

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CBS TABANLI AHP YÖNTEMİ KULLANILARAK EN UYGUN RES
ALANLARI SEÇİMİ: GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşenur KARABAK ALICI

Ekim 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CBS TABANLI AHP YÖNTEMİ KULLANILARAK EN UYGUN RES
ALANLARI SEÇİMİ: GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ

Ayşenur KARABAK ALICI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10/ 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 14/ 10 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüsniye Ebru ÇOLAK

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Hem lisans hem de yüksek lisans eğitimim boyunca bana büyük emeği geçen, her konuda destek ve yardımcı olan beni yönlendiren, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, ilgisini ve iletişimini her koşulda hissettiğim değerli tez danışmanım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hüsniye Ebru ÇOLAK’a,

Tezimin hazırlanması süresince desteğini ve ilgisini esirgemeyen aynı zamanda tüm eğitim öğretim hayatım boyunca her zaman yanımda, arkamda olan hayata dair fikirlerini, tecrübelerini benimle paylaşan Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü öğretim üyesi canım dayıcım Sayın Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK’e,

Tezimin hazırlanması sırasında desteğini esirgemeyen, ilgisini her an yanımda hissettiğim kıymetli mesai arkadaşım Gülfıdan UĞUR’a, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan dostum, arkadaşım sayın Dr. Canan ÇOLAK SEYMEN’e,

Yaşamım boyunca bana destek olan yol gösteren; sevgileri, sabırları, fedakârlıkları ile bugüne gelmemde emeği geçen, varlıklarını her an arkamda hissettiğim beni bu yaşıma getiren canım annem, biricik babam, kıymetli ablam ve sevgili kardeşime,

Lisans eğitimimden bu yana desteğini ve fedakârlığını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan, sabrıyla beraber desteğini her koşulda hissettiğim en iyi dostum, hayat arkadaşım, sevgili eşim canımın içi Yusuf ALICI’ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayşenur KARABAK ALICI

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum ‘‘CBS Tabanlı AHP Yöntemi Kullanılarak En Uygun RES Alanları Seçimi: Gümüşhane Örneği’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hüsniye Ebru ÇOLAK’ın sorumluluğumda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/10/2024

Ayşenur KARABAK ALICI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Problemin Tanımı.....	3
1.2. Çalışmanın Amacı	4
1.3. Metodoloji	5
1.4. Enerjinin Tanımı Ve Önemi	7
1.4.1. Elektrik Enerjisi	9
1.4.2. Türkiye’de Elektrik Enerjisi.....	9
1.4.3. Türkiye 12. Kalkınma Planında Sürdürülebilir Enerji Politikası	12
1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	15
1.5.1. Güneş Enerjisi	19
1.5.2. Jeotermal Enerji	21
1.5.3. Hidroelektrik Enerji	23
1.5.4. Biyokütle Enerji	24
1.5.5. Hidrojen Enerjisi	26
1.5.6. Dalga Enerjisi.....	27
1.5.7. Rüzgâr Enerjisi.....	29
1.5.8. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi	31
1.5.9. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Potansiyeli	36
1.6. RES Kurulumu İçin Politikalar ve Mevzuatlar	37
1.7. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	39
1.7.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi.....	41
1.8. CBS ile RES Yer Seçimi İçin Mevcut Çalışmalar	45

1.9. RES Kurulumu İçin Yer Seçim Kriterleri	50
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	52
2.1. Araştırma Hipotezi	52
2.2. Çalışma Bölgesi.....	52
2.3. Konumsal Veritabanı Tasarımı	54
2.4. Coğrafi Veritabanı Oluşturulması	55
2.5. AHY ile Ağırlıkların Belirlenmesi	56
2.6. AHY ile İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması Ve Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	57
2.7. En Uygun RES Alanlarının ÇKKV Yöntemleri ve CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi.....	59
2.7.1. Rüzgâr Hızı	59
2.7.2. Arazi Kullanım Durumu	61
2.7.3. Yükseklik	63
2.7.4. Enerji İletim Hattına Uzaklık.....	65
2.7.5. Eğim.....	67
2.7.6. Yola Uzaklık	68
2.7.7. Fay Hattına Uzaklık	71
2.7.8. Akarsuya Uzaklık.....	72
2.7.9. Yerleşim Alanına Uzaklık.....	74
2.7.10. Sonuç Haritalarının Çakıştırılması.....	76
3. BULGULAR.....	77
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	83
5. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ.....	95

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

CBS TABANLI AHP YÖNTEMİ KULLANILARAK EN UYGUN RES ALANLARI SEÇİMİ: GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ

Ayşenur KARABAK ALICI

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüsnüye Ebru ÇOLAK

2024, 94 Sayfa

Günümüzün küreselleşen dünyasında, enerji, insanlığın temel ihtiyaçlarından biri olarak teknolojik ilerlemeyle birlikte daha da önem kazanmıştır. Enerji, ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin bir göstergesi haline gelmiş olup, bu konu hakkında yapılan alternatif araştırma ve çalışmaların sayısı artış göstermektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının aşırı tüketimi ve artan maliyetler, yeni enerji kaynaklarının keşfedilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, Türkiye'nin rüzgar enerjisinden yararlanma açısından uygun bir coğrafyada bulunması, özellikle rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yoluyla enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla son yıllarda önemli girişimlerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılarak Gümüşhane il sınırları içerisinde rüzgar enerji santralleri için en uygun yerlerin seçimi konumsal analizler yapılarak belirlenmiştir. CBS ile en uygun yer seçimi avantajı bilimsel olmasıdır. Bu çerçevede, öncelikle rüzgar enerjisi santrali kurulması için yer seçim kriterleri tespit edilmiştir. Bu kriterler rüzgar hızı, arazi kullanımı, yükseklik, trafoya uzaklık, eğim, yola uzaklık, fay hattına uzaklık, akarsuya uzaklık ve yerleşim alanına uzaklık olarak saptanmıştır. Belirlenen kriterlerin kendi içerisinde önem derecesine göre ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra kuş göç yolları, havaalanına uzaklık, korunan alanlar, orman arazileri, askeri bölgeler kısıt kabul edilerek değerlendirilmeye alınmamıştır. Yapılan CBS analizi ile en uygun yerler tespit edilerek sonuç haritasında kısıtlı alanlar çıkarılmıştır. Bu çalışma sonucunda Gümüşhane'de RES kurulumu için uygun yerler tespit edilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi için altlık haritalar üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, rüzgâr enerjisi, Rüzgâr Enerji Santrali, yer seçimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), Gümüşhane

Master Thesis

SUMMARY

SELECTION OF THE MOST SUITABLE RES AREAS USING GIS-BASED AHP METHOD: THE CASE OF GÜMÜŞHANE

Ayşenur KARABAK ALICI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Surveying Engineer Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hüsnüye Ebru ÇOLAK
2024, 94 Pages

In today's globalized world, energy has become increasingly important as one of humanity's fundamental needs, particularly with technological advancements. Energy has turned into an indicator of countries' levels of development, and the number of alternative research and studies on this subject has been increasing. The excessive consumption of non-renewable energy sources and rising costs have made the exploration of new energy sources necessary. In this context, Turkey's advantageous geographical location for harnessing wind energy has led to significant initiatives in recent years, especially aimed at meeting energy needs through electricity generation from wind power.

In this study, Geographic Information Systems (GIS) technology was used to determine the most suitable locations for wind energy plants within the borders of Gümüşhane province through spatial analyses. The advantage of using GIS in site selection lies in its scientific accuracy. Within this framework, the site selection criteria's for the establishment of a wind energy plant were first identified. These criteria's were determined as wind speed, land use, elevation, distance to the transformer, slope, distance to the road, distance to the fault line, distance to the watercourse, and distance to residential areas. The weights of these criteria, based on their importance, were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Subsequently, bird migration paths, distance to airports, protected areas, forest lands, and military zones were considered constraints and excluded from the evaluation. The GIS analysis identified the most suitable locations, and the constrained areas were excluded from the resulting map. As a result of this study, suitable sites for wind energy plant installation's in Gümüşhane were identified, and base maps were produced to promote renewable energy sources.

Key Words: Energy, Wind energy, Wind Power Plant (WPP), site selection, Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Gümüşhane

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Çalışmada izlenen yöntemler ve işlem adımları 6
Şekil 2.	Enerji kaynakları çeşitleri 8
Şekil 3.	2021 Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında dağılımı 9
Şekil 4.	Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi 10
Şekil 5.	2022 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı 11
Şekil 6.	2022 yılı ithal edilen elektrik enerjisinin ülkelere göre dağılımı (GWh) 12
Şekil 7.	2022 yılı ihraç edilen elektrik enerjisinin ülkelere göre dağılımı (GWh) 12
Şekil 8.	2022 yılı için Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı 18
Şekil 9.	Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi 18
Şekil 10.	Güneş enerjisi potansiyel atlası 20
Şekil 11.	Ülkemizde yıllara göre güneş enerjisi kurulu güç değişimi 20
Şekil 12.	Manisa Alaşehir mak-14 kuyusu üretim görüntüleri 22
Şekil 13.	Ülkemizde bulunan jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası 23
Şekil 14.	Hidroelektrik enerji yıllara göre kurulu güç değişimi 24
Şekil 15.	Türkiye'de bulunan biyokütle üretim tesisleri 25
Şekil 16.	Azami dalga enerji seviyeleri 28
Şekil 17.	Dünya toplam rüzgar kurulum kapasitelerinin tarihsel gelişimi 31
Şekil 18.	Dünya teknik rüzgâr potansiyelinin kıtalara göre dağılımı 32
Şekil 19.	Türkiyede'ki rüzgar enerji santralleri için yıllık kurulum 33
Şekil 20.	Türkiyede'ki rüzgar enerji santrallerinin aylık elektrik üretimi 34
Şekil 21.	2022 Haziran sonu itibariyle rüzgâr enerjisi yıllara göre kurulu güç değişimi 34
Şekil 22.	2022 Haziran sonu itibariyle rüzgar enerjisinden elektrik üretimi toplam kurulu güç içerisindeki oranı 35
Şekil 23.	İşletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı 35
Şekil 24.	100 m * 100 m çözünürlükte yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı 36
Şekil 25.	Gümüşhane ili yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı 37
Şekil 26.	Rüzgar enerji santrali kurulumunda izlenilecek işlem adımları 38
Şekil 27.	AHY hiyerarşi modeli 42
Şekil 28.	Çalışma bölgesi olan Gümüşhane ilini gösteren harita 53

Şekil 29.	Gümüşhane il merkezinin 3 Boyutlu Google Earth Görüntüsü.....	53
Şekil 30.	Coğrafi veritabanı tasarım modeli	55
Şekil 31.	Gümüşhane ili sınıflandırılmış rüzgar hızı dağılım haritası	60
Şekil 32.	Gümüşhane ili sınıflandırılmış arazi kullanım dağılım haritası	62
Şekil 33.	Gümüşhane ili sınıflandırılmış yükseklik haritası	64
Şekil 34.	Enerji nakil hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita	66
Şekil 35.	Gümüşhane ili eğim haritası	68
Şekil 36.	Karayolu ağına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita.....	70
Şekil 37.	Fay hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita	72
Şekil 38.	Akarsuya uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita	74
Şekil 39.	Yerleşime uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita	75
Şekil 40.	Gümüşhane İlinde RES kurulması için en uygun alanlar haritası	79
Şekil 41.	RES uygunluğu için kısıtlı alan haritası	81
Şekil 42.	Gümüşhane ilinde RES kurulması için kısıtlı alanların çıkarıldığı uygun alanlar haritası.....	82

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Enerji Sektörü Hedefleri	14
Tablo 2. Dünya geneli ülkelerin enerji tüketim sıralaması	17
Tablo 3. Analitik hiyerarşi yöntemi puanlandırma ölçeği	43
Tablo 4. Tesadüfîlik göstergesi (RI)	44
Tablo 5. RES yer seçiminde CBS tabanlı çalışmalarda kullanılan faktörlere ait literatür çalışması matrisi.....	48
Tablo 6. Kullanılan parametrelere ait harita katmanları ve metaverileri	54
Tablo 7. Parametrelerin önem derecesini gösteren karşılaştırmalarda ağırlık verme puanları	56
Tablo 8. Rüzgar enerji santrali kurulumunda etkili olan faktörlerin ikili karşılaştırma matrisi.....	57
Tablo 9. Normalizasyon matrisi.....	58
Tablo 10. Öz vektör değerleri	58
Tablo 11. AHY değerlendirme ölçeği.....	60
Tablo 12. Rüzgâr hızı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar.....	61
Tablo 13. Arazi kullanım verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	63
Tablo 14. Yükseklik verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar.....	65
Tablo 15. Enerji nakil hattı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	67
Tablo 16. Eğim verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	68
Tablo 17. Karayolu ağı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	71
Tablo 18. Fay hattına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	72
Tablo 19. Akarsulara uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	74
Tablo 20. Yerleşim alanına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar	76
Tablo 21. Kriterlerin ağırlık değerleri.....	77
Tablo 22. Gümüşhane RES uygunluk analizi için alan hesabı, puanı ve yüzdeler.....	79
Tablo 23. Gümüşhane RES uygunluk analizi için alan hesabı, ağırlık ve puanlar	82

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
AHP	: Analytic Hierarchy Process
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
BOREN	: Ulusal Bor Araştırmaları Enstitüsü
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	: Tutarlılık Göstergesinin
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
CR	: Tutarlılık oranı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumun
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FSRU	: Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawattsaat
H ₂	: Hidrojen
HES	: Hidroelektrik Enerji Santralleri
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
ICHET	: Uluslararası Hidrojen Enerjileri Teknolojileri Merkezi
ICHET	: Uluslararası Hidrojen Enerjileri Teknolojileri Merkezi
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansına
K-ÇKKV	: Konumsal Çok Kriterli Karar Verme
km ²	: Kilometrekare
KW	: Kilowatt
KWh/m ₂	: 1 Metrekareye Düşen Kilowatsaat
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
m/s	: 1 Saniyede Ulaşılan Metre (Hız Birimi Metre/Saniye)
MTA	: Maden Teknik Arama
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

MW	: Megawat
NGS	: Nükleer Güç Santralleri
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RI	: Tesadüfilik Göstergesine
TEMSAN	: Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.
TOPSIS	: The Technique For Order Of Preference By Similarity To İdeal Solution
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TWh.	: Terawattsaat
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü
W	: Öncelik Vektörü
WLC	: Weighted Linear Combination
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımının Desteklenmesi Hakkında Kanun

1. GENEL BİLGİLER

İnsanlık var oluşundan itibaren sürekli olarak enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerji yaşamın temel kaynağı olmuş, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temelini oluşturmuştur. Teknolojinin gelişmesi, sanayileşmenin artmasıyla beraber enerji kullanımı yaşamımızın her alanında yaygınlaşmış ve enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmıştır. Son yıllarda ülkeler de bu yönde yatırımlarını arttırmıştır.

Gelişmiş ve mevcut gelişmekte olan ülkelerde enerji, nüfus artışı ve sanayileşme süreçlerinde etkin bir rol oynar. Enerji ülkelerin kalkınması bakımından temel bir gerekliliktir. Çünkü bir ülkenin yaşam standardını, endüstriyel üretimini ve teknolojik ilerlemesini etkilemektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir enerji politikaları ve kaynak yönetimi, enerji talebini karşılamak ve çevresel etkileri azaltmak için önemli bir rol oynamaktadır (Baños, 2011). Ayrıca ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça da enerjiye olan bağımlılık daha fazla olmaktadır.

Enerji bir ülke ekonomisini etkileyen en önemli faktörlerden biri olmuş ve ülkelerin büyümesi için olmazsa olmaz temel faktör konumuna gelmiştir. Ülkeler son yıllarda kendi enerjilerini üretmeye oldukça önem vermektedirler. Çünkü enerjide dışa bağımlılık ne kadar az olursa dünya üzerinde söz sahibi ülke konumunda olunması o kadar fazla olmaktadır. Ayrıca ülkelerin ekonomik anlamda para akışı en fazla enerji sektörüne olmakta bu durum özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji ithali fazla olması nedeniyle cari açığın artışına sebebiyet vermektedir. Enerji politikalarında ülkelerin temel hedefi, kullanılacak olan elektrik enerjisini tüketicilere uygun maliyetle, kaliteli, kesintisiz ve yeterli bir şekilde sunulmasını sağlamaktır. Bu durum sadece ekonomik büyümeyi desteklemekle kalmaz, aynı zamanda yaşam standartlarını yükseltme ve sanayileşmeyi sürdürülebilir bir şekilde güçlendirme amaçlarını da içermektedir.

İnsanlar enerjiye olan ihtiyacı karşılamak için fosil yakıtlı kaynaklara yönelmiş ancak bu kaynakların kullanımı çeşitli problemlere yol açmıştır. Özellikle son yıllarda ortaya çıkan sera gazı etkisiyle küresel ısınma başlamış ve bu kaynakların kullanımıyla beraber çevre kirliliği problemleri daha da artmıştır. Ayrıca fosil kaynakların sınırlı miktarda olması bir gün tükenebileceğinin ön görülmesi sebebiyle alternatif enerji kaynağı arayışına girilmiştir.

Fosil yakıtların kullanımına alternatif olarak doğada kendiliğinden bulunan ve çevre kirliliğine olan etkisi yok denecek kadar az olan yenilenebilir enerji kaynakları tercih

edilmektedir. Bu kaynakların kullanımı hem doğanın korunmasına ve çevre kirliliğinin önüne geçilmesine hem de yenilenebilir özelliği olması nedeniyle sonsuz kaynaklar olarak bir gün tükenmeyeceği güvenini oluşturmaktadır. Ayrıca ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerin enerjide olan dışa bağımlılığını azaltmada alternatif oluşturmaktadır.

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılması her geçen gün daha da artmaktadır. Bu durumu ülkelerin gün geçtikçe bu konuda daha fazla bilinçlenmesi, teknolojinin gelişmesiyle beraber imkanların artması ve ülkelerin bulunduğu coğrafi konumların bu kaynaklardan yararlanmaya imkan sağlaması gibi nedenler oluşturmaktadır.

Sürdürülebilir (yenilenebilir) enerji kaynakları içerisinde en yaygın olarak tercih edilen enerji kaynağı rüzgâr enerjisidir. Ülkemizde rüzgâr enerji kaynağı açısından zengin bir ülkedir. Son dönemlerde ülkemizde bu alanda yatırımlara önem verilmiş, rüzgâr enerji kullanımı artırılmış ancak bu enerji kaynağının üretimi açısından istenilen seviyeye gelinebilmiştir.

Rüzgar enerji santrallerinin (RES) kurulumları ile birlikte çevre kirliliğine olan zarar en aza inmekte ve sera gazı etkisi azaltılmaktadır. Çevre dostu olmasının yanında ticari olarak uygun olması, sürdürülebilir olması ve kurulumunun kolay olması bu enerji santrallerinin tercih edilme nedenleri başında gelmektedir. Bu santrallerin kurulumu öncesinde en yüksek faydayı elde edebilmek için potansiyel yer analizini yapmak da önem arz etmektedir. Bu analiz doğrultusunda ilk olarak, rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu alanların belirlenmesi ve sonrasında verimi etkileyecek olan diğer kriterlerin ele alınması gerekmektedir (Can ve Yücel, 2019).

Rüzgâr enerji santralleri yer seçimi analizlerinde rüzgâr hızının yüksek olması yanı sıra kurulumu etki eden farklı birçok konumsal etkenin birlikte analiz edilmesi gerekmektedir. Son dönemde hızla yayılan ve gelişimi artan, farklı bilim dallarının ve meslek gruplarının bir arada kullandığı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), rüzgâr enerjisi kurulum tesisi alanında da tercih edilmektedir (Heimiller & Haymes, 2001). Ayrıca CBS yalnızca RES projeleri için değil, diğer yenilenebilir enerji çalışmalarında da kullanılmaktadır (Uyan, 2013; Sadeghi & Karimi, 2017).

Farklı konumsal kriterlerin öncelik sırasına göre değerlendirilerek en uygun alanın seçilmesi, çevresel etkiler ve ekonomik kazançlar açısından maksimum verimliliğin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi santrali (RES) projelerinin yüksek maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, bu santrallerin inşasından önce kapsamlı fizibilite çalışmalarının gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Said ve

ark., 2019; Bennui ve ark., 2007). Rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerin belirlenmesi için kullanılan karar kriterlerinin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tür karmaşık problemlerin çözümünde, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri en etkili yöntem olarak öne çıkmaktadır (Sadeghi ve ark., 2017).

Klasik ÇKKV yöntemlerinin coğrafi konum bileşeni ile birlikte kullanımıyla beraber farklılaşma gerçekleşmektedir. Konumsal ÇKKV’de klasik ÇKKV’den farklı olarak seçeneklerden her birinin hem coğrafi konumu hem de her bir faktör (kriter) için değeri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, konumsal karar problemlerinde CBS ile ÇKKV teknikleri birlikte kullanılmaktadır (Öztürk & Kılıç, 2010; Çolak vd., 2020). Yer seçim çalışmalarında uygun olmayan kriterlerin elenip, uygun sahaların belirlenmesi sürecinde CBS’nin konumsal analiz yeteneklerinden yararlanılmaktadır. CBS seçilen kriterlere göre yapılan konumsal analiz çalışmalarının sonuçlarının görselleştirilmesi ve karar vericiye sunulmasında önemli rol oynamaktadır. CBS’nin karar vermede destekleyici olarak başarılı olabilmesi, konumsal analizlerin ÇKKV teknikleriyle bir araya gelmesi sonucunda mümkün olmaktadır. Literatürde, CBS ve ÇKKV tekniklerinin entegre kullanıldığı pek çok verimli çalışma bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında CBS tabanlı ÇKKV yöntemi kullanılarak RES’ler için en uygun yer analizi çalışması hedeflenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için Gümüşhane ili seçilerek gerekli literatür çalışmaları yapılmıştır. Gümüşhane ilinde RES kurulumu için literatür araştırması sonucunda gerekli görülen 5 ana başlık altında 9 ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin önem sıralamasını belirlemek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılmıştır. Kriterlerin önem sıralaması ve ağırlıkları belirlenirken literatürde yapılan benzer çalışmalardan yararlanılmıştır. Belirlenen kriterlerin konumsal analizleri Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları ve AHY ile belirlenen önem sıralaması birleştirilerek Gümüşhane ilinde kurulabilecek RES için potansiyel uygun sahaların belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Problemin Tanımı

Enerji günümüzde oldukça revaçta olan bir konudur. Ülkeler artık enerji üretimi konusunda ciddi çalışmalar yapmakta bu alanda yatırımlar gerçekleştirmektedir. Ülkemizde enerji konusunda dışa bağımlı olan bir ülkedir. Enerji ihtiyacını karşılamak için fosil

kaynaklara yönelmekte bunların ithalatına ciddi paralar harcamaktadır. Ülkemizin birincil enerji kaynakların hammaddesi bakımından fakir olması ayrıca bu kaynakların hava kirliliğine, sera gazı artırımına neden olması ve ekosisteme verdiği tahribatların fazla olması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar başlamıştır. Son yıllarda dünyada gelişmiş ülkelerin rüzgâr enerji kaynaklarına yönelik yatırımları artmış buna paralel olarak tükenbilir kaynaklara alternatif oluşturması sebebiyle ülkemizde de bu alanda çalışmalar artarak devam etmiştir.

Türkiye dünyanın orta kuşağında bulunan bir ülkedir. Ülkemiz bulunduğu konum itibariyle Batı rüzgarları etkisinde kalmakta, dolayısıyla da rüzgâr enerjisi üretimi açısından jeopolitik olarak uygun bir konumda bulunmaktadır. Son yıllarda bu alandaki bilimsel ve uygulamalı çalışmalar giderek artmaktadır, ancak buna karşın konuya ilişkin bazı problemler de gelişmektedir. Örneğin yüksek maliyetle kurumları gerçekleştiren rüzgâr enerji santralleri sermaye açısından problem oluşturmakta aynı zamanda ülkemizde dağlık ve engebeli alanların yaygın olması nedeniyle bu santrallerin kurulumunda düz alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle bu durum problem oluşturmaktadır. Ayrıca bu santrallerin kurulumunda minimum gider maksimum verim alınması hedeflenmektedir.

RES alanlarının kurulumunda ele alınan rüzgâr alanlarının fazla olması yanında eğim, yükseklik, arazi kullanımı, enerji iletim hattına uzaklık, ulaşım ağı, sulak alanlara ihtiyacın olması gibi farklı kriterlerde bulunmakla birlikte, en uygun yer tespiti yaparken bu durum bütüncül olarak ele alınması gerekmektedir. Bu bağlamda RES alanları için bilimsel altlığa dayalı olarak en uygun yer seçimi yapılması ihtiyacı öne çıkmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Günümüzde enerji talebi sürekli artmakta ve birçok ülke bu talebi karşılamakta zorlanmaktadır. Fosil yakıtların enerji ihtiyacını karşılaması, hava kirliliğine neden olmakta, küresel ısınmayı tetiklemekte ve bu kaynakların sınırlı olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, alternatif enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir enerji çözümleri arayışında artan bir şekilde benimsenmektedir.

Sürdürülebilir enerji kaynakları arasında çevreye verdiği zararı minimum olan enerji kaynağı rüzgâr enerjisi üretimidir. Rüzgâr enerjisinin karbon emisyonu üretmemesi, hem çevre kirliliğine hem de küresel ısınmaya katkıda bulunmamasını sağlamaktadır. Ayrıca,

rüzgâr enerjisi, doğal olarak mevcut olan bir kaynaktan elde edildiği için sürekli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Şimşek, 2020). Bu avantajları nedeniyle, dünya genelinde rüzgâr enerjisinin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

Bu doğrultuda yapılan tez çalışması ile;

- Rüzgâr enerjisi, sürdürülebilir, temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu kaynaktan en yüksek verimle yararlanabilmek amacıyla, rüzgâr enerji santrali kurulumu için gerekli kriterler ve işlem adımları araştırılmıştır.
- Araştırmanın amacına uygun olarak ve benzer çalışmalarda sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi modeli seçilmiştir. Bu model, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarına entegre edilerek, Gümüşhane ilindeki rüzgâr enerjisi üretim potansiyeli yüksek alanların ve bu potansiyelin mekânsal dağılımının belirlenmesi hedeflenmiştir.

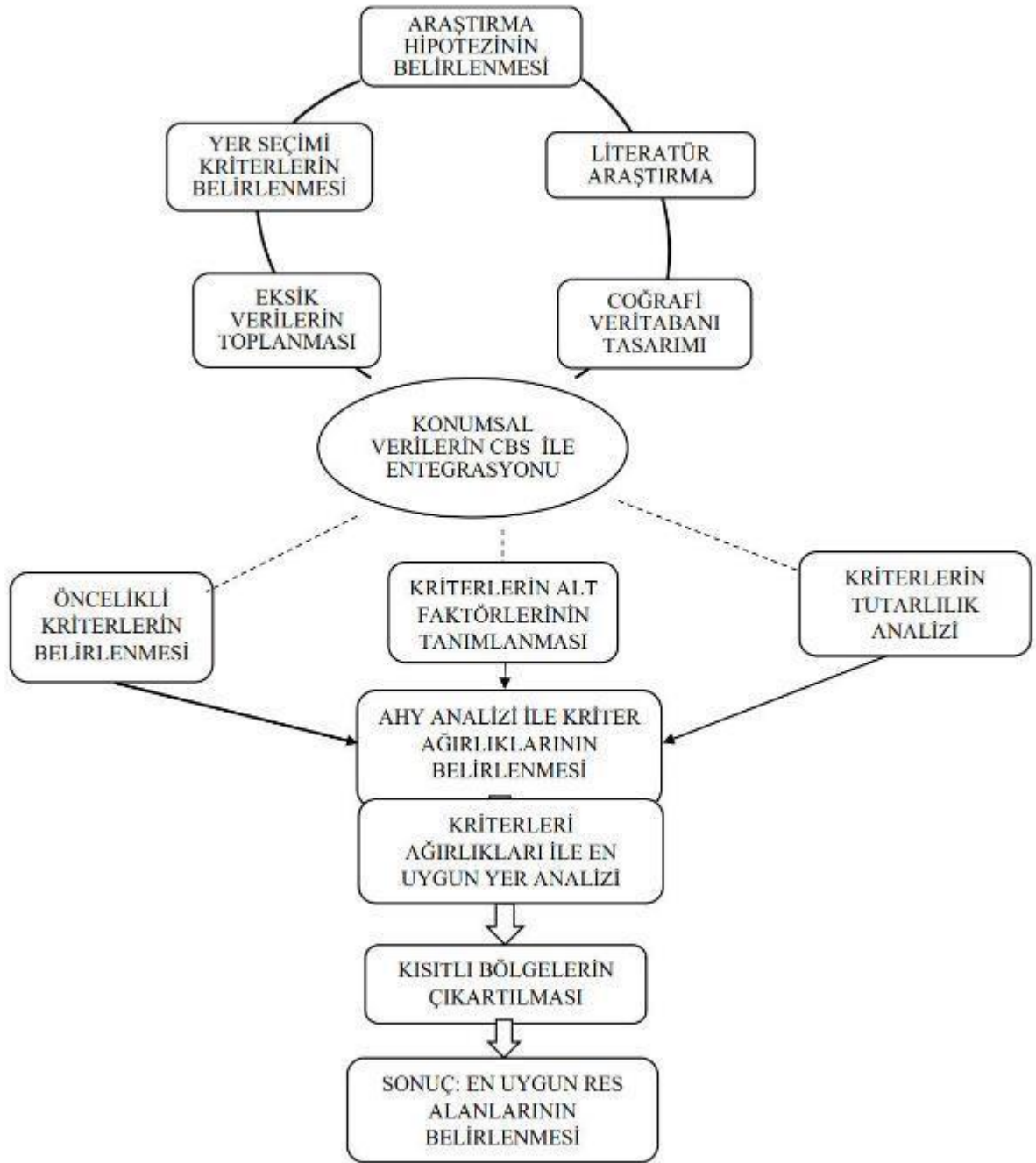
1.3. Metodoloji

Bu çalışma kapsamında, rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için önemli olan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterlere ait verilerin toplanarak bir coğrafi veri tabanında işlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılarak en uygun alanların belirlenmesi amacıyla analizlerin yapılması yer almaktadır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde genel olarak izlenen işlem adımları şu şekildedir;

- Konuyla alakalı literatür taraması,
- Rüzgâr enerjisi ve santralleri hakkında bilgi temini,
- Rüzgâr enerji santralleri yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi
- CBS teknoloji ve yöntemlerinin araştırılması,
- CBS’de kullanılacak verilerin ve yöntemlerinin belirlenmesi,
- Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin il sınırının temin edilmesi,
- İl sınırı içerisinde bulunan yükseklik, eğim, yol vb. ilgili konumsal verilerin temin edilmesi,
- Elde edilen konumsal verilerin ArcGIS yazılımında bir CBS ortamına aktarılması,
- Rüzgâr enerjisi santrali kurulumunu etkileyen kriterlerin puanlarının tespit edilmesi,

- Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılması
- Bu kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak ArcGIS yazılımı ile konumsal analizlerin yapılması.
- Rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için en uygun alanların belirlenmesi ve sonuçların haritalandırılması.



Şekil 1. Çalışmada izlenen yöntemler ve işlem adımları

Bu çalışmada rüzgâr enerji sistemlerinin verimli bir şekilde kullanılmasının önemi hakkında genel bir çerçeve izlenecektir. Bu çerçeve doğrultusunda enerjinin tanımı ve önemine değinilecek, Türkiye’de elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları ele alınacak Gümüşhane ilinde rüzgâr enerjisi hakkında bilgi verilecek ve rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için en uygun yerlerin belirlenmesinde CBS teknolojisi ile ilgili yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir.

1.4. Enerjinin Tanımı ve Önemi

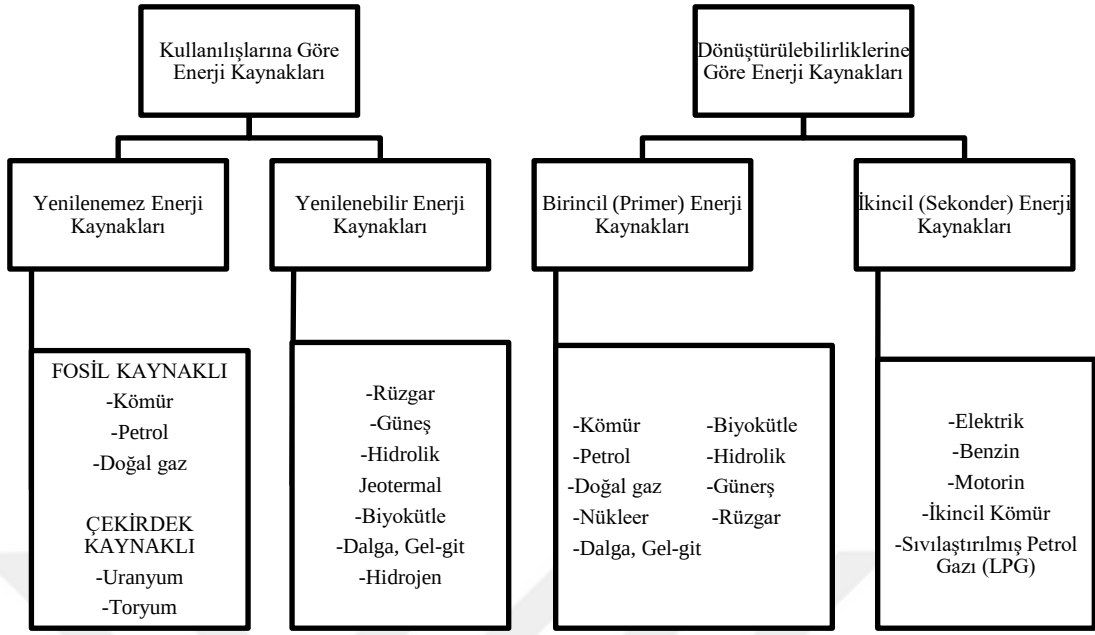
Enerji, hem üretim süreçlerinde bir girdi hem de tüketim aşamalarında bir maddedir. Üretim süreçleri genellikle büyük miktarda enerji gerektiren işlerdir. Tüketim açısından bakıldığında, enerji evlerde, ofislerde, ulaşımda ve diğer birçok alanda kullanılır. Aydınlatma, ısıtma, soğutma, elektronik cihazlar gibi günlük ihtiyaçlar enerji tüketimine katkıda bulunur (Yalçın, 2007).

