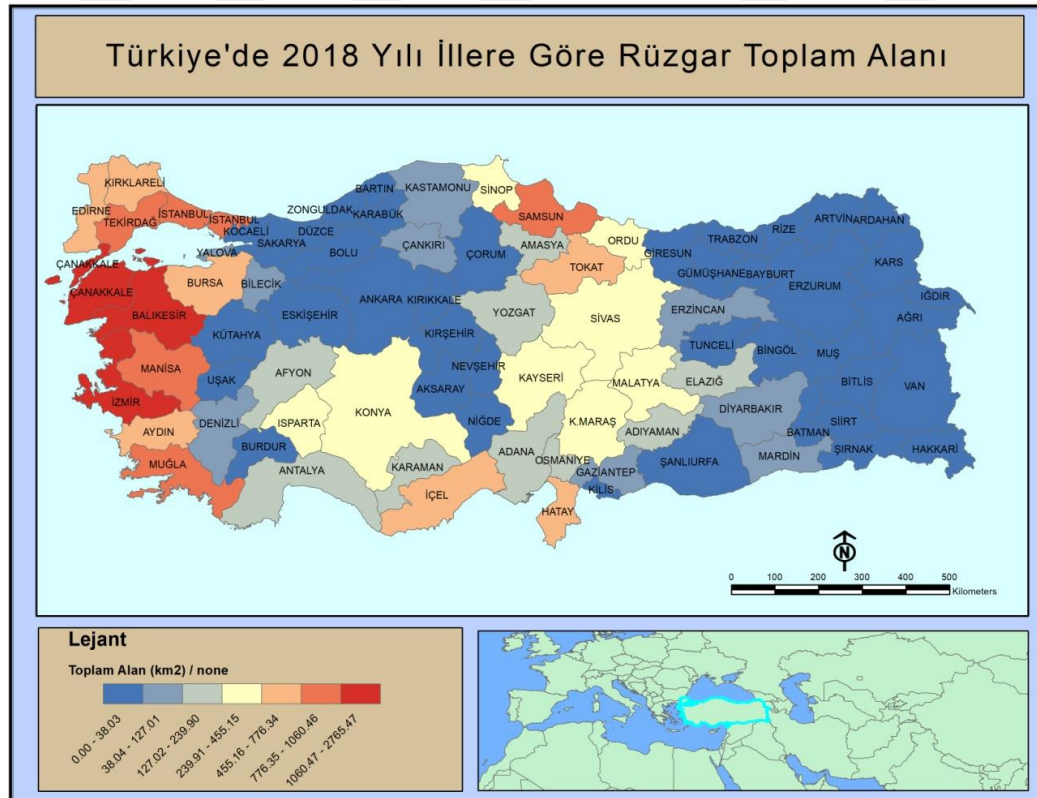
Türkiye'nin 81 iline ait güneş enerjisi güneşleme süresi (sa), radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>.gün), rüzgâr enerjisi kurulu güç (MW) ve toplam alan (km<sup>2</sup>) değerleri kullanılarak ArcGIS Desktop 10.5 programı ile 7 lejantlı GES ve RES yatırım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.1. –Şekil 4.4.). Bu haritalar, coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan ArcGIS' in yetenekleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Haritaların lejantları, yatırım alanlarındaki farklı özellikleri ve değerleri temsil etmektedir. Yedi farklı lejantın kullanılması, çeşitli enerji yatırımlarının farklı parametreler üzerinden analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu analizler, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından farklı bölgelerin vurgulanmasını sağlamaktadır.

ArcGIS Desktop 10.5 programı, coğrafi bilgi sistemleri analizi için geniş bir araç setine sahiptir. Bu sayede, güneş enerjisi güneşleme süresi, radyasyon değerleri, rüzgâr enerjisi kurulu güç ve toplam alan gibi verilerin entegre edilmesi ve haritalanması daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca, bu haritaların oluşturulması, enerji yatırımları için stratejik planlamalar yapılmasına ve kaynakların en verimli şekilde kullanılmasına yardımcı olabilir.



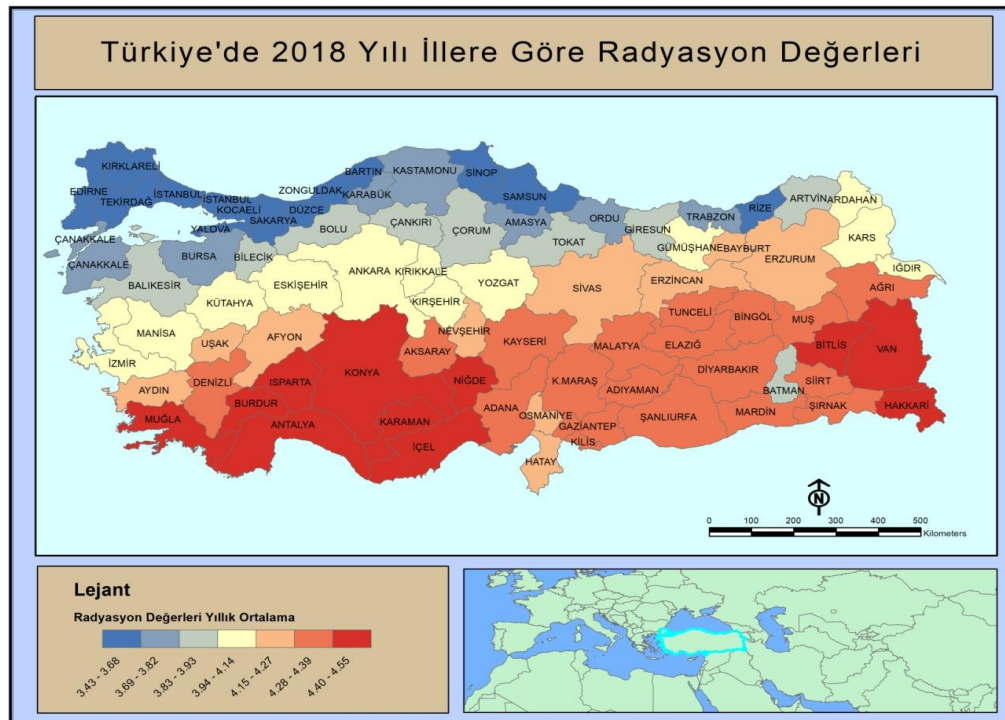
Şekil 4.1. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam kurulu güç



Şekil 4.2. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre rüzgâr toplam alanı



Şekil 4.3. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre güneşlenme süresi



Şekil 4.4. Türkiye’de 2018 yılı illerine göre radyasyon değerleri

Çalışma sonuçlarına göre, toplam rüzgâr kurulu güç ve genel alan bakımından öne çıkan iller arasında yer alan Çanakkale ve Balıkesir, yüksek rüzgar potansiyeli nedeniyle tercih edilmiştir.

## 4.2. Rüzgar ve Güneş Enerjisi Analizinde ANOVA ve Regresyon Analizi

### 4.2.1. Rüzgar gücü üzerine ANOVA Analizi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan veriler, Çanakkale ve Balıkesir illerine ait olan 2011 ile 2020 yılları arasındaki meteorolojik koşulları içermektedir. Bu veriler arasında sıcaklık, nem, hava basıncı, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve rüzgar hızı bulunmaktadır. Bu meteorolojik ölçümler, çevresel koşulları anlamak ve enerji üretim potansiyelini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda toplamda 36.000 veri kullanılmıştır. Bu veriler 10 yıl, 12 ay, 30 gün ve 2 il için elde edilmiş bağımsız değişkenlerin kombinasyonunu içermektedir. Bu verilere dayanarak, hava yoğunluğu ve çevre sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, rüzgar enerjisi ve hibrit enerji üretimi için gerekli olan rüzgar gücü ve hibrit güç hesaplamaları yapılmıştır.

Rüzgar gücü hesaplamalarında kullanılan bağımsız değişkenler arasında sıcaklık, nem, hava basıncı, yoğunluk ve rüzgar hızı yer almaktadır. Bu değişkenler, ANOVA (Varyans Analizi) yöntemi ile istatistiksel olarak incelenmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Rüzgar türbin gücü ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon ANOVA tablosu

Bağımlı Değişken	Tanım	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p değeri
Sıcaklık	Regresyon	327.532	1	327.532	5.483	0.019
	Hata	444206.857	7436	59.737		
	Genel	444534.389	7437			
Nem	Regresyon	154.294	1	154.294	0.822	0.365
	Hata	1396572.092	7436	187.812		
	Genel	1396726.386	7437			
Hava Basıncı	Regresyon	2797.709	1	2797.709	15.592	0.000
	Hata	1334277.930	7436	179.435		
	Genel	1337075.639	7437			
Hava Yoğunluğu	Regresyon	0.000	1	0.000	0.104	0.747
	Hata	11.870	7436	0.002		
	Genel	11.870	7437			
Rüzgar Hızı	Regresyon	70565.969	1	70565.969	23154.044	0.000
	Hata	22662.501	7436	3.048		
	Genel	93228.470	7437			

Elde edilen sonuçlara göre rüzgar türbin gücü hesaplamalarında hava basıncı ve rüzgar hızının etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ( $p<0.001$ ). Bu, rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu faktörlerin önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Türbin gücü hesaplamalarında özellikle hava basıncı ve rüzgar hızının F değeri ve p değerine bakılarak istatistiksel olarak anlamlı bir etkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, rüzgar enerjisi üretiminde çevresel koşulların dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, enerji üretim potansiyelini belirlemek ve yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanmak için önemli bilgiler sunmaktadır. Elde edilen veriler bu bölgelerde rüzgar enerjisi projeleri için planlama yapılırken dikkate alınabilecek önemli bir kaynak olarak kullanılabilir.

