



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE RÜZGÂR HIZI
HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE RÜZGÂR ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: KIRKLARELİ İLİ
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Celal BIÇAKCI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Kamil KARATAŞ

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 202306007 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Celal BIÇAKCI tarafından hazırlanan “**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE RÜZGÂR HIZI HARİTALARININ ÜRETİLMESİ VE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: KIRKLARELİ İLİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Kamil KARATAŞ

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğretim Üyesi S. Sefa BİLGİLİOĞLU

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğretim Üyesi S. Serhan YILDIZ

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 08/07/2021

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

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Celal BIÇAKCI

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşmasında büyük emeği, tez çalışmamın her aşamasında gösterdiği ilgi ve yardımlarından dolayı değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Kamil KARATAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamda yönlendirme ve bilgilendirmelerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Selim Serhan YILDIZ'a teşekkür ederim.

Eğitimimin her aşamasında beni destekleyen annem-babam ve sevgili kardeşlerime teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, desteğini esirgemeyen eşim Şeyma BIÇAKCI'ya teşekkür ederim.

Celal BIÇAKCI

AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. ENERJİ KAYNAKLARI.....	9
2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	10
2.1.1 Doğalgaz	12
2.1.2 Petrol.....	13
2.1.3 Kömür	14
2.1.4 Nükleer Enerji.....	15
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	16
2.2.1 Rüzgâr enerjisi	18
2.2.2 Güneş enerjisi	19
2.2.3 Hidrolik enerjisi	20
2.2.4 Jeotermal enerji.....	21
2.2.5 Biokütle enerjisi.....	23
2.2.6 Dalga Enerjisi	23
2.2.7 Hidrojen Enerjisi.....	24
3.DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ.....	26
3.1 Dünyada Rüzgâr Enerjisi	26
3.2 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi	28
4. RÜZGÂR ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ	33
5. VERİ VE YÖNTEM	35
5.1 Çalışma Alanı ve Rüzgâr Enerjisi Özellikleri.....	35
5.2 Veri	39
5.3. Yöntem	42
5.3.1 Rüzgâr enerjisi potansiyeli hesabında kullanılacak türbin modeli	42
5.3.2 Rüzgâr hızı haritasının oluşturulması	42
5.3.3 RES kurulumuna uygun olmayan alanların belirlenmesi	44
5.3.4 Enerji potansiyelinin hesaplanması ve rüzgâr potansiyeli haritasının oluşturulması	48
6. BULGULAR	50
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	70

YÜKSEK LİSANS TEZİ

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE RÜZGÂR HIZI HARİTASININ ÜRETİLMESİ VE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: KIRKLARELİ İLİ ÖRNEĞİ

Celal BIÇAKCI

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kamil KARATAŞ

ÖZET

Enerji üretimine yönelik kullanılan fosil yakıtlar çevre kirliliğine ve doğal kaynakların zarar görmesine yol açmaktadır. Çevreye ve doğal kaynaklara verilen zararın azaltılmasının en önemli aracı yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji sistemleridir. Dünyada gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinde öncü ve önde olmakla birlikte, Türkiye'nin de içinde bulunduğu sınırlı fosil yakıt rezervine sahip gelişmekte olan ülkelerin de yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlarının olduğu görülmektedir.

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB)'nin raporlarına göre, Türkiye'de rüzgâr enerjisi santralleri (RES)'nin elektrik üretimindeki payı, 2019 yılında % 7.4 iken yeni kurulan RES'ler ile 2020 yılında %8.4 olmuştur. Yeni kurulacak RES'lerle birlikte RES'lerin, elektrik üretimindeki payının artış eğiliminde olması beklenmektedir.

Yeni kurulacak RES'lere ilişkin en önemli problem, santralin kurulacağı yerin rüzgâr enerji potansiyeli tahmininin bilinmemesidir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve geliştirilmesine yönelik birçok Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı uygulamalarla araştırmalar yapılmıştır. Rüzgâr hızı potansiyeli, rüzgâr enerjisi gelişimini etkileyen en önemli kriter olarak değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Kırklareli iline ilişkin seçilen bir rüzgâr türbin modeline göre, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından elde edilen Kırklareli iline ilişkin rüzgâr hızı verileri kullanılarak rüzgâr türbini modelinin kule yüksekliğinde ki rüzgâr hızı haritaları üretilmiştir. Rüzgâr enerji santrali kurulamayacak alanlar ve üretilen rüzgâr hızı haritalarından yararlanarak Kırklareli İli rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kırklareli, Coğrafi Bilgi Sistemi, Rüzgar Hızı, Rüzgâr Hızı Potansiyeli, Rüzgâr Enerjisi.

Haziran, 2021; 70 sayfa

M.Sc. THESIS

GENERATION OF WIND SPEED MAP AND DETERMINATION OF WIND ENERGY POTENTIAL WITH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS: EXAMPLE OF KIRKLARELİ PROVINCE

Celal BIÇAKCI

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatic Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Kamil KARATAŞ

ABSTRACT

Fossil fuels used for energy production cause environmental pollution and damage to natural resources. Renewable and sustainable energy systems are the most important means of reducing the amount given to the environment and natural resources. While developed countries are pioneers and leading in the development of renewable energy resources, it is seen that developing countries such as Turkey that have limited fossil fuel reserves also invest in renewable energy resources.

According to the reports of the Turkish Wind Energy Association, the share of wind power plants in electricity generation in Turkey was 7.4% in 2019. With the newly established WPPs, it increased to 8.4% in 2020. With the newly established wind power plants, it is expected that the share of wind power plant in electricity generation will tend to increase.

The most important problem for newly established wind power plants is that the wind energy potential of the place where the power plant will be established is not known. In order to determine and develop the wind energy potential, many geographical information system-based applications have been researched. Wind speed potential is considered as the most important criterion affecting wind energy development.

In this thesis, a wind turbine model was selected for Kırklareli province, then wind speed maps at turbine tower height were created using wind speed data of Kırklareli province obtained by the General Directorate of Meteorology. The wind energy potential of Kırklareli Province has been calculated by using the areas where a wind power plant cannot be established and the generated wind speed maps.

Keywords: Kırklareli, Geographical Information System, Wind Speed, Wind Speed Potential, Wind Energy.

June, 2021; 70 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyanın temel enerji kaynaklarına göre arzı	9
Şekil 2.2. Fosil yakıtların birincil enerjideki payı (2019).....	10
Şekil 2.3. Fosil yakıt tüketimi	11
Şekil 2.4. Türkiye'nin türlerine göre fosil yakıt tüketimi	12
Şekil 2.5. Dünyadaki doğalgaz üretim ve tüketimi	13
Şekil 2.6. Dünyadaki petrol üretimi-tüketimi	14
Şekil 2.7. Dünyadaki kömür üretimi – tüketimi	15
Şekil 2.8. Nükleer enerji tüketimi	16
Şekil 2.9. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji	17
Şekil 2.10. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketimdeki payı	17
Şekil 3.1. Rüzgârdan elde edilen enerjinin tarihsel gelişimi (GW)	26
Şekil 3.2. Toplam RES kurulumu (2020)	27
Şekil 3.3. Dünyada 2020 yılı rüzgâr enerjisi üretimi (2020)	27
Şekil 3.4. Rüzgâr kaynaklı birincil enerji tüketimi	28
Şekil 3.5. 2020 yılında kurulan RES'lerin ülkelere göre dağılımı	28
Şekil 3.6. 2020 yılında işletmeye giren RES konumları	29
Şekil 3.7. RES yıllık kurulum gücü	30
Şekil 3.8. RES kümülatif kurulum gücü	30
Şekil 3.9. 2020 yılı itibariyle RES'lerin bölgelere göre dağılımı	31
Şekil 3.10. Rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payı	31
Şekil 3.11. Üretim ve inşa halindeki RES hacimleri (MW)).	32
Şekil 5.1. Çalışma alanının Türkiye'deki konumu ve 3B haritası	35
Şekil 5.2. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızı	36
Şekil 5.3. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama güç yoğunluğu	36
Şekil 5.4. Türkiye geneli 50m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü	37
Şekil 5.5. Kırklareli ili mevcut RES konumları.....	37
Şekil 5.6. İşletmedeki RES'lerin illere göre dağılımı (2020)	38
Şekil 5.7. Kırklareli ili MGM istasyonlarının konumları	40
Şekil 5.8. Rüzgâr türbini etki alanı elipsi.....	46
Şekil 5.9. Seçilen rüzgâr türbinüne ait etki alan elipsi.....	46
Şekil 6.1. 125 m yüksekliğine ilişkin Kırklareli ili rüzgâr hızı haritası	50
Şekil 6.2. Kırklareli ilçelerine ilişkin rüzgâr hızı haritaları	51
Şekil 6.3. ENH ve doğalgaz hattı dışlama alanları	52
Şekil 6.4. Demiryolu dışlama alanları.....	52
Şekil 6.5. Karayolu dışlama alanları	53
Şekil 6.6. Su yüzeyleri dışlama alanları.....	53
Şekil 6.7. Akarsu dışlama alanları	54
Şekil 6.8. Üniversite dışlama alanları	54
Şekil 6.9. Sanayi dışlama alanları	55
Şekil 6.10. Kentsel yerleşim dışlama alanları	55
Şekil 6.11. Köy dışlama alanları	56
Şekil 6.12. Kırklareli ili eğime göre dışlama alanları	56
Şekil 6.13. Tabiat ve Milli Park alanları	57
Şekil 6.14. Taşkın alanları	57
Şekil 6.15. Kırklareli ili sit alanları.....	58
Şekil 6.16. Kırklareli ili dışlama alanları	58

Şekil 6.17. Kırklareli ili rüzgar enerji potansiyeli haritası.....	59
Şekil 6.18. İşletmedeki RES'ler ve rüzgar enerji potansiyeli haritası.....	.60



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	10
Çizelge 3.1. Dünya RES kurulu gücü listesi	32
Çizelge 4.1. RES uygun yer seçiminde kullanılan kriterler	34
Çizelge 5.1. Kırklareli ili işletmedeki RES listesi ve özellikleri	38
Çizelge 5.2. Kırklareli ili inşaa halindeki RES listesi	39
Çizelge 5.3. MGM istasyonlarının konumları	40
Çizelge 5.4. Arazi karakteristiğine göre sürtünme katsayıları	41
Çizelge 5.5. Kullanılan veri katmanlarının nitelikleri.	41
Çizelge 5.6. Çalışma alanı için seçilen rüzgâr türbini özellikleri	42
Çizelge 5.7. İstasyon noktalarının 125 m yükseklikteki rüzgâr hızları.....	44
Çizelge 5.8. RES kurulamayacak alanlar için kullanılan kriterler.....	45
Çizelge 5.9. Köy yerleşim yerleri ve çizilen daireler.....	47
Çizelge 6.1. Kırklareli ili rüzgâr enerji potansiyeli.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Rüzgâr türbini süpürme alanı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Proses
ANFIS	Adaptive-Network Based Fuzzy Inference
BP	British Petroleum
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CO₂	Karbondioksit
CORINE	Coordination of Information on the Environment
C_p	Verimlilik katsayısı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
D	Rüzgâr türbin çapı
DEM	Digital Elevation Model
EEA	European Enviroment Agency
ENH	Enerji Nakil Hattı
FUCOM	Full Consistency Method
GW	Gigawatt
GWEC	Global Wind Energy Council
H	Rüzgâr hızının taşınacağı yükseklik
H₀	Rüzgâr sensörü yüksekliği
HES	Hidroelektrik Santrali
IDW	Inverse Distance Weighting
MEB	Millî Eğitim Bakanlığı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MW	Megawatt
P	Rüzgâr enerjisi
REPA	Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TUREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TWh	Terewatt-saat
V	Taşınacak yükseklikteki rüzgâr hızı
V₀	Sensor ile ölçülen rüzgâr hızı
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
α	Sürtünme kat sayısı
m	Metre
m²	Metrekare
ρ	Havanın özgül kütlesi
%	Yüzde
~	Yaklaşık
3B	Üç boyut

1. GİRİŞ

Gelişen ve büyüyen ülkelerde nüfusun hızla artması ve sanayileşmesiyle birlikte enerjiye olan talep de hızla artmaktadır. Bir ülke için enerji üretimi zorunlu bir faktör olup, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmanın birincil göstergesidir. Enerji, sosyal ve ekonomik kalkınma için önemli bir rol oynamaktadır (Baños vd., 2011). Sosyal ve ekonomik kalkınma ile enerji tüketimi arasında doğrusal bir orantı olup, büyüyen kalkınma ile enerji tüketiminin fazlaştığı görülmektedir (Koç ve Kaplan, 2008). Artan nüfus ve yükselen hayat standartları, daha fazla enerjinin daha ekonomik yollar ile temin edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. 2040 yılında, 2010 yılına oranla, enerji ihtiyacının, gelişmekte olan ülkelerde %65 ve dünya genelinde %35 artması beklenmektedir (ExxonMobil, 2014).

Enerji politikalarında ülkelerin temel amacı, insan hayatında yeri ve öneminin büyüklüğü tartışmasız olan elektrik enerjisinin bütün tüketicilere düşük maliyetle, kaliteli, sürekli ve yeterli miktarda sunulmasıdır (Koçaslan, 2006).

Yaşanılan dünyada farklı şekillerde bulunan enerji; elektrik, nükleer, ısı enerjisi ve kimyasal enerji olarak sıralanabilir. Termodinamik kanununun enerjinin korunumu yasasına göre kapalı bir sistem içerisinde bulunan enerjinin toplamı daima aynıdır. Mevcut enerjinin yok olması ya da olmayan bir enerjinin yoktan var olması söz konusu değildir. Ancak elektrik, nükleer, ısı enerjisi ve kimyasal enerji türleri arasında değişime tabi tutulabilmektedir (Akdağ ve Dinler, 2009). Birincil enerji, enerjinin değişmemiş ya da dönüştürülmemiş şeklidir. Birincil enerji kaynakları; kömür, hidrolik, petrol, doğalgaz, nükleer, dalga-gelgit, rüzgâr, güneş ve biokütledir. İkincil enerji, dönüştürülmüş birincil enerji sonucu meydana gelen enerjidir. Elektrik, mazot, benzin, kok kömürü, petrokok, havagazı, motorin, ikincil kömür, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ikincil enerji kaynakları olarak sıralanabilir (Şenel, 2012).

Petrol, doğalgaz ve kömür vb. doğal enerji kaynakları fosil yakıt ya da mineral yakıt olarak bilinmektedir. Fosil yakıtlar, organizmaların ölmesinden sonra oksijensiz ortamda milyonlarca yıl süren çözülme sonucunda meydana gelir. Endüstriyel alanda fosil yakıtların çok geniş bir kullanım alanı vardır (URL-1).

Fosil yakıt kaynakların kullanılmasıyla atmosferde sera etkisi oluşmaktadır. (Özen vd., 2015). Fosil yakıtla çalışan enerji santrallerinin insana, çevreye ve doğaya verdiği zararlar vb. birçok nedenden dolayı ülkeler artan enerji gereksinimini karşılayabilmeye yönelik yeni enerji kaynakları arayışına girmiştir. Ucuz, kaliteli ve çevreye zarar vermeyen enerji kaynakları kullanılarak enerjiyi elde etmek her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır (Dündar vd., 2002).

Günümüzde fosil kaynakların artan olumsuzluklarını aşmak amacıyla doğadaki kaynaklardan elde edilen ve doğa tarafından sürekli takviye edilebilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yönünde talepler daha da artmaktadır (Koçaslan, 2006). Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir, kalıcı ve temiz enerji olması yönüyle önemli fırsatlar sunmaktadır. Ülkelerde farklı biçimde uygulanan yatırım teşvikleriyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması sağlanmaktadır. Böylece devletlerin enerji planlamalarında yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir unsuru haline gelmektedir (Akkaya, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan rüzgâr ile enerji üretimi son yıllarda artış göstermeye başlamıştır. Birçok ülkede enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgâr, doğada sürekli var olan, hammadde bakımından maliyetsiz, temiz olan ve dışa bağımlılığı olmayan bir enerji kaynağıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına alternatif bir kaynak olması ve fosil yakıtlarla rekabet içinde olabilmesi için dünyada farklı teşvikler ve destekler uygulanmaktadır. Bu destekler hem rüzgâr enerjisinin kullanılabilirliği yaygınlaşmakta hem rüzgâr enerjisine bağlı bir sanayi meydana getirmektedir (Bayraç, 2011).

Günümüzde, 100'den fazla ülke elektrik üretmek için rüzgâr enerjisini kullansa da yaşanan gelişmeler istenilen seviyede değildir. Ancak yeni kurulan rüzgâr enerji santralleri (RES) ile birlikte üretilen enerji her yıl artmaktadır (URL-2).

Hedeflenen kurulu güç potansiyeline ulaşmak için yeni kurulacak olan enerji santral yerlerinin belirlenmesinde fizibilite çalışmaları büyük bir öneme sahiptir. Yatırımcı gerçeğe en yakın üretim tahmini yapacak araçlara sahip olmalıdır (URL-3). RES'e yönelik uygun yer araştırmalarında ekonomik, çevresel, sosyal ve fiziksel faktörler kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama görüntülerinden işlenen verilerle birlikte araştırma yapılabilmektedir (Bennui vd., 2007). Bu

araştırmaların yapılabilmesi için enerji nakil hatlarına mesafe, ulaşım ağılarına yakınlığı, korunmuş alanlara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, rüzgâr hızının yeterli olduğı alanların belirlenmesi vb. birçok konumsal faktör kullanılmaktadır (Ecer, 2021).

RES'e yönelik uygun alanların belirlenmesiyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, RES alanlarına ilişkin rüzgâr hızı ve enerji potansiyeli yüksek olan alanların belirlenmesi önemli bir unsur olduğı görülmektedir. Bu nedenle rüzgâr hız haritalarının oluşturulması ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi uygun yer seçiminde kullanılacak verilerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinde öncü ve önde olmakla birlikte, sınırlı fosil yakıt rezervine sahip gelişmekte olan Türkiye vb. ülkelerin de yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlarının olduğı görülmektedir (Şenol, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanabilmek için kurulacak olan enerji santralinin yerinin belirlenmesi büyük önem sahiptir. Yeni kurulacak olan enerji santrallerinin yer seçiminde öncelikli olarak kullanılacak veri enerji potansiyelidir (Şimşek ve Doğru, 2019). Rüzgâr hızı potansiyeli, rüzgâr enerjisi gelişimini etkileyen en önemli kriter olarak değerlendirilmektedir (Elmahmoudi vd., 2020). Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve geliştirilmesi için birçok CBS tabanlı uygulamalarla araştırmalar yapılmıştır (Feng vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı Kırklareli ilinin rüzgâr enerji potansiyelini tahmin etmektir. Bu kapsamda, belirlenen rüzgâr türbini modelinin özellikleri doğrultusunda CBS tabanlı uygulama kullanılarak Kırklareli ili 200 m x 200 m boyutlarında hücrelere bölünerek her bir hücrenin 125 m yüksekliğindeki rüzgâr hızının belirlenmesiyle rüzgâr hızı haritası üretilmiştir. Her bir hücredeki rüzgâr enerji potansiyeli, o hücredeki rüzgâr hızı değeri ve belirlenen rüzgâr türbininin özellikleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Hücre bazlı yapılan hesaplamalarla Kırklareli iline ilişkin rüzgâr enerji potansiyeli haritası üretilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmayla elde edilen sonuçlar, Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA) ile karşılaştırılmasına yönelik

REPA’da bulunan rüzgâr aralıklarına karşılık gelen hücre sayıları belirlenmiş ve rüzgâr enerji potansiyelleri hesaplanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Yeni kurulacak RES alanın belirlenmesi ve enerji potansiyelinin hesaplanması yönelik uygulamalar birçok akademik çalışmaya konu olmuştur.

Ali vd. (2019) çalışmasında Tayland’ın güneyindeki Songkhla eyaletindeki rüzgâr ve güneş çiftlikleri için uygun alanları belirlemiştir. CBS ve analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ile çeşitli 5 kriteri kullanarak uygun yer analizi gerçekleştirilmiştir.

Ayodele vd. (2018) çalışmasında Nijerya’daki uygun RES alanlarını belirlemek AHP yöntemini kullanarak model önerilmiştir. Model, rüzgâr çiftliği gelişimine yönelik uygun alanların değerlendirilmesinde ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler kullanılmıştır.

Bennui vd. (2007) çalışmasında Taylanda yönelik en uygun RES alanının konumunu belirlemede CBS ve AHP yönteminden yararlanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uygun RES alanlarını belirlemede rüzgâr potansiyeli ve yüksekliğin en belirleyici ölçütler olduğu sonucuna varılmıştır.

Talinli vd. (2011) çalışmasında bulanık AHP yöntemiyle uygun RES yeri belirlemesine yönelik 14 kriterden yararlanılmışlardır. Çalışmanın sonucunda çevre faktörlerin yer seçiminde dikkate alınması gereken en önemli faktör olduğu belirlenmiştir.

