

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN YER SEÇİM ANALİZİ: GİRESUN İLİ
ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS

Mustafa Alperen ŞENSOY

Ocak 2026
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN YER SEÇİM ANALİZİ: GİRESUN İLİ
ÖRNEĞİ**

**SITE SELECTION ANALYSIS FOR WIND POWER PLANT: THE CASE OF
GİRESUN PROVINCE**

YÜKSEK LİSANS

Mustafa Alperen ŞENSOY

**Ocak 2026
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE
ÜNİVERSİTESİ**
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN YER SEÇİM ANALİZİ: GİRESUN İLİ
ÖRNEĞİ**

**SITE SELECTION ANALYSIS FOR WIND POWER PLANT: THE CASE OF
GİRESUN PROVINCE**

YÜKSEK LİSANS

MUSTAFA ALPEREN ŞENSOY

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ KEMAL ÇELİK

**Ocak 2026
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans olarak hazırlamış olduğum “**Rüzgâr Enerjisi Santrali İçin Yer Seçim Analizi: Giresun İli Örneği**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

15/01/2026

Mustafa Alperen ŞENSOY

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen, yardım eden ve katkıda bulunan herkese çok teşekkür ederim.

Araştırmamın her aşamasında bana yol gösteren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK 'e öncelikle minnettarım. Hem akademik hem de kişisel olarak bana çok ilham vermiştir.

Çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bana yardımcı olan ve bu sürecin benim için daha anlamlı ve verimli olmasını sağlayan aileme sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Özellikle anneme, babama ve eşime, bana her zaman güvenip yardım ettikleri için minnettarım. Onların sabrı ve sevgisi olmasaydı bugün bu noktaya gelmem mümkün olmazdı.

Herkese şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Mustafa Alperen ŞENSOY
GÜMÜŞHANE – 2026

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin artan enerji ihtiyacı ve enerjide dışa bağımlılığının azaltılması gerekliliği doğrultusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin etkin kullanımına yönelik olarak Giresun ili için rüzgâr enerji santrali (RES) yer seçim analizi gerçekleştirilmiştir. Giresun ili genelinde faal durumda olan RES yatırımlarının bulunmaması, ilin rüzgâr enerjisi potansiyelinin bilimsel ve mekânsal yöntemlerle değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Giresun ili sınırları içerisinde RES kurulumu açısından potansiyel taşıyan ve teknik açıdan uygun alanların belirlenmesidir.

Bu doğrultuda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) birlikte kullanılmış, analizler ArcGIS 10.5 yazılımı aracılığıyla yürütülmüştür. Reclassify, Euclidean Distance ve Weighted Overlay analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Analiz sürecinde rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık ve yükseklik gibi RES yer seçimini etkileyen temel kriterler dikkate alınmıştır.

Elde edilen uygunluk haritası; uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun ve çok uygun olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, RES kurulumu açısından uygun alanların genel olarak ilin orta ve güneydoğu kesimlerinde yoğunlaştığı, dağlık ve engebeli alanlarda ise kısıtların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çok uygun alanların sınırlı olması, Giresun ili genelinde RES yatırımlarının planlı ve seçici bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen uygunluk haritaları, Giresun ili için rüzgâr enerjisi yatırımlarına yönelik ilk mekânsal rehber niteliği taşımakta olup, karar vericiler için önemli bir karar destek aracı sunmaktadır. CBS ve AHP'nin birlikte kullanıldığı bu yaklaşımın, benzer özellikteki bölgelerde gerçekleştirilecek RES yer seçim çalışmalarında etkili ve uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Rüzgâr enerji santrali, Rüzgâr türbini, Yenilenebilir enerji, Yer seçim analizi

ABSTRACT

In this study, in line with Turkey's increasing energy needs and the necessity to reduce its dependence on foreign energy sources, a wind energy power plant (WEP) site selection analysis was conducted for Giresun province, focusing on the effective use of wind energy, one of the renewable energy sources. The absence of active wind energy plant investments throughout Giresun province necessitates the evaluation of the province's wind energy potential using scientific and spatial methods. In this context, the main objective of the study is to identify areas within the borders of Giresun province that have potential for WPP installation and are technically suitable.

To this end, Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP) were used together, and the analyses were performed using ArcGIS 10.5 software. The Reclassify, Euclidean Distance, and Weighted Overlay analysis methods were utilized. During the analysis process, key criteria affecting RES site selection, such as wind speed, land use, distance from residential areas, and elevation, were taken into account.

The suitability map obtained has been divided into five classes: unsuitable, slightly suitable, moderately suitable, suitable, and highly suitable. Upon examining the results, it was determined that areas suitable for wind energy plant installation are generally concentrated in the central and southeastern parts of the province, while restrictions are greater in mountainous and rugged areas. Furthermore, the limited number of highly suitable areas indicates that wind energy investments in Giresun province should be evaluated with a planned and selective approach.

The suitability maps obtained serve as the first spatial guide for wind energy investments in Giresun province and provide an important decision support tool for decision-makers. This approach, which combines GIS and AHP, has been found to be effective and applicable in WPP site selection studies to be carried out in regions with similar characteristics.

Keywords: Geographic Information Systems, Wind power plant, Wind turbine, Renewable energy, Site selection analysis

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. Rüzgâr Enerji Santrali Yer Seçimine Etki Eden Kriterler	13
2.2. Rüzgâr Enerjisi Santrali Kurulumu	13
2.3. Rüzgâr Enerji Santrali ÇED Raporu ve İzin Süreci	13
2.3.1. Ön Fizibilite ve Proje Planlama	14
2.3.2. Arazi ve Mülkiyet Çözümleri.....	14
2.3.3. Şebeke Bağlantı Başvurusu.....	14
2.3.4. ÇED Süreci	14
2.3.5. Lisans Süreci	14
2.3.6. İmar ve Planlama Kararları	15
2.3.7. İnşaat ve Montaj İzinleri	15
2.3.8. Kabul, İşletme ve Sistem Kullanım İzinleri	15
2.4. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri	16
2.5. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	18
3. ENERJİ KAYNAKLARI.....	21
3.1. Yenilenemeyen Enerji.....	24
3.1.1. Doğalgaz	24
3.1.2. Petrol	26
3.1.3. Kömür	27
3.1.4. Nükleer enerji.....	27
3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	27
3.2.1. Güneş Enerjisi	28
3.2.2. Hidrolik Enerjisi.....	30

3.2.3. Biyokütle Enerjisi	33
3.2.4. Dalga Enerjisi.....	34
3.2.5. Hidrojen Enerjisi	36
3.2.6. Rüzgâr Enerjisi.....	37
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	54
4.1. Araştırma Hipotezi	54
4.2. Çalışma Bölgesi	54
4.3. Veri Kaynaklarının Belirlenmesi ve Elde Edilmesi	55
4.4. ArcGIS Tabanlı Coğrafi Veritabanının Oluşturulması	57
4.5. AHP ile Ağırlıkların Belirlenmesi	58
4.6. AHP Kapsamında Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması	60
5. BULGULAR.....	63
5.1. ÇKKV Yöntemleri ve CBS Tabanlı Analizler Kullanılarak En Uygun RES Alanlarının Belirlenmesi	63
5.1.1. Kullanılacak altıkların hazırlanması	63
5.1.2. Rüzgâr hızı haritasının oluşturulması.....	64
5.1.3. Yükseklik haritasının oluşturulması.....	68
5.1.4. Trafo ve Enerji Nakil Hattına uzaklık haritası oluşturulması	70
5.1.5. Eğim haritasının oluşturulması	73
5.1.6. Arazi kullanım haritası oluşturulması	75
5.1.7. Yola uzaklık haritası oluşturulması.....	79
5.1.8. Akarsuya uzaklık haritasının oluşturulması	81
5.1.9. Göl ve korunan alana uzaklık haritası oluşturulması	83
5.1.10. Fay hattına uzaklık haritası oluşturulması	86
5.1.11. Yerleşime uzaklık haritasının oluşturulması	89
5.1.12. Sonuç haritalarının karşılaştırılması.....	91
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	92
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKÇA.....	102
ÖZGEÇMİŞ	113

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. RES uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin literatür taraması	11
Tablo 2. Kurumlar ve alınan izinler.....	16
Tablo 3. AHP değerlendirme aşamasındaki ikili karşılaştırma puanlaması	18
Tablo 4. AHP değerlendirme aşamasındaki ikili karşılaştırma puanlaması	50
Tablo 5. Çalışmada kullanılan parametrelere ilişkin harita katmanları ve veri özellikleri.....	57
Tablo 6. Can ve Yücel (2019) tarafından Çanakkale ili için kullanılan kriterler ve ağırlık puanı	58
Tablo 7. Arca ve Çıtıroğlu (2020) tarafından Karabük ili için kullanılan kriterler ve ağırlık puanı	59
Tablo 8. Parametrelerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılan ağırlıklandırma katsayıları.....	59
Tablo 9. AHP uygunluk ölçeği	60
Tablo 10. RES yer seçiminde kullanılan faktörlerin ikili karşılaştırma matrisi	61
Tablo 11. Normalizasyon matrisi	61
Tablo 12. Öz vektör değerleri.....	62
Tablo 13. Rüzgâr hızına karşılık gelen alanların hesaplanması	68
Tablo 14. Yükseklik verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları	70
Tablo 15. ENH verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları.....	73
Tablo 16. Eğim verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları	75
Tablo 17. Tablo CORINE Sınıflandırma Sistemi.....	76
Tablo 18. Arazi kullanımı verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları.....	78
Tablo 19. Yola uzaklığına göre alan hesabı ve ağırlık puanları	81
Tablo 20. Akarsuya uzaklığa göre alan hesabı ve ağırlık puanları.....	83
Tablo 21. Göl ve korunan alana göre alan hesabı ve ağırlık puanları	86
Tablo 22. Fay hattına göre alan hesabı ve ağırlık puanları.....	89
Tablo 23. Yerleşime uzaklığa göre alan hesabı ve ağırlık puanları.....	91
Tablo 24. Tablo ağırlık değerleri	92
Tablo 25. RES Uygun alanların hesaplanması	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İş akış şeması.....	4
Şekil 2. Dünyadaki temel enerji kaynaklarının arzı.....	21
Şekil 3. Dünyadaki kişi başına enerji kullanımı	22
Şekil 4. Türkiye’ de kişi başına enerji tüketimi	22
Şekil 5. 2024 yılı Türkiye’ de enerji elde edilen kaynaklar ve payları.....	23
Şekil 6. Enerji kaynaklarının türleri.....	24
Şekil 7. 2024 yılı toplam doğal gaz arzının karşılandığı kaynakların payları ..	25
Şekil 8. 2024 yılı kaynak ülkeler bazında Türkiye’nin doğal gaz ithalatı	25
Şekil 9. Ülkelere göre ham petrol rezervleri.....	26
Şekil 10. Türkiye’de kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi	28
Şekil 11. Türkiye güneş radyasyonu haritası.....	29
Şekil 12. Aylık ortalama radyasyon değeri.....	29
Şekil 13. Haziran 2022 kurulu güç	30
Şekil 14. Hidroelektrik enerjisine dayalı güç	31
Şekil 15. Jeotermal kaynaklar ve uygulama	32
Şekil 16. Jeotermal enerji kaynaklı kurulu güç	33
Şekil 17. Biyokütle kaynaklarından çevrim yöntemleri uygulanarak elde edilen farklı yakıt türleri.....	33
Şekil 18. Kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	34
Şekil 19. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin kıyıya olan mesafelerine göre gruplandırılması.....	35
Şekil 20. Bazı dalga enerjisi dönüştürücülerinin tipleri.....	36
Şekil 21. Rüzgâr enerji santrali.....	38
Şekil 22. Türkiye rüzgâr hızı haritası	39
Şekil 23. RES’ in kümülatif kurulumu	39
Şekil 24. Türkiye’de kurulu rüzgâr enerji santrallerini gösteren harita.....	40
Şekil 25. RES’ in bölgelere göre dağılım grafiği	41
Şekil 26. RES’ in illere göre dağılım haritası	41
Şekil 27. Rüzgâr türbin elemanları	43
Şekil 28. Rüzgâr türbinlerinin gruplandırılması	44
Şekil 29. Rüzgâr türbin kanatlarının çapı ve yüksekliği.....	45
Şekil 30. Denizde ve karada kurulan RES’lerin tarihsel gelişimi	46

Şekil 31. Rüzgâr türbinlerinin temel yapısına şekilleri	47
Şekil 32. Goldwind türbini	47
Şekil 33. Bazı hibrit sistem örnekleri	48
Şekil 34. Enerji adası örneği	49
Şekil 35. Çalışma bölgesi Giresun haritası	55
Şekil 36. Giresun ili 100 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı haritası	65
Şekil 37. Giresun ili rüzgâr hızı ve yönü	65
Şekil 38. Rüzgâr hızı haritası.....	67
Şekil 39. Yükseklik haritası.....	69
Şekil 40. ENH uzaklık uygunluk haritası	72
Şekil 41. Eğim uygunluk haritası.....	74
Şekil 42. Arazi kullanım uygunluk haritası	77
Şekil 43. Yola uzaklık uygunluk haritası.....	80
Şekil 44. Akarsuya uzaklık uygunluk haritası	82
Şekil 45. Göl ve baraja uzaklık uygunluk haritası	85
Şekil 46. Faya uygunluk uygunluk haritası	88
Şekil 47. Yerleşime uzaklık uygunluk haritası	90
Şekil 48. Uygun ve çok uygun alanların uydu gösterimi	94
Şekil 49. RES uygunluk haritası.....	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CI	: Tutarlılık İndeksi
CO ₂	: Karbondioksit
CR	: Tutarlılık Oranı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FUCOM	: Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method)
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GİTOM	: Giresun İl Tarım Orman Müdürlüğü
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
KWh	: Kilowatt saat
Mw	: Megawatt
MWh	: Megawatt saat
MWm	: Mekanik Kurulu Güç
NHMRC	: Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi
NO _x	: Azot oksit
PV	: Fotovoltaik
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
RI	: Tesadüfilik Göstergesi
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SO ₂	: Kükürtdioksit
TWh	: Terawatt saat
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WLC	: Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
WWF	: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
YEGM	: Yenilenebilir Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

1.GİRİŞ

Enerji talebi hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte hızla artmaktadır. Enerji üretimi, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasının temel göstergelerinden biri olup sürdürülebilir büyüme açısından kritik bir role sahiptir. Enerji tüketimi ile ekonomik ve sosyal kalkınma arasında doğrudan bir ilişki bulunduğu birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Baños vd., 2011; Koç ve Kaplan, 2008). Artan nüfus ve gelişen yaşam koşulları doğrultusunda, daha fazla enerjinin ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir yöntemlerle elde edilmesi zorunlu hâle gelmiştir. Nitekim 2040 yılına kadar dünya genelinde enerji talebinin %35, gelişmekte olan ülkelerde ise %65 oranında artması beklenmektedir (ExxonMobil, 2014).

Günümüzde artan enerji talebi, birçok ülkenin bu ihtiyacı karşılamada ciddi zorluklarla karşılaşmasına neden olmaktadır. Enerji üretiminde ağırlıklı olarak fosil yakıtların kullanılması; hava kirliliğini artırmakta, küresel ısınma sürecini hızlandırmakta ve bu kaynakların sınırlı olması nedeniyle uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm sunamamaktadır. Bu durum, enerji üretiminde alternatif ve çevre dostu kaynaklara yönelimi zorunlu hâle getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Yenilenebilir enerji yatırımları ağırlıklı olarak rüzgâr, güneş, hidroelektrik, jeotermal ve dalga enerjisi kaynakları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu kaynaklar arasında rüzgâr enerjisi; geniş coğrafi dağılıma sahip olması, teknolojik gelişmelere bağlı olarak yatırım ve işletme maliyetlerinin azalması ve çevresel etkilerinin sınırlı olması nedeniyle önemli bir konuma sahiptir. Özellikle kara üzerinde kurulan RES, erişilebilirlik, kurulum kolaylığı ve altyapı olanakları açısından birçok ülkede yaygın olarak tercih edilmektedir.

Rüzgâr enerjisinin kullanımı, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminde ortaya çıkan sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlamakta ve hava kirliliği ile mücadelede önemli bir rol üstlenmektedir. Elektrik üretimi sırasında yakıt tüketimi gerektirmemesi, RES' i düşük karbon salımına sahip bir enerji üretim seçeneği hâline getirmektedir. Ayrıca üretim sürecinde su tüketimine ihtiyaç duyulmaması, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde rüzgâr enerjisini çevresel açıdan avantajlı bir alternatif yapmaktadır. Bununla birlikte santral kurulumu, işletme ve bakım

süreçlerinde sağlanan istihdam olanakları, rüzgâr enerjisinin ekonomik katkılarını da artırmaktadır.

Bu çevresel ve ekonomik avantajlar doğrultusunda, rüzgâr enerjisine yönelik yatırımlar hem Türkiye’de hem de dünya genelinde artan bir ivme kazanmıştır. Rüzgâr türbinleri ağırlıklı olarak kara alanlarında kurulmakta olup, deniz üstü rüzgâr santralleri de uygulanan alternatifler arasında yer almaktadır. Deniz üstü rüzgâr santralleri, yüksek rüzgâr potansiyeline sahip olmaları nedeniyle bazı avantajlar sunsa da yüksek kurulum ve bakım maliyetleri ile teknik zorluklar sebebiyle kara üstü santraller günümüzde daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) 2030, çevresel, ekonomik ve sosyal kalkınmayı birlikte ele alan küresel bir yol haritasıdır. Bu hedefler içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle RES kritik bir öneme sahiptir. RES, başta SKA 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) olmak üzere birçok sürdürülebilir kalkınma hedefiyle doğrudan ilişkilidir.

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltması, sera gazı emisyonlarını düşürmesi ve iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlaması nedeniyle SKA 13 (İklim Eylemi) kapsamında önemli bir araç olarak görülmektedir. Ayrıca, yerli ve yenilenebilir bir kaynak olması sayesinde ülkelerin enerji arz güvenliğini artırmakta, enerji ithalatını azaltarak ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır.

RES yatırımları, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp aynı zamanda istihdam oluşturma, bölgesel kalkınmayı destekleme ve teknolojik gelişimi teşvik etme gibi sosyo-ekonomik kazanımlar da sunmaktadır. Bu yönüyle rüzgâr enerjisi, SKA 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve SKA 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı) hedefleriyle de örtüşmektedir.

Sonuç olarak, Birleşmiş Milletler’ in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda RES; temiz, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretiminin yaygınlaştırılması, iklim değişikliğiyle mücadele ve uzun vadeli kalkınmanın sağlanması açısından stratejik bir rol üstlenmektedir.

Türkiye’nin enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü dış kaynaklardan karşılaması, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından çeşitli riskleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Rüzgâr enerjisi, yerli potansiyelin kullanılması, dışa bağımlılığın azaltılması ve uzun vadeli enerji planlamasına katkı sağlaması açısından stratejik bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

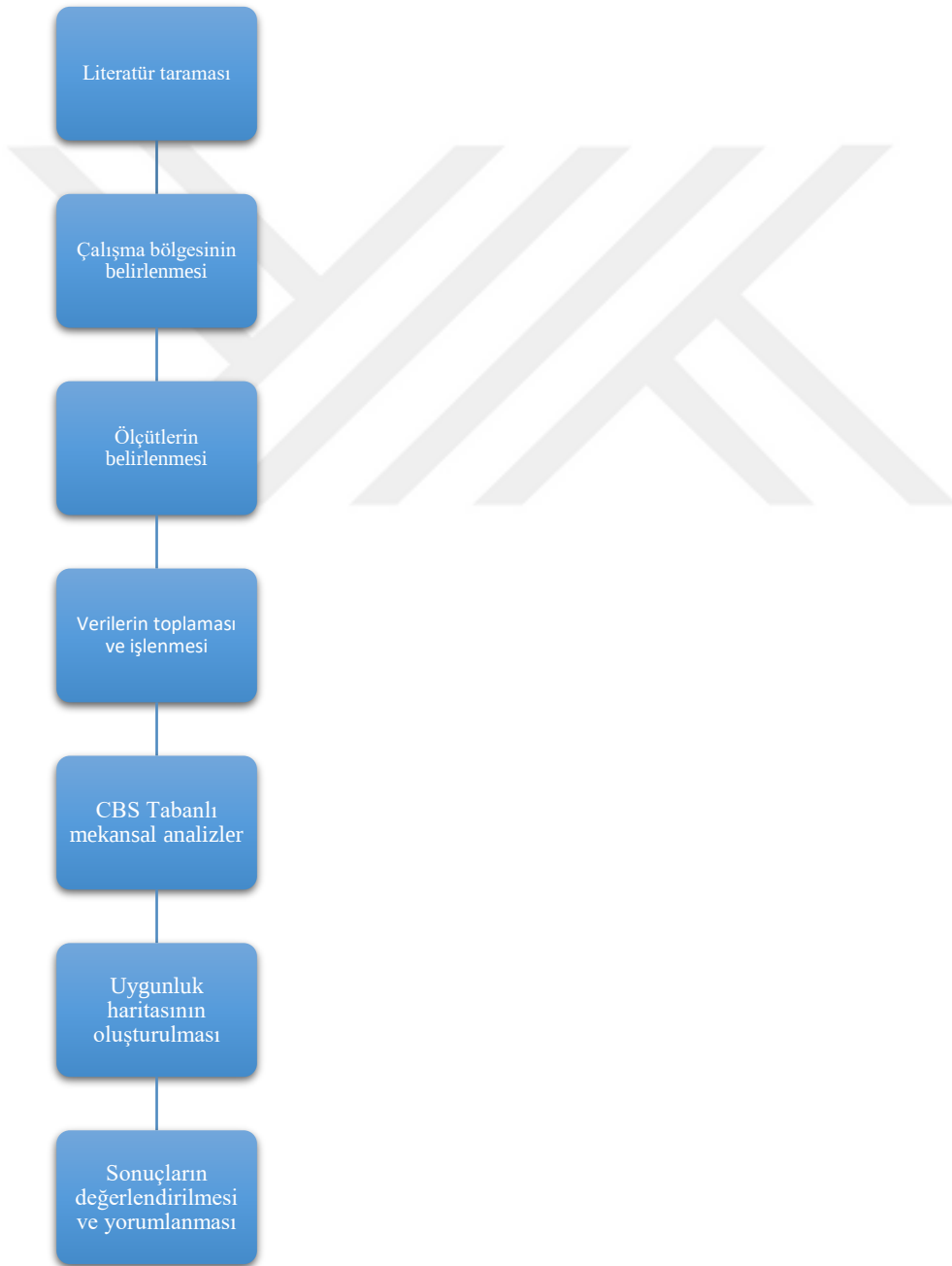
RES' in çevreye zararlı gaz salımı yapmaması, yatırım maliyetlerinin teknolojik gelişmelerle birlikte azalması, istihdam olanakları yaratması ve su tüketimi gerektirmemesi, bu santrallerin elektrik üretiminde öncelikli olarak tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Bununla birlikte, santral kurulum alanlarında gürültü, görsel etki ve doğal yaşam üzerindeki baskılar gibi bazı olumsuzluklar da ortaya çıkabilmektedir. Ancak bu etkiler, uygun yer seçimi, planlama ve çok kriterli değerlendirme yöntemleri ile büyük ölçüde azaltılabilmektedir.

Giresun ili için RES analizinin yapılmasının amacı, doğusunda Trabzon ve batısında Ordu illerinde rüzgâr santrallerinin bulunmasına karşın, Giresun'da henüz herhangi bir rüzgâr santralinin mevcut olmamasıdır. Bu durum, Giresun'un rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesini zorunlu kılmakta ve çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Bu doğrultuda belirlenen alt hedefler şunlardır:

- Rüzgâr enerjisi, çevre dostu, yenilenebilir ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak ele alınmış; bu kaynaktan maksimum verimin sağlanabilmesi amacıyla karada kurulacak RES' in planlama ve yer seçim sürecinde dikkate alınması gereken teknik, çevresel ve mekânsal kriterler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, rüzgâr enerjisi yatırımlarının sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.
- Giresun ili genelinde hâlihazırda faal RES yatırımlarının bulunmaması dikkate alınarak, RES bulunmayan alanların rüzgâr enerjisi açısından potansiyeli belirlenerek olası RES yatırımları için veri sağlamak hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, ilin farklı bölgelerinde rüzgâr enerjisi üretimine elverişli alanların belirlenmesi ve bu alanların mekânsal olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir.
- Çalışmanın temel amacı doğrultusunda, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tercih edilmiştir. AHP' nin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyonu sayesinde, rüzgâr enerjisi yer seçiminde uygulanabilir, sistematik ve tekrarlanabilir bir yöntem ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu yaklaşımın, benzer nitelikteki çalışmalarda yöntemsel bir örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir.
- CBS tabanlı mekânsal analizler aracılığıyla elde edilen uygunluk haritaları ile, yer seçim sürecinde karşılaşılan belirsizliklerin azaltılması ve karar verme sürecinin daha nesnel bir yapıya kavuşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, karar vericilere bilimsel temellere dayanan bir karar destek altyapısı sunulması hedeflenmiştir.

- Çalışma sonuçlarının, yerel yönetimler, kamu kurumları ve yatırımcılar tarafından gerçekleştirilecek enerji planlaması ve arazi kullanım kararları açısından yol gösterici nitelik taşıması amaçlanmaktadır. Bu sayede, bölgesel ölçekte enerji üretim kaynaklarının çeşitlendirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.
- Elde edilen bulguların, Türkiye’de karasal RES yer seçimine yönelik literatüre bölgesel ölçekte katkı sunması ve ileride gerçekleştirilecek akademik ve uygulamalı çalışmalara altlık oluşturması amaçlanmıştır.



Şekil 1. İş akış şeması

Çalışmanın sonunda, hem mevcut sistemin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konulmuş hem de yerel yönetimlerin dijital dönüşüm süreçlerinde karşılaşılabilecekleri engellere yönelik çözüm stratejileri sunulmuştur. Giriş bölümünü takiben literatür özeti, metodoloji, bulgular, değerlendirme ve sonuç bölümleriyle tez yapısal olarak ilerlemiş ve her bir bölümde ilgili araştırma sorularına sistematik biçimde yanıt aranmıştır.



2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi olan rüzgâr enerjisi üzerine pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Yeni RES yerlerinin belirlenmesi ve enerji potansiyelini hesaplamak için çeşitli uygulamalar birçok akademik çalışmanın odak noktası olmuştur.

Ali vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Tayland'ın güneyinde bulunan Songkhla eyaletinde GES ve RES için uygun alanların belirlenmesine odaklanmıştır. Bu analiz, CBS ve AHP yöntemlerini kullanıp çeşitli 5 kriter temel alınarak uygun yerlerin değerlendirilmesi gerçekleştirmiştir.

Ayodele vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Nijerya'daki uygun RES için alanı belirlemek amacıyla AHP yöntemini kullanıp bir model geliştirdiler. Bu model, RES geliştirme sürecinde ekonomik, sosyal ve çevresel kriterleri dikkate alarak uygun alanların değerlendirilmesini sağlamıştır.

Bennui vd. (2007) çalışmasında, Tayland için uygun RES alanlarını belirlemede CBS ve AHP yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucuna göre, uygun RES alanlarının belirlenmesinde rüzgâr potansiyelinin ve yükseklik seviyesinin en etkili kriterlerin olduğu sonucuna varmışlardır.

Talinli vd. (2011) çalışmasında, bulanık AHP yöntemini kullanarak uygun RES yerlerini belirlemek amacıyla 14 kriteri değerlendirmiştir. Bu araştırmaya göre çevresel unsurlar yer seçiminde dikkat edilmesi gerekli en önemli bileşen olduğu sonucuna varmışlardır.

Tugou vd. (2010) çalışmasında, RES' in kurulum yeri olarak Yunanistan'ı seçtiler ve CBS ve AHP yöntemlerini kullanarak yer seçimini değerlendirmişlerdir. Çalışma, çevresel, teknik ve ekonomik kriterleri incelemiş ve rüzgâr potansiyelinin RES yer seçiminin en önemli bileşeni olduğunu bulmuşlardır.

Azizi vd. (2014) çalışmasında, İran'ın Ardabil ilinde CBS uygulamaları kullanarak uygun RES yerlerinin seçimi için kullanılan kriterler arasındaki ilişkileri belirlemişlerdir. 13 kriter kullanılarak yapılan analiz sonucunda, uygun RES alanlarının belirlenmesinde en önemli faktörün rüzgâr potansiyeli olduğu ortaya koymuşlardır.

Urfalı vd. (2021) çalışmasında, Kayseri ili için RES uygun alanlarını belirleyebilmek için 12 kriter kullanılmıştır. Analizler, AHP yönteminin uygulanmasıyla yapılmış ve kriterlerin önem sıralaması belirlenmiştir. Rüzgâr hızına

en yüksek ağırlık verilmiştir. Ayrıca CBS uygulaması kullanılmış olup kriterlerinde konumsal analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda Kayseri ili için rüzgâr potansiyeli yüksek olan uygun alanlar tespit etmiştir.

Akkaya (2019) yaptığı yüksek lisans tezinde, Tekirdağ ilindeki yeni RES yerlerini belirlemeyi amaçlamıştır. CBS uygulaması kullanarak rüzgâr enerjisinden yararlanabilecek yerleri belirlemek için meteorolojik iklim verilerini, yüksekliği ve eğimi ve enerji nakil hatlarının yerlerini dikkate alarak analiz yapmıştır. Rüzgâr enerjisinin etkili bir şekilde kullanılabileceği alanları keşfetmiş ve bunları haritalandırmıştır.

Yıldız (2021a) çalışması, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 5 yıllık verilerden alınan 32 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak Balıkesir ili için 50 ve 80 metre yükseklikteki rüzgâr hızlarını gösteren haritalar oluşturmuştur. Hızı 6 m/s'den fazla olanlar, uygun olmayan ve yasak olan alanlar olarak ayrılmıştır. Balıkesir ilinde 50 m yükseklikte 6 m/s'nin üzerinde rüzgâr hızı olan alanları bulmuştur. Bu rüzgâr hızı, RES kurabilmek için ekonomik verimlilik sınırı olarak bilinir.

Oral vd. (2019) çalışmasında, Sakarya ili Esentepe bölgesine ilişkin üç aylık rüzgâr verilerini kullanıp istatistiksel analiz ve WindPRO programı yardımıyla rüzgâr enerjisi analizini yapmıştır. Ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr gücünün değerleri hesaplanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme neticesinde elde edilen sonuçlarının yakın değerler taşıdığını gözlemiştir, WindPRO programı ile seçilen bölgeye yönelik bir rüzgâr türbininin enerji üretimi ve kapasite faktörü yaklaşık olarak hesaplamıştır.

Silubun (2019) çalışmasında, Merauke şehrinde rüzgâr enerjisinin potansiyelini incelemiştir. Bu çalışmada, rüzgâr hızının dağılımını tahmin etmek için iki parametrelili Weibull dağılımı analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, rüzgâr hızının olasılık dağılımını modelleyerek rüzgâr enerjisinin potansiyelini belirlemeye yardımcı olmuştur.

Amadi (2018) çalışmasında, Nijerya'daki üç farklı lokasyonun, yani Yenagoa, Calabar ve Port Harcourt'un rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. 2013-2017 dönemine ait, Nijerya Meteoroloji Ajansı'ndan elde edilen 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hız verileri kullanılarak, Weibull iki parametrelili olasılık dağılım modeli uygulanmıştır. Bu modeli, rüzgâr enerjisinin potansiyelini değerlendirmek amacıyla kullanmıştır.

Mentis (2013) tez çalışmasında, Afrika kıtasındaki rüzgâr gücünün potansiyelini değerlendirmiştir. Seçilen rüzgâr türbinin ürettiği rüzgâr enerjisi, yüksek ve düşük çözünürlüklü rüzgâr hızı verilerinin birleştirilmesi yoluyla hesaplanmıştır. RES alanı ArcGIS yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.

Ramachandra ve Shruthi (2005) çalışmasında, Hindistan'ın Karnataka eyaletinde rüzgâr enerjisi kullanımına yönelik potansiyel alanların haritalanması üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada, Karnataka'nın rüzgâr enerjisi kaynakları, konumsal ve mevsimsel değişkenlikleri ile birlikte CBS kullanılarak analiz edilmiştir. Rüzgâr potansiyelinin mevcut durumu değerlendirilmiş ve rüzgâr enerjisine uygun alanlar için haritalar hazırlanmıştır. Ayrıca, rüzgâr hızının verilerini içeren bir konumsal veri tabanı oluşturmuştur.

Sliz-Szkliniarz ve Vogta (2011), Kujawsko–Pomorskie Voivodeship'te rüzgâr enerjisi projeleri için yer seçimi sürecini desteklemek için CBS tabanlı bir çalışma geliştirmiştir. Rüzgâr enerjisi projelerinin yer seçimini kolaylaştıran ve hem teknik hem de daha ekonomik tahminleri sunan bir model geliştirmiştir.

Gökçek vd. (2007) çalışmada, Kırklareli iline ait rüzgârın yapısını ve rüzgâr enerji potansiyeli incelemiştir. Saatlik olarak ölçülen rüzgâr verisini kullanarak Weibull ve Rayleigh fonksiyonlarıyla rüzgâr özellikleri ve enerji potansiyeli değerlendirmiştir.

Ersoy vd. (2013) çalışmasında, Kırklareli ilindeki rüzgâr potansiyeli detaylı bir şekilde incelenmiştir. Türkiye'nin batı bölgesindeki rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesinde MGM Kırklareli ofisinden sağlanan veriler kullanılmıştır. Çalışmada, 7,8 MW'lık rüzgâr santralının enerji üretimi ve kapasitesinin kullanma oranları dikkate alınarak bölgenin rüzgâr santrali yatırımı için uygun olup olmadığını araştırmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini incelemek için Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) modeli kullanmıştır.

Çakmakçı ve Hüner (2019) çalışmasında, Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımlarını kullanmışlardır. Sonbahar döneminde kaydedilen beş dakikalık rüzgâr hız verilerini istatistiksel olarak incelemiştir. Çalışma, farklı dağılımların rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemede nasıl performans gösterdiğini değerlendirmeyi hedeflemiştir.

Kayı (2017) yüksek lisans tezinde, Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu'nun rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemiştir. 20 m yükseklikte bulunan bir rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak, Weibull dağılımı ile

yerleşkenin rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bu çalışma, belirli bir yükseklikteki verilerin rüzgâr potansiyelini analiz etmek için nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.

Kırklareli ilinde gerçekleştirilen araştırmalarda (Gökçek vd., 2007; Ersoz vd., 2013; Çakmakçı ve Hüner, 2019; Kayı, 2017) noktasal bazlı analizler yapılmıştır. Bu çalışmalar, belirli noktalarda rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesine odaklanmıştır.

Akınsal (2009) tarafından yürütülen tez çalışmasında, Türkiye'deki on bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için MGM' nin 2003-2008 yılları arasında 10 m yüksekliğinde elde edilen saatlik rüzgâr hız verilerini kullanmıştır. Bu bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemiştir.

Ecer (2021) çalışmasında, RES alanlarının belirlenmesinde kullanılan faktörleri Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) ile incelemiştir. Bu çalışmada, uygun RES alanlarının rüzgâr enerji potansiyeline ve yerleşim yeri uzaklığına bağlı olduğunu göstermiştir. FUCOM yöntemi, çeşitli kriterlere dayalı karar alma süreçlerinde tutarlılığı sağlamak amacıyla uygulanan bir ağırlıklandırma yöntemidir.

Miller ve Li (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, Kuzeydoğu Nebraska bölgesindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli için uygun alanların tespiti amacıyla CBS tabanlı çok kriterli bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, yollara mesafe, enerji hatlarına yakınlık, nüfus yoğunluğu, rüzgâr potansiyeli, arazi kullanımı, şehir merkezlerine uzaklık ve eğim gibi yedi farklı kriteri göz önünde bulundurmıştır. Oluşturulan model, bu kriterlere dayanarak rüzgâr santralleri için uygun bölgeleri belirlemede etkili olmuştur.

Aydiner (2020) yapmış olduğu tez çalışmasında çalışma yeri olarak Ege denizini seçmiş ve çalışmasında dalga ve rüzgâr enerji sistemleri için yer seçim analizi konusunu seçmiştir. Tezinde uygunluk haritası oluşturmak için rüzgâr hızını, dalga yüksekliğini, denizin derinliğini, trafo merkezine, limana, kıyıya olan uzaklığını ve deniz tabanı tipini incelemiştir. Bu bağlamda en uygun yerin Bozcaada etrafında toplandığını tespit etmiştir.

Ekiz vd. (2022) yılında kaleme aldıkları makalede, Kocaeli ilinin RES yer seçimi ele alınmıştır. Çalışmada, rüzgârın hızı, koruma alanları, kuşların göç yolları uzaklığı, trafo ve enerji nakil hatlarına yakınlık, yerleşim yerlerine mesafe, karayolları, fay hatlarına yakınlık, eğim, akarsu ve göller ile havaalanına yakınlık gibi çeşitli kriterler değerlendirilmiştir. Bu kriterler üzerinden yapılan analizler sonucunda, uygunluk sınıfları oluşturulmuş ve haritalandırma yapılmıştır. Sonuçlar, Kocaeli ilinin

%93.739'luk alanının RES için uygun olmadığını, yalnızca %6.261'lik bir kısmının uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Bıçakcı (2019) tarafından yürütülen tez çalışmasında rüzgâr hızı haritasının oluşturulması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Bu analizi yapmak için Kırklareli ilini seçmiştir. Tez için yerleşim alanları, enerji nakil hattı, doğalgaz hattı, eğim taşkın alanı, sit alanı, demiryolu hattı, su yüzeyleri, akarsular, üniversite ve sanayi merkezlerine uzaklıkları analiz ederek haritalandırmıştır. Çalışmada oluşturulan rüzgâr enerjisi potansiyeli haritasına göre, Kırklareli'nin Babaeski ilçesinin diğer ilçelerden daha fazla rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak, Pınarhisar, Lüleburgaz, Merkez ve Vize ilçeleri rüzgâr için uygun olarak değerlendirmiştir.

Alıcı (2024) tarafından yürütülen tez çalışmasında CBS tabanlı AHP kullanılarak en uygun RES alanı seçilmesi incelenmiştir. Bu analizi yapmak için Gümüşhane ilini seçmiştir. Tez için rüzgâr hızı, eğim, yol, arazi kullanımı, yükseklik, enerji nakil hattı, fay hattı, akarsuya uzaklık ve yerleşim alanına uzaklıkları analiz ederek haritalandırmıştır. Çalışmada oluşturulan uygunluk haritasına göre uygun bölgelerin, çoğunlukla yüksek ve düz plato özellikleri gösteren, şehrin güneydoğusunda yer alan Kelkit–Köse çevresinde yoğunlaştığını belirlemiştir. Buna karşılık, dağlık ve engebeli topoğrafyanın hâkim olduğu Kürtün, Torul ve Şiran bölgelerinde uygun olmayan alanların ağırlıkta olduğu, uygun görünen alanların ise santral kurulumu için gerekli geniş arazi koşullarını sağlamadığını tespit etmiştir.