#### 4.2.2. Güneş paneli gücü üzerine ANOVA Analizi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen Çanakkale ve Balıkesir illerine ait 2011 ve 2020 yılları arasındaki sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve çevre sıcaklığı verileri kullanılarak hava yoğunluğu ve çevre sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerle birlikte güneş paneli gücü ve hibrit güç hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda toplamda 28.800 veri kullanılmıştır. Bu veriler 10 yıl, 12 ay, 30 gün ve 2 il için elde edilmiş bağımsız değişkenlerin kombinasyonunu içermektedir.

Güneş paneli gücü hesaplamalarında kullanılan bağımsız değişkenler olan sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve çevre sıcaklığı istatistiksel olarak (ANOVA) analiz edilmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Güneş paneli gücü ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon ANOVA tablosu

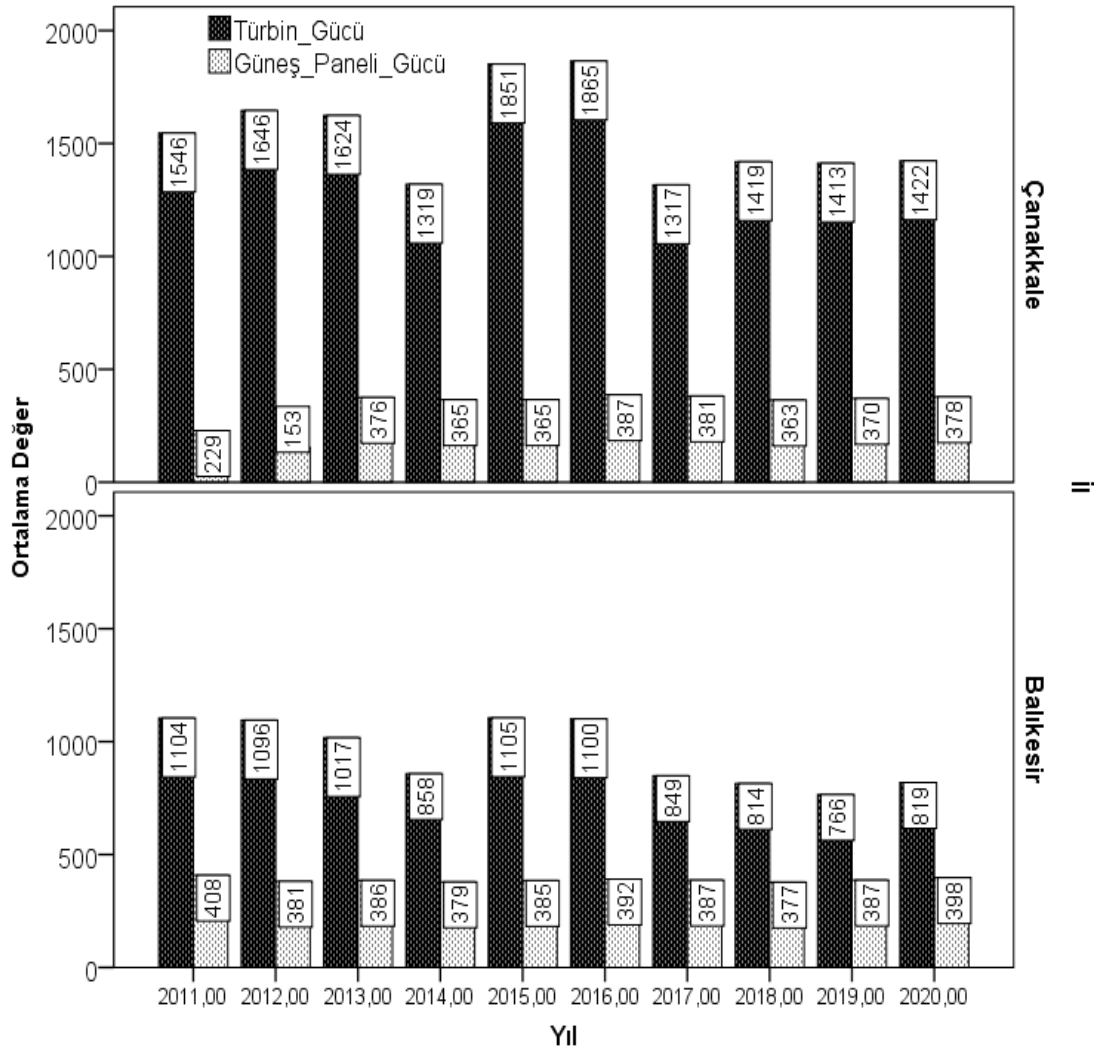
Bağımlı Değişken	Tanım	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p değeri
Sıcaklık	Regresyon	18807.441	1	18807.441	328.105	0.000
	Hata	426185.106	7435	57.321		
	Genel	444992.547	7436			
Güneş Radyasyonu	Regresyon	19753.834	1	19753.834	5277.886	0.000
	Hata	27827.385	7435	3.743		
	Genel	47581.218	7436			
Güneşlenme Süresi	Regresyon	22625.954	1	22625.954	1452.761	0.000
	Hata	115796.004	7435	15.574		
	Genel	138421.958	7436			
Çevre Sıcaklığı	Regresyon	13951551.12	1	13951551.125	4624.771	0.000
	Hata	22429172.711	7435	3016.701		
	Genel	36380723.836	7436			

Güneş paneli gücü hesaplamalarında ise tüm bağımsız değişkenlerin F değeri ve p değerine bakarak istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.001$ ). Bu sonuçlar, güneş paneli gücü hesaplamalarında kullanılan sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve çevre sıcaklığı gibi faktörlerin önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, güneş enerjisi potansiyeli değerlendirmeleri için bu bölgelerdeki meteorolojik faktörlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Elde edilen veriler, güneş enerjisi projeleri için planlama yapılırken bu değişkenlerin göz önüne alınmasının önemli olduğunu göstermektedir. Bu analiz, yenilenebilir enerji kaynaklarından en iyi şekilde faydalanmak amacıyla bölgesel enerji planlamasına katkı sağlamaktadır.

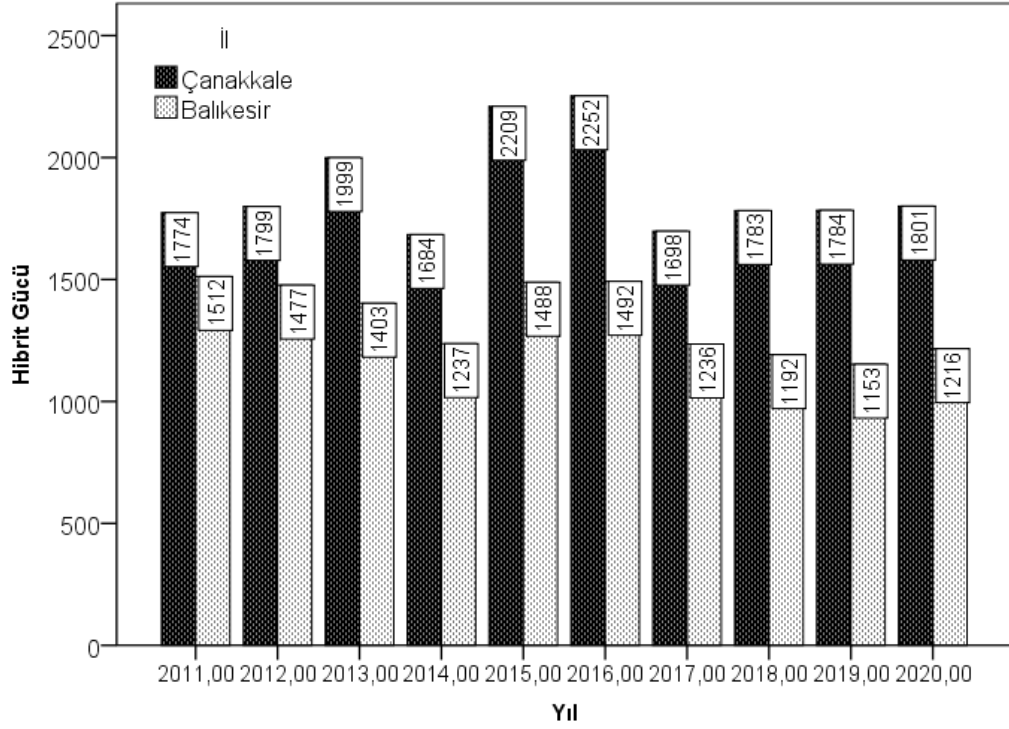
#### 4.2.3. Rüzgar türbin, güneş paneli ve hibrit gücü değerleri

Yıllara göre Çanakkale ve Balıkesir illerinin türbin gücü ve güneş paneli gücü değerleri incelenmiştir (Şekil 4.5.). Elde edilen verilere göre, Çanakkale ili hem rüzgar türbin gücü hem de güneş paneli gücü açısından Balıkesir'i geride bırakmaktadır. Her iki ilde de rüzgar gücü, güneş paneli gücüne kıyasla yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Yıllara göre illerin türbin gücü ve güneş paneli gücü değerleri

Çanakkale ve Balıkesir illerinin hibrit güç değerleri yıllara göre detaylı bir şekilde analiz edilmiştir (Şekil 4.6.). Elde edilen verilere göre, Çanakkale ili, hibrit güç konusunda Balıkesir'i geride bırakmaktadır. Bu bulgu, Çanakkale'nin enerji üretim potansiyeli ve özellikle hibrit enerji sistemlerindeki performansının önemli olduğunu göstermektedir.