Tegou vd. (2010) yapmış olduğu çalışmada uygulama alanı olarak Yunanistan’ı seçmiş, CBS ve AHP yöntemiyle çalışma alanındaki rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimini değerlendirmişlerdir. Belirlenen kriterlerin çevre, teknik ve ekonomik boyutları incelendiğinde RES yer seçimine yönelik dikkate alınması gereken en önemli faktörün rüzgâr potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Azizi vd. (2014) çalışmasında İran’ın Ardabil iline yönelik CBS ile uygun RES yeri seçimi çalışmalarında kullanılan kriterler arası ilişkiyi belirlemişlerdir. Çalışmada 13

kriter kullanılarak yapılan analiz sonucunda uygun RES alanlarına yönelik yer belirlemede en önemli faktörün rüzgâr potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Can ve Yücel (2019) çalışmasında Çanakkale’de yeni kurulacak olan rüzgâr türbinlerine yönelik uygun alanların belirlemek amacıyla CBS ile AHP kullanılmıştır. İlk olarak uygulamada kullanılacak veriler belirlenerek ArcGIS yazılımında kullanılacak formata uygun hale getirilmiştir. Formata uygun hale getirilen verilerle birlikte ArcGIS yazılımıyla konumsal analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. RES kurulumuna uygun olmayan alanlar değerlendirmeden çıkarılmıştır. Verilerin önem derecesini belirlemek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılarak veriler ağırlıklandırılmıştır. En yüksek ağırlık, rüzgâr kapasitesine verilmiştir. Yapılan analizle Çanakkale iline yönelik RES kurulumuna uygun alanlar tespit edilmiştir.

Gigovic vd. (2017) çalışmasında Sırbistan’ın Voyvodina ili uygulama alanı seçilerek rüzgâr santrallerinin kurulacağı yerlerin belirlenmesi için güvenilir bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada 11 ölçüt dikkate alınmıştır. Kriterler arasında en büyük ağırlık rüzgâr hızına verilmiştir.

Urfalı ve Eymen (2021) çalışmasında Kayseri ilinde rüzgâr enerji santrallerine yönelik uygun alanların belirlenmesinde kullanılacak 12 ölçüt belirlenmiştir. ÇKKV tekniklerinden biri olan AHP yöntemi ile kriterlerin önem sırası belirlenmiştir. Kriterler arasında en büyük ağırlık rüzgâr hızına verilmiştir. CBS yazılımı kullanılarak kriterlerin konumsal analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarında Kayseri ilinde yeni kurulacak RES’e yönelik rüzgâr potansiyeli uygun alanlar belirlenmiştir.

Akkaya (2019) yüksek lisans tez çalışmasında Tekirdağ ilinde yeni kurulabilecek RES yerlerinin belirlenmesi konusunda çalışma yapılmıştır. CBS yardımıyla rüzgâr enerjisinden yararlanılabilecek yerlerin tespiti yapılmıştır. Yer tespitinde meteorolojik iklim verileri, yükseklik ve eğim verileri, enerji nakil hatlarının konumları dikkate alınmıştır. Rüzgâr enerjisinin aktif olarak kullanılabileceği alanlar tespit edilmiş ve haritalandırılmıştır.

Yıldız (2021a) çalışmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’nden alınan 32 meteoroloji istasyonunun 5 yıllık ölçüm verileriyle CBS yazılımı kullanılarak

Balıkesir ilinin 50 ve 80 metre yükseklikteki rüzgâr hızlarını gösteren haritaları oluşturulmuştur. RES'e yönelik uygun olmayan ve yasaklı alanların çıkarılmasından sonra hızı 6 m/s den büyük olan toplam alanlar belirli hız aralıklarına göre ayrılmıştır. RES'e yönelik ekonomik verimlilik sınırı olarak kabul edilen rüzgâr hızı 6 m/s dikkate alınarak Balıkesir ilinde 50 metre yükseklikte, rüzgâr hızı 6 m/s'nin üzerindeki toplam alan bulunmuştur.

Oral vd. (2019) çalışmasında Sakarya-Esentepe bölgesine ilişkin üç aylık rüzgâr verileriyle istatistiksel ve WindPRO programı ile rüzgâr enerjisi analizi yapılarak ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu değerleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada analiz sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca WindPRO programı yardımı ile seçilmiş bölgeye yönelik verilen bir rüzgâr türbinin enerji üretimi ile kapasite faktörü yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Silubun (2019) çalışmasında Merauke şehrinde rüzgâr enerjisi kaynağı olarak rüzgâr enerjisinin potansiyelini incelemiştir. Rüzgâr hızı dağılımı tahminine yönelik iki parametrelili Weibull distribution analiz yöntemi kullanılmıştır.

Amadi (2018) çalışmasında Nijerya'daki üç lokasyonun rüzgâr enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Yenagoa, Calabar ve Port Harcourta yönelik Nijerya Meteoroloji Ajansı'ndan elde edilen 2013-2017 dönemine ilişkin 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verileri, rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemeye yönelik Weibull iki parametrelili olasılık dağılım modeli kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kombe ve Muguthu (2019) çalışmasında Great Cumbrae Adasının rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırmıştır. Ulusal Havacılık Uzak İdaresinden elde edilen 50 m yükseklikte 10 yıllık ortalama aylık rüzgâr hızı, Great Cumbrae Adasının temiz, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmek için Weibull olasılık dağılımları kullanılarak analiz edilmiştir.

Koyuncu ve Lüle (2009) çalışmasında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü içerisine bulunan ve 2 m yükseklikteki meteorolojik ölçüm istasyonundan alınan bir yıllık (2002-2003) rüzgâr hızı, yönü ve esme süresi verileri

kullanılmış ve işlenmiştir. 3 m, 5 m, 10 m ve 15 m çaplı rüzgâr türbinlerinin güçleri, 10 m, 20 m ve 30 m yüksekliklere yönelik hesaplanmıştır.

Mentis (2013) yapmış olduğu tez çalışmasında Afrika kıtasındaki kara rüzgâr gücünün potansiyelini analiz etmiştir. Sağlıklı rüzgâr hız dağılımı elde etmeye yönelik yüksek çözünürlüklü ve daha düşük çözünürlüklü rüzgâr hızı verileri birleştirilerek işlenmiştir. Böylece seçilen rüzgâr türbini tarafından üretilen rüzgâr enerjisi belirlenmiştir. Rüzgâr enerji santrallerinin konumlandırması CBS yazılımı olan ArcGIS programıyla gerçekleştirilmiştir.

Ramachandra ve Shruthi (2005) çalışmasında Hindistan'da bir federal eyalet olan Karnataka'da rüzgâr enerjisini kullanmaya yönelik potansiyel alanların haritalanmasına odaklanılmıştır. Karnataka eyaletinin rüzgâr enerjisi kaynaklarını haritalamak ve değişkenliklerini konumsal ve mevsimsel açıdan analiz etmek için CBS kullanılmıştır. Rüzgâr potansiyelin mevcut durumu değerlendirilmiştir. Rüzgâr enerjisine uygun alanların haritaları hazırlanmıştır. Rüzgâr hızları verilerini içeren konumsal bir veri tabanı geliştirilmiştir.

Sliz-Szkliniarz ve Vogta (2011) çalışmasında CBS kullanarak Kujawsko–Pomorskie Voivodeship'in rüzgâr enerjisi projelerine yönelik yer seçimi ile bağlantılı karar verme sürecini destekleyecek bir yaklaşım geliştirmiştir. Teknik ve ekonomik açıdan potansiyel tahmini yapılmıştır.

Gökçek vd. (2007) çalışmasında Kırklareli ilindeki rüzgârın karakteristik yapısı ve enerjisi potansiyeli, saatlik zaman serileri şeklinde ölçülen rüzgâr verileri dikkate alınarak analiz edilmiştir. Weibull ve Rayleigh fonksiyonları kullanılarak Kırklareli ilinin rüzgâr özellikleri ve rüzgâr gücü potansiyelinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ersoz vd. (2013) çalışmasında MGM Kırklareli ofisi tarafından sağlanan verilerle Türkiye'nin batı bölgesinin rüzgâr potansiyeli ayrıntılı olarak incelenerek bir analiz yapılmıştır. Kırklareli ilinde seçilen bir bölgede kurulacak 7,8 MW'lık bir rüzgâr santrali örneğinde üretilen enerji ve kapasite kullanım oranları da dikkate alınarak bölgenin rüzgâr santrali yatırımına uygunluğu araştırılmıştır. Çalışmada Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) aracılığıyla bir model oluşturularak rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir.

Çakmakçı ve Hüner (2019) çalışmasında uygulama alanı olarak belirlenen Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsünün rüzgâr enerji potansiyelini belirlemeye yönelik Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımlarından yararlanılmıştır. 2018 yılı sonbahar dönemine ilişkin 5 dakika aralıklı ölçülen rüzgâr hız verileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Kayı (2017) yapmış olduğu yüksek lisans tezi çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu yerleşkesinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmiştir. Yüksekliği 20 m ve Vize Meslek Yüksekokulu binasının üzerine bulunan rüzgâr ölçüm istasyonunun kaydettiği veriler kullanarak Weibull dağılımı ile çalışma alanının rüzgâr enerji potansiyeli belirlenmiştir.

Kırklareli ili sınırlarında gerçekleştirilmiş olan tüm çalışmalar (Gökçek vd., 2007; Ersoz vd., 2013; Çakmakçı ve Hüner, 2019; Kayı, 2017) nokta bazlı yapılmıştır.

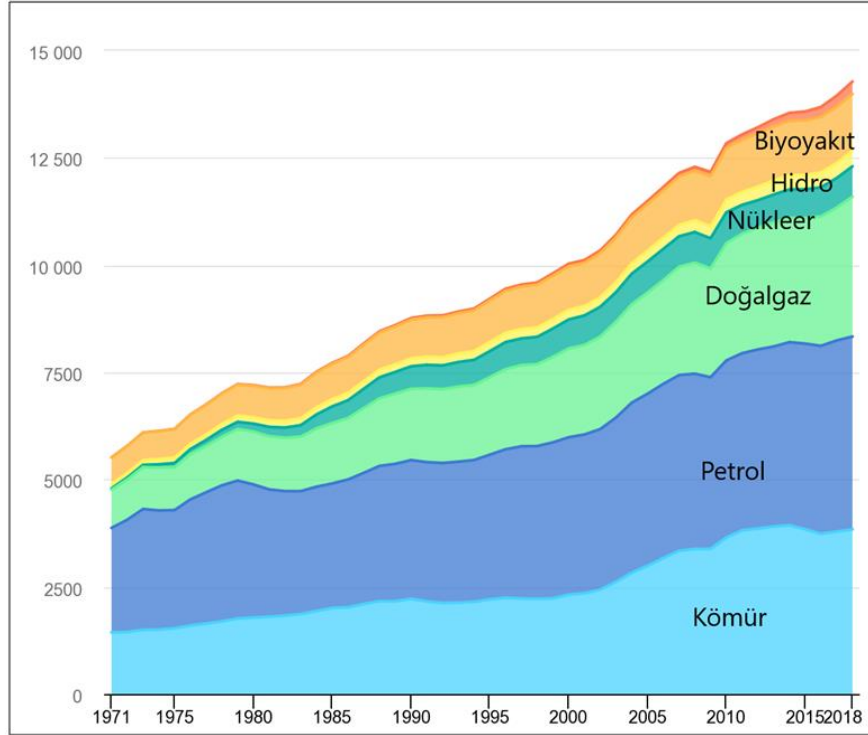
Ecer (2021) çalışmasında uygun RES alanlarının tespitine yönelik kullanılan faktörleri Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) ağırlıklandırma yöntemi ile analiz etmiştir. Yapılan çalışmada kurulacak RES alanlarının rüzgâr enerji potansiyeline ve yerleşim yerine olan mesafeye bağlı olduğu belirtilmiştir.

Miller ve Li (2014) çalışmasında Kuzeydoğu Nebraska bölgesine yönelik rüzgâr enerjisi gelişimine en uygun alanları belirlemek amacıyla CBS tabanlı çok kriterli yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntemde yollara uzaklık, iletim hatlarına yakınlık, nüfus yoğunluğu, rüzgâr potansiyeli, arazi kullanımı, şehirlere uzaklık, eğim ve dışlayıcı alanlar dahil olmak üzere yedi ölçüt benimsenmiştir. Rüzgâr çiftliği geliştirmenin uygunluğu, belirlenen ölçütlere karşılık gelen ağırlıklı bir jeo-uzamsal (geospatial) katmanlarla modellenmiştir. Oluşturulan modelin rüzgâr çiftliği gelişimine yönelik uygun lokasyonları belirleyebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Akınsal (2009) tez çalışmasında Türkiye’de belirlenen 10 bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli MGM’nin 2003-2008 yılları arası 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. Bu bölgelerin rüzgâr enerjisi üretimi hesaplanmıştır.

2. ENERJİ KAYNAKLARI

Dünyada kömür, kömürün türevleri, doğalgaz, ham petrol, nükleer, rüzgâr, jeotermal, güneş, hidrolik, hidrojen, biyokütle temel enerji kaynakları olarak sıralanmaktadır. (Anlar, 2017). Uluslararası Enerji Ajansı'nın 1971-2018 yılları arasına ilişkin verilerine göre; petrol, doğalgaz ve kömürün dünyadaki toplam enerji arzında ilk sıralarda olduğu görülmektedir (Şekil 2.1) (URL-4).



Şekil 2.1. Dünyanın temel enerji kaynaklarına göre arzı (URL-4).

İnsanların talepleri ve ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik yapılan üretim ve sunulan hizmetler arttıkça enerji tüketimi artmaktadır. Enerji tüketiminin karşılanmasına yönelik farklı kaynaklardan sürdürülebilir şekilde sağlanması gerekmektedir. Devletler, enerji arzının çeşitliliğinin arttırılmasına ve yerel, farklı kaynaklardan enerji üretilmesine yönelik yeni enerji üretim arayışlarını da beraberinde getirmiştir (Kanbur, 2021). Çevremizde nükleer, elektrik, ısı ve kimyasal olarak farklı şekillerde bulunan enerji türleri birbirleri arasında değişime uğrayabilir (Akdağ ve Dinler, 2009).

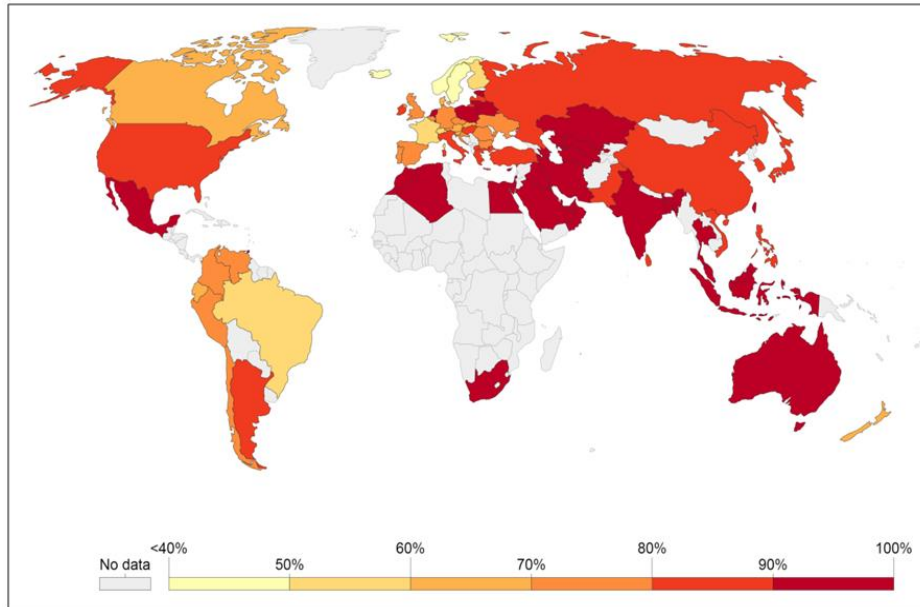
Enerji üretildiği kaynaklar yönünden yenilemeyen ve yenilenebilen enerji kaynağı olarak ikiye ayrılmaktadır (Çizelge 2.1) (Akkaya, 2019).

Çizelge 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

Yenilenemeyen Enerji	Yenilenebilir Enerji
Petrol	Güneş
Doğalgaz	Rüzgâr
Kömür	Hidrolik
Nükleer Enerji	Jeotermal
	Biokütle
	Dalga
	Hidrojen

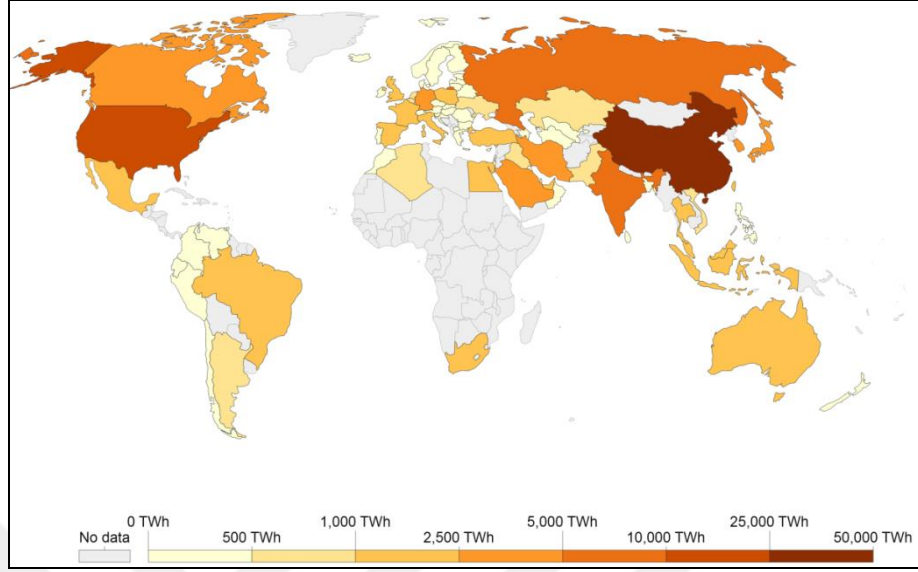
2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

İnsanlık tarihinde atalarımız enerji kaynağı olarak insan kasını, hayvan kasını veya biokütle enerjisini kullanmışlardır. Ancak sanayi devrimi yeni bir enerji kaynağı olan fosil yakıtların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sanayi devrimini takip eden teknolojik, sosyal, ekonomi ve kalkınmanın ilerlemesinde temel destekleyici güç fosil yakıtlar olmuştur. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, gaz) yandıklarında karbon dioksit üretmesi ve iklim değişikliğine yol açan gibi birçok olumsuz etkisi olmasına rağmen, küresel enerji piyasasında önemli bir konumunu sürdürmektedir. Küresel enerji piyasasında ülkelere göre fosil yakıtların birincil enerjideki payı Şekil 2.2’de gösterilmiştir (URL-5).



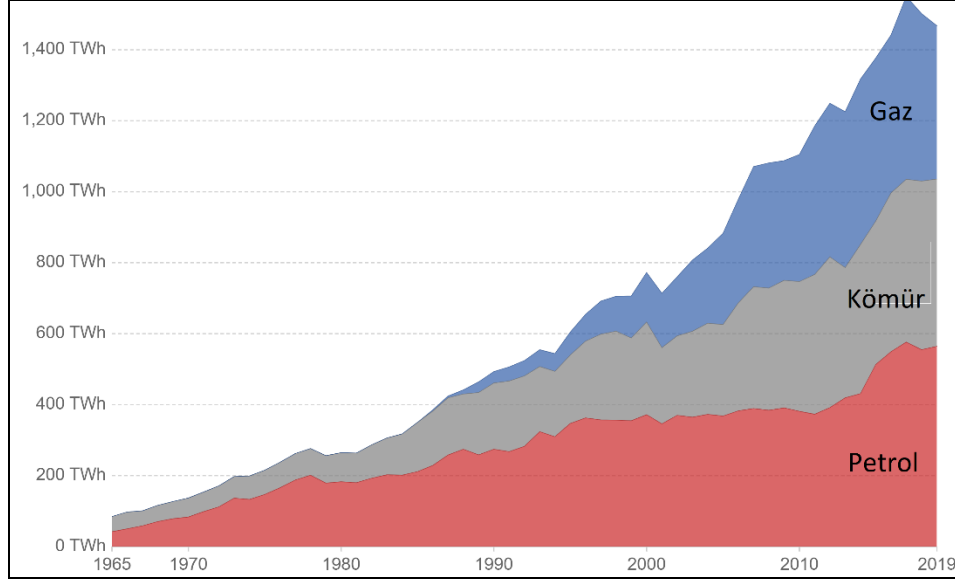
Şekil 2.2. Fosil yakıtların birincil enerjideki payı (2019) (URL-5).

Dünyada ülkelerin 2019 yılı fosil yakıt tüketimi incelendiğinde, çoğu ülkelerin fosil yakıt tüketiminin yüksek miktarda olduğu görülmektedir (Şekil 2.3) (URL-5).