Sesli (2024) yılında yazdığı makalesinde CBS ile en uygun RES yerlerinin belirlenmesi konusu incelemiştir. Yer olarak ise Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Yerleşkesi seçilmiştir. Makalede rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı, rüzgâr hız dağılımı, kapasite faktör dağılımı, yükseklik, bakı, enerji hatlarına uzaklık, eğim, yollara uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık kriterleri üzerinde analiz yapılarak haritalar üretmiştir. Analizler, Samsun ilinin Karadeniz bölgesinde RES yeri açısından uygun olduğunu göstermiştir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Yerleşkesi, rüzgâr gücü açısından potansiyele tam olarak sahip olmasa bile RES yapmak için uygun alanları içerdiğini keşfetmiştir.

Tablo 1. RES uygun yer seçiminde kullanılan kriterlerin literatür taraması

	Ali vd. (2019)	Ayodele vd. (2018)	Bennui vd. (2007)	Talinli vd. (2011)	Tegou vd. (2010)	Azizi vd. (2014)	Urfalı ve Eymen (2021)	Akkaya (2019)	Miller ve Li (2014)	Serdar Ekiz vd. (2022)	Ayşenur Kabakçı Alıcı (2024)	Ahmet Faik Sesli (2024)	Konurhan ve Başaran (2023)	Yılmaz vd. (2023)	Can ve Yücel (2019)	Arca ve Çıtıröğlu (2020)
Rüzgâr Hızı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Rüzgâr Gücü												✓	✓			
Kapasite Faktörü												✓	✓			
Enerji Hattına Uzaklık		✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ulaşım Hatlarına Uzaklık	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Eğim	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yükseklik	✓		✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bakı												✓	✓	✓		✓
Fay Hattına Uzaklık						✓				✓	✓		✓		✓	
Kurulum ve Bakım Maliyeti				✓												
Göl ve Korunan Alana Uzaklık			✓		✓	✓	✓			✓			✓		✓	
Arazi Kullanımı	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓
Yerleşim Alanına Uzaklık	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	
Havaalanına Uzaklık							✓			✓						
İklim																
Nüfus Yoğunluğu									✓							
Kuş Göç Yollarına Uzaklık										✓			✓			
Akarsuya Uzaklık											✓		✓	✓	✓	✓

Tablo 1. (Devamı)

	Ali vd. (2019)	Ayodele vd. (2018)	Bennui vd. (2007)	Talinli vd. (2011)	Tegou vd. (2010)	Azizi vd. (2014)	Urfalı ve Eymen (2021)	Akkaya (2019)	Miller ve Li (2014)	Serdar Ekiz vd. (2022)	Ayşenur Kabakçı Alıcı (2024)	Ahmet Faik Sesli (2024)	Konurhan ve Başaran (2023)	Yılmaz vd. (2023)	Can ve Yücel (2019)	Arca ve Çıtıroğlu (2020)
Litoloji													✓			
Milli Park																✓
Orman Alanına Uzaklık																✓

2.1.Rüzgâr Enerji Santrali Yer Seçimine Etki Eden Kriterler

RES için uygun yer seçimi, çok sayıda kriterin kapsamlı ve bütünlük şeklide analiz edilmesi gereken karmaşık bir süreçtir. CBS, geniş veri kümesi ve öznetelik verilerini işleyebilme kapasitesi nedeniyle, uygun yer seçimi uygulamalarında oldukça faydalıdır (Gigovic vd., 2017).

Bu aşamada, kriterlerin ana ve alt kriterler olarak sınıflandırılması ve bu kriterlerin birbirleriyle olan ağırlıklarının belirlenmesi, karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. CBS, veri toplama, analiz etme ve problemleri çözmeye aşamalarında temel bir unsur olarak öne çıkar ve istenilen sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlar (Can ve Yücel, 2019).

Arazi uygunluğu üzerine yapılan çalışmalarda genellikle 10 kriter kullanıldığı görülmektedir. Ancak, bu kriterlerin sayısı ve içeriği, farklı çalışmalar arasında değişiklik gösterebilmektedir.

2.2.Rüzgâr Enerjisi Santrali Kurulumu

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanımına ilişkin temel yasal düzenleme, 2005 yılında yürürlüğe giren 5346 sayılı Kanun ile oluşturulmuştur. Bu kanun; yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırmayı, kaynak çeşitliliğini artırmayı, sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Enerji yatırımları ise 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında düzenlenmekte olup, tüketicilere yeterli, kesintisiz, kaliteli ve düşük maliyetli elektrik arzını hedeflemektedir. RES kurulumu, lisanslı ve lisanssız üretim modelleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Lisanssız üretim için elektrik aboneliği şartı aranırken, kurulu gücü 5 MW’ den büyük tesisler için EPDK tarafından üretim lisansı alınması zorunludur.

Elektrik piyasasında üretim faaliyetleri, önce ön lisans ardından üretim lisansı süreciyle yürütülmekte; bu süreçte yatırımcıların ilgili izin, onay ve ruhsat yükümlülüklerini yerine getirmeleri gerekmektedir.

2.3.Rüzgâr Enerji Santrali ÇED Raporu ve İzin Süreci

RES, yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevreye en az zarar veren sistemlerden biri olmakla birlikte, proje sahasının seçimi, kurulumu ve işletilmesi aşamalarında çevresel, sosyal ve teknik etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu

nedenle Türkiye’de RES yatırımları, “Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği” kapsamında yürütülmektedir.

2.3.1.Ön Fizibilite ve Proje Planlama

Süreç, öncelikle projenin uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla yapılan ön fizibilite çalışmaları ile başlar. Bu aşamada rüzgâr ölçüm verileri, potansiyel enerji üretimi, arazi topoğrafyası, ulaşım ve şebeke bağlantı imkanları analiz edilir.

2.3.2.Arazi ve Mülkiyet Çözümleri

Belirlenen sahalar için mülkiyet durumu ve arazi kullanım hakkı (özel mülkiyet, orman, mera vb.) tespit edilir. Orman ve mera alanlarında yer alan projeler için Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan izin alınması zorunludur.

2.3.3.Şebeke Bağlantı Başvurusu

Uygun görülen sahalar için yatırımcı tarafından Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) veya ilgili dağıtım şirketine şebeke bağlantı görüşü başvurusu yapılır. Bu görüş, projenin elektrik sistemine teknik olarak bağlanabilirliğini belirler.

2.3.4.ÇED Süreci

Bu aşamada proje, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) koordinasyonunda yürütülen ÇED sürecine tabi tutulur.

ÇED süreci üç temel aşamadan oluşur:

- Proje Tanıtım Dosyası (PTD) hazırlanarak Bakanlığa sunulur.
- Halkın Katılımı Toplantısı düzenlenir ve yöre halkı bilgilendirilir.
- İlgili kamu kurumlarından kurum görüşleri alınır (DSİ, Kültür ve Turizm Bakanlığı, DHMİ, Karayolları, Belediyeler vb.).

Bu değerlendirmeler sonucunda Bakanlık tarafından “ÇED Olumlu” veya “ÇED Gerekli Değildir” kararı verilir.

2.3.5.Lisans Süreci

ÇED aşamasının ardından Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından projeye ön lisans verilir. ÇED olumlu kararı alınmadan ön lisans verilmez. Tüm izin süreçlerinin tamamlanmasıyla birlikte üretim lisansı aşamasına geçilir.

2.3.6.İmar ve Planlama Kararları

ÇED sürecinin ardından yatırım sahası için imar planı değişiklikleri hazırlanır ve ilgili belediye veya valilik tarafından onaylanır. Bu süreçte proje sahası, türbin noktaları, yollar ve enerji iletim hattı güzergâhı planlara işlenir.

2.3.7.İnşaat ve Montaj İzinleri

İmar planının kesinleşmesi sonrasında inşaat sürecine geçilir. Bu aşamada aşağıdaki izinler alınır:

- İş güvenliği izinleri
- Hafriyat ve ulaşım izinleri
- Orman izni (gerekiyorsa tahsis bedeli ödenir)
- DSİ ve belediyelerden altyapı bağlantı izinleri

2.3.8.Kabul, İşletme ve Sistem Kullanım İzinleri

İnşaat tamamlandıktan sonra, tesisin devreye alınması için ilgili kurumlar tarafından geçici ve kesin kabul işlemleri yapılır.

- TEİAŞ tarafından sistem bağlantısı ve enerji akışı test edilir.
- EPDK tarafından üretim lisansı onaylanır.
- Tesis işletmeye alındığında işletme izni ve çevre izni düzenlenir.

Tablo 2. Kurumlar ve alınan izinler

Kurum	Alınan İzin / Görüş
ÇŞİDB	ÇED Olumlu / Gerekli Değildir kararı
EPDK	Ön lisans, üretim lisansı
TEİAŞ veya ilgili dağıtım şirketi	Şebeke bağlantı görüşü, sistem kullanım anlaşması
Tarım ve Orman Bakanlığı	Orman izni, mera tahsisi, tarım arazisi
Kültür ve Turizm Bakanlığı	Arkeolojik ve doğal sit uygunluk görüşü
DSİ	Su kaynakları ve drenaj izinleri
DHMI	Hava seyrüsefer uygunluk görüşü
Karayolları Genel Müdürlüğü	Ulaşım güzergâhı izinleri
Belediye / Valilik	İmar planı onayı ve yapı ruhsatı
Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğü	Korunan tür, hassas habitat değerlendirmesi

Bunlar en sık görülenlerdir. Fakat proje özelinde organize sanayi bölgesi, liman, orman işletme müdürlüğü alt birimleri, belediye özel birimleri vb. de devreye girer.

2.4.Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri

ÇKKV, aynı anda birden fazla kriterin dikkate alındığı durumlarda, en uygun seçeneğin belirlenmesine imkân tanıyan bir karar destek aracıdır. Bu yöntem, genellikle belirli kısıtlar ve hedefler çerçevesinde sınıflandırılmış alternatifler arasından seçim yapılmasını içermektedir (Memişoğlu, 2014).

ÇKKV yöntemleri, belirli bir karar probleminin çözümüne yönelik olarak, birbirinden farklı fakat karşılıklı ilişkili kriterler üzerinden alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması sürecini kapsamaktadır. Bu yöntemler, özellikle çok boyutlu ve karmaşık karar problemlerinde, çeşitli etkenlerin bütüncül bir şekilde ele alınarak en uygun çözümün belirlenmesini sağlar (Köksalan vd., 2011).

Yer seçimi, planlama, yatırım ve lojistik gibi farklı alanlarda karar alma süreçlerini destekleme kapasitesi ile ÇKKV yöntemleri geniş bir uygulama alanına sahiptir (Thill, 2019). Bu bağlamda, birden fazla alternatifin değerlendirilmesinin gerektiği mekânsal karar verme süreçlerinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Malczewski, 1999).

Uygun alanların belirlenmesine yönelik süreç, genellikle temel kriterlerin ve bu kriterlerle ilişkili alt ölçütlerin ortaya konulmasıyla başlar. Söz konusu kriterler, karar

alıcıların amaçları ve öncelikleri doğrultusunda belirlenmektedir. Ana kriterler karar verme mekanizmasının ana çerçevesini oluştururken, alt kriterler bu çerçevenin daha ayrıntılı ve kapsamlı biçimde incelenmesini sağlar. CBS, yer seçimi çalışmalarında kritik bir işlev üstlenmekte olup; yerleşim alanları, coğrafi özellikler, ulaşım altyapısı ve çevresel etkiler gibi çok sayıda faktörü haritalama, grafiksel gösterim ve analitik analizler aracılığıyla bütüncül bir yapıda değerlendirme kapasitesine sahiptir (Can ve Yücel, 2019).

RES yer seçimine yönelik çalışmalar, karmaşık ve çok boyutlu analizleri gerektiren mekânsal karar problemleri kapsamına girmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde, coğrafi konum, çevresel etkiler, ekonomik koşullar ve sosyal etkileşim gibi birçok kriterin değerlendirilmesini mümkün kılan ÇKKV yöntemleri etkin biçimde kullanılmaktadır. Özellikle, rüzgâr santrallerinin optimal konumlarının belirlenmesi aşamasında CBS destekli ÇKKV yaklaşımları önemli avantajlar sunmaktadır (Garni vd., 2017).

CBS destekli konumsal analizler, mekânsal verilerin görselleştirilmesi ve analiz edilmesi yoluyla karar alma süreçlerine önemli katkılar sunar. Bu analizlerin, ÇKKV yöntemleri ile entegre edilmesi ise daha bütüncül ve bilinçli kararların alınmasına olanak tanır (Urfalı ve Eymen, 2021).

ÇKKV yöntemlerinin çeşitli türleri bulunmaktadır ve bu yöntemlerin bazıları, mekânsal karar alma ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla CBS teknolojileriyle entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, belirlenen hedefler doğrultusunda etkin analizlerin yapılmasına ve elde edilen çıktıların doğruluğunun artırılmasına olanak sağlar (Greene vd., 2011; Pereira vd., 1993).

Konumsal Çok Kriterli Karar Verme (K-ÇKKV), klasik ÇKKV tekniklerinden farklılaşmakta olup, karar alternatiflerinin hem coğrafi konum bilgilerini hem de her bir kriter için değerlerini içermesini gerektirir. Bu nedenle, mekânsal karar problemlerinde CBS ve ÇKKV yöntemleri birlikte kullanılmakta ve böylece coğrafi bileşenin karar sürecine dâhil edilmesiyle daha derinlemesine analizler yapılabilmektedir (Öztürk ve Kılıç, 2010).

Son dönemlerde, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik bölgesel değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılan CBS, farklı veri kaynaklarından elde edilen bilgileri işleyerek kriterler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. CBS, veriler arasındaki etkileşimleri ortaya koyarak çok boyutlu ve kapsamlı analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Urfalı ve Eymen, 2021).

CBS ile en yaygın şekilde entegre edilen ÇKKV yöntemleri arasında AHP, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (WLC) ve İdeal Çözüm Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (TOPSIS) yer almaktadır (Garni vd., 2017). Hangi yöntemin tercih edileceği ise araştırma sahasının özellikleri ve karar vericinin hedeflerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

AHP, ÇKKV tekniklerinden biri olarak farklı alanlardaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin öne çıkan avantajları arasında; sistematik ve rasyonel bir yaklaşım sunması, karar problemlerini hızlı ve etkili bir şekilde çözmeye olanak tanınması, kriterler arasındaki önceliklerin belirlenmesini sağlaması ve problem bütününe etkileriyle birlikte değerlendirebilme kapasitesi yer almaktadır (Güler, 2016; Saaty, 1994).

Bu çalışmada, RES yer seçimine yönelik olarak, çok sayıda ve birbiriyle ilişkili kriterin önem derecelerinin karşılaştırmalı olarak belirlenmesine olanak tanınması ve literatürde yaygın biçimde kullanılması nedeniyle AHP yöntemi uygulanmıştır.

2.5. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, karar verme süreçlerinde çok kriterli değerlendirmeleri gerçekleştiren, nicel ve nitel faktörlerin bir arada değerlendirildiği bir yöntemdir. 1970'lerin sonlarında, Amerikalı matematikçi Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir ve özellikle karmaşık, çok faktörlü ve çok seçenekli karar verme problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AHP, karar vericilerin daha rasyonel, sistematik ve tutarlı bir şekilde karar alabilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir yaklaşımdır.

Tablo 3. AHP değerlendirme aşamasındaki ikili karşılaştırma puanlaması

Önem Derecesi	Anlamı	Açıklaması
1	Eşit önemli	Eşit derecede önemli
3	Orta önemli	1. ölçüt 2'ye göre biraz daha önemli
5	Güçlü önemli	1. ölçüt 2'ye göre biraz fazla önemli
7	Çok güçlü önemde	1. ölçüt 2'ye göre çok fazla önemli
9	Aşırı derecede önemli	1. ölçüt 2'ye göre olası en kuvvetli öneme sahip veya tercih ediliyor.
2,4,6,8	Ara değerler	Ara değerler, uzlaşma gereken durumlarda kullanılmaktadır.

Çizelgedeki değerler kriterler arası önem derecesini belirtir. Kriterlerin ikili karşılaştırması işlemine göre matris oluşur ve bu matris n adet kriter için $n(n-1)/2$ adet karşılaştırmadan oluşur.

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \cdots & \alpha_{1,n} \\ \alpha_{2,1} & \alpha_{2,2} & \cdots & \alpha_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n,1} & \alpha_{n,2} & \cdots & \alpha_{n,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu kriterlerin bir arada bulunan ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için sütunlar kullanılır. Her bir sütundaki değerlerin toplamı hesaplanır ve ardından her bir değer, o sütundaki toplam değere bölünür. Son olarak, sütundaki bileşenlerin ortalamaları alınarak C matrisi oluşturulur.

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{a_{1,1}}{\sum \frac{a_{1,1}}{n}} & \frac{a_{1,2}}{\sum \frac{a_{1,2}}{n}} & \cdots & \frac{a_{1,n}}{\sum \frac{a_{1,n}}{n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n,1}}{\sum \frac{a_{n,1}}{n}} & \frac{a_{n,2}}{\sum \frac{a_{n,2}}{n}} & \cdots & \frac{a_{n,n}}{\sum \frac{a_{n,n}}{n}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Puanlama yapıldıktan sonra hiyerarşinin doğru olup olmadığını kontrol edebilmek adına tutarlılık derecesi hesaplanmalıdır. Karşılaştırma matrisi olan A matrisi ile öncelik vektörü olan C matrisi çarpımında tutarlılık vektörü hesaplanır.

$$A \times C = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,1} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,1} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ardından asıl değer olan λ_{max} değeri hesaplanır (Cabala, 2010).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (4)$$

Daha sonra tutarlılık oranı hesaplanması gerekir. Bunun için ilk olarak tutarlılık indeksi (CI) hesaplandı (Durdudiler, 2006).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Tablo 4. Tesadüfilik göstergesi (RI değeri) (Malczewski, 1999).

Kriter Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tutarlılık oranı hesaplayabilmek için parametremiz 10 olduğu için rastgele değerin endeksi (RI) değeri 1.49 girildi (Durdudiler, 2006).

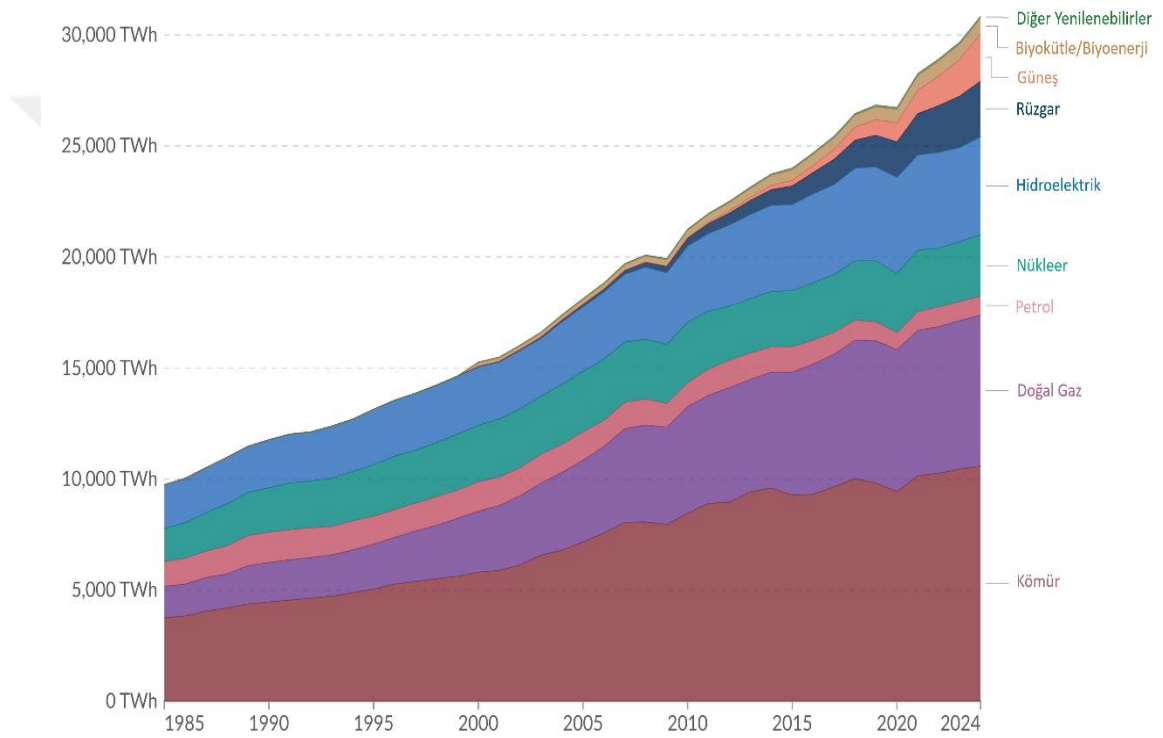
$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Bu tez çalışmasında, AHP işlem basamakları doğrultusunda, ele alınan problemin çözümüne yönelik olarak belirlenen faktörlerin önem dereceleri karşılaştırılmıştır. Süreç kapsamında, kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve bu doğrultuda ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) işlemi gerçekleştirilmiştir. Faktör ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, CBS yazılımı aracılığıyla elde edilen sonuçların mekânsal uygunluğu analiz edilmiştir.

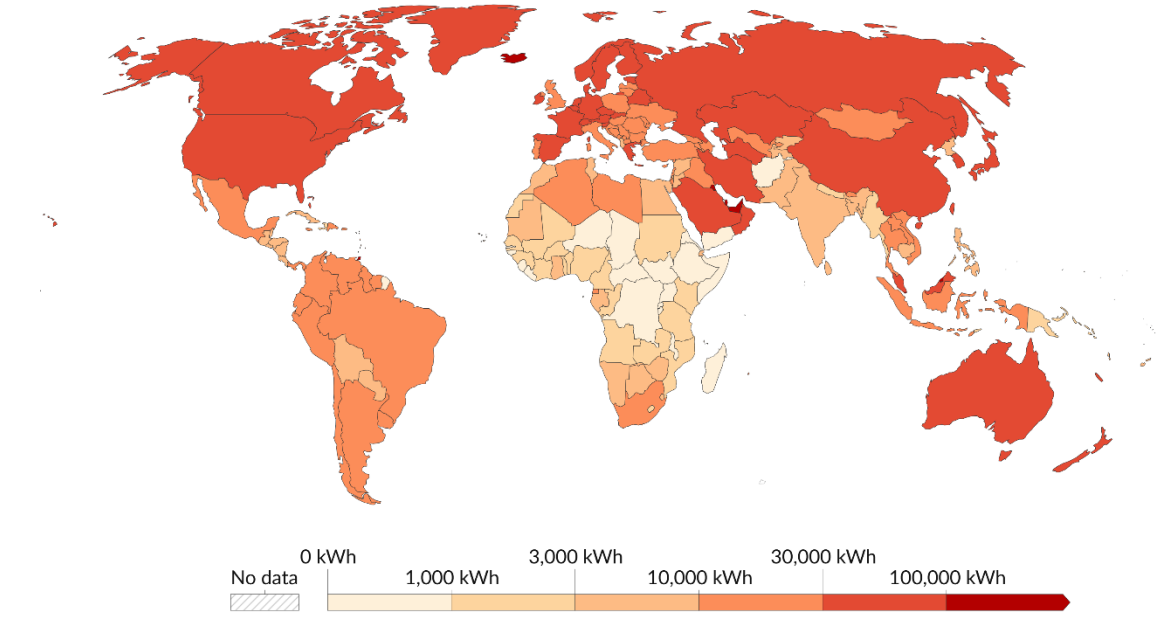
Tez çalışmasında tutarlılık oranı 0,09 olarak hesaplanmıştır. CR üst sınır değeri 0.10' dur. Bu orandan büyük olursa karşılaştırmaların karar vericileri tarafından tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. Bu oran 0.10 altında çıktığı için tutarlılık oranımız doğru hesaplanmıştır.

3.ENERJİ KAYNAKLARI

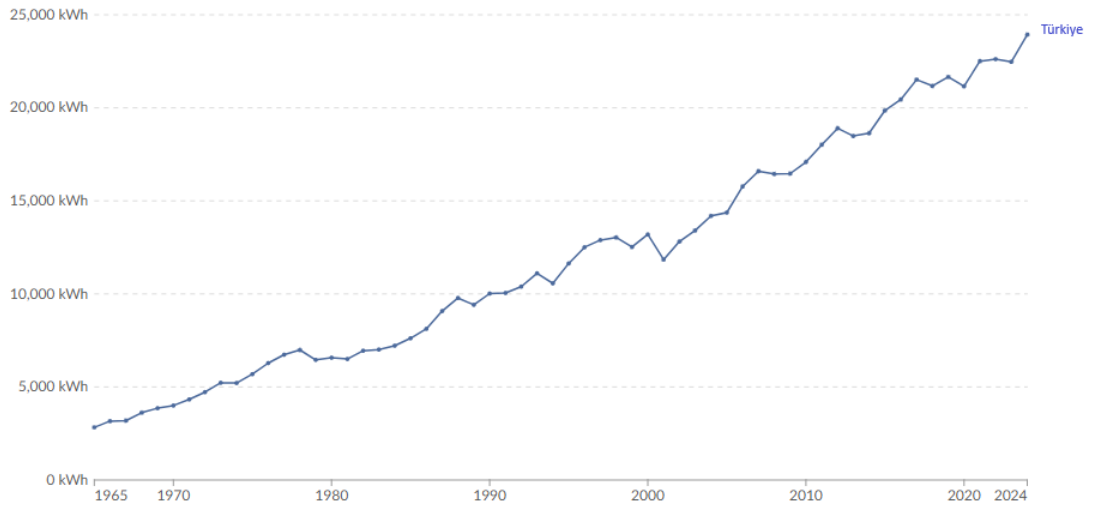
Başlıca enerji kaynakları arasında nükleer enerji, rüzgâr, jeotermal enerji, hidrojen, hidrolik, güneş, biyokütle, doğalgaz, ham petrol ve kömür bulunur. (Anlar, 2017) İngiltere merkezli, enerji dönüşümüne yönelik küresel ölçekte veri ve analizler sunan uluslararası ve bağımsız bir araştırma kuruluşu olan Ember Enstitüsü’nün 1985-2025 yılları arasındaki yayımladığı rapora göre kömür, doğalgaz ve hidroelektrik dünya çapında enerji miktarı bakımından ön sıralarda yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Dünyadaki temel enerji kaynaklarının arzı (Bakırcı, 2020).



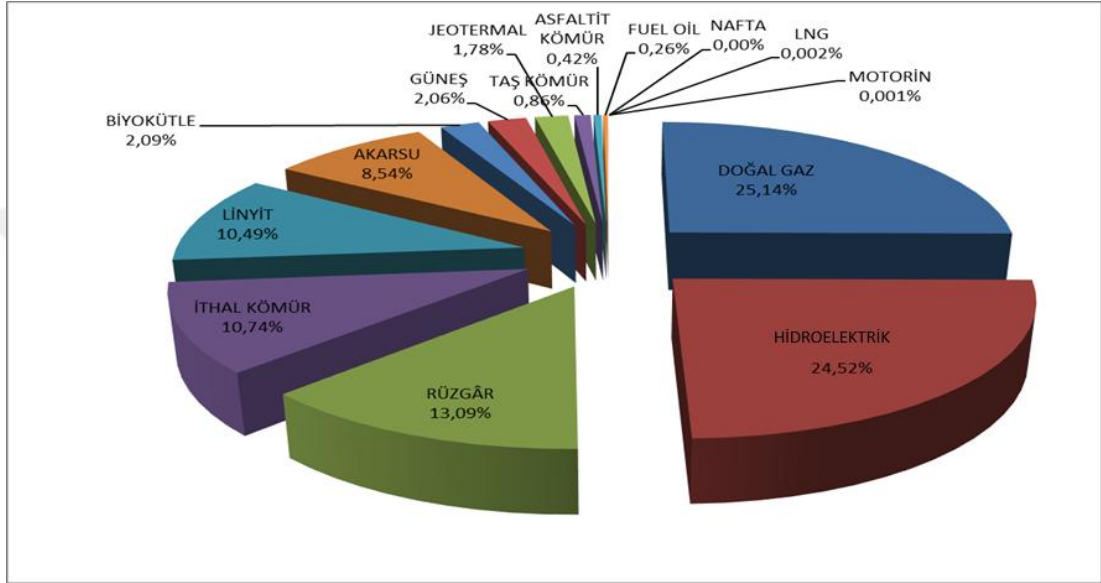
Şekil 3. Dünyadaki kişi başına enerji kullanımı (Bakırcı, 2020).



Şekil 4. Türkiye’ de kişi başına enerji tüketimi (Bakırcı, 2020).

Fosil yakıtların dünya genelinde yaygın olarak kullanılmasının sonucu olarak iklimsel bozulma, atmosferdeki kirlilik, sera gazı etkisi ve çevresel değişiklikler giderek daha fazla hissedilmektedir. Türkiye’de 1990-2013 yılları arasında fosil yakıt kullanımındaki artış nedeniyle hava tabakasındaki karbondioksit (CO₂) seviyesi %110 oranında yükselmiştir (Karaca ve Bingöl, 2019). Ülkede enerji üretimi büyük ölçüde fosil yakıtlara dayandığı için, üretim miktarındaki artışla birlikte çevresel sorunların gelecekte daha da büyümesi beklenmektedir (Karaca, 2016).

2024 yılı itibarıyla Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların payları görülmektedir. Buna göre, hidroelektrik (%24,52) ve doğal gaz (%25,14) elektrik üretiminde önemli bir paya sahipken, rüzgâr enerjisinin toplam üretim içerisindeki payının (%13,09) giderek artmasına rağmen fosil ve hidrolik kaynakların gerisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, rüzgâr enerjisinin mevcut potansiyeline rağmen Türkiye enerji üretim portföyünde henüz yeterli düzeye ulaşmadığını göstermektedir (Şekil 5).

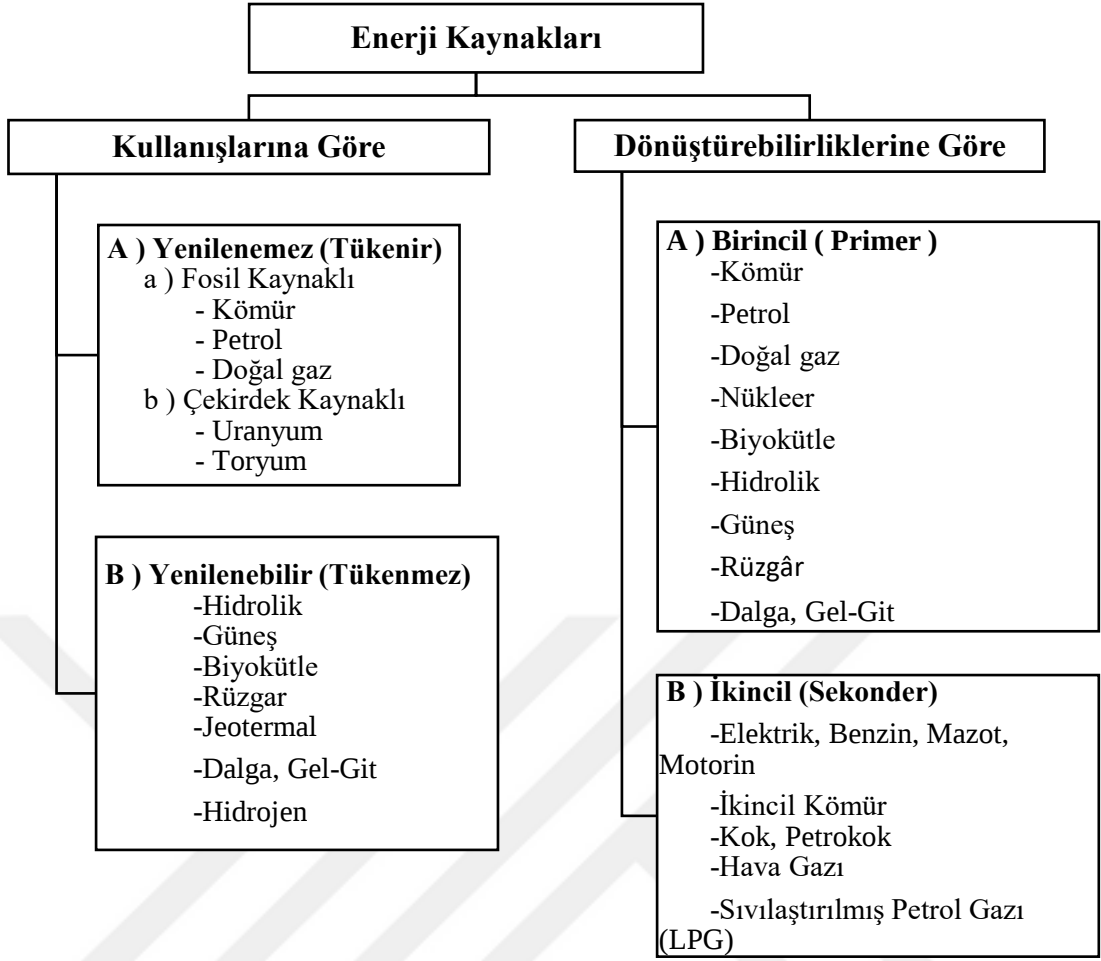


Şekil 5.2024 yılı Türkiye’ de enerji elde edilen kaynaklar ve payları (EPDK).

Enerji tüketiminin karşılanması için farklı kaynaklardan sürdürülebilir şekilde sağlanması gerekmektedir. Elektrik, enerji talepleri arasında en hızlı büyüyen kaynaklardan biridir. Modern çağda sürdürülebilir ekonomiler, elektrik enerjisinin güvenilir ve uygun maliyetli dağıtımına bağlıdır.

Küresel elektrik arzı, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi değişken yenilenebilir üretim kaynaklarının artışıyla da desteklenmektedir. Bu artış, elektrik enerjisinin üretiminde temiz enerjiye geçişi öncelikli hedef haline getirirken, hava kirliliğini azaltmaya ve iklim hedeflerine ulaşmaya yardımcı olmaktadır.

Enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki tür enerji üretimi kullanılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6.Enerji kaynaklarının türleri (Koç ve Şenel, 2013).

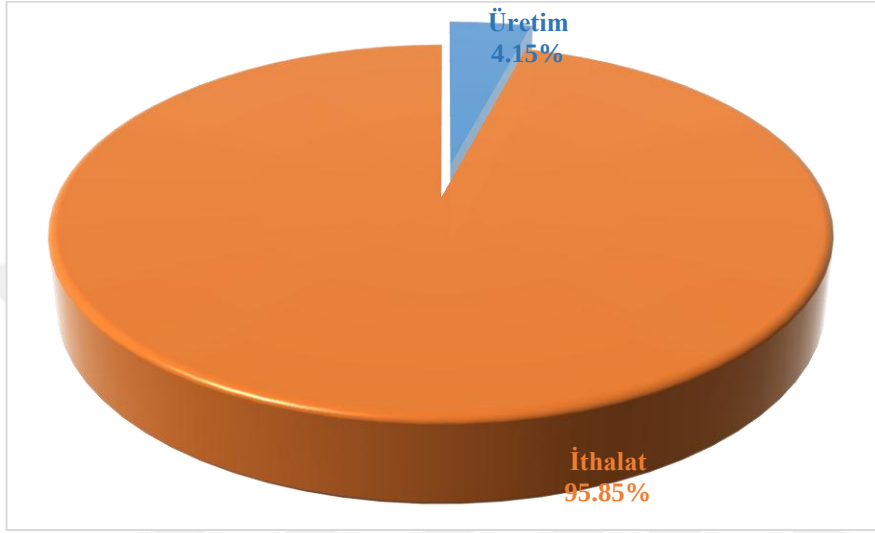
3.1.Yenilenemeyen Enerji

Yenilenemeyen enerji kaynakları, jeolojik süreçler sonucunda milyonlarca yıl içinde oluşan ve kullanıldıklarında kısa sürede doğal olarak yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, sınırlı rezervlere sahip olmaları nedeniyle sürdürülebilir enerji üretimi açısından dezavantajlıdır. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar ile nükleer enerji üretiminde kullanılan uranyum ve toryum yer almaktadır. Bu enerji kaynaklarının yoğun kullanımı, çevresel kirlilik, sera gazı salımları ve ekolojik dengenin bozulması gibi olumsuz etkilere yol açabilmektedir.

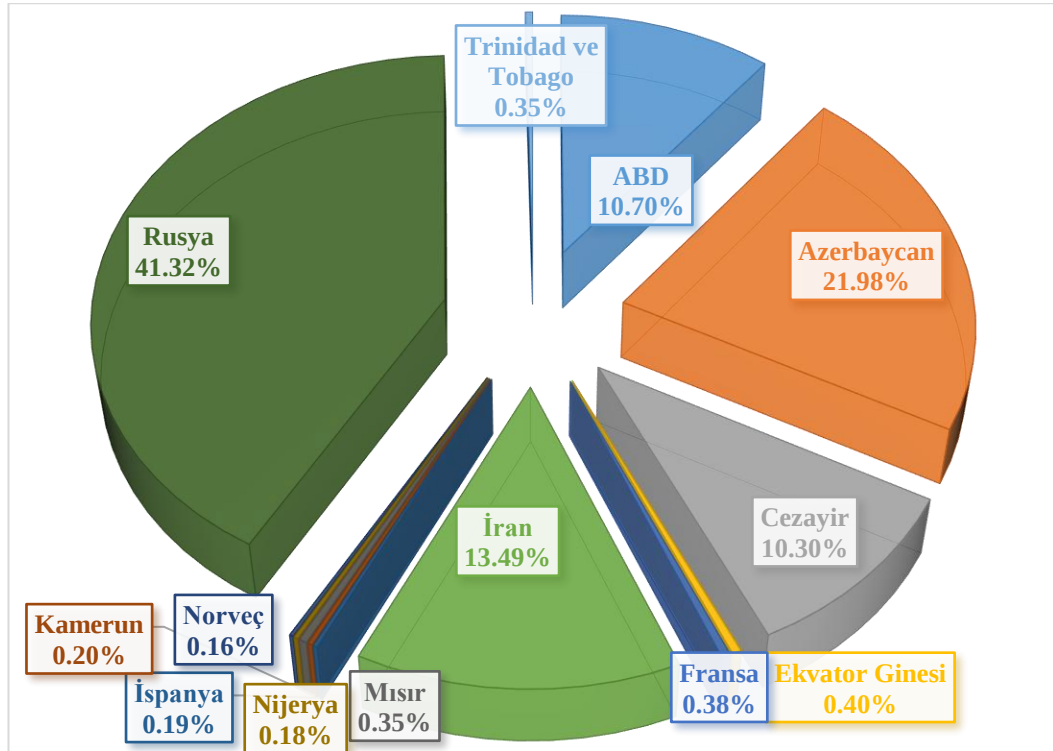
3.1.1.Doğalgaz

Doğalgazın kullanım sonrasında ödeme yapılması, depolama ihtiyacının olmaması, atık madde üretmemesi, taşıma gereksinimi bulunmaması ve çevreye daha az zarar vermesi gibi pek çok avantajı vardır.

Son yıllarda Türkiye'de doğalgaz arama faaliyetleri hız kazanmıştır (Akkaya, 2019). EPDK'nin Şubat 2024'te yayımladığı Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu'na göre, Türkiye doğalgaz ihtiyacının %97,77'sini dışarıdan temin etmektedir. Aynı rapora göre, Türkiye'nin ithal ettiği doğalgazın %51,67'si Rusya'dan gelmektedir. ABD ise %15,24 ile ikinci sıradadır. Türkiye'nin doğalgaz ithal ettiği diğer ülkeler arasında Azerbaycan, Cezayir ve İran da bulunmaktadır.