Enerji, günlük hayatta çeşitli biçimlerde bulunabilir. Örneğin, elektrik, nükleer, ısı ve kimyasal enerji bu çeşitliliğe örnek teşkil eder. Termodinamik yasasına göre, kapalı bir sistemdeki toplam enerji miktarı her zaman sabittir. Enerji ne yok olabilir ne de yoktan ortaya çıkabilir, ancak farklı türler arasında dönüştürülebilir. Enerjinin sürekli bir döngü içerisinde olduğu söylenilebilmektedir (Akdağ vd., 2009).

Sanayileşmenin hızlanması, teknolojik gelişmeler, üretim ve tüketim süreçlerindeki artışlar ve nüfus yoğunluğundaki artış gibi faktörler, enerji talebinde sürekli bir artışa neden olmaktadır. 2040 yılı itibarıyla, 2010-2040 döneminde küresel enerji tüketiminde yaklaşık %56’lık bir artışın gerçekleşmesi öngörülmektedir (Komal & Abbas, 2015).

Tüketilecek olan enerjinin çeşitli kaynaklar kullanılarak üretilmesi gerekmektedir (Pamir, 2005). Enerji kaynakları enerjiyi alabildiğimiz ve kullanabildiğimiz yerlerdir. Enerji ve enerji kaynakları günlük yaşamımızdan, sanayiye, ulaşımdan barınmaya ve teknolojiye kadar her alanda merkezi bir öneme sahiptir. Enerji tüketimi ve enerji kaynaklarına olan ihtiyaç, nüfus artışı, ekonomik büyüme ve teknolojik ilerleme ile birlikte sürekli artmaktadır (Kırıcı, 2023).

Enerji kaynakları çeşitli şekillerde elde edilmektedir. Enerji kaynakları kullanılışlarına göre ve dönüştürülebilirliklerine göre temelde 2 ana başlıkta incelenir. Şekil 2’de enerji çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Enerji kaynakları çeşitleri (Koç & Şenel, 2013)

Enerji kaynakları kullanımlarına göre incelendiğinde tükenebilir olması veya yenilenebilir olmasına göre sınıflandırılmaktadır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre, doğal döngü içerisinde devamlı olarak mevcut bulunan, kullanılmasıyla beraber bitmeyen ve kendini yenileyebilen kaynaklara "yenilenebilir enerji kaynakları" denilmektedir. Buna karşın, kullanımıyla birlikte kendini yenileyemeyen enerji kaynaklarına da "yenilenemez enerji kaynakları" denilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları kendi içinde iki ana kategoriye ayrılmaktadır Bunlar fosil kaynaklı ve nükleer kaynaklı enerji kaynaklarıdır (Koç & Şenel, 2013).

Enerjinin dönüştürülebilirlik durumuna dayanan sınıflama sisteminde, enerji genellikle birincil ve ikincil formlar olarak ayrılır. Birincil (primer) enerji, herhangi bir değişim veya dönüşüm sürecine tabi tutulmadan elde edilen enerji türünü ifade eder. Öte yandan, birincil enerjinin işlenmesi veya dönüştürülmesi yoluyla elde edilen enerji türü ikincil (sekonder) enerji olarak adlandırılır (Koç & Şenel, 2013).

Dünya genelinde ve ülkemizde enerji üretiminin büyük bir kısmı petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır (Özalp, 2018). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu yakıtlar daha ucuz bir şekilde elde edilmekte ve kolay ulaşılabilir olmaktadır. Ancak fosil kaynakların kullanımı geçmişte yaşanan enerji krizleri nedeniyle güvensiz bir zeminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca fosil kaynakların bir gün tükenecek olduğunun anlaşılması, dönem dönem yaşanan fahiş fiyat artışları, son yıllarda önemli bir sorun teşkil

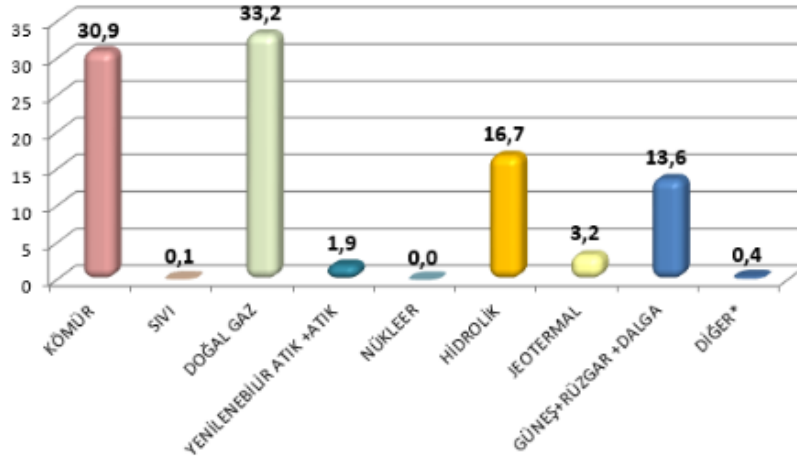
etmeye başlayan hava kirliliğine neden olması ve ülkeleri dışa bağımlı hale getirmesi nedeniyle enerji güvenliği ihtiyacını ön plana çıkarmış ve enerji açığının kapatılabilmesi amacıyla birçok ülkeyi alternatif enerji kaynakları arayışına ve bu yönde yatırımlar yapmaya yönlendirmiştir.

1.4.1. Elektrik Enerjisi

İnsanlar enerjiye olan ihtiyacını karşılamak içinde geçmişten günümüze farklı yöntemler kullanmıştır. Enerji günlük hayatta çeşitli biçimlerde bulunmakta bunların içerisinde en önemlilerinden bir tanesini de elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi, sanayide, ulaşımda, ısınma ve barınmada her alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle ülkeler elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla kısa ve uzun vadeli planlar yapmak durumundadır.

1.4.2. Türkiye’de Elektrik Enerjisi

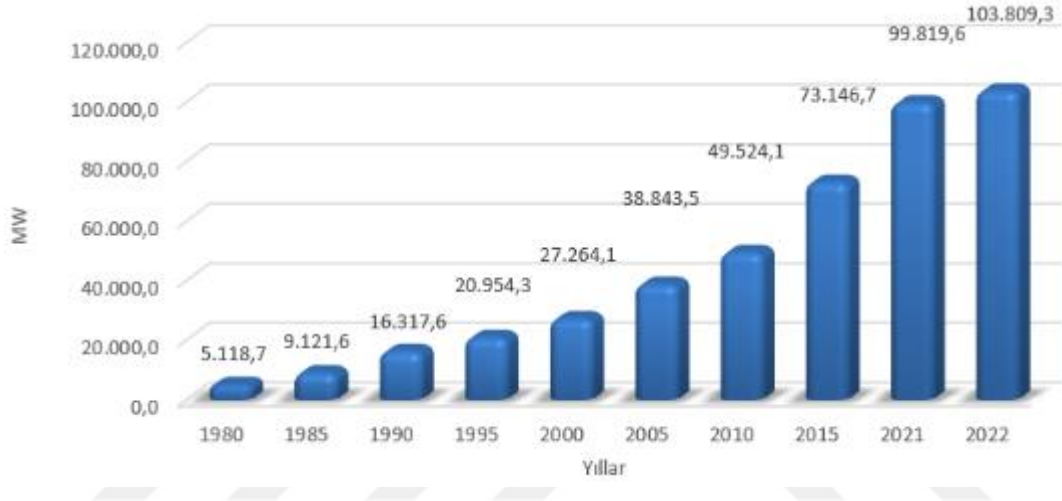
Türkiye günümüzde fosil yakıtlara oldukça bağımlı bir ülke konumundadır. Fosil yakıtlardan enerji üretimi yıllara göre değişkenlik göstermekle birlikte genelde ilk sırayı doğalgaz almaktadır (Yılmaz, 2012). Son yıllarda bazen ilk sırada kömür yer alsa da genelde ilk sırayı doğal gaz korumaktadır. Bu durum dışa bağımlı ülke olmamıza neden olmakta ve Dünya üzerinde söz sahipliğimizi kısıtlamaktadır. Ancak son yıllarda ülkemizin Karadeniz Bölgesinde doğal gaz ve Gabar Dağında petrol gibi madenlerin bulunması gelecekte dışa bağımlılığın azalması konusunda umut ışığı olmaktadır.



Şekil 3. 2021 Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında dağılımı (TEİAŞ, 2024)

Nüfus artışı, sanayinin ve teknolojinin gelişmesiyle beraber enerji talebinin artışı, ekonomik büyümenin katkısı ve enerji sektöründeki yatırımların gelişmesiyle beraber üretilen elektrik enerjisi kurulu gücü yıldan yıla artış göstermektedir. Türkiye Ulusal Enerji Planı verilerine göre, elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh ve 2035 yılında 510,5 TWh seviyelerine ulaşması beklenmektedir.

<Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü 2022 yılı sonunda bir önceki yıla göre % 4,0 artışla 103.809,3 MW olarak gerçekleşmiştir.

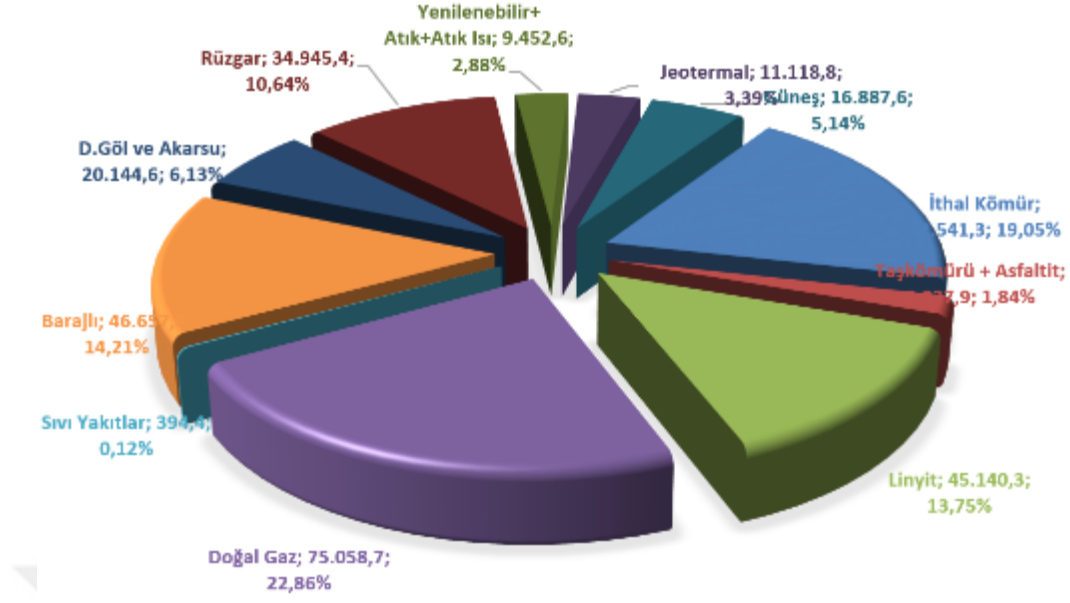


Şekil 4. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi (TEİAŞ, 2023)

Ayrıca ETKB verilerine göre 2023 yılı Kasım sonu itibarıyla Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü 106.152 MW'a ulaşmıştır (ETKB, 2023)

Ülkemizde enerji üretimi çoğunlukla fosil yakıtlı kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak bu kaynakların kullanımı sonucunda oluşan hava kirliliği, küresel ısınmanın etkisi vb. sorunlara yol açması ile iklim konusunda oluşan farkındalıkla birlikte enerji politikaları artık yerli enerji kaynaklarının kullanımını artırma ve enerji kullanımı veriminden en yüksek seviyede faydalanabilme oluşumuna doğru yönelmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 yılı verilerine göre ülkemizde elektrik üretimimizin, % 34,6'sı kömürden, %22,9'u doğal gazdan, %20,3'ü hidrolik enerjiden, %10,6'sı rüzgârdan, %5,1'i güneşten, %3,4'ü jeotermal enerjiden ve %3'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2023).

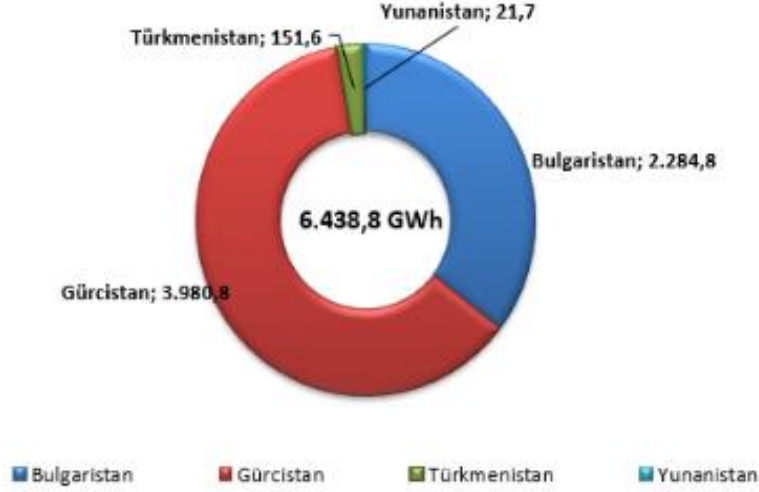


Şekil 5. 2022 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (ETKB, 2023)

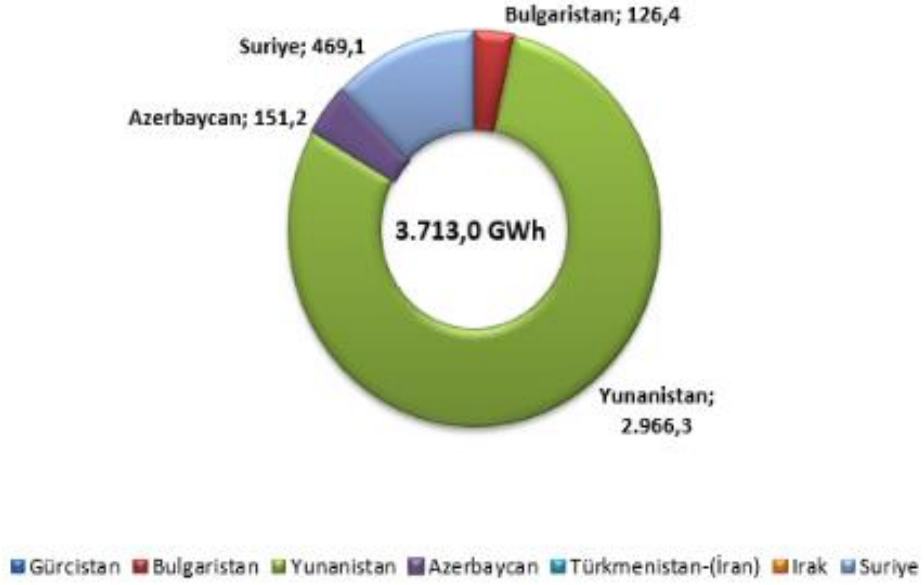
2023 yılı Kasım ayı itibarıyla, ülkemizdeki elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, lisanssız santraller de dâhil olmak üzere 13.035'e ulaşmıştır. Bu santrallerden 755'i hidroelektrik, 68'i kömür, 363'ü rüzgâr, 63'ü jeotermal, 344'ü doğal gaz, 10.950'si güneş ve 492'si diğer enerji kaynakları ile çalışmaktadır (ETKB, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na göre, Türkiye'nin mevcut elektrik sistemindeki esneklik olanakları ve yenilenebilir enerji potansiyeli göz önünde bulundurularak, rüzgâr ve güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki paylarının artırılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda 2035 yılında kurulu güç; rüzgar enerjisinde 29,6 GW (24,6 GW kara, 5 GW deniz), güneş enerjisinde 52,9 GW düzeyine yükselmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları için kurulu güç hidroelektrik santrallerde 35,1 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde toplam 5,1 GW seviyesine yükselmektedir (ETKB, 2024).

Türkiye elektrik enerjisinde hem ithalat hem ihracat yapan ülke konumundadır. Enerji üretimi yapan bir ülke olmasına rağmen üretim tüketimi karşılayamadığı için bu ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmek zorunda kalmaktadır. Bu durum da cari açığa sebep olmaktadır. Şekil 6 ve Şekil 7'de 2022 yılına ait en çok elektrik ithalatı ve ihracatı yapılan ülkeler verilmiştir.



Şekil 6. 2022 yılı ithal edilen elektrik enerjisinin ülkelere göre dağılımı (GWh) (TEİAŞ, 2024)



Şekil 7. 2022 yılı ihraç edilen elektrik enerjisinin ülkelere göre dağılımı (GWh) (TEİAŞ, 2024)

1.4.3. Türkiye 12. Kalkınma Planında Sürdürülebilir Enerji Politikası

Enerji kullanımında enerji üretimi kadar enerji verimliliği de son derece önemli bir konudur. Türkiye enerji verimliliği konusunda bazı farklı adımlar atmaktadır. Bu bağlamda ülkemiz, enerji verimliliğini artırmak için çeşitli projeler ve politikalar geliştirmektedir. Ancak, enerji dışı bağımlılığı göz önüne alındığında, daha fazla çaba sarf edilmesi ve sürdürülebilir enerji politikalarının desteklenmesi önemlidir.

Ülkemiz, 2018-2023 döneminde 11. Kalkınma Planı kapsamında enerji alanında çeşitli hedefler belirlemiş ve bunların bir kısmını gerçekleştirmek için önemli adımlar atmıştır. Bu hedefler arasında, Nükleer Güç Santralleri (NGS) elektrik enerjisi üretim tesislerine dâhil edilmesi, linyit rezervlerinin çevre standartlarına uygun şekilde kullanılmasının artırılması, doğal gaz erişiminin genişletilmesi ve kaynak ülke ile güzergâh çeşitliliğinin artırılması amacıyla yüzer sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) depolama ve gazlaştırma ünitesi (FSRU) gemilerinin temin edilmesi gibi fosil kaynaklı enerji üretim hedeflerinin gerçekleştirilmesi yer almaktadır. Ayrıca, daha verimli ve kendi enerjisini üreten binaların yaygınlaştırılması ve Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi'nin kurulması hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, kendi elektrik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla lisanssız güneş enerjisi santralleri ve rüzgâr enerjisi santralleri uygulamalarının yaygınlaştırılması sağlanmıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2022 yılı verilerine göre, ülkemizin 2023 yılı için tahmin edilen verileri ve 2028 yılına ait On İkinci Kalkınma Planı hedefleri Tablo 1'de yer almaktadır. Ayrıca, 2024-2028 dönemi için hazırlanan 12. Kalkınma Planı'nda enerji alanındaki hedefler aşağıda belirtilen maddeleri içermektedir.

- Enerjinin sürekli, kaliteli, sürdürülebilir, güvenli ve uygun maliyetlerle arzını sağlamak, enerji temininde kaynak çeşitlendirmesini teşvik etmek ve 2053 yılı net sıfır emisyon hedefini gerçekleştirmek amacıyla yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin değerlendirilmesi, nükleer teknolojinin elektrik üretiminde kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması, enerji teknolojilerinde yerleşmenin ön planda tutulması, yeni teknolojilerin entegrasyonu ve uluslararası enerji ticaretinde stratejik konumun güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, enerjide kendine yeterliliği en üst seviyeye çıkaran ve rekabetçi bir yapıya ulaşan bir sistemin oluşturulması temel amaç olarak belirlenmiştir.
- Enerji sektöründe rekabetçi bir yatırım ortamının geliştirilmesi sağlanacak ve mali açıdan güçlü, istikrarlı, şeffaf, öngörülebilir, tüketici haklarını koruyan ve sürdürülebilirliği göz önünde bulunduran bir enerji piyasasının sürekliliği sağlanacaktır.
- Enerjinin verimli olarak kullanımına ilişkin çalışmalar her alanda devam edecektir.
- Elektrik üretim portföyüne nükleer enerji dâhil edilecek ve nükleer teknolojilerin kurulumu ile yerleştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilecektir.
- 2053 yılı net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, artan elektrifikasyonun daha temiz kaynaklarla karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından

yapılan elektrik üretiminin artırılması ve bu enerjinin şebekeye entegrasyonunun sağlanması planlanacaktır.

- Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen üretimin elektrik şebekesi üzerinde yarattığı olumsuz etkilerin azaltılması amacıyla, şebekelerin esnekliğinin artırılması sağlanacaktır.
- Ülkemizin enerji teknolojileri konusundaki yetkinlikleri ve rekabetçilik düzeyi artırılacak ve ihracat potansiyeli güçlendirilecektir.
- Enerji teknolojilerinde kullanılan hammaddelerin arz güvenliğinin sağlanması ve bu hammaddelerin çevresel etkilerinin minimum seviyeye indirilmesi hedefiyle çeşitli araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerçekleştirilecektir.

Tablo 1. Enerji Sektörü Hedefleri (URL-1, 2024)

	2022	2023	2028
Birincil Enerji Talebi (BTEP)	159.500 ¹	165.350	190.000
Kişi Başı Birincil Enerji Tüketimi (TEP/Kişi)	1,87 ¹	1,90	2,0
Elektrik Enerjisi Talebi (TWh)	331	325	430
Kişi Başı Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh/Kişi)	3.883	3.780	4.700
Elektrik Kurulu Gücü (MW)	103.809	106.800	136.000
Rüzgâr Kurulu Gücü (MW)	11.396	11.700	18.000
Güneş Kurulu Gücü (MW)	9.425	11.350	30.000
Yerli Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı (TWh)	190,4	176,0	270,0
Yenilenebilir Kaynakların Elektrik Üretimindeki Payı (%)	42,4	40	50
Doğal Gazın Elektrik Üretimindeki Payı (%)	22,9	23	15
Yer Altı Doğal Gaz Depolama Kapasitesi (Milyar m ³)	5,8	5,8	13
Enerji Verimliliğinden Sağlanan Tasarruf Miktarı ² (BTEP)	-	-	4.500
Batarya Depolama Kapasitesi (MW)	0	0	5.000

Kaynak: 2022 yılı verileri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile TEİAŞ'a aittir. 2023 yılı verileri gerçekleşme tahmini olup 2028 yılı verileri On İnci Kalkınma Planı hedefleridir.

Not: TEP: Ton Eşdeğer Petrol, BTEP: Bin TEP, kWh: Kilowatt-saat, TWh: Milyar Kilowatt-saat, MW: Megawatt.

(1) 2022 yılsonu tahminidir.

(2) Plan dönemi boyunca sağlanacak toplam tasarruf miktarını ifade etmektedir.

Türkiye'de enerji üretimi ile ilgili yatırımlar, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında özel sektör tarafından gerçekleştirilmekte ve işletilmektedir. Bu projelere yönelik olarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından günümüzde herhangi bir destek sağlanmamaktadır (ETKB, 2024). Ancak, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu tarafından bu projeler için çeşitli destekleme programları yürütülmektedir.

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, enerji verimliliği kapsamında gerçekleştirilen yatırımlar için 19.06.2012 tarihli ve 2012/3305 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan

yönetmelik uyarınca yatırım teşvik belgesi ile çeşitli devlet yardımları sunmaktadır. Bu teşvik ve destekler aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Yurt dışından temin edilen yatırım malı makine ve teçhizat için gümrük vergisi muafiyeti sağlanması
- ✓ Gelir ya da kurumlar vergisinin, yatırım için belirlenen katkı tutarına ulaşana kadar indirimli oranlarla uygulanması
- ✓ Bölgesel ve öncelikli yatırımlar için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (Milli Emlak Genel Müdürlüğü) tarafından belirlenen usul ve esaslara göre yatırım yeri tahsis edilmesi (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2024).

Ayrıca ülkemizde, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Tarım İl Müdürlükleri aracılığıyla yenilenebilir enerjiye yönelik çeşitli hibe programları sunulmaktadır. 29 Aralık 2023 tarihinde yayımlanan 2023/51 numaralı tebliğ ile Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı duyurulmuştur. Bu program kapsamında mevcut tarımsal işletmelere, harcadıkları enerjinin en az %51'ini ve en fazla %110'unu üretebilecekleri tesislerin kurulması için %50 oranında hibe desteği sağlanacağı belirtilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre yenilenebilir enerji sürekli olarak yeniden doğmakta ve doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerjinin birçok çeşidi bulunabilmekte ve farklı kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu kaynaklar, çevresel etkileri daha düşük olan ve sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlayan önemli bir enerji kaynağıdır.

1900'lü yıllardan sonra yenilenebilir enerji kavramı, giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Harjanne, 2019). Petrolün 2050'de tükenme noktasına geleceği, doğal gazın 2070'de ve kömürün ise 2150 yılına kadar tükeneyeceği düşünülmektedir (Tümerdem, 2002). Bu kaynaklar bir gün tükenme ihtimali bulunan fosil yakıtların aksine güneş, rüzgâr, jeotermal vb. belirli enerji kaynakları için kullanılabilen kavramdır. Bu kaynakların tükenmeyecek olmasının nedeni doğanın temel düzeninden kaynaklanmaktadır.

Kısa zamanda fosil yakıtların canlılara, dünyamıza verdiği zararlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu kaynakların kullanılması karbondioksit, metan gazı gibi önemli sera gazlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bugün bu kaynakların kullanılmaya devam

etmesiyle insanlık için yarattığı tehlike artarak devam etmektedir (Yalçın, 2007). Bu kaynaklardan uzaklaşma, sürdürülebilir bir enerji geleceğine yönelik önemli bir adımdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi yadsınamayacak kadar fazladır. Son yıllarda önemli bir tehdit oluşturan küresel ısınmanın önüne geçmek adına sivil toplum örgütleri, siyasetçiler ve ilgili kuruluşlar küresel ısınmayı 2°C'nin altından, 1,5°C civarında sınırlandırarak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmekte, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşabilmek için çeşitli politika ve stratejiler belirlemektedir (Adebayo, 2022). Küresel ısınmanın günümüzdeki gibi devam etmesi durumunda uzmanlar 2040 yılına kadar deniz seviyesinin bir metreye kadar yükseleceğini ve dünya üzerindeki birçok önemli kentin sular altında kalacağını ifade etmişlerdir (Keleş & Bilgen, 2012).

Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde hemen hemen bütün ülkelerin yatırım yapmaya uğraştığı bir sektördür. Bu enerji kaynağına sahip olabilmenin bir diğer yöntemi de ülkelerin coğrafi konumundan kaynaklanmaktadır (Ayan, 2013). Bu kaynaklar için verimlilik bazı durumlarda koşullara göre değişiklik gösterebilmektedir. Mesela güneşlenme süresi yüksek olan yerlerde bu kaynaklar, güneş için verimliyken kırık fay hattı bulunan yerlerde ise jeotermal enerji verimlilik gösterebilmektedir. Burada önemli olan faktör hangi kaynağın en verimli şekilde nerede kullanılması gerekliliğidir.

Bugün ülkelerin yenilenebilir enerji kullanımı halen istenilen düzeyde değildir. Ülkelerin enerji üretim alışkanlıklarını bir anda değiştirememesi, yenilenebilir enerji üretim kaynaklarının ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek oluşu, bazı durumlarda bu kaynakların güven vermemesi, enerji depolama sorunu bulunması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Bununla birlikte, birçok ülke dünya genelinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelme eğilimindedir. Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidro, biyokütle ve okyanus termal enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, neredeyse tükenmez ve çevre kirliliğine yol açmayan özellikleri nedeniyle uluslararası düzeyde ilgi görmektedir. Bu kaynaklar arasında elektrik üretimi için en yaygın olarak tercih edilenlerden biri rüzgâr enerjisidir (Albuhairi, 2006).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal yaşamı kirliletmeyen, kalıcı, temiz kaynaklar olması nedenleriyle ülkelere de önemli fırsatlar sunmaktadır. Ülkelerde bu durumda farklı teşviklerle bu kaynakların kullanımının yaygınlaşmasını sağlaması gerekmektedir (Akkaya, 2019). Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde ülkelerin gelişmişlik düzeyini arttırması adına ayrıca enerjinin sürdürülebilir kullanımı ve karbon salımının azaltılması adına bu enerji kaynaklarının son damlasına kadar değerlendirilmesi gerekliliğinin ortaya koymuştur

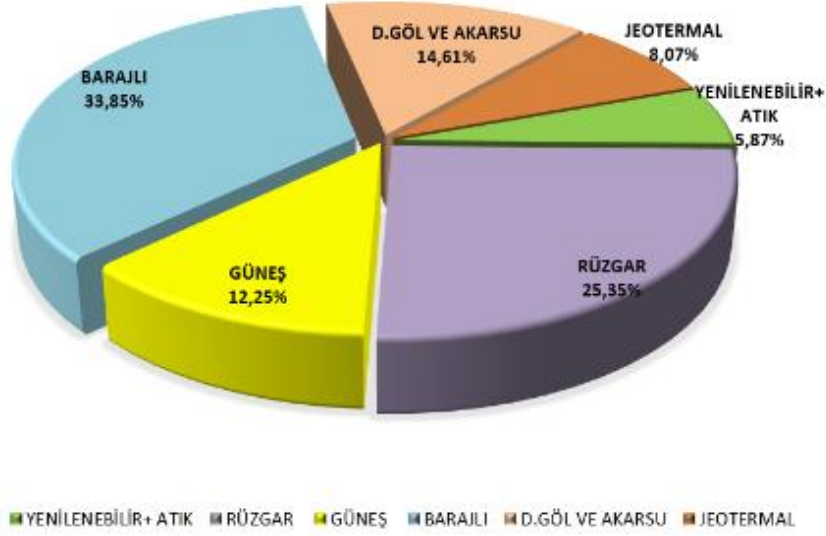
(Leng& Zhang, 2023). Tablo 2’de ülkelerin tahmini elektrik enerjisi tüketimleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Dünya geneli ülkelerin enerji tüketim sıralaması (URL-2, 2024)

Sıra	Ülke	Elektrik Tüketimi (GWh)	Veri Yılı (Tahmini)	Kişi Başına Ortalama Yıllık Elektrik Enerjisi (kWh)
1	Çin	8.312,800	2021	5.885
2	ABD	3.989,566	2019	12.154
3	Hindistan	1.547,000	2018	935
4	Rusya	965,156	2019	6.685
5	Japonya	902,842	2019	7.150
6	Brezilya	597,234	2019	2.830
7	Kanada	549,263	2019	14.612
8	Güney Kore	527,035	2019	10.192
9	Almanya	524,268	2019	6.306
10	Fransa	449,422	2019	6.702
11	Suudi Arabistan	322,372	2018	9.407
12	Birleşik Krallık	300,520	2019	4.496
13	İtalya	297,150	2019	4.928
14	Meksika	267,910	2019	2.100
15	Tayvan	237,557	2019	9.992
16	İspanya	241,563	2019	5.131
17	Avustralya	241,020	2019	9.502
18	Endonezya	263,139	2019	972
19	İran	254,724	2018	3.072
20	Vietnam	216,994	2018	2.250
21	Güney Afrika	210,304	2019	3.591
22	Türkiye	251,376	2019	3.013

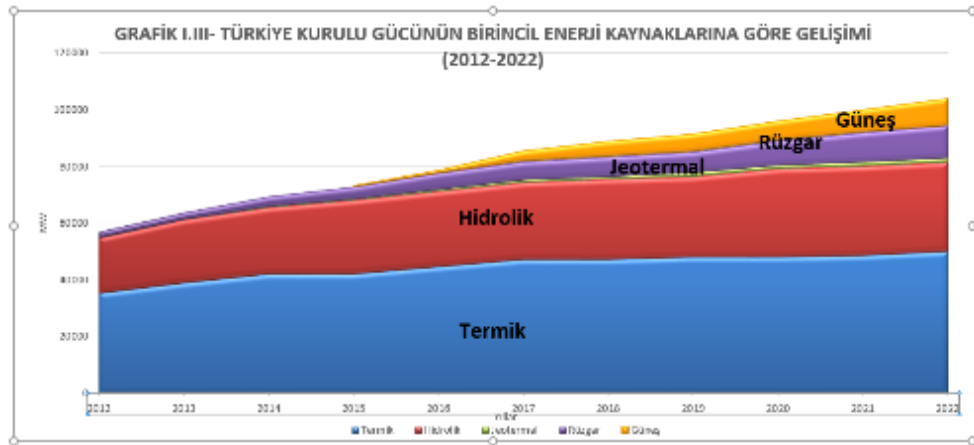
Tablo 2’de görüldüğü üzere ülkemiz, enerji tüketimi konusunda dünyada ilk 22 ülkeden bir tanesidir.