Şekil 2.3. Fosil yakıt tüketimi (URL-5).

Fosil yakıt tüketiminin, dünyada halen ağırlıklı olarak tüketim gerçekleştirildiğinden küresel ısınma, atmosfer kirliliği, sera etkisi ve iklim değişikliği sorunları artmaktadır. Türkiye’de 1990-2013 yılları arasında fosil yakıt kullanımındaki artıştan kaynaklı atmosferdeki karbondioksit (CO_2) miktarında %110 artış olmuştur (Karaca ve Bingül, 2019). Ülkemizde, enerji üretimin büyük oranda fosil yakıt kaynaklarının kullanımıyla gerçekleştiğinden, üretimdeki artışa paralel olarak gelecekte çevre sorunlarının artması beklenmektedir (Karaca, 2016). Türkiye’nin 1965-2019 yılları arasında tüketilen fosil yakıt türü olarak birinci sırada petrol, ikinci sırada kömür ve üçüncü sırada doğalgaz olduğu görülmektedir (Şekil 2.4) (URL-5).



Şekil 2.4. Türkiye'nin türlerine göre fosil yakıt tüketimi (URL-5).

Fosil kaynaklardan elde edilip yenilenemeyen enerji kaynakları olan doğalgaz, petrol, kömür, nükleer enerji aşağıda incelenmiştir.

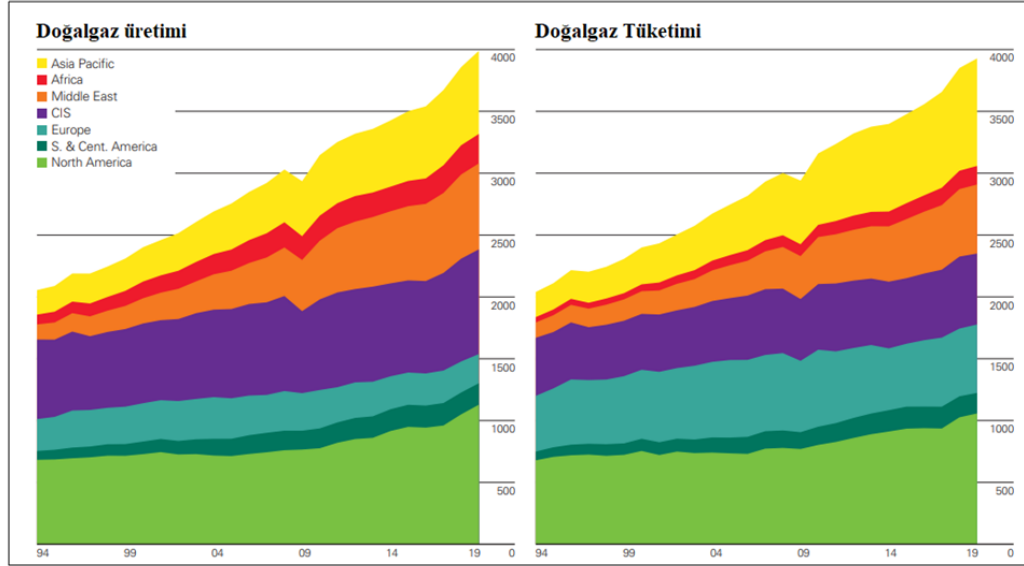
2.1.1 Doğalgaz

Doğalgaz tüketim bedelinin kullanımdan sonra ödenmesi, depolama için ihtiyaç duyulmaması, kullanıldığında atık madde ortaya çıkmaması, nakliye işlemine gerek olmaması ve çevreye az zarar vermesi önemli avantajlarıdır (Garih, 2000).

Doğalgaz, 2400 yıl önce ticari olarak ilk kullananların Çinliler olduğu bilinmektedir (Kidnay ve Parrish, 2006). 1970'lerin başından bu yana, dünya doğalgaz rezervleri, yıllık ~ % 5'lik bir oranda istikrarlı bir şekilde artarken rezervleri bilinen ülkelerin sayısı da 1960 yılında 40 iken 2005'de ise 85'e yükselmiştir (Economides ve Wood, 2009). Dünyada toplam doğalgaz rezervi 2014 yılının sonlarında 199,3 trilyon m³ iken, 2019 sonunda 206,2 trilyon m³ olarak belirlenmiştir. 2014-2019 yılları arasında kullanılabilir doğalgaz rezervi % 3,5 artmıştır (URL-6).

Türkiye'nin doğalgaz ihtiyacının çoğu Rusya'dan karşılamaktadır. 2019 yılında toplam doğal gaz ithalatının %46,6 sını oluşturan 14.6 milyon küp Rusya'dan doğal gaz ithal edilmiş (British Petroleum [BP], 2020). Özellikle son yıllarda Türkiye'de doğalgaz arama çalışmaları daha yoğun bir şekilde sürdürülmektedir (Akkaya, 2019).

British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy 2020 raporlarına göre, Afrikada doğalgaz üretiminin ve tüketiminin en az olduğu, Kuzey Amerika’da ise üretim ve tüketimin en fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2.5) (BP, 2020).



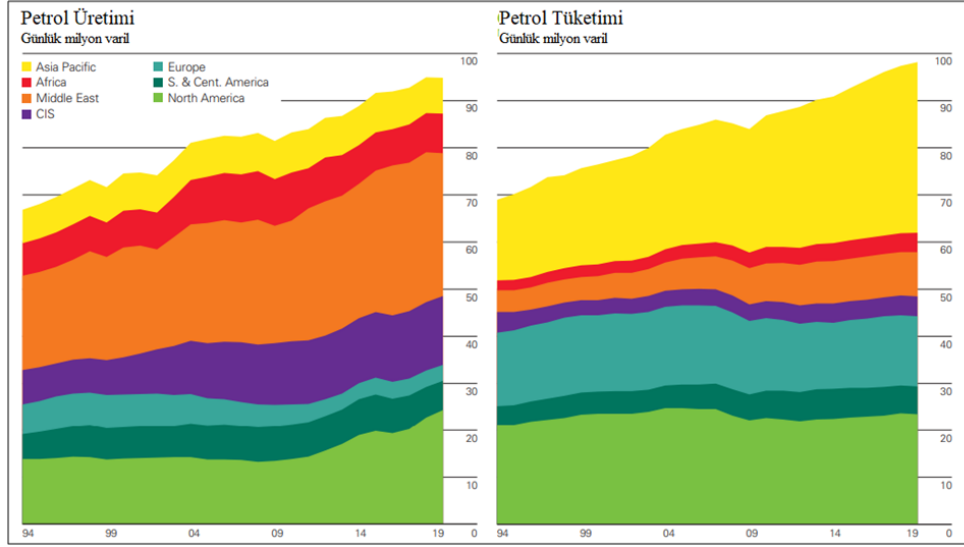
Şekil 2.5. Dünyadaki doğalgaz üretim ve tüketimi (BP, 2020).

2.1.2 Petrol

Latince petro (taş) ve oleum (yağ) kelimelerinin birleşmesiyle meydana gelen petrol kelimesinin anlamı taşıyağıdır (Erik ve Koşaroğlu, 2016). Petrol, içerisinde hidrojen, karbon, nitrojen, oksijen ve kükürt bulunmaktadır ve yalın bir formülü bulunmamaktadır. 1859’da Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Pennsylvania eyaletinde ilk petrol kuyusu açılmıştır. Hafif ve orta petrol kolay üretilebilmesi, taşınabilmesi ve işlenebilmesi nedeniyle günümüz petrol talebinin %90’ını karşılamaktadır. Dünya petrol kaynaklarının yalnızca %25’ini hafif ve orta petrol oluşturmaktadır. Dünyadaki ağır petrol rezervleri, Kanada, Amerika, Brezilya, Venezuela ve Rusya’da bulunmaktadır. Türkiye’de üretilebilir petrol rezervi 2017 yılında 324 milyon varildir. Yeni keşifler yapılmaz ise 18 yıl sonra ham petrol rezervleri tükenecektir (URL-7).

BP Statistical Review of World Energy 2020 raporları incelendiğinde, bölgelere göre üretimin tüketimi karşılamadığı, özellikle Asya Pasifik bölgesinde üretim az olmasına karşın çok fazla tüketimin çok fazla olduğuda görülmektedir. Ayrıca 2019

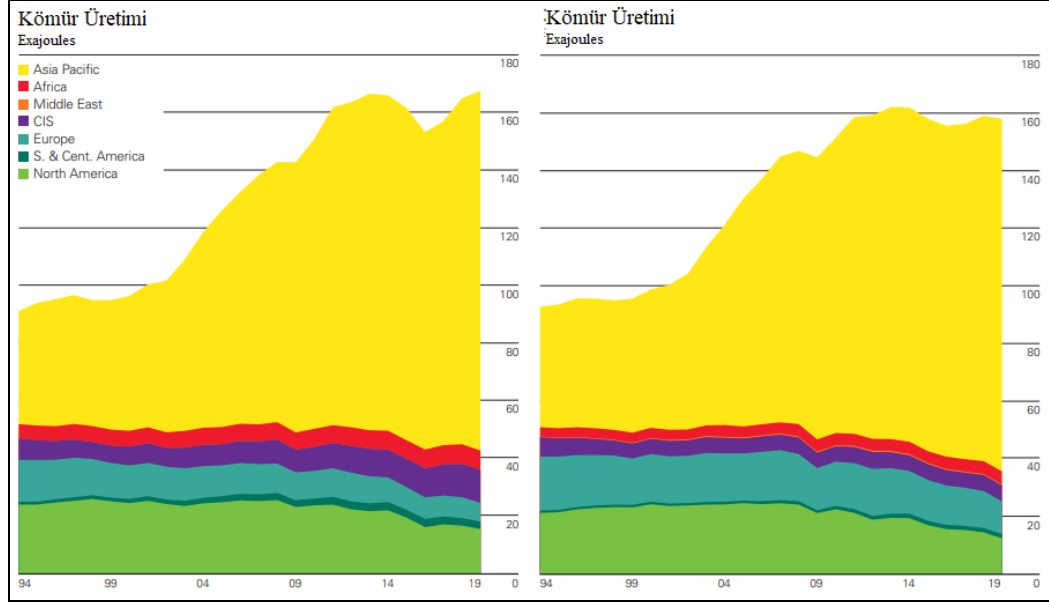
yılında kişi başına petrol tüketiminin Singapurda birinci sırada, Luksemburg ve Suudi Arabistan'nın da ikinci ve üçüncü sıra da yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.6) (BP, 2020).



Şekil 2.6. Dünyadaki petrol üretimi-tüketimi (BP, 2020).

2.1.3 Kömür

Kömür, yanma yoluyla açığa çıkan yüksek enerjiye sahip karbon ve hidrokarbonlardan oluşur. Birinci Sanayi Devrimi döneminde kömür yakılarak hareket enerjisine dönüştürülmüştür. Çevreye verdiği zarar, hava kirliliğine rağmen ekonomik açıdan enerji kaynağı devrimi niteliğinde olmuştur (Gasparotto ve Martinello, 2021). Günümüzde kömür; ısı, buhar, elektrik, demir-çelik, çimento üretiminde kullanılmaktadır (Kayıkcı, 2020). Dünya genelinde geniş rezervleri bulunan kömürün çok yaygın kullanımı bulunmaktadır. Kömür, birincil enerji tüketiminde ilk sırada gelmektedir (Yamak, 2006). BP Statistical Review of World Energy 2020 raporları incelendiğinde, dünyadaki kömür üretim ve tüketiminin çok farklılık göstermediği, en fazla üretim ve tüketimin Asya Pasifik bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 2.7) (BP, 2020).



Şekil 2.7. Dünyadaki kömür üretimi – tüketimi (BP, 2020).

2.1.4 Nükleer enerji

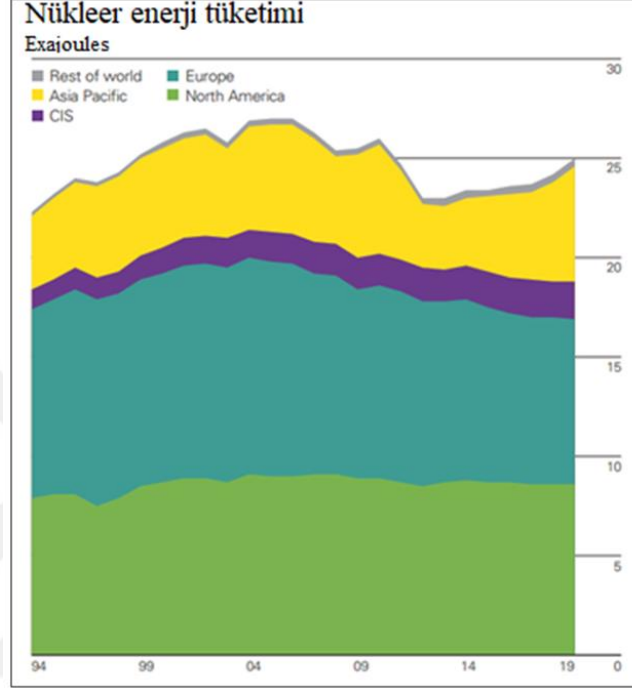
Atom çekirdeğinin parçalanması sonucu açığa çıkan enerji olarak tanımlanan nükleer enerji, keşfinin ilk çağında askeri alanda kullanılmış ve daha sonrasında ticari alanda değerlendirilmiştir. Sovyetler Birliği’ndeki Obninski Nükleer Enerji Santrali dünyanın ilk nükleer enerji santrali olarak 1954 yılında işletmeye alınmıştır (Kayıkcı, 2020).

Üretimdeki düşük maliyet, yüksek yatırım maliyeti, yakıt fiyatındaki değişime karşı duyarsızlık, işletme ömrünün uzun olması vb. nükleer enerjinin birçok özelliği bulunmaktadır (Kessides, 2010). Nükleer enerji santralinde enerji üretimi düşük fiyatla kesintisiz olarak üretilebilmektedir (Kayıkcı, 2020). Fakat belirtilen avantajlara karşılık nükleer atıkların radyoaktif özelliklerini kaybetmesine yönelik çok uzun yıllar gerekmesi ve nükleer enerjinin en önemli dezavantajıdır (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu [TAEK], 2010).

Dünyadada Temmuz 2018 itibariyle, 31 ülkede 453 nükleer reaktör işletilmekte olup, 17 ülkede toplam 57 adet nükleer reaktörün de inşası devam etmektedir. Dünya elektrik arzının %11’i, nükleer santrallerde üretilen elektrikten karşılanmaktadır. Elektrik talebinin, Fransada %72’sinin, Ukraynanın %55’inin, Belçikanın %50’sinin,

İsveçin %40'ının, Güney Kore %27'sinin, Avrupa Birliği'nin %30'unun ve ABD %20'sinin nükleer enerjiden karşılandığı anlaşılmaktadır (URL-8).

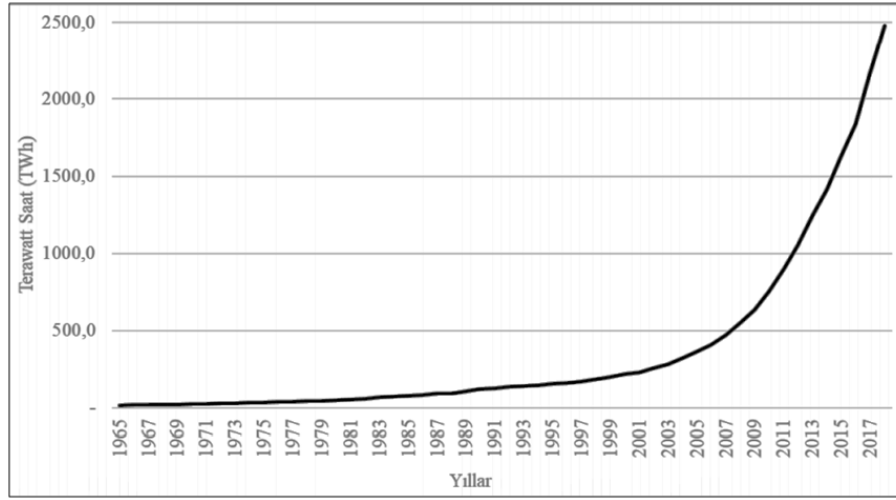
BP Statistical Review of World Energy 2020 raporlarına göre dünyadaki nükleer enerji tüketimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir (BP, 2020).



Şekil 2.8. Nükleer enerji tüketimi (BP, 2020).

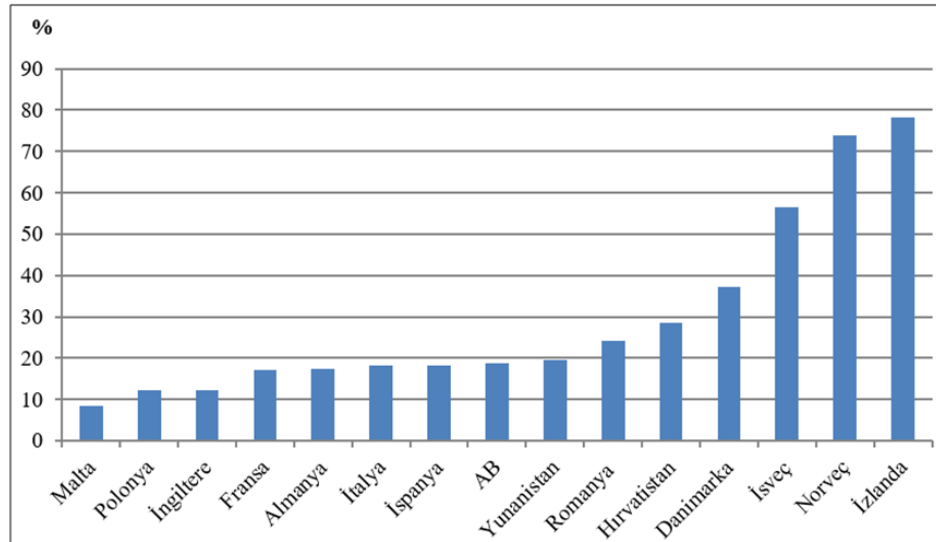
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Doğada fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve kullanıldığında çevreye verdiği zararların önlenememesi, insanları yeni enerji kaynaklarına yöneltmiş ve enerji ihtiyacını gidermeye yönelik alternatif enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır (Memduhoğlu vd., 2014). Bu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmış olup, tükenmeyen ve tüketildiğinde kendini yenileyen ve dünyada sınırsız olarak bulunan kaynaklar olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları için sistemler, teknolojinin gelişmesiyle yaygınlaşmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji, 2000'li yıllardan sonra artan ivme ile büyümesini devam ettirmektedir (Şekil 2.9) (Kayıkcı, 2020).



Şekil 2.9. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji (Kayıkcı, 2020).

Dünyada 2019 yılına ilişkin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin tüketim içindeki payı, %78.20 oranıyla İzlanda’da en yüksek paya sahiptir. Avrupa Birliği ülkelerinde ise birincil enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı, 2010 yılında %13,1 iken, 2019 yılında %18,9 olmuştur. Bazı ülkelerin 2019 yılı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin tüketim içindeki payı incelendiğinde İzlanda ve Norveç’in yenilenebilir enerji kaynaklarını aktif bir şekilde kullandığı ve enerji ihtiyacının yarısından fazlasını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşıladığı görülmektedir (Şekil 2.10) (URL-9).



Şekil 2.10. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketimdeki payı (2019) (URL-9).

Türkiye'nin birincil enerji arzı 2018 yılı sonunda 143.66 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) iken, 39.675 Mtep yerli enerji üretimidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin yerli enerji üretimindeki payı ise %50'dir (URL-10).

Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal, biokütle, dalga, hidrojen ve gelgit enerjisi olarak sıralanabilir (Akkaya, 2019). Dünya kalkınmasının sürdürülebilirliğine katkı sağlayacak olan, en çok bilinen ve en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr ve güneştir (Savin, 2003). Dünyanın her yerinde farklı şekillerde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları bazı yerlerde güneş için verimliyken, bazı yerlerde jeotermal için verimli olabilmektedir (Kayıkcı, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal, biokütle, dalga ve hidrojen enerjisi aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir.

2.2.1 Rüzgâr Enerjisi

Yeryüzünde farklı sıcaklık, nem ve basınç oluşmasına güneş ışınları neden olmaktadır. Bu durum yeryüzünün ısınmasında ve soğumasında farklılık göstermesine yol açmaktadır. Yeryüzünde oluşan farklı ısınma ve soğuma havanın hareket etmesine neden olur. Isınan hava kütlesi atmosferde yukarıya doğru yükselir ve yükselen hava kütesinden boşalan yere aynı hacimde soğuk hava kütlesi gelir. Hava kütlelerinin hareket ederek yer değiştirmesine ise rüzgâr denmektedir. Hava kütlelerinin yer değiştirmesi esnasında meydana gelen hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi de rüzgâr enerjisidir (URL-11).

Gelecek süreçlerde ortaya çıkabilecek enerji açığına çözüm olabilecek rüzgâr enerjisinin olumlu yönlerine karşın olumsuz yönleri de mevcuttur (Akkaya, 2007).