Şekil 7. 2024 yılı toplam doğal gaz arzının karşılandığı kaynakların payları (%) (EPDK).



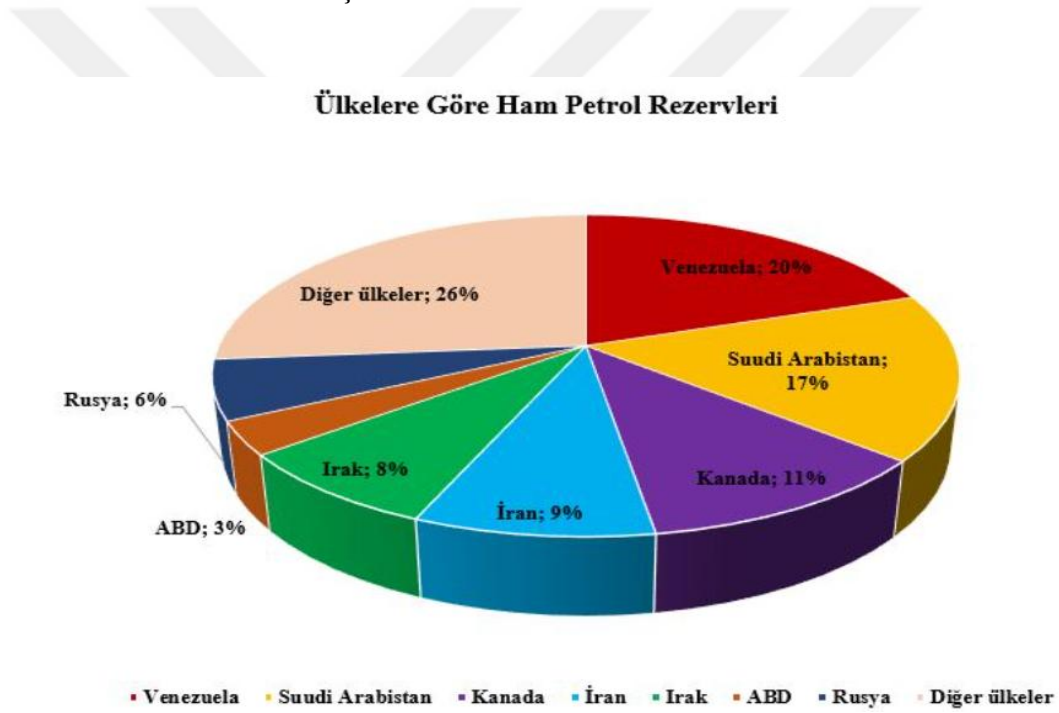
Şekil 8. 2024 yılı kaynak ülkeler bazında Türkiye'nin doğal gaz ithalatı (%) (EPDK)

3.1.2.Petrol

Latince "petro" (taş) ve "oleum" (yağ) kelimelerinden oluşan "petrol" terimi, "taşyağı" anlamına gelir. Organik maddeler, parçalanarak ve yüksek basınca ve ısıya maruz kalarak petrol oluşur. Ağırlıklı olarak hidrojen ve karbondan oluşur, ancak azot, oksijen ve kükürt de içerebilir.

Ham petrol, sıvı rafine edilmemiş petroldür. Asfalt, zift ve katran, katı ve yarı katı halde bulunan ağır hidrokarbon ve katrandan oluşan petrol türleridir. Ham petrolün temel bileşikleri hidrojen ve karbon olduğu için hidrokarbon da denir.

2021 yılı itibarıyla dünya çapında 244,4 milyar ton ham petrol rezervi bulunurken, Venezuela bu rezervlerin %20'lik payıyla en büyük orana sahip ülkedir. Amerika Birleşik Devletleri, 2021 yılı üretim verilerine göre dünyadaki ham petrol üretiminin %17'sini karşılamaktadır.



Şekil 9. Ülkelere göre ham petrol rezervleri (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ,2023).

2024 yılında Türkiye, 5,3 milyon ton ham petrol üretirken, 30 milyon ton ham petrol ithalatı gerçekleştirmiştir. Bu veriler ışığında, ülkemizin ham petrol ihtiyacının yaklaşık %82'si ithalat yoluyla karşıladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Türkiye'nin mevcut üretilebilir rezervi, 2025 itibarıyla enerji programına göre günlük 172 bin varile ulaşması hedefleniyor. Aynı yıl içinde Türkiye'de 421.408 metre sondaj yapılmış ve 191 yeni ham petrol kuyusu açılmıştır. Ayrıca gelecek yıl için 270 kuyuda daha sondaj çalışması yapılması hedefleniyor.

3.1.3.Kömür

Kömür, yanma yoluyla yüksek enerji açığa çıkaran, karbon ve hidrokarbonlardan oluşan bir fosil yakıttır. Birinci Sanayi Devrimi sırasında kömür, enerji üretiminde temel bir kaynak olarak kullanılarak hareket enerjisine dönüştürülmüştür. Kömür, çevreye verdiği zarar ve hava kirliliği gibi olumsuz etkilerine rağmen, ekonomik açıdan büyük bir öneme sahip olup, enerji kaynakları üzerinde devrim yaratmıştır (Gasparotto ve Martinello, 2021).

Kömür günümüzde, özellikle ısı, buhar ve elektrik üretiminde; ayrıca demir-çelik ve çimento endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayıkcı, 2020). Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kömür, dünya çapında geniş rezervlere sahiptir.

3.1.4.Nükleer enerji

Ağır atom çekirdeklerinin parçalanması sırasında büyük miktarda enerji açığa çıkar. Nötronlarla bombalanan bu çekirdekler, parçalanarak enerji üretir ve bu süreç "fizyon" olarak adlandırılır. Her fizyon tepkimesi enerji ve 2 ila 3 nötron üretir. Eğer sistem uygun şekilde tasarlanmışsa, açığa çıkan nötronlar bu tepkimenin devamını sağlayacak şekilde kullanılabilir; bu, "zincirleme tepkime" olarak bilinir. Ayrıca, hafif atom çekirdeklerinin birleşmesi de büyük miktarda enerji üretir.

Sovyetler Birliği'nde 1954 yılında faaliyete geçen Obninski Nükleer Enerji Santrali, dünyanın ilk nükleer enerji santrali olarak tanınır.

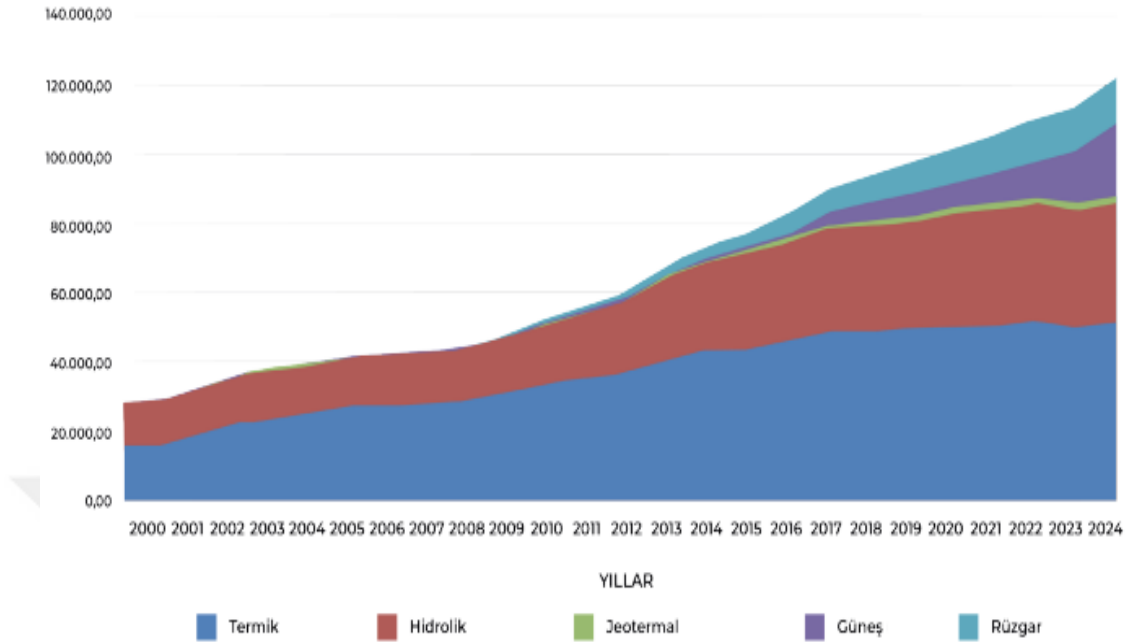
Nükleer enerjinin birçok özelliği arasında düşük üretim maliyetleri, yüksek yatırım maliyetleri, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı duyarsızlık ve uzun işletme ömrü gibi faktörler bulunmaktadır (Kessides, 2010).

3.2.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal olarak sürekli devam eden süreçlerden elde edilen enerjidir. Küresel enerji üretiminin büyük bir kısmı, şu an fosil yakıtlardan temin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlar yerine geçerek, bu kaynaklara olan bağımlılığı azaltma noktasında önemli bir rol üstlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji kaynakları gibi zamanla tükenmez. Bu enerji türleri arasında güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidroelektrik, hidrojen ve okyanus enerjisi gibi kaynaklar yer alır.

Türkiye, sahip olduğu coğrafi ve jeolojik yapısı sayesinde yenilenebilir enerji potansiyeli açısından oldukça avantajlı bir konumdadır. Bu kaynakların etkin

kullanımı hem enerji arz güvenliğini artıracak hem de yeni iş fırsatlarının yaratılmasına olanak sağlayacaktır.



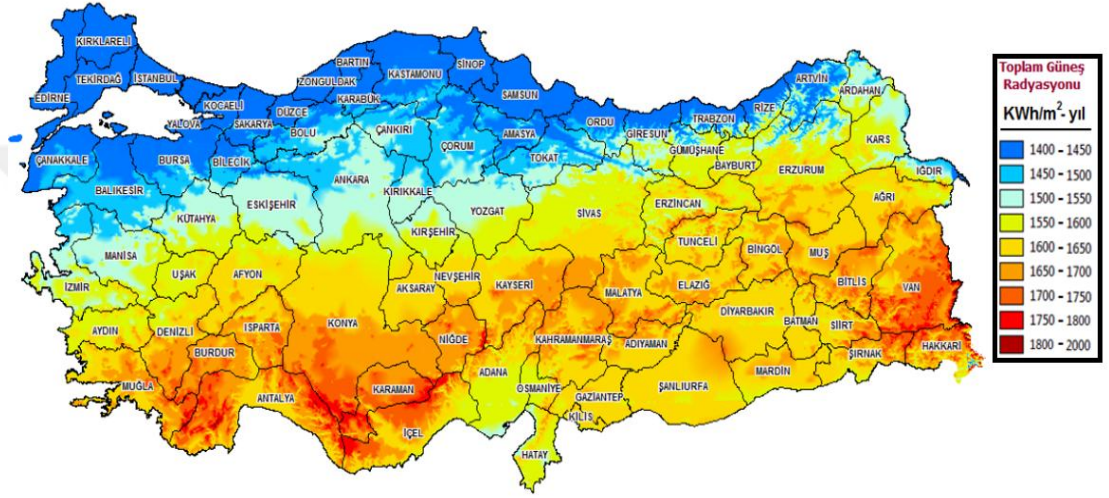
Şekil 10. Türkiye'de kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (MWe) (TÜREB).

3.2.1. Güneş Enerjisi

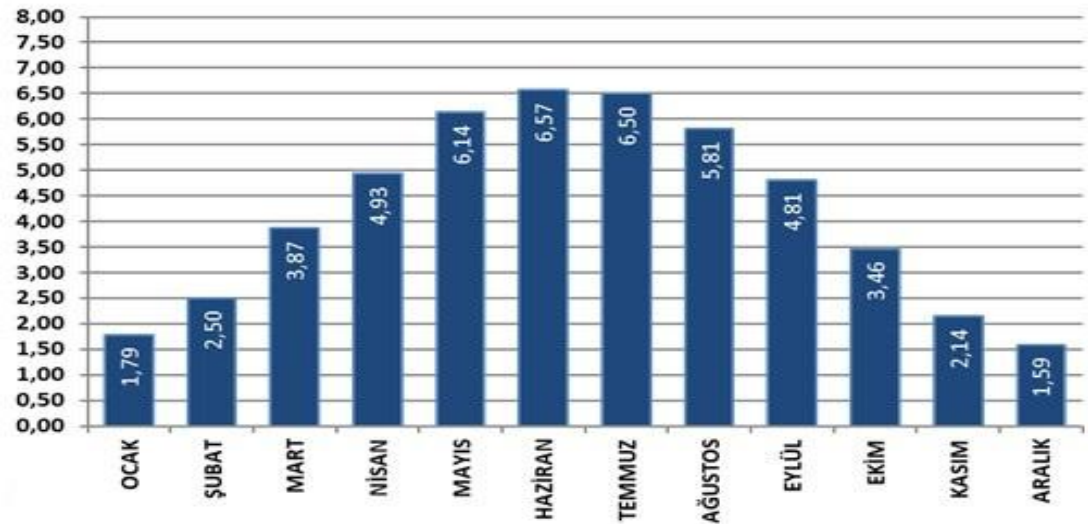
Güneş enerjisi, çevreye zarar vermemesi ve zararlı atık üretmemesi gibi avantajlarıyla dikkat çeken bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci sırasında açığa çıkan ışıma enerjisinden elde edilir. Bu süreçte, hidrojen atomları birleşerek helyum atomlarına dönüşür ve bu dönüşüm sırasında büyük miktarda enerji açığa çıkar. Güneş, yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ watt güç üreten, temiz ve tükenmez bir kaynaktır. Ancak, güneşten gelen bu enerjinin yalnızca küçük bir kısmı dünyaya ulaşır; atmosferin dış yüzeyine her metrekareye ortalama 1.367 watt enerji düşmektedir. Bu enerjinin bir kısmı atmosfer tarafından emilirken, diğer kısmı yansıtılır.

Güneş enerjisi dünya genelinde kullanılmakta olup, elektrik üretimi, ısıtma ve suyun tuzdan arındırılması gibi uygulamalarda giderek daha yaygın hale gelmektedir. Fotovoltaik (PV) paneller, güneş enerjisinin elektrik enerjisine doğrudan dönüştüren teknolojilerdir. Bell Telephone Laboratories tarafından 1954 yılında bu teknoloji geliştirildi. Günümüzde fotovoltaik (PV) teknolojisi, en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji çözümlerinden biri olarak görülüyor ve gelecekteki dünya elektrik üretiminde önemli bir rol oynaması bekleniyor.

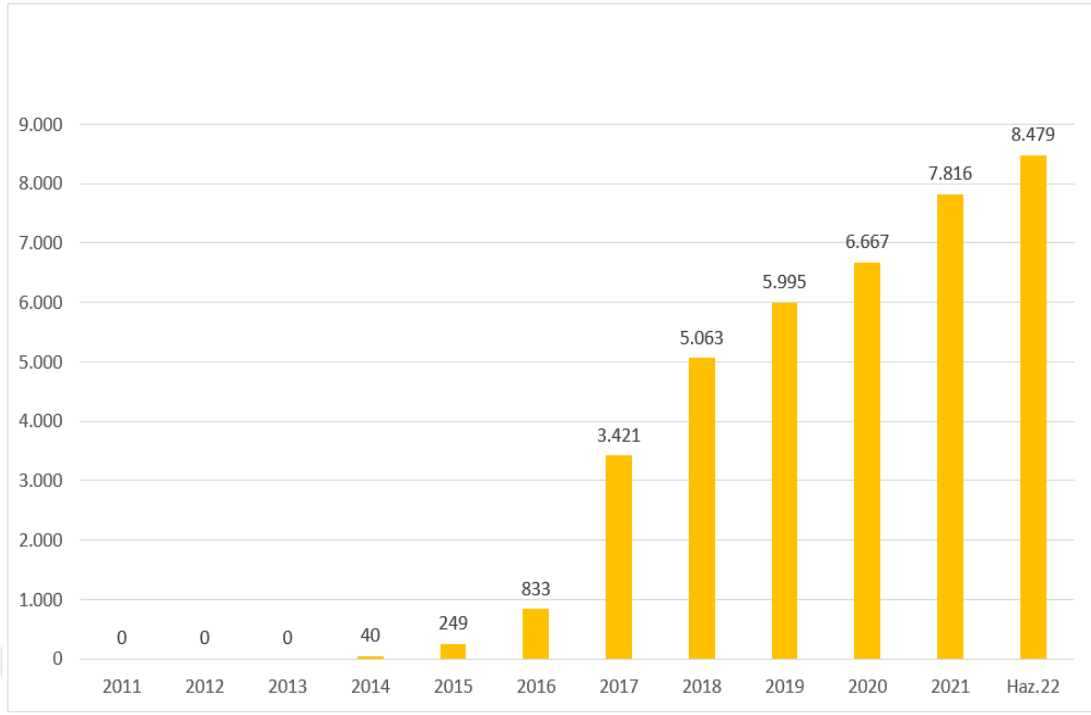
Solar fotovoltaik sistemler hem küçük hem de büyük ölçekli işletme tesislerinde kurulabilir. Güneş enerjisi açısından yüksek potansiyel barındıran kalkınmakta olan ülkelerde ve elektrik iletim hatlarından uzak bölgelerde yaşayan insanlara enerji sağlamak için güneş fotovoltaik sistemlerinin kullanılması, küçük ölçekli şebekelere enerji sağlamak için etkili bir yöntemdir. Son on yıl içinde güneş panellerinin üretim maliyetlerinde belirgin bir azalma yaşanmıştır. Güneş panellerinin tipik ömrü yaklaşık 30 yıldır. Ayrıca, yapımında kullanılan malzemelere bağlı olarak farklı renk tonlarında üretilmektedirler.



Şekil 11. Türkiye güneş radyasyonu haritası (GEPA).



Şekil 12. Aylık ortalama radyasyon değeri (GEPA).



Şekil 13.Haziran 2022 Kurulu güç (mw) (Çalapkulu, 2022).

3.2.2.Hidrolik Enerjisi

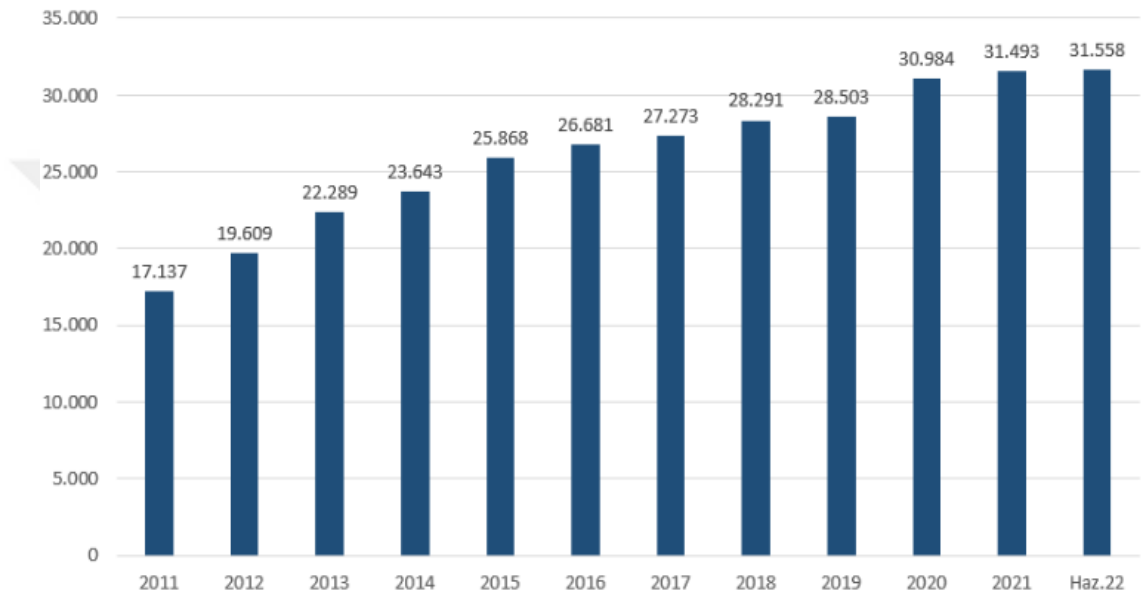
Hidroelektrik santraller, çevre dostu, temiz, yenilenebilir ve yüksek verimli enerji kaynaklarıdır. Yakıt gideri gerektirmeyen bu sistemler, uzun ömürlüdür ve işletme maliyetleri düşüktür. Ayrıca, dışa bağımlılığı ortadan kaldıran yerli bir enerji kaynağı olarak öne çıkarlar.

Hidroelektrik sistemlerinde üç ana bileşen bulunur: suyun tutulması, yönlendirilmesi ve depolanması. Geleneksel hidroelektrik güç üretiminde iki temel bileşen kullanılır: İlk olarak, basınçlı sudan elde edilen enerji mekanik dönüş gücüne dönüştüren bir hidroelektrik türbini bulunur. İkinci olarak ise, bu mekanik enerji elektrik enerjisine çeviren bir jeneratör yer alır. Güç üretimi, su miktarı ve suyun rezervuar tepe ile türbin boşaltım noktası arasındaki yükseklik farkına dayanarak tahmin edilebilir. Bir hidroelektrik santralinin üretim kapasitesi, rezervuarın yüksekliği ve depolama kapasitesi kurulumun yeri ve diğer faktörlere bağlıdır. Yerçekimi kuvveti ve akış hızı hidrolik güce doğrudan bağlantılıdır (Noorzad, 2018).

Hidroelektrik santralleri, akan sudaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. En yaygın yöntem, büyük bir su rezervuarı oluşturmak için nehre baraj inşa ederek suyun potansiyel enerjisini artırmaktır. Bu yöntem, jeneratör kullanarak elektrik üretir. Bazı hidroelektrik tesisleri büyük su türbinleri gerektirirken, diğerleri nehir akıntısını olduğu gibi kullanarak enerji üretimini anında gerçekleştirebilir.

Hidroelektrik santraller, çevre dostu, temiz, yenilenebilir ve yüksek verimli enerji kaynaklarıdır. Yakıt gideri gerektirmeyen bu sistemler, uzun ömürlüdür ve işletme maliyetleri düşüktür. Ayrıca, dışa bağımlılığı ortadan kaldıran yerli bir enerji kaynağı olarak öne çıkarlar.

Haziran 2022 itibariyle Türkiye'nin hidrolik enerjiye dayalı elektrik kurulu gücü 31.558 MW olup, bu güç, toplam kurulu gücün %31'ini oluşturmaktadır. Yıllar bazında kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içindeki oranı, aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 14. Hidroelektrik enerjisine dayalı güç (mw) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

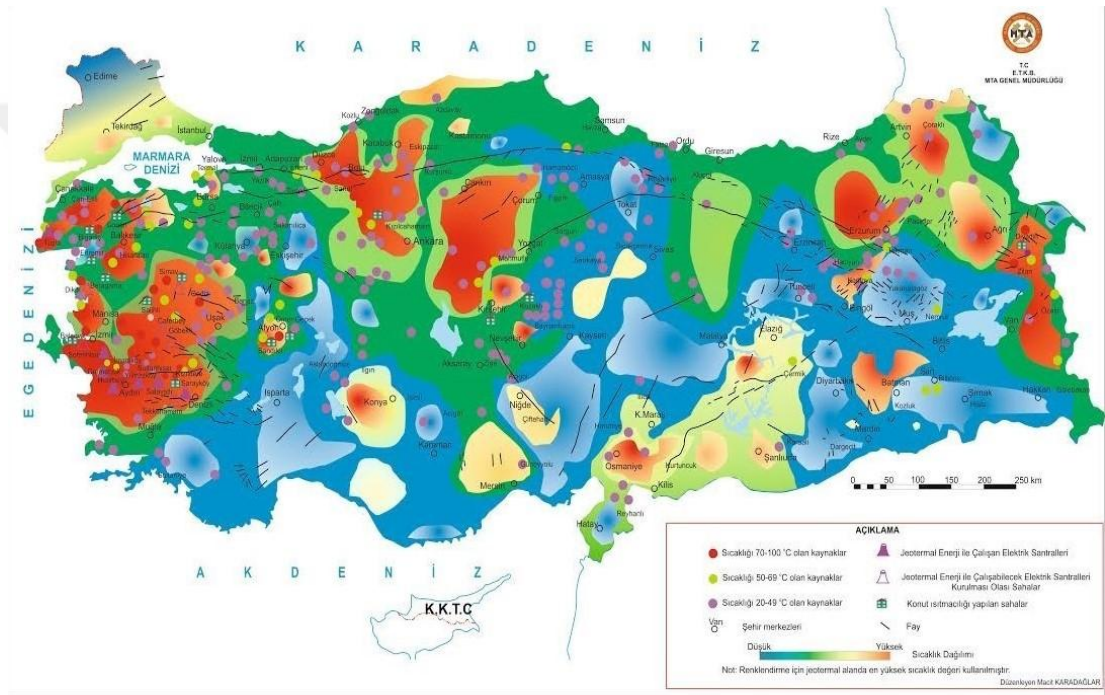
3.2.2.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısı ve basınç sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklıklardan elde edilen bir enerji türüdür. Bu enerji, çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha yüksek sıcaklıklara sahip, çözülmüş mineraller, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazların yer yüzeyine çıkmasıyla elde edilir.

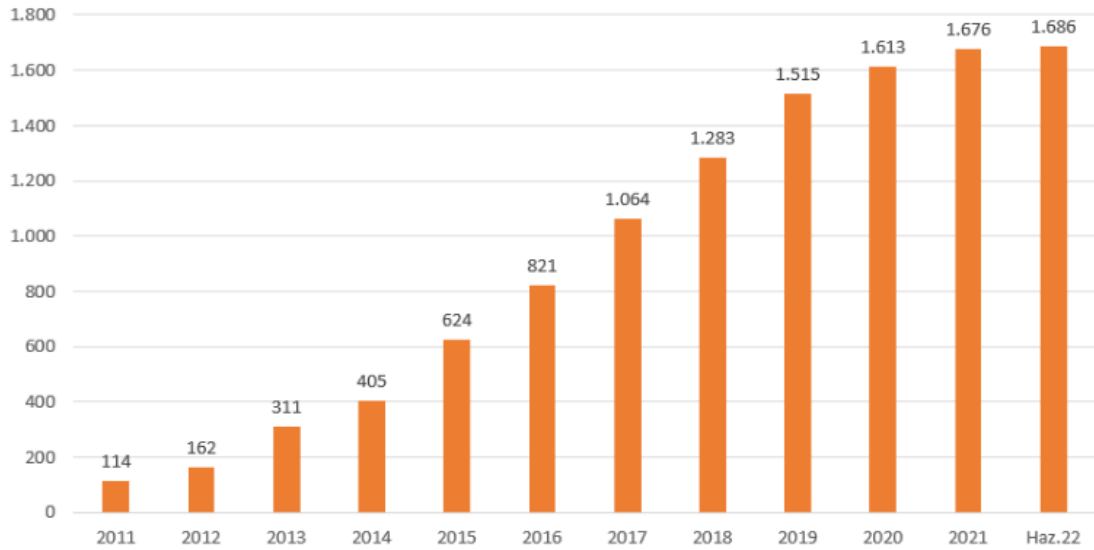
Jeotermal enerjinin başlıca özellikleri arasında yenilenebilirlik, sürdürülebilirlik ve çevre dostu oluşu yer alır. Jeotermal enerji, çeşitli uygulamalarla kullanılabilir. Bunlar arasında konvansiyonel buhar türbini ile elde edilen elektrik üretimi, yapı ısıtması, seracılık, su ürünleri üretimi ve sağlık turizmine yönelik kullanılan kaplıcalar gibi alanlarda doğrudan ısıtma sağlanabilir.

Jeotermal sistemler genellikle iki kategoriye ayrılır. Bu sistemler konvektif ve iletken sistemlerdir. Buhar ve su baskın olduğu konvektif jeotermal sistemler vardır. Sıcak kuru kaya sistemleri, iletken jeotermal sistemleri temsil eder. Bir jeotermal rezervuar, suyun dolaşmasını sağlayan geçirgen kayalar, ısı taşıyan akışkan ve ısı kaynağı ile oluşur (Saibi vd., 2013).

Türkiye, jeotermal enerji kurulu güç açısından Dünyanın 4. ülkesi ve jeotermal potansiyeli açısından Avrupa'nın 1. ülkesi. ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda, jeotermal enerjiden elektrik üreten ilk beş ülkedir. Aşağıdaki harita ülkemizin jeotermal kaynaklarının dağılımını göstermektedir.



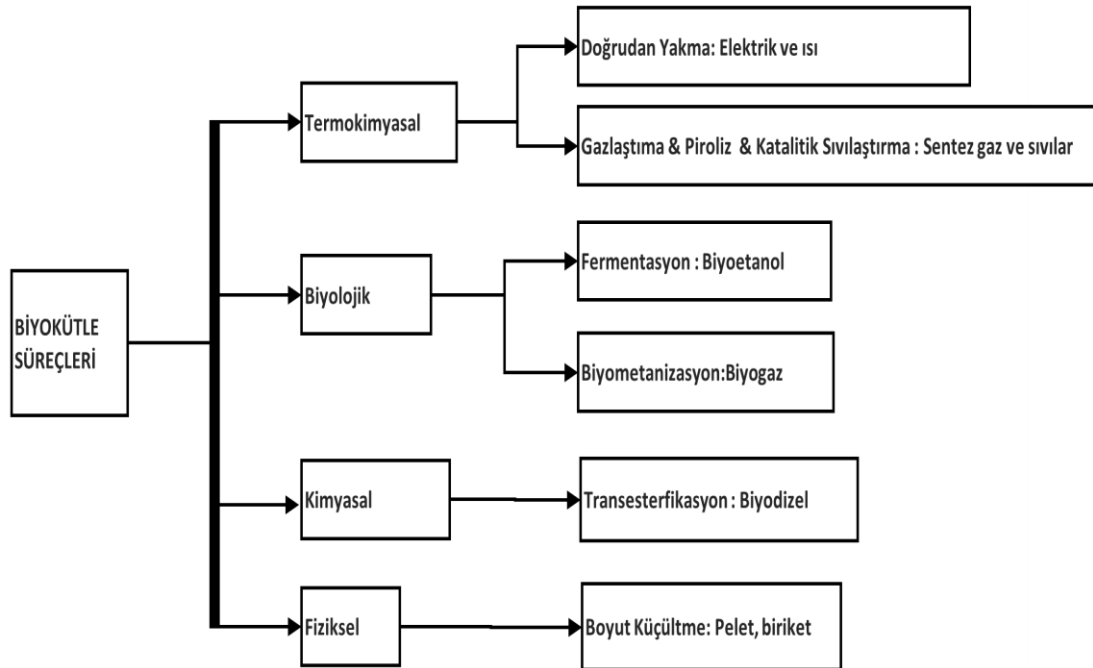
Şekil 15. Jeotermal kaynaklar ve uygulama (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).



Şekil 16. Jeotermal Enerji kaynaklı kurulu güç (mw) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

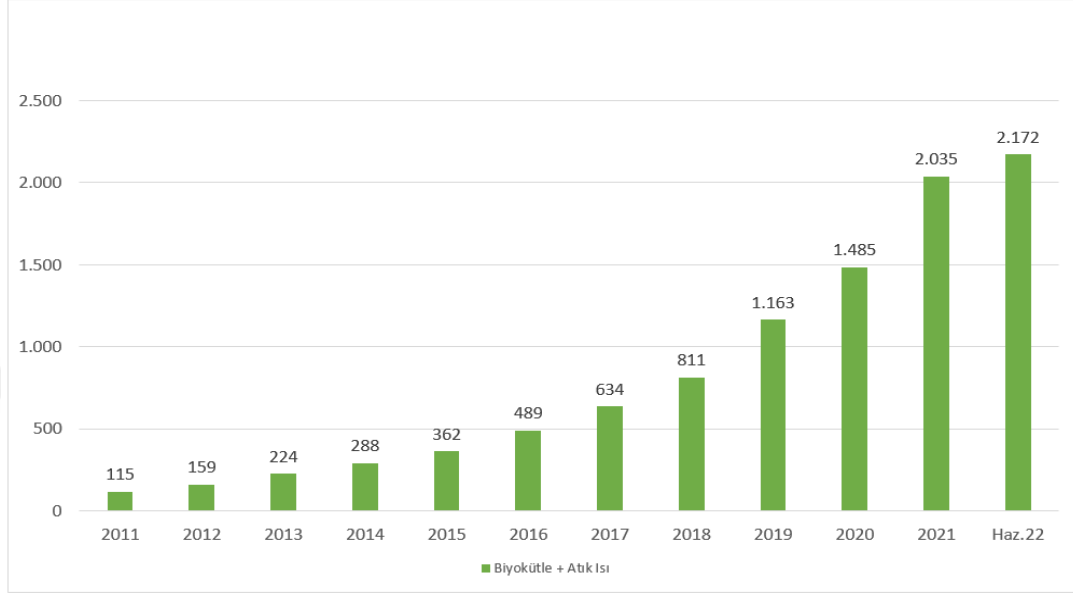
3.2.3. Biyokütle Enerjisi

5346 sayılı Kanuna göre ise biyokütle; İthal edilmemek kaydıyla, belediye atıklarının (çöp gazı dâhil) yanı sıra bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıkları, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 17. Biyokütle kaynaklarından çevrim yöntemleri uygulanarak elde edilen farklı yakıt türleri (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

Haziran 2022 sonu itibariyle biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç 2.172 MW'yi ve toplam kurulu gücün %2,14'ünü oluşturdu. Yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 18. Kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

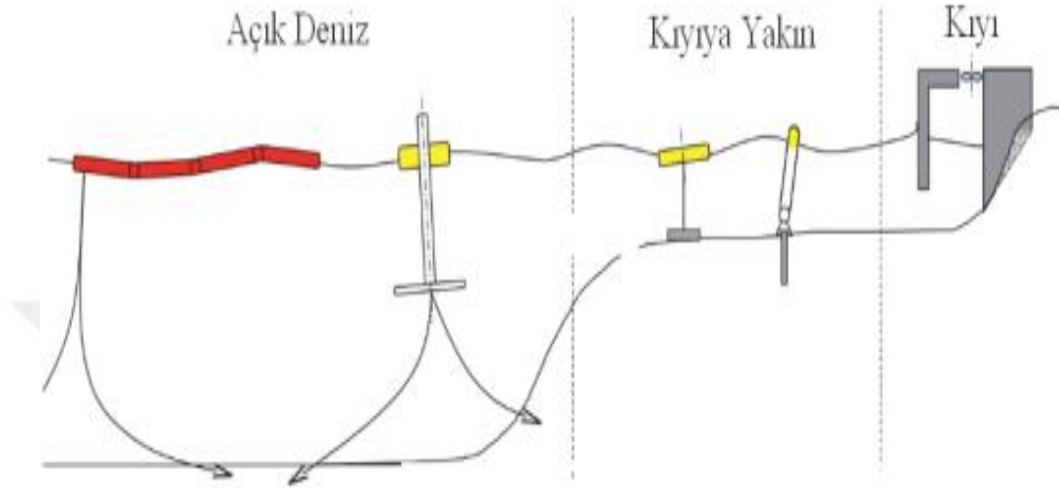
3.2.4. Dalga Enerjisi

Rüzgarlar, toprak ve suyun ısınmasıyla deniz yüzeyinden eser ve dalgaları oluşturur. Suyun yoğunluğu, dalga boyu, dalga hareketi ve dalga yüksekliği, denizlerde oluşan dalgaların gücünü belirler. Suyun derinliği, rüzgârın suya etkisi, rüzgârın süresi ve hızı dalga yüksekliğini etkiler. Dalga enerji sistemleri, dalganın geliş yönüne göre ya da dalga ile dik açı oluşturan biçimlerde kurulabilir ve enerjiyi dönüştürebilir (Gülsaç, 2009).

Dalga enerjisi dönüştürücüler, kıyıya olan uzaklıklarına göre üç gruba ayrılabilir: kıyı, kıyıya yakın ve açık deniz dönüştürücüler (Barbarit, 2017). Kıyı bölgelerinde yer alan dönüştürücüler, dalgaların sığ sularda zayıflaması nedeniyle genellikle daha düşük enerji üretimi sağlar. Ayrıca, kara ile doğrudan etkileşimde bulunmaları, kurulum alanlarının daralmasına yol açabilir. Ancak, bu dönüştürücüler kara yakın olduğundan, elektrik şebekesine bağlanması, montajı ve bakımı daha kolay olabilir.

Kıyıya yakın dönüştürücüler genellikle yaklaşık 10-25 m derinlikteki sularda etkilidir. Dolayısıyla açık denizlere kıyasla daha düşük enerji üretirler (EİGM, 2018b;

Drew vd., 2009). Açık deniz dönüştürücüleri ortalama olarak 40 m ve daha derin sularda kullanılır. Bu bölgelerde, dalgaların daha güçlü olması nedeniyle enerji üretimi daha yüksek olabilir. Ancak, açık denizlerdeki dönüştürücüler, uzaklıkları ve derinlikleri nedeniyle bakım zorlukları ve uzun kabloların kullanımı gibi maliyet artırıcı faktörlerle karşılaşabilir.



Şekil 19. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin kıyıya olan mesafelerine göre gruplandırılması (Barbarit, 2017).



Şekil 20. Bazı dalga enerjisi dönüştürücülerinin tipleri

3.2.5.Hidrojen Enerjisi

16. yüzyılda hidrojen keşfedildi ve 18. yüzyılda yanma özellikleri anlaşılma başlandı. Evrende en fazla bulunan madde hidrojendir. Havadan yaklaşık 14,4 kat daha hafif, kokusu ve zehirli olmayan renksiz bir gazdır. Bir kilogram hidrojen, 2,1 kilogram doğalgaz veya 2,8 kilogram petrol kadar enerji verir. Bu, diğer yakıtlara kıyasla en yüksek enerji verimliliğini gösterir. MEB'e (2012) göre, doğal ortamlarda serbest halde bulunmayan hidrojen genellikle bileşikler şeklinde bulunur.

Araştırmalar, hidrojenin yaklaşık üç kat daha fazla pahalı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hidrojenin daha fazla enerji kaynağı olarak kullanılması durumunda zamanla üretim maliyetlerinin düşmesi bekleniyor. Gelecekte fazla elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması da alternatif bir çözüm olarak düşünülüyor. Bununla birlikte, yeni teknolojiler depolanan enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmayı sağlayacaktır.

3.2.6.Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneş ışınlarının yer yüzeyini farklı derecelerde ısıtması sonucu meydana gelir. Yüzeydeki ısınma farklılıkları, havanın sıcaklık, nem ve basıncında değişikliklere sebep olur; bu da havanın hareket etmesine yol açar. Güneş enerjisinin dünya yüzeyine ulaşan yaklaşık %2'si ise rüzgâr enerjisine dönüşür.