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla birçok farklı yenilenebilir enerji kaynağı üretimi bakımından oldukça avantajlı konumdadır. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi çeşitli kaynaklar ülkenin farklı bölgelerinde üretilebilmekte ancak bu durum halen istenilen seviyede olmamakla birlikte bu konuda daha fazla adım atılması gerekmektedir. Şekil 8’de 2022 yılı için Türkiye’nin yenilenebilir kaynaklardan ürettiği elektrik enerjisinin türlere göre oranlarının dağılımı görülmektedir.



Şekil 8. 2022 yılı için Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı (TEİAŞ, 2024)

Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak, enerji bağımsızlığı ve enerji güvenliğini sağlamak ayrıca gelişmiş ülke düzeyine ulaşabilmek için enerjide dışa bağımlılığı azaltılmak ve yerel olarak üretilen enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmak ihtiyacındadır. Yıllar içerisinde birincil enerji kaynaklarına olan önem artmış bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Şekil 9'da Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına göre kurulu güç gelişimi gösterilmiştir. Son yıllarda enerji üretiminde belirli bir artış yaşansa da teknoloji ve sanayinin gelişmesi, nüfus artışı gibi nedenlerden dolayı tüketim de aynı oranda artış göstermiş ve halen istenilen seviyeye gelinebilmemiştir. Bu durum sonucunda bugün enerji üretimi tüketimi karşılayamamaktadır.



Şekil 9. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (TEİAŞ, 2024)

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında yaşanan olumlu gelişmeler, bu kaynakların ülkemizde uzun vadede daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılabileceği izlenimini ortaya koymaktadır. Uzun vadeli bakıldığında ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığının azalacağı izlenimi oluşmaktadır. Ayrıca bu kaynakların kullanımının artması ile birlikte halihazırda mevcut olan paranın ülke içinde kalacak olması nedeniyle dolaylı da olsa bu durum ekonomik refahı arttıracak, ülkemizin en önemli problemlerinden biri olan istihdam sorununu azaltacaktır.

1.5.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğindeki hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi ile meydana gelen ısıma enerjisidir (Karamanav, 2007). Güneş enerjisi enerji kaynakları içerisinde en temel enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağının kurulumu ve kullanımı çok kolay olup çevre kirliliğine sebebiyet vermemektedir. Yenilenebilir enerji içerisinde oldukça yaygındır ve dünya genelinde en hızlı gelişen enerji kaynağıdır.

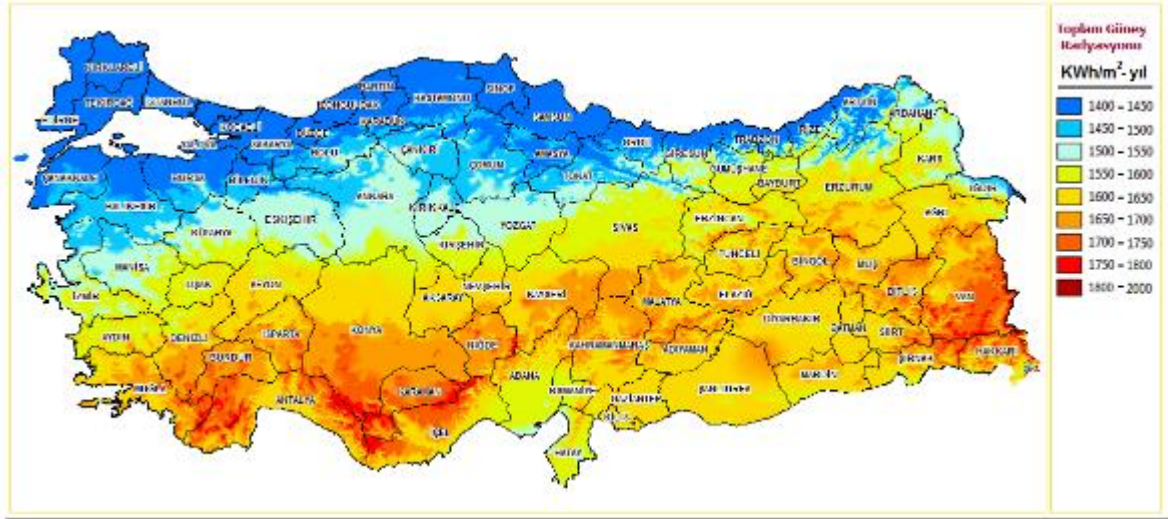
Güneş enerjisi dünya üzerine her gün radyasyon (ısıma) yoluyla düşmektedir. Bu enerji kaynağından doğrudan veya dolaylı olarak yararlanabilmek mümkündür. Dünya üzerinde bulunan diğer enerji kaynakları güneşin türevinden meydana gelmektedir. Güneş enerjisinden birçok alanda yararlanılabilmektedir. Sıcak su kullanımında ve ısınmanın yanında güneş enerji santrallerinde termal enerji elde edilmesi ve fotovoltaik sistemler ile elektrik elde edilmesinde kullanılmaktadır (Koç, 2021).

Güneş enerjisi kullanımı fosil yakıtların aksine çevre dostu bir seçenek sunarak, gelecekte dünyanın enerji ihtiyaçlarını karşılamada kritik bir rol oynayabileceği düşünülmektedir (Akkaya, 2007). Küresel çaptaki güneş enerjisi potansiyeli diğer sürdürülebilir kaynaklara nazaran çok daha yüksek seviyededir. Halihazırda kullanılan güneş enerjisinden bugün yararlanılan seviye mevcut enerjiye göre oldukça azdır (Kumar vd.,2023).

Güneş enerjisinden faydalanabilmeyi arttırmak için bu sistemlerin sürekli güneş alabilen ortamda ve gölgenin olmaması gerekmektedir. Bu durum kış aylarında güneş enerjisinin az gelmesi hatta geceleri hiç olmaması nedeniyle dezavantaj oluşturmaktadır. Bazı bölgelerde önlem olarak depolama işlemi yapılmaktadır.

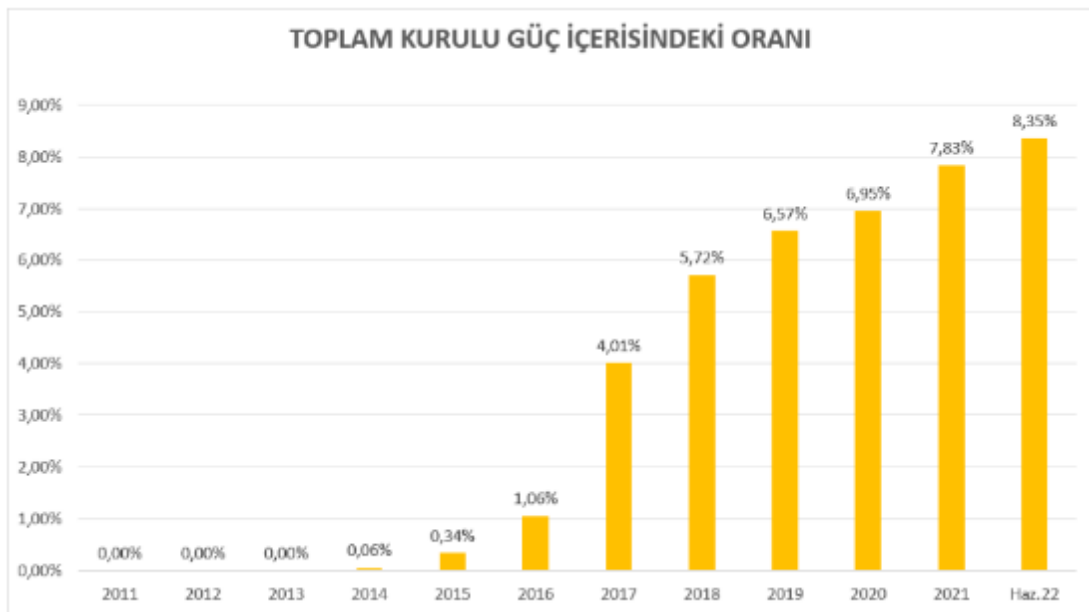
Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi konum açısından avantajlı konumdadır. ETKB tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na

(GEPA) göre, ülkenin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olarak tespit edilmiş olup, ortalama yıllık toplam ışıınım değeri ise 1.527,46 kWh/m²'dir. GEPA'da sunulan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB, 2023)

ETKB verilerine göre, 2022 yılı Haziran ayı itibarıyla Türkiye'de güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 8.479 MW olarak gerçekleşmiştir. Bu güç, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35'tir. Yıllara göre kurulu güç değişimi ise Şekil 11'de sunulmuştur.



Şekil 11. Ülkemizde yıllara göre güneş enerjisi kurulu güç değişimi (ETKB, 2023)

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, Türkiye'de genel olarak güneş ışığının doğrudan elektriğe dönüştürüldüğü fotovoltaik sistemler tercih edilmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma çalışmaları, özellikle 1970'lerden itibaren hız kazanmış; bu süreçte güneş enerjisi sistemlerinde önemli teknolojik ilerlemeler kaydedilmiş, maliyetler düşürülmüş ve çevresel açıdan temiz bir enerji kaynağı olarak geniş kabul görmüştür. Güneş enerjisinin çevre dostu olması ve kurulum sonucunda düşük işletim maliyetleri, bu enerji kaynağının önemini daha da artırmaktadır.

Güneş enerji kurulumunda bazı avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Uygulaması ve kurulumu çok ileri bir teknoloji gerektirmeyen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca kurulumundan itibaren ortalama 30 yıl boyunca kullanılabilmesi, temiz olması, kolay kurulumunun yanında taşınabilmesinin de rahat olması, elektrik hattı bulunmayan ve elektrik hat yapım maliyetinin fazla olduğu kırsal alanlar için ekonomik olması gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak kurulum maliyetinin yüksek olması, kurulum yapılacak alanın enerjiden maksimum verim alınabilmesi adına geniş olması, güneş pillerinin veriminin düşük nitelikte olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Şenpınar & Gençoğlu, 2006).

1.5.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunda farklı bölgelerin sahip olduğu termal sıcaklık anlamına gelmektedir. Yapılan araştırmalarda her 33 metre derinliğe indikçe, sıcaklık yer kabuğunda 1°C artmaktadır (Aydın, 2008). Jeotermal enerji, kaynağının bulunduğu yerde sondaj çalışması yapılarak elde edilmektedir (Erkul, 2012).

Jeotermal enerji, yer kabuğundan gelen sıcak su ve su buharı kullanılarak elde edilen bir enerji kaynağı olmasının yanında enerjinin sürdürülebilirliği konusunda ve verimliliğin artırılmasında rol oynamakta, fosil yakıtların kullanımına alternatif oluşturmaktadır (Liu vd. 2022).

Jeotermal enerji üretim maliyeti oldukça düşük bir enerjidir ve çevreyi kirletmeyen doğa dostudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en temel özelliği olduğu gibi kendini yenileyebilmektedir. Ancak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının iklim ile sıkı sıkıya bağlı olması yanında bu enerji kaynağı ise iklimden bağımsızdır.

Türkiye 3. Jeolojik zamanda oluşmuş genç bir ülke konumundadır. Ülkemizde masif arazi varlığı genç oluşumundan dolayı az sayıda bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemiz

jeotermal enerji kaynak bakımından zengin bir ülkedir. Özellikle Ege Bölgesi'nde daha yaygın olarak bulunan bu enerji kaynağı ile ilgili ciddi çalışmalar yapılmakta ve işletilmektedirler. Şekil 12'de örnek olarak Manisa Alaşehir'de yer alan jeotermik santrale ait görüntüler yer almaktadır.



Şekil 12. Manisa Alaşehir mak-14 kuyusu üretim görüntüleri (URL-3, 2023)

Türkiye, jeotermal potansiyel açısından Avrupa'da birinci, kurulu güç bakımından ise dünya genelinde dördüncü sırada yer almaktadır (URL-4, 2024). Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde dünya çapında ilk beş ülke arasında ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda bulunmaktadır. Ülkemizde 1962 yılında çalışmalara başlayan Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü 500'ün üzerinde jeotermal saha tespit etmiştir. Türkiye'deki jeotermal kaynakların dağılımını gösteren harita ise Şekil 13'te sunulmaktadır.



Şekil 13. Ülkemizde bulunan jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (MTA, 2023)

Jeotermal enerji, hem bölgesel ısıtma hem de elektrik üretimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre, 2022 yılı Haziran ayı itibarıyla jeotermal enerjinin kurulu gücü 1.686 MW olarak gerçekleşmiş olup, bu enerji kaynağının toplam kurulu güç içerisindeki oranı %1,66'dır.

1.5.3. Hidroelektrik Enerji

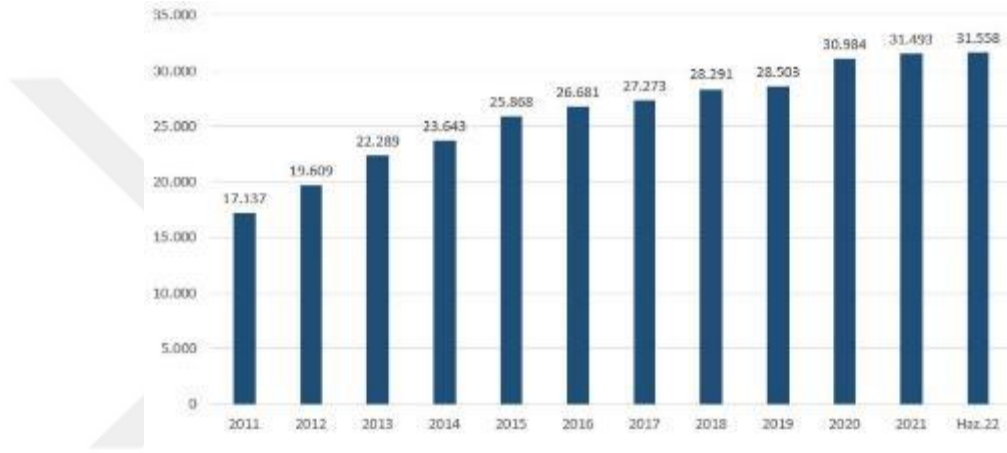
Hidroelektrik enerji, durgun haldeki suyun hareket haline geçmesiyle yani potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi sonucunda oluşan enerjidir (Bozdemir, 2013). Hareket halindeki suyun mekanik enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm işlemi Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES) yardımıyla gerçekleşir.

Hidroelektrik enerji kaynağı kullanılması fosil yakıtların kullanımını azaltacağından çevre için önemi oldukça fazladır. Ayrıca bu enerjinin üretiminde hammaddeye ihtiyaç olmadığı için işletme masrafları da diğer enerji üretim santrallerine oranla oldukça düşüktür (Tunay & Cebeci, 2001).

Hidroelektrik enerji bazı durumlarda tartışmalara neden olsa da su kaynaklarından elde edilen konsolide bir teknolojidir ve temiz enerji kaynağı olarak kabul edilir. Ülkelerin HES profili adına bu enerji kaynağı oldukça stratejik bir öneme sahiptir. Bu enerji kaynağının bölgesel ve küresel bazda ekonomiye olumlu anlamda etkileri bulunmaktadır (Catolico vd. 2021).

Türkiye, hidroelektrik enerjiyi önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirmektedir. Ülkenin hidroelektrik potansiyeli, dünya genelindeki toplam hidroelektrik potansiyelin yalnızca %1'ini oluşturmaktadır. Ancak, ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik potansiyel incelendiğinde, Türkiye'nin Avrupa'nın hidroelektrik potansiyelinin %15'ine sahip olduğu belirlenmiştir (Üçüncü, 2016).

Ülkemizde 2022 yılı Haziran ayı sonu itibarıyla hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 31.558 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31 olup yıllara göre kurulu güç değişimi aşağıdaki grafikte yer almaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Hidroelektrik enerji yıllara göre kurulu güç değişimi (ETKB, 2024)

Hidroelektrik enerji, temiz ve düşük maliyetli bir kaynak olması, enerji üretimi yanında sulamada da kullanılması, tükenmeyen kaynak olması, santral ömrünün diğer enerji santrallerine göre daha uzun ömürlü olması gibi avantajları olmasının yanında; üretilen enerjinin depolanamaması, üretimin sürekli olarak tüketime göre belirlenmesi, yatırım maliyetinin fazlaca olup yapım aşamasının uzun sürmesi, baraj yapımının doğal ekolojik denge üzerindeki olumsuz etkisi ve değişen iklim koşullarına bağlı olarak debi kaynaklarının değişken olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Akkaya, 2007).

1.5.4. Biyokütle Enerji

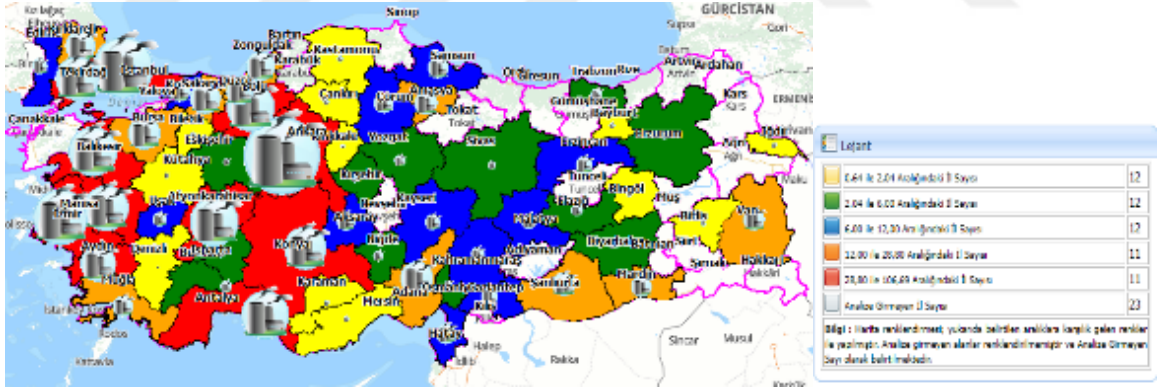
Biyokütle bitkisel, hayvansal ve organik kökenli atıklardan elde edilen bir maddedir. Bu maddenin çeşitli işlemlerden geçirilerek işlenmesi ile biyokütle enerjisi elde edilir.

Biyokütle enerjinin, gelecekte fosil yakıtların yerini alacağı düşünülmektedir. Biyokütlenin başlıca kaynakları arasında odun, tarımsal ürünler, hayvan atıkları, belediye katı atıkları, su bitkileri yer almaktadır (Kanat & Ergüven, 2020).

Alternatif enerji kaynakları içerisinde en geniş pay biyokütle enerjiye aittir. Biyokütle enerjisi potansiyelinin 2050 yılında dünya elektrik üretiminin %7,5'ini ve ulaşımda kullanılan yakıtın %27'sini karşılaması beklenmektedir (Bayraç & Özarslan, 2018).

Türkiye'de kentsel atıkların biyokütle olarak kullanımına 2005 yılında başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının biyokütle enerjisi ile Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 sayılı Kanun'la beraber, biyokütle enerjisinin kapsamı ve sınırları belirlenmiştir. 5346 sayılı Kanun'a göre, biyokütle; ithalat yapılmadan temin edilen kaynaklar arasında belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, tarımsal atıklar, orman ürünleri olarak tanımlanmaktadır.

Bu enerji kaynağının enerji üretiminde yaygınlaştırılması, son yıllarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur (Şekil 15). Ülkemizde, biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç, 2022 yılı Haziran ayı itibarıyla 2.172 MW olarak gerçekleşmiş ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2,14 olmuştur (ETKB, 2023).



Şekil 15. Türkiye’de bulunan biyokütle üretim tesisleri (ETKB, 2023)

Biyokütle enerji çeşitliliği ülkelerin bulunduğu coğrafi konuma, bitki örtüsüne ve iklimlerine göre değişkenlik gösterebilir (Kapluhan, 2014). Türkiye’de İç Anadolu Bölgesi, tarımsal ürün çeşitliliği ve miktarı açısından hayvansal biyokütle enerjisi materyali bakımından oldukça zengindir. Diğer taraftan, Doğu Anadolu Bölgesi, Karadeniz Bölgesi’nin doğusu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneydoğu kısmı, biyokütle enerji potansiyeli açısından diğer bölgelere göre daha düşük bir enerji potansiyeline sahiptir.

1.5.5. Hidrojen Enerjisi

Bu enerji evrende en çok bulunan enerji çeşididir. Çok hafiftir ve yoğunluğu havanın 1/14'ü kadardır. Normal şartlarda bulunan sıcaklık ve basınç atında kokusuz ve renksiz olan bu gaz oksijenle birleştiğinde yaşamın temel kaynağı olan su elde edilmektedir.

Hidrojen enerjisi, temiz bir enerji kaynağı olmasının yanında esnek ve verimlidir. Ayrıca düşük karbonludur ve enerji sistemleri içerisinde önemi günden güne artmaktadır (Gao & An, 2022).

Hidrojen doğada saf olarak nadir bulunan bir elementtir. İkincil enerji kaynağı olarak bulunur ve birincil enerji kaynaklarından faydalanılarak üretilen bir yakıt çeşitidir. Başka bir ifadeyle bu enerji türü fosil yakıtlarda olduğu gibi doğadan çıkarılıp doğrudan elde edilemez. Saf Hidrojen (H_2) elde edilebilmesi için diğer enerji kaynaklarından yararlanılarak üretilmesi gerekmektedir. Üretiminde fosil yakıtlar veya yenilenebilir kaynaklardan yararlanılır. Ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zarar ve tükenilebilirliği dikkate alındığında yenilenebilir kaynaklardan üretimi daha anlamlı olmaktadır.

Hidrojen doğada elde edilmesi en kolay elementtir. Fosil yakıtlar ile kıyaslandığında en fazla enerji potansiyel özelliği bulunmaktadır. Bir kilogram hidrojenden enerjiyi elde edebilmek için 2,1 kg doğalgaz veya 2,8 kg petrole ihtiyaç vardır. Yakıt olarak kullanıldığında ise diğer fosil yakıtlar gibi havaya karbonmonoksit gazını vermezler. Bu enerji yakıt olarak kullanıldığında atık olarak su veya su buharı oluşturmaktadır. Bu atıkların ise çevreye verdikleri zarar ise yok denilecek kadar azdır (Koçak, 2011).

Yapılan çalışmalarda hidrojen enerjisinin diğer yakıtlara oranla üç kat daha pahalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak bu enerji kaynağının kullanımının daha fazla yaygınlaştırılması halinde üretim maliyetinin çok daha azalacağı düşünülmektedir. Ayrıca ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin ileride teknolojinin gelişimine bağlı olarak hidrojen olarak depolanması yaygınlaşması hedeflenmektedir (Akkaya, 2007).

Hidrojen enerjisi üretimi yaygınlaştırmak adına pek çok ülkede üretim tesisleri kurulma çalışmaları yapılmaktadır. Üretim yapılması ve enerji elde edilebilmesi amacıyla Çin, Arjantin, Güney Kore, Hindistan ve Libya'da hibrit sistemler geliştirilmektedir (Karabağ vd. 2021).

Ülkemizde hidrojen üretimi, üniversiteler ve araştırma kuruluşları iş birliğiyle sınırlı olarak ele alınmaktadır. 2011 yılında, Bozcaada Kaymakamlığı'nın enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla "Hidrojen Adası Projesi" başlatılmıştır (Tuna ve diğerleri, 2022).

Ancak, bu pilot proje tamamlandığında ilk deneme başarılı olmamıştır. Bunun yanı sıra, Karadeniz'in uzun kıyı şeridinde kimyasal olarak depolanmış hidrojen bulunmaktadır. Karadeniz suyunun %90'ı anaerobik olup oksijen içermemekte ve hidrojen sülfür barındırmaktadır. Bu durum, Karadeniz'in derinliklerinde zehirli gazların oluşmasına neden olmaktadır.

Hidrojen enerjisinin günümüzde en büyük enerji kaynağı olacak iken bunun üzerinde en büyük engellerden biri depolama sorunudur. Hidrojenin arz ve talebinin karşılanması için sabit ve mobil depolama uygulamaları yapılması gerekmektedir. Bu uygulamalar ile hidrojen enerjisi depolanabilir. Hidrojenin depolanabilmesi için gaz veya sıvı formunda olması gerekmektedir.

Birçok enerji kaynağında olduğu gibi hidrojen enerjisinin de bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu enerji kaynağının avantajları hidrojen enerjisinin yanmasıyla ortaya çıkan atık su çevreye zarar vermemekte, fosil yakıtlara oranla 2-3 kat daha fazla verimli şekilde yanmaktadır. Araçlarda kullanıldığında ise otomobillerde benzine oranla daha sessiz çalışmaktadır. Ancak enerji üretimi için kullanılan hidrojenin saf olması gerekmekte, hidrojeni saf hale getirme de maliyeti arttırmaktadır. Saf hidrojenin elde edilme maliyeti petrol ve doğal gaza oranla 4 kat daha fazladır (Akkaya, 2007).

1.5.6. Dalga Enerjisi

Dalga, denizlerde ortaya çıkan depremler, denizin altında gerçekleşen çökmeler ve rüzgârın katkısıyla oluşmaktadır. Dalga enerjisi, dalgaların bulunduğu yerin yüzeyinde ya da yüzeyin altında oluşan dalga basıncından dalga enerjisi teknolojisiyle elde edilmektedir. Yüzey hareketleri sonucunda elde edilen dalga enerjisi literatürde gel-git enerjisi olarak da adlandırılmaktadır (Bekar, 2020).

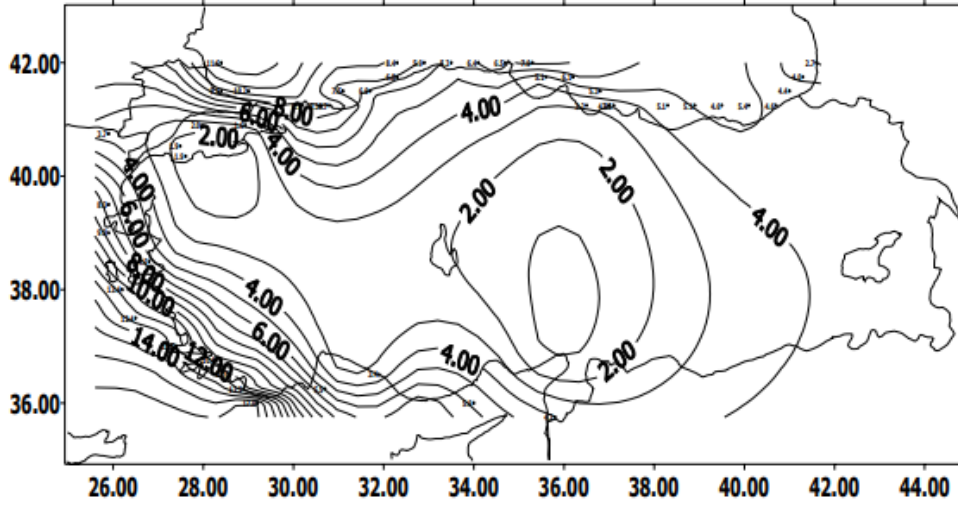
Dalga enerjisi yenilenebilir enerji içerisinde teknolojisi en az gelişmiş enerji çeşididir. Bunun nedeni bu enerji kaynağının çok büyük olmasından kaynaklı birçok yönünün henüz tam olarak keşfedilememiş olmasıdır. Bu enerji kaynağından elektrik enerjisi üretimi amacıyla tüm yarıları araştırılmaya devam edilmektedir (Meyer vd., 2017).

Dalga enerjisinin ölçümü, uzun süreli ve yüksek maliyetli ölçüm süreçlerini gerektirmektedir. Bu ölçümler, rüzgâr ve dalga arasındaki ilişkiyi belirleyen ve birçok ölçüm sonucunda geliştirilmiş yarı ampirik formüller kullanılarak dalga enerjisinin hesaplanmasına olanak tanımaktadır (Uygur ve diğerleri, 2006).

Dalga enerjisi üzerine yapılan araştırmalar 1970'lere kadar uzanmakta olup, bu çalışmaların artışı ve hız kazanması ise 1980'lerin sonları ile 1990'ların başına dayanmaktadır. Son yıllarda, bu enerji kaynağı yenilenebilir enerji türleri içerisinde değerlendirilmiş ve birçok ülkenin dikkatini çekmiştir. Bu durum, çeşitli ülkelerin dalga enerjisine yönelik ilgisini artırmış ve bazı ülkelerde pilot tesislerin kurulmasına yol açmıştır (Bedard ve diğerleri, 2005).

Açık denizlerin kıyı kesimlere göre dalga enerjisi güç potansiyeli bakımından çok daha fazla verimli olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, açık denizlerde yerleştirilen cihazlar, daha zorlu çevresel koşullara maruz kalmaktadır. Ancak kıyı bölgelerinde konumlandırılan teknolojiler bakım ve onarım açısından belirgin avantajlar sunmaktadır (Westwood, 2004). Bu nedenle, coğrafi konumu itibarıyla Türkiye, kıyı şeridinde dalga enerjisinden yararlanma potansiyeline sahip ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Türk sularının kullanıma hazır yaklaşık azami ve asgari dalga enerji seviyeleri Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Azami dalga enerji seviyeleri (Sağlam&Uyar, 2005)

Dalga enerjisi üretiminde uygun yerler arasında Karadeniz'in batısı, İstanbul Boğazı'nın kuzeyi, Ege Denizi'nin güneybatı kıyıları ile Marmaris ve Finike arasındaki açık denizler ön plana çıkmaktadır. Bu bölgeler, başlangıç denemeleri için uygun olarak değerlendirilmekte ve yatırımcıların bu alanları tercih etmeleri önerilmektedir (Sağlam & Uyar, 2005).

1.5.7. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneş ışınlarının dünya üzerinde farklı bölgelere farklı açıyla düşmesi sonucunda oluşmaktadır. Güneş ışınları ekvatorial bölgelere daha dik açıyla düşerken, kutuplara doğru gidildikçe daha düşük bir açıyla düşer. Bu durum sonucunda farklı bölgelerde ve enlemlerde farklı sıcaklık gradyanları oluşur. Isınan hava yükselirken soğuyan hava alçalır ve bu durum basınç farklılıklarına neden olur. Basınç farklılıkları da havanın hareket etmesine yani rüzgâr oluşumuna neden olmaktadır.

Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Bunun sonucunda rüzgâr enerjisinin genel olarak diğer enerji kaynaklarına göre düşük bir etkinliğe sahip olduğu görülür. Bunun yanında, rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir ve belirli bölgelerde ve koşullarda önemli bir enerji kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

Rüzgâr enerjisinden yararlanma, tarihin çok eski dönemlerine kadar dayanmaktadır. Başlangıçta ilkel yöntemlerle kullanılan bu enerji kaynağı daha sonra teknolojinin de ilerlemesiyle beraber çok çeşitli alanlarda ve daha verimli olacak şekilde faydalanılmaktadır. Bu bağlamda, bu enerji kaynağı ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada alternatif enerji kaynağı olmaktadır. Sürdürülebilir enerji projeleri bakımında RES kullanımı uygun enerji üretim yöntemleri olarak görülmektedir (Şimşek, 2014).

Rüzgâr enerjisi, yeryüzünün farklı sıcaklık bölgeleri arasındaki homojen olmayan dağılımının yanı sıra, yerel coğrafi özelliklere bağlı olarak zaman ve bölge bazında değişkenlik gösterir. Rüzgârın şiddetini tanımlamak için rüzgâr yönü ve hızı kavramları kullanılmaktadır. Atmosferdeki havanın yatay hareketi sonucunda değerlendirebileceğimiz rüzgârın yönünü tespit etmek için rüzgâr gülü, hızını tespit etmek için ise anemometre kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı, genelde yükseklikle artar ve teorik güç, rüzgâr hızının küpüyle orantılı olarak değişir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi uygulamalarının başlangıç maliyetleri genellikle yüksektir ve kapasite faktörleri düşüktür ayrıca enerji üretimi de değişkendir. Ancak, bu dezavantajların yanı sıra rüzgâr enerjisi çevre dostu, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca, tükenme riski bulunmaması ve zamanla fiyatının artma olasılığı gibi avantajları vardır. Bakım ve işletme maliyetleri genellikle düşüktür ve rüzgâr enerjisi teknolojilerinin kurulumu ve işletilmesi genellikle basittir. Ayrıca, tesisin işletmeye alınma süresi oldukça kısadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023).

Rüzgâr enerjisi, karbon salınımı yapmadığı için çevre kirliliğine sebebiyet vermemektedir. Bu nedenle, çevreye en az zarar veren enerji üretim yöntemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, rüzgâr enerjisi, sınırsız bir kaynak olarak kabul edilmekte ve hammadde sıkıntısı yaşanmamaktadır. Ancak, rüzgâr enerjisinin verimli bir şekilde üretilmesi için rüzgâr akımının yoğun, güçlü ve sürekli olduğu düz alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr enerjisi, dünya genelinde en uygun ve dönüştürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir ve bu enerji, rüzgâr enerjisi santralleri (RES) olarak adlandırılan tesislerde üretilmektedir (Şimşek, 2020). Elektrik üretiminde rüzgâr enerjisinden yararlanmak amacıyla bu santraller kullanılmaktadır.