Olumlu yönleri;

- Atmosferi kirletmezler.
- RES alanları kuruldukları alanın %1'lik kısmını kullanır, geriye kalan alan tarımsal amaçlı kullanılabilir.
- Termik ve hidrolik santrallerle ekonomik açıdan rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.

- Demonte rüzgâr türbinleri ek maliyet gerektirmez ve demonte rüzgâr türbinlerinin hurda değeri söküm maliyetini karşılamaktadır.
- Sökülen türbinlerin kullandığı alan eski durumuna kolaylıkla geri getirilebilir.
- Yerel enerji kaynağı olduğundan dışa bağımlılık yoktur.

Olumlu yönleri;

- Türbinler çalışma esnasında gürültü çıkarmaktadır.
- Kuş ölümlerine yol açmaktadır.
- TV ve radyo alıcılarında sinyallerin bozulmasına neden olmaktadır.
- Olumsuz etkilerinden dolayı belirlenen alanların sınırları içinde ve yakınlarında RES kurulumu yasaklanmıştır (Akkaya, 2007).

2.2.2 Güneş Enerjisi

Hidrolik ve atmosferik dönüşümler, küresel ekosistem ve fotosenteze yönelik güneş enerjisi birincil enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi yoluyla bütün canlılar yaşamlarını devam ettirmektedir. Ayrıca, fosil yakıtlarının aksine enerji kaynağı olarak kullanılan güneşin çevreye zararında bulunmamaktadır. Dünyanın gelecekteki enerji arzını karşılamada çevreci bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi önemli bir paya sahip olacaktır (Akkaya, 2007).

Güneşin fotoelektrik etkisinden dolayı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürüldükten sonra kullanılır. Bu teknikle güneş enerjili arabalar, hesap makinesi, oyuncak vb. güneş enerjisiyle çalışan gereçler ve uydular ihtiyaç duydukları enerjiyi karşılarlar. Güneşten elektrik üretimi, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilebilir. Doğrudan yöntemde termoiyonik, fotovoltaik ve termoelektrik çeviriciler yer alır. Güneş enerjisini dolaylı olarak elektriğe dönüştürülmesi ise, güneşten faydalanarak oluşturulan buhar ve bunu kullanan bir buhar güç çevrimi veya güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve hidrojenin kullanıldığı termik elektrik üretici ve yakıt piliyle olmaktadır (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu [TÜBİTAK], 1998).

Dünyaya güneş ışınlarıyla 179 MW güce sahip enerji gelmektedir. Bu değer, insanoğlunun bugüne kadar kullandığı toplam enerjinin 15000-16000 katıdır. Güneş

enerjisinin artan bir şekilde kullanımınıyla fosil yakıtlardan enerji üretimi giderek azalacağı tahmin edilmektedir. Güneş, yapıların ısıtılması, elektriğe dönüştürülerek kullanılması, güneş enerjisi ile suyu hidroliz ederek hidrojen gazının elde edilmesi olmak üzere üç temel alanda kullanılmaktadır; (Millî Eğitim Bakanlığı [MEB], 2012).

Gelecekte yaygın olarak kullanılacak güneş enerjisinin avantajları olmasına karşın dezavantajları da mevcuttur.

Avantajları;

- Temiz bir enerji kaynağıdır.
- Enerjisini güneşten alan sistemler kolay bir şekilde kurulabili ve taşınabilir.
- Güneş enerjisiyle çalışan sistemler uzun yıllar sorunsuz çalışabilir.
- Güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş pilleri, elektrik hattı olmayan veya elektrik hattı yapımının pahalı olduğu kırsal bölgeler için daha ekonomiktir.
- Evlerin çatısına kurulan güneş pillerinde enerjiden kayıp ve enerjiyi taşıma maliyeti bulunmaz.

Dezavantajları;

- Güneş pillerinin verimi düşüktür.
- Fotovoltaik pillerin üretim maliyeti yüksektir.
- Güneş enerjisini depolama imkânları kısıtlıdır (MEB, 2012).

2.2.3 Hidrolik Enerjisi

Yaygın olarak kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de hidrolik enerjidir. Hidrolik enerji kaynağının kullanım şekli, akarsular üzerine inşa edilen barajlarda suyu biriktirerek potansiyelinden yararlanıp, elektrik enerjisi üretmektir. Suyun potansiyelini kullanarak elektrik üretmeye yönelik olarak hidroelektrik santralleri (HES) kullanılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrolik enerjinin çevre için önemi büyüktür. Hidrolik enerji kaynağının kullanılmasında hammadde tüketiminin olmaması fosil yakıtlı santrallere oranla işletme masrafları oldukça düşüktür (Tunay ve Cebeci, 2001). HES'lerin avantajlarının olmasına karşın dezavantajları bulunmaktadır (Akkaya, 2007).

Avantajları;

- Acil durumlarda hızlı bir şekilde devreden çıkartılabilir.
- Kaynağı su olduğundan dışa bağımlılık yoktur.
- HES'ler enerji üretiminin yanında sulama vb. amaçlarla da kullanılabilir.
- Çevre kirliliğine yol açmaz.
- Kullanılan başka tip santrallere oranla ömrü daha uzundur.

Dezavantajları;

- Yatırım maliyeti yüksektir.
- Yapım süresi uzundur.
- Yağışlara bağlı olarak olumsuz etkilenebilir.
- Barajlardaki su yüzeyinin geniş olmasından dolayı kurulduğu bölgenin iklimini değiştirebilir.
- Sular altında kalacak alanlarda yaşayan insanların başka yerlere göç etmesi sosyal sorunlar meydana getirebilir (Akkaya, 2007).

2.2.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sürekli sıcaklığı 20°C'den fazla, normal yeraltı ve yer üstü sularına oranla daha fazla çeşitte gaz, tuz ve mineral içeren, ısıtma, elektrik üretme ve enerji hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, sağlık ve turizmde yararlanılabilen, kimyasal madde üretimine yönelik uygun basınç altında buhar ve sıcak suyla yüzeye ulaşan ısı enerjisi şeklinde tanımlanır (Öztürk vd., 2010).

Ülkemizde farklı yerler de oldukça bol miktarda termal kaynakların bulunmasından kaynaklı olarak artan biçimde yeni sondaj çalışmaları yapılarak yeni kaynaklar

bulunmaktadır. Yeni kaynakların eklenmesiyle jeotermal enerjinin önemi ve kullanımına yönelik teşvikler de artmaktadır (Şahin, 2019).

Türkiye’de jeotermal kaynakların kullanıldığı temel alanlar şunlardır:

- Konut, sera, termal tesis ısıtması,
- Elektrik üretimi,
- Termal turizm ve balneoloji,
- Endüstriyel uygulamalar,
- Isı pompası,
- Tarımsal kurutmadır (Akkuş ve Alan, 2016).

Jeotermal enerjinin avantajları ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları;

- Isıtma sistemlerinde kullanımında karbondioksit çıkışı sıfırdır.
- Yanma veya patlama tehlikesi yoktur.
- Jeotermal santrallerin yapımı başka santrallere oranla daha kısa sürede tamamlanır.
- Kaplıca tesislerinde kullanımı ile insan sağlığına hizmet etmektedir.
- Seraların ısıtılmasında kullanımıyla turfanda çiçekçilik, sebzeçilik ve meyveciliğe destek verir.

Dezavantajları;

- Magmatik kayalar ve derinlik kayalarını eriterek aşındırır. Mineral ve tuzluluk özelliklerini süspansiyon halinde içerisine alırlar. Yüzeysel sularlar karışarak yüzey sularının biyolojik, fiziksel ve kimyasal yapılarını bozmaktadırlar.
- Yüksek sıcaklığından dolayı yeryüzüne çıktığı alandaki bitkilerin yapraklarına ve köklerine zarar verir.
- Yeryüzüne çıktığı noktada basıncın düşmesi ve sıcaklığın azalmasıyla koku kirliliğine yol açar (Akkaya, 2007).

2.2.5 Biokütle Enerjisi

Biokütle enerjisi, hayvan dışkısı, odun, odun kömürü, orman sektöründeki organik atıklar, tarım ürünleri, alkol ve metan fermentasyonu ve çeşitli biyolojik kaynaklar yoluyla üretilen enerji türüdür. Kısaca, organik maddelerin kullanılmasıyla elde edilen enerjidir (MEB, 2012).

Biyogazın ısı değeri genellikle 4700-6000 kcal/m³ kadardır. Bu değer biyogazın bileşimindeki metan gazının oranına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Su ısıtma, ısınma ve aydınlatma vb. ihtiyaçları karşılamada kolaylıkla kullanılabilir bir enerji kaynağıdır. Biyogaz kullanılarak elektrik ihtiyacını karşılanmasıyla iletim hattı ve trafo maliyeti ortadan kalkmakta ve elektrik kullanımında tasarruf sağlanmaktadır (Koçaslan, 2006).

Dünya’da hızla kullanımı artmakta olan biyoyakıt kullanımının avantajları şunlardır:

- Petrol ithalatını azaltır.
- Sürdürülebilir enerjiye destektir.
- Yerelde iş imkânı meydana getirir.
- Çevreyi korur.
- Dizel yakıt türlerine oranla daha temiz yanar.
- Enerji hatlarına uzak bölgelerde, kendi kendine yeterli enerjiyi sağlayan bölgeler oluşturur.
- Kırsal bölgelerde biokütleden enerji üretimi istihdam imkânları oluşturur (MEB, 2012).

2.2.6 Dalga Enerjisi

Yeryüzündeki toprak ve suyun farklı ısınmasından dolayı oluşan rüzgârların deniz yüzeyinden esmesiyle dalgalar meydana gelir. Denizlerde oluşan dalga hareketlerinin gücü suyun yoğunluğuna, dalga boyuna, dalga hareketine ve dalganın yüksekliğine bağlıdır. Dalga yüksekliği de suyun derinliği, rüzgâr ile su arası mesafeye, rüzgârın zamanı ve hızına bağlıdır. Dalga enerji sistemleri, dalganın geliş yönünde veya dik açık olacak şekilde kurulması ve enerjiye dönüştürülmesi biçimlerine göre farklılık gösterebilir (Gülsaç, 2009).

Dalga enerjisinin potansiyelinin belirlenebilmesine yönelik uzun yıllar süren ve ekonomik maliyeti yüksek olan ölçümler yapılması gerekmektedir. Bu ölçümleri daha ekonomik olarak sağlamaya yönelik daha ekonomik olan ölçümleriyle, rüzgâr-dalga arasındaki ilişkiyi veren ve birçok ölçüm ile elde edilmiş yarı ampirik formüller kullanılarak dalga enerjisi hesaplanmaktadır (Uygur vd., 2006).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan dalga enerjisinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar şunlardır:

- Kaynağının sonsuz olması,
- Fosil yakıtlara alternatif olması nedeniyle çevre kirliliğini dolaylı yünden azaltması,
- Yeni iş alanı oluşturmaları,
- Elektriğin bulunmayan uzak alanlara elektrik sağlaması,
- Denizde yapılacak çalışmalarda potansiyel teknolojinin kullanılmasına olanak sağlamasıdır (Sağlam ve Uyar, 2005).

2.2.7 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, 16. yüzyılda keşfedildikten sonra 18. yüzyılda yanma özelliğinin farkına varılmıştır. Evrende en fazla bulunan element olup rengi, kokusu olmayan, havadan 14.4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır (URL-12). Tüm yakıtlar arasında hidrojen, birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Bir kilogram hidrojen, 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün enerjisine sahiptir. Doğada serbest halde bulunmayan hidrojen, bileşikler halinde bulunmaktadır. Hidrojenin en çok bilinen bileşiği de su olarak bilinmektedir (MEB, 2012).

Araştırmalara göre, başka yakıtlara oranla hidrojenin üç kat daha pahalı olduğu ve daha yaygın enerji kaynağı olarak kullanılması halinde üretim maliyetinin azalacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisinin ihtiyaç fazlasını hidrojen olarak depolamak bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Depolanan enerjinin kullanımının yaygınlaştırılması teknolojinin gelişimine bağlıdır. Hidrojen enerjisinin avantajları ve dezavantajları şunlardır (Akkaya, 2007):

Avantajları;

- Hidrojenin yanmasıyla oluşan atık su çevreye zarar vermemektedir.
- Fosil yakıtlara oranla 2-3 kat daha verimlidir.
- Otomobillerde benzine oranla daha sessiz çalışır.

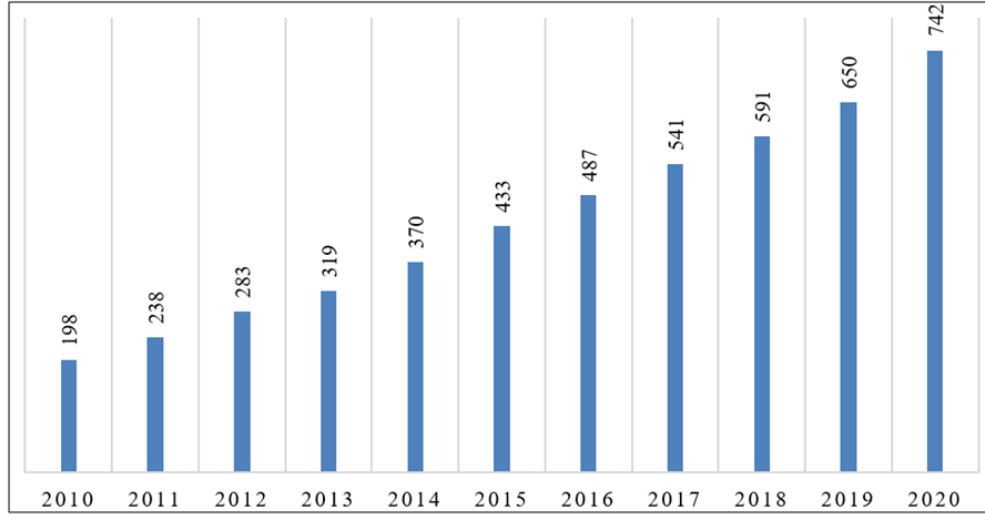
Dezavantajları;

- Doğada bolca bulunmasına rağmen, enerji üretimine yönelik olarak kullanılan hidrojenin saf olması gerekmektedir. Hidrojeni saf hale getirme işlemi maliyeti artıran önemli süreçtir.
- Saf hidrojen elde etmenin maliyeti petrol ve doğalgaza oranla ~ 4 kat daha yüksektir.
- Hidrojen ile çalışan yakıt hücrelerin maliyeti, içten yanmalı motorlarla kıyaslandığında 10 kat pahalıdır.
- Depolama tankının hacmi petrole oranla 4 kat daha büyüktür (Akkaya, 2007).

3. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ

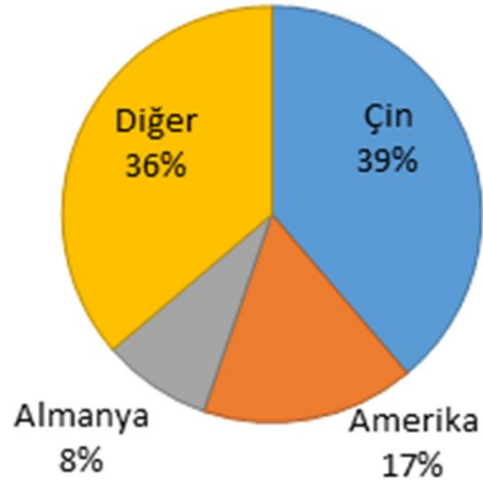
3.1 Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, dünyada kullanımı en fazla artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Dünyadaki kullanım oranı çok az olmasına rağmen, 2020 yılında dünyanın elektrik arzının %12’sini rüzgâr enerjisiyle karşılanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (URL-13). Dünyada rüzgârdan elde edilen toplam enerjisinin (onshore – offshore) tarihi gelişimine bakıldığında, her yıl rüzgârdan elde edilen enerji miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 3.1) (Global Wind Energy Council [GWEC], 2021).



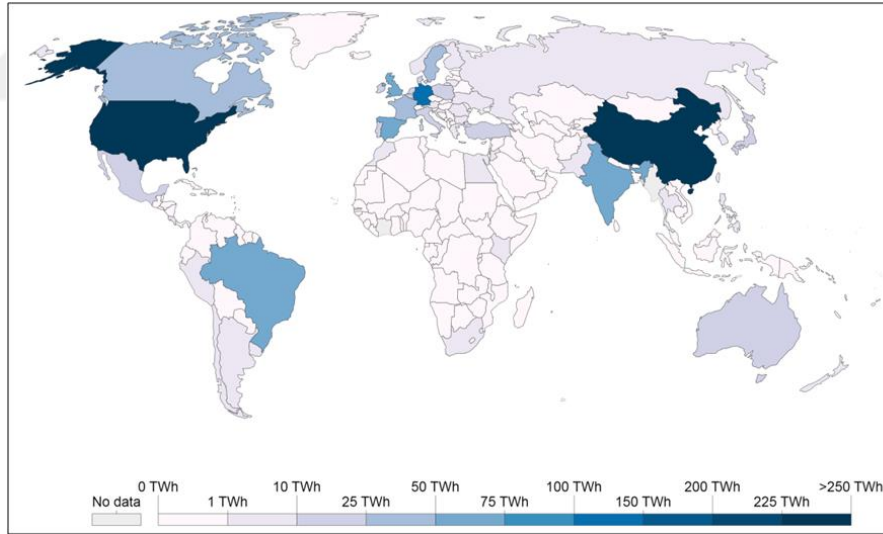
Şekil 3.1. Rüzgârdan elde edilen enerjinin tarihsel gelişimi (GW) (GWEC, 2021).

Dünyada rüzgâr enerjisiyle elektrik üreten 100'den fazla ülke bulunmaktadır. Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi 2021 yılı raporuna göre 2020 yılında ülkelere ait rüzgâr santrali kurulu gücü toplamı karada (onshore) toplam 707.4 GW, kıyıda (offshore) 35.3 GW olarak belirlenmiştir. Dünyada karada (onshore) rüzgâr enerjisi kapasitesi açısından Çin, ABD ve Almanya ilk 3 sırada bulunmaktadır (Şekil 3.2) (GWEC, 2021).



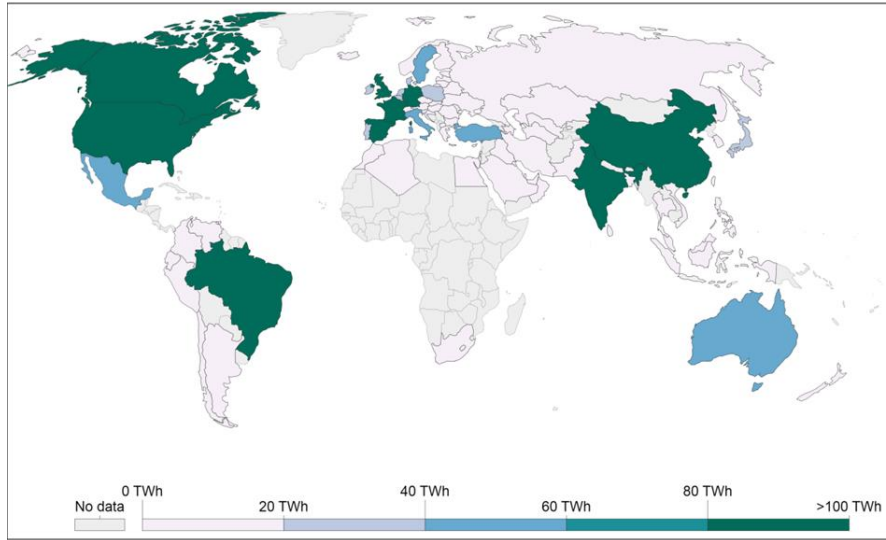
Şekil 3.2. Toplam RES kurulumu (2020) (GWEC, 2021).

BP Statistical Review of World Energy 2020 yılına ilişkin rapora göre, dünyada rüzgârdan yılda terawatt-saat (TWh) cinsinden elektrik üretiminde 466.5 terawatt saat ile Çin birinci, 336.5 terawatt-saat ile Amerika Birleşik Devletleri ikinci sırada yer almaktadırlar (Şekil 3.3) (URL-14).



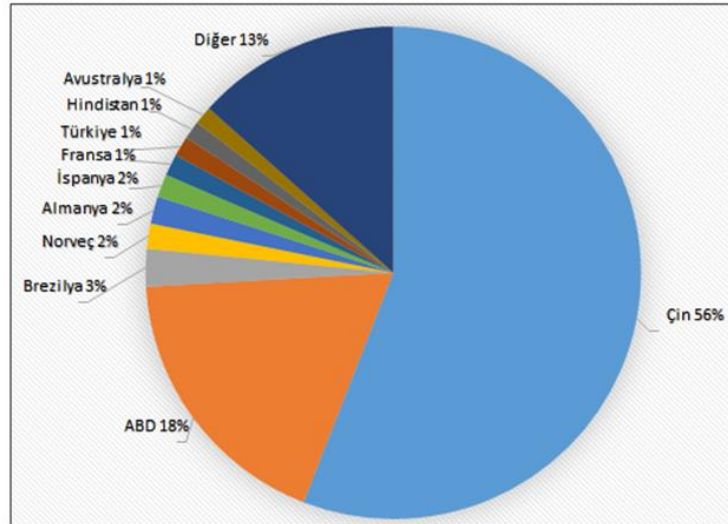
Şekil 3.3. Dünyada 2020 yılı rüzgâr enerjisi üretimi (2020) (URL-14).