Rüzgâr, insanlık tarihindeki en eski enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Tarihsel olarak, yelkenli gemilerin yaptığı hareketi, tahıl öğütme işlevi gören rüzgâr değirmenleri ve sulama amaçlı pompalar gibi birçok alanda kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisinden yararlanılmasına ilişkin ilk uygulamalar yaklaşık 5500 yıl öncesine kadar uzanmakta olup, Orta Doğu ve Asya'da yedinci yüzyıla kadar özellikle tarımsal faaliyetler kapsamında kullanıldığı bilinmektedir (Ehrlich, 2013). Rüzgâr türbinlerinin kullanımı ise daha öncelere dayanmaktadır. Elektrik jeneratörünün icadından sonra, 1830'larda mühendisler tarafından rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmıştır. 1887 ve 1888 yıllarında, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri'nde rüzgâr enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Danimarka'da 1981 yılında yatay eksenli rüzgâr türbinleri yapılarak modern rüzgâr enerjisi teknolojisinin temelleri atılmıştır.

Rüzgâr enerjisi, atmosferdeki hava kütlelerinin hareketinden kaynaklanan kinetik enerjinin mekanik ve ardından elektrik enerjisine dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu süreçte, rüzgârın türbin rotor kanatlarına uyguladığı aerodinamik kuvvetler, rotorun dönmesini sağlar. Dönen rotor, bir şaft aracılığıyla jeneratöre mekanik enerji iletir ve jeneratör bu enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgâr türbinleri, bu dönüşüm sürecini yüksek verimlilikle gerçekleştirecek şekilde tasarlanmış mühendislik sistemleridir.

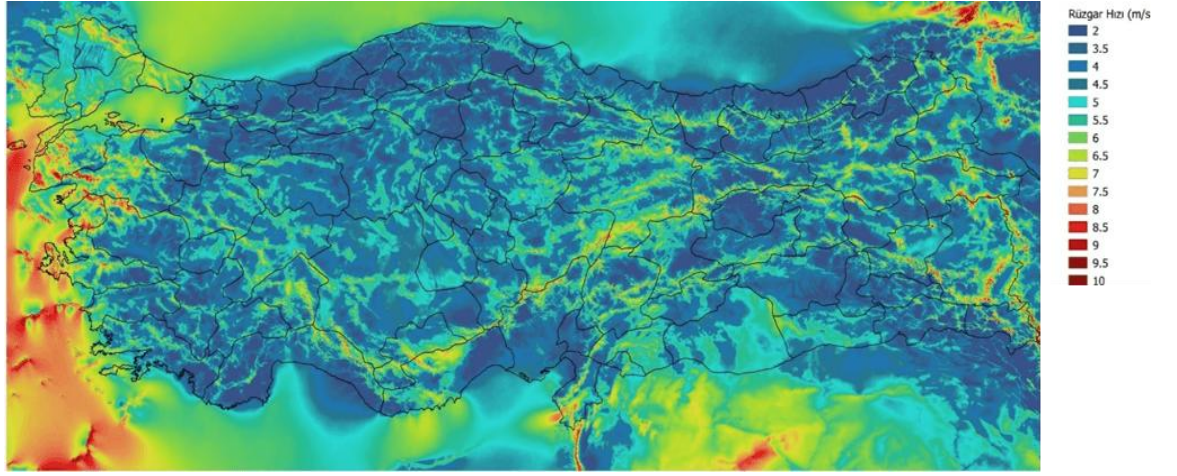


Şekil 21. Rüzgâr enerji santrali

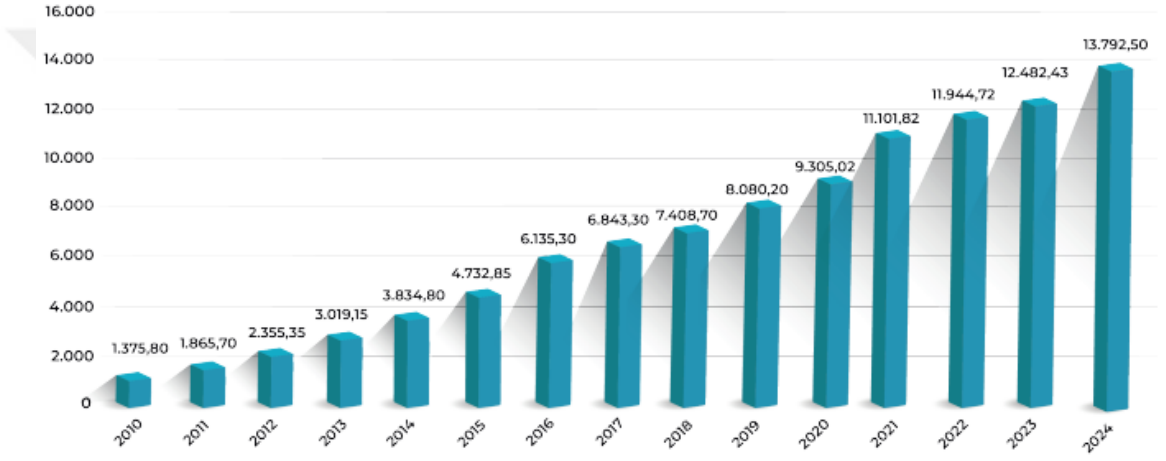
Küresel ölçekte iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının yaklaşık %80'i doğrudan enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu sorunun çözülmesinin en etkili yolu, enerji üretiminin sürdürülebilir ve temiz kaynaklardan sağlanmasıdır. Bu bağlamda, enerji sektörünün temel bileşenlerinden biri olan elektrik enerjisi, emisyonların azaltılması konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi ve tüketimiyle ilgili yapılacak iyileştirmeler, iklim değişikliğiyle mücadelede kayda değer katkılar sağlayabilir.

2006 yılında, orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak 200 m yatay çözünürlükle hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre, yer seviyesinden 50 m yükseklikte ve yıllık ortalama rüzgâr hızı 7,5 m/s'nin üzerinde olan bölgelerde, her bir kilometrekare için 5 MW gücünde bir rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu verilere dayanarak, Türkiye'de kurulabilecek toplam rüzgâr elektrik santrali kapasitesinin 47.849,44 MW olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin toplam elektrik üretim kurulu gücü, 2025 yılı sonu itibarıyla yaklaşık 122.519 MW seviyesini aşmıştır. Bu kapasitenin yaklaşık üçte birinin rüzgâr enerjisinden karşılanabileceği öngörülmektedir.



Şekil 22. Türkiye rüzgâr hızı haritası (REPA, 2024).



Şekil 23. RES' in kümülatif kurulumu (MWm) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2024).

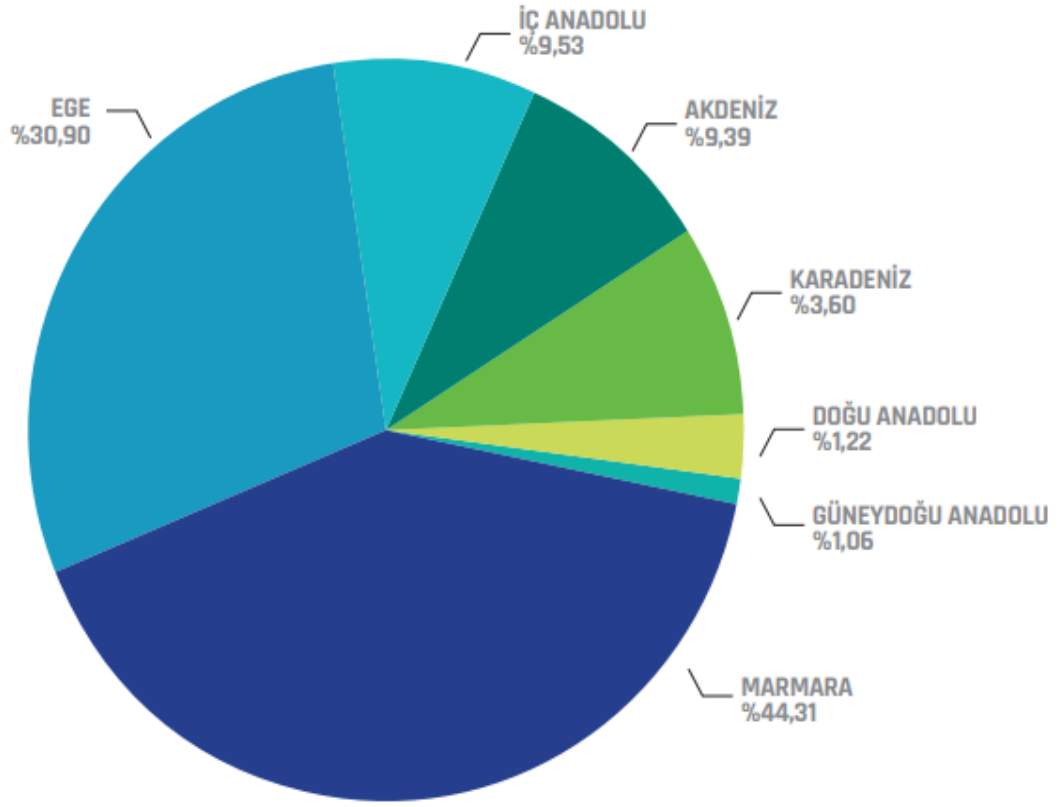
TÜREB Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporuna göre Türkiye'nin toplam rüzgâr kurulu gücü 14.000 MW'ye yaklaşırken 2024 sonu itibarıyla net kurulu gücü 13.792,50 MWm olmuştur. 2024 yılı boyunca 1.310,07 MWm yeni rüzgâr yatırımı sisteme dahil edilmiştir. 2024 yılında ülkemizde üretilen elektriğin ortalama %13,09'unun rüzgâr enerjisinden sağlandığı belirtilirken Türkiye'nin Avrupa rüzgâr enerjisi pazarında kurulu güç bakımından Almanya, Birleşik Krallık, İspanya, Fransa ve İsveç'in ardından gelerek altıncı sırada yer aldığı açıklanmıştır.

TÜRKİYE RÜZGAR SANTRALLERİ ATLASI 2025

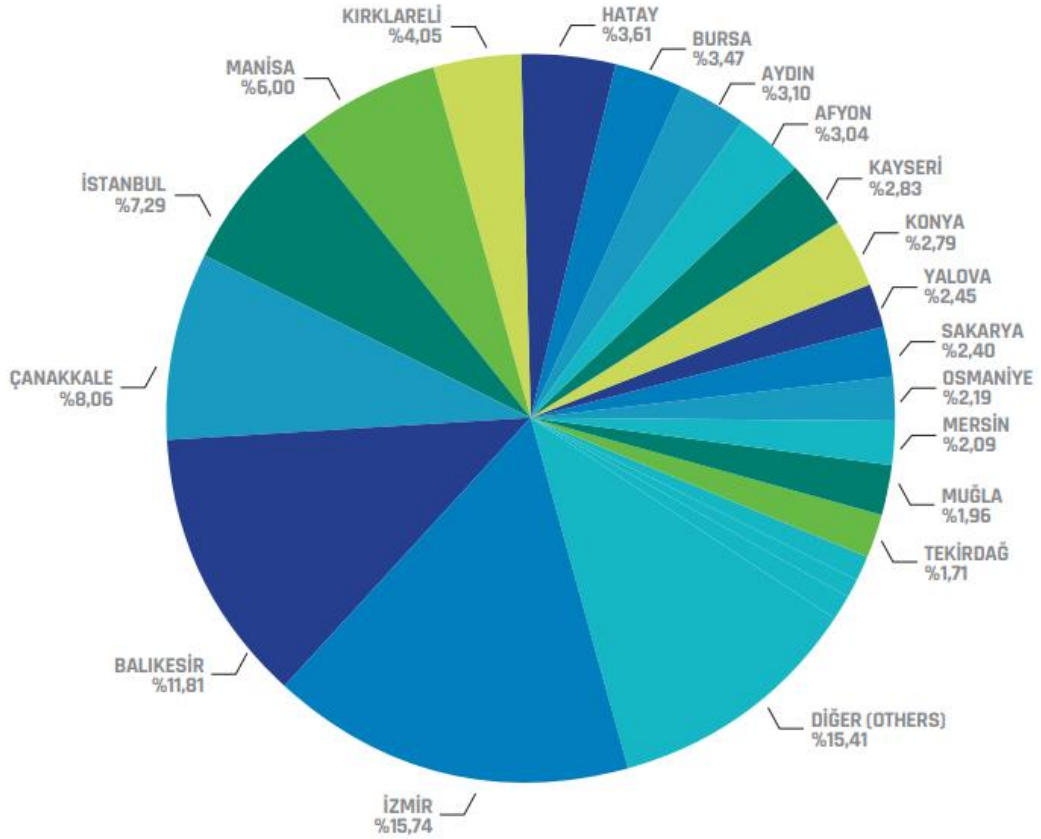
TURKISH WIND POWER PLANT ATLAS 2025



Şekil 24. Türkiye’de kurulu RES gösteren harita (TUREB, 2025)



Şekil 25. RES' in bölgelere göre dağılım grafiği (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2024).



Şekil 26. RES' in illere göre dağılım haritası (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2024).

3.2.6.1.Rüzgâr Türbinleri ve Türbin Elemanları

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini elektrik veya mekanik enerjisine çeviren cihazlardır. Rüzgâr türbinleri tipik olarak dört ana parçadan oluşur: türbin temeli, kule, makine parçası ve rotor. Temel, kule, rotor ve motoru belirli bir yükseklikte sabitler ve türbinin dikey olarak durmasını sağlar. Ana aks, şanzıman, jeneratör, trafo ve kontrol sistemi makine bölümünün parçalarıdır. Bununla birlikte, göbek ve kanatlar rotoru oluşturur.

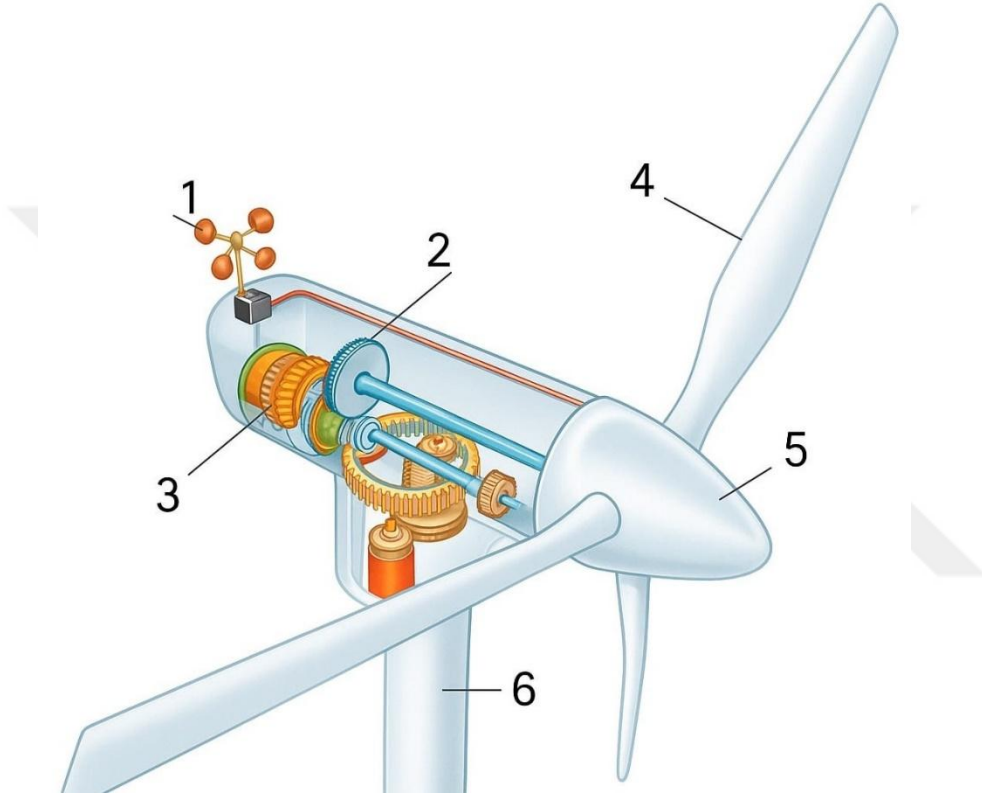
Ticari olarak kullanılan rüzgâr türbinlerinin çoğu üç rotor kanadı ile 60- 200 m uzunluğundadır. Örneğin, şu anda üretilen 50 m uzunluğundaki bir türbin, yaklaşık 2,5 ila 3 MW/h elektrik üretmektedir. 15 m çaplı rotorların 1985 yılında 1 MW'nin altında enerji üretme kapasitesi vardı. 2012 yılında geliştirilen 100 m çaplı rotora sahip türbinler ise 2,5 MW güce sahiptir. Ek olarak, 7,5 MW 'lik türbinlerin rotor çapları 120 m' den uzundur ve genellikle 60 m uzunluğundadır. 15 MW gelecekte kullanılacak türbinler üzerinde çalışmalar yürütülüyor ve 20 MW türbinlerin teorik olarak üretilmesi bekleniyor.

Rüzgâr türbinlerinin kuleleri genellikle boru şeklindedir ve çoğunlukla açık gri renkte boyanmış çelik veya beton kullanılarak yapılır. Rotor kanatları ise genellikle fiberglas, güçlendirilmiş polyester veya ahşap epoksi ile üretilir. Kanatların genellikle mat açık gri renkte olması, aydınlatma koşullarında göze çarpmalarını engellemek içindir. Ayrıca, kaplamanın mat olması, aydınlatma ışığının yansımalarını azaltır.

10 MW kapasiteli bir rüzgâr santrali iki ay içinde kurulabilirken, 50 MW kapasiteli bir santral yaklaşık altı ay içinde kurulur. Bu, inşaatın genellikle kısa süreli olduğunu göstermektedir. Kurulum maliyetleri farklı olabilir, ancak türbinlerin üretimi en büyük maliyeti oluşturur ve toplam kurulum sermayesinin yaklaşık %75'ini oluşturur. Tesis maksimum kapasitesine ulaştığında sadece bakım faaliyetlerine yönelik harcama yapılır.

Rüzgâr türbinleri, genellikle saniyede yaklaşık 4–5 m rüzgâr hızlarında çalışmaya başlamakta ve yaklaşık 15 m/s seviyelerinde maksimum güç üretimine ulaşmaktadır. Rüzgâr hızının 25 m/s değerinin üzerine çıkması durumunda ise, türbinler güvenlik gerekçeleriyle otomatik olarak devre dışı bırakılmaktadır. Modern rüzgâr türbinleri, sahip oldukları teknik kapasite ve işletme koşullarına bağlı olarak, çalışma sürelerinin yaklaşık %70–85'inde elektrik enerjisi üretmektedir. Bununla birlikte, bakım, onarım ve olası arızalar nedeniyle türbinlerin kesintisiz olarak çalışması mümkün olmadığından, herhangi bir türbinin zamanının %100'ünde enerji üretmesi beklenmemektedir. Ayrıca, aşırı yüksek rüzgâr hızlarında meydana

gelebilecek yapısal hasarların önlenmesi amacıyla türbinlerin kontrollü bir şekilde durdurulması da işletme sürecinin önemli bir parçasıdır. Rüzgâr türbinlerinin ekonomik ve teknik ömürleri ortalama 20–25 yıl olup, bu süre zarfında yaklaşık 120.000 saatlik bir çalışma kapasitesine sahiptirler. Bu değer, ortalama 4.000–6.000 saatlik çalışma ömrüne sahip bir otomobil motoru ile karşılaştırıldığında, rüzgâr türbinlerinin uzun süreli ve sürdürülebilir bir enerji üretim sistemi sunduğunu göstermektedir.



Şekil 27. Rüzgâr türbin elemanları

1- Anemometre: Rüzgârın hızını ölçen ve türbinin güvenli çalışmasını sağlayan cihazdır

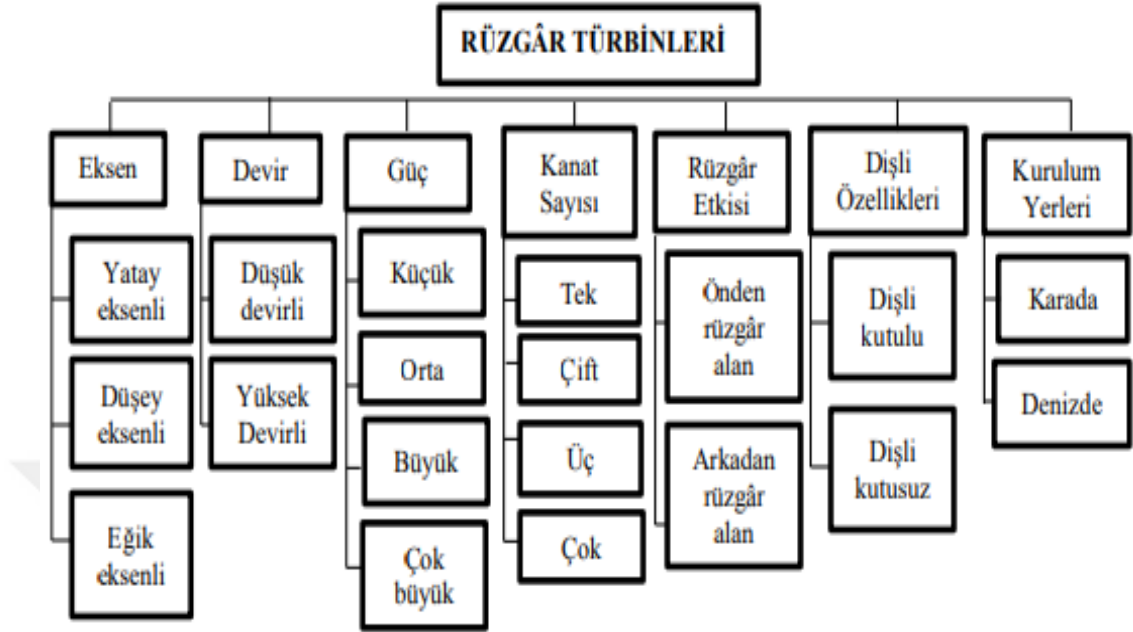
2- Dişli Kutusu: Rüzgâr türbininde pervane kanatlarının yavaş dönüşünü jeneratörün hızlı dönüşüne çeviren mekanizmadır.

3- Jeneratör: Rüzgâr türbininde dönme hareketini elektrik enerjisine çeviren cihazdır.

4- Kanatlar: Rüzgârın kinetik enerjisini alarak türbinin dönmelerini sağlayan aerodinamik yapılardır.

5- Rotor: Rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren türbin kanatları ve milden oluşan kısımdır.

Rüzgâr türbini elemanları arasında, kanatları yüksekliğe taşıyarak türbinin rüzgâr akımlarından maksimum enerji elde etmesini sağlayan ana taşıyıcı yapıdır.

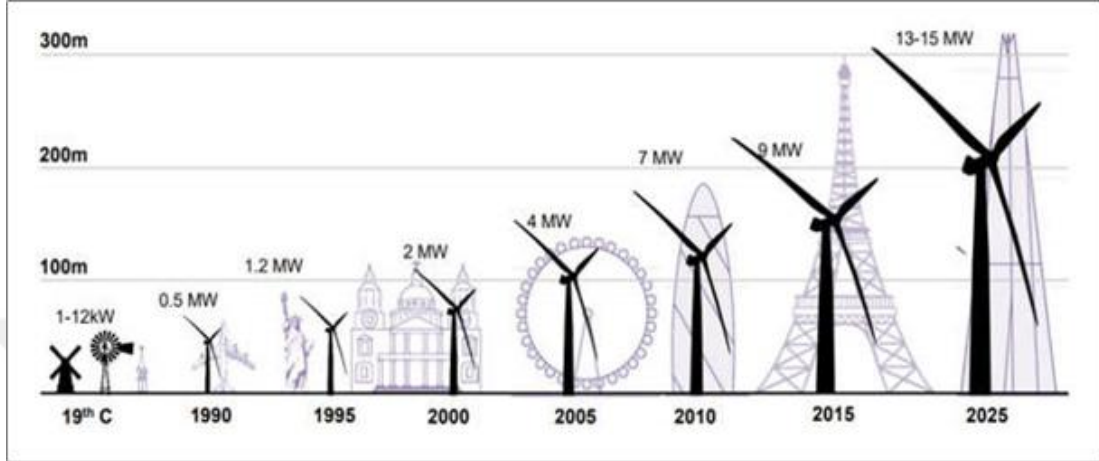


Şekil 28. Rüzgâr türbinlerinin gruplandırılması (Elibüyük ve Üçgil, 2014).

Rüzgâr hızı, genellikle yükseklik, bölgenin engebese ve çevresel özelliklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Açık tepeler ve geniş açık alanlarda rüzgâr hızı genellikle daha yüksektir; çünkü bu tür bölgelerde rüzgârın akışını engelleyen herhangi bir yapı bulunmamaktadır. Buna karşılık, ağaçlar, binalar ve diğer doğal veya yapay engeller rüzgârın hızını azaltarak rüzgâr enerjisi potansiyelinin düşmesine neden olabilmektedir (Burton vd., 2001). Bu kapsamda, Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun ili; kıyı kesimleri ile iç kesimler arasında belirgin yükselti farklarına sahip olması, engebeli topografik yapısı ve hâkim rüzgâr rejimlerine açık alanlar barındırması nedeniyle rüzgâr enerjisi potansiyelinin incelenmesi açısından uygun bir çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü, bölgedeki engel türü ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Yüksek yapılaşmanın bulunduğu alanlarda pürüzlülük değeri yüksek iken, denizler ve açık alanlar gibi engellerin sınırlı olduğu bölgelerde bu değer oldukça düşüktür. Bu durum, rüzgâr hızının düşey dağılımını ve enerji potansiyelini doğrudan etkilediğinden, rüzgâr enerjisi yatırımlarında zemin özellikleri ve yükseklik faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir (Taşkın, 2013).

Enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte, rüzgâr endüstrisinde yapılan geliştirmeler, türbinlerin daha fazla enerji üretmesini sağlamak amacıyla kanat çapları ve yüksekliklerinde yapılan artışlarla kendini göstermektedir. Bu değışiklikler, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji miktarının artırılmasına yönelik yapılan tasarım ve teknolojik iyileştirmelerin bir sonucudur (Kökey vd, 2017).

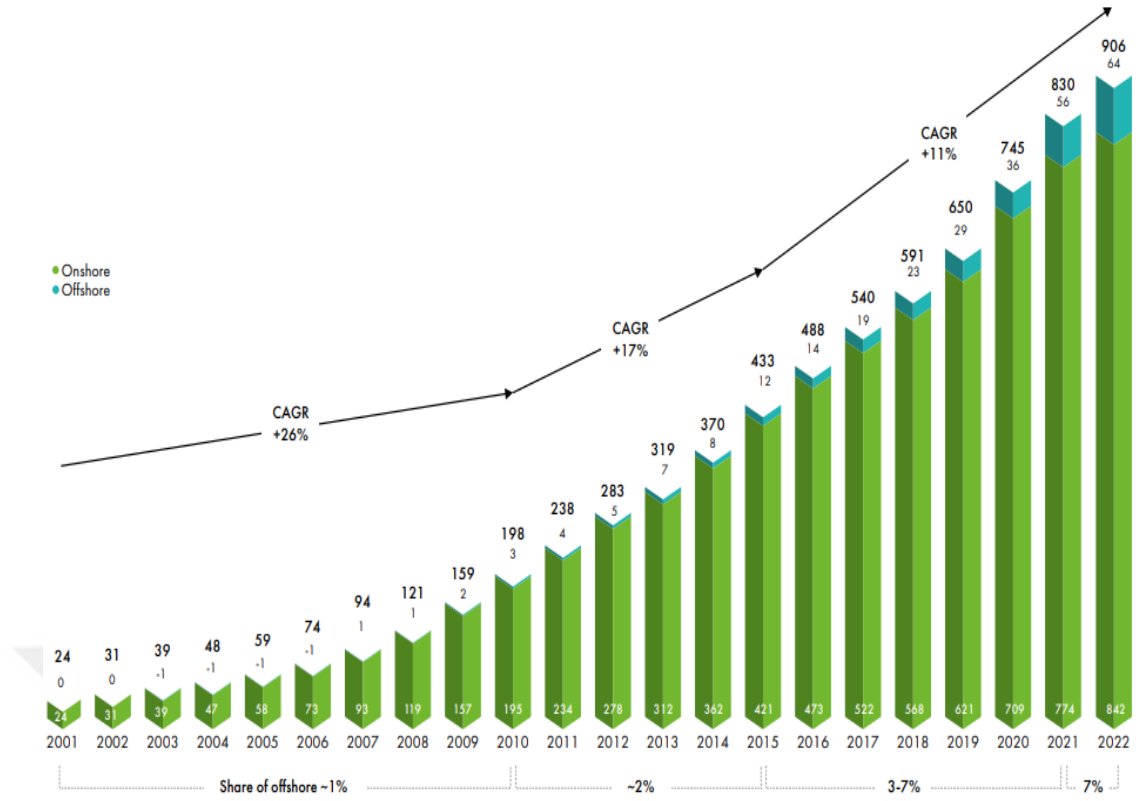


Şekil 29. Rüzgâr türbin kanatlarının çapı ve yüksekliği (Özen, 2021).

Bu bağlamda, karada ve denizde kurulan rüzgâr türbinlerinin performansı, büyük ölçüde kanat tasarımı ve rotor yüksekliği ile doğrudan ilişkilidir. Elektrik üretiminde verimli sonuçlar elde etmek için günümüzde sıklıkla tercih edilen modern rüzgâr türbinleri, yatay eksenli ve üç kanatlı tasarımlara sahiptir (Tong, 2010; Jha, 2010).

Rüzgâr türbinlerinin yapım sürecinde, çoğu karada kurulmuştur (Breeze, 2016; Tong, 2010). Karada kurulan santrallerin kurulum maliyetleri, deniz üstü santrallere kıyasla genellikle daha düşüktür. Ayrıca, karada bulunan santraller, işletme ve bakım açısından daha avantajlıdır ve elektrik şebekesine yakınlık gibi faktörlerle daha kolay erişilebilir (Tong, 2010).

1970'lerin başlarında tasarlanan deniz üstü rüzgâr türbinleri 1990'larda küçük çaplı projelerle kurulmaya başlanmıştır. Bu türbinler zamanla hızlı bir gelişim göstermiş ve günümüzde önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir (Tong, 2010; Gasch ve Tvele, 2011). Karada ve denizde kurulan rüzgâr enerjisi sistemlerinin tarihsel gelişimini ve yıllık büyüme oranını Şekil 30' da gösterilmektedir.

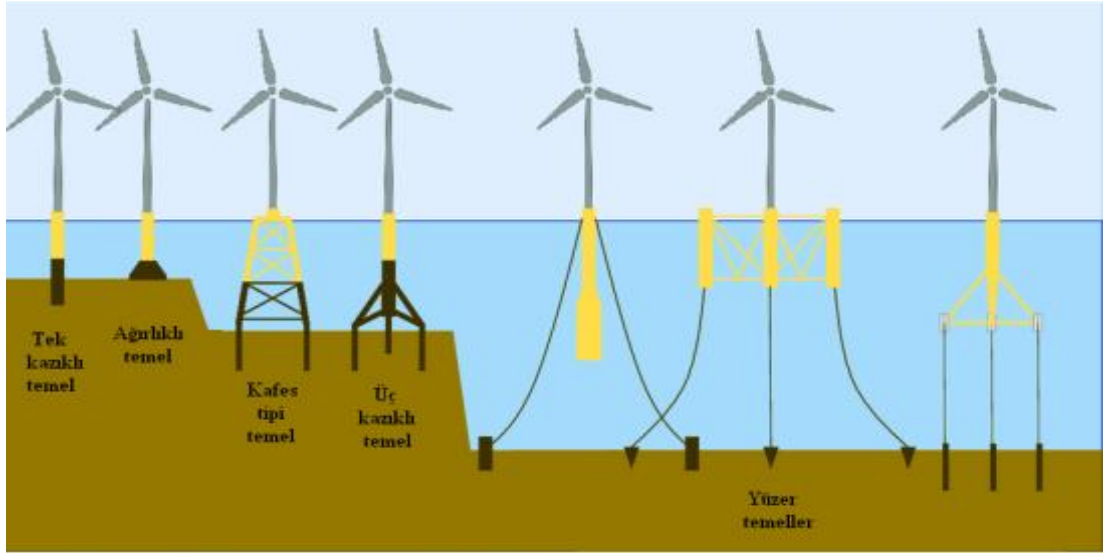


Şekil 30. Denizde ve karada kurulan RES'lerin tarihsel gelişimi (GWEC, 2024).

Deniz üstü rüzgâr santrallerinin kara üstü rüzgâr santrallerinden farklı olmasının avantajları (Breeze, 2016; Tong, 2010);

- Denizde rüzgârın sürekli, güçlü ve hızlı olması
- Modern rüzgâr türbinlerinin büyük olması nedeniyle karaya taşınması daha zor olması,
- Rüzgâr türbinlerinin karada oluşturduğu gürültünün ortadan kaldırılması
- Karaya göre daha geniş alanlara yerleştirilebilir olması olarak sıralandırılabilir.

Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin tasarımı, kullanacakları temel yapısına göre farklılık göstermektedir. Deniz derinlikleri ve çevresel koşullara bağlı olarak, çeşitli temel tipleri kullanılır. Bu temel türleri genel olarak şunlardır: tek kazıklı (monopile), ağırlıklı (gravity), kafes (jacket) tipi ve üç kazıklı (tripod) temeller. Ayrıca, açık deniz koşullarına uygun olarak geliştirilen yüzer (floating) temeller de mevcuttur. Türbinlerin temellerini seçerken, türbinin kule yüksekliği ve ağırlığı önemli kriterlerden biridir. Ayrıca, kurulacak alanda deniz tabanının yapısı ve derinliği de dikkate alınmalıdır. Türbinlerin uzun süreli kullanımında sert hava koşullarına dayanabilmesi için temel yapılarının sağlam ve dayanıklı olması gereklidir (Yerci, 2015). Temel tiplerine göre farklı türbin yapıları, Şekil 31'de gösterilmektedir.



Şekil 31. Rüzgâr türbinlerinin temel yapısına şekilleri (Dornhelm vd, 2019).

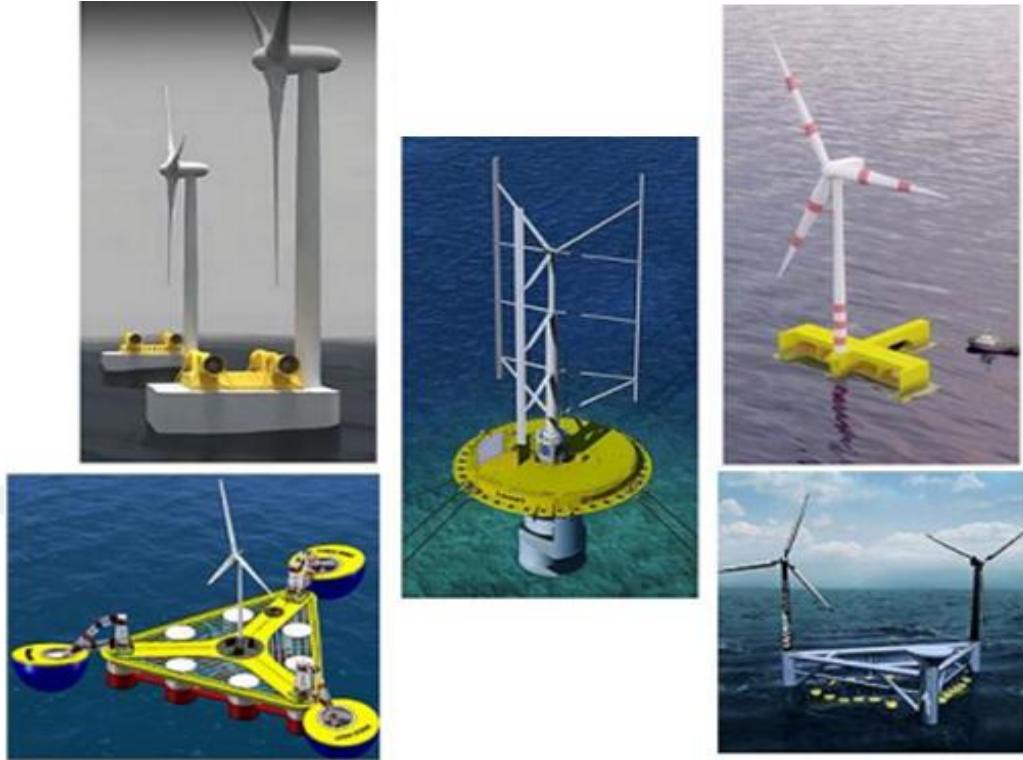
Çin'in Fuciyen (Fujian) eyaletindeki deniz üzerinde kurulu olan devasa Goldwind GWH252-16MW rüzgâr türbini, bölgede etkili olan güçlü rüzgarlar ve tayfun sayesinde 24 saat içinde 384,1 megavat (MWh) saat elektrik üretmektedir. 252 m yüksekliğindeki bu türbin, bu alanda dünya rekoru kırarken, elde edilen elektrik miktarının 170 bin haneye, 38 milyon LED lambasına ve ortalama bir elektrikli aracın 2,2 milyon kilometre yol almasına yetecek kadar olduğu belirtilmiştir.



Şekil 32. Goldwind türbini

Hibrit sistemler: Hibrit rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri, deniz üstü rüzgâr türbinleri ile dalga enerjisi dönüştürücülerinin aynı platformda yer aldığı ve altyapı ile temelin paylaşıldığı sabit veya yüzer türbin sistemleridir. Bu tür bir sistemin

kurulması, rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin diğer kombinasyonlarına kıyasla yüksek düzeyde teknik analiz ve geliştirme faaliyetleri gerektirir.



Şekil 33. Bazı hibrit sistem örnekleri

Ada sistemleri: Ada sistemleri, çeşitli deniz kaynaklarının birleşiminden yararlanarak tasarlanan ve sabit ya da yüzer yapay adaların üzerine yerleştirilen çok amaçlı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin bir örneği Şekil 34'te gösterilmektedir (Collazo vd., 2015).



Şekil 34. Enerji adası örneği (Pasternack, 2008).

3.2.6.2. Rüzgâr Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Olumlu Yönleri

Rüzgâr enerjisinin çevresel avantajları, birçok olumlu özellik içerir. Rüzgâr enerjisi hem su hem de havayı kirlilemez hem de tehlikeli atık üretmez. Rüzgâr enerjisi, fosil yakıt kaynakları olan petrol, gaz ve kömür gibi maddeleri kullanmaz, bu nedenle bu kaynakların çıkarılması ve taşınması sırasında çevreye zarar vermez. İşletim aşamasında suya ihtiyaç duymaz ve atmosferin dengesini bozarak sera etkisi yaratan CO₂, SO₂ ve NO_x gazlarının emisyonuna neden olmaz.

Rüzgâr enerjisi, geleneksel fosil yakıtlı elektrik üretiminin aksine, önemli miktarda dışa bağımlılığı azaltırken yerli enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlar. Bu da küresel ısınma ile mücadelede yardımcı olur. Yeşil enerji teknolojisi olarak kabul edilen rüzgâr enerjisinin çevresel etkileri son derece düşüktür. Kirliletiçi içermeyen, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Elektrik üretimi için yakıt gerektirmez ve toksik ya da radyoaktif atık oluşturmaz. Rüzgâr türbinlerinin üretim, kurulum, bakım ve sökme işlemlerinin maliyeti, ömrünün beşte biri süresinde amorti edilir. Ayrıca, türbinlerin temeli dışında kalan alanlarda tarım yapılabilir. Bu enerji türü, yerel ekonomilere katkıda bulunarak iş fırsatları yaratır ve işsizliği azaltabilir.