Sürdürülebilir enerji projeleri arasında, rüzgâr enerjisiyle üretim yapan projeler ülkemizde en popüler yatırımlar arasındadır. Özellikle büyük ölçekli rüzgâr santrali projeleri, yüksek maliyetlerinden dolayı dikkat çekmektedir. Bu nedenle, santral inşaatına başlamadan önce, etkin ve verimi yüksek sonuçlar elde edebilmek amacıyla uzun süreli bir rüzgâr fizibilitesi yapılması oldukça kritiktir. Fizibilite çalışmaları öncesinde, özellikle rüzgâr potansiyeline sahip alanların titizlikle belirlenmesi ve incelenmesi gerekmektedir. Santral kurulum yerlerine uygun yer seçimi için ekonomik, fiziksel, çevresel ve sosyal faktörler gibi dikkate alınması gereken birçok kriter bulunmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknolojileriyle işlenmiş veriler kullanılarak, proje başlangıç aşamasında gerekli fizibilite araştırmaları yapılabilmektedir (Bennui vd., 2007). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan uygun yer analizleri, santral yeri belirleme uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu süreçte, belirlenen kriterlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve ana ile alt kriterler arasında bir öncelik sıralaması yapabilmek için kriterlerin ağırlıklandırılması, karar verme sürecinin etkinliğini artırır ve süreci daha yönetilebilir hale getirir.

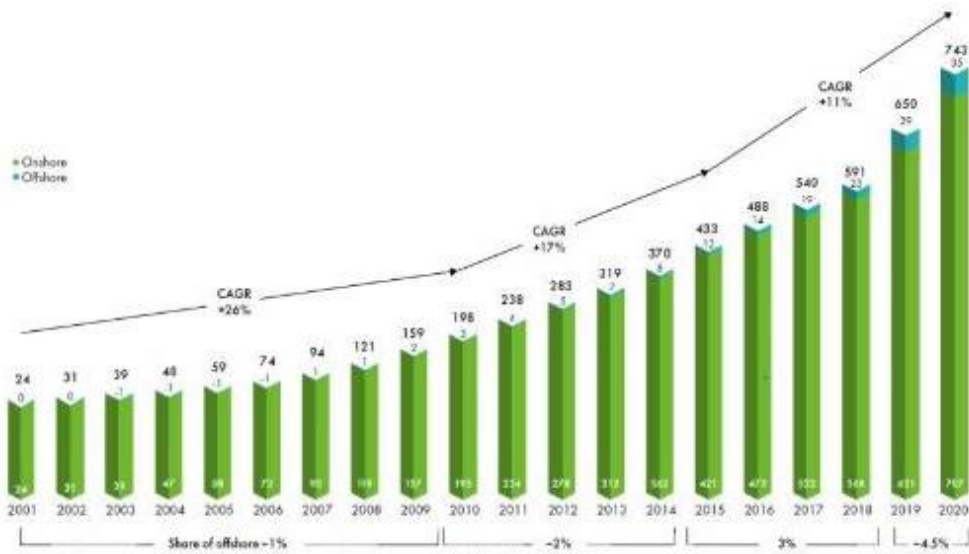
Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde oldukça popüler olan bu enerji kaynağı kapasitesini de her geçen gün daha da arttırmaktadır. Rüzgâr enerji santrali kurulumları sera gazı salınımlarını azaltarak çevreye verilen büyük zararın önüne geçmektedir. Ayrıca çevre dostu olmasının yanında ticari olarak elverişli olması, sürdürülebilir olması ve kurulumunun basit olması tercih edilme sebeplerinin başında gelmektedir. Bunlara ilave olarak rüzgâr enerji santrali kurulumu öncesinde hata payını en aza düşürmek için potansiyel yer analizinin uygulanması kurulumdan en yüksek verimin alınmasını sağlamaktadır. Analiz doğrultusunda öncelikle rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerin seçilmesi ve

sonrasında verimi etkileyecek gerekli diğer kriterlerin incelenmesi gerekmektedir (Can ve Yücel, 2019).

1.5.8. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

Dünya genelinde geniş bir kullanım alanına sahip olan rüzgar enerjisi düşük maliyetli, temiz ve ticari açıdan uygun sürdürülebilir enerji çeşididir. Bu özellikler sonucunda bu enerji kaynağının tercih edilmesi son dönemlerde hem uluslararası alanda hem de ülkemizde önemli bir artış göstermektedir (Özşahin & Kaymaz, 2013).

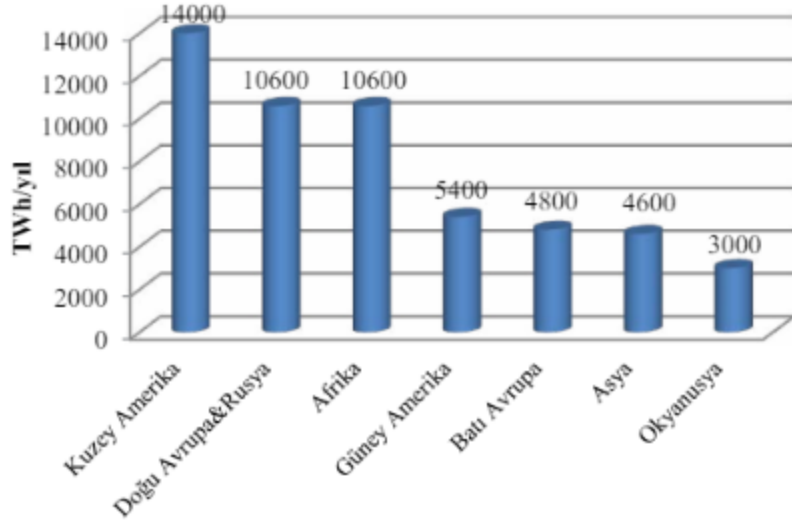
Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi sürdürülebilir önemi fazla kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir (Albuhairi, 2006). Dünya genelinde birçok ülke rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yaptığı bilinmektedir. Çin, toplam rüzgar enerjisi üretiminin yaklaşık %29'unu gerçekleştiren en büyük paya sahip ülkedir. Çin'in hızlı sanayi gelişimi, yüksek nüfusu ve artan enerji talebi doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan büyük yatırımlar, ülkeyi rüzgar enerjisi üretiminde öncü konumuna getirmiştir. Çin'i daha sonrasında Amerika Birleşik Devletleri ve ardından Almanya takip etmektedir; bu ülkeler de küresel rüzgar enerjisi üretiminde önemli roller üstlenmektedir. Türkiye ise dünya genelinde 11. sırada yer almakta ve Avrupa ülkeleri arasında 6. sırada bulunmaktadır (Can & Yücel, 2019). Şekil 17'de, rüzgar enerji santrallerinin kurulum sürecinin zamansal değerlendirmesi sunulmaktadır.



Şekil 17. Dünya toplam rüzgar kurulum kapasitelerinin tarihsel gelişimi (URL-5, 2024)

Rüzgar enerjisi, dünyanın en hızlı gelişen enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. 1990 senesinde Almanya, rüzgar enerjisi üretimini teşvik amacıyla Elektrik Besleme Kanunu'nu (Electricity Feed Law) yürürlüğe koymuştur. Ancak, 1997 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Almanya'nın dünya çapında liderlik konumunu devralmıştır. Bunun yanı sıra, İspanya, Danimarka, İtalya gibi ülkeler de rüzgar enerjisi üretiminde önemli rol oynayan öncü ülkeler arasında yer almaktadır (Önal & Yarbay, 2010).

Uluslararası Enerji Ajansı, dünya genelindeki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, rüzgar hızının 5,1 m/s'nin üzerinde olduğu bölgelerde, uygulama ve toplumsal sınırlamalar nedeniyle bu alanların yalnızca %4'ünün kullanılabilir olduğu varsayılmış ve küresel teknik rüzgar potansiyelinin yıllık 53.000 TWh olarak hesaplandığı ortaya konmuştur. Yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgeler ve kıtalar arasında ise Kuzey Amerika, Doğu Avrupa ve Rusya, Afrika, Güney Amerika, Batı Avrupa, Asya ve Okyanusya öne çıkmaktadır (Şekil 18) (Şenel & Koç, 2015). Bu bilgiler, ilk dört bölgenin dünya rüzgar enerjisi potansiyelinin %66'sını barındırdığını ortaya koymaktadır.

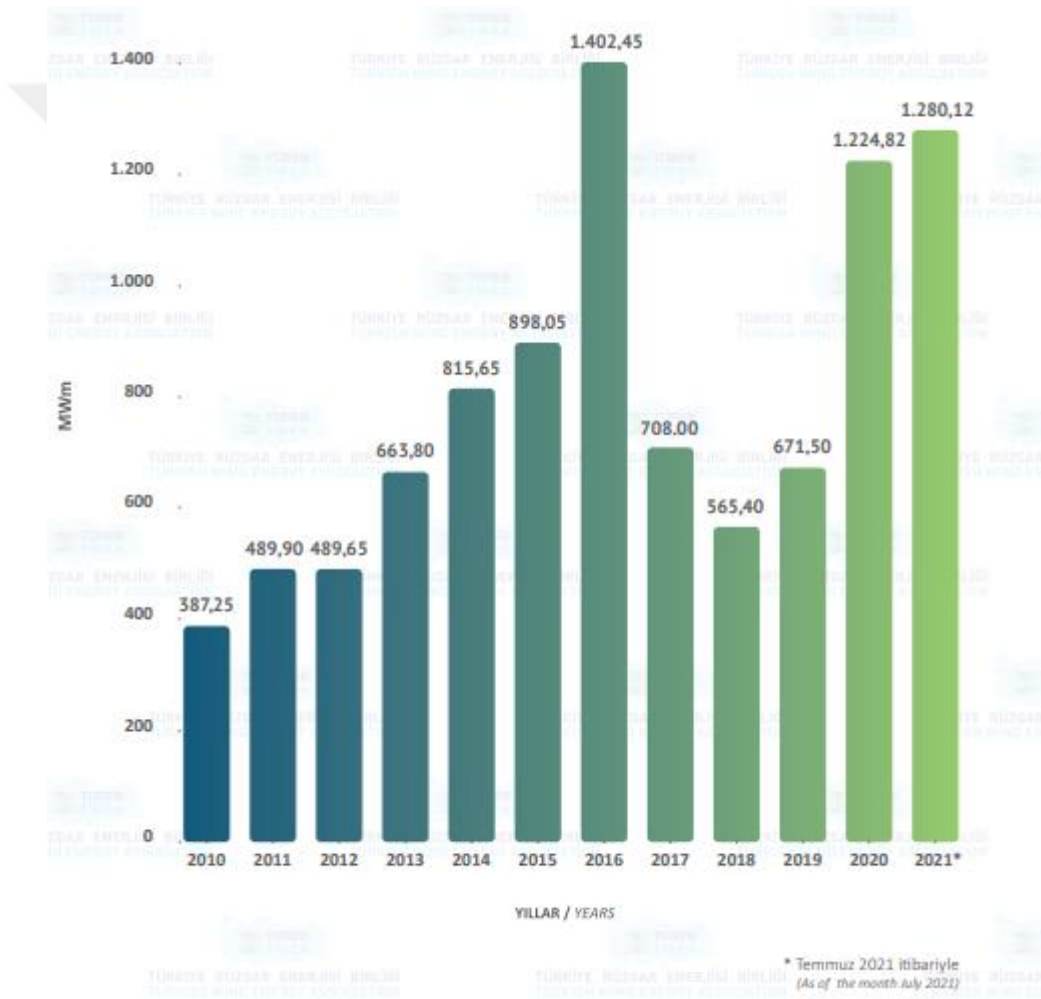


Şekil 18. Dünya teknik rüzgâr potansiyelinin kıtalara göre dağılımı (Şenel & Koç, 2015)

Dünya Bankası ve Avrupa Yatırım Bankası gibi finansal kuruluşlar, temiz enerji kaynaklarından enerji üreten projelere kredi sağlamaktadır (Akgün, 2004). Türkiye'de rüzgar enerjisi gelişimi incelendiğinde, ilk rüzgar enerji santralının 1,5 MW kapasiteli olarak 1998 yılında İzmir'in Çeşme ilçesinde faaliyete geçtiği görülmektedir. 10 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe giren 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu ile birlikte, yeni teknolojilerin

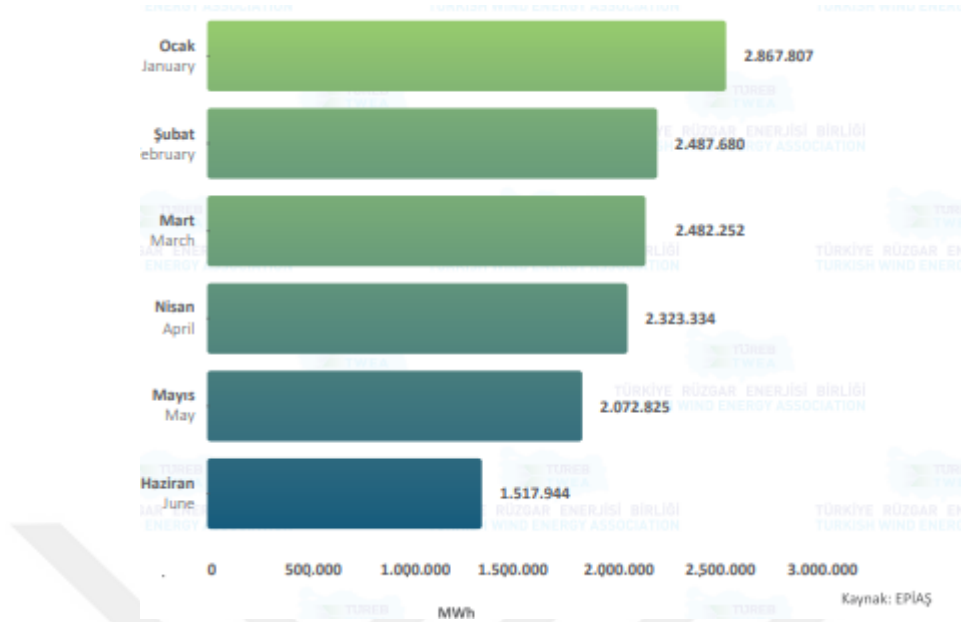
geliştirilmesiyle rüzgar enerjisi sektöründe önemli gelişmeler yaşanmıştır. 2010'dan itibaren Türkiye'de rüzgar santrallerinin sayısında belirgin bir artış gözlemlenmiştir (URL-6, 2024).

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından hazırlanan 2021 Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu'na göre, 1998 yılında 8,7 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücü, 2021 yılı sonunda toplamda 10.585 MW seviyesine ulaşmıştır. Şekil 19'da, yıllara göre Türkiye'de rüzgar enerjisi santrali kurulumu ile ilgili istatistikler sunulmaktadır. Bu verilere göre, 2021 yılı itibarıyla rüzgar enerjisi kurulu gücü 1.280,12 MW olarak belirlenmiştir (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2022).



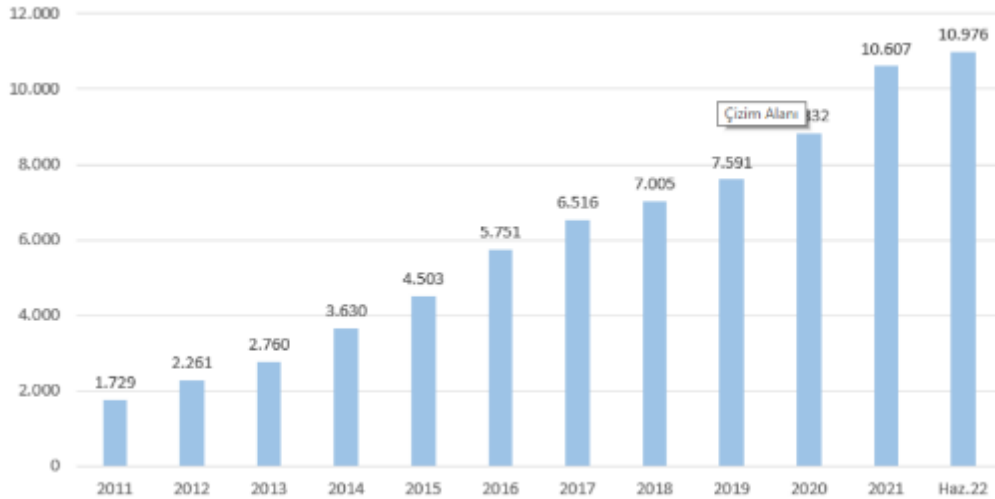
Şekil 19. Türkiyede'ki rüzgar enerji santralleri için yıllık kurulum (TUREB, 2024)

Türkiye'de rüzgâr enerjisi aylık üretimine bakılacak olunursa elektrik üretimi en çok Ocak ayında gerçekleşmektedir. Şekil 20'de ülkemizde aylara göre rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisi miktarları görülmektedir.

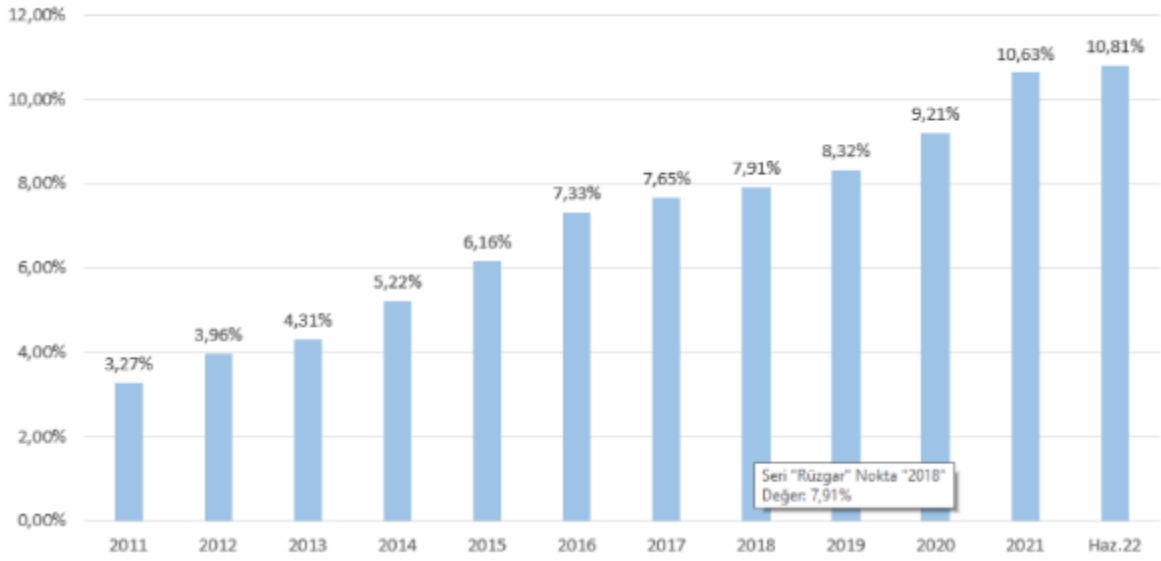


Şekil 20. Türkiye’deki rüzgar enerji santrallerinin aylık elektrik üretimi (TUREB, 2024)

ETKB verileri ile yıllara göre rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü Şekil 21 de yer almakta olup yıllara göre toplam kurulu güç içerisindeki oranı da şekil 22’de yer alan grafiklerde görülmektedir.

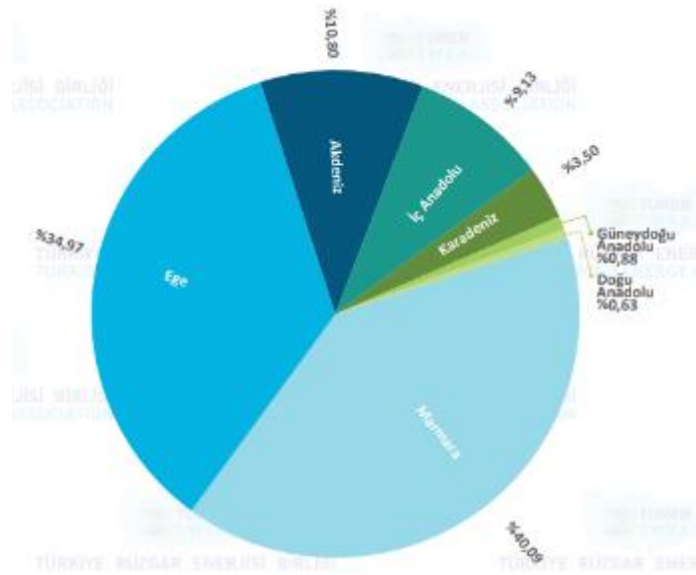


Şekil 21. 2022 Haziran sonu itibariyle rüzgâr enerjisi yıllara göre kurulu güç değişimi (ETKB, 2024)



Şekil 22. 2022 Haziran sonu itibariyle rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB, 2024)

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin bölgesel dağılımına bakıldığında, Marmara Bölgesi %40,09 ile en yüksek paya sahip olup, birinci sırada yer almaktadır. Ege Bölgesi ise %34,97 ile ikinci sıradadır. Rüzgâr enerjisinde üretiminin en az gerçekleştiği bölge ise %0,63 ile Doğu Anadolu Bölgesi'dir (Şekil 23). İl düzeyinde incelendiğinde, İzmir, Balıkesir ve Çanakkale sırasıyla en fazla rüzgâr enerjisi üreten iller olarak öne çıkmaktadır.



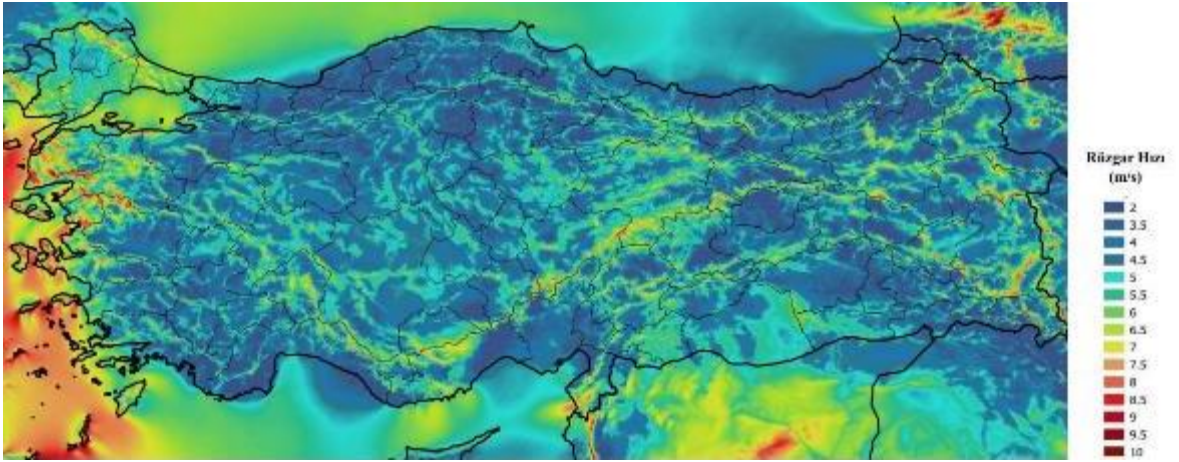
Şekil 23. İşletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı (TÜREB, 2024)

1.5.9. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Türkiye, rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından oldukça avantajlı bir konumda bulunmakta ve bu potansiyelin daha etkin bir şekilde değerlendirilmesi mümkündür. Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES) için doğru lokasyonların belirlenmesi, yer belirleme faaliyetlerinin artması, yatırımcıların uygun alanlara yöneltilmesi ve devlet destekli projelerin hayata geçirilmesi ile Türkiye'nin rüzgâr enerjisindeki mevcut konumunun daha üst sıralara taşınabileceği öngörülmektedir (Can & Yücel, 2019).

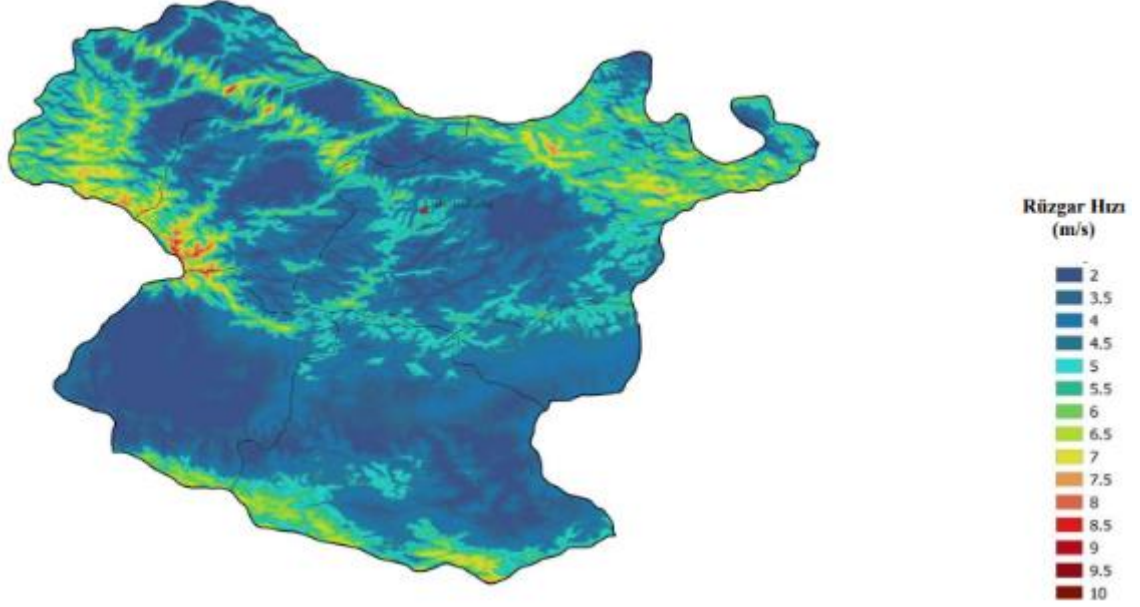
Türkiye’de 2006 yılında, 200 m x 200 m yatay çözünürlükte Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) oluşturulmuştur. Daha sonra, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın koordinasyonunda, Avrupa Birliği ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası'nın desteğiyle bu atlas, 100 m x 100 m çözünürlükte güncellenmiştir (Şekil 24).

Türkiye’de 2006 yılında, 200 m x 200 m yatay çözünürlükte orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) oluşturulmuştur. Daha sonra, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın koordinasyonunda, Avrupa Birliği ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası'nın desteği ile bu atlas, 100 m x 100 m çözünürlükte yeniden güncellenmiştir (Şekil 24). Bu güncellemeyle elde edilen rüzgâr kaynak verileri, gelişen rüzgâr türbini teknolojileri, günümüz yatırım maliyetleri ve değişen arazi kullanımı kabulleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak, Türkiye’de kurulabilecek rüzgâr enerji santrallerinin toplam kapasitesinin revize edilmesi çalışmaları sürdürülmektedir.



Şekil 24. 100 m * 100 m çözünürlükte yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı (ETKB, 2024)

İl bazında da hazırlanan bu atlas, çalışma bölgesi olarak belirlediğimiz Gümüşhane ili için de 100 metre yatay çözünürlüklü üretilmiş olup Şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 25. Gümüşhane ili yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı (ETKB, 2024)

1.6. RES Kurulumu İçin Politikalar ve Mevzuatlar

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanımıyla ilgili yasal düzenlemeler, 2005 yılında Resmi Gazete'de 5346 sayılı Kanun ile belirlenmiştir. Bu kanunun temel amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde yaygınlaştırılmasıdır. Ayrıca, kaynak çeşitliliğini artırmak, oluşan atıkları değerlendirmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve çevre koruma hedeflerine katkıda bulunmak bu kanun kapsamında teşvik edilmektedir (ETKB, 2024).

Ülkemizde enerji üretimine yönelik yatırımlar ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenen 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na göre düzenlenmektedir. Bu kanun, elektriğin yeterli, kaliteli, kesintisiz, düşük maliyetli bir şekilde tüketicilere sunulmasını amaçlamaktadır (EPDK, 2024).

Rüzgar Enerji Santrallerinin (RES) kurulumu, "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" (Resmi Gazete, 2024) ve "6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu" (Resmi Gazete, 2013) çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Lisanslı rüzgar enerjisi tesisleri, özel sektörün aldığı üretim lisansları doğrultusunda hayata geçirilmektedir. Ayrıca, "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" kapsamında, lisans

almadan ve şirket kurmadan da elektrik üretimi yatırımları yapılabilir. Bu yönetmelik gereğince, elektrik aboneliği olan her gerçek veya tüzel kişi, lisanssız elektrik üretim tesisi kurma hakkına sahiptir. Ancak, bu hakkı kullanabilmek için, kişinin en az bir tüketim tesisine, yani elektrik aboneliğine sahip olması gerekmektedir; aksi takdirde lisanssız elektrik üretim tesisi kurulması mümkün değildir.

"6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu", elektrik üretimi, iletimi, dağıtım faaliyetleri için lisans alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede, piyasada faaliyette bulunmak isteyen ve kurulu gücü 5 MW'tan büyük olan yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı elektrik üretim santralleri, EPDK tarafından verilen üretim lisansını almak durumundadır (EPDK, 2024).



Şekil 26. Rüzgar enerji santrali kurulumunda izlenilecek işlem adımları (TÜREB, 2024)

Elektrik piyasasında üretim faaliyeti yürütebilmek adına, ilk olarak ön lisans alınması, ardından ön lisans süresince belirlenen sorumlulukların yerine getirilmesi durumunda üretim lisansı alınması gerekmektedir. Ön lisans, üretim tesisi yatırımı yapmayı planlayan tüzel kişilere, gerekli onay, izin, ruhsat ve benzeri belgeleri temin edebilmeleri amacıyla belirli bir süre için verilen izin anlamına gelir. Üretim lisansı ise, tüzel kişilerin elektrik piyasasında üretim faaliyeti gerçekleştirebilmeleri için 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (Resmi Gazete, 2013) kapsamında verilen izni ifade eder (EPDK, 2024).

Üretim faaliyeti gerçekleştirmek amaçlayan tüzel kişiler, ön lisans alabilmek adına Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna başvuruda bulunurlar. Yönetmelikte ifade edilen sorumlulukları yerine getiren tüzel kişilere, Kurul Kararı sonucunda ön lisans verilir. Ön lisansın süresi, mücbir sebepler dışında, 24 ayı geçemez. Üretim lisansı başvurusu talebinde bulunmak isteyen ön lisans sahibi tüzel kişi, ön lisans kapsamındaki yükümlülüklerini tamamlamak kaydıyla, kuruma üretim lisansı başvurusunda bulunur. Üretim lisansı başvurusu değerlendirilirken ön lisans kapsamındaki yükümlülüklerini ön lisans süresi içinde tamamlanıp tamamlamadığı dikkate alınır (ETKB, 2024).

1.7. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme, birçok ve aynı zamanlı olarak uygulanan kriterler arasından en uygun tercihin belirlenmesine olanak tanıyan bir araç olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem genellikle kısıtlamalar ve amaçlar doğrultusunda sınıflandırılmış seçenekler arasından bir seçim yapmayı içerir (Memişoğlu, 2014).

ÇKKV yöntemleri, bir karar probleminde belirlenen hedefe ulaşmak amacıyla birbirine bağımlı ancak birbirinden farklı kriterler arasındaki ilişkilere dayanarak alternatifleri değerlendirme ve sıralama sürecini içerir. Bu yöntemler, karmaşık karar verme durumlarında çeşitli faktörleri dikkate alarak en iyi veya en uygun çözümü belirlemek için kullanılır (Köksalan vd., 2011).

ÇKKV yöntemleri, yer seçimi, planlama, yatırım ve lojistik gibi çeşitli alanlarda karar almayı gerektiren süreçleri desteklemek amacıyla geniş bir uygulama alanına sahiptir (Thill, 2019). Bu nedenle, birden fazla seçeneğin değerlendirilmesi gereken mekânsal karar alma süreçlerinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır (Malczewski, 1999).

Uygun yer seçimi kararı genellikle bir dizi ana kriter ve bu ana kriterlere bağlı alt kriterlerin belirlenmesiyle başlar. Bu kriterler, genellikle karar vericinin öncelikleri ve hedefleri doğrultusunda seçilmektedir. Ana kriterler, genellikle kararın temel belirleyicilerini temsil ederken, alt kriterler bu ana kriterleri daha ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. CBS bu gibi yer seçim çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. CBS, yerleşim yerleri, coğrafi koşullar, ulaşım ağları, çevresel etkiler gibi çeşitli faktörleri haritalar, grafikler ve analitik yöntemlerle birleştirme yeteneğine sahiptir (Can & Yücel, 2019).

CBS kullanılarak kriterlere uygun gerçekleştirilen konumsal analizler, konumsal verileri görselleştirme ve anlama kapasitesi sayesinde karar verme süreçlerine önemli bir katkı sağlamaktadır. Özellikle ÇKKV yöntemleriyle birleştirildiğinde, bu analizler daha kapsamlı ve bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Urfalı & Eymen, 2021).

ÇKKV yöntemlerinin farklı çeşitleri mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları, mekânsal tabanlı çok kriterli karar alma gereksinimlerini karşılamak amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçlarıyla entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, belirlenen amaçlara yönelik analizlerin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanırken, elde edilen sonuçların doğruluğunu ve netliğini artırmaktadır (Greene ve diğerleri, 2011; Pereira ve diğerleri, 1993).

Konumsal Çok Kriterli Karar Verme (K-ÇKKV), geleneksel ÇKKV tekniklerinden farklıdır çünkü coğrafi konumu içerir ve her bir alternatifin hem coğrafi konumu hem de her kriter için değeri gerektirir. Bu nedenle, konumsal karar problemlerinde CBS ve ÇKKV teknikleri bir araya getirilerek kullanılmaktadır. Bu entegrasyon, karar verme sürecine coğrafi konumunun önemli olduğu durumlarda daha fazla içgörü sağlamaktadır (Öztürk & Kılıç, 2010).

Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel analiz çalışmalarında sıklıkla kullanılan CBS, çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri işleyerek kriterler arasındaki bağımlılıkları ele alıp değerlendirme yeteneğine sahiptir. CBS, veriler arasındaki bağlantıları kurarak kapsamlı sonuç analizleri yapmayı mümkün kılmaktadır (Urfalı & Eymen, 2021).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile en çok entegre edilen ve en yaygın kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri arasında Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (WLC) ve İdeal Sonuç Odaklı Çok Ölçütlü Karar Verme (TOPSIS) bulunmaktadır (Garni ve diğerleri, 2017). Bu yöntemlerden hangisinin seçileceği, saha koşulları ve ulaşılmak istenen hedeflerin oluşturduğu problemler doğrultusunda belirlenmektedir.

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum yeri tespiti çalışmaları, çok karmaşık ve analitik bir mekânsal karar alma problemi oluşturmaktadır. Bu tür problemlerin çözümü için ÇKKV yöntemleri, özellikle coğrafi konum, çevresel etkiler, ekonomik faktörler ve sosyal etkileşim gibi birçok kriterle dayalı karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi santrallerinin optimal konumlarını belirleme ve kurulum yerlerini seçme aşamalarında CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri önemli avantajlar sağlamaktadır (Garni vd., 2017).

AHY, ÇKKV yöntemlerinden biri olarak çeşitli alanlarda yaygın bir şekilde kullanılan etkili bir karar analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemin avantajları arasında akılcı bir yaklaşım sergilemesi, var olan problemleri hızlıca çözmeye odaklanması, problem içerisinde yer alan kriterler arasındaki öncelikli ve baskın unsurları belirleme ve deneyimleme imkânı sunması, problemi, etkileri ve ilişkileri ile birlikte bütüncül olarak ele alabilme yeteneği yer almaktadır (Güler, 2016; Saaty, 1994).

Yapılan bu çalışmada, RES yer seçiminde literatürde en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan ve araştırma amacına en uygun yöntem olarak belirlenen Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır.

1.7.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), karmaşık problemlerin çözümünde matematiksel ve psikolojik temellere dayanan bir yöntemdir. Bu süreç, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olarak, 1980 yılında Saaty tarafından geliştirilmiştir (Forman vd., 2001).

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), objektif ve sübjektif değerlendirme faktörlerini dikkate alabilen ve sıklıkla tercih edilen çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. AHY, fiziksel ve sosyal olguların bir arada değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Saaty & Vargas, 2001). Anlaşılabilirliği yüksek ve basit matematiksel hesaplamalara dayalı olması nedeniyle, AHY geniş ilgi görmüş ve pratikte birçok farklı alanda uygulanmıştır (Çanlı & Kandakoğlu, 2007). Özellikle CBS tabanlı yer seçim çalışmalarında AHY sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir.

AHY'nin aksiyomları,

Analitik Hiyerarşi Yöntemi'nin dört temel aksiyomu olan karşılıklılık, homojenlik, bağımsızlık ve beklentiler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Saaty, 1986).

➤ Karşılıklı olma aksiyomu:

İkili karşılaştırmalarda, eğer A kriteri B kriterinden k kat daha önemli olarak değerlendirilirse, B kriterinin de A kriterine göre $1/k$ kat daha önemli olduğu varsayılmalıdır. Bu koşulun ihmal edilmesi, problemin ya da önceliklerin yeterince net olmadığını veya doğru bir şekilde ifade edilmediğini gösterir.

➤ Homojenlik aksiyomu:

Benzer unsurların karşılaştırılması gerekliliğine vurgu yapılmaktadır. Belirli düzeylerde kıyaslanamaz unsurların varlığı, tutarsızlıklara yol açabilir. Bu nedenle, hiyerarşik bir yapı oluşturulurken karşılaştırılan unsurlar arasında büyük farklılıklar olmamalı; gerekirse, hiyerarşide alt seviyeler oluşturulmalıdır.

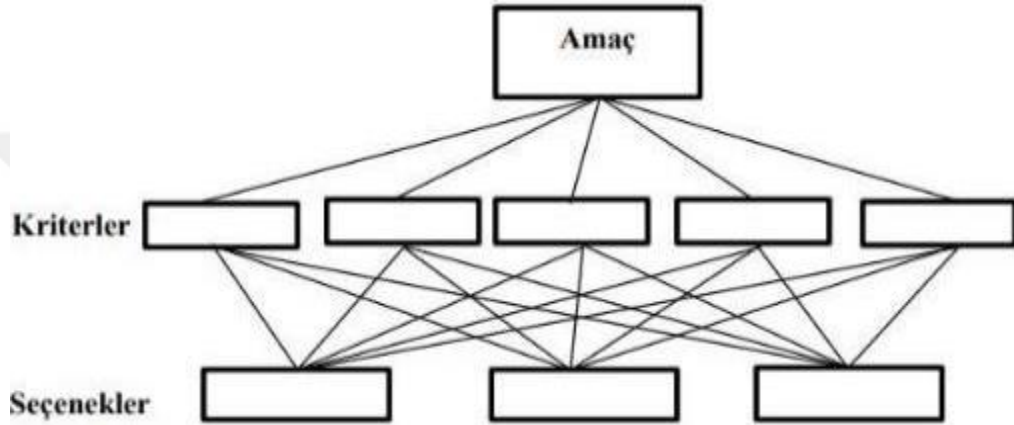
➤ Bağımsızlık aksiyomu:

Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak oluşturulan hiyerarşik yapı genellikle en üst seviyede bir hedef içerir. Tercihlerin belirlendiği durumda, kriterler, alternatiflerin özelliklerinden bağımsız olarak ele alınır.

➤ Beklentiler Aksiyomu:

Oluşturulan hiyerarşik yapı, karar vericinin beklentilerini karşılayacak ve problemi doğru bir şekilde yansıtabilecek şekilde tasarlanmalıdır. İstenen sonuçlara ulaşabilmek için, tüm kriterlerin hiyerarşi içinde uygun şekilde yer aldığından emin olunması önemlidir.

Karar problemleri için, problemin hedeflerini, kriterlerini ve alternatiflerini tanımlayan hiyerarşik yapı oluşturulması gerekmektedir (Şekil 27). Bu süreç üç aşamadan oluşur. Öncelikle ilk olarak, hedef belirlenir ve bu hedef doğrultusunda herhangi bir kıyaslama yapılmaz. İkinci aşamada, tüm kriterler göz önüne alınarak, ikili karşılaştırmalar yoluyla önem dereceleri belirlenir. Üçüncü aşamada ise, her bir kriter için alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir ve bu karşılaştırmalardan önem yüzdeleri hesaplanır (Pala, 2013).



Şekil 27. AHY hiyerarşi modeli (Pala, 2013)

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra, ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak bu yapıyı oluşturan öğelerin ağırlıkları belirlenir. Ayrıca, AHY ile sonuçlarda olası bir tutarsızlık durumunda, sonuçların tutarlılığı test edilebilir (Saaty, 2012).

AHY işlemleri aşağıdaki 4 adımda gerçekleştirilmektedir:

Adım 1: Karar verme probleminin tanımının yapılması

Adım 2: Kriterlerin belirlenme işlemi

Adım 3: Hiyerarşik yapının oluşturulmasının gerçekleştirilmesi

Adım 4: Kriterler arasında karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Kriterler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutunda kare bir matristir ve aynı kriterlerin satır ve sütunlarda sıralandığı, ikili karşılaştırmalarla oluşturulan bir yapıdır. Bu matrisin köşegen elemanları, aynı kriterlerin kendileriyle karşılaştırıldığı için 1 olarak belirlenir. A karşılaştırma matrisi, kriterler arası karşılaştırmalardan elde edilen sonuçları içerir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHY) kapsamında kriterler karşılaştırılırken, Saaty'nin önerdiği göreceli önem ölçeği kullanılır (Tablo 3).

Tablo 3. Analitik hiyerarşi yöntemi puanlandırma ölçeği (Saaty, 1994)

Temel Ölçek (Satır ve Sütun)	Eşit Önem	Ara Değer	Orta Dereced e Daha Önemli	Ara Değer	Güçlü Dereced e Daha Önemli	Ara Değer	Çok Güçlü Dereced e Daha Önemli	Ara Değer	Son Derece Daha Önemli
Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9

n kriter için, i satır ve j sütun olduğu bir ikili karşılaştırma matrisinde, A ile gösterilen matrisin a_{ij} elemanı, karşılaştırılan unsurların birbirlerine göre önem derecelerini ifade eder. İkili karşılaştırma matrisinin yapısı Eşitlik 1'de verilmiştir (Durdudiler, 2006).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada $A = (a_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ ve olmak üzere,
Eğer $a_{ij} = a$ ise $a_{ji} = 1/a$ dır (Durdudiler, 2006).

Adım 5: Karar verme probleminin tanımlanması ve kriterlerin belirlenmesi aşamasının sonucunda, ikili karşılaştırma matrisine dayanarak Saaty'nin özvektör yöntemiyle ağırlık vektörü hesaplanır. Bu hesaplama, kriterlerin normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisindeki elemanlarının, A karşılaştırma matrisindeki ilgili sütun toplamalarına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Öncelik vektörü (W) ise, normalizasyon matrisinin her satırının toplamının kriter sayısına bölünmesi sonucu elde edilir (2). Tutarlılık kontrolü yapılarak istenilen düzeye ulaşıldığında, faktörlerin ağırlıkları kesinleştirilir.

$$W_i = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) / n \quad (2)$$

Adım 6: Kriterlerin karşılaştırılmasındaki tutarlılık, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kapsamında iki şekilde değerlendirilmektedir. Birincisi, hiyerarşinin oluşturulması sırasında öğelerin alaka düzeylerine göre doğru şekilde gruplandırılmasıyla tutarsızlıkların

önlenmesidir. İkincisi ise, hiyerarşi kurulduktan sonra yapılan ikili karşılaştırmalarda oluşabilecek hataları belirlemeye yönelik bir ölçü olarak kullanılmasıdır. Tutarlılık oranının (Consistency Ratio, CR) hesaplanması, hem mantıksal hem de sayısal hataların önlenmesine yardımcı olur (Saaty, 2012). CR, kriterler arasındaki ikili karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduğunu ölçmek için kullanılır. Tutarlılık oranı (CR), tutarlılık göstergesinin (Consistency Index, CI) kriter sayısına bağlı olarak değişen tesadüfilik göstergesine (Random Index, RI) bölünmesiyle elde edilir (Durdudiler, 2006).

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

Tutarlılık göstergesi'nin hesaplanması ise eşitlik (4) de gösterilmiştir (Durdudiler, 2006).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Bu bağlamda, A matrisinin en büyük özdeğeri, belirli bir formülle hesaplanır (Cabala, 2010).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (5)$$

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

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.50	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59.

Hesaplanan tutarlılık oranı değerinin 0.10'dan düşük olması, yapılan işlemlerin tutarlı olduğunu gösterir. Ancak, bu oranının 0.10'dan büyük çıkması sonucu yargıların tutarsız olduğunu belirtir ve bunun sonucunda gerekli düzeltmeler yapılmalı ve süreç yeniden değerlendirilmelidir (Malczewski, 1999).

Adım 7: Her seçeneğin AHY yöntemiyle elde edilen değeri, (6) numaralı formülle hesaplanır (Triantaphyllou, 2013).

$$A_{AHY} = \sum_j^n a_{ij} w_j \quad (6)$$

Burada, kriter içindeki seçeneğin normalleştirilmiş değeri veya seçeneğin diğer alternatiflere göre göreceli önemi söz konusudur (Öztürk & Batuk, 2010). Elde edilen değerler tutarlı olduğunda, en yüksek değere sahip alternatif en iyi seçenek olarak seçilir (Özcan vd., 2017).

Yapılan tez çalışmasında AHY işlem adımları uygulanmış problemin çözümü için kullanılan faktörlerin önem dereceleri karşılaştırılmıştır. Bu süreçte, kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve ağırlıklı çakıştırma işlemi başlatılmıştır. Faktör ağırlıkları belirlendikten sonra, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak sonuçların uygunluğu değerlendirilmiştir.

1.8. CBS ile RES Yer Seçimi İçin Mevcut Çalışmalar

Son yıllarda önemli yatırımlar gerçekleştirilen rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında rüzgâr enerjisinden en verimli şekilde yararlanabilmek adına CBS tabanlı çalışmalarla en uygun lokasyonların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Lokasyonu belirleme işlemi birçok kriterle bağlı olduğundan çalışmanın yürütülmesinde ÇKKV yöntemleri içerisinde AHY seçilmiş ve CBS ile entegre edilecek bir yöntem tercih edilmiştir. Yapılan çalışmaya benzer diğer farklı çalışmalar çeşitli sayıda kriter (faktör) içermiş olsa da, en düşük sayıda kriterlerin bulunduğu çalışmalarda bile belirli kriterlerin mutlaka yer aldığı gözlemlenmiştir. Bunlar içerisinde rüzgar hızı, rüzgar kapasite faktörü, rüzgar güç yoğunluğu verileri, enerji nakil hatları ve trafo merkezleri verileri, eğim bilgisi, karayolları verisi ve yerleşim alanları verisi yer alabilir.

Literatürde RES'ler için CBS tabanlı en uygun yer analizi yapılan çalışmalar incelenerek değerlendirilmiştir. Yapılan benzer çalışmalar incelenerek bir kriter matrisi oluşturulmuştur (Tablo 5).

Artun (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Osmaniye ilindeki rüzgâr enerji santrali (RES) yatırım alanlarının potansiyeli belirlenmiştir. Bu amaçla, CBS, AHY ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır. Kriterler belirlenmiş bunun sonucunda bu

kriterlerin ağırlıkları AHY yöntemi ile hesaplanmış ve elde edilen ağırlık değerleri, ArcGIS yazılımındaki çok kriterli değerlendirme yöntemi ile birleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, arazi uygunluk endeksi haritalarına göre, çalışma alanının %14,30'u RES yatırımları için uygun olarak değerlendirilmiştir.

Bennui vd. (2007), Tayland'da büyük rüzgâr türbinleri kurulumunda etkili bir alan seçimi için CBS ve ÇKKV yöntemiyle çalışma uygulamıştır. CBS, kullanıcının alan seçimi için hangi kriterlerin kullanılacağı ve etrafında hangi tampon mesafelerin kullanılacağını belirlemesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Kriterler, rüzgâr hızı, eğim, yükseklik, yerleşim alanına, köy yerleşim yerine, havaalanına, kültürel bölgelere, yola, akarsuya olan uzaklık olarak ele alınmıştır. Kriterler ağırlıklarına göre değerlendirildiğinde dağlık bölgelerde, son derece uygun ve yüksek uygun alanların bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, Tayland'ın rüzgâr enerjisi haritası ile de uyumludur.

Özşahin ve Kaymaz (2013), Rüzgâr Enerji Santralleri için Hatay ilinde en uygun yerlerin CBS yardımıyla ve coğrafi faktörler kapsamında sorgulanmasını hedeflemiştir. Araştırmada farklı kaynaklardan elde edilen sayısal veriler ve farklı haritalar kullanılmış ve 15 farklı kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler ÇKKV esas çerçevesinde ArcGIS programında değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, Hatay ilinin RES yapımı için orta (%45.19) ve iyi (%25.64) düzeyde duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Memduhoğlu vd. (2014), Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa kampüsünü RES kurulum yeri olarak seçmiş ve CBS ile ÇKKV yöntemlerini kullanmıştır. Karar verici için kriterler belirlenmiş ve AHY ile ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Ele alınan ölçütler CBS ortamında değerlendirilmiş olup, verilerin düzenlenmesi, görüntülenmesi ve analiz işlemleri için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Sonuç olarak Davutpaşa kampüsünde rüzgâr türbini için en uygun yer kampüsün orta kesimi olarak belirlenmiştir.

Ekiz ve arkadaşları (2021), RES inşası için CBS ortamında çeşitli faktörleri dikkate alarak en uygun yerlerin belirlenmesine yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırma sürecinde, önceki çalışmalar referans alınarak RES yer seçimi üzerinde etkili olan kriterler belirlenmiştir. Toplamda 13 kriter, 6 puan sınıfına ayrılmıştır. Uygun olmayan puan sınıfındaki alanlar diğer sınıflardan ayrıştırılarak bir maske alanı haritası oluşturulmuştur. Uygun bölgelerin sınıflandırılması amacıyla ağırlıklı çakıştırma yöntemi uygulanmıştır. Sonuç olarak Kocaeli ili için RES uygunluk haritaları oluşturulmuştur.

Arca ve Çıtıroğlu (2020), çalışmalarında Karabük ili Yenice ilçesinde uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Yapılan analizlerde çeşitli kriterler

değerlendirilmiştir. ÇKKV çözümünde AHY ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, uygun alanların farklı duyarlılık seviyelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle, Yenice ilçe merkezindeki çalışma alanında, rüzgâr enerji santrali kurulumu için uygun bölgelerin orta duyarlılık özelliği gösterdiği ve bu alanların ilçe merkezinin doğu ve güney kısımlarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Urfalı ve Eymen (2021), Kayseri ilinde RES için yer seçimini etkileyen faktörleri ÇKKV yöntemi ile incelemiş ve bu çalışma kapsamında 12 kriter belirlemiştir. Belirlenen faktörler, meteorolojik, topografik ve çevresel olarak üç ana kategoriye ayrılmıştır. AHY kullanılarak, kriterlerin ağırlıkları ve birbirlerine göre önem dereceleri belirlenmiştir. AHY yöntemi ile elde edilen ağırlıklar ve CBS kullanılarak üretilen konumsal analiz haritaları birleştirilerek, Kayseri ilinde RES kurulumuna uygun potansiyel alanlar belirlenmiştir.

Yılmaz vd. (2023), Bursa ilinde Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyel Haritası (REPA) doğrultusunda rüzgar enerjisi santrali kurulumu için uygun bölgeleri belirlemek amacıyla, ÇKKV yöntemlerinden AHY kullanmış ve bu yöntemi CBS ile entegre etmiştir. Bursa ilinin Gemlik ilçesinde, rüzgar hızının yüksek olduğu ve santral kurulumuna uygun şartları taşıdığı tespit edilmiştir. Santral kurulum analizinde yedi ana kriter belirlenmiştir. Bu kriterler, AHY yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve uygunluk sınıflarına göre bir sonuç haritası oluşturulmuştur. Çalışma sonuçları, mevcut rüzgar enerji santrali sahalarının, elde edilen haritada orta derece uygunluk bölgesinde dağıldığını göstermiştir. Bu bulgu, kullanılan AHY analizinin tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Can ve Yücel (2019), Çanakkale ilinde rüzgâr enerji santral kurulumu için uygun bölgelerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada öncelikle türbin kurulamayacak alanlar belirlenmiş da sonra kriterler seçilmiştir. Uygun olmayan alanların elenmesinin ardından, belirlenen kriterlerin önem dereceleri AHY kullanılarak hesaplanmıştır. Veriler ArcGIS yazılımında düzenlenmiş ve mekânsal analizler için hazırlanmıştır. Mekânsal analiz sonuçlarına göre, ormanlık alanların da dahil olduğu uygun bölgelerin %11,71'i 1-4 puan aralığında değerlendirilirken, %88,29'u 5-8 puan aralığında yer almıştır.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen çalışmalarda ve literatürdeki diğer benzer çalışmalarda ele alınan kriterler Tablo 5' de özetlenerek gösterilmiştir.

Tablo 5. RES yer seçiminde CBS tabanlı çalışmalarda kullanılan faktörlere ait literatür çalışması matrisi

	Arca ve Çıtıroğlu (2020)	Demir (2022)	Can ve Yücel (2019)	Ekiz vd. (2021)	Özşahin ve Kaymaz (2013)	Urfalı ve Eymen (2021)	Yılmaz vd. (2023)	Memduh oğlu vd. (2014)	Eroğlu (2014)	Nişancı vd. (2010)	Bennui vd. (2007)	Artun (2020)	Konurhan ve Başaran (2023)
Rüzgar Hızı	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Rüzgar Güç Yoğunluğu		✓			✓			✓					✓
Eğim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Yükseklik	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓
Bakı	✓				✓		✓			✓			
Yola Uzaklık	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Fay Hattına Uzaklık	✓		✓	✓	✓							✓	✓
Enerji İletim Hattına Uzaklık		✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓
Akarsuya Uzaklık	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Göl-Baraj Uzaklık			✓	✓									✓
Litoloji	✓				✓				✓				✓
Trafoya Uzaklık	✓			✓	✓	✓							
Arazi Kullanımı	✓	✓			✓	✓	✓		✓				✓
Yerleşim Alanına Uzaklık			✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Milli Park-Askeri Alana Uzaklık			✓	✓		✓				✓	✓		
OrmanAlanına Uzaklık			✓						✓				
Kapasite Faktörü			✓		✓	✓						✓	✓
Yer Şekli		✓			✓								
Arazi Pürüzlük		✓			✓								
Kuş Göç Yolları				✓				✓	✓				✓
Havaalanına Uzaklık				✓		✓		✓		✓	✓		
Radarlara Uzaklık								✓					
Gürültü								✓					

Tablo 5'in devamı

	Arca ve Çıtıroğlu (2020)	Demir (2022)	Can ve Yücel (2019)	Ekiz vd. (2021)	Özşahin ve Kaymaz (2013)	Urfalı ve Eymen (2021)	Yılmaz vd. (2023)	Memduh oğlu vd. (2014)	Eroğlu (2014)	Nişancı vd. (2010)	Bennui vd. (2007)	Artun (2020)	Konurhan ve Başaran (2023)
Flora-Fauna									✓				
Rekrasyon									✓				
Heyelan									✓				
Topoğrafya										✓			
Bitki Örtüsü													✓
Liman										✓			
Nüfus Yoğunluğu													✓
Maliyet													✓

1.9. RES Kurulumu İçin Yer Seçim Kriterleri

Literatür çalışmalarında RES kurulumu için değerlendirilen kriterler incelenmiş ve her biri ayrıntılı olarak açıklanmıştır:

- Rüzgâr hızı ve rüzgar güç yoğunluğu, Rüzgar enerji santrallerinin kurulumu sırasında, bu faktörler göz önünde bulundurularak ekonomik ve çevresel analizler gerçekleştirilir. Bu analizler sonucunda, santralin faydalı olup olmadığı değerlendirilmektedir (Yıldırım vd., 2012).
- Rüzgâr kapasite faktörü, rüzgâr hızındaki değişimle paralel olarak dağılan bir kriterdir.
- Yer şekilleri, rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğunu genel olarak etkiler. Ovalar, platolar, denizler ve göller gibi düz yüzeylerde bu değerler artış gösterirken, dağlar, tepeler ve sırt hatlarında da benzer bir artış gözlemlenir. Ancak, dağların ve tepelerin dip kısımlarında bu değerlerin azaldığı belirlenmiştir (Koç, 1998).
- Arazi pürüzlülüğü, şehirler ve yerleşim alanları gibi faktörler, rüzgârın hızını ve yoğunluğunu azaltarak RES'ler için uygunluk sorunlarına neden olabilir.
- Bakı, bir bölgenin yönünü belirleyen bir özelliktir ve hakim rüzgar yönüne bakan yamaçlar, rüzgâr enerji santralleri RES için uygun alanlar olarak kabul edilmektedir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Bununla birlikte, bakının rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu ve üretimi üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığı düşünülmektedir.
- Yükseklik, rüzgâr hızı yüksekliğe göre artma veya azalma göstermektedir.
- Eğim, rüzgâr enerji santralleri (RES) kurulumu için en uygun olanı düşük ve orta eğim değerleri olarak belirlenmiştir (Özşahin ve Kaymaz, 2013).
- Yola uzaklık, ulaşım imkanlarının kolay ve rahat olduğu alanlar, RES kurulumu için tercih edilen bölgeler olarak değerlendirilir.
- Litolojik yapı, rüzgâr enerji santralleri (RES) için yer seçimini etkileyen kritik bir faktördür. RES'lerin, sağlam kayalara sahip zeminlerde kurulması gerekmektedir (Mora & Vahrson, 1994).
- Enerji iletim hattı, RES kurulumu sırasında enerji iletim hatları üzerine inşa edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Baban vd., 2001). Bununla birlikte, enerji nakil hatlarına uzak bölgelerde kurulumun ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle çok uzak alanlar genellikle tercih edilmemektedir.

- Arazi kullanımı, rüzgâr enerji santralleri (RES) yer seçimi için önemli bir kriterdir. Yerleşim alanları, yeşil alanlar ve su bölgeleri, RES kurulumunda uygun olmayan bölgeler arasında değerlendirilmektedir.
- Fay hattına uzaklık, aktif fay hatlarına yakınlık arttıkça deprem riskinin de artmasından dolayı önemli bir kriter haline gelmektedir (Arca & Çıtıroğlu, 2020).
- Korunan alanlara uzaklık, kültürel miras, doğal varlıklar ve milli parklar gibi bölgeleri kapsar. Bu bölgeler, RES kurulumu için uygun olmayan bölgeler olarak kabul edilmektedir. Literatürde, korunan alanlara en az 500 metre uzaklıkta yapılan RES kurulumları genellikle uygun olarak değerlendirilmektedir.
- Havaalanına uzaklık güvenlik bakımından değerlendirildiğinde RES sahalarının havaalanlarına en az 3 km mesafede olmalıdır (Bennui vd., 2007).
- Akarsuya uzaklık, akarsuya yakın bölgeler, genellikle yoğun arazi kullanımı, tarım, bitki örtüsü ve yerleşim alanları ile karakterize olduğundan, rüzgâr enerji santralleri (RES) kurulumu için genellikle uygun görülmemektedir (Özşahin ve Kaymaz, 2013).
- Yerleşim alanlarına uzaklık, sosyal kabul açısından önemlidir. Rüzgâr türbinlerinin gürültülü olması, ışık yansıması, görsel etkileri nedeniyle, bu türbinlerin yerleşim bölgelerinden uzakta yerleştirilmesi önemlidir.
- Kuş göç yollarına uzaklık, rüzgar türbinlerinin dönen kanatlarının kuşların görsel algısını bozarak çarpma riskini artırması nedeniyle önemlidir. Bu riski azaltmak için, rüzgar enerji santralleri (RES) kuş göç yollarından belirli bir mesafede kurulmalıdır (Aydin vd., 2009). Kuş göç yollarına 2500 metre ve daha fazla uzaklık, kurulum için son derece uygun olarak değerlendirilirken, 0-500 metre arasındaki mesafeler uygun bulunmamaktadır (Aitzhanov, 2016).

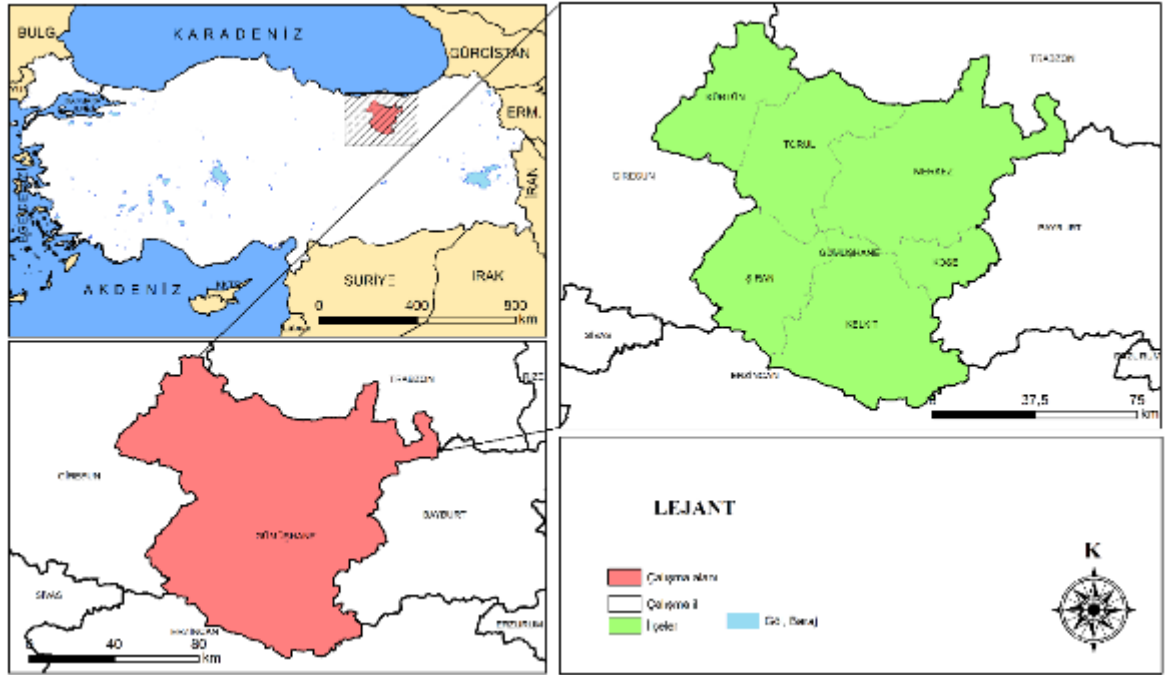
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Araştırma Hipotezi

Bu tez çalışması kapsamında Gümüşhane ilinde rüzgâr enerji santral noktalarının en uygun olacak şekilde kurulum noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda tezin ana konusunu rüzgâr enerji santralleri kurulumu için en uygun yerlerin belirlenmesinde izlenilecek yöntemler, ele alınacak en uygun kriterlerin belirlenmesi ve araştırılması olmaktadır. Tezin hipotezi olarak; Türkiye’de ve Dünya’da enerji kaynakları içerisinde önemli bir yeri olan rüzgâr enerjisinin Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı analizler ve haritalar aracılığı ile santral kurulumunda en uygun lokasyonların ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHY ile ağırlıklandırılıp Gümüşhane ili bazında uygun kurulum bölgelerinin tanımlanması olarak belirlenmiştir.

2.2. Çalışma Bölgesi

Bu çalışmanın konusu için uygulama bölgesi olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Gümüşhane ili tercih edilmiştir. Gümüşhane, doğuda Bayburt, batıda Giresun, kuzeyde Trabzon ve güneyde Erzincan illeriyle komşudur. İl, 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ve 39° 45' - 40° 50' kuzey enlemleri arasında yer almakta olup, yüzölçümü 6.575 kilometrekare ve denizden yüksekliği ortalama 1210 metredir. 2020 yılı itibarıyla Gümüşhane'nin arazi kullanımında, %23 tarım arazisi, %26 çayır ve mera, %38 orman ve fundalık, ve %13 tarım dışı alanlar bulunmaktadır (GÇŞİM, 2021).



Şekil 28. Çalışma bölgesi olan Gümüşhane ilini gösteren harita

Gümüşhane ili, yeryüzü şekilleri açısından, güney kesiminde Köse, Kelkit ve Şiran ilçelerinin bulunduğu yüksek plato özellikleri ile karakterize edilirken; kuzey kesiminde ise Merkez, Torul ve Kürtün ilçelerinin yer aldığı daha engebeli bir yapı sergilemektedir. Kuzey bölgesinde, dar ve derin vadilerle ayrılmış yüksek dağlar belirgin bir özelliktir ve ildeki ünlü yaylalar da bu bölgede yer almaktadır. İl sınırları içerisindeki en yüksek nokta 3.331 metre, en düşük nokta ise 602 metredir. Arazinin %60'ını dağlar, %29'unu platolar ve %11'ini ovalar oluşturmaktadır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2024).



Şekil 29. Gümüşhane il merkezinin 3 Boyutlu Google Earth Görüntüsü (URL-7, 2024)

2.3. Konumsal Veritabanı Tasarımı

Bu tez çalışmasında rüzgar enerji santrali en uygun kurulum bölgelerinin tespiti için tercih edilen kriterler, yapılan literatür çalışmalarından yola çıkılarak belirlenmiştir. Bu bağlamda en uygun kurulum noktalarının kriterlerinin belirlenmesinde özellikle literatür bölümünde bahsedilen çalışmalar ve yayınlar etkili olmuştur. Rüzgâr enerji santrali kurulum aşaması için kriterler belirlendikten sonra bu kriterler ile birlikte CBS ortamında uygulanacak yöntemlerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak rüzgâr enerji santrali kurulumu için en uygun noktaların belirlenmesinde rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükseklik, vb kriterler dikkate alınır. Bu kriterlerin temin edilme yöntemleri ve uygulama şekilleri literatür taraması ile belirlenmiştir. Çalışmada gerekli veriler ve temin yöntemleri Tablo 6'da sunulmuş, veriler ArcGIS 10.8 yazılımına aktarılmış ve gerek duyulan kesme ve koordinat sistemi dönüşümü işlemleri yapılmıştır. Vektör veriler raster formata dönüştürülmüş ve benzer çalışmalar referans alınarak uygunluk sınıflarına ayrılmıştır.