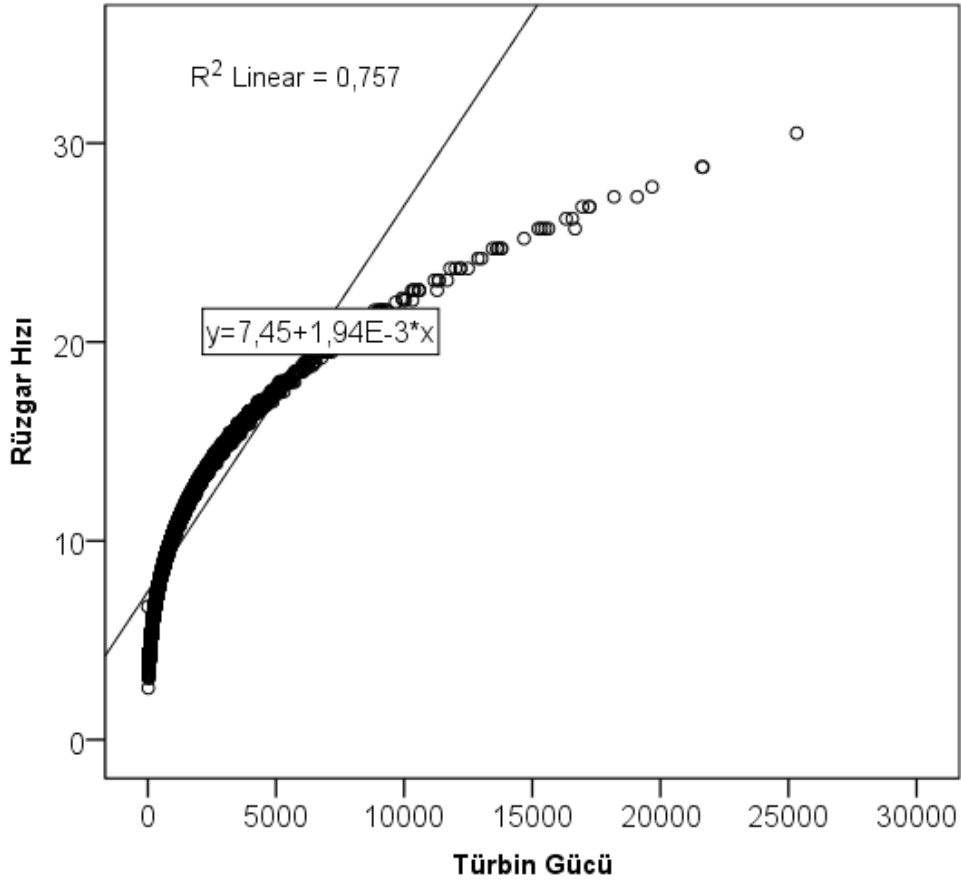
Şekil 4.6. Yıllara göre illerin hibrit paneli gücü değerleri

#### 4.2.4. Rüzgar türbin gücü regresyon analizi

Rüzgâr türbin gücü ile sıcaklık, nem, hava basıncı, hava yoğunluğu ve rüzgar hızı değişkenleri arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.3.), rüzgar hızının türbin gücünde belirgin bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Rüzgar türbin gücü ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analizi modelinin özeti

Bağımlı Değişken	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	P değeri	Std. Tahmin Hatası
Sıcaklık	0.027	.001	0.001	0.019	7.729
Nem	0.011	.000	0.000	0.365	13.704
Hava Basıncı	0.046	.002	0.002	0.000	13.395
Yoğunluk	0.004	.000	0.000	0.747	0.040
Rüzgar Hızı	0.870	0.757	0.757	0.000	1.746



Şekil 4.7. Türbin gücü ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

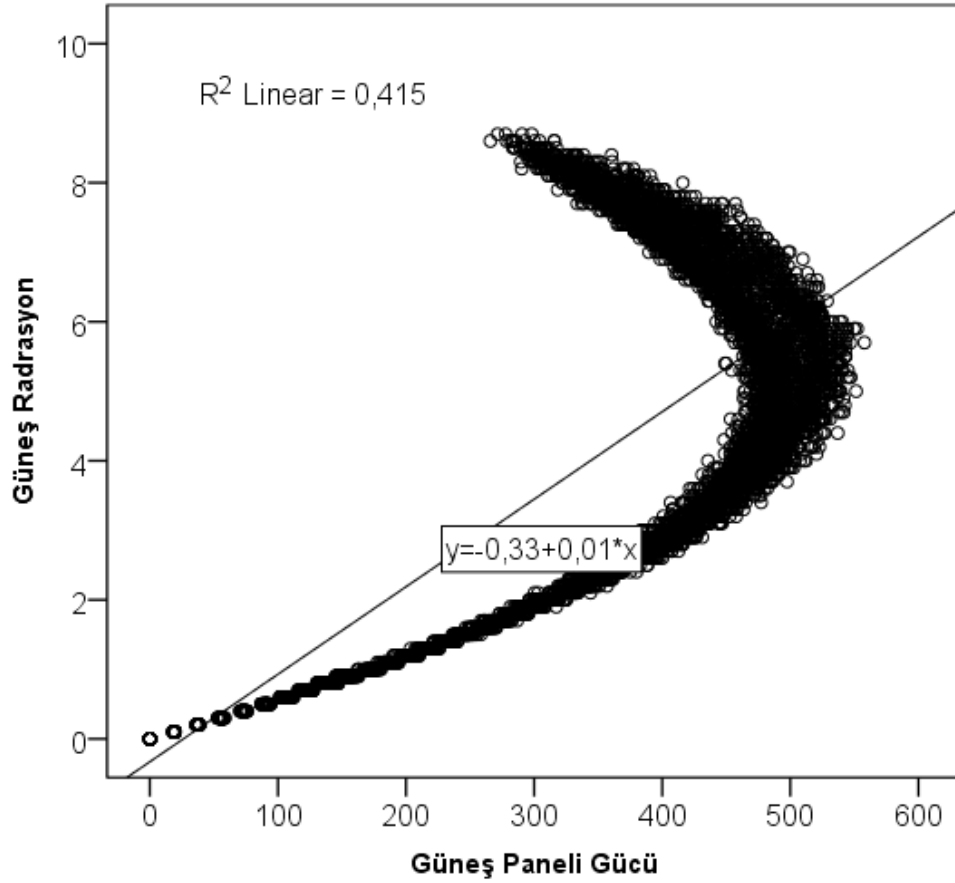
Rüzgar hızının türbin gücü üzerindeki etkisini incelediğimizde (Şekil 4.7.). Bu iki değişken arasındaki lineer regresyon belirlilik katsayısı  $R^2=0.757$  olarak bulunmuştur. Bu durum, türbin gücündeki değişkenliğin %75.7'sinin rüzgar hızındaki değişkenlikten kaynaklandığını göstermektedir.

#### 4.2.5. Güneş paneli gücü regresyon analizi

Güneş paneli gücü ile sıcaklık, güneş radyasyonu, güneşlenme süresi ve çevre sıcaklığı değişkenleri arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.4.), güneş radyasyonu ve çevre sıcaklığının güneş paneli gücünde belirgin bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

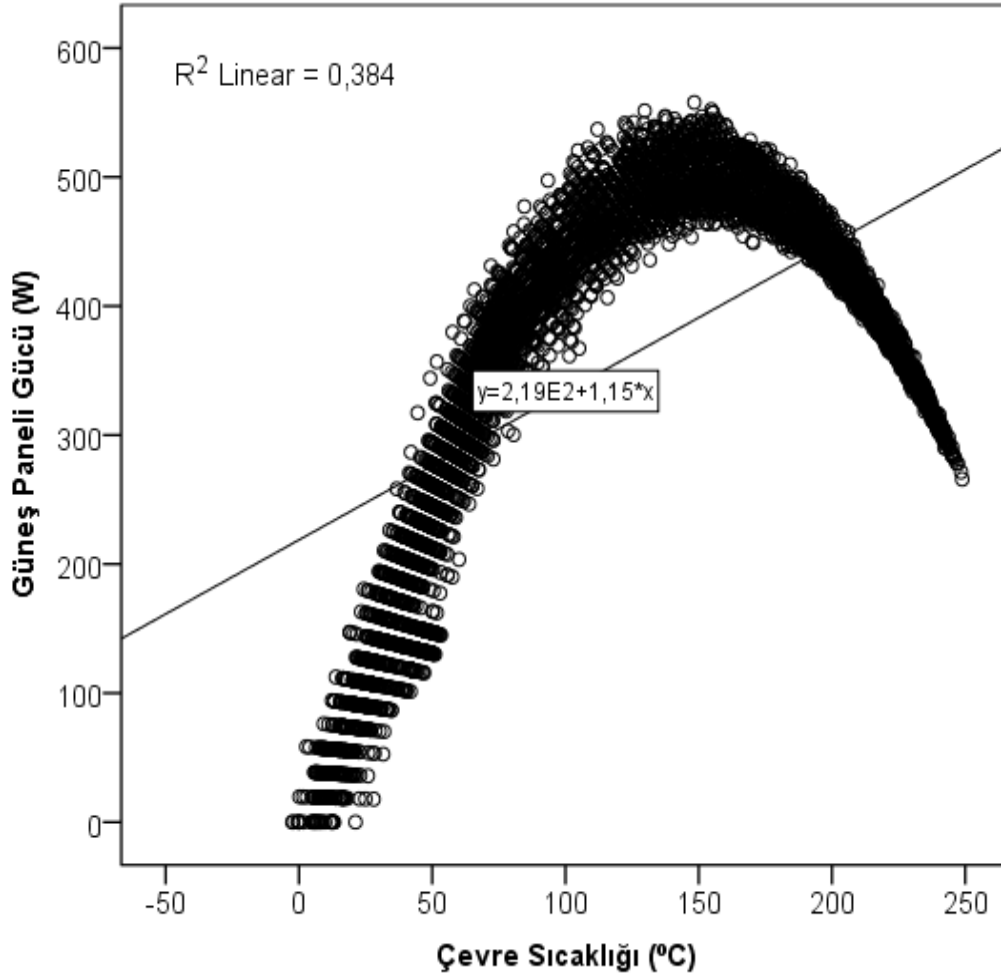
Çizelge 4.4. Güneş paneli gücü ve bağımlı değişkenler arasındaki regresyon analizi modelin özeti