BP Statistical Review of World Energy raporlarına göre, 2019 yılında rüzgâr kaynaklı birincil enerji tüketiminin Çin, Almanya, Fransa, İngiltere, İspanya, Kanada, ABD ve Brezilya vb. ülkelerin ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir (Şekil 3.4) (BP, 2019).



Şekil 3.4. Rüzgâr kaynaklı birincil enerji tüketimi (URL-15).

Rüzgâr enerjisi endüstrisinde 2020 yılı rekor senesi olmuştur. 2020 yılında Çin ve ABD tarafından 93 GW'lık kapasiteye sahip yeni rüzgâr enerjisi tesisleri kurulmuştur. Şekil 3.5'te 2020 yılında yeni kurulan kurulan rüzgâr enerjisi tesislerinin güçlerine göre dağılımları gösterilmiştir (GWEC, 2021).



Şekil 3.5. 2020 yılında kurulan RES'lerin ülkelere göre dağılımı (GWEC, 2021).

3.2 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye'de 1986 yılında İzmir'in Çeşme ilçesinde kurulan Altın Yunus Tesislerinde üretilen 55 kW elektrik, ilk defa rüzgâr türbinleri kullanılarak elde edilen elektrik

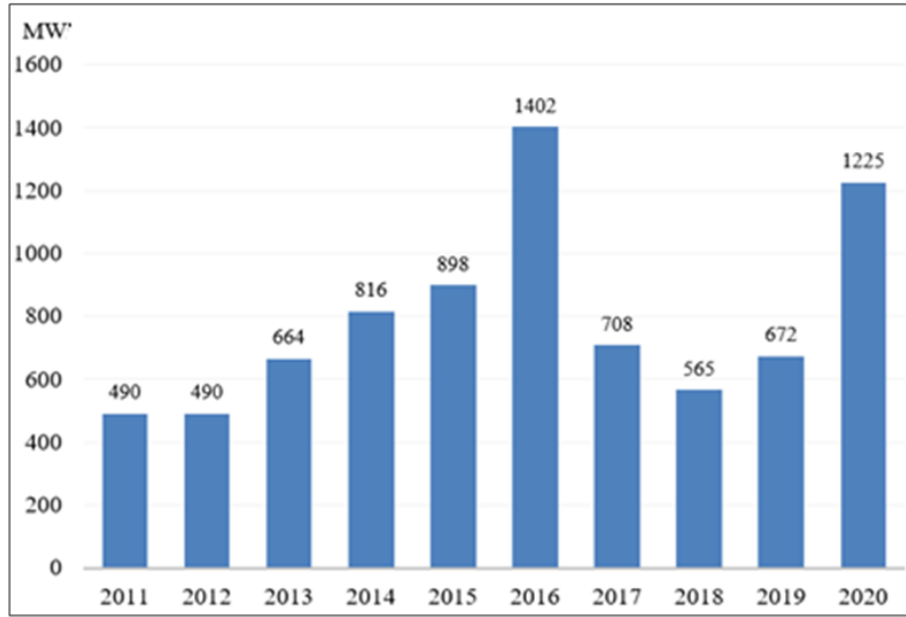
gücüdür. Uluslararası alanda ise Çeşme'nin Germiyan köyünde kurulan rüzgâr türbininden 1998 yılında ilk olarak elektrik üretilmiştir (İlkılıç, 2016). Günümüzde ülkemizin elektrik tüketiminin $\sim$ %7'si rüzgâr santrallerinden karşılanmaktadır (URL-16).

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelini ülke ekonomisine kazandırmak amacıyla 1992 yılında Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TUREB) kurulmuştur. TUREB 2019 yılı raporlarına göre, son 10 yılda ülkemizdeki kurulu güç 7.6 GW seviyesine ulaşmıştır (TUREB, 2019).

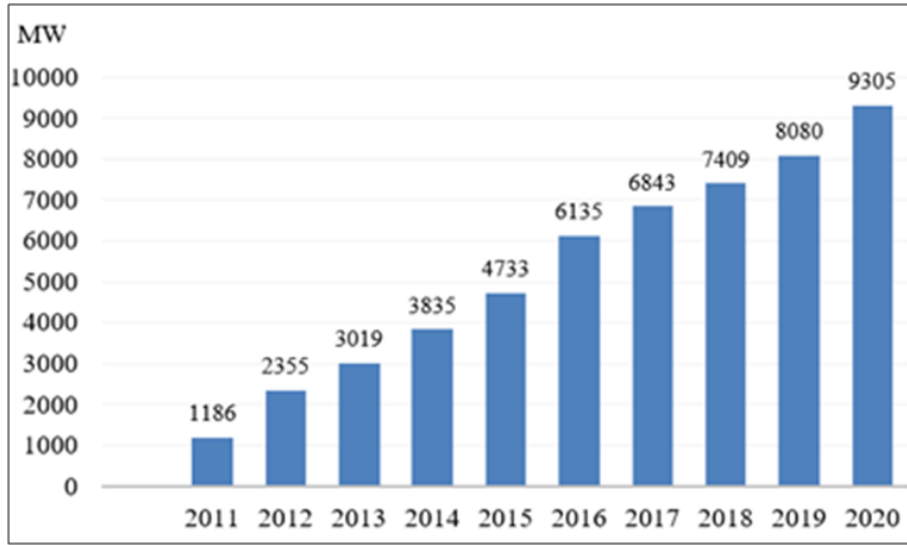
TUREB'in işletmelerdeki RES'lerin kurulum ve üretim raporlarına göre, son 10 yılda RES'lerin kurulum gücü yıllara göre farklılık göstermiş olsa da en yüksek kurulum gücüne 2016 yılında ulaşarak 1402 MW olmuştur. 2017-2019 yılları arasında da 2015 yılı ve daha önceki yıllara göre, genelde yatay seyirde devam etmiştir. Yurdumuzun farklı yerlerinde RES'ler kurularak 2020 yılında tekrar artışa geçerek RES kurulum gücü 1225 MW olmuştur (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). RES'lerin kümülatif kurulum gücü, 2011'den bu yana yıllar içerisinde artış göstererek 2020 yılında toplam kümülatif kurulu güç 9305 MW'ye ulaşmıştır (Şekil 3.8) (URL-17).



Şekil 3.6. 2020 yılında işletmeye giren RES konumları (URL-17).

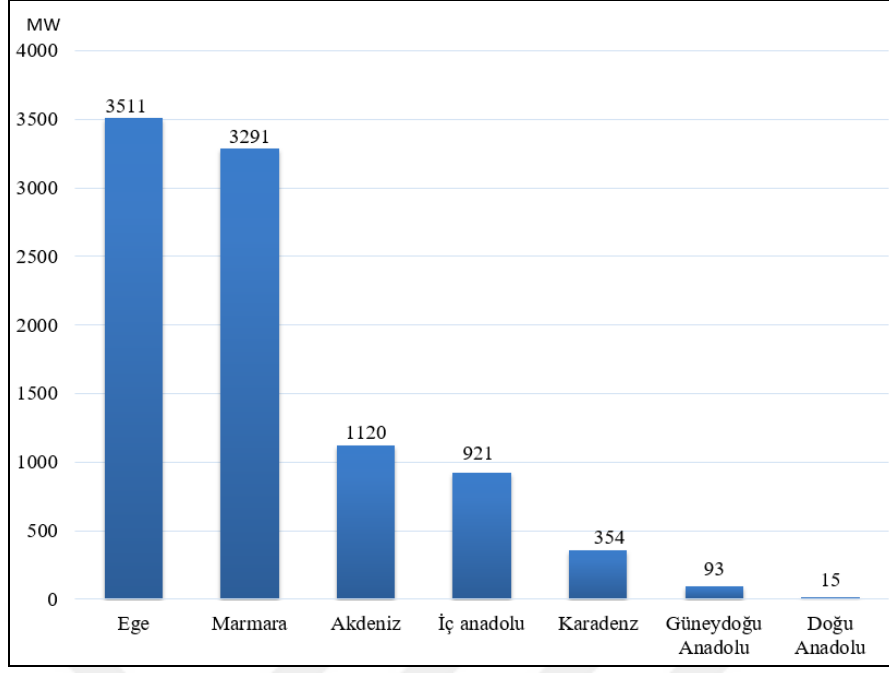


Şekil 3.7. RES yıllık kurulum gücü (URL-17).



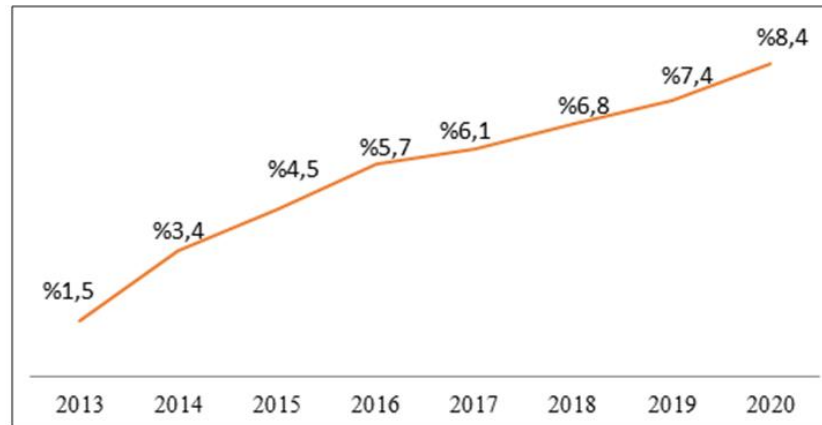
Şekil 3.8. RES kümülatif kurulum gücü (URL-17).

TUREB verilerine göre Türkiye’deki RES’lerin bölgesel dağılımında, ilk sıranın Ege, ikinci sıranın Marmara ve üçüncü sıranın ise Akdeniz bölgesinin olduğu görülmektedir (Şekil 3.9) (URL-17).



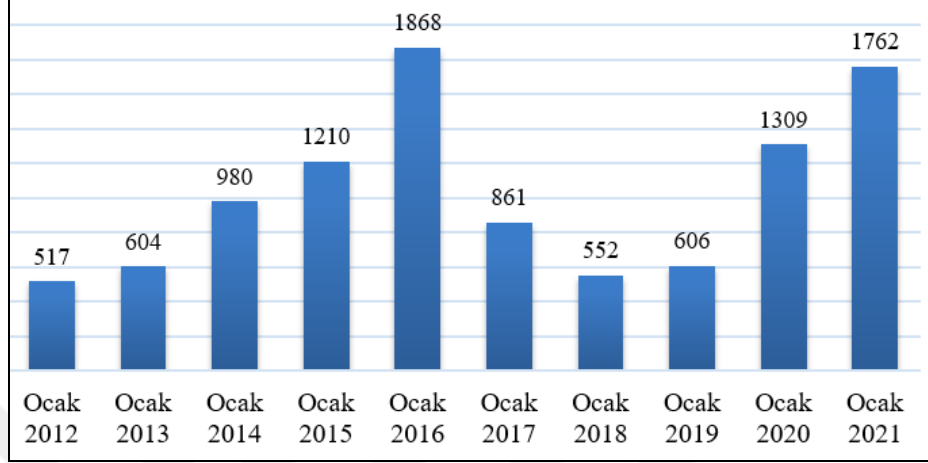
Şekil 3.9. 2020 yılı itibariyle RES’lerin bölgelere göre dağılımı (URL-17).

TUREB raporlarına göre, Türkiye’de 2013-2020 yılları arasında rüzgâr enerjisinin toplam üretilen elektrik enerjisi içerisindeki payı sürekli artış göstermiştir (Şekil 3.10). Türkiye’de, 2020 yılında Covid-19 pandemisine rağmen devreye alınabilen RES’lerin kurulu güç seviyesi 1.225 MW’a ulaşarak elektrik talebini karşılamada önemli rol oynamıştır. Üretilen elektriğin %8.44’ü rüzgâr enerjisinden karşılanırken 2020 yılı Nisan ayında ise %10.36’sı yükselmiştir (TUREB, 2020).



Şekil 3.10. Rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payı.

TUREB'in 2021 Ocak ayı raporlarına göre, Türkiye'de 2012 ocak ayı itibariyle RES hacimi 517 MW iken 2016 ocak ayı itibariyle en yüksek seviyeye ulaşarak 1868 MW olurken 2020 ocak ayı itibariyle ise 1309 MW olmuştur. Türkiye'de halen 1.762,93 MW'lık 41 rüzgâr santralinin inşası devam etmektedir (Şekil 3.11) (TUREB, 2021).



Şekil 3.11. İnşa halindeki RES hacimleri (MW) (TUREB, 2021).

Türkiye'nin RES kurulu gücü bakımından, Avrupa'da 7. Dünyada ise 13. sırada yer almaktadır (Çizelge 3.1) (URL-18).

Çizelge 3.1. Dünya RES kurulu gücü listesi (URL-18).

S. No	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (mw)
1	Çin	Aralık 2020	281.993
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	117.744
3	Almanya	Aralık 2020	62.184
4	Hindistan	Aralık 2020	38.559
5	İspanya	Aralık 2020	27.089
6	Birleşik Krallık	Aralık 2020	24.665
7	Fransa	Aralık 2020	17.382
8	Brezilya	Aralık 2020	17.198
9	Kanada	Aralık 2020	13.577
10	İtalya	Aralık 2020	10.839
11	İsveç	Aralık 2020	9.688
12	Avusturalya	Aralık 2020	9.457
13	Türkiye	Nisan 2021	9.253

4. RÜZGÂR ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ

RES'e yönelik uygun yer seçimi, çok sayıda kriterin dikkatli ve birleşik analizini gerektiren karmaşık bir konudur. Coğrafi bilgi teknolojileri, çeşitli kaynaklardan toplanan büyük boyutta konumsal ve öznitelik verileri ile çalışabildiğinden uygun yer seçimi uygulanmalarında elverişlidir (Gigovic vd., 2017). Uygun yer seçiminde belirlenen kriterlerin ana ve alt kriterler olarak sınıflandırılması ve birbirilerine göre ağırlıklandırmalarının belirlenmesi karar verme işlemi kolaylaştırmaktadır. Uygun yer seçimine yönelik kullanılacak verilerin bileştirilmesi, analiz edilmesi, problemin çözülmesi ve istenilen sonuca ulaşılmasına ilişkin CBS temel bir unsurdur (Can ve Yücel, 2019)

CBS yardımıyla kriterlere göre gerçekleştirilen konumsal analizlerin sonuçları görselleştirilerek karar vermeye yardımcı olmaktadır. CBS ile RES alanlarına yönelik uygun olan ve olmayan alanların belirlenmesine yönelik konumsal analizler gerçekleştirilmektedir. Yapılan konumsal analizlerde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır (Urfalı ve Eymen, 2021).

CBS ile RES uygun yer analizine yönelik çalışmalar incelendiğinde, ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'nin sık kullanılan yöntem olduğu görülmektedir. RES'e yönelik arazi uygunluğu üzerine yapılan çalışmalarda 12 kriter kullanıldığı anlaşılmaktadır. Fakat 12 kriterin farklı çalışmalarda değişik sayıda kullanıldığı görülmüştür (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. RES uygun yer seçiminde kullanılan kriterler.

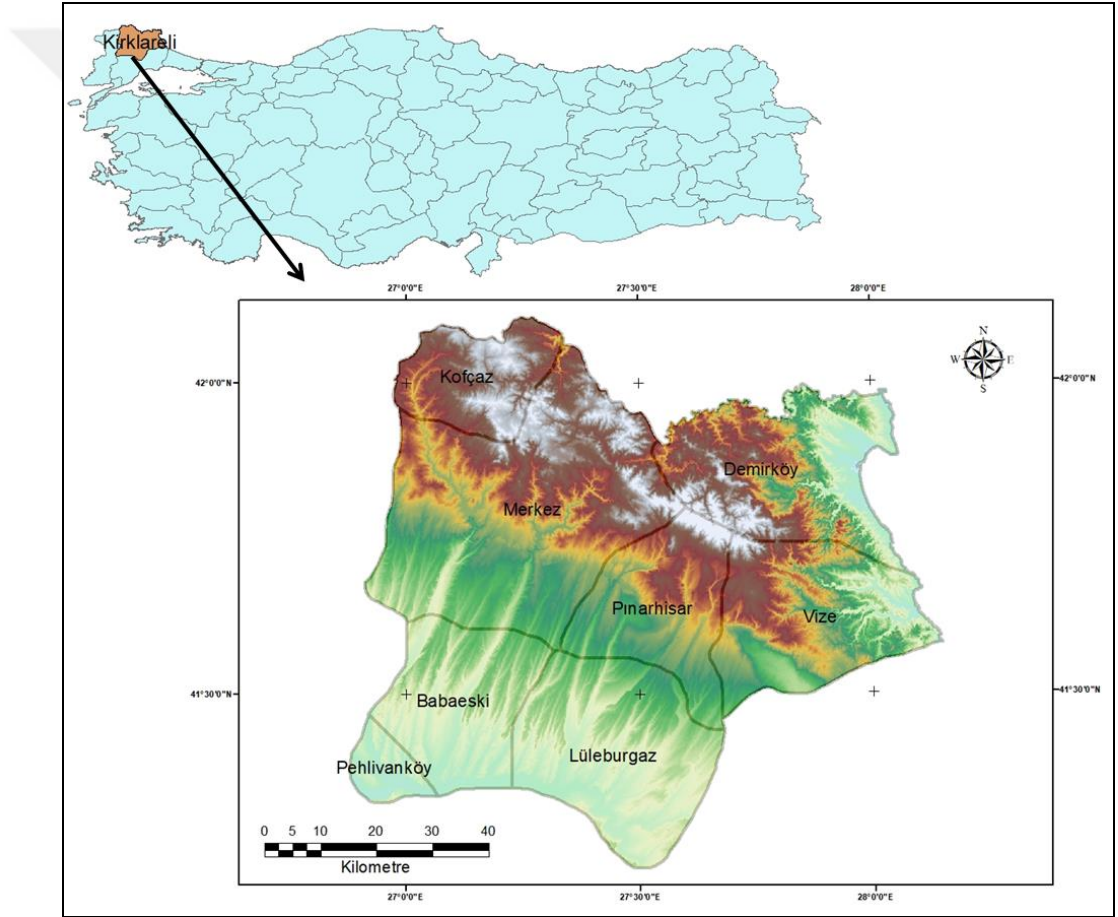
	Enerji hatlarına uzaklık	Ulaşım ağlarına yakınlık	Kurulum ve bakım maliyeti	Eğim	Yükseklik	Fay hatlarına uzaklık	Korunmuş alanlara uzaklık	Arazi örtüsü	Rüzgâr hızı/potansiyeli	Yerleşim yerlerine uzaklık	İletişim hatlarına uzaklık	Hava alanına uzaklık
Ali vd.,2019		✓		✓	✓			✓		✓		
Ayodele vd., 2018	✓	✓		✓					✓	✓		
Bennui vd., 2007		✓			✓		✓		✓	✓		
Talinli vd., 2011	✓		✓	✓				✓	✓	✓		
Tegou vd., 2010	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓		
Azizi vd., 2014		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Can ve Yücel, 2019		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Gigovic vd., 2017	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Urfalı ve Eymen, 2021	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓

RES'e yönelik uygun yer analizlerinde kullanılan kriterlerin, çalışma alanının özelliklerine ve konumuna göre kriterlerin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmalarda yerleşim yerine uzaklık, ulaşım ağlarına yakınlık, eğim, rüzgâr hızı ve potansiyeli kriterlerinin neredeyse bütün çalışmalarda kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklarında farklılıklar olsa da genel anlamda rüzgâr hızı ve potansiyelinin en büyük ağırlığa sahip olduğu görülmüştür.