Tablo 6. Kullanılan parametrelere ait harita katmanları ve metaverileri

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)
Arazi Kullanımı	Vektör	Doğrudan	Shape (polygon)	CORINE 2018 Url (https://land.copernicus.eu/)
Yükseklik	Raster	Doğrudan	Piksel (27*27 m)	SRTM Url (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Enerji Nakil Hattı	Vektör	kml -shape dönüşümü	Kml (line)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Eğim	Raster	Slope Analizi (DEM üzerinden)	Piksel (27*27 m)	SRTM Url (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Yola Uzaklık	Vektör	Doğrudan (Euclidean Distance)	Shape (line)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Fay Hattına Uzaklık	Vektör	Sayısallaştırma	Shape (line)	MTA Url (https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari)
Akarsuya Uzaklık	Vektör	Doğrudan (Euclidean Distance)	Shape (line, polygon)	Openstreetmap Url (https://www.openstreetmap.org/)
Yerleşim Alanına Uzaklık	Vektör	Doğrudan (Euclidean Distance)	Shape (polygon)	CORINE 2018 Url (https://land.copernicus.eu/)

Yapılan çalışmada kullanılan parametreler Tablo 6’da gösterilmiştir. Verilerin bir kısmı kaynağından doğrudan elde edilirken, diğer kısmı sayısallaştırma işlemi gerçekleştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan DEM verileri 27 metre çözünürlüğe sahiptir. Yükseklik, eğim haritaları bu veri üzerinden oluşturulmuştur. Kullanılan açık kaynak verileri koordinat sistemi coğrafi koordinat sistemine sahiptir. Ancak sonrasında dönüştürme işlemi yapıp çalışma içerisinde verilerin entegre bir şekilde uygun doğrulukta sonuçlar verebilmesi adına tüm haritalar WGS-84 Zone 37 UTM 6 koordinat sisteminde çalışılmıştır.



Şekil 30. Coğrafi veritabanı tasarım modeli

2.4. Coğrafi Veritabanı Oluşturulması

Coğrafi veri tabanı; çizgi ve poligon özellikleri gösteren 9 adet kriteri kapsamaktadır. Tasarlanan coğrafi veritabanı WGS-84 Zone 37 UTM 6 koordinat sisteminde oluşturulmuştur. Coğrafi Veri Tabanı oluşturmak için çalışmalar ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Kriterler'den arazi kullanımı, enerji nakil hattına uzaklık, yola uzaklık, fay hattına uzaklık, akarsuya uzaklık, yerleşim alanına uzaklıklar vektör veri oldukları için Euclidian Distance yöntemiyle raster verilere dönüştürülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, vektör veya raster verilerle yapılan analizler sonucunda, her bir pikselde kaynak veriye olan uzaklığı ölçen bir raster katman oluşturur. Bu yöntemle elde edilen veriler, uzaklıkları dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmış ve raster haritalar olarak düzenlenmiştir. Elde edilen haritalar, Gümüşhane il sınırı verisi kullanılarak kesilmiştir. Euclidean Distance işlemi sonrası veriler raster formatında olduğundan, yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanabilmiştir. Ancak, rüzgar hızı, yükseklik ve eğim verileri için mesafeye ihtiyaç duyulmadığından, yalnızca yeniden sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Weighted Overlay yöntemi kullanılacağı için, vektör veriler Euclidean Distance yöntemiyle raster formatına dönüştürülmüştür.

2.5. AHY ile Ağırlıkların Belirlenmesi

Çalışmada en uygun yer seçimine etki eden faktörler belirlenmiş, bu parametrelere ait harita verileri elde edilmiştir. Ardından bu faktörlerin her birinin yer seçiminde ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi için faktörlerin ağırlıklarının tespit edilmesi işlemine geçilmiştir. Bu amaçla ÇKKV tekniklerinden AHY'nin kullanılması öngörülmüştür. AHY, başarılı sonuçlar ve karmaşıklığının az olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu çalışmada, rüzgâr enerji santrallerinin en uygun yerlerini belirlemek için 9 farklı kriter kullanılmıştır. AHY, değişkenler arasında ilişki kurarken karmaşıklığa neden olmadan etkili sonuçlar sunduğundan, birçok uygulamada öncelikli olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada AHY uygulanmasında parametrelerin önem derecesini gösteren karşılaştırmalarda Arca ve Çıtıroğlu (2020) ile Can ve Yücel (2019) çalışmasındaki ağırlık verme puanlarından faydalanılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Parametrelerin önem derecesini gösteren karşılaştırmalarda ağırlık verme puanları (Arca & Çıtıroğlu, 2020; Can & Yücel, 2019)

Parametreler	Ağırlık (Ortalama)
Rüzgar Hızı	0.28
Arazi Kullanımı	0.24
Yükseklik	0.13
Trafoya Uzaklık	0.05

Tablo 7'nin devamı

Parametreler	Ağırlık (Ortalama)
Eğim	0.05
Yola Uzaklık	0.04
Fay Hattına Uzaklık	0.02
Akarsuya Uzaklık	0.02
Yerleşim Alanına Uzaklık	0.05

2.6. AHY ile İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması ve Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi

AHY ikili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra karar verme aşaması kişinin inisiyatifine bağlıdır. Bu çalışmada ele alınan faktörler daha önce yapılmış benzer çalışmalar sonucu elde edilen benzer veriler ve deneyimli kişilerin bu yöntemle ilgili yaptığı çalışmalar neticesinde elde edilen verilerden yararlanılarak ikili matris sistemi oluşturulmuştur (Tablo 8). İkili karşılaştırma değerleri Saaty'ye göre ortaya koyulan ikili karşılaştırma değerlendirme ölçeğine göre puanlanmaktadır (Saaty, 1986). Sonrasında verileri ikili karşılaştırma matrisinde kare matris oluşturacak biçimde yerleştirmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisinde parametrelerin köşegen elemanları 1 değerini alır. Karşılaştırma matrisinin sonucuna göre en yüksek ağırlığa sahip olan kriterler sırasıyla rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükseklik, trafo merkezine uzaklık, eğim, yola olan mesafe, fay hatlarına uzaklık, akarsulara uzaklık ve yerleşim alanlarına uzaklık olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. Rüzgar enerji santrali kurulumunda etkili olan faktörlerin ikili karşılaştırma matrisi

Parametreler	Rüzgar Hızı	Arazi Kullanımı	Yükseklik	Trafoya Uzaklık	Eğim	Yola Uzaklık	Fay Hattına Uzaklık	Akarsuya Uzaklık	Yerleşim Alanına Uzaklık
Rüzgar Hızı	1	2	4	6	8	7	7	7	3
Arazi Kullanımı	1/2	1	3	6	7	7	7	7	7
Yükseklik	1/4	1/3	1	4	5	5	6	5	1/2
Trafoya Uzaklık	1/6	1/6	1/4	1	3	1/2	3	2	1
Eğim	1/8	1/7	1/5	1/3	1	2	4	3	1/5
Yola Uzaklık	1/7	1/7	1/5	2	1/2	1	2	2	1/3
Fay Hattına Uzaklık	1/7	1/7	1/6	1/3	1/4	1/2	1	2	1/3
Akarsuya Uzaklık	1/7	1/7	1/5	1/2	1/3	1/2	1/2	1	1/7
Yerleşim Alanına Uzaklık	1/3	1/7	2	1	1/5	3	3	7	1

Karşılaştırma matrisi oluşturulup kriterlere değer verildikten sonra matristeki elemanların her biri kendi sütun toplamına bölünerek normalizasyon matrisi elde edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Normalizasyon matrisi

Parametreler	Rüzgar Hızı	Arazi Kullanımı	Yükseklik	Trafoya Uzaklık	Eğim	Yola Uzaklık	Fay Hattına Uzaklık	Akarsuya Uzaklık	Yerleşim Alanına Uzaklık	Toplam
Rüzgar Hızı	0,36	0,47	0,36	0,28	0,32	0,26	0,21	0,19	0,22	2,68
Arazi Kullanımı	0,18	0,24	0,27	0,28	0,28	0,26	0,21	0,19	0,52	2,43
Yükseklik	0,09	0,08	0,09	0,19	0,20	0,19	0,18	0,14	0,04	1,19
Trafoya Uzaklık	0,06	0,04	0,02	0,05	0,12	0,02	0,09	0,06	0,07	0,53
Eğim	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,08	0,12	0,08	0,01	0,44
Yola Uzaklık	0,05	0,03	0,02	0,09	0,02	0,04	0,06	0,06	0,02	0,39
Fay Hattına Uzaklık	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,02	0,26
Akarsuya Uzaklık	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,21
Yerleşim Alanına Uzaklık	0,12	0,03	0,18	0,05	0,01	0,11	0,09	0,19	0,07	0,86

Normalize edilen matrisin satır değerlerinin her biri toplanıp kullanılan faktör sayısına (faktör sayısı: 9) bölünmesiyle özvektör değerleri elde edilmiştir. Özvektör, her bir kriter için önem ağırlıklarını ifade etmektedir (Tablo 10).

Tablo 10. Öz vektör değerleri

KRİTERLER	AĞIRLIK (W)
Rüzgar Hızı	0,298095844
Arazi Kullanımı	0,270342900
Yükseklik	0,132113643
Trafoya Uzaklık	0,058377044
Eğim	0,049420876
Yola Uzaklık	0,043866040
Fay Hattına Uzaklık	0,028640893
Akarsuya Uzaklık	0,023542447
Yerleşim Alanına Uzaklık	0,095600313
TOPLAM	1

Literatür taramasına dayalı subjektif kararlarla yapılan karşılaştırmalar sonucunda, verilen ağırlık değerlerinin tutarsızlık göstermemesi için A matrisinin dikkatlice incelenmesi gerekmektedir (Uyan ve Yalprı, 2016). Bu nedenle, ikili karşılaştırma matrisinin (Tablo 8) özenle gözden geçirilmesi önemlidir (Uyan ve Yalprı, 2016).

Ağırlık hesaplaması yapıldıktan sonra yapılan işlemlerin doğruluğu için tutarlılık oranı hesaplanmalıdır. Tutarlılık oranı, $CR=CI/R$ eşitlik (3) formülünden hesaplanmıştır. Bu çalışmada tutarlılık oranı 0,08 olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranı 0,10'un altında olduğunda, değerlendirmelerin yeterli tutarlılık gösterdiği kabul edilir. 0,10'un üstündeki oranlar ise ikili karşılaştırmaların tekrar gözden geçirilmesini gerektirir (Öztürk & Kılıç, 2010). Bu çalışmada, tutarlılık oranı 0,08 olduğundan, CR yeterli bulunmuş ve ağırlıklarla CBS analizlerine geçilmiştir.

2.7. En Uygun RES Alanlarının ÇKKV Yöntemleri ve CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi

2.7.1. Rüzgâr Hızı

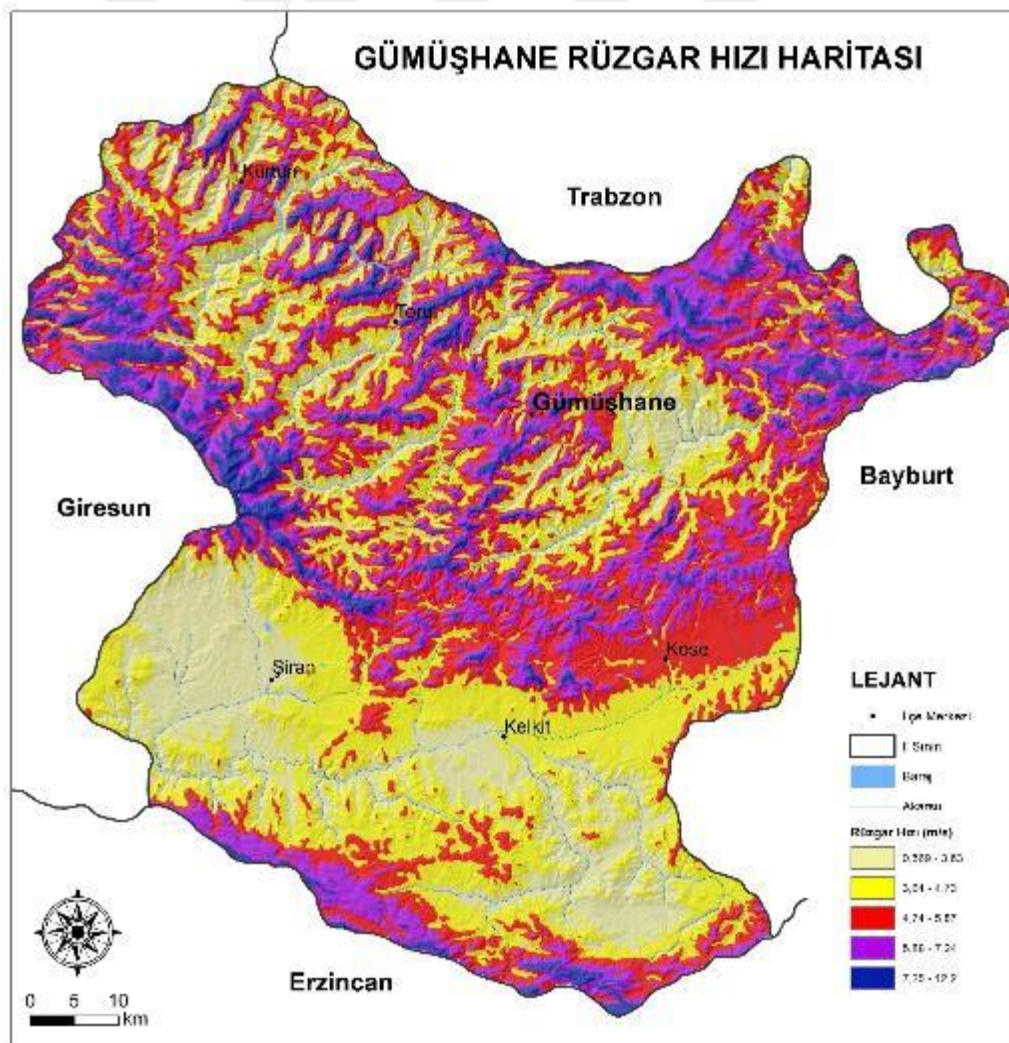
Rüzgâr hızı faktörü rüzgâr enerji santrallerinin kurulacağı alanların belirlenmesinde kullanılan en önemli iklimatik faktörlerden bir tanesidir. RES kurulum çalışmalarında bir bölgede incelenmesi gereken en önemli ve öncelikli etken çalışma alanına ait rüzgâr hızı haritasıdır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Rüzgâr enerji santrali yatırımları için uygun rüzgâr hızları farklı çalışmalar arasında değişiklik göstermektedir. Ekiz ve arkadaşları (2022) Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği ile yapılan görüşmelerde, 100 metrede 2,5-3 m/sn rüzgâr hızının RES sistemleri için yeterli olduğunu belirtmiş, ancak ekonomik olarak daha uygun yatırımlar için rüzgâr hızının 5-6 m/sn arasında olması gerektiğini vurgulamıştır. Gümüşhane'nin yıllık ortalama rüzgâr hızı 4,33 m/sn olup, Türkiye genelindeki ortalama rüzgâr hızının (5,2 m/sn) altındadır (YEGM, 2022).

Gümüşhane ili rüzgâr hızı haritası Global Wind Atlas sitesinden temin edilmiş ve ArcGIS yazılımında CBS veri katmanına dönüştürülmüş ve 100 metre yükseklikte rüzgar hızı haritası elde edilmiştir (URL-8, 2024). Şekil 31'de bu çalışmada kullanılan Gümüşhane ili sınıflandırılmış rüzgar hızı dağılım haritası görülmektedir. Bu araştırmada, literatür ve çevre alanlarda uygulanmış rüzgar enerjisi santrali (RES) projelerinin sonuçları göz önünde bulundurularak, rüzgar türbinlerinin verimli ve ekonomik üretim yapabileceği bölgelerde 100 metre yükseklikteki rüzgar hızı (Köse vd., 2005) bir kriter olarak belirlenmiştir. Bu

doğrultuda, beş ağırlık sınıfı oluşturulmuş ve bu sınıflar, çok uygun bölgelerden uygun olmayan bölgelere kadar çeşitli kategorilere ayrılmıştır (Tablo 11). Bu kapsamda %19,04'lük olan bölüm "1" puan uygun olamayan alanlar içerisinde yer almış %7,22'lik kısmı ise "5" puan çok uygun olan alanlar içerisinde kalmıştır. Ayrıca rüzgâr hızı ağırlığı %30 olarak belirlenmiştir (Tablo 12).

Tablo 11. AHY değerlendirme ölçeği

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Uygun Değil
2	Az Uygun
3	Orta Uygun
4	Uygun
5	Çok Uygun



Tablo 12. Rüzgâr hızı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

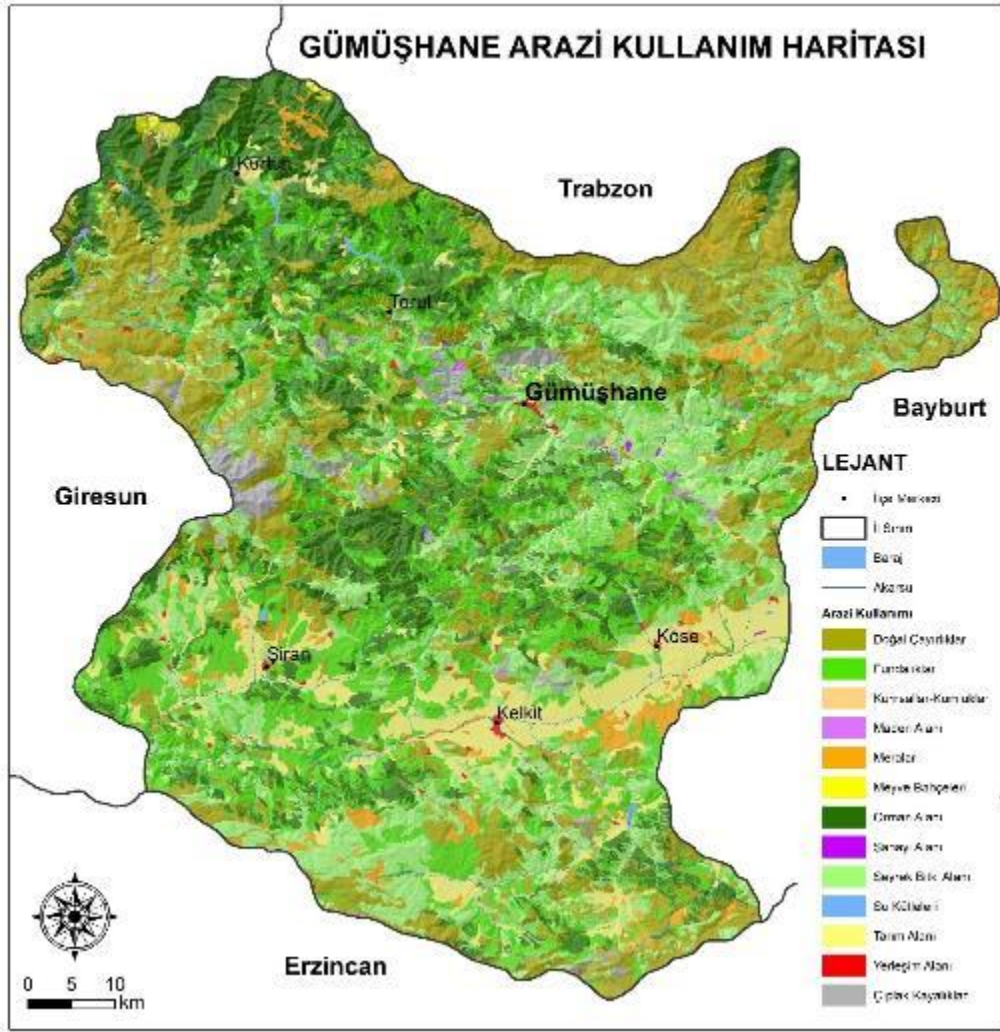
Ağırlık (%)	Katman	Alan (Ha)	Puan	%
30%	Rüzgar Hızı			
	0,56 - 3,61	126.628	1	19,04
	3,61 - 4,70	179.685	2	27,02
	4,70 - 5,84	182.461	3	27,44
	5,84 - 7,16	128.160	4	19,27
	7,16 - 12,21	47.999	5	7,22
	Toplam	664.932		100,00

2.7.2. Arazi Kullanım Durumu

Rüzgâr enerji santrali kurulumunda dikkate alınması gereken diğer bir önemli parametre de arazi kullanım durumu özellikleridir.

Arazi kullanım haritası için Copernicus sitesinden vektör formatında indirilen CORINE verisinden yararlanılmıştır (URL-9, 2024). CORINE (Coordination of Information on the Environment) Çevresel Bilginin Koordinasyonu, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen arazi kullanımı sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen arazi kullanımını verisidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024). Arazi kullanım verisi için uzaklığa gereksinim olmadığından Euclidean Distance yöntemi uygulanmamış yalnızca yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemi doğal çayırılık, fundalık, kumsallar-kumluklar, maden alanı, meralar, meyve bahçeleri, orman alanı, sanayi alanı, seyrek bitki alanı, su kütleleri, tarım alanı, yerleşim alanı, çıplak kayalıklar olarak belirlenmiştir. Geoprocessing menüsünden Dissolve seçilerek arazi türlerine göre farklı katmanları birleştirilip kayıt edilmesi işlemi yapılmıştır.

Şekil 32’de Gümüşhane ili sınıflandırılmış arazi kullanım dağılım haritası yer almaktadır.



Şekil 32. Gümüşhane ili sınıflandırılmış arazi kullanım dağılım haritası

Bu çalışmada, arazi kullanım durumu kriteri literatür ve çevredeki RES projeleri göz önünde bulundurularak beş alt kritere ayrılmıştır. Yerleşim Alanları, sanayi alanları, maden alanları, orman alanları, kumsallar-kumluklar, çıplak kayalıklar ve su kütlelerinin oluşturduğu %22,24'lük kısım "1" puanla uygun olmayan sınıfta değerlendirilirken, tarım alanlarının oluşturduğu %9,15'lik kısım ise "5" puanla çok uygun araziler olarak sınıflandırmada yer almıştır. Ayrıca arazi kullanım haritasının ağırlık değeri %27 olarak belirlenmiştir (Tablo 13).

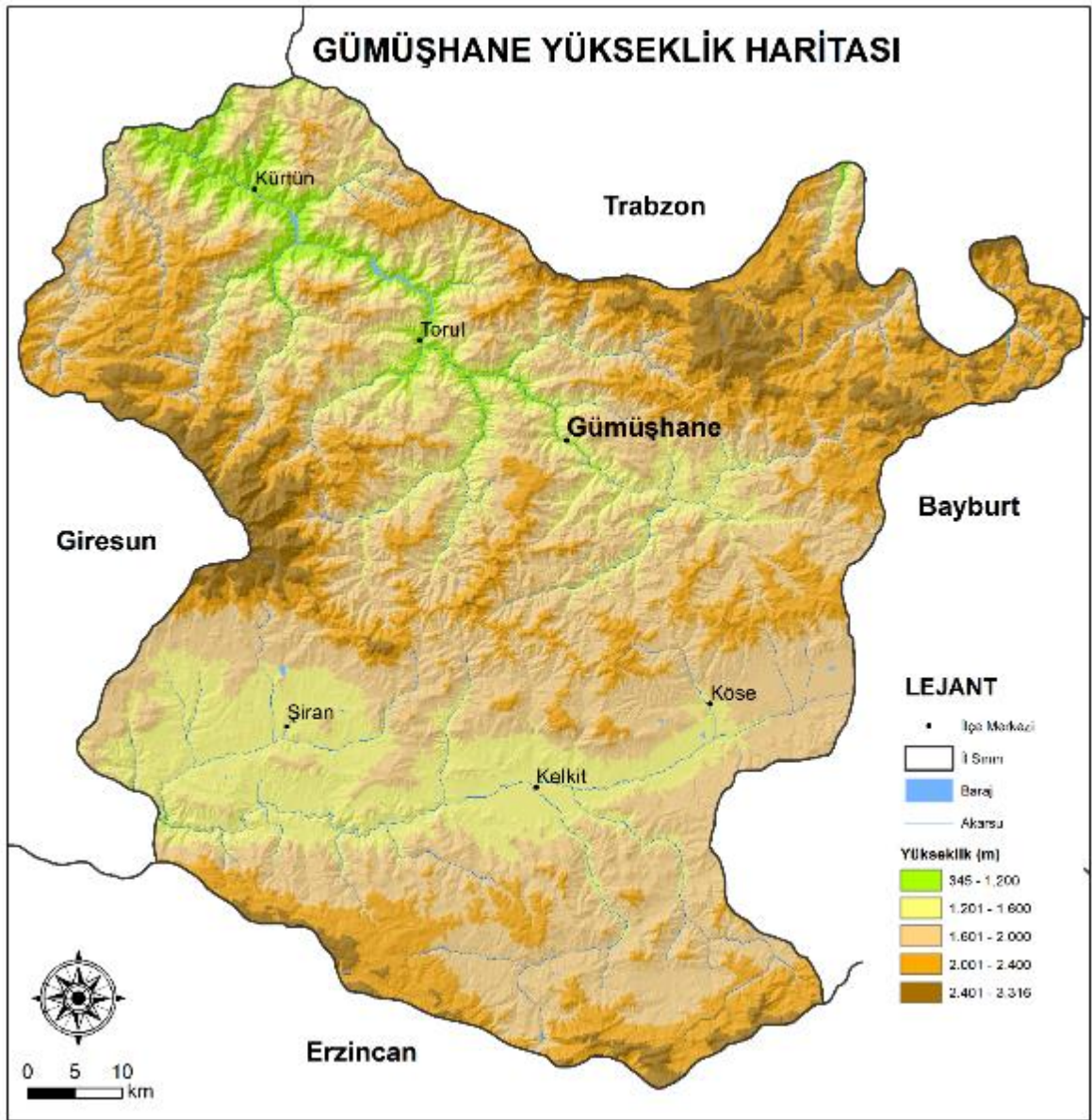
Tablo 13. Arazi kullanım verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Arazi Kullanım	Alan (Ha)	Puan	%
27%	Yerleşim Alanı/Sanayi Alanı/Maden Alanı/Orman Alanı/Kumsallar-Kumluklar/Çıplak Kayalıklar/Su Kütleleri	148.248	1	22,24
	Fundalıklar/Doğal Çayırliklar	303.899	2	45,60
	Meralar	16.216	3	2,43
	Meyve Bahçeleri/Seyrek Bitki Alanı	137.081	4	20,57
	Tarım Alanı	60.991	5	9,15
	Toplam	666.435		100,00

2.7.3. Yükseklik

Rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı olarak değişmesi nedeniyle, rüzgâr enerji santrallerinin yer seçiminde yükseklik önemli bir faktördür. Yüksek rakımlı bölgelerde rüzgâr türbinlerinin kurulması, rüzgâr enerjisinden elde edilen verimi artırmada kritik bir rol oynar. Son yıllarda, rüzgâr enerji santralleri sadece deniz seviyesindeki bölgelerde değil, yüksek rüzgâr hızlarına sahip dağlık bölgelerde de kurulmaktadır (Bingöl, 2018).

Yükseklik haritası USGS Earth Explorer, hava ve uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik verisi indirilebilen açık kaynak erişiminden raster formatında indirilip kullanılmıştır (URL10, 2024). Yükseklik haritası yalnızca yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan yükseklik haritası Şekil 33'te yer almaktadır.



Şekil 33. Gümüşhane ili sınıflandırılmış yükseklik haritası

Yapılan çalışmada yükseklik kriteri beş alt sınıfa bölünmüştür. Bu bağlamda ilin %3,38'lik kısmı "1" puan olarak uygun olmayan alanlar içerisinde yer alırken RES kurulumu için en uygun yükseklik değer aralığı 1600-2000 metre aralığında olup %41,85'lik kısmı oluşturmakta ve "5" puan değerinde çok uygun araziler sınıfında yer almaktadır. Yükseklik haritası ağırlık değeri ise %13 olarak belirlenmiştir. Tablo 14'de bu çalışmada kullanılan yükseklik verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar yer almaktadır.

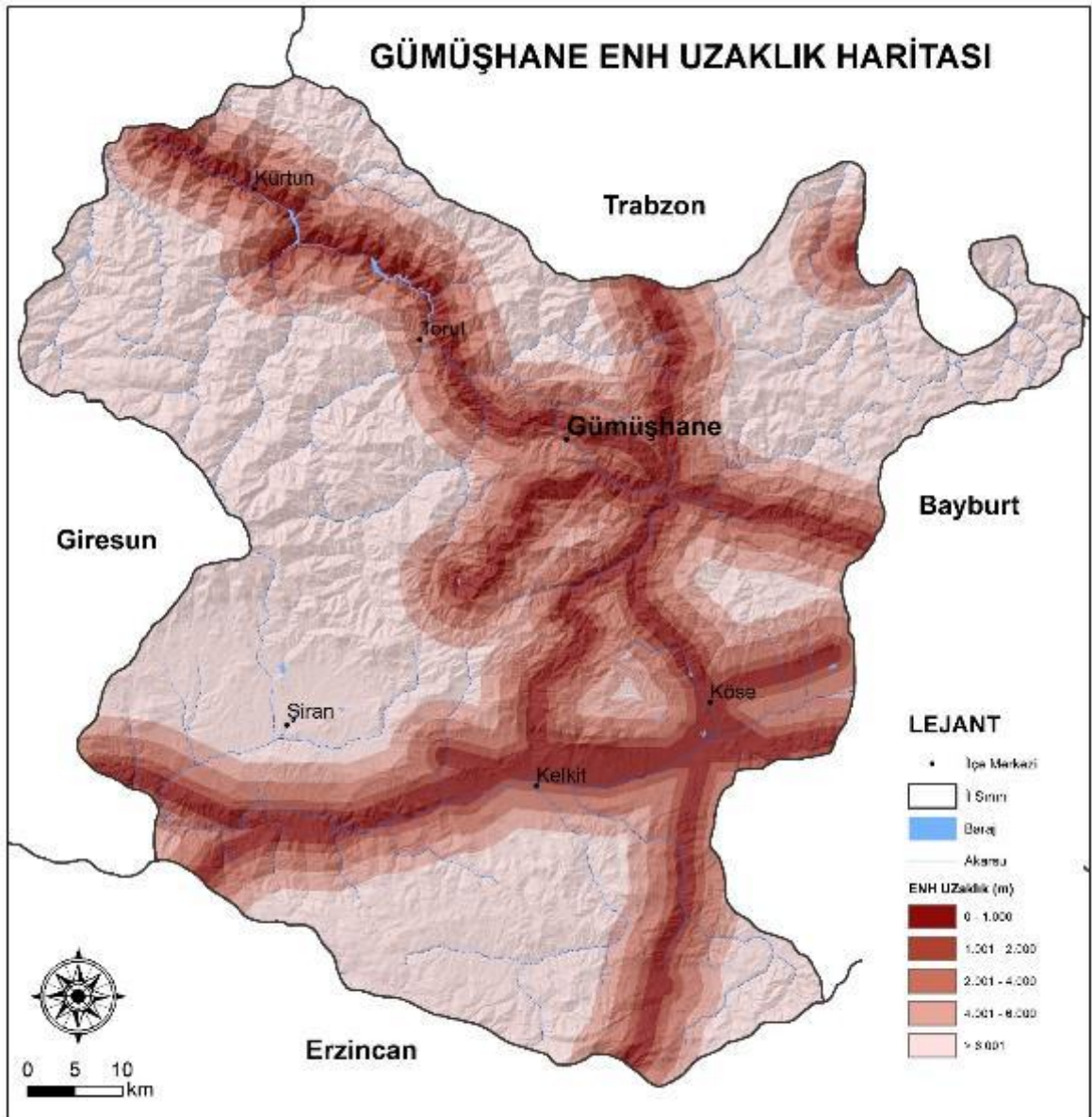
Tablo 14. Yükseklik verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Yükseklik (m)	Alan (Ha)	Puan	%
13%	345 - 1200	22.506	1	3,38
	1200 - 1600	149.005	3	22,36
	1600 - 2000	278.809	5	41,85
	2000 - 2400	168.998	4	25,36
	2400 - 3316	46.970	2	7,05
	Toplam	666.288		100,00

2.7.4. Enerji İletim Hattına Uzaklık

RES kurulumları esnasında, santralin elektrik iletim ağına olan mesafesinin mümkün olduğunca kısa tutulması önemlidir. Kısa mesafeler, inşaat sürecini kolaylaştırır ve yatırım maliyetlerini düşürürken, şebeke kayıplarını azaltarak bakım maliyetlerini de düşürür. Bu, santralin verimliliğin artmasına da yardımcı olmaktadır (Yolcan & Köse, 2020). Ayrıca, enerji nakil hatlarına uzak bölgelerde kurulum ekonomik açıdan dezavantajlı olabilir ve enerji iletimi sırasında kayıplar da dikkate alındığında, rüzgâr enerji santrallerinin iletim hatlarına yakın konumlandırılması enerji verimliliği açısından kritik öneme sahiptir.

Enerji Nakil Hattına ilişkin konumsal veri açık kaynaklı coğrafi veri tabanı Open Street Map'den temin edilmiştir (URL-11, 2024). Buradan indirilen çizgisel (vektör) veriye il sınırlarını kapsayacak şekilde kuş uçuşu uzaklık (Euclidian Distance) yöntemi kullanılmış raster veriye dönüştürülmüştür. Şekil 33'de bu çalışmada kullanılan enerji nakil hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita yer almaktadır.