Bağımlı Değişken	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Std. Tahmin Hatası
Sıcaklık	0.206	0.042	0.042	7.571
Güneş Radyasyonu	0.644	0.415	0.415	1.935
Güneşlenme Süresi	0.404	0.163	0.163	3.946
Çevre Sıcaklığı	0.619	0.383	0.383	54.925



Şekil 4.8. Güneş paneli gücü ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

Güneş radyasyonunun güneş paneli gücü üzerindeki etkisini incelediğimizde (Şekil 4.8.), bu iki değişken arasındaki lineer regresyon belirlilik katsayısı  $R^2=0.415$  olarak bulunmuştur. Bu durum, türbin gücündeki değişkenliğin %41.5'u rüzgar hızındaki değişkenlerden kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 4.9. Güneş paneli gücü ve çevre sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği

Çevre sıcaklığının güneş paneli gücü üzerindeki etkisini incelediğimizde (Şekil 4.9.), bu iki değişken arasındaki lineer regresyon belirlilik katsayısı  $R^2=0,384$  olarak bulunmuştur. Bu durum, güneş paneli gücündeki değişkenliğin %38,4'ü çevre sıcaklığındaki değişkenlikten kaynaklandığını göstermektedir.

### 4.3. Çanakkale ve Balıkesir'de Enerji Potansiyeli Çözümleme

Bu çalışma, Çanakkale ve Balıkesir illerinin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyellerini belirlemek amacıyla kapsamlı bir analiz sunmaktadır. ANOVA analizi, meteorolojik değişkenlerin (sıcaklık, nem, hava basıncı, yoğunluk, radyasyon,

güneşlenme süresi ve rüzgar hızı) enerji üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Rüzgar gücü analizinde, hava basıncı ve rüzgar hızının istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ( $p<0.001$ ). Bu durum, rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu iki faktörün kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, türbin gücü hesaplamalarında hava basıncı ve rüzgar hızının istatistiksel olarak anlamlı etkiler taşıdığı tespit edilmiştir. Bu da çevresel koşulların rüzgar enerjisi üretiminde dikkate alınması gerektiğini vurgular.

Güneş paneli gücü analizinde ise sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve çevre sıcaklığının istatistiksel olarak anlamlı etkiler taşıdığı belirlenmiştir ( $p<0.001$ ). Bu sonuçlar, güneş enerjisi potansiyeli değerlendirmelerinde bu meteorolojik faktörlerin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Regresyon analizi, türbin gücü ve güneş paneli gücü üzerindeki değişkenliklerin büyük bir kısmının rüzgar hızından kaynaklandığını göstermektedir. Türbin gücünde %75.7. güneş paneli gücünde ise %41.5 oranında değişkenliğin rüzgar hızından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Çanakkale'nin enerji üretim potansiyelinin yüksek olduğunu ve özellikle rüzgar enerjisi alanında önemli bir kaynak olabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma, bölgesel enerji planlamasına katkıda bulunarak yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasına yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu tezde, Çanakkale ve Balıkesir illerinin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyellerini değerlendirmek amacıyla ANOVA analizi kullanarak kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Ancak, mevcut veri setinin karmaşıklığı ve değişkenler arasındaki non-lineer ilişkilerin daha derinlemesine anlaşılması için makine öğrenmesi modellerinin uygulanması yapılacaktır.

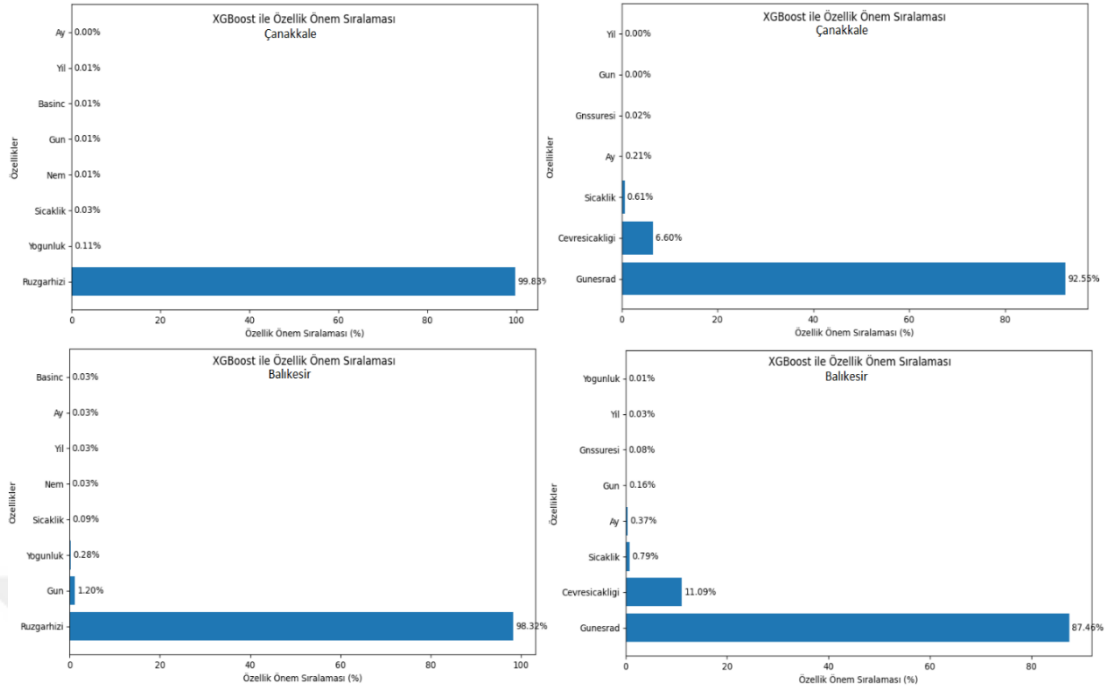
#### 4.4. Makine Öğrenmesi Model Analizi ve Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde, önceki bölümde tanıtılan makine öğrenimi modellerinin türbin gücü ve panel gücü veri seti üzerindeki çıktıları detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bu incelemeler esnasında Python programı kullanılmıştır. Gerçek türbin gücü ve panel gücü değerleri ile makine öğrenimi algoritmalarının tahmin ettiği değerler arasındaki karşılaştırmalar. Modellerin performansını anlamak için sunulmuştur.

Makine öğrenimi modelinin çıktısını değerlendirmek ve model tahminlerini en çok etkileyen özellikleri belirlemek amacıyla özel bir tahmin modeli kullanılmıştır. Bu değerlendirme süreci, belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi önemli ölçütler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir tahmin modeli için bu ölçütler, modelin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek adına kullanılmıştır.

Belirleme katsayısı, modelin ne kadar iyi uyum sağladığını gösteren bir ölçüt olarak kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata, modelin tahminlerinin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu değerlendirmekte önemli bir metrik olarak karşımıza çıkmaktadır. Kök ortalama karesel hata ise modelin tahmin hatalarının genel büyüklüğünü ölçerek performansın daha derinlemesine bir analizine olanak sağlamaktadır.

Bu ölçütlerin her biri, makine öğrenimi modellerinin türbin gücü ve panel gücü tahminlerinde ne kadar başarılı olduğunu belirlemede kullanılarak, araştırmanın güvenilirliği ve etkinliği konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır.



Şekil 4.10. Çanakkale ve Balıkesir İleri Rüzgar Türbini ve Güneş Paneli Etkileyen Parametrelerinin Özelliklerinin Önemi

Şekil 4.10.'da XGBoost modelinin çıktılarını inceleyerek rüzgar türbin gücü ve güneş panel gücü girdi özelliklerinin model üzerindeki etkilerini sıralamaktadır. Bu analiz, her bir girdi özelliğinin tahmin sonuçlarına olan katkısını belirlemek adına önemli bir bakış sağlamaktadır.