5. VERİ VE YÖNTEM

5.1 Çalışma Alanı ve Rüzgâr Enerjisi Özellikleri

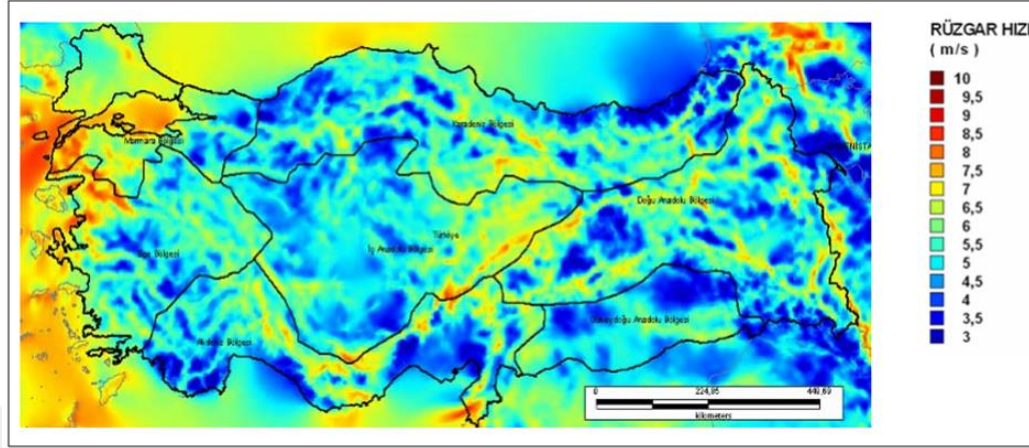
Çalışma alanı olarak Marmara bölgesinde bulunan Kırklareli ili seçilmiştir (Şekil 5.1). Kırklareli ilinin kuzeyinde Bulgaristan, doğuda Karadeniz, güneyinde Tekirdağ bulunmaktadır. Kırklareli, kuzeyden Bulgaristan sınırını oluşturan Revze Deresi Vadisi, doğudan Karadeniz, güneyde Ergene Irmağı ana vadisi ve batıdan ise Ergene Irmağı'na karışan Teke Deresi'nin su bölüm çizgisi olan sırtlarla kuşatılmıştır. İlin alanı 6650 km² olup, il merkezinin denizden yüksekliği 203 metredir (URL-19) (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Çalışma alanının Türkiye'deki konumu ve 3B haritası.

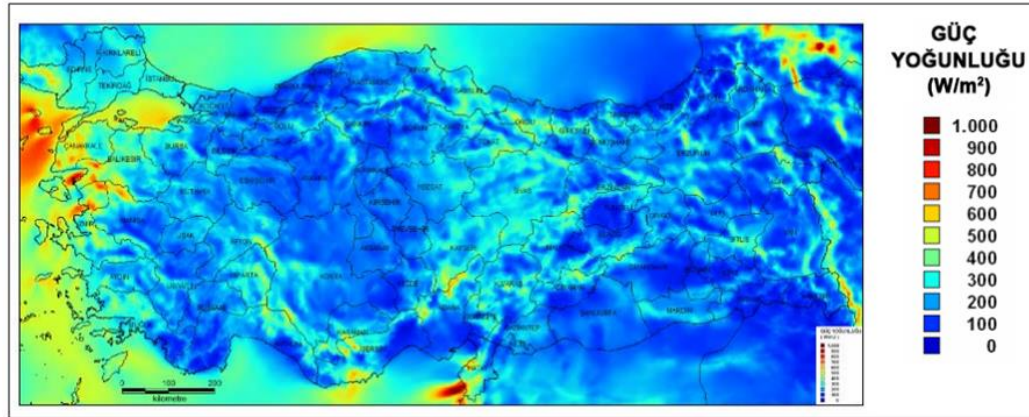
Çalışma alanına ilişkin rüzgâr durumunu belirlemeye yönelik ön bilgi olarak REPA verilerinden yararlanılmıştır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından geliştirilmiş olan REPA verilerine göre illerin rüzgâr hızları istatistiksel metotlarla yaklaşık olarak belirlenmiştir. Türkiye genelinde 200x200m çözünürlükte

hazırlanan atlasa göre Kırklareli ilinin 50 m yükseklikteki rüzgâr hızının konuma göre farklılık gösterse de ilde rüzgâr hızının genellikle 5.5 m/s'den fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.2) (URL-20).



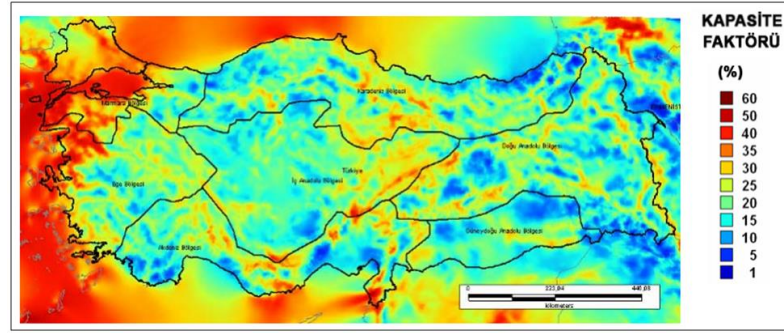
Şekil 5.2. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızı (URL-20).

REPA atlasına göre, Türkiye geneli 50 m yükseklikteki Kırklareli ilinin ortalama güç yoğunluğu 200-300 W/m² aralığındadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama güç yoğunluğu (URL-20).

REPA atlası Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılım haritasına göre, Kırklareli ilinin kapasite faktörü %25-%40 arasında konuma bağlı olarak farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Türkiye geneli 50m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü (URL-20).

REPA' ya göre Ekonomik RES yatırımına yönelik rüzgâr hızı ≥ 7 m/sn, kapasite faktörü $\geq \%35$ olması gerekmektedir. REPA verilerine göre Kırklareli ilinin 50 m yükseklikteki rüzgâr enerji potansiyeli 3079.36 MW'tır (Kayı, 2017). 50 m yüksekliğe yönelik hazırlanan hız ve kapasite faktörü haritalarına göre Kırklareli ili RES kurulabilecek alanlar içerisinde yer almaktadır.

TUREB raporlarına göre Kırklareli ilinde bulunan mevcut RES konumları Şekil 5.5'te gösterilmiş olup, özellikleri Çizelge 5.1'de belirtilmiştir (URL -24).

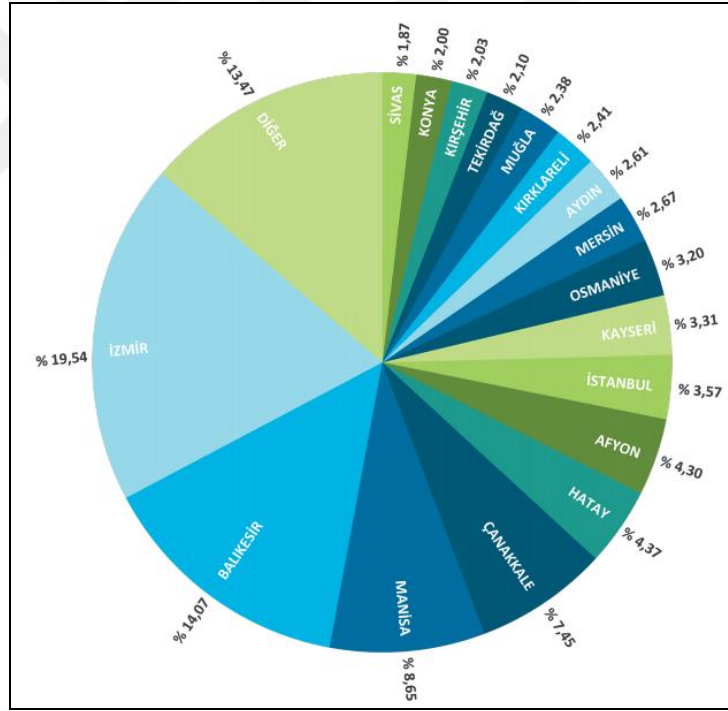


Şekil 5.5. Kırklareli ili mevcut RES konumları.

Çizelge 5.1. Kırklareli ili işletmedeki RES listesi ve özellikleri (URL -24).

Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	Türbin Markası	Türbin Modeli	İşletmeye Giriş Tarihi
Kıyıköy RES	28.0	Siemens Gamesa	G90/G97	2014
Karadere RES	16.0	Ge	GE1.6-100	2014
Karadere RES	3.2	Ge	GE1.6-100	2016
Zeliha RES	25.6	Siemens Gamesa	SWT-3.2-113	2016
AirRES-4	60.8	Siemens Gamesa	SWT-3.2-113	2017
Kıyıköy RES Ext	64.8	Vestas	V136-3.6	2020
Evrencik RES	9.6	Nordex	N149	2020
Vize-II RES	57.6	Nordex	N149	2020

TUREB Temmuz 2020 raporlarına göre Kırklareli ilinde ki kurulu RES gücü 199.6MW olup Türkiye’de 12. sırada yer almaktadır (Şekil 5.6) (TUREB, 2020).



Şekil 5.6. İşletmedeki RES’lerin illere göre dağılımı (Temmuz, 2020) (TUREB, 2020)

Kırklareli ilinde 2020 yılında işletmeye giren yeni RES’le ile kurulu güç olarak Türkiye’de 8. sıraya yükselmiştir. Ayrıca üç proje inşa aşamasındadır. (Çizelge 5.2) (URL-17).

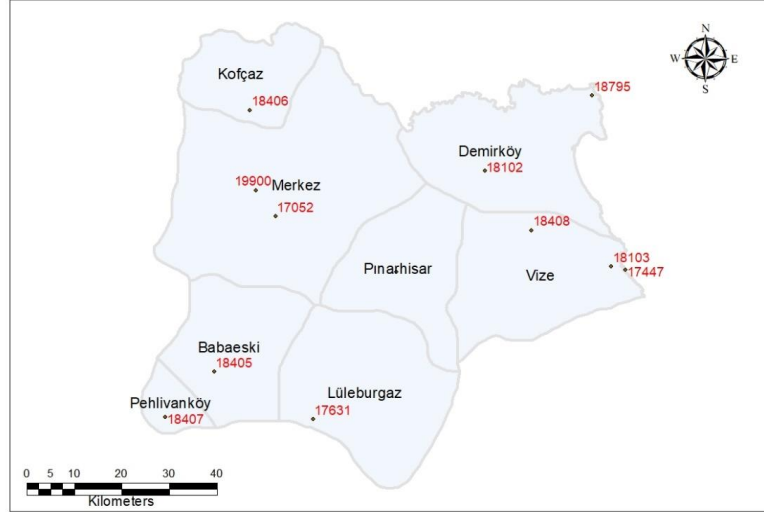
Çizelge 5.2. Kırklareli ili inşaa halindeki RES listesi (URL-17).

Proje Adı	Güç (MW)	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü (MW)
Kıyıköy RES Ext.	7.2	Vestas	V136	3.6
Evrencik RES	120.0	Nordex	N149	4.8
Vize II RES	19.2	Nordex	N149	4.8

Yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr yoğunluğu bakımından Türkiye’deki en iyi bölge Kırklareli ilinin de içerisinde bulunduğu Marmara bölgesidir (İlkılıç, 2016). TUREB ve REPA raporlarına göre, Kırklareli ilinin yeterli rüzgâr hızı potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Yeni kurulan RES’lerle birlikte kurulu güç artarak Türkiye’de daha ileri seviye ulaşacağı tahmin edilmektedir. REPA verilerine göre Kırklareli ilinin 50 m yükseklikteki rüzgâr enerji potansiyeli 3079.36 MW olduğu ve güncel rüzgâr türbin teknolojisinde kule yüksekliğinin 50 m’den daha fazla olduğu görülmektedir. Kırklareli ilinde işletmedeki ve inşa halindeki santrallerin güç toplamı 412 MW olmakla birlikte, REPA’da ifade edilen 50 m yükseklikteki potansiyelin sadece %13.38’ine karşılık gelmektedir. Bu verilerle birlikte Kırklareli ilinin halen rüzgâr enerji yatırıma yönelik oldukça uygun il olduğu görüldüğünden tez çalışması kapsamında uygulama alanı olarak Kırklareli ili belirlenmiştir.

5.2 Veri

CBS projelerinde verilerin elde edilmesi en fazla zaman alan kısımdır. Bazen verilerin elde edilmesinin maliyeti büyük olabilmektedir (Yomralıoğlu, 2015). Tez çalışması kapsamında rüzgâr hızı verisi olarak Kırklareli ilinde bulunan 12 adet farklı konumlarda bulunan MGM istasyonundan elde edilen rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır (Şekil 5.7) (Çizelge 5.3) (URL-21). Bu veriler, MGM istasyonlarının 10 m yükseklikte ölçülen ve 2014-2019 yılları arasını kapsayan günlük ortalama hızlardan oluşmaktadır.



Şekil 5.7. Kırklareli ili MGM istasyonlarının konumları.

Çizelge 5.3. MGM istasyonlarının konumları (URL-21).

İstasyon No	İstasyon Adı	Lat. (Enlem)	Long. (Boylam)
18407	Pehlivan köy	41.3556000	26.9394000
17631	Lüleburgaz TIGEM	41.3513000	27.3108000
18405	Babaeski	41.4433000	27.0622000
17052	Kırklareli	41.7382000	27.2178000
18406	Kofçaz	41.9411000	27.1539000
18398	Pınarhisar	41.6311000	27.5236000
18408	Vize Yumurtatepe	41.7084000	27.8655000
19900	Kırklareli Üniversitesi	41.7884420	27.1683340
17447	Midye Kıyıköy Batı Mendirek Fener (Ana)	41.6317000	28.1019000
18102	Demirköy	41.8228000	27.7489000
18103	Vize Kıyıköy	41.6378000	28.0661000
18795	Demirköy Beğendik Köyü	41.9639000	28.0233000

İstasyonlar da ki rüzgâr hızları 10 m yükseklikteki direklerin tepesinde bulunan sensörler aracılığıyla ölçülmektedir. İstasyondaki rüzgâr ölçüm yüksekliği, rüzgâr hızı, taşınacak yükseklik ve sürtünme katsayısı değerleri kullanılarak Hellmann eşitliğinde değerlerin yerine konulmasıyla rüzgâr türbinin kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı hesaplanabilmektedir. Eşitlikteki sürtünme katsayısını belirlemek için CORINE 2018 (Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu) arazi örtüsü haritası Copernicus Services envanteri kullanılmıştır (EEA, 2019). Çizelge 5.4'de arazi türü sınıfları ve karşılık gelen sürtünme katsayılarını gösterilmektedir (Masters, 2004).

Çizelge 5.4. Arazi karakteristiğine göre sürtünme katsayıları (Masters, 2004).

Arazi Karakteristiği	Sürtünme Katsayısı (α)
Pürüzsüz sert zemin, durgun su	0.10
Toprak seviyesinde uzun çimen	0.15
Yüksek boylu mahsul ve çalılar	0.20
Kırsal orman alanı, birçok ağaç	0.25
Ağaçlar ve çalılar içeren küçük kasaba	0.30
Yüksek binaların bulunduğu şehirler	0.40

Kırklareli ilinde bulunan 12 MGM istasyonlarının ölçümünün yaptığı rüzgâr hızları, seçilen türbinin kule yüksekliğine taşınarak türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı haritasını oluşturmak için kullanılmıştır.

Bu çalışmada Kırklareli ilinin Rüzgâr enerjisi potansiyeli hesabında dışlanacak alanlara yönelik veri katmanlarının belirlenmesinde RES kurulumuna uygun olmayan alanların belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır (Çizelge 4.1). Veri katmanlarına ilişkin bilgiler, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir (Çizelge 5.5)

Çizelge 5.5. Kullanılan veri katmanlarının nitelikleri.

Veri Katmanı	Veri Yapısı	Veri Türü
Köyler	Vektör	Nokta
Tabiat ve Milli Parklar	Vektör	Poligon
Enerji nakil hattı	Vektör	Çizgi
Doğalgaz hattı	Vektör	Çizgi
Eğim	Raster	Hücre (piksel)
Sayısal yükseklik modeli	Raster	Hücre (piksel)
Taşkın alanı	Vektör	Poligon
Sit alanı	Vektör	Poligon
Demir yolu	Vektör	Çizgi
Kara yolu	Vektör	Çizgi
Su yüzeyleri	Vektör	Poligon
Kentsel alanlar	Vektör	Poligon
Üniversite alanı	Vektör	Poligon
Sanayi alanı	Vektör	Poligon

5.3 Yöntem

5.3.1 Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Hesabında Kullanılacak Türbin Modeli

Kırklareli iline ilişkin rüzgâr enerji potansiyelinin gerçekçi bir yaklaşımla hesaplanabilmesine yönelik güncel rüzgâr teknolojisi ürünü olan bir türbin modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Kırklareli ilinde yer alan işletme halindeki ve yapım aşamasındaki RES'ler incelenmiştir. İşletmeye alınan RES'lerin en sonuncusu olan Vize 2 santrali ve inşa halinde olan Evrencik santrali dikkate alınarak 125 m kule yüksekliğine sahip ve 4.8 MW gücünde Nordex N149 türbin modelinin referans alınması uygun görülmüştür. Seçilen türbin özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Çalışma alanı için seçilen rüzgâr türbini özellikleri.

Marka	Nordex
Model	N149
Güç	4.8 MW
Kule yüksekliği	125 m
Türbin çapı	149.1 m
Türbin Süpürme alanı	17.460 m ²
Maksimum güç	5 MW
Devreye giriş hızı	3 m/sn
Devreden çıkış hızı	26 m/sn

5.3.2 Rüzgâr Hızı Haritasının Oluşturulması

RES kurulumunda öncelikli olarak tesis edileceği alanın rüzgâr yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Rüzgâr yapısının belirlenmesinde en önemli parametrelerden birisi de rüzgâr hızıdır. Rüzgâr türbinleri belirli bir rüzgâr hızı aralığında enerji üretebildiğinden santralin kurulacağı alanın belirlenmesi ve üretilebilecek enerjinin hesaplanabilmesine yönelik rüzgâr hızı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır (Oral vd., 2019).

Tez çalışması kapsamında rüzgâr hızı haritalarının oluşturulmasına yönelik Kırklareli ilinde bulunan 12 istasyonun 2014 – 2019 yılları arasındaki günlük ortalama rüzgâr

hız verileri MGM'den temin edilmiştir. Veriler 10 m yükseklikteki direklerin tepesinde bulunan sensörler aracılığıyla ölçülmüştür.

Her bir istasyona ilişkin CORINE arazi örtüsü haritası ve uydu görüntüleri yardımıyla istasyonun bulunduğu alanın arazi sınıfı belirlenmiştir. Arazi sınıfına uygun olarak da arazi karakteristiğine karşılık gelen sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda seçilen RES türbin modelinin kule yüksekliği 125 m olmasından dolayı 10 metre yükseklikteki rüzgâr hızları Hellman eşitliği (5.1) kullanılarak 125 m'ye taşınmıştır.

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (5.1)$$

Hellman eşitliğindeki:

H_0 : Rüzgâr ölçümünün gerçekleştirildiği yüksekliği (10m),

V_0 : 10 m yüksekliğindeki rüzgâr hızını,

H : Rüzgâr hızının taşınacağı yüksekliği,

α : Sürtünme katsayısını

V : Taşınacak yükseklikteki rüzgâr hızını ifade etmektedir.

Çizelge 5.7'de istasyonlar için belirlenen sürtünme katsayılarına göre hesaplanan 125 m yükseklikteki rüzgâr hızları gösterilmiştir

Çizelge 5.7. İstasyon noktalarının 125 m yükseklikteki rüzgâr hızları.

İstasyon No	İstasyon Adı	Corine ID	α (Pürüzlülük Katsayısı)	V10	V125
18407	Pehlivan köyü	211	0.25	3.0	5.57
17631	Lüleburgaz TIGEM	121	0.40	2.3	6.21
18405	Babaeski	121	0.40	3.1	8.51
17052	Kırklareli	111	0.40	1.7	4.75
18406	Kofcaz	321	0.20	3.3	5.44
18398	Pınarhisar	333	0.20	4.6	7.57
18408	Vize Yumurtatepe	243	0.25	3.4	6.45
19900	Kırklareli Üniversitesi	321	0.20	4.2	7.03
17447	Midye Kıyıkoy Batı Mendire Fener (Ana)	123	0.10	4.9	6.28
18102	Demirköy	311	0.30	2.1	4.46
18103	Vize Kıyıköy	231	0.25	1.7	3.12
18795	Demirköy Begendik Köyü	242	0.30	2.9	6.08

Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarının 125m yükseklikteki rüzgâr hızı bilgileri uygun dosya formatına dönüştürülten sonra CBS ortamına ArcGIS yazılımı kullanılarak aktarılmıştır.

ArcGIS yazılımı ile konumu ve rüzgâr hızı bilinen noktalar kullanılarak rüzgâr hızı haritası üretilebilmektedir. Noktasal rüzgâr hızları kullanılarak rüzgâr hızı haritasının üretiminde kullanılacak olan enterpolasyon yöntemi sonucun doğruluğunu etkilemektedir. Rüzgâr haritalarını oluşturmaya yönelik istasyon noktalarına ilişkin hız verileri kullanılarak ters mesafe ağırlık (IDW), krigging, doğal komşuluk (natural neighbour), spline ve trend enterpolasyon yöntemleri ile rüzgâr hızı haritaları oluşturulduktan sonra gerçek hız değerleri ile enterpolasyon sonucu üretilen hız değerleri karşılaştırıldığında en uygun yöntemin IDW olduğu tespit edilmiştir (Yıldız, 2021b). Bu çalışmada rüzgâr hızı haritası oluşturulurken IDW enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

5.3.3 RES Kurulumuna Uygun Olmayan Alanların Belirlenmesi

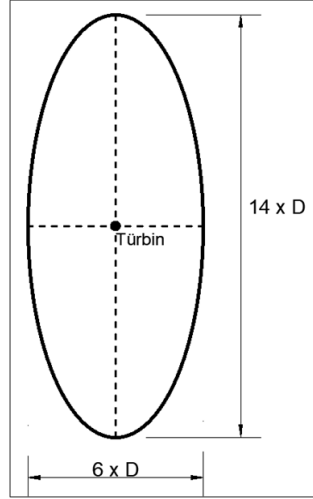
Çalışma alanının enerji potansiyelinin hesaplanabilmesine yönelik RES kurulumuna uygun olmayan alanların belirlenmesi gerekmektedir. Uygun olmayan alanların

gerekli kriterleri belirlemede, RES yer seçimine yönelik çalışmalarda ve REPA'nın hazırlanmasında yararlanılan kriterler kullanılmıştır (Çizelge 5.8)

Çizelge 5.8. RES kurulamayacak alanlar için kullanılan kriterler.