Şekil 34. Enerji nakil hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita

Bu çalışmada elektrik enerjisi iletim ağı mesafesi kriteri, beş alt kritere bölünmüştür. Bu kapsamda 0-1000 metre aralığında %12,08’lik bölüm “5” puanlı çok uygun alanları ifade ederken 6000 metre’den yüksek alanlara denk gelen %47,87’lik kısım ise “1” ağırlık dereceli uygun olamayan sınıfına alınmıştır. Enerji İletim Hattına uzaklık haritası ağırlık değeri ise %6 olarak belirlenmiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Enerji nakil hattı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

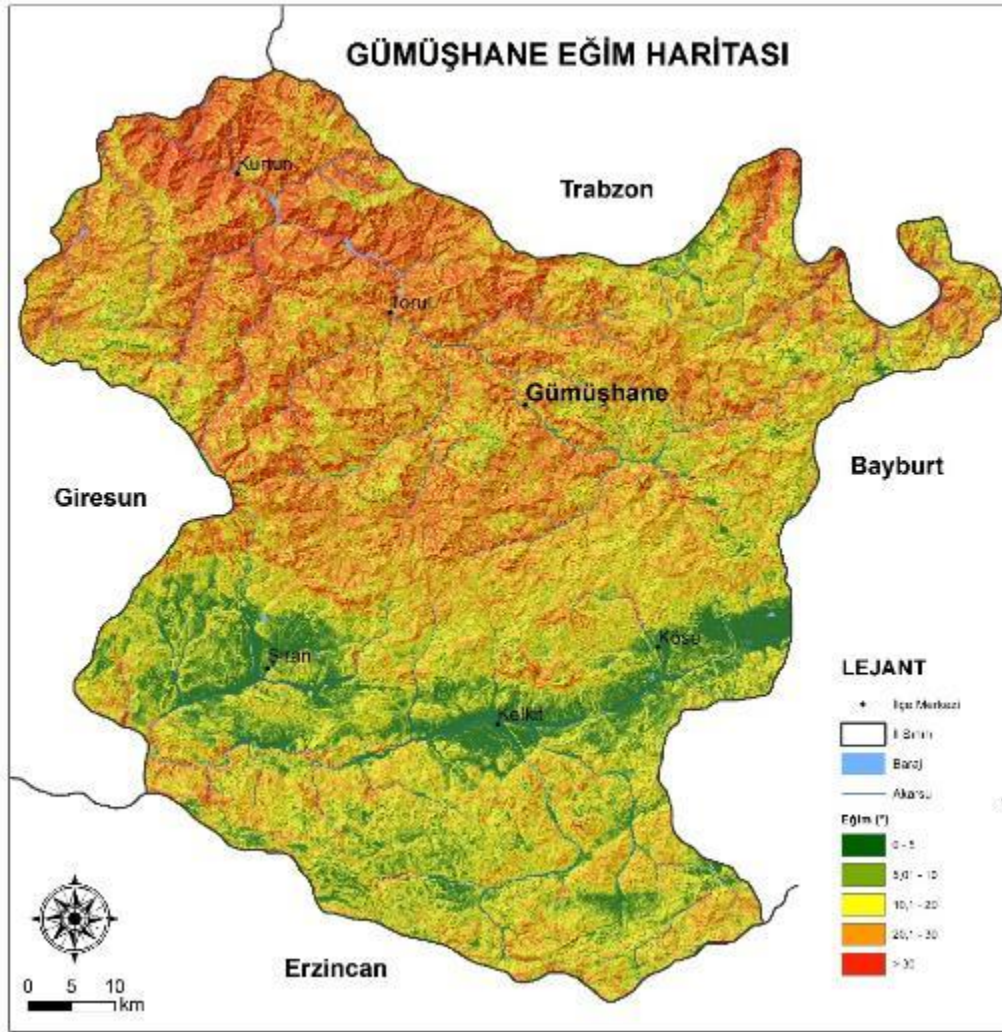
	ENH Uzaklık (m)	Alan (Ha)	Puan	%
6%	0 - 1000	80.521	5	12,08
	1000 - 2000	65.030	4	9,76
	2000 - 4000	112.675	3	16,91
	4000 - 6000	89.158	2	13,38
	> 6000	319.052	1	47,87
	Toplam	666.435		100,00

2.7.5. Eğim

Rüzgâr enerjisi santrali kurulumunda, topoğrafyanın eğim değerleri önemli bir faktördür. En uygun eğim aralığı genellikle düşük ve orta eğimli alanlar olarak belirlenmiştir (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Yüksek eğimli alanlar ise, türbin kurulumunda zorluklar yaratabilir ve maliyetleri artırabilir; bu nedenle, yüksek eğimli bölgeler rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu için genellikle uygun bulunmamaktadır.

Arazi eğim derecesi arttıkça, rüzgar enerji santrali (RES) tesislerinin kurulumu zorlaşır ve maliyetleri yükselir. Eğilimli yamaçlarda meydana gelebilecek toprak erozyonu, tesis bileşenlerinin statik yapısını bozabilir bu durum tesisi işlevsiz hale getirip işletme maliyetlerini artırabilir ve verimliliği düşürebilir (Yolcan & Köse, 2020).

Çalışma alanına ait eğim verisi bölgeye ait sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir. Arctoolbox menüsünden raster surface slope menüsünü seçildikten sonra çalışma alanı derece cinsinden 5 bölgeye ayrılmıştır. Üretilen eğim haritasının eğim derecesi 0 ile 30 derece aralığında belirlenmiştir ve analizler için 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 35). Bu kapsamda Gümüşhane ilinin % 10,78 ini oluşturan 0-5° arası eğimli araziler “5” puan çok uygun, % 36,51’ini oluşturan, 30° den fazla eğimli araziler “1” puan uygun olmayan arazi olarak sınıflandırılmıştır. Eğim haritası ağırlık değeri ise %5 olarak belirlenmiştir. Tablo 16’da bu çalışma için eğim verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar yer almaktadır.



Şekil 35. Gümüşhane ili eğim haritası

Tablo 16. Eğim verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Eğim (°)	Alan (Ha)	Puan	%
5%	0 - 5	71.744	5	10,78
	5-10	111.980	4	16,83
	10-20	122.297	3	18,38
	20-30	116.385	2	17,49
	> 30	242.922	1	36,51
	Toplam	665.328		100,00

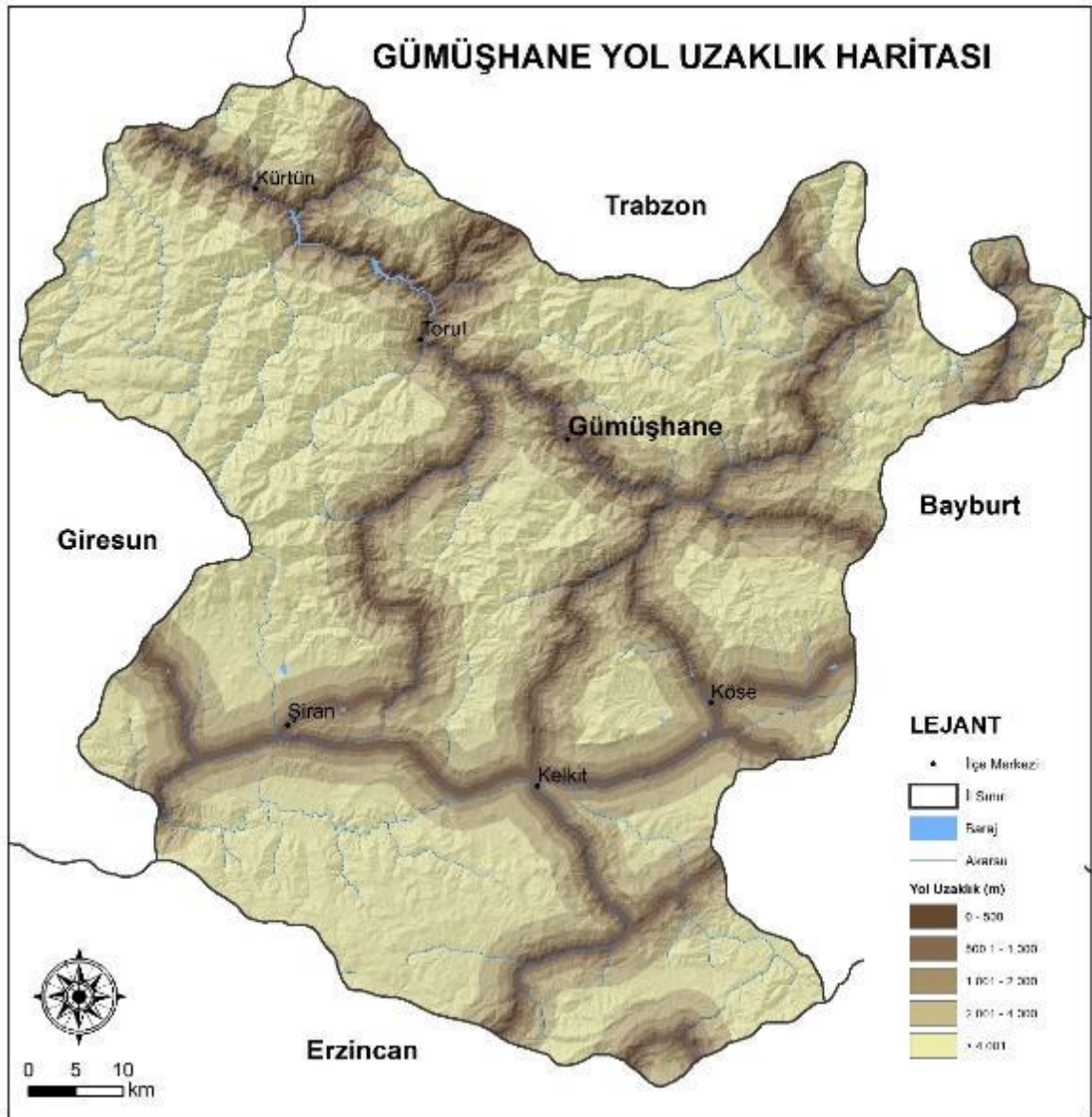
2.7.6. Yola Uzaklık

Ulaşım yollarına uzaklık, rüzgâr enerji santrali yatırımlarında önemli bir kriterdir. Santrallerin kurulumu için yüksek miktarda nakliyat gerekeceğinden, ulaşımın zor olduğu bölgelerde yeni yollar açılması gerekebilir. Bu durum, ek maliyetler ve zaman kayıplarına

yol açar. Bu nedenle, rüzgâr enerji santrallerinin yer seçiminde yol hatlarına olan uzaklık da dikkate alınmaktadır.

Gelişmiş bir karayolu ulaşım ağı, enerji santrallerinin kurulum ve inşaat maliyetlerini azaltarak süreci kolaylaştırır. Ayrıca, işletme aşamasında personel ve lojistik ihtiyaçların etkin bir şekilde karşılanmasını sağlayarak tesisin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur (Sánchez vd., 2013).

Bu çalışmada yola olan uzaklık verisi açık kaynaklı coğrafi veri tabanı Open Street Map'den temin edilmiştir (URL-12, 2024). Vektör formatında indirilen yola uzaklığı belirlemek için arctoolbox menüsünden spatial analyst tools öklid uzaklığı (euclidian distance) komutu kullanılmıştır. Öklid mesafesi işlemi sonrasında elde edilen veriler raster formatında olduğu için yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanabilmektedir. Eğer buffer analizi ile mesafe işlemi yapılmış olsaydı vektör'den veri girilip raster'a tekrar dönüştürülmesi gerekeceği için bu yöntem tercih edilmiştir. Şekil 36'da bu çalışmada kullanılan karayolu ağına ait olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita yer almaktadır.



Şekil 36. Karayolu ağına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita

Araştırmada, karayolu ulaşım ağı mesafesi kriteri, literatür ve çevredeki RES projeleri dikkate alınarak beş alt kritere ayrılmıştır. Şehrin %8,24'lük kısmı karayoluna 0-500 metre mesafedeki araziler olup "5" puanla çok uygun alanlar içerisinde yer almış olup %49,01'lik kısmı ise 4000 metreden uzak mesafeli alanlar olup "1" puanla uygun olmayan sınıfa dahil edilmiştir. Karayoluna uzaklık haritasının ağırlık değeri %4 olarak belirlenmiştir. Karayolu ağı verisinin alan hesapları, ağırlıklar ve puan aralıkları Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 17. Karayolu ağı verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Yola Uzaklık (m)	Alan (Ha)	Puan	%
4%	0 - 500	54.917	5	8,24
	500 - 1000	48.338	4	7,25
	1000 - 2000	89.096	3	13,37
	2000 - 4000	147.495	2	22,13
	> 4000	326.590	1	49,01
	Toplam	666.435		100,00

2.7.7. Fay Hattına Uzaklık

Ülkemiz genç oluşumlu bir ülke olup aktif deprem kuşağında yer alan deprem riski yüksek bir ülkedir. Son yıllarda yaşanan önemli depremler maalesef bu gerçeği destekler niteliktedir. Bu nedenle bu gerçeği kabul edip ona uygun tedbirler alınıp, hamleler yapılması gerekmektedir.

Rüzgâr enerji santrali (RES) yer seçiminde, aktif fay hatlarına olan mesafe önemli bir kriterdir. Fay hatlarına yakınlık, deprem tehlikesini artırabilir ve zemin dayanımını azaltabilir, bu nedenle fay hatlarına olan uzaklık dikkatlice analiz edilmelidir (Özşahin, 2010).

Fay hattına uzaklık verisi 2024 yılında Maden Teknik Arama (MTA) Müdürlüğü'nün diri fay verisinden temin edilmiştir. Mesafe için Euclidian Distance yapılmış, elde edilen veriye reclasify yapılarak uzaklıklara puanlamalar verilmiştir. Şekil 37'de Gümüşhane ili için fay hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita yer almaktadır.

Çalışma alanında aktif fay hatlarından uzaklık faktörü 5 sınıfa ayrılmıştır. İlin %8,24'lük kısmı 0-10000 metre mesafedeki araziler olup "1" puan ağırlıklı uygun olmayan sınıfında yer alırken %38,49'luk bölüm 60000 metreden fazla alanlar olup "5" puan ağırlıklı çok uygun sınıfına alınmıştır. Fay hattına uzaklık ağırlık değeri ise %3 olarak belirlenmiştir. Tablo 18'de ise fay hattına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar bulunmaktadır.



Şekil 37. Fay hattına olan sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita

Tablo 18. Fay hattına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Fay Uzaklık (m)	Alan (Ha)	Puan	%
3%	0 - 10000	54.896	1	8,24
	10000 - 20000	43.568	2	6,54
	20000 - 40000	138.493	3	20,78
	40000 - 60000	172.978	4	25,96
	> 60000	256.501	5	38,49
	Toplam	666.435		100,00

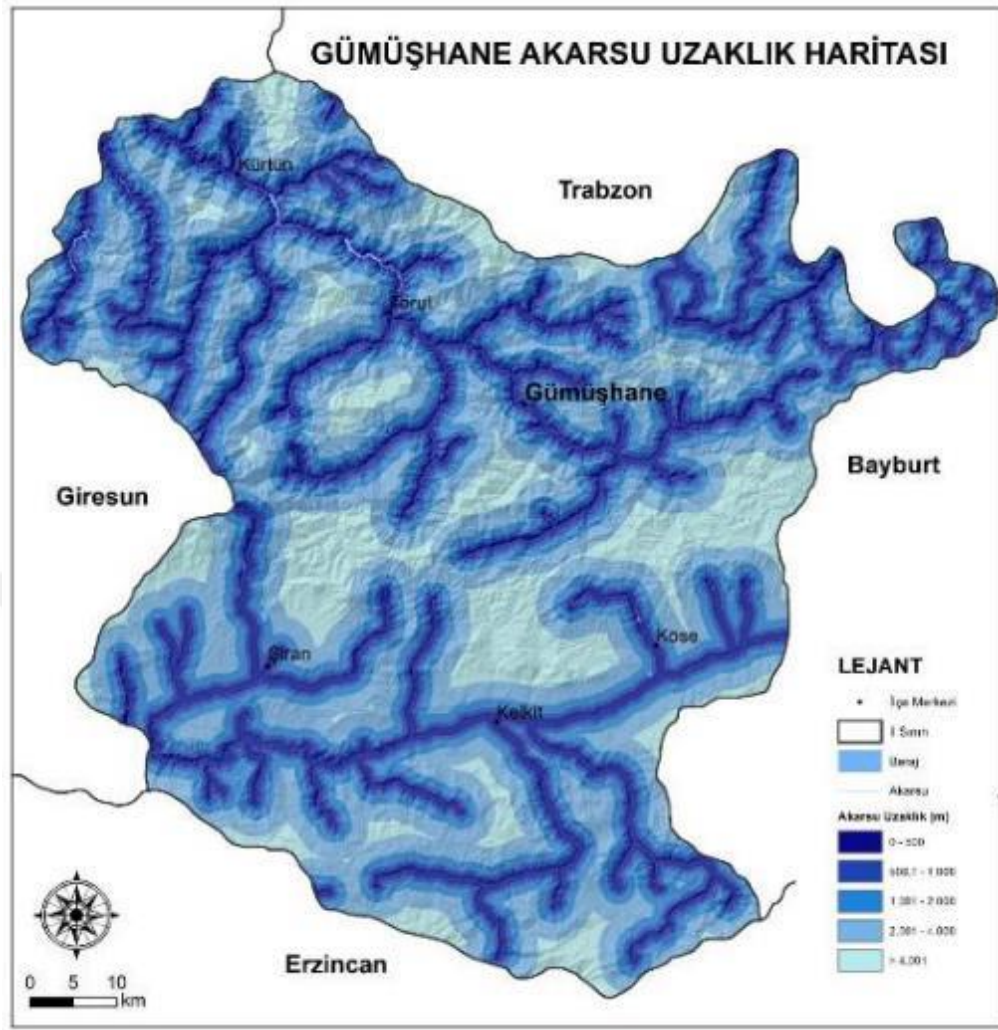
2.7.8. Akarsuya Uzaklık

Akarsulara yakın bölgeler, tarımsal faaliyetler, yerleşim alanları vb nedenlerden dolayı RES kurulumu için uygun değerlendirilmemektedir. Ayrıca, rüzgâr türbinlerinin

akarsulara yakın konumlanması arazi pürüzlülüğünü artırarak olumsuz etkiler yaratabilir (Özşahin ve Kaymaz, 2013).

Çalışmaya ait akarsuya uzaklık verisi açık kaynaklı coğrafi veri tabanı Open Street Map'den temin edilmiştir (URL13, 2024). Vektör formatında indirilen veriye daha sonrasında çalışma sahasına clip yapılarak eksik görülen kısımlara uydu görüntüsüne bakılarak sayısallaştırma işlemi yapılmıştır. Ardından EuclidianDistance yöntemi uygulanıp reclassify işlemine geçilmiştir. Şekil 38'de akarsuya uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita yer almaktadır.

Çalışma bölgesinde akarsuya uzaklık faktörü 5 sınıf altında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda %15,82'lik bölüm olan 500 metreden yakın alanlar “1” puan uygun olmayan alanlar içerisinde yer alırken %13,44'lük 4000 metreden fazla alanlar ise “5” puan çok uygun alanlar içerisinde yer almaktadır. Akarsuya uzaklık ağırlık değeri %2 olarak tespit edilmiştir. Tablo 19'da akarsulara uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar yer almaktadır.



Şekil 38. Akarsuya uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita

Tablo 19. Akarsulara uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Akarsu Uzaklık (m)	Alan (Ha)	Puan	%
2%	0 - 500	105.411	1	15,82
	500 - 1000	94.478	2	14,18
	1000 - 2000	165.195	3	24,79
	2000 - 4000	211.793	4	31,78
	> 4000	89.558	5	13,44
	Toplam	666.435		100,00

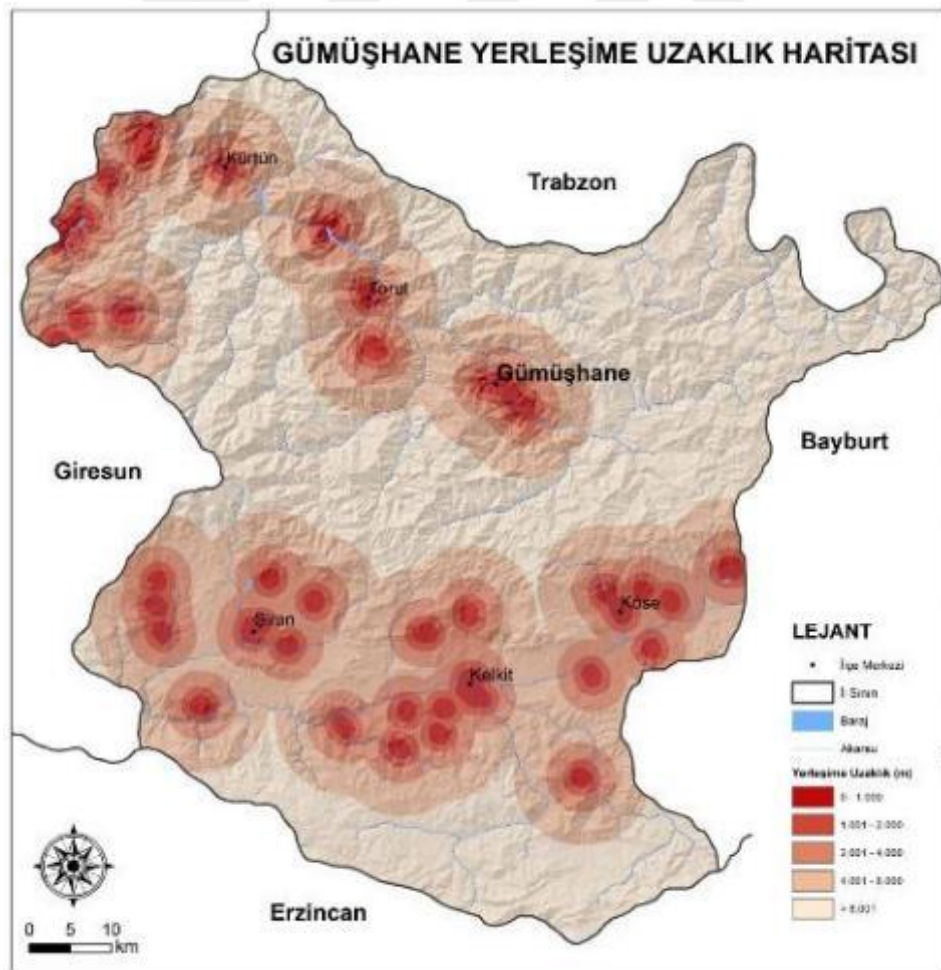
2.7.9. Yerleşim Alanına Uzaklık

Rüzgâr türbinlerinin ses, görsel etkiler, ve ışık yansıması vb gibi faktörleri nedeniyle, bu tür yapıların yerleşim alanlarından uzak bir konumda yerleştirilmesi kritik bir öneme

sahiptir. Yer seçimi yapılırken yerleşim alanlarının gelişme yönü de dikkate alınarak, gelecekteki santral yerleşimlerinin yerleşim bölgeleriyle örtüşmesinin önüne geçilmelidir.

Yerleşim yeri haritası oluşturulurken Copernicus sitesinden vektör formatında indirilen CORINE 2018 alansal yerleşim verisi kullanılmıştır (URL-14, 2024). Ardından Euclidian Distance yöntemi uygulandıktan sonra yeniden sınıflama yapılmıştır. Şekil 39’da yerleşime uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita yer almaktadır.

Şekil 39’da yer alan haritaya göre çalışmada yerleşim alanına uzaklık sınıfı 5 sınıf altında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda şehrin %3,79’luk kısmına denk gelen 0-1000 metre arasında olan mesafeler ‘‘1’’ puan uygun olmayan yerler içerisinde kalmaktadır. %45,84’lük kısmına denk gelen 8000 metreden yüksek alanalar ise ‘‘5’’ puan olarak çok uygun alanlar içerisinde kalmıştır. Yerleşime uzaklık ağırlık değeri %10 olarak bulunmuştur. Çalışmada yerleşim alanına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar Tablo 18’de sunulmuştur.



Şekil 39. Yerleşime uzaklık sınıflandırılmış mesafe durumlarını gösteren harita

Tablo 20. Yerleşim alanına uzaklık verisi için alan hesabı, ağırlık ve aralıklara verilen puanlar

	Yerleşime Uzaklık (m)	Alan (Ha)	Puan	%
10%	0 - 1000	25.248	1	3,79
	1000 - 2000	41.123	2	6,17
	2000 - 4000	102.747	3	15,42
	4000 - 8000	191.808	4	28,78
	> 8000	305.510	5	45,84
	Toplam	666.435		100,00

2.7.10. Sonuç Haritalarının Çakıştırılması

Gümüşhane ili için yürütülen bu çalışmada, belirlenen dokuz kriter kullanılarak gerçekleştirilen CBS analizleri ile elde edilen yeniden sınıflandırma haritaları ve AHY ile belirlenen ağırlıklarla birlikte, ArcGIS ortamında "Weighted Overlay" yöntemi kullanılarak birleştirilmiş ve sonuç haritası oluşturulmuştur. AHY ile gerçekleştirilen puanlama sonucunda, vektör verilere ağırlıklar eklenmiş ve bu veriler raster formata dönüştürülmüştür. Daha sonra, raster verilere yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanarak puanlamalar yapılmıştır. Ağırlıklı bindirme (weighted overlay) aracı, çok kriterli karar problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntem olup, kriter haritaları belirlenen ağırlıklarla çarpılarak üst üste bindirilmiş ve Gümüşhane ili için rüzgâr enerji santrali uygunluk haritası oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, Gümüşhane ilinin rüzgâr enerji potansiyelini değerlendirmek ve rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumu için en uygun yerleri belirlemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) analizi entegre edilmiştir. Ana ve alt kriterlerin belirlenmesi için kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve rüzgâr hızı, arazi kullanımı, eğim, vb dokuz kriter tespit edilmiştir. Bu kriterlerin ağırlıkları, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak hesaplanmış ve ArcGIS 10.8 programı ile entegre edilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

AHY, karmaşık karar verme problemlerini çözmek için kriterler arasındaki ilişkiyi analiz eden bir yöntemdir. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Daha sonra bu matrislerin normalizasyonu yapılır ve bu işlemin sonucunda kriter ağırlıkları belirlenir. Bu işlemler 2.6. başlığı altında detaylı bir şekilde anlatılarak, bu çalışmada ele alınan kriterlerin ağırlıklarının nasıl hesaplandığı ifade edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar şu şekildedir; rüzgâr hızı %30, arazi kullanımı %27, yükselti %13, enerji nakil hatlarına uzaklık %6, eğim %5, yollara olan uzaklık %4, fay hattına uzaklık %3, akarsulara olan uzaklık %2 ve yerleşim alanına uzaklık %10 (Tablo 21).

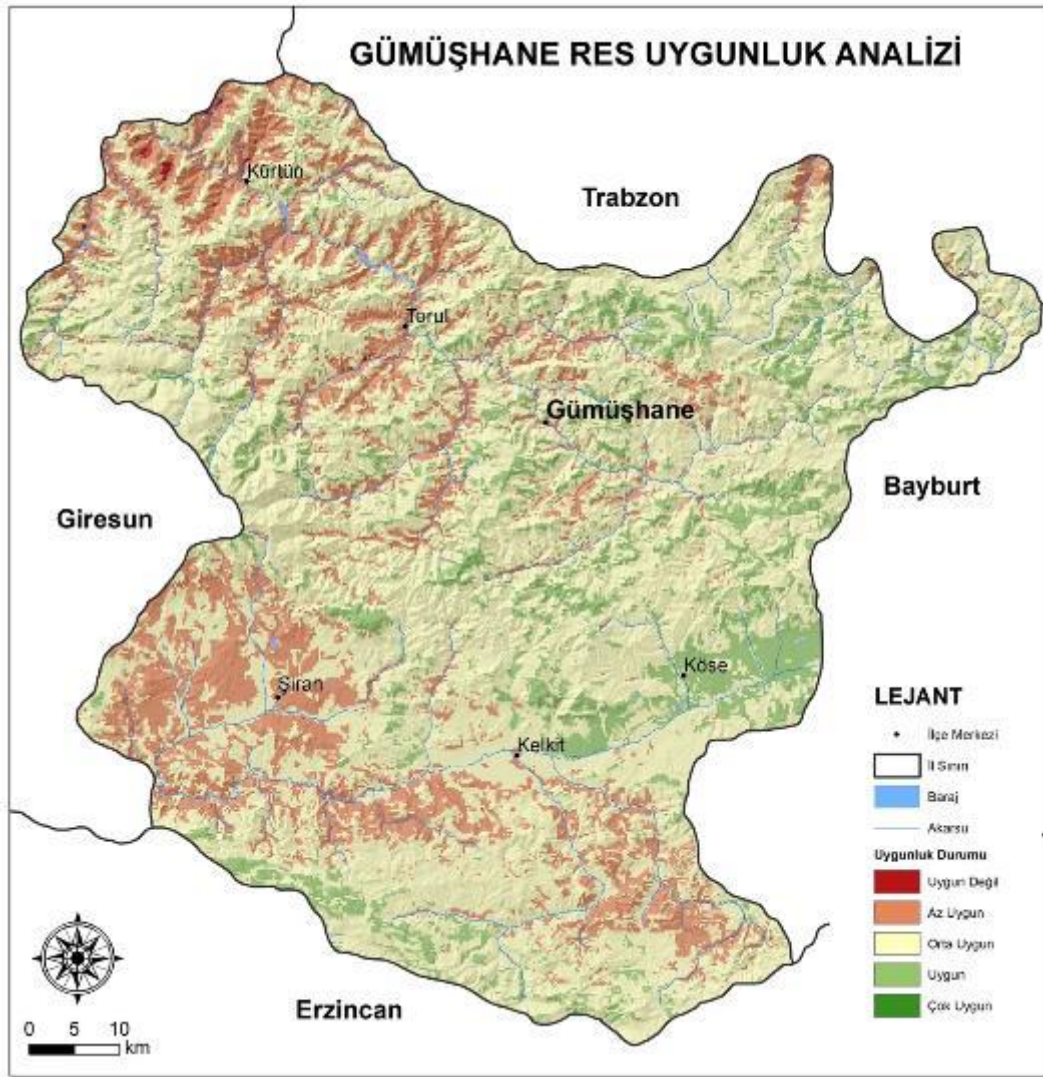
Tablo 21. Kriterlerin ağırlık değerleri

Kriterler	Ağırlıklar (%)
Rüzgâr Hızı	%30
Arazi Kullanımı	%27
Yükselti	%13
Yerleşim Alanına Uzaklık	%10
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	%6
Eğim	%5
Yollara Olan Uzaklık	%4
Fay Hattına Uzaklık	%3
Akarsulara Olan Uzaklık	%2

Yerleşim merkezlerine, fay hatlarına, akarsulara, enerji nakil hatlarına ve yollara olan uzaklıklar, "Euclidean Distance" yöntemi ile raster veri formatına dönüştürülmüştür. Ayrıca, arazi kullanımı, rüzgâr hızı, eğim ve yükselti verileri için yeniden sınıflandırma işlemleri (reclassify) uygulanmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizlerinden elde edilen yeniden sınıflandırma haritaları ile Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları, ArcGIS yazılımında "Weighted Overlay" yöntemi aracılığıyla entegre edilmiştir. Bu entegrasyonun ardından, Gümüşhane ili için rüzgâr enerji santrali (RES) uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 40). "Weighted Overlay" aracı, çok kriterli analizlerde sıklıkla kullanılan bir yöntem olup, her bir kriter haritası ilgili ağırlıklarla çarpılarak üst üste bindirilmekte ve böylece nihai sonuç haritası elde edilmektedir.

Üretilen duyarlılık haritası uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun, çok uygun olmak üzere 5 sınıftan oluşmaktadır. Belirlenen bu 5 sınıf literatür taraması sonucunda yapılan benzer çalışmalara göre belirlenmiştir. Duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan kriterler ve yöntemler belirtilen literatür çalışmalarında duyarlılık analizinde kullanılan faktörler ve CBS’de kullanılan yöntemler ile birlikte uyum sağlamaktadır. Yapılan analizler sonucunda çok uygun %0, uygun %12,36 orta uygun %66,65, az uygun %20,86 ve uygun olmayan alanlar %0,13 oranında elde edilmiştir. Tablo 22’de Gümüşhane ili RES uygunluk analizi için alan hesabı ve tüm alan içinde kapladığı yüzdelik durumlar özetlenmiştir.



Şekil 40. Gümüşhane ilinde RES kurulması için en uygun alanlar haritası

Tablo 22. Gümüşhane RES uygunluk analizi için alan hesabı, puanı ve yüzdeler

Uygunluk	Puan	Alan (Ha)	%
Uygun Değil	1	886	0,13
Az Uygun	2	138.692	20,86
Orta Uygun	3	443.181	66,65
Uygun	4	82.150	12,36
Çok Uygun	5	0	0,00
Toplam		664.909	100,00

Bu çalışmada bahsi geçen 9 faktör esas alınarak Gümüşhane ili için RES kurulumu uygun alanları belirlenmiştir. Ancak RES kurulumu için kısıt kabul edilen diğer faktörler ise değerlendirilmemiştir. Çalışmanın bu kısmında ise en uygun yer seçimi için kısıt olarak kabul edilen parametrelerden bahsedilerek, bu alanların üretilen haritadan çıkarılması için

gerçekleştirilen işlemler anlatılmıştır. Bu kapsamda kuş göç yolları, korunan alanlar, havalimanları, ormanlar ve askeri bölgeler çalışmanın kısıtları olarak değerlendirilmiştir.

Rüzgar türbinlerinin dönmesi sonucunda oluşan hava akımının, kuşlar tarafından bulanık olarak algılanması, türbinlere çarpma riskini artırmaktadır. Bu riski azaltmak amacıyla, rüzgar enerji santrallerinin kuş göç yollarından belirli bir mesafede kurulması gerektiği belirtilmektedir (Aydın ve ark., 2009).