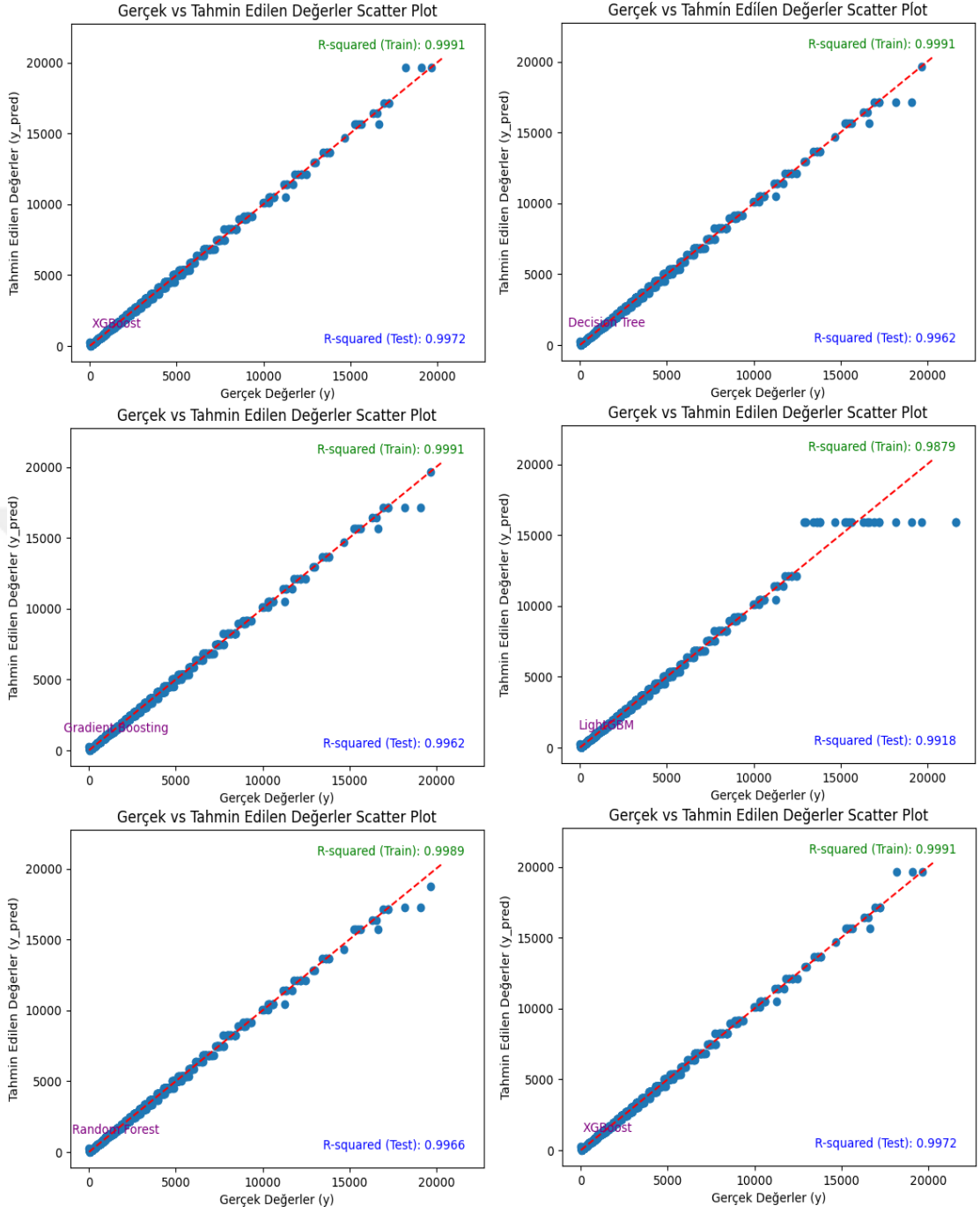
Rüzgar türbin gücü için, rüzgar hızının model çıktısındaki en belirgin etkiyi yarattığı görülmektedir. Rüzgar hızı, türbin gücü tahminlerine en önemli etkiyi yaparken, onu hava basıncı takip etmektedir. Bu durum, rüzgar hızının modelin rüzgar türbin gücü tahminlerindeki belirleyici faktör olduğunu ve hava yoğunluğunun da etkin bir şekilde bu tahminleri etkilediğini göstermektedir.

Öte yandan, güneş panel gücü için yapılan analizde, güneş radyasyonunun model çıktısındaki en belirgin etkiyi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Güneş radyasyonu, güneş panel gücü tahminlerine en önemli etkiyi yaparken, onu çevre sıcaklığı takip etmektedir. Bu durum, güneş radyasyonunun güneş paneli performansını

belirlemedeki kilit faktör olduğunu ve çevre sıcaklığının da bu tahminleri etkileyici bir rol oynadığını vurgulamaktadır.

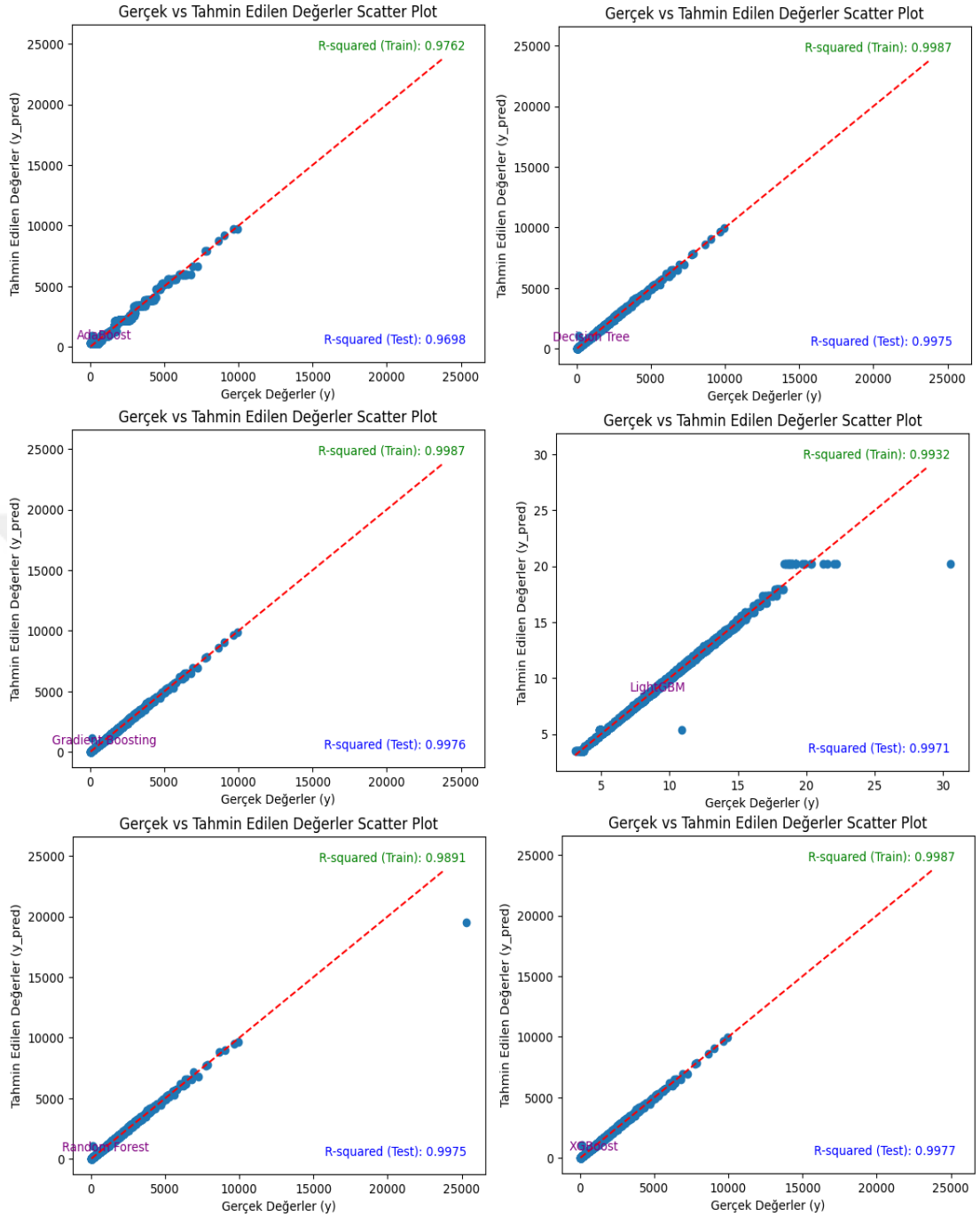
Bu sıralama ve etkileşim analizi, modelin hangi girdi özelliklerine ne kadar duyarlı olduğunu anlamamıza yardımcı olarak, tahminlerin optimize edilmesi ve modelin güvenilirliğinin artırılması için önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu analiz, bölgesel farklılıkları ve yerel koşulları dikkate alarak enerji üretim tahminlerini iyileştirmek adına stratejiler geliştirmeyi hedefleyen enerji sektörü profesyonelleri ve araştırmacılar için önemli bir kaynak olabilir.





Şekil 4.11. Çanakkale İli Rüzgar Türbin Gücü ve Rüzgar Hızı Değerleri Tahmin Modelleri

Şekil 4.11.'de Çanakkale bölgesindeki rüzgar türbin güçlerini altı farklı tahmin modeli kullanarak hesaplamış ve tahmin etmiştir.