Özellikle temiz suya ulaşmanın zor olduğu yerlerde su, diğer bölgelere nazaran daha kıymetlidir. Bu bölgelerde su kaynaklarının azalması endişe vericidir. Elektrik santralleri, termodinamik döngülerinde büyük miktarda su kullanılmaktadır.

Tablo 5. AHP değerlendirme aşamasındaki ikili karşılaştırma puanlaması

Çevre Etkileri	Kömür	Doğalgaz	Petrol	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgâr
Hava ve su kirliliği	+	+	+			
Küresel ısınma	+	+	+			
Sel baskını					+	
Atık	+		+			
Madencilik ve sondaj	+	+	+	+		
Yeşil alanlar	+	+	+	+	+	+

Olumsuz Yönleri

Enerji üretim araçlarının genellikle çevre üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır ve rüzgâr enerjisi de bu durumun dışındadır. Diğer enerji teknolojileriyle kıyaslandığında, rüzgâr enerjisinin çevreye olan etkileri genellikle daha düşüktür. Rüzgâr santralleri kurulacak alanın temiz olmasına dikkat edilmektedir. Rüzgâr türbinlerinin kurulumu sırasında, kömür madenciliği ve kömürle çalışan elektrik santralleriyle karşılaştırıldığında, bitki örtüsü temizliği ve zemin düzenleme işlemleri oldukça sınırlıdır. Rüzgâr santralleri kapatıldığında, arazinin orijinal durumuna döndürülmesi mümkündür.

Rüzgâr enerjisinin en büyük zorluklarından biri, rüzgârın her zaman yeterli şiddette esmemesidir, bu da enerji üretiminin sürekli olamamasına yol açar. Rüzgâr enerjisi depolanmadığı için (batarya kullanılmadığı sürece) ve türbinler tüm rüzgâr potansiyelini elektrik talebine yönelik kullanamadığından, rüzgâr santrallerinin en büyük zorluğu bu durumdur. Ayrıca, genellikle güçlü rüzgâr alanları şehirlerden uzak bölgelerde bulunur, bu da enerji nakli için ek maliyetler anlamına gelir.

Rüzgâr santralleri diğer geleneksel santrallerden daha az çevresel etkiye sahip olsa da bazı dezavantajları da vardır. Bu sorunlar arasında rotor kanatlarının neden olduğu gürültü, elektromanyetik etkiler, estetik rahatsızlıklar ve göçmen kuşların kanatlarla çarpışma riski gibi etkiler gösterilebilir. Ancak, teknolojik gelişmeler sayesinde bu problemler büyük ölçüde hafifletilmiştir (Jaber, 2013).

Enerji üretim araçlarının genellikle çevre üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır ve rüzgâr enerjisi de bu durumun dışındadır. Diğer enerji teknolojileriyle kıyaslandığında, rüzgâr enerjisinin çevreye olan etkileri genellikle daha düşüktür. Rüzgâr santralleri genellikle temizlenmiş arazilerde inşa edilmektedir. Kömür madenciliği ve kömürle çalışan elektrik santralleriyle karşılaştırıldığında, bu santraller

için bitki örtüsü ve zemin düzenleme işlemleri oldukça düşüktür. Ayrıca, rüzgâr santrallerinin faaliyetten kaldırılması durumunda, arazinin eski haline dönüştürülmesi mümkündür.

Rüzgâr enerjisinin en büyük zorluklarından biri, rüzgârın her zaman yeterli şiddette esmemesidir, bu da enerji üretiminin sürekli olamamasına yol açar. Rüzgâr enerjisi depolanamadığı için (batarya kullanılmadığı sürece) ve trbınler tüm rüzgâr potansiyelini elektrik talebine yönelik kullanamadığından, rüzgâr santrallerinin en büyük zorluğu bu durumdur. Ayrıca, genellikle güçlü rüzgâr alanları şehirlerden uzak bölgelerde bulunur, bu da enerji nakli için ek maliyetler anlamına gelir.

Rüzgâr santralleri, geleneksel enerji santrallerine kıyasla daha düşük çevresel etkilere sahip olsa da bazı olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bunlar arasında rotor kanatlarının yarattığı gürültü, radyasyon, görsel kirlilik ve bazen göç eden kuşların rotor kanatlarına çarparak hayatını kaybetmesi yer alır. Ancak, bu sorunların çoğu, teknolojik gelişmeler sayesinde önemli miktarda azaltılmıştır (Jaber, 2013).

3.2.6.3.Rüzgâr Enerji Santralinin evre zerindeki Etkileri

RES' in çevreye ve insanlara pek çok faydası bulunmasına rağmen, bazı az miktardaki olumsuz etkileri de vardır.

Kuşlar

Rüzgâr enerjisi, Birdlife, WWF, Greenpeace ve Earth Friends gibi tanınmış evre kuruluşları tarafından desteklenmektedir. Birdlife, yakın dönemde kuşlar için iklim değişikliğinin en büyük risklerden biri haline geldiğı ve yenilenebilir enerji sistemlerinin bu sorunun çözülmesine yardımcı olabileceğini belirtmiştir.

Rüzgâr enerjisi, karbondioksit ya da diğer emisyonları retmemesiyle evre dostu bir teknoloji olarak kabul edilse de bazı olumsuz etkileri vardır. Özellikle kuşlar üzerinde rüzgâr trbınlerinin etkileri ve bazı insanların trbınlerden kaynaklanan gürültü nedeniyle rahatsızlık duyması, dikkat çeken konulardandır. Araştırmalara göre, göç eden kuşlar rüzgâr trbınlerine çarparak yılda 10.000 ila 40.000 arasında ölüm yaşayabilmektedir. Ancak bu rakam, diğer insan kaynaklı ölümlerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Örneğin, binaların cam yüzeylerine çarpıp ölen kuşlar, bu ölümler arasında en yaygın olanıdır ve kediler ise ikinci sıradadır. Rüzgâr trbınlerinin kuş ölümleri üzerindeki etkisi %0,01'in altındadır. Ayrıca, fosil yakıtlarla üretilen elektriğe göre rüzgâr enerjisi, kWh başına yaklaşık 20 kat daha az kuş ölümüne yol amaktadır. Ayrıca, düşük rüzgâr hızlarında trbın kanatlarının dönüş hızının büyük lde yavaşlaması, kuş ölümlerini asgariye indirmektedir (Ehrlich, 2013).

Gürültü

Gelişmiş modern rüzgâr türbinleri, mekanik bileşenlerin neden olduğu gürültüyü önemli ölçüde azaltmıştır. Günümüzde rüzgâr türbinlerinin en belirgin sesi, rotor kanatlarıyla etkileşime giren rüzgârın çıkardığı sestir. Sessiz kırsal alanlarda bile, rüzgârın uğuldaması türbinlerin çıkardığı sestten daha yüksek olabilir.

Kanada’da 2010 tarihinde yayımlanan "Rüzgâr Türbinlerinin Potansiyel Sağlık Etkileri" başlıklı rapor, türbinlerin çalışma ses seviyelerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen yerleşme bölgeleri için belirlenen ses seviyeleri sınırları içinde olduğunu göstermiştir.

General Electric (GE) Şirketi tarafından yapılan araştırmalara göre, rüzgâr türbinlerinin yerleşim alanlarından en az 300 m uzaklıkta bulunması gerekliliği sonucuna varılmıştır. Bu mesafedeki bir türbin, 600 m çapında bir çemberin en uzak noktalarına 43 desibel ses iletmektedir. Günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan bazı cihazlarla karşılaştırıldığında, evdeki klima yaklaşık 50 desibel, buzdolabı ise 40 desibel seviyesinde ses üretmektedir. Rüzgâr türbinlerinin bu araçlara göre çok daha sessiz olduğu görülmektedir. 500 m uzaklıktaki bir türbinin gürültü seviyesi 38 desibel seviyesine kadar düşmektedir. Çoğu yaşam alanındaki dış ses seviyesinin ortalama 40-45 desibel arasında olduğu düşünüldüğünde, bu mesafeden itibaren, türbinin çıkardığı ses çevresel gürültü seviyesinin altına düşer ve insan kulağı tarafından algılanamaz hale gelir (GE, 2018).

İnsan Sağlığı

Rüzgâr enerjisi, çevreye en az zarar veren enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Bu enerji kaynağı, sera gazları veya hava kirletici maddeler yaymaz ve kanserojen özellikteki fosil yakıtların aksine, zararlı partiküller içermez. Rüzgâr enerjisi, nükleer santrallerin ve fosil yakıtların aksine elektrik üretmek için çok az su kullanır. Rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, tatlı su rezervlerinin sürekli olarak azalması, iklim değişikliğinin hızlanması ve artan nüfus nedeniyle su kaynaklarının korunmasında çok önemlidir.

2009 yılında ABD, Kanada, Danimarka ve İngiltere’den tıp uzmanlarının katılımıyla yapılan "Rüzgâr Türbini Sesi ve Sağlık Etkileri" adlı bir araştırmada rüzgâr türbinlerinin yaydığı seslerin ve radyasyonun insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisinin doğrudan kanıtlanamadığı ifade edilmiştir.

Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi (NHMRC), 2010 yılında yayımladığı “Rüzgâr Türbinleri ve Sağlık” adlı bilimsel çalışmasında rüzgâr santrallerinin insan

sağlığı üzerinde doğrudan etkili patolojik bir etkisi olmadığını göstermiştir (EWAE, 2018).



4.MATERYAL VE YÖNTEM

4.1.Araştırma Hipotezi

Bu tez çalışmasının amacı, Giresun ilinde RES kurulumu için en uygun yerlerin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında, uygun alanların seçilmesinde kullanılacak yöntemler ortaya konulmuş, değerlendirmede dikkate alınacak kriterler belirlenmiş ve bu kriterler araştırılmıştır.

Tezin hipotezi, enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan rüzgâr enerjisinin CBS tabanlı analizler ve haritalar kullanılarak incelenmesi, kriterlerin AHP ile ağırlıklandırılması ve bu sayede Giresun ili için en uygun santral kurulum bölgelerinin belirlenmesidir.

4.2.Çalışma Bölgesi

Bu çalışmada uygulama bölgesi olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun ili seçilmiştir. Giresun doğuda Trabzon, batıda Ordu ve güneyde Sivas illeri ile komşudur. Coğrafi konumu, 37° 50' ve 39° 12' doğu boylamları ile 40° 07' ve 41° 08' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İl, 6.934 km² yüzölçümüne sahip olup merkezi ise deniz seviyesindedir.

2020 yılı verilerine göre Giresun'un arazi kullanım dağılımı şu şekildedir: %26 tarım arazisi, %22 çayır ve mera, %32 orman ve fundalık, %20 ise tarım dışı alanlardır (GİTOM, 2020).

Giresun ili, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Kıyı boyunca dar ve alçak düzlükler yer almakta, bu alanlar sınırlı tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. İç kesimlerde ise Doğu Karadeniz Dağları yükselir; bu dağlar dar vadilerle ayrılmış olup, ortalama yüksekliği 2.000 m civarındadır ve bazı bölgelerde 3.000 m aşmaktadır.

İlin yüzey şekillerinin dağılımı genel olarak şu şekildedir: dağlar ilin büyük kısmını kapsar (%94), ovalar kıyı kesimlerinde sınırlıdır (%1), platolar ise özellikle güney ilçelerinde küçük alanlar oluşturur. Bu coğrafi yapı, Giresun'un tarım ve yerleşim alanlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Giresun ili sınırları içerisinde RES kurulumu için uygun alanların belirlenmesine yönelik olarak ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP ve CBS olanakları bir arada kullanılmıştır. Yer seçim analizinde kullanılan veriler farklı kamu kurumlarından ve açık kaynaklı platformlardan temin edilmiştir. Bu yöntem ile her bir kriterin göreceli

önemi, önceki araştırmalar ve akademik kaynaklar dikkate alınarak seçilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar, hangi kriterlerin kurulum uygunluğunu etkilediğinin belirlenmesinde rehber olmuştur. Bazı veriler vektör bazıları ise raster olarak elde edilmiştir. Ağırlıklandırılan kriter katmanları CBS ortamında raster analiz teknikleriyle birleştirilerek her bir kriter ArcGIS 10.5 programı aracılığıyla düzenlenmiş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir kriter kendi içerisinde 1-5 arasında değerlendirilmiş olup başlıklar halinde açıklanmaktadır (Tablo 10).



Şekil 35. Çalışma bölgesi Giresun haritası

4.3. Veri Kaynaklarının Belirlenmesi ve Elde Edilmesi

Bu tez çalışmasında, RES kurulumu için en uygun bölgelerin belirlenmesinde kullanılacak kriterler, önceki araştırmalar ve akademik kaynaklar dikkate alınarak

seçilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar ve çalışma bölgeleri, hangi kriterlerin kurulum uygunluğunu etkilediğinin belirlenmesinde rehber olmuştur.

Kurulum için gerekli kriterler belirlendikten sonra, bu kriterler CBS ortamında uygulanabilecek yöntemler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Rüzgâr hızı, arazi kullanımı ve yükseklik gibi faktörler, en uygun kurulum alanlarının tespitinde temel değişkenler olarak öne çıkmıştır (Tablo 1).

RES' in verimli olabilmesi için, rüzgâr hızının genellikle 6 m/s'nin üzerinde olması gerektiği gözlemlenmektedir. Küçük türbinler, genellikle bir kuleye yerleştirilir ve kanatlarının yerden en az 9 m yüksekliğe ulaşması gerekmektedir. Ayrıca, türbinlerin çevresindeki engellerden minimum 90 m mesafede olması önerilmektedir. Çatıya kurulum genellikle tavsiye edilmez, çünkü türbinlerin titreşimleri binanın yapısına iletilerek yapısal sorunlar ve gürültüye neden olabilir. Ayrıca, türbinlerde aşırı türbülans meydana gelmesi türbinin ömrünü kısaltabilir (YEGM, 2014).

Verilerin temin edilme biçimleri ve işleme yöntemleri literatür taraması yoluyla belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm veriler Tablo 6'da sunulmuştur. Verilerin bir kısmı ilgili kaynaklardan doğrudan elde edilirken, bir kısmı sayısallaştırma teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Araştırmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verileri 30 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir ve bu verilerden yükseklik ile eğim haritaları oluşturulmuştur. Başlangıçta açık kaynaklardan coğrafi koordinat sisteminde temin edilen veriler, bütüncül ve yüksek doğrulukta analiz yapılabilmesi amacıyla WGS-84 UTM Zone 37N koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Tüm veriler ArcGIS 10.5 yazılımına aktarılmış, gerekli koordinat dönüşümleri ve veri kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca vektör veriler raster formata dönüştürülmüş ve uygunluk sınıfları önceki çalışmalar esas alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 6. Çalışmada kullanılan parametrelere ilişkin harita katmanları ve veri özellikleri

Faktör	Verinin Yapısı	Verinin Kullanım Şekli	Verinin Türü	Verinin Kaynağı
Rüzgâr Hızı	Raster	Doğrudan	Piksel (253*253)	Global Wind Atlas Url (https://globalwindatlas.info/en)
Enerji Nakil Hattı	Vektör	Kml shape dönüşümü	Shape (line, polygon)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Faya Uzaklık	Vektör	Kml shape dönüşümü	Shape (line)	SRTM Url (https://certmapper.cr.usgs.gov/)
Yola Uzaklık	Vektör	Kml shape dönüşümü	Shape (line)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Akarsuya Uzaklık	Vektör	Kml shape dönüşümü	Shape (line)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Arazi Kullanım	Vektör	Doğrudan (Euclidean Distance)	Shape (polygon)	CORINE 2018 Url (https://land.copernicus.eu/)
Göl, Korunan Alan, Baraja Uzaklık	Vektör	Kml shape dönüşümü	Shape (polygon)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Yerleşim Alanına Uzaklık	Vektör	Doğrudan (Euclidean Distance)	Shape (polygon)	CORINE 2018 Url (https://land.copernicus.eu/)
Eğim	Raster	Slope Analizi (DEM üzerinden)	Piksel (30*30 m)	SRTM Url (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Yükseklik	Raster	Doğrudan	Piksel (30*30 m)	SRTM Url (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Mülki İdare	Vektör	Doğrudan	Shape (line, point)	HGK Url (https://www.harita.gov.tr/)

4.4.ArcGIS Tabanlı Coğrafi Veritabanının Oluşturulması

Oluşturulan coğrafi veri tabanı, çizgi ve poligon geometrisine sahip toplam on kriteri içerecek biçimde yapılandırılmış olup WGS-84 UTM Zone 37N koordinat sistemine uygun olarak hazırlanmıştır. Veri tabanının tasarım ve oluşturma süreci ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, çalışmada dikkate alınan kriterler ise Tablo 6’da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Arazi kullanımı, enerji nakil hattına, göl, baraj ve korunan alana, yola, fay hattına, akarsuya ve yerleşim alanına uzaklık gibi vektör tabanlı kriterler, Euclidean Distance yöntemiyle raster formata dönüştürülmüş ve her piksel için kaynak veriye olan uzaklık hesaplanmıştır. Oluşan raster katmanlar, uzaklık değerlerine göre yeniden

sınıflandırılmış ve Giresun il sınırı verisi kullanılarak çalışma alanına uygun hâle getirilmiştir. Rüzgâr hızı, yükseklik ve eğim verilerinde mesafe hesaplamasına gerek olmadığından yalnızca yeniden sınıflandırma uygulanmıştır. Tüm veriler, Weighted Overlay analizine hazır olacak şekilde raster formatına dönüştürülerek entegre edilmiştir.

4.5.AHP ile Ağırlıkların Belirlenmesi

Çalışmada, en uygun yer seçiminde etkili olan faktörler belirlenmiş ve bu faktörlere ilişkin harita verileri elde edilmiştir. Sonrasında, her bir faktörün yer seçimine olan etkisinin düzeyini belirlemek amacıyla ağırlıklandırma süreci gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP tercih edilmiştir. Bu çalışmada da RES için en uygun yerlerin belirlenmesinde on farklı kriter değerlendirmeye alınmıştır.

Bu araştırmada, AHP uygulamasında kullanılan parametrelerin önem düzeylerinin belirlenmesinde, Can ve Yücel (2019) tarafından Çanakkale ili ve Arca ve Çıtıroğlu (2020) tarafından Karabük ili için gerçekleştirilen RES yer seçimi çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmaların ağırlıkları tablo 7 ve tablo 8’ de sunulmaktadır. Her iki çalışma alanı, Giresun ili ile topografik yapı, arazi kullanımı ve rüzgâr rejimi açısından benzer özellikler göstermektedir. Özellikle engebeli arazi yapısı, orman ve tarım alanlarının yaygınlığı ile yerleşim alanlarına olan hassasiyet, söz konusu sahalar arasında ortak kriterler olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, ilgili çalışmalarda önerilen ağırlıklandırma katsayıları, Giresun ili için yürütülen analizde literatüre dayalı karşılaştırmalı bir yaklaşım çerçevesinde değerlendirilmiştir (Tablo 9).

Tablo 7. Can ve Yücel (2019) tarafından Çanakkale ili için kullanılan kriterler ve ağırlık puanı.

Kriter	Ağırlık (W) (%)
Kapasite Faktörü	46
Eğim	10
Fay Hattına Uzaklık	3
Trafo Merkezine Uzaklık	25
Yola Olan Uzaklık	11
Yerleşim Yerine Uzaklık	5

Tablo 8. Arca ve Çıtıroğlu (2020) tarafından Karabük ili için kullanılan kriterler ve ağırlık puanı.

Kriter	Ağırlık (W) (%)
Rüzgâr Hızı	28
Arazi Kullanımı	24
Yükseklik	13
Bakı	11
Trafo Merkezine Uzaklık	5
Eğim	5
Litoloji	6
Yola Olan Uzaklık	4
Fay Hattına Uzaklık	2
Akarsuya Olan Uzaklık	2

Tablo 9. Parametrelerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılan ağırlıklandırma katsayıları (Arca ve Çıtıroğlu, 2020 ; Can ve Yücel, 2019).

Parametreler	Ağırlık (Ortalama)
Rüzgâr Hızı	28
Arazi Kullanımı	25
Yükseklik	13
Yerleşim Alanına Uzaklık	12
Trafo ve ENH Uzaklık	6
Eğim	5
Yola Uzaklık	4
Fay Hattına Uzaklık	3
Akarsuya Uzaklık	2
Göl, Baraj ve Korunan Alana Uzaklık	2

AHP yöntemi, kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemekle birlikte, farklı birim ve değer aralıklarına sahip mekânsal verilerin doğrudan karşılaştırılmasına imkân tanımamaktadır. Bu nedenle, kriterlerin ortak bir değerlendirme ölçeğine indirgenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, her bir kriter haritası literatürde yaygın olarak kullanılan uygunluk derecelendirme yaklaşımı doğrultusunda 1–5 aralığında yeniden sınıflandırılmıştır (Tablo10). Bu işlem sayesinde, farklı ölçü birimlerine sahip kriterler karşılaştırılabilir hale getirilmiş ve AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıkların Weighted Overlay analizinde etkin biçimde kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Tablo 10. AHP uygunluk ölçeği

Ağırlık Puanı	Uygunluk Durumu
1	Uygun değil
2	Az uygun
3	Orta uygun
4	Uygun
5	Çok uygun

4.6.AHP Kapsamında Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Bu çalışmada dikkate alınan faktörler, daha önce gerçekleştirilen benzer araştırmalardan elde edilen bulgular ile konuya ilişkin deneyimli uzmanların çalışmalarında ortaya konan verilerden yararlanılarak ikili karşılaştırma matrisine aktarılmıştır (Tablo 11). İkili karşılaştırma değerleri, Saaty (1986) tarafından geliştirilen ikili karşılaştırma değerlendirme ölçeği esas alınarak puanlandırılmıştır. Ardından, elde edilen veriler kare matris biçiminde düzenlenmiş ve parametrelerin köşegen elemanları 1 değeri ile ifade edilmiştir.

Matrislerin oluşturulmasının ardından, faktörlerin önem derecelerini belirlemek amacıyla özvektör yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda her bir kriter için ağırlık değerleri hesaplanmış ve kriterlerin karşılaştırmalarının tutarlılığını değerlendirmek üzere Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmıştır. Saaty'ye göre CR değerinin 0,10'un altında olması, yapılan ikili karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen matrislerin CR değerleri kabul edilebilir sınırların altında bulunmuş ve belirlenen kriterlerin ağırlıklarının geçerliliği doğrulanmıştır.

Sonuç olarak, ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen ağırlıklandırma analizine göre en yüksek öneme sahip kriterler sırasıyla rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükseklik, trafo merkezine uzaklık, eğim, yol mesafesi, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve yerleşim alanlarına uzaklık olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. RES yer seçiminde kullanılan faktörlerin ikili karşılaştırma matrisi

Parametreler	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
(a) Rüzgâr Hızı	1	4	8	2	3	7	6	7	7	7
(b) Yükseklik	1/4	1	5	1/3	1/2	5	4	6	5	5
(c) Eğim	1/8	1/5	1	1/7	1/5	2	1/3	4	3	3
(d) Arazi Kullanımı	1/2	3	7	1	7	7	6	7	7	7
(e) Yerleşim Alanına Uzaklık	1/3	2	5	1/7	1	3	1	3	7	7
(f) Yola Uzaklık	1/7	1/5	1/2	1/7	1/3	1	2	2	2	2
(g) Trafo ve ENH Uzaklık	1/6	1/4	3	1/6	1	1/2	1	3	2	2
(h) Fay Hattına Uzaklık	1/7	1/6	1/4	1/7	1/3	1/2	1/3	1	2	2
(i) Akarsuya Uzaklık	1/7	1/5	1/3	1/7	1/7	1/2	1/2	1/2	1	1
(j) Göl, Baraj, Korunan Alana Uzaklık	1/7	1/5	1/3	1/7	1/7	1/2	1/2	1/2	1	1
Toplam	2.95	11.22	30.42	4.36	13.65	27	21.67	34	37	37

Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan ve kriterlere ilişkin değerler belirlendikten sonra, matrisin her bir elemanı kendi sütun toplamına bölünmüş ve bu işlem sonucunda normalize edilmiş karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Bu aşama, kriterler arasındaki göreceli önem derecelerinin daha sağlıklı bir biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Tablo 12).

Tablo 12. Normalizasyon matrisi

Parametreler	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	Toplam	Ağırlık	%
(a) Rüzgâr Hızı	0,34	0,36	0,26	0,46	0,22	0,26	0,28	0,21	0,19	0,19	2,76	0,28	27,58
(b) Yükseklik	0,08	0,09	0,16	0,08	0,04	0,19	0,18	0,18	0,14	0,14	1,27	0,13	12,68
(c) Eğim	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,07	0,02	0,12	0,08	0,08	0,51	0,05	5,10
(d) Arazi Kullanımı	0,17	0,27	0,23	0,23	0,51	0,26	0,28	0,21	0,19	0,19	2,53	0,25	25,30
(e) Yerleşim Alanına Uzaklık	0,11	0,18	0,16	0,03	0,07	0,11	0,05	0,09	0,19	0,19	1,19	0,12	11,86
(f) Yola Uzaklık	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,09	0,06	0,05	0,05	0,44	0,04	4,36
(g) Trafo ve ENH Uzaklık	0,06	0,02	0,10	0,04	0,07	0,02	0,05	0,09	0,05	0,05	0,55	0,05	5,50
(h) Fay Hattına Uzaklık	0,05	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,30	0,03	3,00
(i) Akarsuya Uzaklık	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,23	0,02	2,31
(j) Göl, Baraj, Korunan Alana Uzaklık	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,23	0,02	2,31
Toplam	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10,00	1,00	100,00

Normalize edilmiş matrisin satır değerleri toplanmış ve bu toplamalar kullanılan faktör sayısına (10 faktör) bölünerek özvektör değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan

özvektörler, her bir kriterin görelî önem düzeyini ifade etmekte olup Tablo 13'te sunulmaktadır.

Tablo 13. Öz vektör değerleri

Parametreler	Ağırlık (W)
(a) Rüzgâr Hızı	0.275822117
(b) Yükseklik	0.12680529
(c) Eğim	0.050983582
(d) Arazi Kullanımı	0.252997544
(e) Yerleşim Alanına Uzaklık	0.118573378
(f) Yola Uzaklık	0.043623283
(g) Trafo ve ENH Uzaklık	0.054999848
(h) Fay Hattına Uzaklık	0.030018853
(i) Akarsuya Uzaklık	0.023088052
(j) Göl, Baraj, Korunan Alana Uzaklık	0.023088052
Toplam	1

Literatür temelli öznel değerlendirmelerle oluşturulan ikili karşılaştırmalarda kullanılan ağırlıkların güvenilir olabilmesi için A matrisinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir (Uyan ve Yalpr, 2016). Bu nedenle Tablo 10'de verilen ikili karşılaştırma matrisi dikkatle gözden geçirilmelidir (Uyan ve Yalpr, 2016). Ağırlıkların belirlenmesinden sonra hesaplamaların doğruluk düzeyini sınamak amacıyla tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Tutarlılık oranı, $CR = CI/R$ denkleminde (Eşitlik 6) göre elde edilmiştir. Çalışmada hesaplanan CR değeri 0,09'dur. Yaygın olarak kabul edilen ölçüte göre, tutarlılık oranının 0,10'un altında kalması yapılan değerlendirmelerin tutarlı olduğunu ifade etmektedir; 0,10'un üzerindeki değerler ise karşılaştırmaların yeniden düzenlenmesi gerektiğine işaret eder (Öztürk ve Kılıç, 2010). Bu araştırmada elde edilen 0,09'luk değerin kabul edilebilir düzeyde olması nedeniyle CR uygun bulunmuş ve belirlenen ağırlıkların CBS analizlerine aktarılmasına geçilmiştir.

5.BULGULAR

Bu bölümde ÇKKV yöntemleri ve CBS tabanlı analizler kullanılarak en uygun RES alanlarının belirlenmesi çalışmalarına ilişkin bulgular sunulmuştur.

5.1.ÇKKV Yöntemleri ve CBS Tabanlı Analizler Kullanılarak En Uygun RES Alanlarının Belirlenmesi

5.1.1.Kullanılacak altıkların hazırlanması

Mülki idare sınırları çalışma ortamına aktarıldıktan sonra, sınırlar üzerinde mekânsal analiz yapılabilmesi için çizgi (line) türündeki verilerin kapalı alan (polygon) formatına dönüştürülmesi gerekmiştir. Bu amaçla “Feature to Polygon” aracı kullanılmıştır. Bu dönüşüm, idari birimlerin sınırlarının kapalı bir geometrik yapıya kavuşmasını sağlayarak alan hesaplamaları, çakıştırma analizleri ve bölgesel sınırlara dayalı diğer mekânsal işlemlerin doğru ve uygulanabilir bir şekilde gerçekleştirilmesi için tercih edilmiştir.

Ardından çalışma kapsamını oluşturan Giresun ili, mülki idare sınırları içerisinde seçilmiştir. Seçim işleminin ardından il sınırının ayrı bir veri seti olarak kullanılabilmesi için “Export Data” komutu ile dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu adım, analizlerin yalnızca çalışma alanı üzerinde yürütülmesini sağlamak ve gereksiz veri yükünü azaltmak amacıyla yapılmıştır.

Çalışma alanının mekânsal bütünlüğünü sağlamak amacıyla tüm veriler, çalışma kapsamında kullanılan ortak koordinat sistemi olan WGS 84 / UTM Zone 37N sistemine dönüştürülmüştür. Bu projeksiyon dönüşümü, veri setleri arasında konumsal uyum sağlamak, ölçüm ve alan hesaplamalarında oluşabilecek hataları önlemek ve tüm analizlerin aynı referans sisteminde yürütülmesini mümkün kılmak için tüm katmanlara uygulanmıştır.

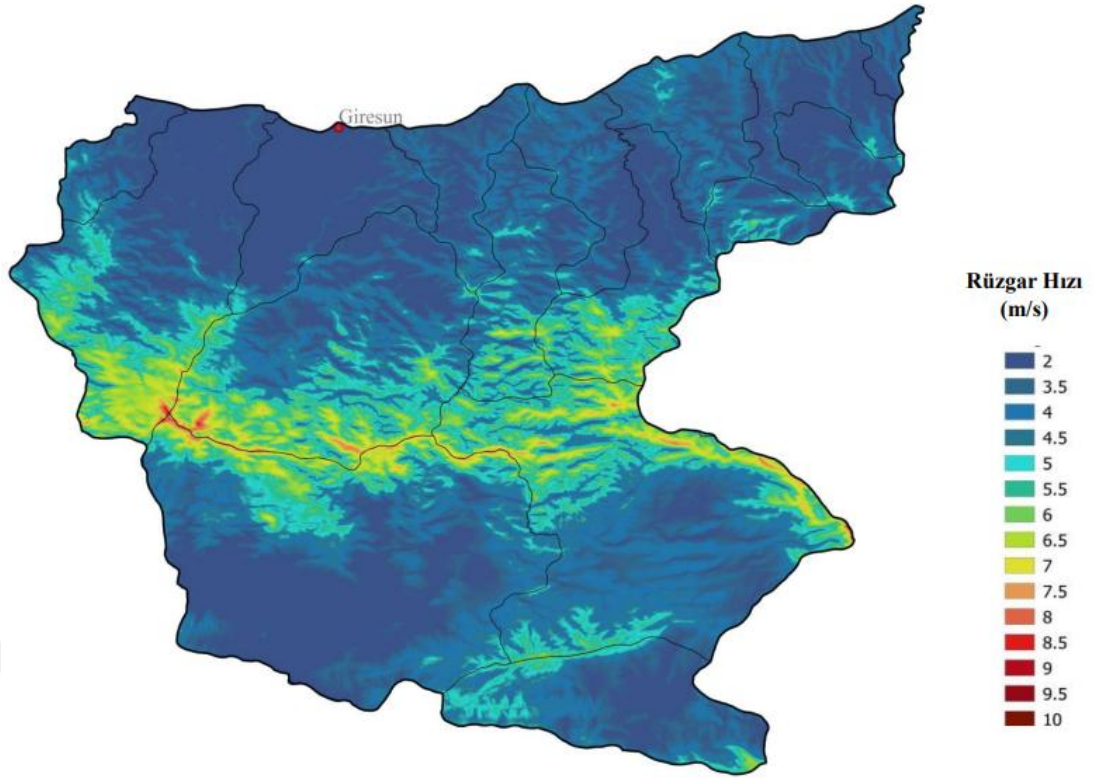
Çalışma alanındaki il ve ilçe adlarının harita üzerinde gösterilebilmesi amacıyla, ilgili katmanlar Giresun il sınırı ile kesiştirilmiştir. Bu doğrultuda “Clip” aracı kullanılarak, yalnızca çalışma alanı içerisinde kalan idari birimlerin ayrıştırılması sağlanmıştır. Böylece il ve ilçe etiketlerinin (label) yalnızca Giresun sınırları içinde doğru konumlarda görüntülenmesi mümkün hâle gelmiştir. Clip işlemi sonrasında elde edilen yerleşim noktalarına koordinat dönüşüm adımları uygulanmıştır.

TIF formatında temin edilen DEM verileri, Image Analysis modülünde yer alan “Mosaic” işlemi uygulanarak tek bir bütünleşik yüzey modeli hâline getirilmiştir. Bu işlem, farklı DEM parçalarının tonal ve yükseklik uyumunun sağlanması ve analizlerde kullanılacak homojen bir arazi modeli oluşturulması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ardından, elde edilen birleşik DEM verisi çalışma alanı sınırlarıyla uyumlu hâle getirmek için “Clip” işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, veri setinin sadece çalışma alanına ait kısmının ayrıştırılmasını sağlayarak gereksiz veri yükünü önlemektedir. Clip işlemi sonrasında, veri setinin koordinat sistemi “Properties” kısmından seçilerek çalışma alanı ile tam uyum sağlanmıştır. Böylece yalnızca Giresun iline ait arazi verisi analizlere hazır hâle getirilmiştir.

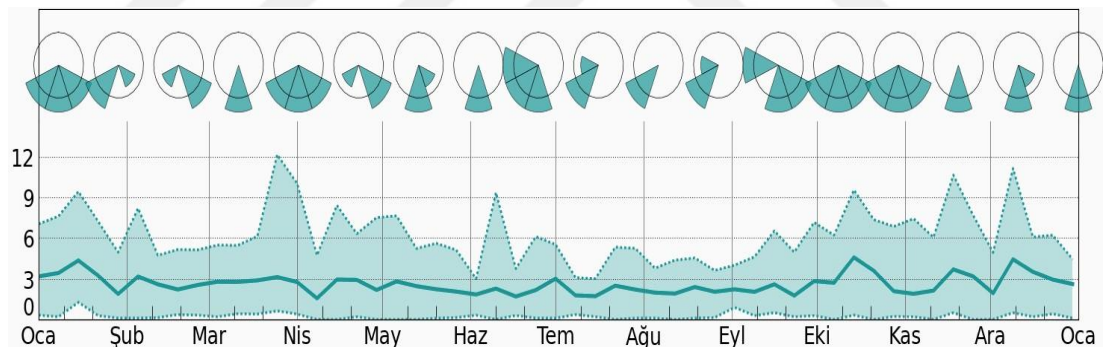
Çalışma alanının topografik özelliklerini görselleştirmek ve arazi şekillerini daha iyi yorumlayabilmek amacıyla DEM verisine “Hillshade” aracı kullanılarak kabartma haritası oluşturulmuştur. Bu işlem, arazi yüzeyinin güneş ışığına göre gölgelendirilmesini sağlayarak yükseklik ve eğim farklarının görsel olarak daha belirgin hâle gelmesini amaçlamaktadır. Arkada daha rahat gözükebilmesi için transparanlığı %70 olarak belirlenmiştir.

5.1.2. Rüzgâr hızı haritasının oluşturulması

Rüzgâr hızı parametresi, RES yer seçim analizlerinde kritik bir iklimatik değişken olarak öne çıkmakta ve türbinlerin enerji üretim verimliliğini doğrudan etkilemektedir. RES planlamalarında, öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken unsur, çalışmanın yürütüleceği alanın rüzgâr hızı dağılımıdır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Literatürde farklı çalışmalar, RES yatırımları için uygun rüzgâr hızları konusunda değişken eşik değerler önermektedir. Ekiz ve arkadaşları (2022), Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği ile yürütülen görüşmeler sonucunda, 100 m yüksekliğinde 2,5–3 m/sn hızın RES kurulumu için alt sınır teşkil ettiğini; ekonomik açıdan daha verimli ve uygulanabilir yatırımlar için ise 5–6 m/sn hız aralığının tercih edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Giresun ilinin yıllık ortalama rüzgâr hızı 3,98 m/s olup, bu değer Türkiye ortalamasının (5,2 m/sn) altında kalmaktadır (YEGM, 2022).



Şekil 36.Giresun ili 100 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı haritası (REPA, 2024)



Şekil 37.Giresun ili rüzgâr hızı ve yönü

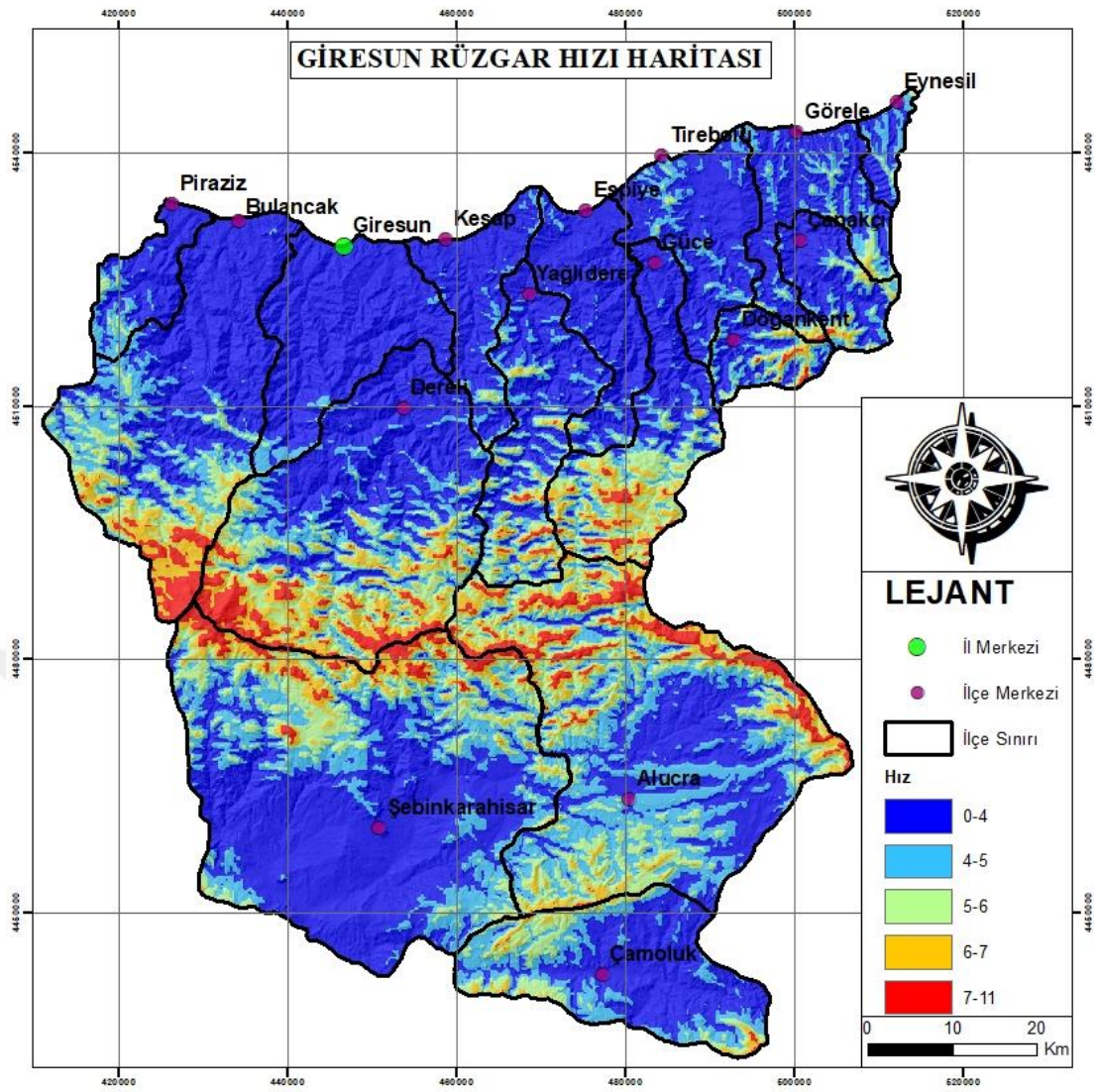
Araştırmada, Giresun iline ait rüzgâr hızı verileri Global Wind Atlas veri tabanından temin edilmiş, ArcGIS yazılımı kullanılarak CBS ve 100 m yükseklik için mekânsal rüzgâr hızı dağılım haritası oluşturulmuştur. Literatür ve bölgedeki mevcut RES projelerinin çıktıları göz önünde bulundurularak, 100 m yükseklikteki rüzgâr hızları, türbinlerin verimli ve ekonomik enerji üretimi gerçekleştirebileceği alanların belirlenmesinde kriter olarak benimsenmiştir (Köse vd., 2005).