Korunan alanlara uzaklık faktörü, doğal alanların korunması, yaban hayatının zarar görmemesi ve insanların bu gibi alanlara olan ihtiyaç duyması gibi sebeplerden dolayı büyük önem taşımaktadır.

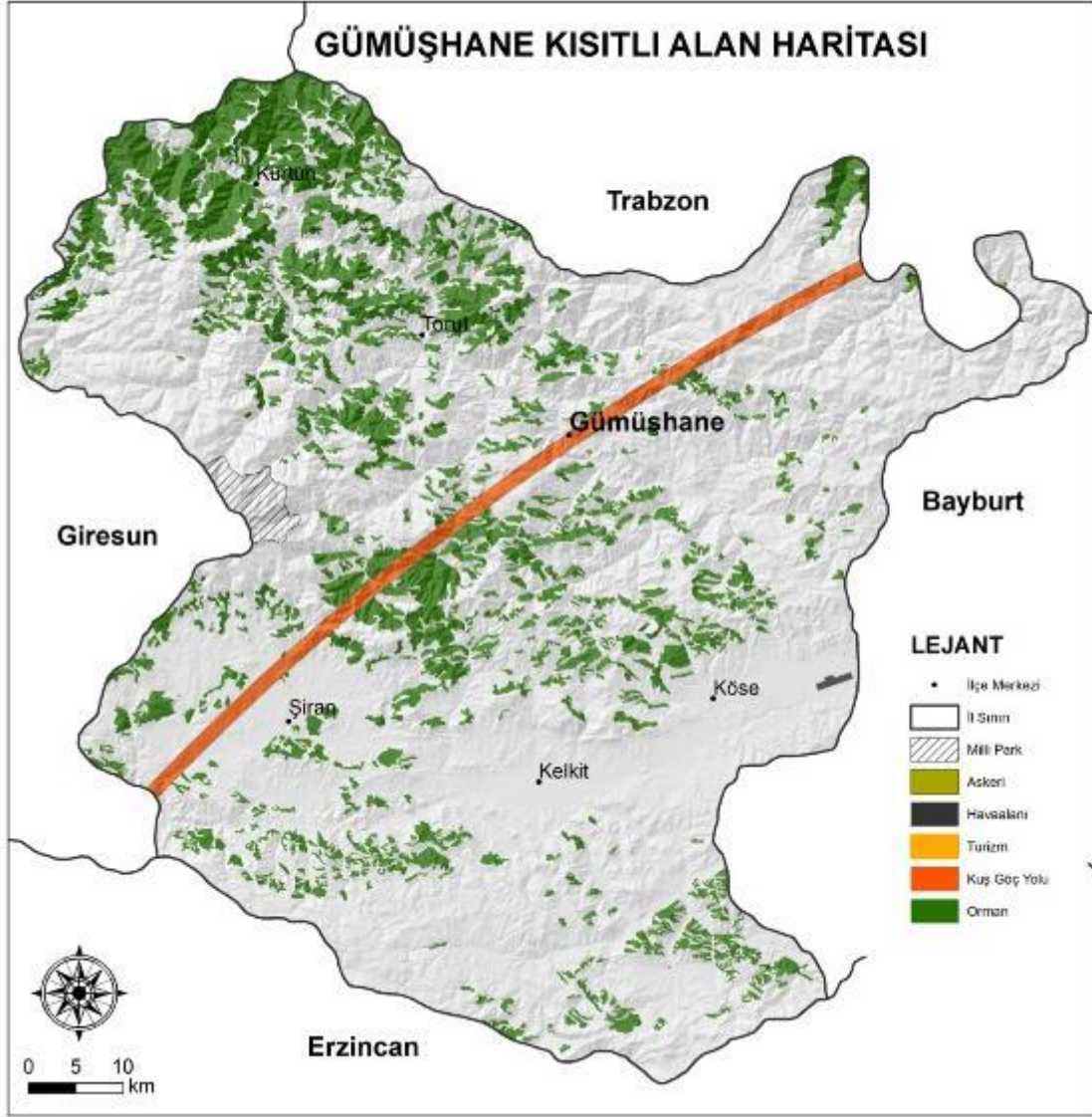
5431 sayılı kanun 11. maddesi uyarınca, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü ile belirlenen havaalanları etrafındaki yapılaşma kriterleri gereğince (URL-15, 2024), havaalanlarından itibaren 15.000 metre boyunca devam eden yaklaşma ve kalkış-tırmanış yüzeylerinde, ilk 3.000 metre içerisinde insanların toplu bir şekilde bulunduğu hastane, otogar gibi yapılar ile uçuş güvenliğini tehlikeye düşürebilecek yüksek yapılar inşasına izin verilmemektedir. Rüzgâr enerji santralleri yüksek yapılar olarak değerlendirildiğinden, uçuş güvenliği açısından ilk 3.000 metre içinde bu tür yapılar için onay alınması zor görünmektedir. 3.000 metreden sonraki bölgeler için Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'ne danışılması gerekmektedir.

Ayrıca orman arazileri koruma altında bulunduğundan, bu bölgelerde rüzgâr enerji santrali kurulumu gerçekleştirilememektedir. Ayrıca, yüksek boylu ağaçlar, türbinlere ulaşan rüzgarlara engel oluşturarak rüzgâr santrallerinin verimli çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Aydın, 2013). Bu sebeple ormanlık alanlar ve yakın bölgeleri için RES kurulumu uygun bölgeler değildir.

Askeri yasaklı bölgeler ve askeri havaalanı radar sistemleri rüzgâr türbinlerinden olumsuz etkilenmektedir.

Rüzgâr enerji santrali kurulumu için kriterler belirlenip Şekil 41'deki uygun alanlar haritası oluşturulduktan sonra yukarıda bahsedilen kısıtlı alanlara ait haritalar elde edilmiş, bu kısıtlara ait tüm katmanlar çakıştırılarak ArcGIS ortamında kısıtlı alanlar haritası oluşturulmuştur. Kısıtlı alanlar openstreetmap'ten indirilmiş kuş göç yolu ise raster harita üzerinden sayısallaştırılmıştır. Kısıtlı alanlar ArcGIS yazılımının Geoprocessing aracından 'Merge' aracı kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra çakıştırma haritası raster veriden vektör veriye dönüştürülmüş ve kısıtlı alanlar ile uygunluk haritası 'Union' özelliği ile

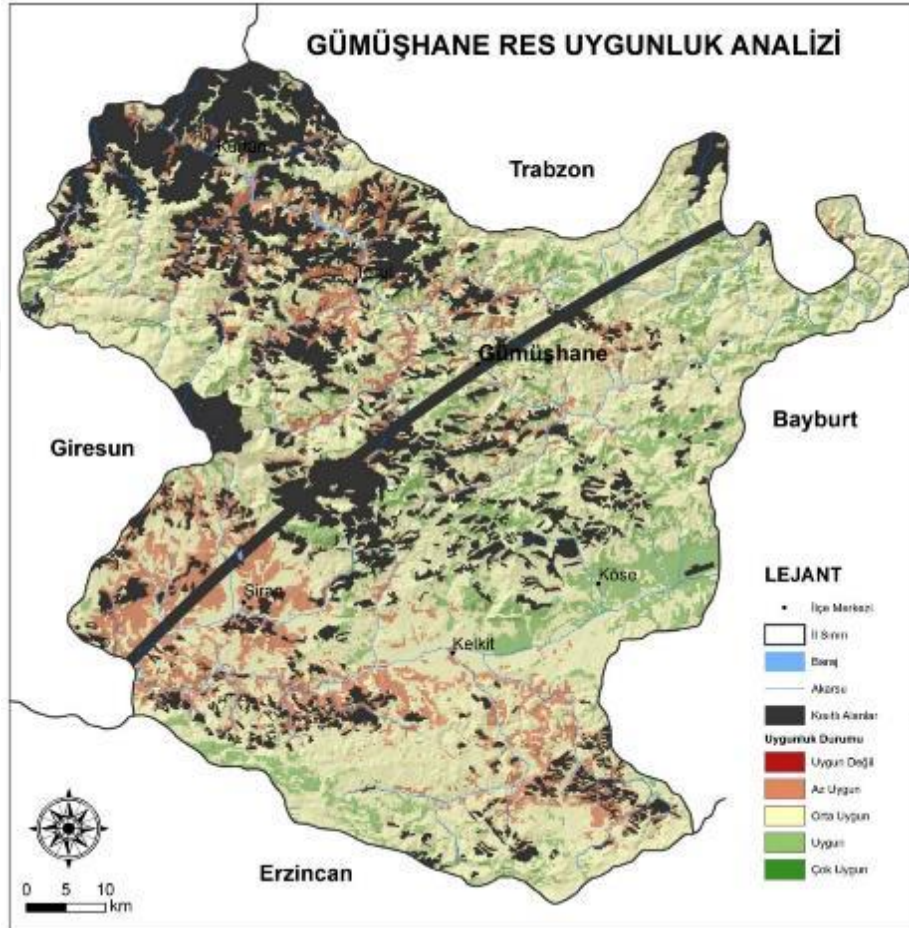
birleştirilerek kısıtlı alanlar ile uygunluk haritası tek bir haritada birleştirilerek alan hesaplaması yapılmıştır. Uygunluk haritasından tüm bu kısıtlı alanlar çıkarılmıştır.



Şekil 41. RES uygunluğu için kısıtlı alan haritası

Şekil 41’de görüldüğü üzere RES kurulumu uygunluğu için kısıtlı alanlar haritası oluşturulduktan sonra Şekil 40’daki Gümüşhane ili RES için uygun alanlar haritası ile çakıştırılıp, kısıtlı alanlar çalışmada değerlendirilerek çıkarılmıştır. Sonuç olarak Şekil 42’de kısıtlar değerlendirilerek Gümüşhane ili için Rüzgar Enerji Santrali Uygunluk Analiz haritası oluşturulmuştur. Bu bağlamda en uygun alanlar yeniden alansal olarak hesaplatılmış ve Gümüşhane ili için çok uygun olan alan bulunmamaktadır. Uygun alan %11,34 olarak tespit edilmiş ve 75.354 hektar’lık alana tekabül etmektedir. %0,01 lik kısmı 93 hektarlık

alan uygun olmayan, %11,66'lık kısmı 77.499 hektar olan kısmı az uygun alan, %55,09 olan bölüm 366.151 hektar'lık kısmı Orta uygun alan olarak belirlenmiştir. Ayrıca %21,90'lık kısmı 145.544 hektarlık alan ise kısıtlı alanlara tekabül etmektedir. Sonuçlar Tablo 23'de özetlenmiştir.



Şekil 42. Gümüşhane ilinde RES kurulması için kısıtlı alanların çıkarıldığı uygun alanlar haritası

Tablo 23. Gümüşhane RES uygunluk analizi için alan hesabı, ağırlık ve puanlar

Uygunluk	Alan (Ha)	Puan	%
Kısıtlı Alanlar	145.544	0	21,90
Uygun Değil	93	1	0,01
Az Uygun	77.499	2	11,66
Orta Uygun	366.151	3	55,09
Uygun	75.354	4	11,34
Çok Uygun	0	5	0,00
Toplam	664.640		100,00

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada rüzgâr enerji santralleri kurulumunda yer seçim süreçleri için aşamaların nelerden oluştuğu irdelenmiştir. Artan küresel enerji talebine yanıt olarak, hem ülkemizde hem de dünyada önemli bir yeri bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi ele alınmıştır. Rüzgâr enerjisinin kullanımı ile beraber temiz bir çevre sağlamanın yanında enerjiye ayrılan kaynak maliyetinin düşürülmesi bakımından ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma ile beraber CBS tabanlı ÇKKV ve AHY ile santral kurulumu için uygun yer seçim çalışmalarının etkili bir araç olduğunu uygulamalı olarak ortaya koyulması açısından büyük önem arz etmektedir.

Çalışmada ilk olarak enerji kaynaklarından bahsedilmiş, yenilenebilir enerji kaynakları ve önemi, Türkiye’de ve Dünya’da yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde durulmuştur. Ardından ÇKKV analizi ve bu yöntemin bir çeşidi olan AHY’ye değinilmiştir. Daha sonra RES yer seçimini etkileyen kriterler literatür taramaları sonucunda tespit edilmiş ve çalışma bölgesi için kriterler belirlenmiştir. İlgili kriterlere ait konumsal veriler çeşitli şekillerde elde edilmiş, AHY kullanılarak bu kriterlerin en uygun yer seçimine etkisini ifade eden ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ile gerekli konumsal sorgu ve analizlerin yapılabilmesi, sonuç ürünlerin bir harita üzerinde sunulması amacıyla CBS kullanılmıştır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenerek kriter haritaları uygunluk sınıflarına bölünmüş ve yer seçimi için tercih edilen kriterlerin uygunluk haritaları elde edilmiştir.

Literatürde yapılan benzer çalışmalar ve rüzgâr enerji projelerinin gerçekleştirilen uygulama sonuçları, santral kurulumunda uygun yer seçiminde rüzgâr hızının, diğer çevresel kriterlere kıyasla ana kriter olarak belirgin şekilde daha yüksek bir ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir.

Farklı sınıflama yöntemleri kullanılarak değişik sonuçlar almak mümkündür. Rüzgâr enerji santralleri (RES) kurulum çalışmaları için faktör ve uygunluk sınıflarına ilişkin ülkemizde henüz bir yönetmelik bulunmamaktadır. Uzman değerlendirmeleri sonucunda, birçok faktörün etkili olduğu bu tür çalışmalarda keskin sınırlar belirlemenin zorlukları ortaya konmuştur. Bu tür projelerde yatırımcıların, gerekli araştırmaları yaparak istenilen raporları hazırladıkları ve ilgili kurumlara başvurdukları, kurumların ise incelemeleri tamamladıktan sonra karar verdikleri anlaşılmıştır (Ekiz vd., 2021).

Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHY'nin tercih edilmesinin nedeni, anlaması ve uygulamasının kolay olmasının yanında hızlı bir şekilde çözüme gitmesi, kendi içinde kontrol mekanizması olması ve birçok çalışmada tercih edilmiş olmasıdır. AHY ile bir olaya etki eden faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve CBS tabanlı konumsal analizlerle bu ağırlıkların haritalarda kullanılması, bu ve bunun gibi birçok çalışmada kullanılabilecek en etkili araç ve yöntemlerdir. Çalışmada kullanılan faktörler arttırılarak daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilmesi mümkündür.

RES için en uygun yerlerin belirlenmesi için yapılan literatür çalışmalar sonucunda çalışmada ele alınan 9 ana faktör analizlere konu olmuştur. Bunların yanı sıra kuş göç yolları, korunan alanlar, havalimanları, ormanlar ve askeri bölgeler çalışmanın kısıtları olarak değerlendirilmiş ve bulunan en uygun yerlerden çıkarılmıştır. Sonuç olarak Gümüşhane ili için RES yapımı için uygun alanların ifade edildiği harita üretilmiştir. Bu harita sayesinde, devlet politikaları ile desteklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması için “RES kurulumunda nereler en uygun?” sorusuna yanıt bulunmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen RES uygunluk analizi sonucunda dokuz adet kriterin çakıştırılması ve kısıtların çıkarılması sonucu Gümüşhane ilinin 664.9029 hektar olan yüzölçümünün kriterlerler açısından RES kurulumuna uygunluk potansiyeli açısından çok uygun alan bulunmamakta olup, % 11,34'ünü oluşturan 75.354 hektarlık alan uygun, % 55,09'unu oluşturan 366,151 hektarlık alanı orta uygun, % 11,66'ini oluşturan 77,499 hektarı az uygun, %0,01'ini oluşturan 93 hektarlık alan ise uygun olmayan arazilerden oluşmaktadır. Şehrin %21,90'nı oluşturan 145,544 hektar ise kısıtlı alanlardan oluşmaktadır.

Şehrin geneline bakıldığında uygun alanların daha çok yüksek ve düzlük plato özelliği taşıyan şehrin güneydoğu kısmında kalan Kelkit Köse bölgesinden oluştuğu görülmektedir. Dağlık ve engebeli arazilerin fazla olduğu Kürtün Torul ve Şiran bölgelerinde ise uygun olmayan alanların fazlaca olduğu görülmekte uygun alanların yer yer küçük alanlardan oluştuğu görünse de santral kurulumlarında geniş arazilerin varlığı önem taşıdığı için aslında uygun olmadığı görülmektedir.

Bu çalışma, rüzgar enerjisinden elde edilen verimin artırılmasının ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlayacağını ortaya koymaktadır. Potansiyeli fazla olan alanlara yapılacak doğru ve yerinde yatırımlar, ekonomik ve çevresel açıdan olumlu etkiler yaratacağı düşünülmektedir. Gümüşhane ilinde mevcut rüzgar enerjisi potansiyelinin en ekonomik ve verimli şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Ayrıca, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ormanlık

alanların yaygın olması nedeniyle Gümüşhane ili, çevre illere kıyasla önemli bir kaynak potansiyeli sunmaktadır. Bu çalışma, rüzgar enerji santrali (RES) yer seçim çalışmaları sürecinde doğru yatırımların yapılması ve CBS ile AHY kullanılarak uygun sahaların tespit edilmesine dair literatüre katkı sağlamıştır. CBS ve AHY ile gerçekleştirilen bu çalışma, benzer projeler için aynı yöntemin uygulanabilirliğini göstermekte olup, gelecekteki RES projeleri için bir rehber niteliği taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada, RES yer seçimi sürecinde doğru ve ekonomik yatırımların yapılabilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Yöntemlerinin başarılı sonuçlar elde edilmesinde etkili olduğu gösterilmiştir.



5. KAYNAKLAR

- Adebayo, T. S. (2022). The Environmental Aspects of Renewable Energy Consumption And Structural Change In Sweden: A New Perspective From Wavelet-Based Granger Causality Approach. *A Cell Press Journal*, 8(9), 1- 14.
- Aitzhanov, C. (2016). *Site selection technique for wind turbine power plants utilizing geographical information systems (GIS) and analytical hierarchy process (AHP)* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Akdağ, S.A., Dinler, A. (2009). A New Method to Estimate Weibull Parameters for Wind Energy Applications. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1761-1766.
- Akgün, N. (2004). Rüzgar Enerjisi ve Gelişimi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Akkaya, N. (2019). Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Uygun Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Belirlenmesi: Tekirdağ İli Örneği. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Akkaya, S. (2007). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi Ve Bir Rüzgâr Enerjisi Uygulaması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Albuhairi, M. H. (2006). Assessment and Analysis of Wind Power Density İn Taiz-Republic of Yemen. *Ass. Univ. Bull. Environ. Res*, 9(2), 13-21.
- Arca, D., & Çıtıroğlu, H. K. (2020). Rüzgâr Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2), 168-176.
- Atıcı, K. B., Şimşek, A. B., Ulucan, A., & Tosun M. U. (2015). A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.
- Ayan, T. Y. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 89-110.
- Aydın, İ. (2008). Konutların Jeotermal Enerjiyle Isıtılmasına Bir Örnek: Bigadiç (Balıkesir), *Marmara Coğrafya Dergisi*, 17, 79-96.
- Aydın, Y. (2013). Bulanık Topsis ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Santral Yer Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Aydın, Y. (2013). Bulanık Topsis ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Santral Yer Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aydın, N.Y., Kentel, E. & Duzgun, S. (2009). GIS-Based Environmental Assessment Of Wind Energy Systems For Spatial Planning: a Case Study From Western Turkey. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373.
- Aydın, N.Y., Kentel, E., & Duzgun, S. (2009). GIS-Based Environmental Assessment of Wind Energy Systems For Spatial Planning: A Case Study From Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373
- Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S., Odigie, O., & 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.
- Baban, S. M. J. & Parry, T., (2001). Developing and Applying A GIS-Assisted Approach To Locating Wind Farms In The UK, *Renewable Energy*, 24, 59–71.
- Baban, S. M. J., & Parry, T. (2000). Developing and Applying A GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in The UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71
- Baban, S. M. J., Parry, T., (2001). Developing and Applying A GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms In The UK, *Renewable Energy*, 24, 59–71.
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F.G., Gil, C., Alcayde, A. & Gómez, J., (2011). Optimization Methods Applied to Renewable and Sustainable Energy: a Review, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 15 (4), 1753–66.
- Bayraç, H. N., Özarslan, B. (2018). Biyokütle Enerjisi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ampirik Bir Analizi: Türkiye Örneği. *Yalova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (17), 1-17.
- Bedard R., Hagerman G., Presevic M., Siddiqui O., Thresher R & Ram B. (2005). Offshore Wave Power Feasibility Demonstration Project Final Summary Report, EPRI Report E2I EPRI Global WP 009 – US Rev1.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye’nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1), 37-54.
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007). Site Selection for Large Wind Turbine Using GIS. in *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment*. 561-566.
- Bozdemir, M. (2013). Hazneli Pompalı Hidroelektrik Santrallerin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi ve Analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik.
- Cabala, P. (2010). Using the Analytic Hierarchy Process in Evaluating Decision Alternatives. *Operations Research and Decisions*, 20(1), 5-23.

- Can, G., Yücel, M.A. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Catolico, A. C. C., Maestrini, M., Strauch, J. C. M., Giusti, F., Hunt, J. (2021). Socioeconomic Impacts of Large Hydroelectric Power Plants In Brazil: A Synthetic Control Assessment Of Estreito Hydropower Plant. 151, 111508.
- Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable energy*, 149, 565-576.
- Çanlı, H., Kandakoğlu, A., (2007). Hava Gücü Mukayesesi İçin Bulanık AHP Modeli. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3(1), 71–82.
- Durdudiler, M. (2006). Perakende Sektöründe Tedarikçi Performans Değerlemesinde AHP ve Bulanık AHP Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. Yönetim Bilimleri Dergisi, 10(19), 1-30.
- Forman, Ernest H., Saul I. Gass (2001). The Analytical Hierarchy Process: An Exposition. *Operations Research*, 49 (4), 469-487.
- Gao, X., An, R. (2022). Research on The Coordinated Development Capacity of China's Hydrogen Energy Industry Chain. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134177.
- Garni A., Hassan Z., & Awasthi A., (2017). Solar PV Power Plant Site Selection Using A GIS-AHP Based Approach With Application İn Saudi Arabia. *Applied Energy*, 1225–1240
- GÇŞİM, 2021. Gümüşhane Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020 yılı Gümüşhane Çevre Durum Raporu, 2021.
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography compass*, 5(6), 412-432.
- Güler, D. (2016). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Alternatif Katı Atık Düzenli Depolama Alanı Yer Seçimi: İstanbul İli Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gülsaç, I. I. (2009). Okyanuslardan Gelen Enerji Dalga Enerjisi. *Bilim ve Teknik*, 58- 61.
- Harjanne, A., Korhonen, J. M. (2019). Abandoning the Concept of Renewable Energy. *Energy Policy*, 127, 330-340.
- Heimiller, D. M., & Haymes, S. R. (2001). Geographic Information Systems in Support of Wind Energy Activities at NRE. 39th AIAA Aerospace Sciences Meeting Reno. Nevada.

- Kanat, G., Ergüven, G. Ö. (2020). Importance of Solid Waste Management on Composting, Problems and Proposed Solutions: The Case of Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 66-71
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye' deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi* 30, 97-125
- Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkçı, C. B. & Öngen, A. (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. 21, 230-240.
- Karamanav, M. (2007). Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Keleş, S., Bilgen, S. (2012). Renewable Energy Sources in Turkey For Climate Change Mitigation And Energy Sustainability. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. 16, 5199–5206.
- Kırııcı, S.İ. (2023). Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme ve Rüzgar Enerjisine İlişkin Bir İnceleme: Seçilmiş OECD ülkeleri örneği. Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
- Koç, E., Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’ de Enerji Durumu Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-4.
- Koç, T. (1998). Ayvalık’ ta Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli. *Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 1-18.
- Koç, T. (1998). *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 1-18.
- Koç, Ü. (2021). Güneş Enerjisi ve Ekonomik Büyüme. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 515-533.
- Koçak, M, E. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Hidroelektrik Santraller ve Sıra konaklar HES Projesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Komal, R., Abbas, F. (2015). Linking Financial Development Economic Growth and Energy Consumption in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 211-220.
- Köksalan, M., Wallenius, J.& Zionts, S. (2011). Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century. *World Scientific*, 8042.
- Köse, F., & Özgören, M. (2005). Rüzgâr enerjisi potansiyeli ölçümü
- Kumar, C. M. S., Singh, S., Gupta, M. K., Nimdeo, Y. M., Raushan, R., Deorankar, A. V., Kumar, T. M. A., Rout, P. K., Chanotiya, C. S., Pakhale, V. D., Nannaware, A. D. (2023). Solar Energy: A Promising Renewable Source For Meeting Energy Demand İn Indian Agricultura Application. *Sustainable Energy Technologies And Assessments*. 55, 102905.

- Leng, Y. J., Zhang, H. (2023). Comprehensive Evaluation of Renewable Energy Development Level Based on Game Theory and TOPSIS. *Computers & Industrial Engineering*. 175, 108873.
- Liu, G., Zhao, Z., Xu, H., Zhang, J., Kong, X., Yuan, L. (2022). A Robust Assessment Method of Recoverable Geothermal Energy Considering Optimal Development Parameters. *Renewable Energy*. 201, 426-440.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley, Sons.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, John Wiley & Sons.
- Mazman, T. (2005). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve İstatistiksel Analiz Teknikleri İle Kumluca Havzası (GD Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Memişoğlu, T. (2014). Akarsu Vadileri Boyunca Çevresel Kirleticilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi: Trabzon İli örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Memişoğlu, T. (2014). Akarsu Vadileri Boyunca Çevresel Kirleticilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi: Trabzon İli örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Meyer, I., Braby, L., Krug, M. & Backeberg, B. (2017). Mapping the Ocean Current Strength and Persistence in the Agulhas to Inform Marine Energy Development. *Marine Renewable Energy. Resource Characterization and Physical Effects*, 179-215.
- Mora, S. & Vahrson, W. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. *Bull. Assoc. Eng. Geo.*, 31(1), 49–58.
- Önal, F., & Yarbay, R. Z. (2010). The Potential and Future of Renewable Energy Sources in Turkey. *Istanbul Commerce University Journal of Science*, 9(18), 77-96.
- Özalp, M. (2018). Dünya Enerji Rekabetinde Oyun Değiştirici Olarak Kaya Gazının Rolü ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(4), 2926-2959.
- Özcan, E.C., Ünlüsoy, S. & Eren, T. (2017). A Combined Goal Programming–AHP Approach Supported With TOPSIS For Maintenance Strategy Selection In Hydroelectric Power Plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410-1423.
- Özşahin, E. (2010). Antakya'da (Hatay) Yer Seçiminin Jeomorfolojik Özellikler ve Doğal Risk Açısından Değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(23), 1-16.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir Cbs Analizi: Hatay Örneği. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 1-18.

- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Rüzgar Enerji Santrallerinin Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir Cbs Analizi: Hatay Örneği, *Tübv Bilim Dergisi*, 6(2),1- 18.
- Öztürk D., Batuk F. (2010). Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124- 137.
- Öztürk, D., & Kılıç, F. (2010). Konumsal karar verme problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Öztürk, D., Kılıç, F. (2010). Konumsal Karar Verme Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Pala, O. (2013). Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6 (68), 57- 73.
- Pereira, J. M., & Duckstein, L. (1993). A Multiple Criteria Decisionmaking Approach To GIS-Based Land Suitability Evaluation. *International journal of Geographical Information Science*, 7(5), 407-424.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Saaty, T. L. (1990). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty, T. L. (2012). Decision Making For Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh, RWS Publications.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G., Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). The decision by the US congress on China's trade status: a multicriteria analysis. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, 305-317.
- Sadeghi, M., & Karimi, M. (2017). GIS-Based Solar and Wind Turbine Site Selection Using Multi-Criteria Analysis: Case Study Tehran, Iran. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.XLII-4/W4. 469-476. 10.5194/isprsarchives-XLII-4-W4-469-2017. Tahrn.
- Sağlam M., Uyar, S. (2005). Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli. *Elektrik Mühendisleri Odası*,19, 1-5.

- Said, S. M., Akil, Y. S., & Muzakir, M. H. (2019). GIS approach for wind power plant development in South Sulawesi, Indonesia: A location suitability analysis. AIP Conference Proceedings, 2097.30085.10.1063/1.5098260
- Sánchez, L., Henggeler, A., García, C., & Dias L. (2013). GIS-Based Photovoltaic Solar Farms Site Selection Using Electre-Tri: Evaluating The Case For Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renew Energy* (66):478–494.
- Sliz-Szkliniarz, B., & Vogt, J. (2011). GIS-Based Approach for the Evaluation of Wind Energy Potential: A Case Study For The Kujawsko–Pomorskie Voivodeship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1696-1707.
- Stević, Z. (2018). *Integrirani Model Vrednovanja Dobavljača u Lancima Snabdevanja*. Doktorska Disertacija, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet Tehničkih Nauka, 244, Novi Sad.
- Sunak, Y., Höfer, T., Siddique, H., Madlener, R., & Doncker, R. W. D. (2015). A GIS-Based Decision Support System for The Optimal Siting of Wind Farm Projects. E.ON Energy Research Center Series, 7(2), RWTH Aachen University, Germany.
- Systems For Spatial Planning: a Case Study From Western Turkey. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373.
- Şenel, M. C., & Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.
- Şenpınar, A., Gençoğlu, M. T. (2006). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 49-54.
- Şimşek, A. B. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgar Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Şimşek, G. (2020). Modelling Site Selection Process for Wind Power Plants Through Free and Open Source GIS. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Şimşek, G. (2020). Modelling Site Selection Process For Wind Power Plants Through Free and Open Source GIS. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Şimşek, G. (2020). Modelling Site Selection Process For Wind Power Plants Through Free and Open Source GIS. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Thill, J.-C. (2019). *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach*. London: Routledge Revivals.
- Triantaphyllou, E. (2013). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht, Springer-Science, Business Media.

- Tunay M.T., Cebeci M., (2001). Büyük Hidroelektrik Santraller ile Küçük Hidroelektrik Santrallerin Karşılaştırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir.
- Tümerdem, O. (2002). Rüzgar Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Urfalı, T., Eymen, A., (2021). CBS Ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi. Geomatik Dergisi, 6(3), 227-237.
- URL-1. (2024,Nisan 17). https://onikinciplan.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/11/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-10. (2024, Mayıs, 2). <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden alınmıştır.
- URL-11. (2024 Mayıs, 2). <https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.03/35.25> adresinden alınmıştır.
- URL-12. (2024 Mayıs, 2). <https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.03/35.25> adresinden alınmıştır.
- URL-13. (2024 Mayıs, 2). <https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.03/35.25> adresinden alınmıştır.
- URL-14. (2024, Mayıs5). <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> adresinden alınmıştır.
- URL-15. (2024, Mayıs 5). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5431.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2024, Nisan 18). Dünya geneli ülkelerin enerji tüketim sıralaması: https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrik_t%C3%BCketimine_g%C3%B6re_%C3%BClkelerin_listesi#cite_note-4 adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2023, Aralık 15). Manisa Alaşehir mak-14 kuyusu üretim görüntüleri: www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2023, Aralık 25). Jeotermal enerji: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal#:~:text=T%C3%BCrkiye%20Jeotermal%20Enerji%20Potansiyeli&text=T%C3%BCrkiye%20jeotermal%20potansiyeli%20bak%C4%B1m%C4%B1ndan%20Avrupa,T%C3%BCrkiye%20ve%20Yeni%20Zelanda%20%C5%9Feklindedir.> adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2023, Ocak). Dünya toplam rüzgar kurulum kapasitelerinin tarihsel gelişimi: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2021-Kuresel-Ruzgar-Raporu.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2024, Nisan 22). Türkiye’de Rüzgar Enerjisi: <https://ekolojist.net/turkiyede-ruzgar-enerjisi/> adresinden alınmıştır.
- URL-7. (2024, Mayıs 5). Google Earth: <https://earth.google.com/web/> adresinden alınmıştır.

- URL-8. (2024, Mayıs 5). Global wind atlas: <https://globalwindatlas.info/en> adresinden alınmıştır.
- URL-9. (2024, Mayıs 2). CORINE Land Cover: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> adresinden alınmıştır.
- Uyan, M., & Yalpir, Ş. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Modeli Ve CBS Entegrasyonu İle Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesislerinin Yer Seçimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 642-654.
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A. & Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 7-13.
- Üçüncü M. (2016). Enerji Kaynaklarımız Işığında Hidroelektrik Santrallerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri ve Trabzon Örneği. Avrasya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Westwood, A. (2004). Ocean Power: Wave and Tidal Energy Review. Refocus, 5(5), 50-55.
- Yalçın, U. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerjisi Santral Yeri Seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, U., Gazibey, Y & Güngör, A. (2012). Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(2), 27-47.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- Yolcan, O.O., & Ramazan, K. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 196-215

ÖZGEÇMİŞ

Ayşenur KARABAK ALICI, 2012 yılında Vakfıkebir Anadolu Lisesinde orta öğretimini tamamladı. 2013 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünü kazanıp 2014 yılında yatay geçiş programı ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümüne geçiş yaptıktan sonra 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Özel sektörde bir süre Harita Mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2023 yılında Milli Eğitim Bakanlığına atandı. 1 yıl burada görev aldıktan sonra 2024 yılında Tarım Orman Bakanlığı Hatay İl Tarım Müdürlüğüne atanıp hâlâ burada görev yapmaktadır.