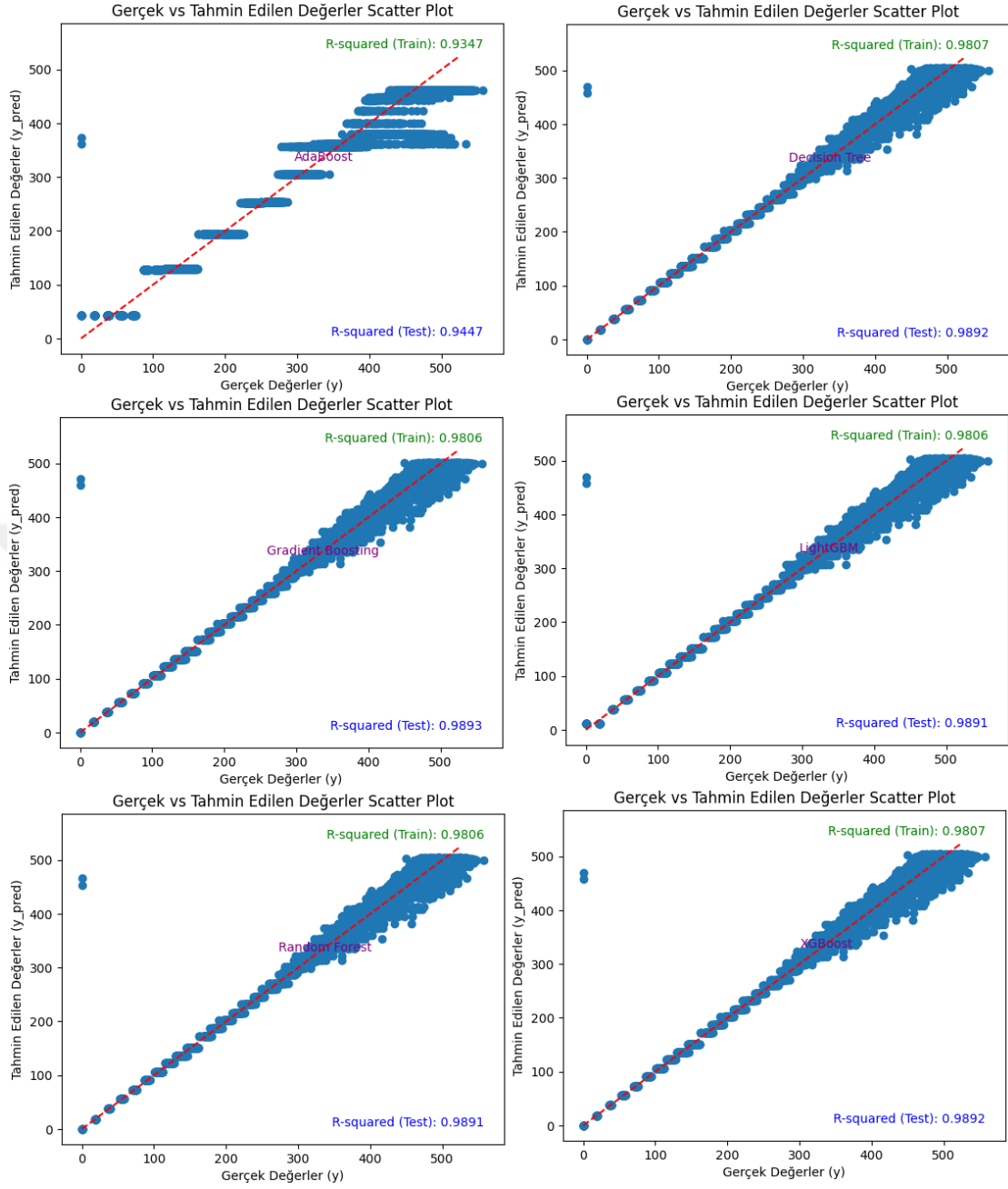


Şekil 4.12. Balıkesir İli Rüzgar Türbin Gücü ve Rüzgar Hızı Değerleri Tahmin Modelleri

Şekil 4.12.'de aynı analizi Balıkesir ilinde gerçekleştirmiştir. Bu karşılaştırma, her iki bölgedeki rüzgar türbin güçlerinin farklı tahmin modelleri tarafından ne kadar doğru bir şekilde öngörüldüğünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

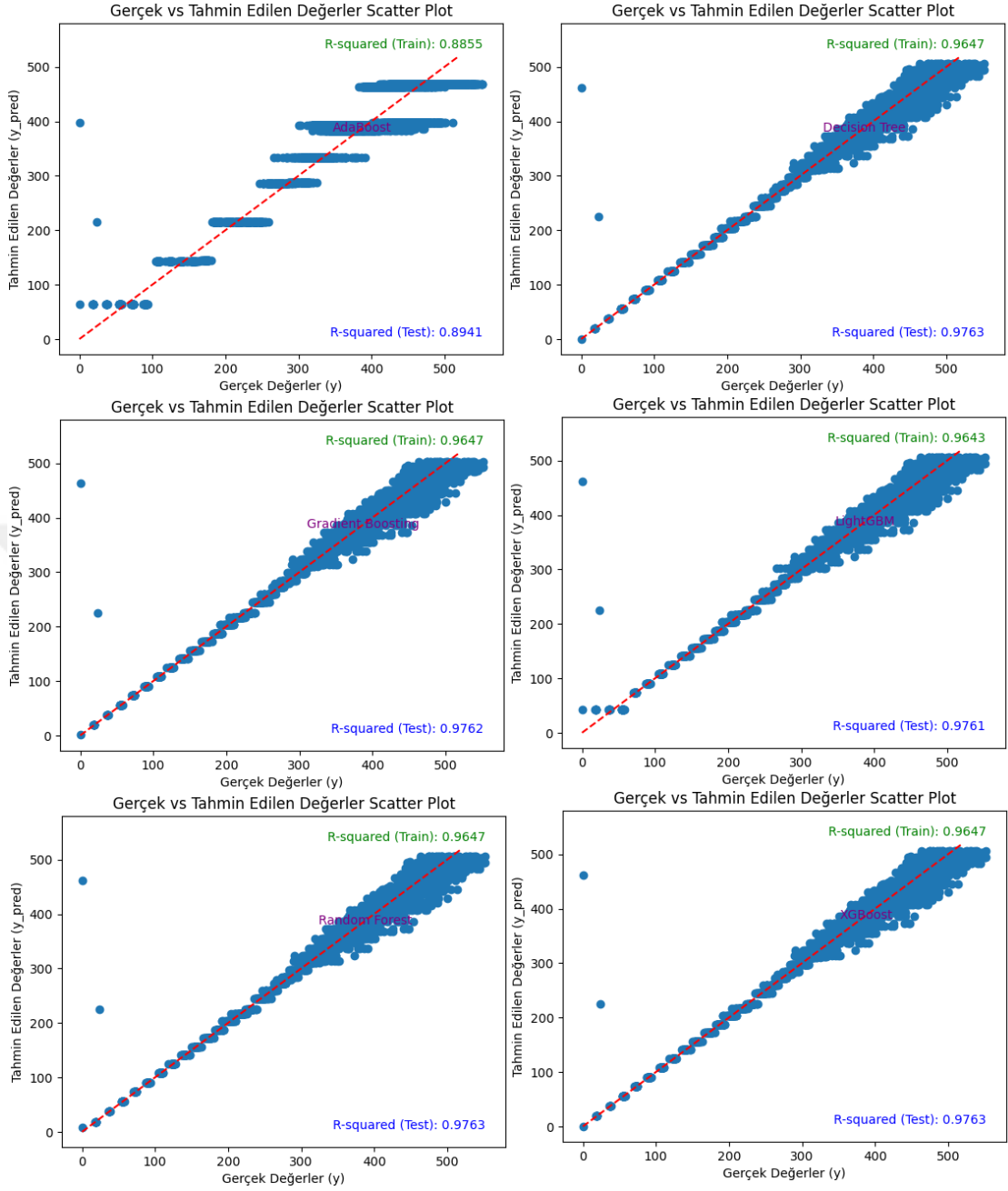
Her iki grafikte de görülen tahmin modelleri, önceki bölümlerde tanıtılan altı farklı makine öğrenimi algoritmasını içermektedir. Bu modeller, rüzgar türbin gücü tahminleri üzerinde çeşitli girdi özelliklerini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır.

Analiz, Çanakkale ve Balıkesir bölgelerinde gerçekleşen rüzgar türbin gücü tahminlerini altı farklı modelin tahminleri ile karşılaştırarak bölgesel farklılıkları ve model performansındaki değişiklikleri ortaya koymaktadır. Belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi performans ölçütleri kullanılarak her bir modelin başarısını değerlendirerek, her iki bölgenin enerji üretimi potansiyelini daha iyi anlamamıza olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.13. Çanakkale İli Güneş Panel Gücü ve Güneş Radyasyon Değerleri Tahmin Modelleri

Şekil 4.13.'de Çanakkale bölgesindeki güneş panel güçlerini altı farklı tahmin modeli kullanarak hesaplamış ve tahmin etmiştir.



Şekil 4.14. Balıkesir İli Güneş Panel Gücü ve Güneş Radyasyon Değerleri Tahmin Modelleri

Şekil 4.14.'te aynı analizi Balıkesir ilinde gerçekleştirmiştir. Bu karşılaştırma, her iki bölgedeki güneş panel güçlerinin farklı tahmin modelleri tarafından ne kadar doğru bir şekilde öngörüldüğünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Her iki grafikte de görülen tahmin modelleri, önceki bölümlerde tanıtılan altı farklı makine öğrenimi algoritmasını içermektedir. Bu modeller, güneş panel gücü tahminleri üzerinde çeşitli girdi özelliklerini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır.

Analiz, Çanakkale ve Balıkesir bölgelerinde gerçekleşen güneş panel gücü tahminlerini altı farklı modelin tahminleri ile karşılaştırarak bölgesel farklılıkları ve model performansındaki değişiklikleri ortaya koymaktadır. Belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi performans ölçütleri kullanılarak her bir modelin başarısını değerlendirerek, her iki bölgenin güneş enerjisi potansiyelini daha iyi anlamamıza olanak sağlamaktadır.

Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de türbin gücü Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de türbin gücü eğitim ve test setlerindeki model tahminlerini farklı renk ve sembollerle görselleştirmektedir. Tüm veri seti, %70'e %30 oranında bir eğitim ve test setine bölünmüştür.

Çanakkale ve Balıkesir ili için rüzgar türbin gücü ile rüzgar hızı eğitim setinde  $R^2=0.999$  ve  $R^2=0.998$ . test setinde ise  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.970$ . belirleme katsayıları elde edilmiştir. Aynı iller için güneş panel gücü ile güneş radyasyonu eğitim setinde  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.965$ . test setinde ise  $R^2=0.989$  ve  $R^2=0.976$  belirleme katsayıları elde edilmiştir. Giriş özellikleri arasında tarih, nem, basınç, rüzgar hızı, sıcaklık, hava yoğunluğu, çevre sıcaklığı, güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu bulunmaktadır.

Çizelge 4.5. Tahmine dayalı model performansları

Model	R <sup>2</sup>		MAE		RMSE	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Yer	Çanakkale					
AdaBoost	0.9748	0.9674	2.498.582	2.434.070	3.095.952	3.119.530
DecisionTreeRegressor	0.9940	0.9873	1.181.210	1.280.487	1.501.318	1.944.283
LightGBM	0.9913	0.9904	397.380	402.707	1.813.097	1.689.254
Random Forest	0.9995	0.9970	109.078	293.206	429.221	941.373
XGBoost	0.9997	0.9985	204.785	265.096	312.401	649.863
GradientBoostingRegressor	0.9998	0.9976	183.517	253.523	271.887	834.292
Yer	Balıkesir					
AdaBoost	0.9750	0.9611	1.347.539	1.440.623	1.709.239	1.851.799
DecisionTreeRegressor	0.9893	0.9838	811.014	906.137	1.118.055	1.195.268
LightGBM	0.9256	0.9872	502.962	504.649	2.951.919	1.062.840
Random Forest	0.9889	0.9968	118.355	249.305	1.138.499	529.102
XGBoost	0.9992	0.9980	208.558	264.277	290.215	418.575
GradientBoostingRegressor	0.9996	0.9987	154.825	205.631	210.545	332.061

Çizelge 1.1.'de, her iki il için iki farklı doğruluk ölçütü kullanılarak elde edilen model performansları detaylı bir şekilde listelenmiştir. Çizelge 4.5.'de göre, XGBoost algoritması eğitim setinde her üç metrik (R<sup>2</sup>, MAE, RMSE) açısından en yüksek doğruluğu elde etmiştir. Test setinde ise XGBoost ve Gradient Boosting ve Random Forest algoritmaları R<sup>2</sup> skoru açısından eşit derecede yüksek doğruluk gösterirken. Random Forest modeli MAE açısından en iyi performansı sergilemiş. Gradient Boosting ise RMSE' de en iyi performansı göstermiştir.

Ayrıca, hesaplama hızı açısından değerlendirildiğinde, Gradient Boosting algoritması en hızlı performansı sergileyen algoritma olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, model seçiminde performans ve hesaplama hızı dengesini değerlendirmek adına önemli bir referans sunmaktadır.

#### 4.5. Yenilenebilir Enerji Tahmin Modellerinin Performans Analizi ve Bölgesel Etkileri

Bu bölümde, önceki bölümde tanıtılan makine öğrenimi modellerinin türbin gücü ve panel gücü veri seti üzerindeki çıktıları detaylı bir şekilde incelenmektedir. Gerçek türbin gücü ve panel gücü değerleri ile makine öğrenimi algoritmalarının tahmin ettiği değerler arasındaki karşılaştırmalar, modellerin performansını anlamak

için sunulmuştur. Makine öğrenimi modelinin çıktısını değerlendirmek ve model tahminlerini en çok etkileyen özellikleri belirlemek amacıyla özel bir tahmin modeli kullanılmıştır. Bu değerlendirme süreci, belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi önemli ölçütler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir tahmin modeli için bu ölçütler, modelin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek adına kullanılmıştır. Belirleme katsayısı, modelin ne kadar iyi uyum sağladığını gösteren bir ölçüt olarak kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata, modelin tahminlerinin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu değerlendirmekte önemli bir metrik olarak karşımıza çıkmaktadır. Kök ortalama karesel hata ise modelin tahmin hatalarının genel büyüklüğünü ölçerek performansın daha derinlemesine bir analizine olanak sağlamaktadır. Bu ölçütlerin her biri, makine öğrenimi modellerinin türbin gücü ve panel gücü tahminlerinde ne kadar başarılı olduğunu belirlemede kullanılarak, araştırmanın güvenilirliği ve etkinliği konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır.

#### 4.5.1. Etki analizi

Şekil 4.10. XGBoost modelinin çıktılarını inceleyerek rüzgar türbin gücü ve güneş panel gücü girdi özelliklerinin model üzerindeki etkilerini sıralamaktadır. Bu analiz, her bir girdi özelliğinin tahmin sonuçlarına olan katkısını belirlemek adına önemli bir bakış sağlamaktadır. Rüzgar türbin gücü için, rüzgar hızının model çıktısındaki en belirgin etkiyi yarattığı görülmektedir. Rüzgar hızı, türbin gücü tahminlerine en önemli etkiyi yaparken, onu hava yoğunluğu takip etmektedir. Bu durum, rüzgar hızının modelin rüzgar türbin gücü tahminlerindeki belirleyici faktör olduğunu ve hava yoğunluğunun da etkin bir şekilde bu tahminleri etkilediğini göstermektedir. Öte yandan, güneş panel gücü için yapılan analizde, güneş radyasyonunun model çıktısındaki en belirgin etkiyi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Güneş radyasyonu, güneş panel gücü tahminlerine en önemli etkiyi yaparken, onu çevre sıcaklığı takip etmektedir. Bu durum, güneş radyasyonunun güneş paneli performansını belirlemedeki kilit faktör olduğunu ve çevre sıcaklığının da bu tahminleri etkileyici bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu sıralama ve etkileşim analizi, modelin hangi girdi özelliklerine ne kadar duyarlı olduğunu anlamamıza yardımcı olarak, tahminlerin optimize edilmesi ve modelin güvenilirliğinin artırılması için önemli bilgiler sağlamaktadır.

#### 4.5.2. Bölgesel performans analizi

Şekil 4.11.'da Çanakkale bölgesindeki rüzgar türbin güçlerini altı farklı tahmin modeli kullanarak hesaplamış ve tahmin etmiştir. Analiz, Çanakkale ili için rüzgar türbin gücü ile rüzgar hızı eğitim setinde  $R^2=0.999$  ve  $R^2=0.998$ , test setinde ise  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.970$  belirleme katsayıları elde edildiğini göstermiştir.

Şekil 4.12.'de aynı analizi Balıkesir ilinde gerçekleştirmiştir. Analiz, Balıkesir ili için rüzgar türbin gücü ile rüzgar hızı eğitim setinde  $R^2=0.999$  ve  $R^2=0.998$ , test setinde ise  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.970$  belirleme katsayıları elde edildiğini göstermiştir.

Şekil 4.13.'te Çanakkale bölgesindeki güneş panel güçlerini altı farklı tahmin modeli kullanarak hesaplamış ve tahmin etmiştir. Analiz, Çanakkale ili için güneş panel gücü ile güneş radyasyonu eğitim setinde  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.965$ , test setinde ise  $R^2=0.989$  ve  $R^2=0.976$  belirleme katsayıları elde edildiğini göstermiştir.

Şekil 4.14.'te aynı analizi Balıkesir ilinde gerçekleştirmiştir. Analiz, Balıkesir ili için güneş panel gücü ile güneş radyasyonu eğitim setinde  $R^2=0.981$  ve  $R^2=0.965$ , test setinde ise  $R^2=0.989$  ve  $R^2=0.976$  belirleme katsayıları elde edildiğini göstermiştir.

#### 4.5.3. Model performansı karşılaştırması

Çizelge 4.5. her iki il için iki farklı doğruluk ölçütü kullanılarak elde edilen model performanslarını detaylı bir şekilde listelenmiştir. Çizelge 4.5.'e göre, XGBoost algoritması eğitim setinde her üç metrik ( $R^2$ , MAE, RMSE) açısından en yüksek doğruluğu elde etmiştir. Test setinde ise XGBoost, Gradient Boosting ve Random Forest algoritmaları  $R^2$  skoru açısından eşit derecede yüksek doğruluk gösterirken, Random Forest modeli MAE açısından en iyi performansı sergilemiş. Gradient Boosting ise RMSE' de en iyi performansı göstermiştir. Ayrıca, hesaplama hızı açısından değerlendirildiğinde, Gradient Boosting algoritması en hızlı performansı

sergileyen algoritma olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, model seçiminde performans ve hesaplama hızı dengesini değerlendirmek adına önemli bir referans sunmaktadır."

Bu çıkarımsal analiz, makine öğrenimi modellerinin performansını, etkilerini ve bölgesel farklılıkları detaylı bir şekilde açıklamaktadır.



## 5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde, Çanakkale ve Balıkesir illerinin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyellerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen kapsamlı bir analizi sunmaktadır. Yapılan regresyon ANOVA tablosu, meteorolojik değişkenlerin enerji üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmış ve elde edilen sonuçlar çeşitli önemli bulguları ortaya koymuştur.