TİF formatındaki rüzgâr hızı verisi çalışma ortamına aktarıldıktan sonra, yalnızca analiz kapsamına giren Giresun ili sınırları seçilerek “Clip” işlemi uygulanmıştır. Ardından koordinat dönüşümü işlemi uygulanarak rüzgâr hızı verisi çalışma alanının referans koordinat sistemi ile uyumlu hâle getirilmiştir.

Rüzgâr hızı verisinin analizde kullanılacak sınıf sayısının beşe düşürülmesi ve her sınıf için belirli değer aralıklarının tanımlanabilmesi amacıyla “Reclassify” aracı kullanılmıştır. Bu araç, veri aralığının yeniden sınıflandırılmasına olanak sağlayarak hem tematik haritaların daha anlaşılır hâle gelmesini hem de analiz sürecinde kullanılacak kategorik değerlendirmelerin standardize edilmesini mümkün kılmıştır. Reclassify işlemi, çalışma kapsamında değerlendirilen tüm parametrelerde tutarlılığı sağlamak amacıyla aynı yöntemle uygulanmıştır.

Reclassify işleminden sonra, sınıflandırma değer aralıklarının tablo üzerinde gösterilebilmesi amacıyla veri tablosunda “Add Data” işlemi ile metin (text) formatında yeni bir sütun oluşturulmuştur. “Editor” kısmından “Start Editing” komutu kullanılarak düzenleme moduna geçilmiş ve her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları bu sütuna manuel olarak girilmiştir. Bu adım, parametrelerin tematik sınıflandırmalarının açık ve karşılaştırılabilir şekilde sunulmasını sağlamak amacıyla çalışma kapsamında ele alınan tüm veri setlerine uygulanmıştır.

Alan bilgilerinin veri tablosunda gösterilebilmesi için, sayı tabanlı veri girişi yapmaya uygun bir “Float” tipinde sütun oluşturulmuştur. Alan hesaplamasının doğru bir şekilde yapılabilmesi için, veri setinin Properties kısmında belirtilen hücre (pixel) boyutu dikkate alınarak alan hesaplaması yapılmıştır. Böylece her bir sınıfa ait gerçek alan değerleri hesaplanarak tabloya eklenmiştir. Bu işlem, çalışma kapsamında değerlendirilen tüm parametrelerde standart olarak uygulanmıştır. Son olarak, tematik haritaların görsel açıdan anlaşılır ve yorumlanabilir hâle gelmesi için uygun renk skalaları belirlenmiş; lejant bilgileri eklenerek haritalandırma süreci tamamlanmıştır. Bu adım bütün haritalara altlık olarak kullanılmıştır (Şekil 53).



Şekil 38. Rüzgâr hızı haritası

Rüzgâr hızı, RES yer seçiminde enerji üretim potansiyelini doğrudan etkileyen en temel parametrelerden biridir. Türbinlerin ekonomik ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için belirli bir minimum rüzgâr hızının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle rüzgâr hızı değerleri, enerji üretim verimliliği dikkate alınarak uygunluk sınıflarına ayrılmıştır (Tablo 14).

Bu çalışmada rüzgâr hızı kriteri, literatürde yer alan teknik eşikler ve ticari rüzgâr türbinlerinin çalışma prensipleri göz önünde bulundurularak 0–7 m/s ve üzeri aralığında kademeli olarak daraltılmıştır. Düşük rüzgâr hızlarında enerji üretiminin ekonomik olmaması nedeniyle bu değerler düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda rüzgâr hızı kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, rüzgâr türbinlerinin teknik çalışma sınırları ve enerji üretim verimliliği esas alınmıştır. 0–4 m/s aralığı, türbinlerin kesme hızının altında veya bu sınıra yakın olması ve enerji üretiminin yetersiz kalması nedeniyle çok düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. 4–5 m/s aralığı, sınırlı düzeyde enerji üretimi sağlayabilmesi sebebiyle düşük uygunluk olarak ele alınmıştır. 5–6 m/s aralığı, teknik olarak çalışabilir olmakla birlikte ekonomik verimliliğin orta düzeyde kaldığı alanları temsil ettiğinden orta uygunluk sınıfına atanmıştır. 6–7 m/s aralığı, rüzgâr türbinleri için yüksek enerji üretim potansiyeline sahip alanlar olması nedeniyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. 7 m/s üzerindeki rüzgâr hızları ise enerji üretiminin maksimum düzeye ulaştığı ve yatırımın ekonomik açıdan en avantajlı olduğu alanları temsil etmesi sebebiyle çok yüksek uygunluk sınıfında ele alınmıştır.

Bu sınıflandırma ile rüzgâr hızı arttıkça alanların RES kurulumu açısından uygunluğunun da arttığı varsayımı benimsenmiş ve kriter haritası bu doğrultuda ağırlıklandırılarak analiz sürecine dahil edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanının %54,30’ü “1” puan ile uygun olmayan, %4,81’si ise “5” puan ile çok uygun kategoride yer almaktadır. Rüzgâr hızı kriterinin toplam değerlendirmedeki ağırlığı %28 olarak belirlenmiştir (Tablo 14).

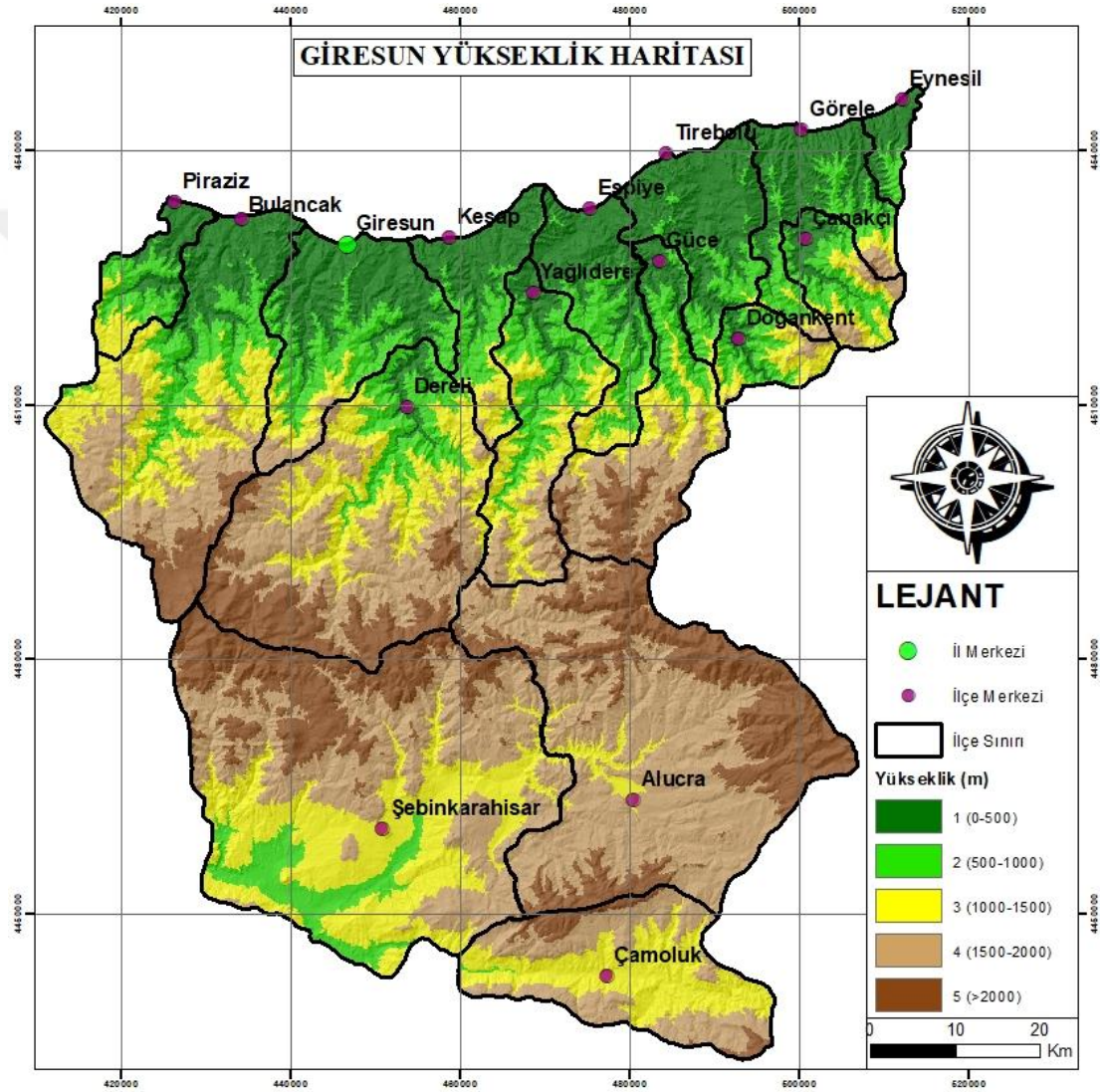
Tablo 14. Rüzgâr hızına karşılık gelen alanların hesaplanması

Hız (m/s)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 4	378,191	54,3	1
4 - 5	142,859	20,51	2
5 - 6	90,153	12,94	3
6 - 7	51,830	7,44	4
> 7	33,500	4,81	5
Toplam	696,532	100	

5.1.3.Yükseklik haritasının oluşturulması

Yükseklik kriteri sınıflandırılırken, rüzgâr hızının ve sürekliliğinin yükseklikle birlikte artması dikkate alınmıştır. Düşük rakımlı alanlarda rüzgâr potansiyelinin genellikle yetersiz olması nedeniyle bu alanlar düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiş, yükseklik arttıkça rüzgârın daha kararlı ve verimli hale gelmesi sebebiyle uygunluk değerleri kademeli olarak artırılmıştır. Bu doğrultuda yükseklik sınıfları, rüzgâr potansiyelini yansıtacak şekilde 1–5 arası uygunluk sınıflarına dönüştürülmüştür. Bu çalışmada yükseklik verisi, USGS Earth Explorer platformundan elde edilmiştir.

Çalışma alanı sınırlarıyla kesilen DEM verisine arazi yükselti basamaklarının sınıflandırılabilmesi amacıyla “Reclassify” işlemi uygulanmıştır. Reclassify adımının ardından, her sınıfa ait değer aralıkları tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu düzenlemeler sonrasında, haritanın görsel yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları belirlenmiş ve lejant bilgileri eklenmiştir. Tüm bu aşamaların tamamlanmasıyla birlikte, Şekil 39’da sunulan yükselti haritası üretilmiştir.



Şekil 39. Yükselti haritası

Bu çalışmada yükseklik değerleri 0–2000 m ve üzeri aralığında kademeli olarak sınıflandırılmış ve aşırı yüksek rakımların oluşturduğu teknik ve ekonomik sınırlamalar dikkate alınarak uygunluk sınıfları daraltılmıştır.

Bu kapsamda yükseklik kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, rüzgâr hızlarının düşük rakımlarda genellikle yetersiz olması ve rüzgâr sürekliliğinin sınırlı kalması nedeniyle 0–500 m aralığı çok düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. 500–1000 m aralığı, rüzgâr potansiyelinin artmaya başladığı ancak hâlen orta düzeyde kaldığı alanları temsil etmesi sebebiyle düşük uygunluk sınıfına atanmıştır. 1000–1500 m aralığı, rüzgâr rejiminin daha kararlı hale gelmesi ve enerji üretimi açısından elverişli koşullar sunması nedeniyle orta uygunluk olarak değerlendirilmiştir. 1500–2000 m aralığı, rüzgâr hızının ve sürekliliğinin yüksek olması sayesinde RES kurulumu açısından avantajlı alanları temsil ettiğinden yüksek uygunluk sınıfında ele alınmıştır. 2000 m üzerindeki yükseklikler ise rüzgâr potansiyeli yüksek olmasına rağmen artan ulaşım, altyapı, inşaat ve bakım maliyetleri ile zorlu iklim koşulları ve çevresel kısıtlar nedeniyle çok yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir.

Analiz sonucuna göre ilin %16,59'u "1" puanla 0-500m aralığında uygun olmayan, %15,74'i ise 2000 m ve daha yüksek olup "5" puanla çok uygun alan olarak belirlenmiştir. Yükseklik haritasının ağırlık değeri %13'tür. Ayrıntılı alan, ağırlık ve puanlamalar Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Yükseklik verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları

Yükseklik (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 500	115,530	16,59	1
500 - 1000	105,716	15,18	2
1000 - 1500	150,983	21,68	3
1500 - 2000	214,648	30,82	4
> 2000	109,616	15,74	5
Toplam	696,492	100	

5.1.4. Trafo ve Enerji Nakil Hattına uzaklık haritası oluşturulması

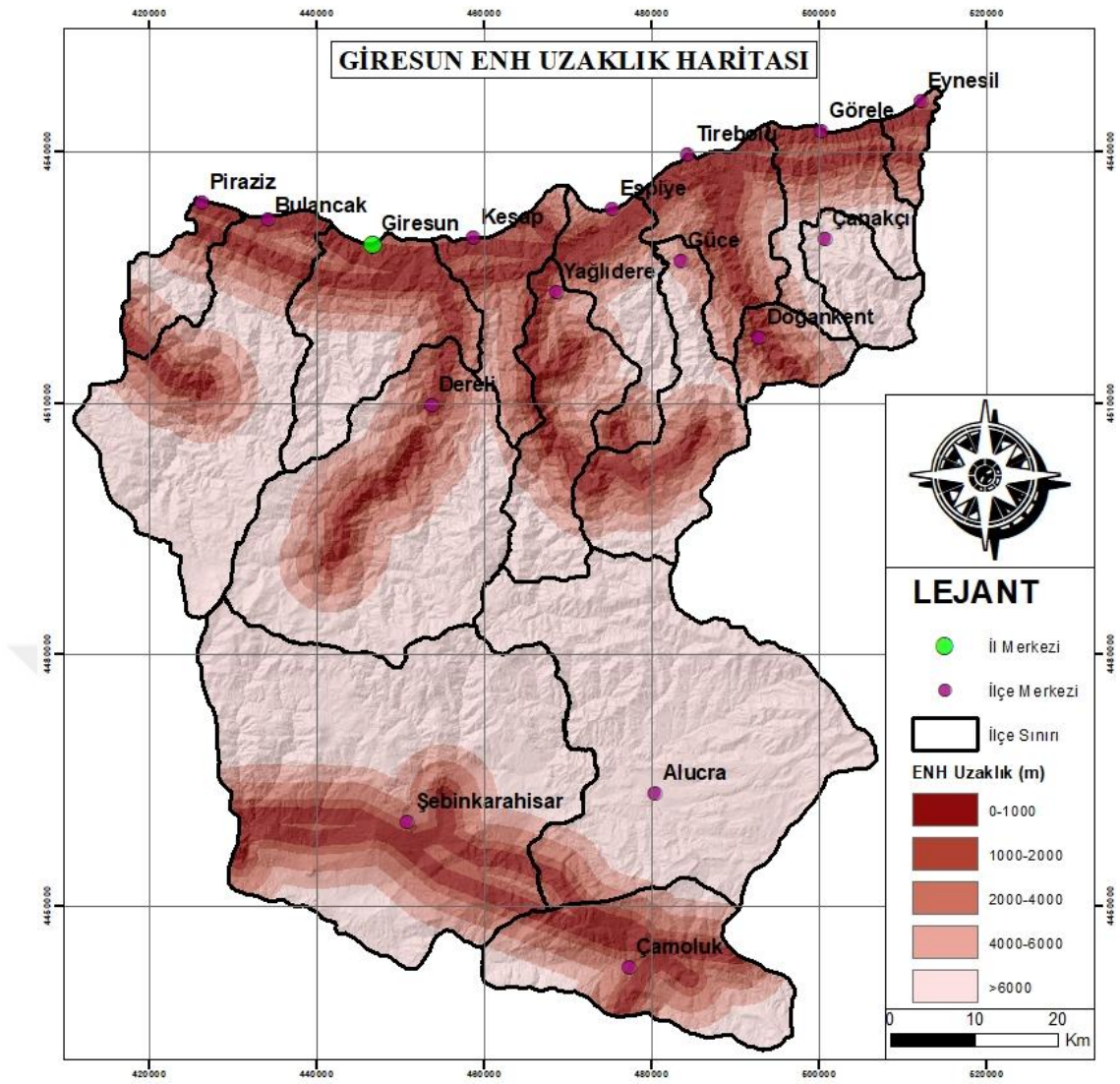
RES' in kurulumu sırasında, santral ile elektrik iletim hattı arasındaki mesafenin mümkün olduğunca kısa tutulması büyük önem taşımaktadır. Daha kısa mesafeler, hem inşaat sürecini kolaylaştırarak yatırım maliyetlerini düşürmekte hem de iletim kayıplarını azaltarak bakım maliyetlerinin azalmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, santralin genel verimliliğini de artırmaktadır (Yolcan ve Köse, 2020). Buna karşın, enerji nakil hatlarından uzak bölgelerde yapılan kurulumlar ekonomik açıdan dezavantajlı olmakta ve iletim sırasında yaşanan enerji kayıpları dikkate alındığında, santrallerin iletim hatlarına yakın konumlandırılması enerji verimliliği açısından kritik bir unsur haline gelmektedir.

Bu çalışmada ENH ilişkin konumsal veriler, OpenStreetMap açık kaynak coğrafi veri tabanından elde edilmiştir. İlk aşamada, KML formatındaki veri çalışma ortamına aktarılabilmesi için “KML to Layer” aracı kullanılarak projeye eklenmiştir. Ardından, oluşturulan katmanın analizlerde bağımsız bir veri seti olarak kullanılabilmesi amacıyla, “Export Data” komutu ile uygun formatta dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Dışa aktarılan veri setinin çalışma alanı ile uyumlu bir konumsal referans sistemine sahip olması için daha sonra koordinatlandırma işlemi uygulanmıştır.

Dışa aktarılan veri, çalışma alanı sınırına uyumlu hâle getirmek amacıyla “Clip” işlemi uygulanarak kesilmiştir. Clip işleminden sonra, elde edilen veri setinin çalışma alanıyla aynı referans sisteminde kullanılabilmesi için koordinat dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Ardından, ilgili nesnelerin çalışma alanına olan uzaklıklarının analiz edilebilmesi amacıyla “Euclidean Distance” aracı kullanılmıştır. Bu analizde, mekânsal çözünürlüğün tutarlılığı ve arazi verilerinin doğruluğunu sağlamak amacıyla hücre boyutu 30 m olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanı sınırlarıyla uyumlu verilerin elde edilebilmesi amacıyla, Giresun ili sınırını kapsayan kısımlar “Extract by Mask” aracı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Bu işlem, yalnızca analiz kapsamına giren veri parçalarının seçilmesini sağlayarak gereksiz veri yükünü azaltmakta ve mekânsal analizlerin doğruluğunu artırmaktadır.

Daha sonra, veri setinin tematik analiz için uygun hâle getirilmesi amacıyla sınıf sayısını azaltmak ve her sınıfa ait değer aralıklarını belirlemek üzere “Reclassify” aracı kullanılmıştır. Reclassify adımının ardından, her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu düzenlemeler tamamlandıktan sonra, haritanın görsel yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları belirlenmiş ve lejant bilgileri eklenmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda, Şekil 40’de sunulan nihai tematik harita üretilmiştir.



Şekil 40.ENH uzaklık uygunluk haritası

ENH uzaklık sınıfları belirlenirken, RES' de üretilen elektriğin mevcut iletim altyapısına bağlanabilmesi için kabul edilebilir bağlantı mesafeleri esas alınmıştır. Literatürde ve uygulamada, yaklaşık 1 km mesafeye kadar olan alanlar doğrudan bağlantı açısından en uygun bölgeler olarak değerlendirildiğinden çok uygun (5) sınıfına atanmıştır. 1–2 km arası mesafeler bağlantının teknik olarak mümkün olduğu ancak ek altyapı gerektirebileceği alanları temsil ettiğinden bir alt uygunluk sınıfında ele alınmıştır. 2–4 km aralığı, iletim hattı uzatımının artması nedeniyle orta düzey uygunluk olarak değerlendirilmiştir. 4–6 km arası mesafelerde bağlantı maliyeti ve teknik zorluklar belirginleştiğinden düşük uygunluk sınıfı verilmiş, 6 km üzeri mesafeler ise bağlantı sürecinin verimsiz ve sınırlayıcı olması nedeniyle en düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir.

Analiz sonucuna göre 0–1000 m aralığındaki alanlar %13,68 ile “5” puanlı çok uygun, 6000 m’den uzak alanlar %49,24 ile “1” puanlı uygun olmayan sınıfa dahil edilmiştir. Bu kriterin ağırlık değeri %6’dır (Tablo 16).

Tablo 16. ENH verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları

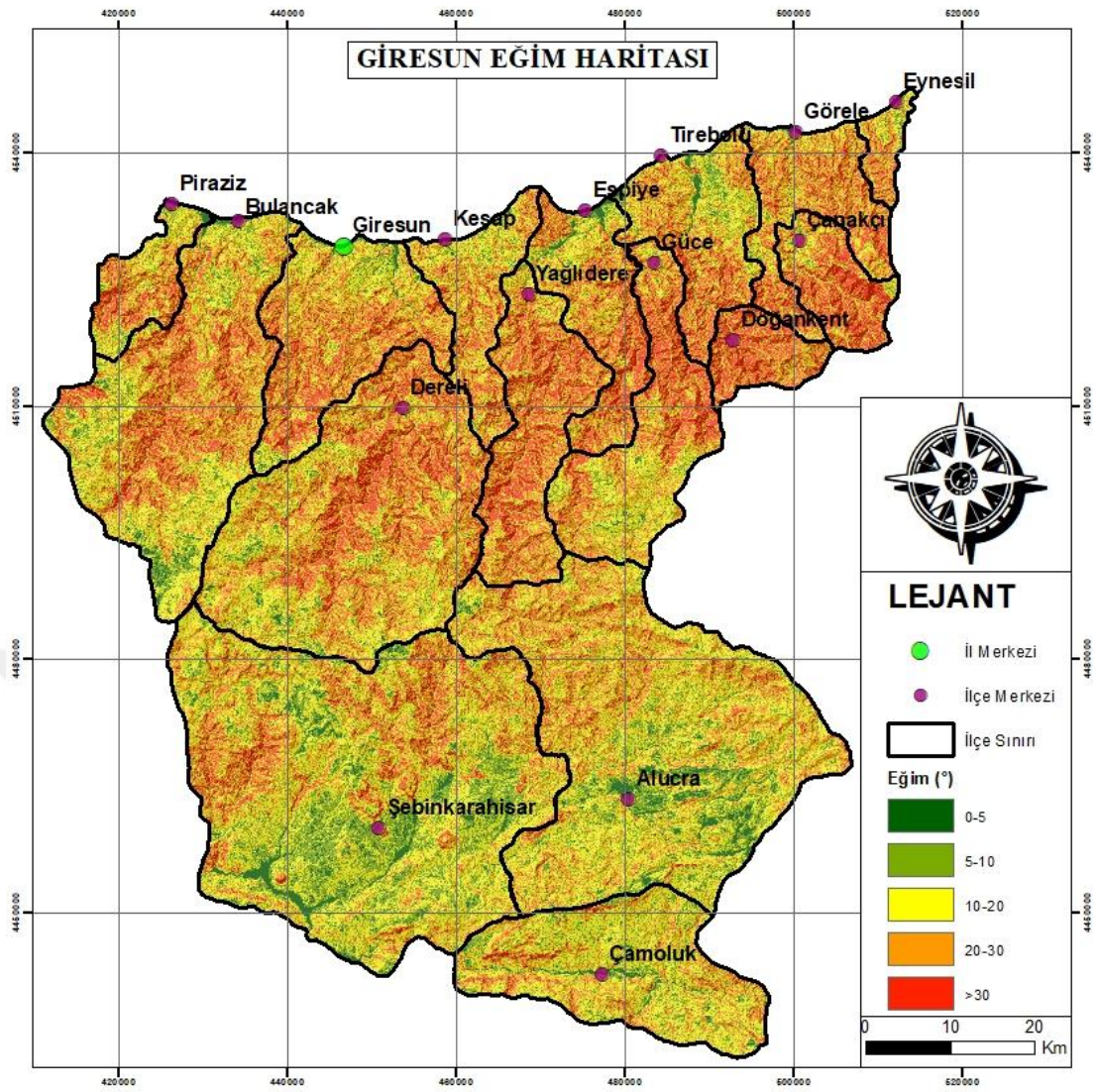
ENH Trafo Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 1000	95,269	13,68	5
1000 - 2000	67,096	9,63	4
2000 - 4000	102,070	14,66	3
4000 - 6000	89,027	12,78	2
> 6000	342,917	49,24	1
Toplam	696,380	100	

5.1.5.Eğim haritasının oluşturulması

RES kurulumu sırasında topoğrafyanın eğim değerleri önemli bir faktördür. Genellikle düşük ve orta eğimli alanlar en uygun kurulum bölgeleri olarak kabul edilmektedir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Yüksek eğim değerine sahip sahalarda türbin kurulumu güçleşmekte ve maliyetler artmaktadır. Bu nedenle, söz konusu alanlar yer seçimi açısından çoğunlukla elverişsiz kabul edilmektedir.

Eğim arttıkça, santrallerin kurulumu zorlaşmakta ve maliyetler yükselmektedir. Eğimli yamaçlarda oluşabilecek toprak erozyonu, tesis bileşenlerinin statik yapısını olumsuz etkileyebilir; bu durum işletme maliyetlerini artırmakta ve santralin verimliliğini düşürebilmektedir (Yolcan ve Köse, 2020).

Çalışma alanı sınırlarına göre kesilen DEM verisi kullanılarak arazi eğimlerinin görselleştirilebilmesi amacıyla “Slope” aracı uygulanmıştır. Elde edilen eğim verisi üzerinde, sınıf sayısını azaltmak ve her sınıfa ait değer aralıklarını belirlemek için “Reclassify” işlemi gerçekleştirilmiştir. Reclassify adımının ardından, her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları yapılmıştır. Son aşamada, tematik haritanın okunabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları seçilmiş ve lejant bilgileri eklenerek nihai eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 41).



Şekil 41.Eğim uygunluk haritası

Bu kapsamda eğim kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, RES kurulumunda arazi koşullarının teknik uygulanabilirliğe etkisi dikkate alınmıştır. 0–5° aralığındaki alanlar, türbin temeli, yol yapımı ve montaj faaliyetleri açısından en elverişli koşulları sunması nedeniyle çok yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. 5–10° aralığı, teknik olarak uygun olmakla birlikte arazi düzenleme ihtiyacının artması sebebiyle bir alt uygunluk sınıfında ele alınmıştır. 10–20° aralığı, RES kurulumu açısından uygulanabilir olmakla birlikte inşaat ve işletme süreçlerinde ek zorluklar barındırması nedeniyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. 20–30° aralığındaki eğimler, teknik kısıtların belirginleşmesi ve kurulum maliyetlerinin artması sebebiyle düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. 30° üzerindeki eğim değerleri ise RES kurulumu açısından ciddi teknik sınırlamalar oluşturması nedeniyle en düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır.

Eğim haritası 0–30° aralığında belirlenmiş ve analiz sonucuna göre, Giresun ilinin %4,80’ini oluşturan 0–5° arası eğimli alanlar “5” puanla çok uygun, %20,15’lik 30°’den fazla eğimli alanlar ise “1” puanla uygun olmayan alan olarak sınıflandırılmıştır. Eğim haritasının ağırlık değeri %5 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan alan dağılımları, ağırlık ve puanlamalar Tablo 17’de sunulmaktadır.

Tablo 17. Eğim verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları

Eğim (%)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 5	33,434	4.8	5
5 - 10	82,315	11.82	4
10 - 20	229,829	33	3
20 - 30	210,574	30.23	2
> 30	140,340	20.15	1
Toplam	696,492	100	

5.1.6. Arazi kullanım haritası oluşturulması

RES’in kurulacağı alanların belirlenmesinde arazi kullanım durumu önemli bir kriterdir. Bu çalışmada arazi kullanım haritası, Copernicus platformundan indirilen vektör formatındaki CORINE verileri kullanılarak hazırlanmıştır (Tablo 15). CORINE (Coordination of Information on the Environment), Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilen ve uydu görüntülerinin bilgisayar destekli yorumlanmasıyla üretilen standart bir arazi kullanım sınıflandırma sistemidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

Arazi kullanım verileri için mesafeye dayalı bir analiz gerekmemesi nedeniyle Euclidean Distance yöntemi uygulanmamış; bunun yerine yalnızca yeniden sınıflandırmak için Reclassify işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda doğal çayırliklar, fundalıklar, kumsallar, maden alanları, meralar, meyve bahçeleri, orman alanları, sanayi bölgeleri, seyrek bitki örtüsü alanları, su kütleleri, tarım arazileri, yerleşim yerleri ve çıplak kayalıklar olmak üzere farklı arazi sınıfları belirlenmiştir.

Yüklenen CORINE 2018 verisi, çalışma alanı ile uyumlu hâle getirilmesi amacıyla koordinat dönüşümünden geçirilmiştir. Ardından, yalnızca analiz kapsamına giren alanların seçilebilmesi için “Clip” işlemi uygulanmıştır. Kesilen veri setinin tablo kısmında, code_18 sütunundaki aynı değere sahip olan verileri birleştirmek amacıyla “Dissolve” aracı kullanılmıştır.

Tablo 18. Tablo CORINE Sınıflandırma Sistemi

1. YAPAY BÖLGELER	3. ORMAN VE YARI DOĞAL ALANLAR
1.1. Şehir Yapısı	3.1. Ormanlar
1.1.1.Sürekli şehir yapısı	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar
1.1.2. Kesintili/Süreksiz Şehir Yapısı	3.1.2. İğne Yapraklı Ormanlar
1.2.Endüstri Ticaret ve Ulaşım Birimleri	3.1.3. Karışık ormanlar
1.2.1.Endüstriyel ve Ticari Birimler	3.2. Maki ve Otsu Bitkiler
1.2.2.Karayolları, Demiryolları ve ilgili alanlar	3.2.1. Doğal Çayırliklar
1.2.3.Limanlar	3.2.2. Fundaliklar
1.2.4. Havaalanları	3.2.3. Klorofil Bitki Örtüsü
1.3. Maden Ocağı Boşaltım ve İnşaat Sahaları	3.2.4. Bitki değişim alanları
1.3.1. Maden Çıkarım Sahaları	3.3. Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı açık alanlar
1.3.2. Boşaltım Sahaları	3.3.1. Sahiller kumsallar kumluklar
1.3.3. İnşaat Sahaları	3.3.2. Kayaliklar
1.4. Yapay Tarımsal Olmayan Yeşil Alanlar	3.3.3.Seyrek bitki alanları
1.4.1. Yeşil Şehir Alanları	3.3.4. Yanmış alanlar
1.4.2. Spor ve Eğlence Alanları	3.3.5. Buzul ve kalıcı kar
2. TARIMSAL ALAN	4. SULAK ALANLAR
2.1. Ekilebilir Alan	4.1. Karasal Bataklıklar
2.1.1. Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	4.1.1.Karasal Bataklıklar
2.1.2. Sürekli Sulanan Alanlar	4.1.2. Turbalıklar (TR kullanmıyor)
2.1.3. Pirinç Tarlaları	4.2. Denize yakın ıslak alanlar
2.2.Sürekli Ürünler	4.2.1.Tuz bataklığı
2.2.1. Üzüm Bağları	4.2.2. Tuzlalar
2.2.2. Meyve Bahçeleri	4.2.3. Gelgit olayı ile oluşan düzlükler (TR kullanmıyor)
2.2.3. Zeytinlikler	5. SU YAPILARI
2.3.Meralar	5.1. Hareketli Sular
2.3.1. Mera Alanları	5.1.1. Su yolları
2.4. Karışık Tarımsal Alanlar	5.1.2. Su kütleleri
2.4.1. Sürekli ürünlerle birlikte bulunan senelik ürünler (TR kullanmıyor)	5.2. Deniz suları
2.4.2. Karışık Tarım Alanları	5.2.1. Kıyı Lagünleri
2.4.3. Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	5.2.2. Nehir ağızları deltalar
2.4.4.Ormanla karışık tarım alanları (TR kullanmıyor)	5.2.3. Deniz okyanus

CORINE sınıflandırma sistemine göre arazi kullanım tiplerini tanımlayabilmek için, tabloya “Add Field” aracılığıyla “Arazi Kullanımı” adında metin (text) formatında yeni bir sütun eklenmiştir. Söz konusu sınıflandırmaları veri üzerine yazabilmek amacıyla “Select by Attributes” özelliği kullanılmış ve code_18 değerleri seçilmiştir.

Son aşamada, tematik haritanın okunabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları seçilmiş ve lejant bilgileri eklenerek nihai eğim haritası oluşturulmuştur. (Şekil 42)

Bu kapsamda arazi kullanım kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, RES kurulumuna olan teknik, çevresel ve mekânsal uyum esas alınmıştır. Maden ocakları, orman alanları, yerleşim alanları, limanlar, inşaat alanları, sahiller ve kumsallar, çıplak kayalıklar, dere yatakları, su kütleleri ve deniz alanları, çevresel hassasiyetler, mevcut kullanım baskısı ve teknik kısıtlar nedeniyle en düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Çayır alanları, sınırlı düzeyde arazi kullanımı imkânı sunması sebebiyle düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Mera alanları, RES kurulumu açısından kısmen uygulanabilir olmakla birlikte kullanım kısıtları barındırması nedeniyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Çalı alanları ve meyve bahçeleri, arazi kullanım çatışmasının görece daha az olması ve teknik olarak uygulanabilirliği nedeniyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Tarım alanları ise geniş alan sunması, topografik olarak daha elverişli olması ve RES kurulumu açısından daha az fiziksel engel içermesi sebebiyle en yüksek uygunluk sınıfında ele alınmıştır.

Analiz sonucuna göre yerleşim, sanayi, maden, orman, kumsal, kayalık ve su alanları %38,98 oranla “1” puanla uygun olmayan sınıfta değerlendirilmiştir. Buna karşılık tarım arazileri %34,81 oranla “5” puanla en uygun sınıfta yer almıştır. Arazi kullanım haritasının ağırlık değeri ise %25 olarak belirlenmiştir (Tablo 19).

Tablo 19. Arazi kullanımı verisi için alan hesabı ve ağırlık puanları

Arazi Kullanımı	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
Maden Ocağı	167	0,02	1
Orman Alanı	249,123	35,78	1
Yerleşim Alanı	5,090	0,73	1
Liman	19	0	1
İnşaat Alanı	215	0,03	1
Sahiller, Kumsallar, Kumluklar	453	0,07	1
Çıplak Kayalıklar	11,258	1,62	1
Dere	2,193	0,32	1
Su Kütleleri	2,818	0,4	1
Deniz	87	0,01	1
Çayır	107,080	15,38	2
Mera	1,339	0,19	3
Çalı, Meyve Bahçeleri	74,003	10,63	4
Tarım Alanı	242,397	34,81	5
Toplam	696,242	100	

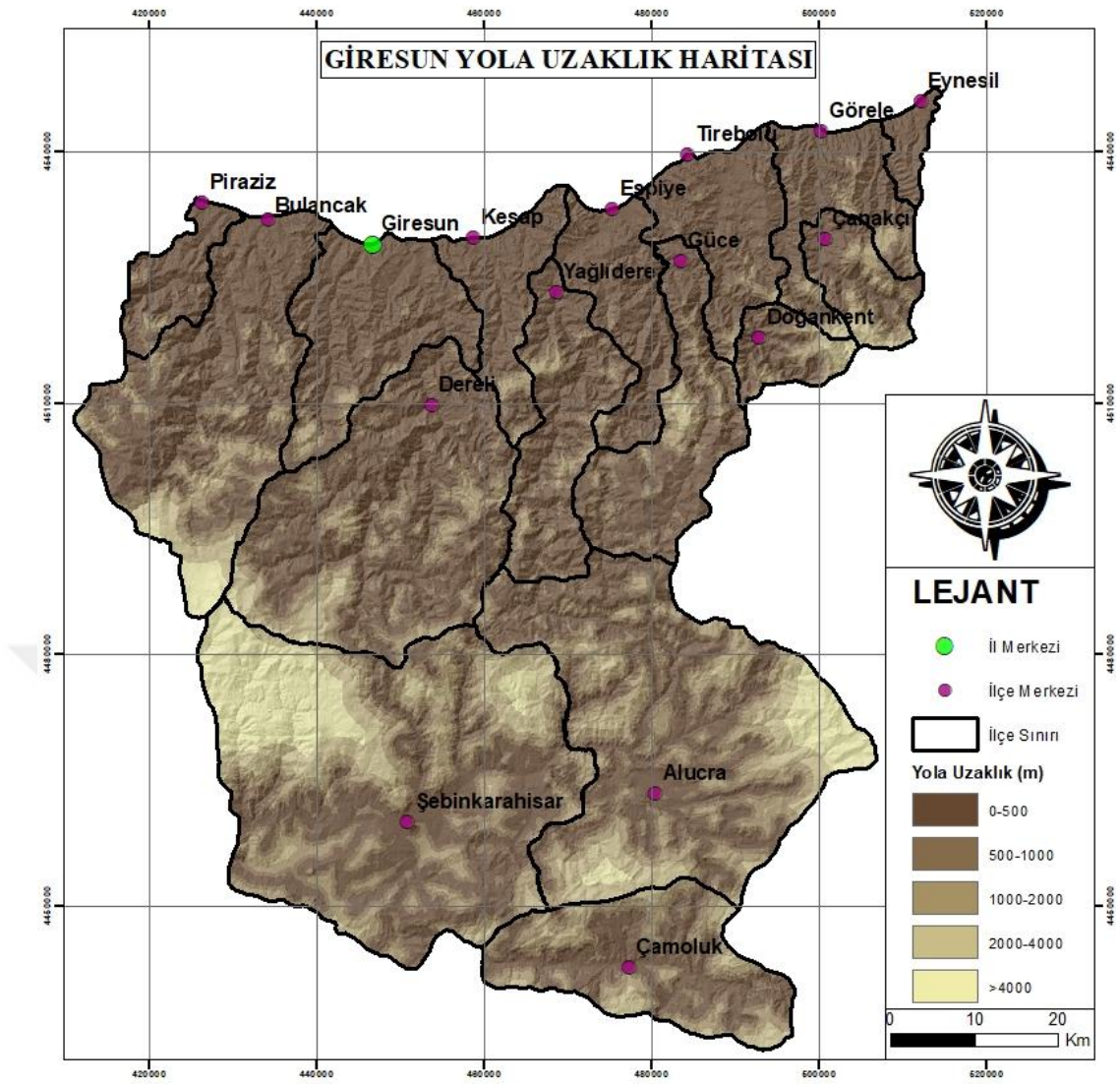
5.1.7.Yola uzaklık haritası oluşturulması

RES yatırımlarında ulaşım yollarına olan uzaklık, önemli bir yer seçimi kriteri olarak öne çıkmaktadır. Santral kurulumlarının yoğun nakliye gerektirmesi nedeniyle, ulaşımın zor olduğu alanlarda ek yol açma çalışmaları gerekebilmektedir. Bu durum hem maliyetleri artırmakta hem de sürecin uzamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, yol ağlarına olan mesafenin analiz edilmesi, santrallerin konumlandırılmasında önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir.