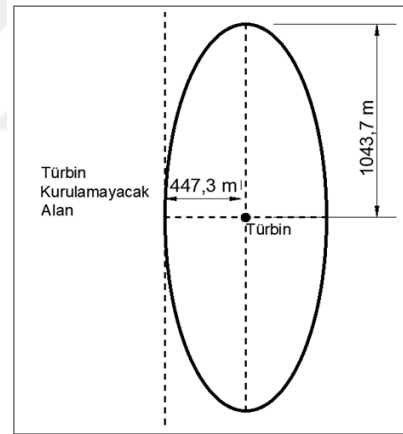
Kriter	Dışlama ölçütü
Yerleşim alanları (İl, İlçe, Belde)	<500m
Yerleşim alanı (Köy)	<500m
Tabiat parkı ve Milli park	Alanın kendisi
Enerji nakil hattı (ENH)	<500m
Doğalgaz hattı	<500m
Eğim	%20<
Taşkın alanı	Alanın kendisi
Sit alanı	Alanın kendisi
Demir yolu hattı	<500m
Karayolu	<500m
Su yüzeyleri (göller)	<500m
Akarsular	<500m
Üniversite Alanı	<500m
Sanayi Alanı	<500m

Dışlama mesafesinin belirlenmesinde, Rüzgâr Kaynağına Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik (RG:20.10.2015/29508)'den yararlanılmıştır. Bu yönetmeliğe göre; büyük (asal) eksen uzunluğu $14 \times D$ (değerlendirmeye alınan türbinin rotor kanat çapının metre cinsinden değeri) ve küçük (yedek) eksen uzunluğu $6 \times D$ olan elipsler çizilir (Şekil 5.8). Türbinlerin birbirlerinin rüzgârını olumsuz etkileyeceğinden, çizilen bir elips içinde birden fazla rüzgâr türbini bulunmaması gerekmektedir.



Şekil 5.8. Rüzgâr türbini etki alanı elipsi.

Çizelge 5.6’da özellikleri verilen türbine ilişkin, yönetmelikte tanımlanan elips kullanıldığında, büyük yarıçap 1043.7 m, küçük yarıçap ise 447.3 m olarak elips oluşmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Seçilen rüzgâr türbinine ait etki alan elipsi.

Seçilen rüzgâr türbin modeline göre oluşturulan etki alanı elipsi incelendiğinde rüzgâr türbinleri aynı elips içinde kalmayacak şekilde yerleştirilmesi gerektiği ve türbinler arasında büyük eksene göre 1043.7 m, küçük eksene göre 447.3 m mesafe olması gerektiği belirlenmiştir. Bu çalışmada Çizelge 5.8’de belirtilen kriterler için yaklaşma mesafesi küçük yarı eksen seçilmiş, hesaplanan değer yuvarlanarak 500 metre olarak belirlenmiştir.

Dışlanan alanların belirlenmesine yönelik kriterler ve dışlama ölçütleri dikkate alınarak ve CBS yazılımı olan ArcGIS ile tampon (buffer) analizi yapılarak RES için uygun olmayan alanlar oluşturulmuştur.

Dışlanacak alanlar arasında yer alan Kırklareli ili köylerine ilişkin alansal bazlı veri yerine yalnızca nokta bazlı verisi bulunduğu köy yerleşim alanlarının belirlenmesinde Google Earth programı kullanılmıştır. Google Earth programı üzerinden köy yerleşim yerlerinin yaklaşık yarıçapları belirlenmiştir (Çizelge 5.9)

Çizelge 5.9. Köy yerleşim yerleri ve çizilen daireler.

SIRA NO	KÖY SAYISI	YERLEŞİM ALANI YARIÇAPI (m)
1	17	200
2	36	300
3	46	400
4	49	500
5	11	600
6	6	700
7	4	800
8	2	1000

Köy yerleşim alanları, Google Earth programından belirlenerek çizilen dairelerin kapladığı alanlar kabul edilmiştir.

Eğimli olan bölgeler rüzgâr enerjisinin değişmez rüzgâr rejimine engel olmaktadır (Akkaya, 2019). Çalışma alanına ilişkin DEM (Digital Elevation Model-Sayısal Yükseklik Modeli) verileri kullanılarak Kırklareli iline yönelik eğim haritası oluşturulmuştur. Eğimin %20'den fazla olduğu alanlar belirlenmiştir.

Sit alanları, Tabiat ve Milli Parklar ve taşkın alanları, RES kurulamayacak alanlar arasında yer almaktadır. Bu hassas alanların kapsadığı yüzölçümleri, RES kurulamayacak alanlar olarak belirlenmiştir. RES kurulamayacak alanlara yönelik diğer kriterlerde olduğu gibi tampon analizi yapılmamıştır.

RES kurulamayacak alanlar için kullanılan kriterler dikkate alınarak tüm dışlama alanları belirlenmiş ve RES kurulumuna uygun olmayan alanlar oluşturulmuştur.

5.3.4 Enerji Potansiyelinin Hesaplanması ve Rüzgâr Potansiyeli Haritasının Oluşturulması

Belirli bir alandaki rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için V hızında hareket eden rüzgâr akışına göre her bir türbinin üretebileceği gücün hesaplanması gerekmektedir. Eşitlik 5.2’de bir türbinin üreteceği güç miktarını belirlemek için kullanılan denklem verilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3 \quad (5.2)$$

P: rüzgâr enerjisi (watt)

ρ : havanın özgül kütlesi (kg/m^3)

A: türbin süpürme alanı (m^2)

V: rüzgâr hız (m/s)

C_p : Verimlilik katsayısı

5.2 eşitliğinde bulunan ρ , deniz seviyesindeki standart atmosfer şartlarında kabul edilen havanın özgül kütlesi olup değeri 1.225 kg/m^3 olarak kullanılmıştır (Bingöl, 2018). C_p verimlilik katsayısı belirlenen türbin tipi için Eşitlik 5.3 yardımıyla 0,26 olarak hesaplanmıştır.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (5.3)$$

Çalışma alanının enerji potansiyelinin hesaplanabilmesi için rüzgâr hızı haritasından RES kurulumuna uygun olmayan alanlar çıkarılmıştır. Bu işlemin ardından hız aralıklarında yer alan hücre sayıları belirlenerek o aralıkta hıza sahip toplam alan miktarı hesaplanmıştır. Belirlenen alana kurulabilecek rüzgâr türbini sayısını belirlemeye yönelik etki alanı elipsleri kullanılarak iki sıra halinde güzergah boyunca bir yerleşim planı dikkate alınmış ve türbin sayısını veren bir denklem oluşturulmuştur. Kilometre kareye yerleştirilebilecek türbin sayısını ifade eden eşitlik Eşitlik 5.4’de gösterilmiştir.

$$\text{Türbin Sayısı} = (4.2841 \times \text{Alan}) + 2 \quad (5.4)$$

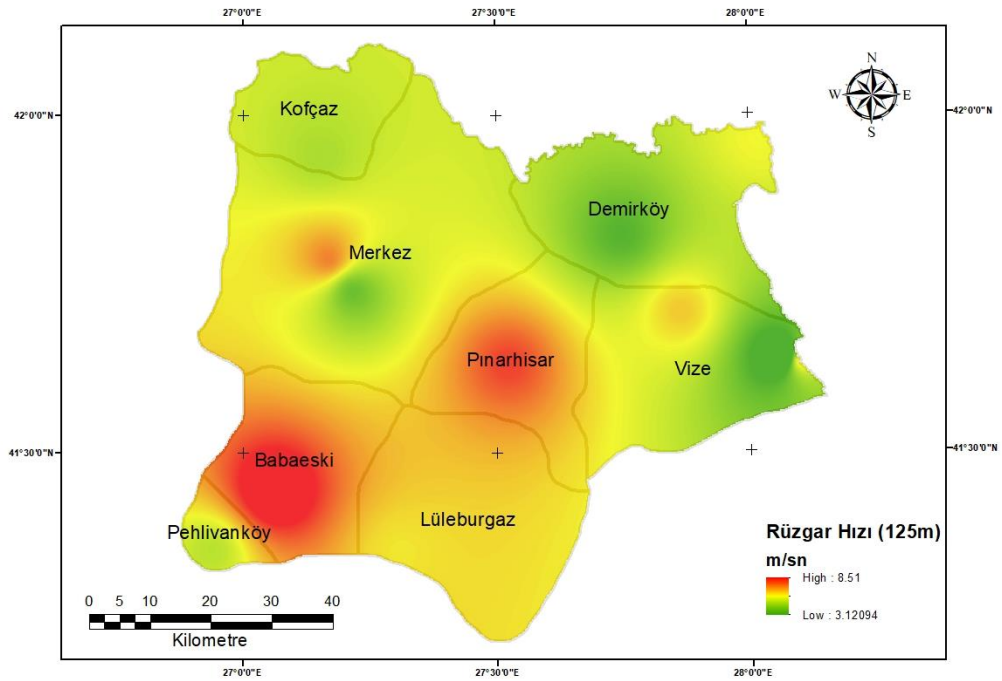
Rüzgar hızları 6.0 - 7.0 m/sn, 7.0 - 7.5 m/sn, 7.5 - 8.0 m/sn ve 8.0 – 8.5 m/sn olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Bir türbinin üretebileceği güç miktarı sınıf aralığındaki ortalama hız miktarı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerin sınıf aralığında kurulabilecek türbin sayısı ile çarpılması sonucunda sınıf aralığı için rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmıştır.

Ayrıca, rüzgâr enerji potansiyelinin Kırklareli ili genelindeki dağılımını hücresel bazda değerlendirebilmeye yönelik her hücreye kurulabilecek türbin sayısını ifade eden bir katsayısı elde edilmiştir. Böylece bir hücreye kurulabilecek türbin sayısı normalize edilmiştir. Elde edilmiş olan katsayısı yardımıyla her hücrenin rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmasıyla Kırklareli iline ilişkin rüzgâr enerji potansiyeli haritası üretilmiştir.

6. BULGULAR

RES'e yönelik uygun alanların belirlenmesinde yalnızca rüzgâr hızı kriterinin yeterli olmamaktadır. RES'in için uygun alan belirlemede birçok kriter kullanılsa da rüzgâr hızı en önemli kriter olmaktadır.

Rüzgâr hızı haritaları oluşturulurken sonucun beklenen doğruya en yakın olması için rüzgâr hızı belli olan referans noktalarının dağılımı büyük önem arz etmektedir. En doğru sonuca ulaşabilmek için uygun enterpolasyon yöntemi belirlendikten sonra haritaların oluşturulması gerekmektedir. Yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda uygun enterpolasyon yönteminin IDW olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da ters mesafe ağırlık (IDW) enterpolasyon yöntemi ile rüzgâr hızı haritası üretilmiştir (Şekil 6.1).

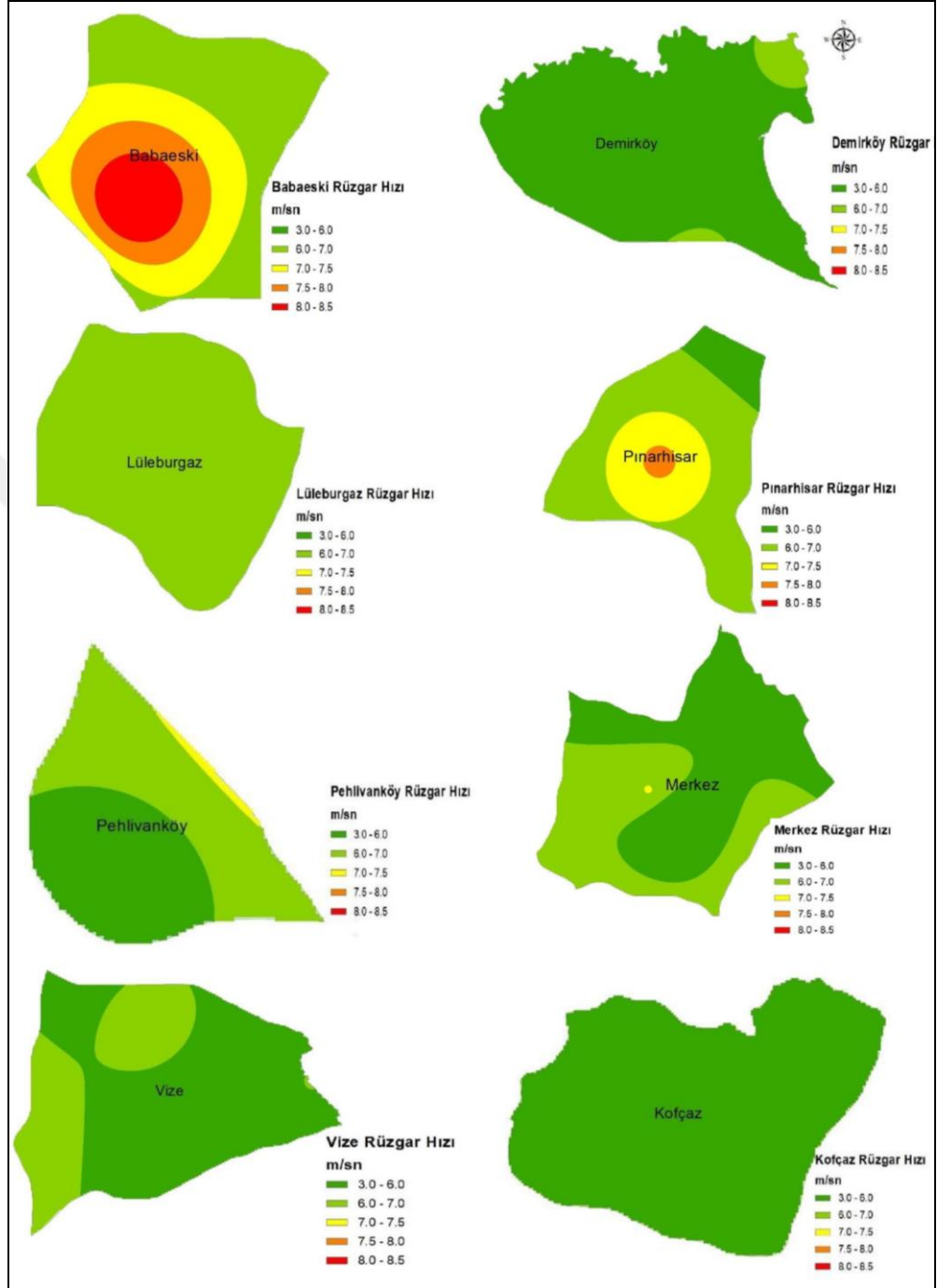


Şekil 6.1. 125 m yüksekliğine ilişkin Kırklareli ili rüzgâr hızı haritası.

Kırklareli ilinde 125 m yükseklikte rüzgâr hızının 3,12 m/s-8,51 m/s arasında dağılım gösterdiği, ilinin güneyinde rüzgârın daha fazla hıza sahip olduğu görülmektedir.

Kırklareli ilinin ilçelerindeki rüzgâr hızı dağılımlarına göre, Babaeski ve Pınarhisar ilçelerinin daha öne çıktığı, Babaeski ilçesinin çalışma alanındaki en yüksek rüzgâr

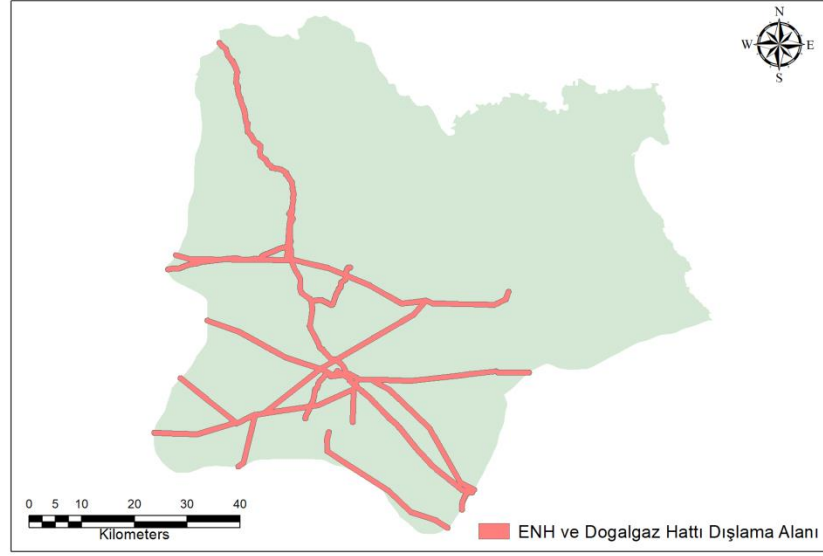
hızı aralığı olan 8 m/sn – 8.5 m/sn’lik rüzgar hızına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.2).



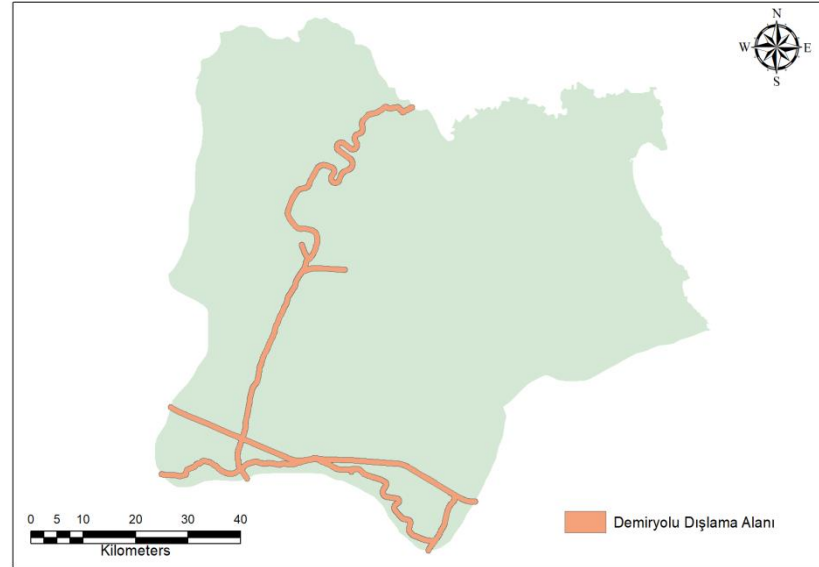
Şekil 6.2. Kırklareli ilçelerine ilişkin rüzgâr hızı haritaları.

Rüzgâr enerjisi pontasiyeli hesaplamak için RES kurulamayacak alanların belirlenmesinde kullanılan kriterlere göre ENH ve doğalgaz hattı, demiryolu, karayolu, su yüzeyleri, akarsu, üniversite, sanayi ve kentsel yerleşim dışlama

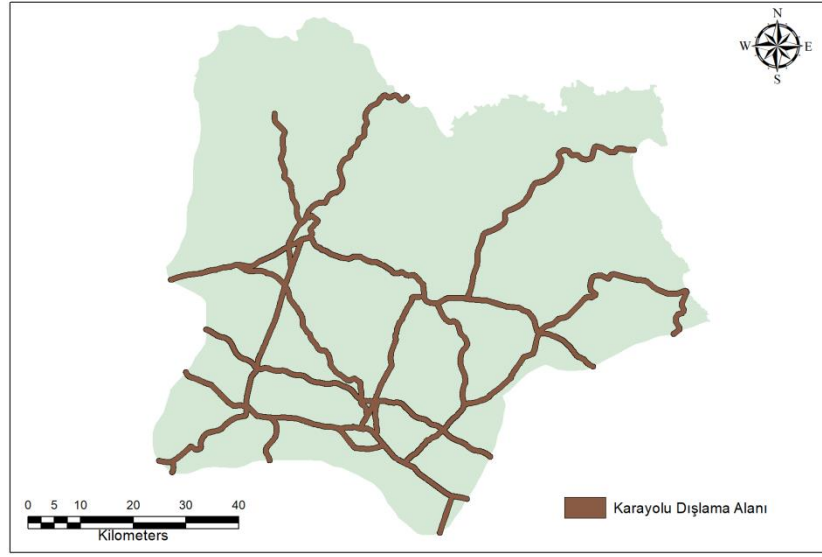
alanlarına ilişkin tampon analizi sonrası dışlama alanlarını gösteren haritalar oluşturulmuştur (Şekil 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10).