Rüzgar gücü analizinde, hava basıncı ve rüzgar hızının istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ( $p<0.001$ ). Bu durum, rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu iki faktörün kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, türbin gücü hesaplamalarında hava yoğunluğu ve rüzgar hızının istatistiksel olarak anlamlı farklar taşıdığı tespit edilmiştir. Bu da çevresel koşulların rüzgar enerjisi üretiminde dikkate alınması gerektiğini vurgular.

Güneş paneli gücü analizinde ise sıcaklık, güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve çevre sıcaklığının istatistiksel olarak anlamlı farklar taşıdığı belirlenmiştir ( $p<0.001$ ). Bu sonuçlar, güneş enerjisi potansiyeli değerlendirmelerinde bu meteorolojik faktörlerin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Regresyon analizi, türbin gücü ve güneş paneli gücü üzerindeki değişkenliklerin büyük bir kısmının rüzgar hızından kaynaklandığını göstermektedir. Türbin gücünde %75.7, güneş paneli gücünde ise %41.5 oranında değişkenliğin rüzgar hızından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Bu analizler, Çanakkale'nin enerji üretim potansiyelinin yüksek olduğunu ve özellikle rüzgar enerjisi alanında önemli bir kaynak olabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, bölgesel enerji planlamasına katkıda bulunarak yenilenebilir

enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasına yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu tezde, Çanakkale ve Balıkesir illerinin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyellerini değerlendirmek amacıyla ANOVA analizi kullanarak kapsamlı bir analiz sunulmuştur. Ancak, mevcut veri setinin karmaşıklığı ve değişkenler arasındaki ilişkilerin daha derinlemesine anlaşılması için makine öğrenmesi modellerinin uygulanması önerilmektedir.

4.5 bölümünde, makine öğrenimi modellerinin türbin gücü ve panel gücü tahminlerindeki çıktıları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama karesel hata gibi önemli ölçütler kullanılarak yapılan değerlendirmeler, modellerin performansını objektif bir şekilde ortaya koymaktadır.

Etki analizi, XGBoost modelinin çıktıları üzerinden rüzgar türbin gücü ve güneş paneli gücü girdi özelliklerinin model üzerindeki etkilerini sıralamıştır. Bu analiz, her bir girdi özelliğinin tahmin sonuçlarına olan katkısını belirleyerek önemli bir bakış açısı sunmaktadır.

Bölgesel performans analizi, Çanakkale ve Balıkesir illerinde gerçekleştirilen rüzgar türbin gücü ve güneş paneli gücü tahminlerini farklı modellerle karşılaştırarak bölgesel farklılıkları ve model performansındaki değişiklikleri ortaya koymaktadır. Bu analiz, her iki bölgenin enerji üretimi potansiyelini daha iyi anlamamıza olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, hem meteorolojik faktörlerin enerji üretimine olan etkilerini değerlendiren hem de makine öğrenimi modelleri kullanarak bölgesel enerji potansiyellerini analiz eden kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Yapılan çıkarımlar,

enerji sektörü profesyonelleri ve araştırmacılar için önemli bir kaynak olabilir ve gelecekteki enerji planlamalarına yönelik stratejiler geliştirmelerine katkıda bulunabilir.



## KAYNAKLAR

- ABUALIGAH. L., ZITAR. R. A., ALMOTAIRI. K. H., HUSSEIN. A. M., ABD ELAZIZ. M., NIKOO. M. R., and GANDOMI. A. H., 2022. Wind, solar and photovoltaic renewable energy systems with and without energy storage optimization: A survey of advanced machine learning and deep learning techniques. *Energies*, 15(2). 578.
- AKBUDAK.B., and DOĞAN.R.,2022.Hibrit Düşey Rüzgâr Türbini Tasarım ve Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri dergisi*.1041-1050.
- ALKHAYAT. G. and MEHMOOD. R., 2021. A review and taxonomy of wind and solar energy forecasting methods based on deep learning. *Energy and AI*. 4. 100060.
- ALP.H.,2022. Türkiye’de Güneş ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İndeksinin Belirlenmesi ve Rüzgar Türbini Tasarımı. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa*.
- ATİK.İ., ve SEKİN.A.,2022.Hibrit Yenilenebilir Enerji Tasarımı:Balıkesir Örneği.*Dicle Üniversitesi, Mühendislik dergisi, Araştırma Makalesi,Diyarbakır*,517-529s.
- BİLHAN. A. and EMİKÖNEL. S. (2021). Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (24). 289-294.
- BİNGÖL.F.,2018.Rüzgar enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması.İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.*Enerji Sistemleri Mühendisliği ,İzmir, Politeknik dergisi*,273-281.
- BRAVO-RODRÍGUEZ. J. C., TORRES. F. J., and BORRÁS. M. D. ,2020. Hybrid machine learning models for classifying power quality disturbances: A comparative study, *Energies*, 13(11), 2761.
- CAKIROGLU. C., DEMIR. S., OZDEMIR. M. H., AYLAK. B. L., SARIISIK. G., and ABUALIGAH. L. ,2024. Data-driven interpretable ensemble learning methods for the prediction of wind turbine power incorporating SHAP analysis, *Expert Systems with Applications*, 237,121464.
- ÇELEBİ. S. B., and FİDAN. Ş.,2024. RNN-Based Time Series Analysis for Wind Turbine Energy Forecasting. *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 6(1), 15-28.
- ÇETİN. S. K., GENÇ. M. S., and DALDABAN. F. ,2019. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri-küçük ölçekli uygulamalar. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 539-551.
- DAUD, A. K., and ISMAIL, M. S. (2012). Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions. *Renewable energy*, 44, 215-224.
- EMEÇ.Ş.. and TEKİN.D.2022.Housing Demand Forecasting with Machine Learning Methods, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,36-52.
- GÜLER. B (2019). Dikey Eksenli Örnek Rüzgar Türbini Tasarımı. *Eskişehir Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü ,İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı ,Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı*.
- GÜNEY.İ., ve SELVİ.H.,2023.Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Anormal İçme Suyu Tüketimlerinin Tespit Edilmesi ve Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi.*Sakarya*

- Üniversitesi.Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Sakarya, Zeki Sistemler Teori Ve Uygulamaları dergisi,159-173.
- KARADÖL.İ.,KEÇECİOĞLU.F.,AÇIKGÖZ.H.,veŞEKKELİ.M.,2017,Kahramanmaraş Bölgesi İçin Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Hibrit Sisteminin İncelenmesi.Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri dergisi,20(2).
- KHAN. P. W., YEUN. C. Y., and BYUN. Y. C. ,2023. Fault detection of wind turbines using SCADA data and genetic algorithm-based ensemble learning, Engineering Failure Analysis, 148,107209.
- KILINÇ.C.,2022.Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ile sera sulama sistemi tasarımı: İzmir örneği ,Politeknik dergisi,435-442.
- MUSBAH. H., ALY. H. H. and LITTLE. T. A. ,2021. Energy management of hybrid energy system sources based on machine learning classification algorithms, Electric Power Systems Research, 199, 107436.
- NACAR. E., ve ERDEBİLLİ. B.,2021.Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Satış Tahmini, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,307-320.
- SAMBANA. B., NAIDU. P. A., JARABALA. R. and NARAYANA. V. N. S. L. ,2023. Performance validation of wind turbines using machine learning methodologies. Materials Today: Proceedings, 80, 2845-2849.
- SARIIŞIK, G., ÖZDEMİR, A., KAYA, G. ve ALP, H., 2019. Rüzgâr Türbinli ve Güneş Panelli Hibrit Akıllı Çevre Aydınlatma Sistemleri Tasarımı, 3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-1 Aralık, Şanlıurfa,s.170-178.
- SHAO. K., HE. Y., XING. Z. and DU. B. ,2023. Detecting wind turbine anomalies using nonlinear dynamic parameters-assisted machine learning with normal samples. Reliability Engineering & System Safety, 233, 109092.
- SOYLU. B. N. ,2019. Yenilenebilir enerji kaynakları ve Konya ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Konya.
- TCETKB, 2023. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://enerji.gov.tr>. Erişim Tarihi 19.12.2023.
- TCETKB, 2022. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç, Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı, <http://enerji.gov.tr>. Erişim Tarihi 19.12.2023.
- TCDB, 2022. Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. <https://www.mfa.gov.tr>. Erişim Tarihi 01.12.2023.
- YAĞLI. H. ve Yıldız. K. O. Ç. ,2020. Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 475-483.
- YAĞMUR.E., ve YAĞMUR.S.,2022.Rüzgar Gücü Tahmininde Genetik Algoritma ile Öznitelik Seçimi,Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri dergisi,1028-1040.
- YENADER, 2023. Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Derneği: <https://yenader.org/tr> tr. Erişim Tarihi:19.11.2023.
- YE3DE3, 2023. 3DE3 Yenilenebilir Enerji. <https://www.3de3enerji.com.tr>.Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- YILDIZ.M., BİNGÖL.F.,2019.Küçük ve mikro ölçekli enerji yatırımı için hibrit enerji

modeli,Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri dergisi,25(1),1-6.  
YÜZER.E., ERDUMAN.A., ve DURUSU.A., 2018.Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri için Şarj Regülâtörü Tasarımı,Erzincan Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, Erzincan,11.  
ZAZOUM. B., 2022. Solar photovoltaic power prediction using different machine learning methods, Energy Reports, 8,19-25.