Gelişmiş bir karayolu altyapısı, santral kurulum ve inşaat maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayarak uygulama sürecini kolaylaştırmakta; işletme döneminde ise personel ve lojistik faaliyetlerin daha etkin bir biçimde yürütülmesine olanak tanıyarak tesislerin sürdürülebilirliğini desteklemektedir (Sánchez vd., 2013).

Bu çalışmada yola verisi, açık kaynaklı coğrafi veri tabanı OpenStreetMap'ten temin edilmiştir.

Yola olan uzaklık analizinde, enerji nakil hattına olan uzaklık analizinde izlenen işlem adımları takip edilmiştir. İlk olarak, KML formatındaki yol verisi çalışma ortamına aktarılabilmesi için “KML to Layer” aracı kullanılarak projeye eklenmiştir. Ardından, oluşturulan katmanın analizlerde bağımsız bir veri seti olarak kullanılabilmesi amacıyla “Export Data” komutu ile uygun formatta dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Dışa aktarılan veri setinin çalışma alanı ile uyumlu bir konumsal referans sistemine sahip olması için koordinatlandırma işlemi uygulanmıştır. Çalışma alanı sınırına göre yalnızca ilgili bölgelerin seçilebilmesi için “Clip” işlemi gerçekleştirilmiş, ardından nesnelerin yola olan uzaklıklarının hesaplanabilmesi amacıyla “Euclidean Distance” aracı kullanılmıştır. Gereksiz veri yükünü azaltmak ve yalnızca çalışma alanına ait değerleri kullanabilmek için “Extract by Mask” işlemi uygulanmıştır. Tematik haritanın oluşturulabilmesi için sınıf sayısını azaltmak ve her sınıfa ait değer aralıklarını belirlemek üzere “Reclassify” aracı kullanılmış, Reclassify işleminden sonra her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları yapılmıştır. Son aşamada, haritanın görsel yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları seçilmiş ve lejant bilgileri eklenerek nihai uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 43).



Şekil 43.Yola uzaklık uygunluk haritası

Bu kapsamda yola uzaklık kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, RES kurulumunda erişilebilirlik, lojistik kolaylıklar ve altyapı maliyetleri temel alınmıştır. Yollara 0–500 m mesafede yer alan alanlar ise erişilebilirliğin en yüksek olduğu, kurulum ve bakım süreçlerinin en düşük maliyetle gerçekleştirilebildiği bölgeler olması nedeniyle en yüksek uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Yollara 500–1000 m mesafede bulunan alanlar, ulaşım faaliyetlerinin büyük ölçüde kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve lojistik avantajlar sunması nedeniyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Yola olan uzaklığın 1000–2000 m aralığında olduğu alanlar, erişilebilirliğin kısmen sağlanabildiği ancak kurulum ve işletme süreçlerinde ek maliyetlerin ortaya çıkabildiği bölgeler olması sebebiyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Yollara 2000–4000 m mesafede bulunan alanlar, erişim imkânlarının sınırlı olması ve ek yol yatırımı gereksinimi nedeniyle düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Yollara 4000 m’den daha uzak alanlar ise türbin ekipmanlarının taşınması

ve bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde ciddi zorluklar oluşturması ve yüksek altyapı maliyetleri gerektirmesi nedeniyle en düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir.

Analiz sonucuna göre çalışma alanının %58,85’ karayoluna 0–500 m mesafede bulunmakta ve “5” puanla en uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir. Alanın %5,13’i ise karayolundan 4000 m’ den daha uzak mesafede yer almakta ve “1” puanla uygun olmayan bölgeler sınıfında yer almıştır. Karayoluna uzaklık kriterinin ağırlık değeri %4 olarak belirlenmiştir. Alan hesaplamaları, ağırlıklar ve puanlama aralıkları tablo 20’de sunulmuştur.

Tablo 20. Yola uzaklığına göre alan hesabı ve ağırlık puanları

Yola Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 500	409,789	58,85	5
500 - 1000	116,153	16,68	4
1000 - 2000	89,088	12,79	3
2000 - 4000	45,613	6,55	2
> 4000	35,737	5,13	1
Toplam	696,379	100	

5.1.8.Akarsuya uzaklık haritasının oluşturulması

RES’ in akarsulara yakın bölgelerde kurulumu, tarımsal faaliyetler, yerleşim alanları ve benzeri kullanım nedenlerinden dolayı genellikle uygun bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, türbinlerin akarsu hatlarına yakın alanlarda konumlandırılması arazi pürüzlülüğünü artırarak çeşitli olumsuz etkilere yol açabilmektedir (zşahin ve Kaymaz, 2013).

Akarsuya olan uzaklık analizinde, enerji nakil hattına olan uzaklık analizinde izlenen işlem adımları takip edilmiştir. İlk olarak, KML formatındaki veri çalışma ortamına aktarılabilmesi için “KML to Layer” aracı kullanılarak projeye eklenmiştir. Ardından, oluşturulan katmanın analizlerde bağımsız bir veri seti olarak kullanılabilmesi amacıyla “Export Data” komutu ile uygun formatta dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Dışa aktarılan veri setinin çalışma alanı ile uyumlu bir konumsal referans sistemine sahip olması için koordinatlandırma işlemi uygulanmıştır. Çalışma alanı sınırına göre yalnızca ilgili bölgelerin seçilebilmesi için “Clip” işlemi gerçekleştirilmiş, ardından nesnelerin enerji nakil hattına olan uzaklıklarının hesaplanabilmesi amacıyla “Euclidean Distance” aracı kullanılmıştır. Gereksiz veri yükünü azaltmak ve yalnızca çalışma alanına ait değerleri kullanabilmek için “Extract by Mask” işlemi uygulanmıştır. Tematik haritanın oluşturulabilmesi için sınıf sayısını

çevresel etkilerin kısmen azaldığı ancak hâlen belirli riskler barındırdığı bölgeler olması sebebiyle düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Akarsuya olan uzaklığın 1000–2000 m aralığında olduğu alanlar, çevresel ve teknik risklerin daha sınırlı olduğu ancak yine de dikkat gerektiren alanlar olması nedeniyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Akarsulara 2000–4000 m mesafede bulunan alanlar, taşkın ve çevresel etkilerin büyük ölçüde azaldığı, RES kurulumu açısından daha elverişli bölgeler olması sebebiyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Akarsulara 4000 m’den daha uzak alanlar ise su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerin en düşük düzeyde olduğu, çevresel ve teknik açıdan en güvenli bölgeler olması nedeniyle en yüksek uygunluk sınıfında ele alınmıştır.

Analiz sonucuna göre %19,46’lık bölüm, 500 m’ den yakın alanlar olarak “1” puanlı uygun olmayan sınıfta yer alırken, %9,73’lük bölüm, 4000 m’ den daha uzak alanlar olarak “5” puanlı çok uygun sınıfa dahil edilmiştir. Akarsuya uzaklık haritasının ağırlık değeri %2 olarak belirlenmiştir. Alan dağılımları, ağırlık ve puanlamalar tablo 21’de sunulmaktadır

Tablo 21. Akarsuya uzaklığa göre alan hesabı ve ağırlık puanları

Akarsuya Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 500	135,499	19,46	1
500 - 1000	117,835	16,92	2
1000 - 2000	189,811	27,26	3
2000 - 4000	185,474	26,63	4
> 4000	67,762	9,73	5
Toplam	696,380	100	

5.1.9.Göl ve korunan alana uzaklık haritası oluşturulması

RES kurulumu sırasında, sulak alanlar, korunan alanlar ve tarihi-kültürel miras alanlarına olan mesafelerin titizlikle planlanması, projelerin çevresel sürdürülebilirliği, biyolojik çeşitliliğin korunması ve kültürel değerlerin muhafazası açısından büyük önem taşımaktadır. Bu alanlar hem ulusal hem de uluslararası mevzuatlar tarafından koruma altına alınmıştır. Uygunsuz planlamalar, habitat kaybı, türlerin yer değiştirmesi ve ekosistem bozulmalarına yol açmanın yanı sıra, kültürel ve tarihi değerlerin zarar görmesine de neden olabilir.

Rüzgâr türbinlerinin yerleşimi planlanırken, sulak alanlar ile nehir ve akarsular gibi su kaynakları da dışlama alanı olarak dikkate alınmalıdır. Nehirlerin 200 m’ ye kadar olan çevresi, inşaat zorlukları ve ekosistem üzerindeki olası olumsuz etkiler nedeniyle türbin kurulumu için uygun görülmemektedir (Sarpong ve Baffoe, 2015).

Ayrıca, 400 m' ye kadar olan bölgeler de rüzgâr türbini yerleşimi açısından dışlama alanı olarak kabul edilmektedir (Azizi vd., 2014).

Korunan alanlar, sadece biyolojik çeşitlilik açısından değil, aynı zamanda toplumsal ve estetik değerler bakımından da önemli bir rol oynamaktadır. Bu alanlar ulusal ve uluslararası mevzuatlarla güvence altına alınmış olup, rüzgâr türbinleri gibi yapılar bu alanlara yakın konumlandırıldığında sıkı düzenlemelere tabidir. Türkiye'deki çalışmalar, rüzgâr türbinlerinin ulusal düzeyde korunan kültürel miras alanlarına kurulmasının yasak olduğunu ve bu alanlara yakınlık durumunda peyzajın estetik yapısının bozulabileceğini ortaya koymaktadır (Aydın, 2013). Türbinlerin, kültürel peyzajlardan en az 1000 m, doğa rezervlerinden ise 500–1000 m uzaklıkta konumlandırılması önerilmektedir (Atıcı vd., 2015).

Her ne kadar rüzgâr türbinleri çevre dostu enerji üretim yöntemleri arasında bulunsa da kurulum alanının seçimi doğrudan çevresel ve kültürel riskleri etkiler. Ancak, türbinlerin belirlenen standartlara uygun şekilde yerleştirilmesi, bu olumsuz etkileri minimize edebilir. Örneğin, türbinlerin santral alanının yalnızca %1'ini kapsaması, diğer arazilerin balıkçılık, turizm ve ekolojik faaliyetler için kullanılabilmesine olanak tanımaktadır (Genç, 2019). Bu avantajlar, yalnızca türbinlerin doğru mesafelerde konumlandırılması durumunda geçerlidir.

Göl ve baraj verilerini elde edebilmek için OpenStreetMap (openstreetmap.org) sitesinden öznitelik bilgileri öğrenilmiş ve Overpass Turbo (overpass-turbo.eu) platformuna bu bilgiler girilerek Türkiye'nin güncel verileri indirilmiştir.

Gölün çalışma alanı üzerindeki uzaklık analizinde, enerji nakil hattına olan uzaklık analizinde izlenen işlem adımları takip edilmiştir. İlk olarak, KML formatındaki veri çalışma ortamına aktarılabilmesi için “KML to Layer” aracı kullanılarak projeye eklenmiştir. Ardından, oluşturulan katmanın analizlerde bağımsız bir veri seti olarak kullanılabilmesi amacıyla “Export Data” komutu ile uygun formatta dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Dışa aktarılan veri setinin çalışma alanı ile uyumlu bir konumsal referans sistemine sahip olması için koordinatlandırma işlemi uygulanmıştır. Çalışma alanı sınırına göre yalnızca ilgili bölgelerin seçilebilmesi için “Clip” işlemi gerçekleştirilmiş, ardından nesnelerin göle olan uzaklıklarının hesaplanabilmesi amacıyla “Euclidean Distance” aracı kullanılmıştır. Gereksiz veri yükünü azaltmak ve yalnızca çalışma alanına ait değerleri kullanabilmek için “Extract by Mask” işlemi uygulanmıştır. Tematik haritanın oluşturulabilmesi için sınıf sayısını azaltmak ve her sınıfa ait değer aralıklarını belirlemek üzere “Reclassify” aracı kullanılmış, Reclassify işleminden sonra her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları

tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları yapılmıştır. Son aşamada, haritanın görsel yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları seçilmiş ve lejant bilgileri eklenerek nihai uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 45).

Şekil 45.Göl ve baraja uzaklık uygunluk haritası

nedeniyle düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Göl ve korunan alanlara olan uzaklığın 1000–2000 m aralığında olduğu alanlar, çevresel etkileşimlerin daha sınırlı düzeyde gerçekleştiği ve arazi koşullarının planlama açısından daha dengeli olduğu alanlar olması sebebiyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Göl ve korunan alanlara 2000–4000 m mesafede bulunan alanlar, doğal alanlar üzerindeki dolaylı çevresel etkileşimlerin büyük ölçüde azaldığı ve RES kurulumu açısından daha elverişli koşullar sunduğu alanlar olması nedeniyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Göl ve korunan alanlara 4000 m’den daha uzak alanlar ise doğal ve korunan alanlar üzerindeki dolaylı etkilerin en düşük düzeyde olduğu, yer seçimi açısından en yüksek uygunluk sınıfına sahip alanlar olarak ele alınmıştır.

Analiz sonucuna göre %2,36’lık bölüm, 500 m’ den yakın alanlar olarak “1” puanlı uygun olmayan sınıfta yer alırken, %61,89’lük bölüm, 4000 m’ den daha uzak alanlar olarak “5” puanlı çok uygun sınıfa dahil edilmiştir. Göl ve korunan alana uzaklık haritasının ağırlık değeri %2 olarak belirlenmiştir. Alan dağılımları, ağırlık ve puanlamalar tablo 22’de sunulmaktadır.

Tablo 22. Göl ve korunan alana göre alan hesabı ve ağırlık puanları

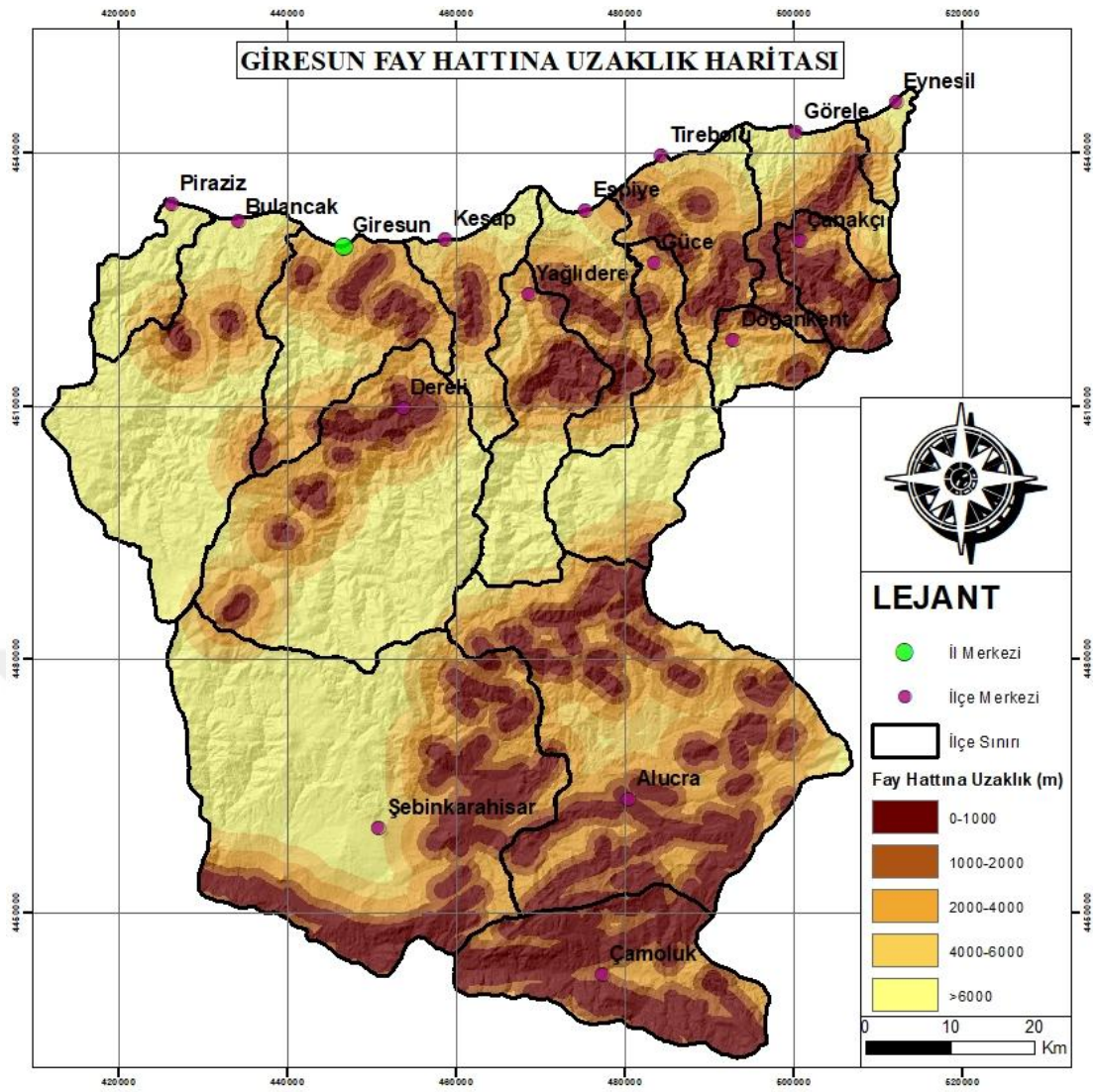
Göl ve Korunan Alana Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 500	16,421	2,36	1
500 - 1000	22,079	3,17	2
1000 - 2000	64,992	9,33	3
2000 - 4000	161,929	23,25	4
> 4000	430,959	61,89	5
Toplam	696,380	100	

5.1.10.Fay hattına uzaklık haritası oluşturulması

Türkiye, genç nüfus yapısına sahip ve aktif deprem kuşağında yer alan bir ülke olup, yüksek deprem riski taşımaktadır. Son yıllarda meydana gelen büyük depremler bu durumu açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu nedenle RES yer seçiminde aktif fay hatlarına olan mesafe kritik bir değerlendirme ölçütü olarak ele alınmalıdır. Fay hatlarına yakın bölgelerde deprem riski artmakta ve zemin dayanımı olumsuz etkilenebilmektedir; dolayısıyla fay hatlarına olan uzaklığın ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekmektedir (Özşahin, 2010).

Daha önce ENH için uygulanan işlem adımları takip edilmiştir. Fay hattına ait certmapper.cr.usgs.gov sitesinden temin edilen KML formatındaki verinin çalışma ortamına aktarılabilmesi için “KML to Layer” aracı kullanılmıştır. Ardından,

oluşturulan katmanın analizlerde bağımsız bir veri seti olarak kullanılabilmesi amacıyla “Export Data” komutu ile uygun formatta dışa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Dışa aktarılan veri setinin çalışma alanı ile uyumlu bir konumsal referans sistemine sahip olması için koordinatlandırma işlemi uygulanmıştır. Çalışma alanı sınırına göre yalnızca ilgili bölgelerin seçilebilmesi için “Clip” işlemi gerçekleştirilmiş, ardından nesnelerin fay hattına olan uzaklıklarının hesaplanabilmesi amacıyla “Euclidean Distance” aracı kullanılmıştır. Gereksiz veri yükünü azaltmak ve yalnızca çalışma alanına ait değerleri kullanabilmek için “Extract by Mask” işlemi uygulanmıştır. Tematik haritanın oluşturulabilmesi için sınıf sayısını azaltmak ve her sınıfa ait değer aralıklarını belirlemek üzere “Reclassify” aracı kullanılmış, Reclassify işleminden sonra her sınıfa karşılık gelen değer aralıkları tabloya girilmiş ve ilgili alan hesaplamaları yapılmıştır. Son aşamada, haritanın görsel yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla uygun renk skalaları seçilmiş ve lejant bilgileri eklenerek nihai uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 46).



Şekil 46.Faya uygunluk uygunluk haritası

Bu kapsamda fay hatlarına uzaklık kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, RES yer seçiminde jeolojik yapı, zemin özellikleri ve yapı güvenliği ile ilişkili planlama esasları dikkate alınmıştır. Fay hatlarına 0–1000 m mesafede bulunan alanlar, yer seçiminde jeolojik koşulların daha dikkatli değerlendirilmesini gerektirmesi nedeniyle RES planlamasında daha düşük öncelikli alanlar kapsamında ele alınmış ve bu doğrultuda en düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Fay hatlarına 1000–2000 m mesafede yer alan alanlar, jeolojik etkilerin azaldığı ancak zemin koşullarının planlama sürecinde hâlen dikkate alınması gereken bölgeler olması sebebiyle düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Fay hatlarına olan uzaklığın 2000–4000 m aralığında olduğu alanlar, jeolojik koşulların daha dengeli olduğu ve planlama açısından daha elverişli özellikler sunduğu alanlar olması nedeniyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Fay hatlarına 4000–6000 m mesafede bulunan alanlar, jeolojik yapı kaynaklı etkilerin büyük ölçüde azaldığı ve RES kurulumu açısından daha uygun

koşullar sunduğu alanlar olarak yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Fay hatlarına 6000 m’den daha uzak alanlar ise zemin ve yapı güvenliği açısından daha elverişli özellikler sunduğu, yer seçimi açısından en yüksek uygunluk sınıfına sahip alanlar olarak ele alınmıştır.

Analiz sonucuna göre ilin %20,85’lük bölümü, 0–1.000 m aralığında yer alarak “1” puanlı uygun olmayan sınıfta yer alırken, %28,83’lük bölüm 6.000 m’ den daha uzak alanlar olup “5” puanlı çok uygun sınıfa dahil edilmiştir. Fay hattına uzaklık haritasının ağırlık değeri %3 olarak belirlenmiştir. Alan dağılımları, ağırlık değerleri ve puanlamalar tablo 23’te sunulmaktadır.

Tablo 23. Fay hattına göre alan hesabı ve ağırlık puanları

Faya Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 1000	145,223	20,85	1
1000 - 2000	109,172	15,68	2
2000 - 4000	146,318	21,01	3
4000 - 6000	94,923	13,63	4
> 6000	200,744	28,83	5
Toplam	696,380	100	

5.1.11.Yerleşime uzaklık haritasının oluşturulması

Rüzgâr türbinlerinin neden olduğu gürültü, görsel etki ve ışık yansımaları gibi faktörler nedeniyle, bu yapıların yerleşim alanlarından belirli bir mesafede konumlandırılması önem arz etmektedir. Yer seçimi sürecinde, yerleşim alanlarının gelecekteki gelişim eğilimlerinin de dikkate alınması, ilerleyen dönemlerde santral alanları ile yerleşim bölgeleri arasında oluşabilecek mekânsal çakışmaların önlenmesi açısından gerekli görülmektedir.

Bu çalışmada yerleşim alanı haritası, Copernicus platformundan vektör formatında temin edilen CORINE 2018 yerleşim alanı verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Oluşturulan arazi kullanım haritasında yerleşim alanlarının belirlenebilmesi amacıyla, ilgili sınıfları seçmek için “Select by Attributes” aracı kullanılmış ve arazi kullanım sınıfları arasından şehir yapısı ile inşaat alanları seçilmiştir. Bu seçimin ardından veriler “Export Data” komutu ile dışa aktararak yerleşim yerlerini içeren bağımsız bir veri seti oluşturulmuştur.

Veri seti kullanılarak, yerleşim merkezlerine olan mesafe analizini gerçekleştirmek amacıyla “Euclidean Distance” aracı uygulanmıştır. Çalışma alanını kapsayan yalnızca ilgili verileri elde edebilmek için “Extract by Mask” işlemi

Bu kapsamda yerleşim alanlarına uzaklık kriterine ilişkin uygunluk sınıfları belirlenirken, RES yer seçiminde yaşam alanları üzerindeki olası etkiler, görsel ve gürültü kaynaklı etkileşimler çerçevesinde dikkate alınan yerleşim bütünlüğü esas alınmıştır. Yerleşim alanlarına 0–1000 m mesafede bulunan alanlar, yerleşim alanlarıyla olan mesafenin düşük olması nedeniyle RES yer seçiminde daha düşük öncelikli alanlar kapsamında değerlendirilmiş ve bu doğrultuda en düşük uygunluk sınıfında ele alınmıştır. Yerleşim alanlarına 1000–2000 m mesafede yer alan alanlar, yerleşimlerle olan etkileşimin azaldığı ancak planlama açısından hâlen dikkate alınması gereken bölgeler olması sebebiyle düşük uygunluk sınıfında

değerlendirilmiştir. Yerleşim alanlarına olan uzaklığın 2000–4000 m aralığında olduğu alanlar, sosyal ve mekânsal etkileşimlerin daha sınırlı düzeyde gerçekleştiği ve planlama açısından daha dengeli koşullar sunduğu alanlar olması nedeniyle orta uygunluk sınıfına atanmıştır. Yerleşim alanlarına 4000–8000 m mesafede bulunan alanlar, yerleşim alanları üzerindeki dolaylı etkilerin büyük ölçüde azaldığı ve RES kurulumu açısından daha elverişli koşullar sunduğu alanlar olması sebebiyle yüksek uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir. Yerleşim alanlarına 8000 m’den daha uzak alanlar ise yerleşimlerle olan etkileşimin en düşük düzeyde olduğu, yer seçimi açısından en yüksek uygunluk sınıfına sahip alanlar olarak ele alınmıştır.

Araştırma sonucuna göre ilin %5,94’u, 0–1000 m aralığında yer alarak “1” puanlı uygun olmayan sınıfta değerlendirilmiştir. İlin %44,26’lık bölümü ise 8000 m’ den daha uzak alanlar olarak “5” puanlı çok uygun sınıfa dahil edilmiştir. Yerleşim alanına uzaklık haritasının ağırlık değeri %10 olarak belirlenmiştir. Alan dağılımları, ağırlık ve puanlamalar Tablo 24’te sunulmaktadır.

Tablo 24. Yerleşime uzaklığa göre alan hesabı ve ağırlık puanları

Yerleşime Uzaklık (m)	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
0 - 1000	41,341	5,94	1
1000 - 2000	45,350	6,51	2
2000 - 4000	106,071	15,23	3
4000 - 8000	195,384	28,06	4
> 8000	308,233	44,26	5
Toplam	696,380	100	

5.1.12.Sonuç haritalarının karşılaştırılması

Giresun ili kapsamında yürütülen çalışmada, belirlenen on kriter temel alınarak CBS tabanlı analizler gerçekleştirilmiş ve her kriter için yeniden sınıflandırılmış haritalar oluşturulmuştur. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, analiz kapsamında kullanılan raster veri setlerine uygulanarak tematik uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Raster katmanlar üzerinde gerçekleştirilen yeniden sınıflandırma işlemi olan Reclassify işlemi ile her bir alana uygunluk değerleri atanmıştır. Son aşamada, Weighted Overlay aracı kullanılarak her bir kriter haritası, AHP yöntemi ile belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpılmış ve elde edilen sonuçlar toplanarak tek bir uygunluk indeksi oluşturulmuştur. Bu işlem sayesinde farklı kriterlerin rRES yer seçimine olan göreceli etkileri sayısal olarak modele yansıtılmış ve Giresun ili genelinde RES kurulumu açısından uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 49).

6.BULGULAR VE TARTIŞMA

AHP, çok kriterli karar problemlerinde kriterler arasındaki ilişkileri değerlendirerek karar sürecini destekleyen bir yöntemdir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için önce ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmakta, ardından bu matrislerin normalizasyonu yapılmakta ve sonuç olarak her kriter için ağırlık değerleri elde edilmektedir. Bu süreç 4.5. bölümünde detaylı şekilde açıklanmış olup, çalışmada kullanılan kriterlerin ağırlıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir: rüzgâr hızı %28, arazi kullanımı %25, göl, baraj ve korunan alana uzaklık %2, yükseklik %13, enerji nakil hatlarına uzaklık %6, eğim %5, yollara uzaklık %4, fay hattına uzaklık %3, akarsulara uzaklık %2 ve yerleşim alanına uzaklık %12 olarak işleme alınmıştır (Tablo 25).

Tablo 25. Tablo ağırlık değerleri

Kriterler	Ağırlıklar (%)
Rüzgâr Hızı	28
Yükseklik	13
Eğim	5
Arazi Kullanımı	25
Yerleşim Alanına Uzaklık	12
Yola Uzaklık	4
Trafo ve ENH Uzaklık	6
Fay Hattına Uzaklık	3
Akarsuya Uzaklık	2
Göl, Baraj ve Korunan Alana Uzaklık	2

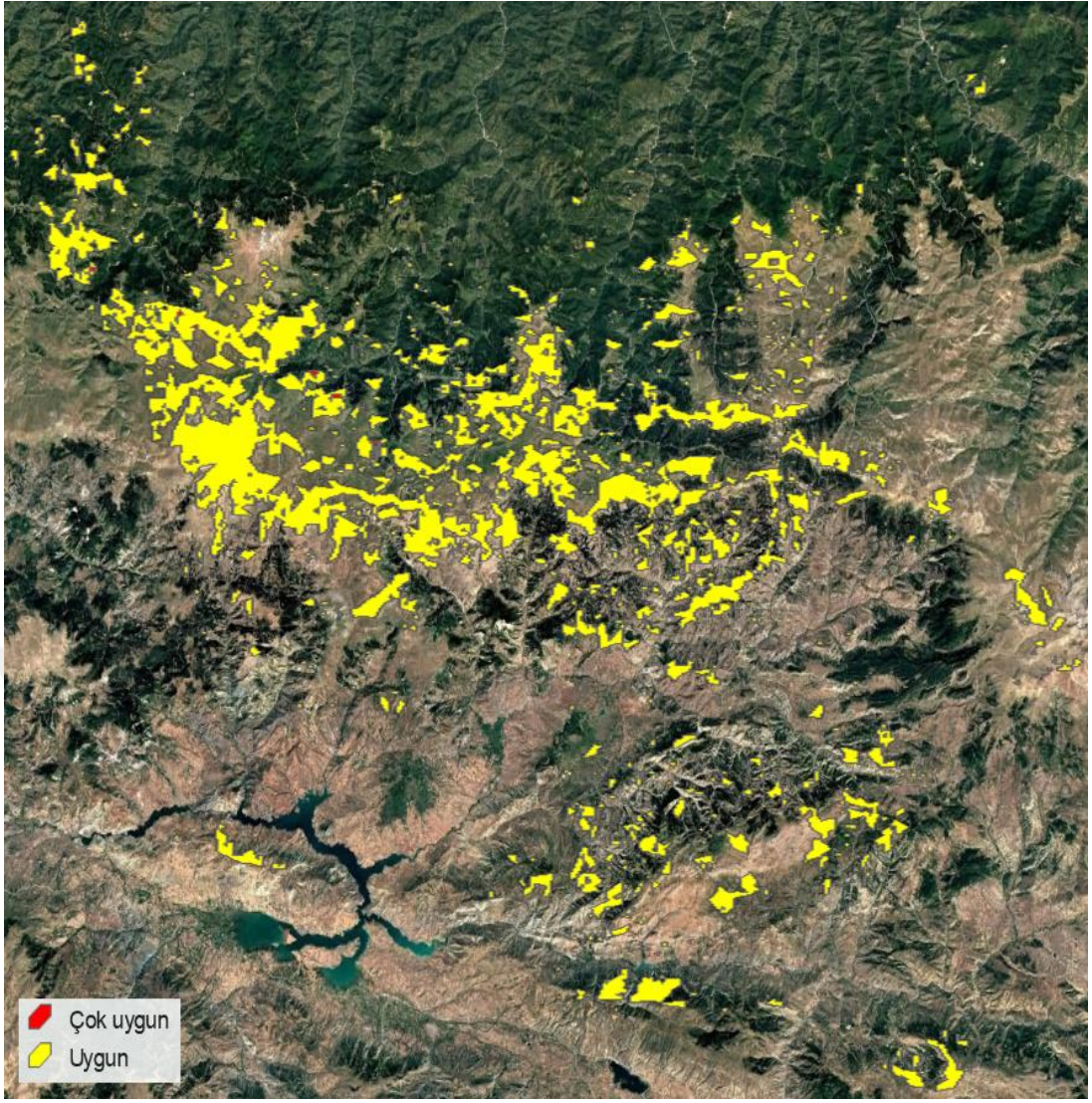
Giresun ili için gerçekleştirilen çalışmada, yerleşim merkezleri, fay hatları, akarsular, enerji nakil hatları ve yollara olan uzaklıklar Euclidean Distance yöntemiyle raster formata dönüştürülmüş; arazi kullanımı, rüzgâr hızı, eğim ve yükselti verileri için ise reclassify işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen yeniden sınıflandırılmış haritalar ve AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları, bütüncül biçimde değerlendirilebilmesi için ArcGIS ortamında “Weighted Overlay” analiz aracı ile birleştirilmiştir. Araç içerisindeki tüm parametreler ilgili katmanlara eklenmiş, AHP ile belirlenen ağırlık değerleri sisteme girilerek çok kriterli değerlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra, elde edilen uygunluk rasteri üzerinden alan hesaplamaları yapılmıştır.

Daha sonra, elde edilen uygunluk rasterının sınırlarının daha net görülebilmesi ve alan hesaplamalarının daha sağlıklı yapılabilmesi amacıyla raster veri vektör formata dönüştürülmüştür. Bu işlem için “Raster to Polygon” aracı kullanılmıştır.

KML formatındaki verinin konumunu çalışma alanında doğru bir şekilde görüntüleyebilmek için vektör veri WGS84 koordinat sistemine dönüştürülerek projeye uygun hale getirilmiştir.

Daha sonra, uygun ve çok uygun alanların belirlenebilmesi için “Select by Attributes” aracı kullanılmış; gridcode alanı üzerinden, uygunluk sınıflarını temsil eden 4 ve 5 değerleri için sırasıyla seçim yapılmıştır. Seçilen bu alanlar “Export Data” komutu ile dışa aktarılmış ve analizde kullanılmak üzere ayrı bir veri seti olarak kaydedilmiştir.

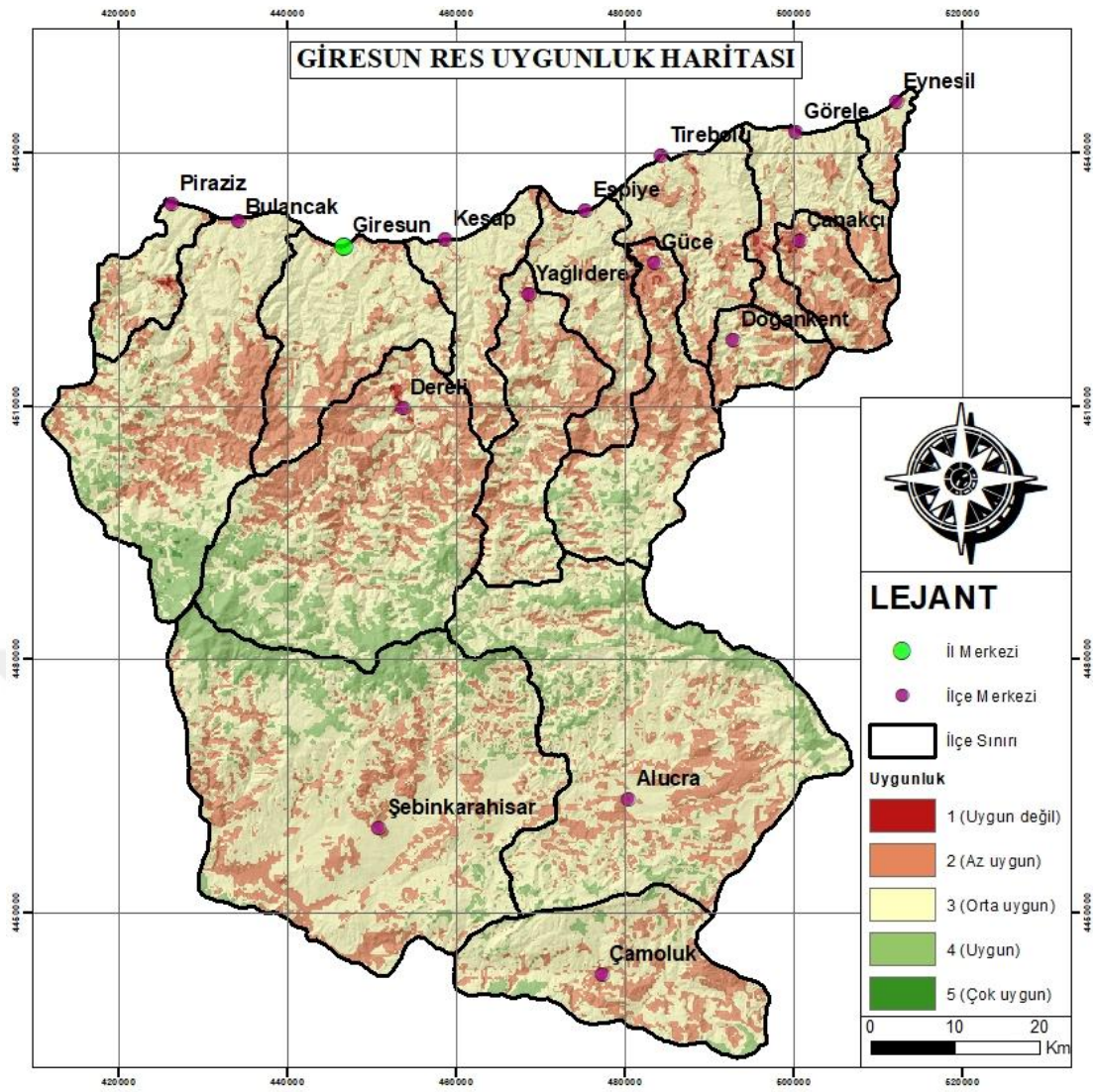
Daha sonra, uygun ve çok uygun alanları içeren veri seti KML formatına dönüştürülmek üzere “Layer to KML” işlem aracı kullanılmış ve KML dosyası oluşturulmuştur (Şekil 48).



Şekil 48.Uygun ve çok uygun alanların uydu gösterimi

Harita oluşturma aşamasında, her puanlama değerinin karşısına gerekli bilgiler yazılmış ve lejant bilgileri eklenerek tematik haritalama tamamlanmıştır (Şekil 49).

Harita, literatür taraması doğrultusunda uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun ve çok uygun olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, ilde çok uygun alanlar %0,06, uygun alanlar %11,54, orta uygun alanlar %59,73, az uygun alanlar %28,39 ve uygun olmayan alanlar %0,29 oranında dağılım göstermektedir (Tablo 26). Bu sınıflandırma, CBS tabanlı duyarlılık analizlerinde ve literatürde kullanılan yöntemlerle uyumlu olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 49.RES uygunluk haritası

Tablo 26. RES Uygun alanların hesaplanması

Uygunluk	Alan (Ha)	%	Ağırlık Puanı
Uygun değil	1,987	0,29	1
Az uygun	197,719	28,39	2
Orta uygun	415,922	59,73	3
Uygun	80,348	11,54	4
Çok uygun	417	0,06	5
Toplam	696,393	100	

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Giresun ili için RES yer seçiminin çok boyutlu ve bilimsel bir yaklaşımla ele alındığını göstermektedir. AHP sonuçlarına göre rüzgâr hızının %28 ile en yüksek ağırlık değerine sahip olması, enerji üretim potansiyelinin RES yer seçimi sürecindeki temel belirleyici olduğunu açıkça ortaya

koymaktadır. Bu durum, literatürde rüzgâr hızının RES verimliliğini doğrudan etkileyen en önemli faktör olarak kabul edildiği çalışmalarla uyumludur.

Arazi kullanımının %25 gibi yüksek bir ağırlık alması, yatırımın çevresel sürdürülebilirlik ve arazi planlamasıyla uyumlu olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tarım alanları, ormanlık bölgeler ve korunan alanlar gibi hassas kullanımların dikkate alınması hem çevresel etkilerin azaltılması hem de yatırımın uzun vadeli başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Yükseklik kriterinin %13, yerleşim alanlarına uzaklığın ise %12 ağırlık değerine sahip olması, çalışmada teknik uygunluk ile sosyal etkilerin dengeli biçimde gözetildiğini göstermektedir.

Enerji nakil hatlarına uzaklık kriterinin %6 ağırlık alması, yatırım maliyetleri ve şebeke bağlantı kolaylığı açısından önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Eğitim (%5) ve yollara uzaklık (%4) kriterleri, inşaat süreci, erişilebilirlik ve bakım faaliyetlerinin sürdürülebilirliği bakımından RES projelerinin uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Fay hatlarına uzaklık (%3) kriterinin değerlendirmeye dahil edilmesi, çalışmanın jeolojik riskleri de göz önünde bulundurarak güvenli yatırım alanları belirlemeyi hedeflediğini göstermektedir.

Göl, baraj ve korunan alanlara uzaklık (%2) ile akarsulara uzaklık (%2) kriterlerinin görece düşük ağırlık değerlerine sahip olması, çalışma alanında bu çevresel unsurların mekânsal dağılımının yer seçimi kararında sınırlı etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu kriterlerin analiz sürecine dahil edilmesi, çevresel hassasiyetlerin tamamen göz ardı edilmediğini ve karar sürecinin sürdürülebilirlik temelli yürütüldüğünü göstermesi açısından önemlidir.

Literatürde yer alan benzer çalışmalar ile rüzgâr enerjisi projelerinin uygulama sonuçları, santral yer seçimi sürecinde rüzgâr hızının diğer çevresel ve teknik kriterlere kıyasla en temel belirleyici faktör olduğunu ve yüksek bir ağırlık değerine sahip bulunduğunu ortaya koymaktadır. Farklı sınıflandırma yaklaşımlarının kullanılmasıyla çeşitli sonuçlara ulaşmak mümkün olmakla birlikte, Türkiye’de RES kurulmasına ilişkin faktörler ve uygunluk sınıfları hakkında resmi bir yönetmelik bulunmamaktadır. Uzman değerlendirmeleri, çok sayıda parametrenin etkili olduğu bu tür çalışmalarda kesin sınırlar koymanın güç olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, yatırımcılar gerekli teknik ve çevresel analizleri gerçekleştirerek başvurularını ilgili kurumlara sunmakta, kurumlar ise değerlendirme süreçlerini tamamladıktan sonra karar vermektedir.

Sonuç olarak, CBS ve AHP yöntemlerinin birlikte kullanılması, teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal kriterlerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesine olanak

sağlamış; elde edilen uygunluk haritaları, Giresun ili için RES yatırımlarının planlanmasında güvenilir bir karar destek altyapısı sunmuştur. Bu yaklaşımın, benzer coğrafi koşullara sahip bölgelerde yapılacak gelecekteki çalışmalar için de uygulanabilir ve güçlü bir model oluşturduğu değerlendirilmektedir.



7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada RES' in kurulumu için gerçekleştirilen yer seçimi sürecinin temel aşamaları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Küresel ölçekte artan enerji ihtiyacına karşılık olarak hem Türkiye'de hem de dünyada stratejik bir öneme sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisi ön plana çıkarılmıştır. Rüzgâr enerjisinin kullanımı, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasının yanı sıra enerji üretim maliyetlerinin azaltılması yoluyla ülke ekonomisine katkı sunmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışma, CBS tabanlı ÇKKV ve AHP kullanılarak santral kurulumu için uygun alanların belirlenmesinde bu yaklaşımların etkin ve uygulanabilir bir araç olduğunu ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle enerji kaynakları ve yenilenebilir enerjinin önemi ele alınmış, Türkiye ve dünya ölçeğinde yenilenebilir enerji potansiyeli incelenmiştir. Ardından, ÇKKV analizi ve bu yöntemin bir çeşidi olan AHP açıklanmıştır. RES yer seçiminde etkili olan kriterler literatür taramaları doğrultusunda belirlenmiş ve çalışma alanına uygun kriterler seçilmiştir. İlgili kriterlere ait konumsal veriler farklı kaynaklardan temin edilmiş, AHP kullanılarak her kriterin yer seçimi üzerindeki etkisini gösteren ağırlıklar hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, gerekli konumsal analizlerin yapılması ve sonuçların harita üzerinde görselleştirilmesi amacıyla CBS ortamında işlenmiş; önceki çalışmalar incelenerek kriter haritaları uygunluk sınıflarına ayrılmış ve böylece Giresun ili için RES yer seçimi uygunluk haritaları oluşturulmuştur.

Literatürde yer alan benzer araştırmalar ile rüzgâr enerjisi projelerine ilişkin uygulamalar incelendiğinde, RES'in yer seçiminde rüzgâr hızı kriterinin, diğer çevresel faktörlere kıyasla birincil ve daha yüksek öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Bu çalışmada, Giresun ili için RES kurulumu açısından uygun alanların belirlenmesinde AHP kullanılmıştır. AHP 'nin tercih edilme nedeni, uygulanmasının ve anlaşılmasının kolay olması, hızlı bir şekilde çözüm üretebilmesi, kendi içinde kontrol mekanizması bulundurması ve literatürde yaygın olarak kullanılmasıdır. AHP ile santral yer seçimini etkileyen faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve bu ağırlıkların CBS tabanlı konumsal analizlerde kullanılması, RES yer seçimi çalışmalarında etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan kriterler esas alınarak elde edilen sonuçların, RES planlaması açısından yol gösterici nitelikte olduğu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, ilerleyen çalışmalarda kullanılan faktör sayısının artırılması ve farklı kriterlerin analize dâhil edilmesiyle daha kapsamlı ve ayrıntılı sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

Çalışmada on ana faktör analiz edilmiş; bunun yanı sıra kuş göç yolları, askeri alanlar, havalimanları ve ormanlar kısıtlı alanlar olarak belirlenmiş ve uygun bölgelerden çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Giresun ili için RES kurulumu açısından uygun alanları gösteren bir harita üretilmiş ve bu harita, devlet politikalarıyla desteklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik “RES kurulumu için en uygun bölgeler nerelerdir?” sorusuna yanıt sunmakta; aynı zamanda RES yer seçimi sürecinde yatırımların doğru yönlendirilmesine katkı sağlayarak CBS ve AHP tabanlı alan belirleme çalışmalarına yönelik literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Türkiye’nin enerji sektöründe dışa bağımlılığının azaltılması ve enerjide sürdürülebilir bir yapının oluşturulması açısından, rüzgâr enerjisinin etkin bir şekilde kullanılması büyük bir potansiyel taşımaktadır. Siyasi bağımsızlık kadar ekonomik bağımsızlıkta önemli bir konudur. Bu konuda enerji üretimi konusunda atılacak adımlar son derece önemlidir. Doğal kaynaklardan olan rüzgâr enerjisi yatırımlarının artırılması, yerli enerji üretiminin artmasına ve bu sayede enerji ithalatının azalmasına, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır. Bunun yanı sıra, yerli enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım olacaktır. Bunun yanı sıra, bu çalışma ile CBS tabanlı ÇKKV ve AHP kullanılarak RES uygun yer seçimi sürecinin etkin bir araç olduğu uygulamalı olarak gösterilmiş ve bu yöntemlerin karar verme süreçlerindeki önemine dikkat çekilmiştir.

Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda rüzgâr enerjisi santralleri; enerji arz güvenliğinin artırılması, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, rüzgâr enerjisinin yaygınlaştırılmasına yönelik planlama ve yatırımların artırılmasının, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasının yanı sıra ekonomik ve toplumsal kalkınmaya da uzun vadeli katkılar sunacağı sonucuna varılmıştır.

Araştırmada Giresun ili için 10 ana kriter değerlendirilmiş; kuş göç yolları, askeri alanlar, havalimanları ve ormanlık alanlar kısıtlı bölgeler olarak analiz dışı bırakılmıştır. Analiz sonucuna göre rüzgâr hızının %28 ile en yüksek ağırlığa sahip olması, enerji üretim potansiyelinin RES yatırımlarında belirleyici rolünü ortaya koymuştur. Arazi kullanımının %27 ile ikinci sırada yer alması, çevresel uyum ve arazi planlamasının yatırım başarısı açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Yükselti (%13) ve yerleşim alanlarına uzaklık (%12) kriterleri ise teknik verimlilik ile sosyal etkiler arasında dengeli bir karar süreci oluşturulduğunu ortaya koymaktadır. Enerji nakil hatlarına uzaklık (%6), eğim (%5) ve yollara uzaklık (%4) kriterleri, maliyet, erişilebilirlik ve inşaat süreci açısından uygulama başarısını doğrudan etkilemektedir. Fay hatlarına uzaklık (%3) güvenlik boyutunu, göl, baraj ve korunan alanlara uzaklık (%2) ile akarsulara uzaklık (%2) ise çevresel hassasiyetlerin göz ardı edilmediğini göstermektedir. Bu bütüncül yaklaşım sayesinde oluşturulan uygunluk haritaları, Giresun'da yapılacak RES yatırımları için güvenilir ve uygulanabilir bir karar destek altyapısı sunmaktadır.

Bu tez çalışması çerçevesinde yürütülen RES uygunluk analizinde, on kriterin birleştirilmesi ve kısıtlı alanların çıkarılması sonucunda, Giresun ilinin toplam yüzölçümü dikkate alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre, çok uygun alan toplam yüzeyin %0,06'sını barındırmaktadır. Uygun alanlar toplam yüzeyin %11,54'ünü, orta uygun alanlar %59,73'ünü, az uygun alanlar %28,39'sini ve uygun olmayan alanlar %0,29'sini oluşturmaktadır. Ayrıca, ilin %20,93'ünü kapsayan bölgeler, kısıtlı alanlar kapsamında değerlendirilmiştir.

Genel dağılıma bakıldığında, uygun alanlar daha çok yüksek ve düzlük plaka özellikle ilin orta ve güneydoğu kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Öte yandan, dağlık ve engebeli arazi yapısının hâkim olduğu Tirebolu, Espiye ve Görele bölgelerinde uygun olmayan alanlar daha fazladır. Bu bölgelerde uygun alanlar yer yer küçük parçalar hâlinde bulunmakta olup, RES kurulumları açısından geniş arazilere ihtiyaç duyulduğundan, pratik açıdan yeterli kabul edilmemektedir.

Elektrik enerjisi talep tahmini sonuçları, yalnızca rüzgâr enerjisi için değil, diğer alternatif enerji kaynakları için de yol gösterici nitelik taşımaktadır. Ayrıca, kullanılan pek çok faktörün, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının da ortak konumsal özellikleri olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre çalışma sonuçları;

- Enerji santrali kurulumunda uygunluk haritaları ülkenin gelecekteki kalkınma stratejileri, çevresel ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ile yerel ve uluslararası yönetim süreçlerine katkı sağlayacaktır.

- Enerjinin üretiminde meydana gelebilecek enerji kayıpları ve kaçakların önlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır.
- Enerji üretim yöntemine bağlı olarak yer seçimi sürecinde dikkate alınan konumsal faktörler, ülke ekonomisi, çevre ve ekosistem açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, ilgili süreç çerçevesinde öncelikli olarak il veya bölge bazında ayrıntılı çalışmaların yapılması gereklidir.
- Giresun ili genel itibari RES yapımına çok uygun alanı az iken uygun alanı sınırlı bulunmaktadır. Bu kısımlar; Şebinkarahisar ile Dereli ilçeleri arasındaki sınır boyu, Bulancak ilçesi güneybatı sınırı, Alucra kuzey sınırı boyu, Güce güney kısmı boyu ve Yağlıdere güney sınırı olarak tespit edilmiştir.
- Rüzgâr kaynaklı elektrik üretiminin daha verimli hale getirilmesi, ülke genelinde ekonomiye katkının artırılmasına olanak sağlamaktadır. Rüzgâr açısından elverişli bölgelerde planlı şekilde gerçekleştirilecek yatırımların, çevresel etkiler gözetilerek sürdürülebilir ve olumlu sonuçlar doğuracağı değerlendirilmektedir.
- CBS ve AHP 'nin kullanıldığı bu çalışma, benzer nitelikteki projelerde aynı yöntemlerin uygulanabilir olduğunu göstermekte ve gelecekte yürütülecek RES çalışmalarına yön verebilecek bir çerçeve sunmaktadır. RES yer seçiminde yatırımların doğru ve ekonomik biçimde planlanabilmesi için CBS ile AHP etkili sonuçlar üretmede önemli bir araç olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- Akın, O. (2024). *Edirne ili rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=P3dtmmHrq-mzEcmCLi1Cqa8iIntDeJWgG4BXxXn6TeMdceMun3xz-UAJKif4Up2>
- Akkaya, N. (2019). *Rüzgâr enerji santralleri için uygun alanların Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile belirlenmesi: Tekirdağ ili örneği* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=U9dFwd1HcJNdrAN4VQKGmw&no=k_c_XMjfkilwXUtp7VzzCg
- Al-Shabeeb A. R., Al-Adamat R. ve Mashagbah, A. (2016). AHP With GIS For A Preliminary Site Selection Of Wind Turbines In The North West Of Jordan. *International Journal Of Geosciences*, 7, 1208-1221. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=71540>
- Al-Yahyai S., Charabi Y., Gastli A. ve Al-Badi A. (2012). Wind Farm Land Suitability Indexing Using Multi-Criteria Analysis. *Renewable Energy, Elsevier*, 44, 80-87. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112000158>
- Arul P. A. (2001). Geographical Information Systems - An Overview. *Indian Institute of Information Technology*. https://www.academia.edu/35425565/Geographical_Information_Systems_An_Overview
- Aydiner, İ. ve Öztürk, D. (2021). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Ege Denizi'nde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 217-232. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236719>
- Aydin N.Y., Kentel E. ve Duzgun S. (2010). GIS-Based Environmental Assessment Of Wind Energy Systems For Spatial Planning: A Case Study From Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 364-373. <https://hdl.handle.net/11511/46935>
- Aydoğdu, Ç. (2021). *Türkiye'de yenilenebilir enerji stratejisi ve Federal Almanya stratejisinin analizi* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Odigie, O. ve Munda, J. L. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*, 228, 1853-1869. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(18\)31316-3](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(18)31316-3)
- Azizi, A., Malekmohammadi B., Jafari, H. R., Nasiri, H., ve Parsa, V. A. (2014). Land Suitability Assessment for Wind Power Plant Site Selection Using ANP-DEMATEL in a GIS Environment: Case Study of Ardabil Province Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 6695-6709. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3883-6>
- Bakırcı, Ç. M. (24 Haziran 2020). *Yenilenebilir Enerji, Fosil Yakıtlar ve Nükleer Enerji: Hangisini, Neden Tercih Etmeliyiz?*. Evrim Ağacı. <https://evrimagaci.org/yenilenebilir-enerji-fosil-yakitlar-ve-nukleer-enerji-hangisini-neden-tercih-etmeliyiz-8933>
- Bıçakçı, C. (2021). *Coğrafi bilgi sistemleri ile rüzgâr hızı haritalarının üretilmesi ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi: Kırklareli Örneği* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=v7BkNnnepTnbhn8rNR77LY-8UZS-Pas68YK7jmAy9_t4QlRjO6CtGBHy6c8wdp9F
- Bingöl, F. (2018). Rüzgâr enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 273-281. <https://doi.org/10.2339/politeknik.385523>
- Biyokütle. (26 Aralık 2024). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 24 Eylül 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle> erişilmiştir
- BP Energy Outlook 2023. (12 Temmuz 2023). *BP – Energy Economics*. 3 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf> erişilmiştir.
- Can, G. (2021). *Coğrafi bilgi sistemleri ile analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak rüzgar türbin santralleri için yer seçimi : Çanakkale İli Örneği* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=qpzgtvefsXP3KD5ddObHRA&no=Wf-7mk-t5KOZ3EFgEQ1pVg>
- Can, G. ve Yücel, M. A. (2019, Nisan 25-27). *Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak rüzgâr enerji santralleri için yer tespiti* [Sempozyum sunumu].

TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/ec8e02e36a81170_ek.pdf

Çakmakçı, B. A., ve Hüner, E. (2019). *Kırklareli Üniversitesi Kayalı kampüsünün dönemsel rüzgâr enerjisi potansiyelinin bulunması* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Kırklareli Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
<https://doi.org/10.34186/klujes.525602Demir>

Çalapkulu, S. (04 Aralık 2022). *Güneş Enerjisi Hakkında Merak Edilenler*. Baret Dergisi.
<https://www.baretdergisi.com/yazarlar/semih-calapkulu/gunes-enerjisi-hakkinda-merak-edilenler/105/>

Çelik Z. (2018). *Temel CBS*. Slideshare. tarihinde
<https://www.slideshare.net/zenecorp/temel-cbs-2018>

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Portalı. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 24 Ekim 2025 tarihinde <https://ced.csb.gov.tr/> erişilmiştir

Corine Arazi Örtüsü Sınıfları. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı – CORINE Portalı. 18 Kasım 2025 tarihinde
<https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/araziortususiniflari.html> erişilmiştir

Dalga Enerjisi. (3 Şubat 2024). *Enerji Teknolojileri*. 13 Mayıs 2025 tarihinde
<https://enerjiteknolojileri.wordpress.com/dalga-enerjisi/> erişilmiştir

Dargeb Derneği. (31 Ocak 2024). *Denizde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Nelerdir?*.
<https://dargeb.com/denizde-yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/> erişilmiştir

Dünya’da ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu. (02.02.2025.). SlideServe. 4 Nisan 2025 tarihinde
<https://www.slideserve.com/hateya/d-nya-da-ve-t-rkiye-de-genel-enerji-durumu> erişilmiştir

Demir, A., Dinçer, A. E., Çiftçi, C., Gülçimen, S., Uzal, N., ve Yılmaz, K., (2024). Wind farm site selection using GIS-based multicriteria analysis with Life cycle assessment integration. *Earth Science Informatics*, 17(2), 1591-1608.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12145-024-01227-4.pdf>

Determinant. (11.05.2025). *Wikipedia içinde*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Determinant>

Dev rüzgâr türbini dünya rekoru kırdı, bir günde 170 bin haneye yetecek elektrik üretti. (8 Eylül 2023). *Dünya Enerji Konseyi – Türk Milli Komitesi*. 13 Mayıs 2024 tarihinde
<https://dunyaenerji.org.tr/dev-ruzgar-turbini-dunya-rekoru-kirdi-bir-gunde-170-bin-haneyeye-yetecek-elektrik-uretti/> erişilmiştir

- Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N., ve Ural, G. (2002). *Türkiye rüzgâr atlası, DMI ve EİE ortak yayını*, [Forum Sunumu]. İç Anadolu Enerji Forumu, Ankara.
https://www.researchgate.net/publication/273705387_Ruzgar_Enerjisi_ve_Turkiye_Ruzgar_Atlasi
- Dünya Enerji Konseyi – Türk Milli Komitesi. (2021). *2021 Küresel Rüzgâr Raporu*.
<https://dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-ruzgar-raporu/>
- Ecer, F. (2021). FUCOM sübjektif ağırlıklandırma yöntemi ile rüzgâr çiftliği yer seçimini etkileyen faktörlerin analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 24-34. <https://izlik.org/JA49TA92MY>
- Economides, M.J. and Wood, D.A. (2009) The State of Natural Gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2009.03.005>.
- Ekiz, S., Şirin, A., ve Erener, A. (2022). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9(1), 59-79. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0005.T>
- Elibüyük, U. ve Üçgül, İ. (2014). *Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi Depolama Yöntemleri*. *Yekarum*, 2(3). <https://izlik.org/JA59CH49SA>
- Elmahmoudi, F., Abra, O. E. K., Raihani, A., Serrar, O., & Bahatti, L. (2020). Elaboration of a Wind Energy Potential Map in Morocco using GIS and Analytic Hierarchy Process. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(4), 6068–6075. <https://doi.org/10.48084/etasr.3692>
- Enerji Nedir? Kısaca Enerji Kaynakları Nelerdir?. *Ceyşan Gerikazanım*. 9 Mayıs 2024 tarihinde <https://ceysangerikazanım.com/enerji-nedir-kisaca-enerji-kaynaklari-nelerdir/> erişilmiştir
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2024). *2024 Yılı Sektör Raporları*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/5-16060/2024-yili-sektor-raporlari-yayimlanmistir>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2025). *Doğal Gaz Yıllık Sektör Raporu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-94/dogal-gazyillik-sektor-raporu-erisilmistir>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2025). *Petrol Piyasası 2024 Yılı Sektör Raporu*. <https://www.tlpgder.org.tr/duyurular/39347/petrol-piyasasi-2024-yili-sektor-raporu-yayinlandi.aspx>
- EPDK Mart 2023 Sektör Raporu Yayınlandı. 31 Mayıs 2023. *Jeotermal Haberler*. 4 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.jeotermalhaberler.com/epdk-mart-2023-sektor-raporu-yayinlandi/> erişilmiştir

- Ersoz, S., Akinci, T. C., Nogay, H. S., ve Dogan, G. (2013). Determination of Wind Energy Potential in Kırklareli-Turkey. *International Journal of Green Energy*, 10(1), 103–116. <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641702>
- Gelashvili, T. (2019). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ile performans değerlendirmesi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin karşılaştırılması* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=as2oTjW5jfr9IKSvmCdJYlqmRP9xirSlAxwey0TQWeEpD_W5ohPkPib7iOXzqgn8
- Genç, S. (2019). *Türkiye ve İspanya’da güneş enerjisinden elektrik üretilmesinin çevresel kazançlar çerçevesinden karşılaştırmalı bir analizi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vjszP7PzV0HebcjFEvDfwKcgXEw5GgJXfXQdoDdxd3Of_YzE0HIQ1EjcwUoF0fN
- Ghannadi, A. (2024). *Türkiye’nin enerji ekonomi politiği ve yenilenebilir enerji politikası* [Yayımlanmış doktora tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=1pwTzRXnomYf6jwqVORfUQk67Q_xlKNBHFffHyd460FQrgUdkxVs3cOme5gfr03
- Global, regional, and national estimates of energy-related carbon dioxide emissions by fuel and sector, 1990–2021. (t.y.). *PMC – National Center for Biotechnology Information*. 3 Ocak 2026 tarihinde <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8605204/> erişilmiştir
- Global Wind Report Launch. (1 Şubat 2024). *Global Wind Energy Council (GWEC)*. 1 Mayıs 2024 tarihinde <https://gwec.net/global-wind-report-launch/> erişilmiştir
- Giresun Hava Arşivi. (18 Kasım 2025). *Meteoblue*. 18 Kasım 2025 tarihinde https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/weatherarchive/giresun_t%C3%BCrkiye-cumhuriyeti_746881 erişilmiştir
- Giresun ilçeleri haritası. *Wikipedia içinde*. 10 Eylül 2025 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Giresun_districts.png erişilmiştir
- Harita Genel Müdürlüğü. (2022). *Türkiye Mülki İdare Sınırları*. <https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-mulki-idare-sinirlari/232>
- HKMO – Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası. (2024). *KOTM PDF belgesi*. https://obs.hkmo.org.tr/showmedia/resimler/ekler/KOTM_588e674d3f0faf9_ek.pdf erişilmiştir.
- Hidrolik Enerji. (17 Ağustos 2022). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 5 Mayıs 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> erişilmiştir

- Jeoloji Mühendisliği Odası. (2016). *Türkiye'nin jeotermal kaynakları projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler raporu*.
https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5ee60fb07fcb1e1_ek.pdf
- Jeotermal Enerji. (26 Aralık 2024). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 24 Eylül 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal> erişilmiştir
- Jeotermal Enerji Kaynakları. (26 Aralık 2024). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 3 Ocak 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal> erişilmiştir
- Karaca, C. ve Bingöl, A. (2019, 2-4 Mayıs). *Türkiye de fosil enerji bağımlılığının neden olduğu ekonomik ve çevresel maliyetler*. [Bildiri sunumu]. JAVScongress . Şırnak.
https://www.researchgate.net/publication/336440533_TURKIYE'DE_FOSIL_ENERJI_BAGIMLILIGININ_NEDEN_OLDUGU_EKONOMIK_VE_CEVRESEL_MALİYETLER_99
- Karagüç, B. (2013). *Balıkesir ilinde jeotermal enerji potansiyeli ve ekonomik etkileri* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=1zw6GvYMe-q3Hf6HR-3US6zKK7IrZNwkAprbf3lRwI2OZTuSE6Hpi3BDes1KUOsg>
- Kocabıyık M. (2015). *Elektrik Mühendisleri Odası PDF belgesi*. Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). https://www.emo.org.tr/ekler/bad8a75b23d714b_ek.pdf
https://turansam.com/wp-content/uploads/2024/03/TURAN-SAM_61-2.pdf
- Koç E. ve Şenel M.C. (2016). Rüzgâr türbinlerinde çevresel etkilerin değerlendirilmesi, *Rüzgâr Enerjisi Dergisi*, 1, 1-14.
https://www.researchgate.net/publication/314465015_Ruzgar_Turbinlerinde_Cevresel_Etkilerin_Degerlendirilmesi
- Koç, E. ve Çiçek, E., (2008). Dünya’da ve Türkiye’de genel enerji durumu I. Dünya değerlendirmesi. *Termodinamik*, sa.187, 70-80.
<https://www.termodinamik.info/teknik/dunya-8217-da-ve-turkiye-8217-de-genel-enerji-durumu>
- Koşaroğlu, Ş. M., ve Yalçın Erik, N. (2016). Tarihsel süreç boyunca değişen petrol fiyatları; kaya gazı etkisi ve bazı öngörüler. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(2), 119-143. <https://izlik.org/JA92LZ37DG>
- Lüle, T. K. F. (2009). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit kampüsünün rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2), 171-178.
<https://izlik.org/JA83YR97DU>

- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). (2023). Jeotermal Harita. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA).*
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>
- Muriç, K. (05 Mayıs 2021). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Hidrokarbon Kaynaklara Alternatif Olabilir mi?*. İnsamer. https://www.insamer.com/tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-hidrokarbon-kaynaklara-alternatif-olabilir-mi-_3776.html
- Netcad Wiki (t.y.). *Netcad Wiki*. 15 Mayıs 2024 tarihinde <https://wiki.netcad.com.tr/pages/diffpages.action?originalId=218138071&pageId=218053103> erişilmiştir
- Örnek, İ., ve Kabak, S. (2023). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Türkiye üzerine bir inceleme. *Artuklu Kaime Uluslararası İktisadi ve İdari Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 87-108. <https://doi.org/10.55119/artuklu.1389880>
- Özen M. S. (26 Mart 2021). *Rüzgâr Enerjisi Sektöründe Gelecek Teknolojileri ve İzmir. Kalkınma Güncesi (İZKA).*
<https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/03/26/ruzgar-enerjisi-sektorunde-gelecek-teknolojileri-ve-izmir/>
- Öztürk, A. (2024). *Artvin ili için iklim ve enerji analizi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=weFMBHaUra8rsS5wi2bmHBA__yPK3kMuyh_pAlhgSOCCh0_TUr8CPWEy1pQqDhG3
- Petrol. (19 Haziran 2023). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 05 Mayıs 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol> erişilmiştir
- Primary energy from wind (Our World in Data). (t.y.). *Our World in Data*. 6 Mayıs 2024 tarihinde <https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-wind> erişilmiştir
- Rüzgar Enerji Santrali (RES) kurulması hakkında mânia kriterlerine göre görüş verilebilmesi için SHGM'ye sunulacak yazı (dilekçe) ekinde bulunması gereken bilgi ve belgeler nelerdir?. (t.y.) *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü*. 24 Ekim 2025 tarihinde <https://web.shgm.gov.tr/tr/sikca-sorulan-sorular/259-ruzgar-enerji-santrali-res-kurulmasi-hakkinda-mania-kriterlerine-gore-gorus-verilebilmesi-icin-shgm-ye-sunulacak-yazi-dilekce-ekinde-bulunmasi-gereken-bilgi-ve-belgeler-nelerdir> erişilmiştir
- Rüzgâr Enerji Santrali. (t.y.). *Antalya Orman İzni Danışmanlığı – ETA Ormancılık*. 3 Ocak 2026 tarihinde <https://www.antalyaormanizni.com/?pnun=38&pt=RÜZGAR+ENERJİ+SANTRALİ> erişilmiştir

- Rüzgâr Enerji Santralinizin Süreçleri ve Lisanslama. (12 Haziran 2024). *Rüzgâr Enerjisi*. 24 Ekim 2025 tarihinde <https://www.ruzgarenerjisi.com.tr/bolum-8-ruzgar-enerji-santralinizin-surecleri-ve-lisanslama/> erişilmiştir
- Rüzgâr Enerjisi Kaynakları. (26 Aralık 2024). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 3 Mayıs 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar> erişilmiştir
- Rüzgâr Enerjisi. (5 Şubat 2023). *Birizin*. 16 Mayıs 2024 tarihinde <https://birizin.com/ruzgar-enerjisi#:~:text=Rüzgar%20Enerjisi%20Kurulumu,için%20bazı%20ölçümlerin%20yapılması%20gerekir> erişilmiştir
- Rüzgâr Santrallerimiz. (t.y.). *Enerjisa Üretim*. 8 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.enerjisauretim.com.tr/enerji-uretimi/ruzgar-santrallerimiz/> erişilmiştir.
- Rüzgâr Türbini Nedir? Rüzgâr Türbini Çeşitleri Nelerdir?. (t.y.). *Resol Tenejji*. 8 Ekim 2025 tarihinde <http://www.resoltenerji.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/> erişilmiştir
- Rüzgâr Türbini ve Kısımları. (2 Şubat 2023). *Mühendis Gelişim*. 3 Mayıs 2025 tarihinde <https://muhendisgelisim.com/ruzgar-turbini-ve-kisimlari/> erişilmiştir
- Rüzgâr ve Dalga Enerji Birlikteliği: Fluventum. (t.y.). *Xtrlarge*. 13 Mayıs 2025 tarihinde <https://www.xtrlarge.com/2018/08/07/ruzgar-dalga-enerji-beraber-fluventum/> erişilmiştir
- Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yönetmelik. (6 Aralık 2013) *Lexpera*. 24 Ekim 2025 tarihinde <https://www.lexpera.com.tr/mevzuat/yonetmelikler/ruzgar-ve-gunes-enerjisine-dayali-uretim-tesisi-kurmak-uzere-yapilan-onlisans-basvurularina-iliskin> erişilmiştir
- Rüzgâr. 2 Mayıs 2021. *Enerji Atlası*. 9 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/> erişilmiştir.
- Sarucan, A., Akkoyunlu, M. C., ve Baş, A. (2010). Analitik hiyerarşi proses yöntemi ile rüzgâr türbin seçimi. *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25(1), 11-18. <https://izlik.org/JA62XW39ST>
- Sesli, F. A., (2024). Coğrafi bilgi sistemleri ile en uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin belirlenmesi: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Yerleşkesi Örneği. *TURAN-SAM*, 16(61), 40-47.
- Şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları dinamik davranış* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi].

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=rcbWnuqW6HxCZ_98ARa pgrvCCrCpEJGPv8_npE230Kmz5Z3nn3ETwcaWCKF6rjBz

Şenel, M. C., ve Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi durumu-Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56. <https://izlik.org/JA35CM28XJ>

Şenol, Ü. (2017). *Rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları yöntemiyle tahmini* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Bozok Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vbVkJX1KChYWNELr1Mu LZsOkWK0CCfEV8a_MjAM612L0l1tsqg4z6nCY0QNY8jo0

Some Pictures of Different Objects in the Lysekil Project. (1 Nisan 201). *ResearchGate*. 13 Mayıs 2025 tarihinde https://www.researchgate.net/figure/Some-pictures-of-different-objects-in-the-Lysekil-project-From-top-to-bottom-A-view_fig18_265007458 erişilmiştir

Taşkın B. (2013). *Niğde ilinde kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrallerinin fiziksel ve ekonomik analizi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vVNzTGHhHjH-u3WMToxQ-sMITBDIdXCuwyfgdS73WHbZqI2ORdXv6T1WlpqcFtz5>

Tescilli Taşınmaz Kültür Varlıklarının Projelerine İlişkin Genel Teknik Şartname. (t.y.). *Ticaret Bakanlığı – Teftiş Kurulu Başkanlığı*. 24 Ekim 2025 tarihinde <https://teftis.ktb.gov.tr/Eklenti/62855%2Ctescilli-tasinmaz-kultur-varliklarinin-projelerine-iliskin-genel-teknik-sartnamepdf.pdf> erişilmiştir

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2024). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tüketim İçindeki Payı*. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-tuketim-icindeki-payi-i-85809>

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). *ÇED Süreci Akım Şemaları*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/menu/23032023ced-sureci-akim-semalari_20230323051743.pdf

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025). *e-Çevresel Etki Değerlendirmesi (e-ÇED) Portalı*. <https://eced.csb.gov.tr/jsp/portal/main2.htm>

T.C. Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu. (2025). *Aylık Sektör Raporu*. *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/aylik-sektor-raporu>

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)*. <https://gepa.enerji.gov.tr/>

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *REPA Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası*. <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Güneş Enerjisi Kaynakları*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- TÜBİTAK Deneyap Kitapları – TÜBİTAK Bilim ve Toplum Başkanlığı. (2023). *Enerji Teknolojileri (Lise)*. https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/25506/6-enerji_teknolojileri_lise.pdf
- TÜBİTAK. (28 Nisan 2016). *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*. 13 Mayıs 2024 tarihinde <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/content/fosil-yakitlar> erişilmiştir
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2025). *ÇED Raporları*. <https://www.teias.gov.tr/cevre-ve-kamulastirma/ced-raporlari>
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2025). *Lisanssız Üretim Duyurusu*. <https://www.teias.gov.tr/duyurular/lisanssiz-uretim-duyurusu-nn5k>
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). (2025). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporları*. <https://tureb.com.tr/yayinlar/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporlari/5>
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). (2025). *Türkiye Rüzgâr Santralleri Atlası*. <https://www.tureb.com.tr/eng/lib/uploads/ATLAS-2025.pdf>
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği PDF Belgesi*. (t.y.). <https://www.tureb.com.tr/eng/lib/uploads/5116a75c37288b7u.pdf>
- Türkiye’de 2024’te Üretilen Elektriğin %11,34’ü Rüzgâr Enerjisinden Sağlandı. (15 Mayıs 2025). *İklim Haber*. 14 Kasım 2025 tarihinde <https://www.iklimhaber.org/turkiyede-2024te-uretilen-elektrigin-34u-ruzgar-enerjisinden-saglandi/> erişilmiştir
- Türkiye’de Güneş Enerjisi. (05.Mayıs.24). *Wikipedia içinde*. https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_g%C3%BCne%C5%9F_enerjisi
- Urfalı, T., ve Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri ili örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Uuemaa, E., Ahi, S., Montibeller, B., Muru, M., & Kmoch, A. (2020). Vertical Accuracy of Freely Available Global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM). *Remote Sensing*, 12(21), 3482. <https://doi.org/10.3390/rs12213482>
- Ülkelere Göre Rüzgâr Enerjisi. (t.y.). *Enerji Atlası*. 9 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html> erişilmiştir

- Ülkü, H. (2022). *Güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarına göre Türkiye enerji kimlik haritası oluşturulması ve yer seçimi örneği* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=5XiSE4yCP_gmnukpMEp65Zzco_w_1h1rsfBK5IZOwQBmyV9HYBqyFueXQtrPdo0S
- Yenilenebilir enerji nedir?. (t.y.). *Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Derneği (YENADER)*. 5 Mayıs 2024 tarihinde https://yenader.org/tr_tr/blog/service/yenilenebilir-enerji-nedir/ erişilmiştir
- Yenilenebilir Enerji Sistemleri. (6 Mayıs 2022). *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. 11 Mayıs 2024 tarihinde https://fbe.bingol.edu.tr/programlar_/yenilenebilir-enerji-sistemleri/ erişilmiştir
- Yerci, V. (2015). Türkiye denizlerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli ve deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilecek bölgeler belirlenmesi [Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Mevlana Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=WY5CM7tPNE2z_YM6pBu0twaLD9Ru5krJObkDcBh8kjrgvOOnZH4ApOtGzTc_atfk
- Yıldız, S. S. (2021). Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi. *Geomatik*, 6(3), 198-206.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.737567>
- Yıldız, S. S. (2021). Rüzgâr hızı haritalarının oluşturulmasında kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması: Balıkesir örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 130-137.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.866014>
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. 2.Baskı, s.480, ISBN 975-97369-0-X, İstanbul.
- Wind Projects – Initial Site Selection. *Energypedia*. (5 Mayıs 2024) tarihinde https://energypedia.info/wiki/Wind_Projects_-_Initial_Site_Selection erişilmiştir
- Zorlu Enerji'nin RES ve JES Santralleri YEKDEM Kapsamına Alındı. (3 Aralık 2018). *Solar.ist*. 24 Eylül 2025 tarihinde <https://www.solar.ist/zorlu-enerjinin-res-ve-jes-olmak-uzere-6-santrali-yekdem-kapsamina-alindi/> erişilmiştir

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa Alperen ŞENSOY

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi İşletme (Tezsiz)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetler ve
Yayınlar¹ :

İş Deneyimi

Stajlar : Samsun Köse Harita

Projeler : Giresun Belediyesi

Çalıştığı Kurumlar : İller Bankası Trabzon Bölge Müdürlüğü

Tarih :