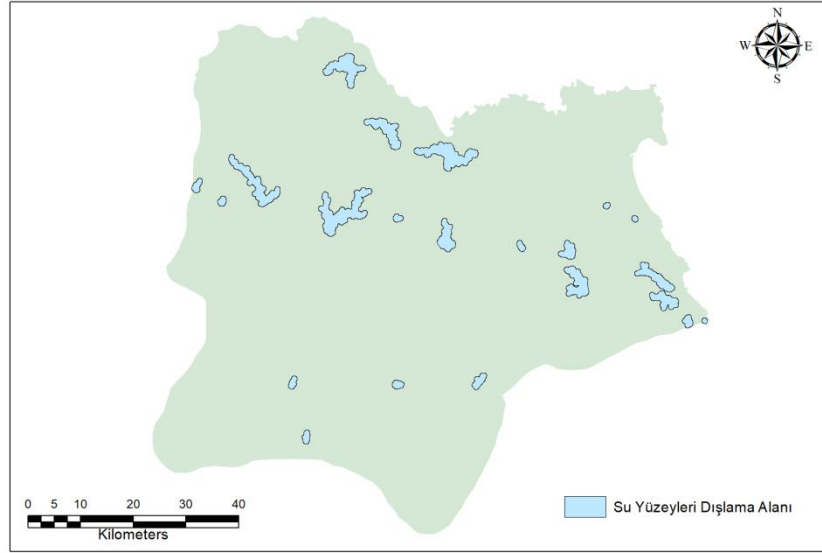
Şekil 6.3. ENH ve doğalgaz hattı dışlama alanları.



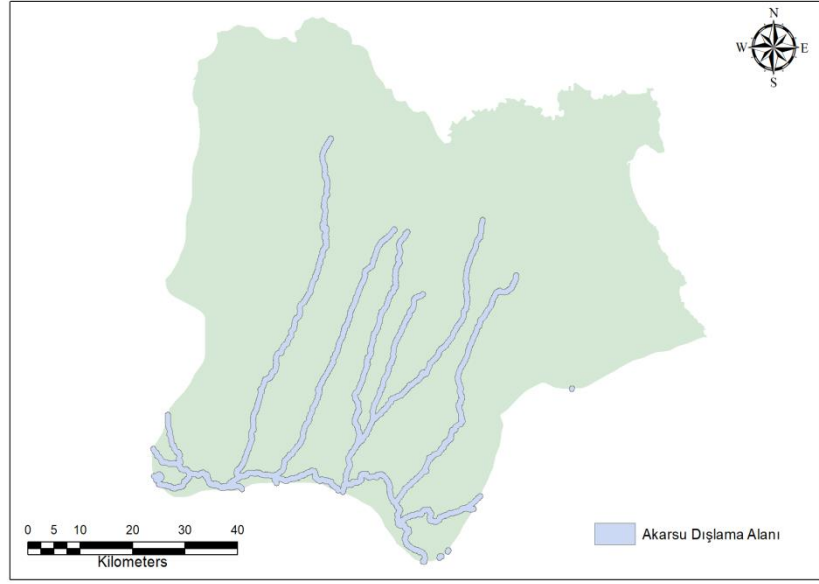
Şekil 6.4. Demiryolu dışlama alanları.



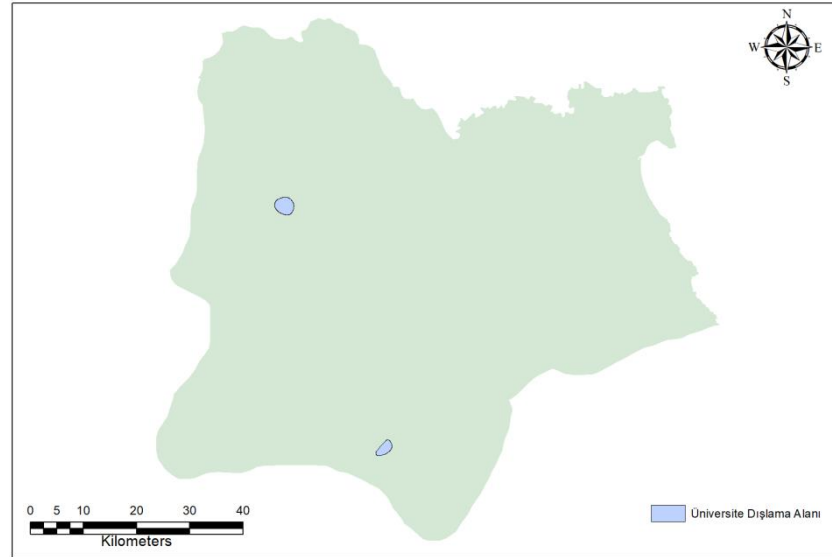
Şekil 6.5. Karayolu dışlama alanları.



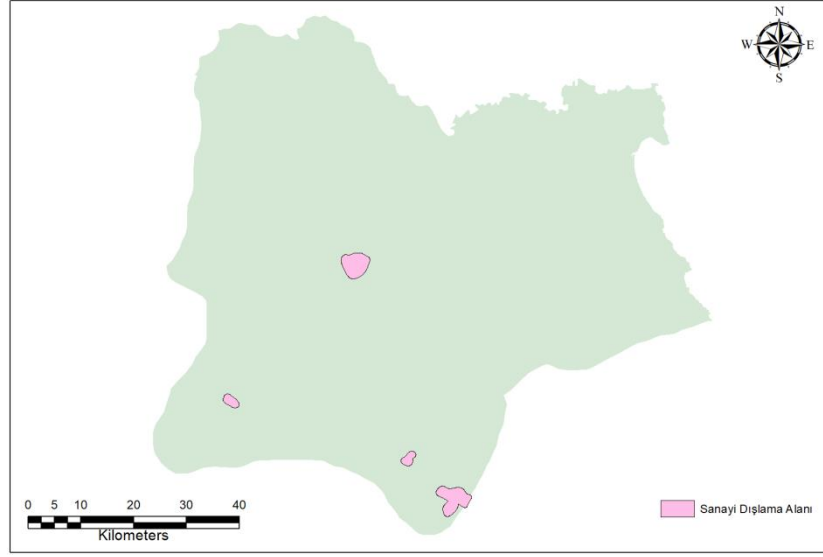
Şekil 6.6. Su yüzeyleri dışlama alanları.



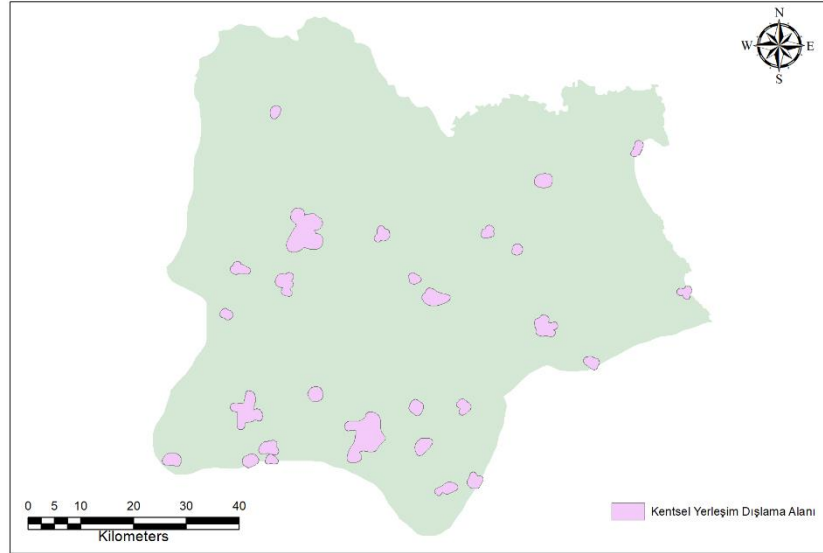
Şekil 6.7. Akarsu dışlama alanları.



Şekil 6.8. Üniversite dışlama alanları.

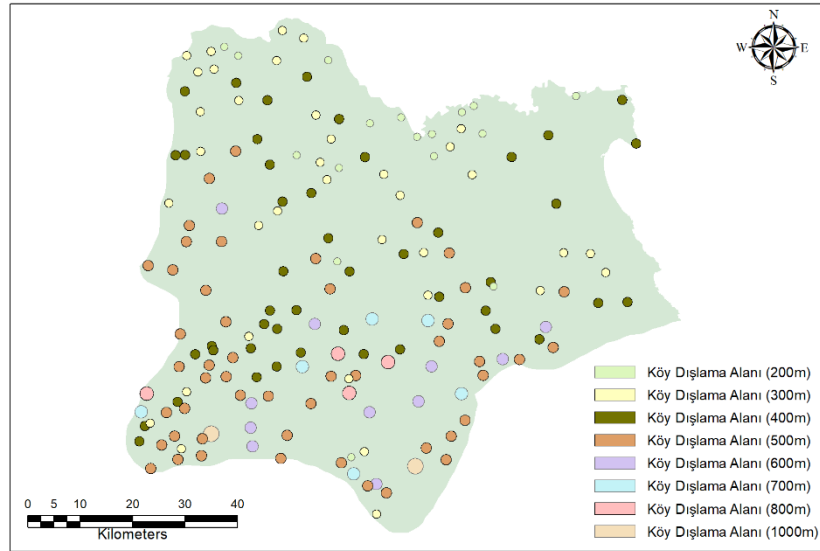


Şekil 6.9. Sanayi dışlama alanları.



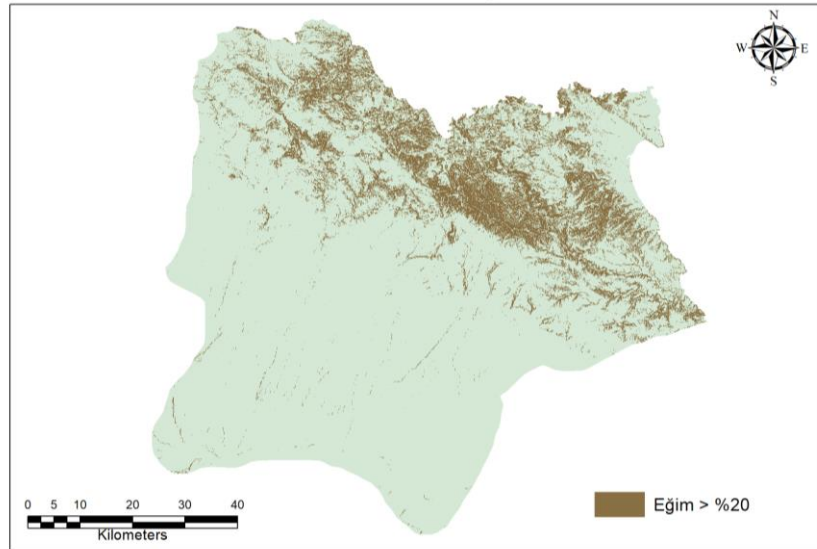
Şekil 6.10. Kentsel yerleşim dışlama alanları.

Köy yerleşim alanları, Google Earth programından belirlenerek çizilen dairelerin kapladığı alanlar kabul edilerek dairelere 500 m tampon analizi gerçekleştirilerek köylere ait dışlama alanları oluşturulmuştur (Şekil 6.11).



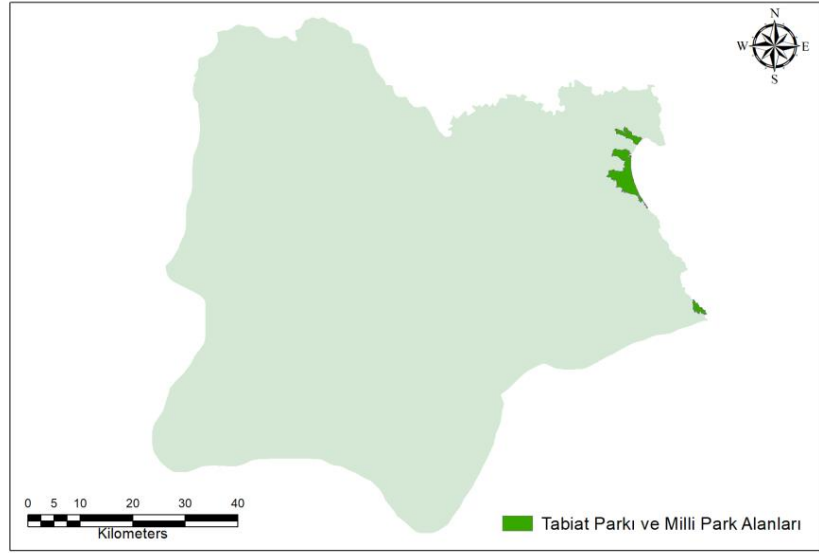
Şekil 6.11. Köy dışlama alanları.

Eğimin %20'den fazla olduğu alanlar için DEM kullanılarak eğime göre dışlanacak alanlar belirlenmiştir (Şekil 6.12).

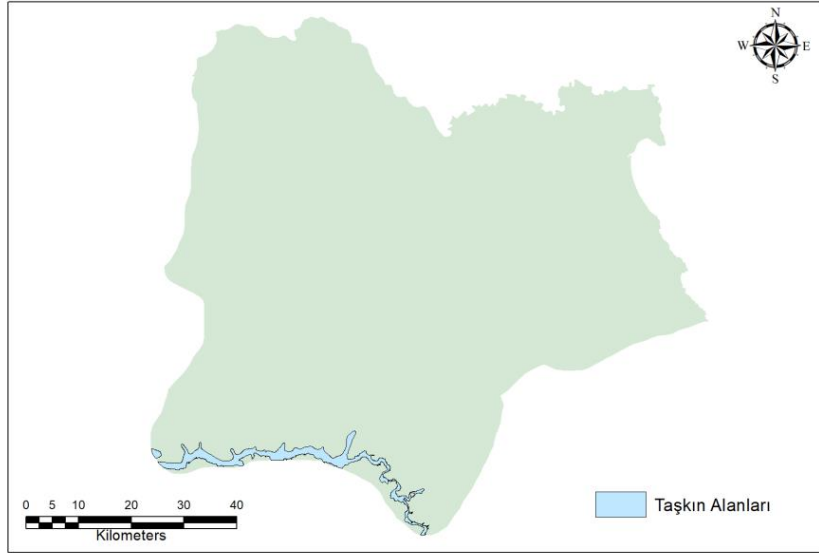


Şekil 6.12. Kırklareli ili eğime göre dışlama alanları.

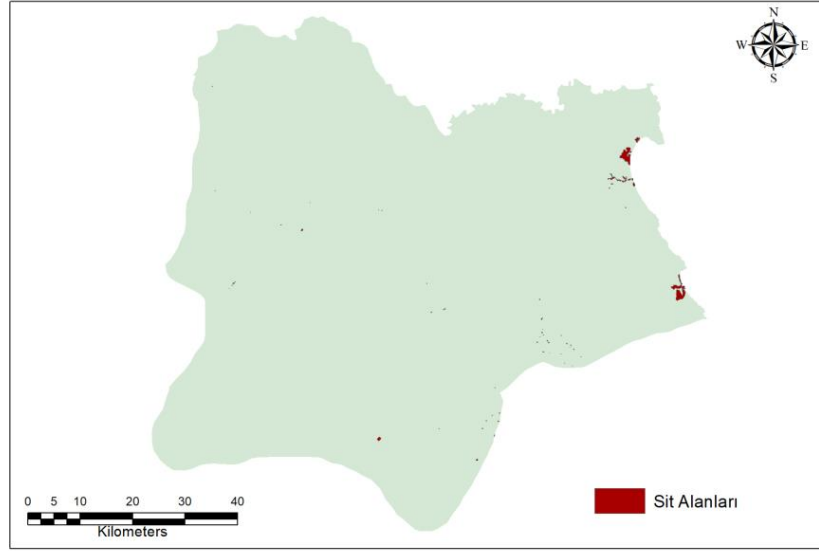
Tampon analizi yapılmayan Sit alanları, Tabiat ve Milli Parklar ve taşkın alanların kapsadığı alanlar bulunmuştur (Şekil 6.13, 6.14, 6.15).



Şekil 6.13. Tabiat ve Milli Park alanları.

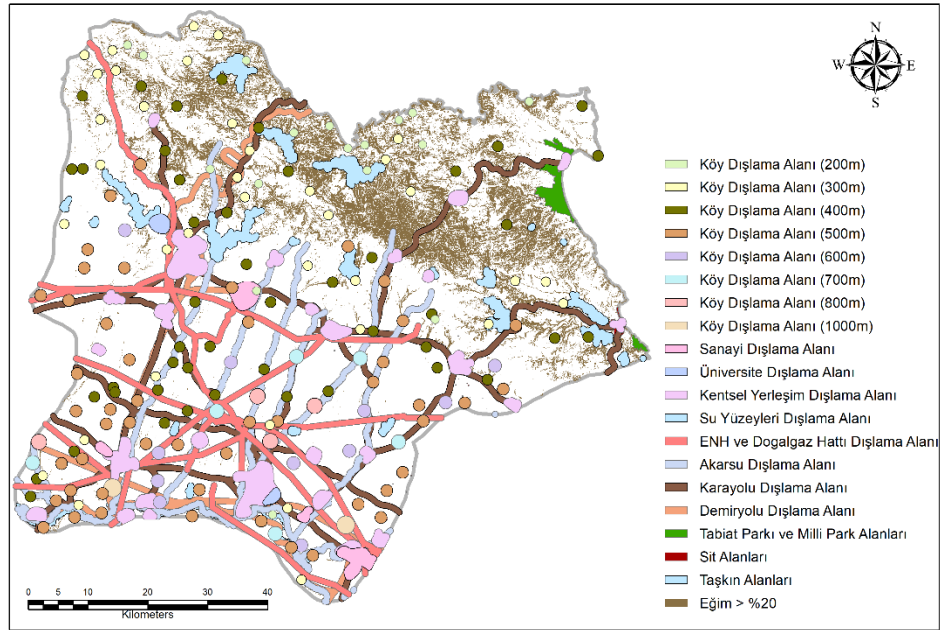


Şekil 6.14. Taşkın alanları.



Şekil 6.15. Kırklareli ili sit alanları.

RES kurulamayacak alanlar için kullanılan kriterlere uygulanan dışlama ölçütlerinin uygulanması sonucunda oluşturulan haritaların birleştirilmesiyle Kırklareli için RES kurulumuna uygun olmayan alanlar belirlenmiştir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16. Kırklareli ili dışlama alanları.

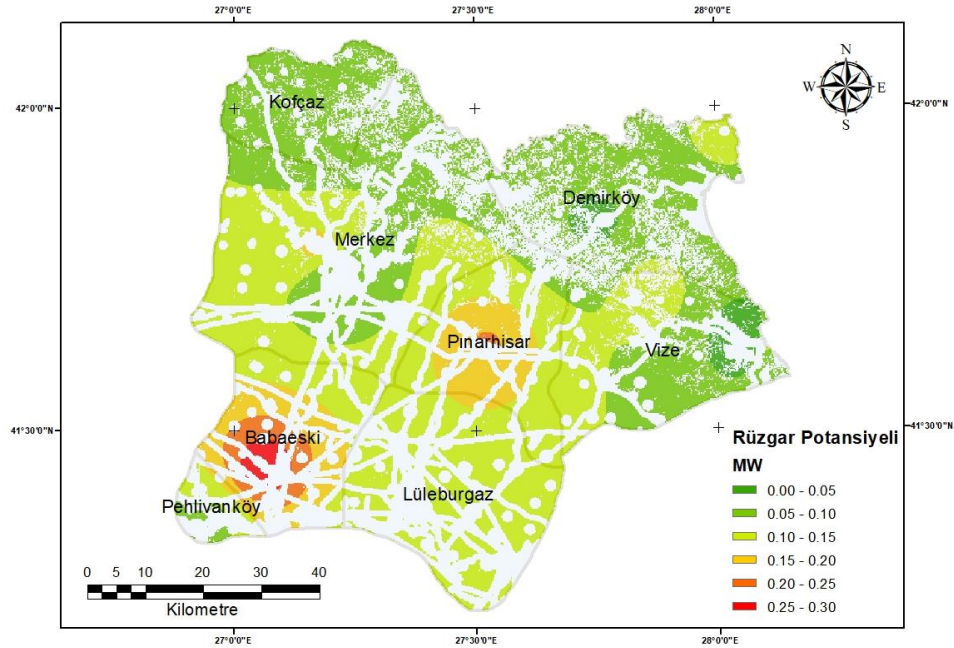
Yatırımcılara ve karar vericilere yol gösterici olmasına yönelik olarak, Kırklareli ilinin rüzgâr enerji potansiyeli belirli hız aralıklarına ilişkin hesaplama yapılmıştır. RES kurulamayacak alanların çalışma alanından çıkarıldıktan sonra, kalan alandaki

hücreler rüzgâr hızlarına göre 4 sınıf aralığına ayrılmıştır. Belirlenen aralıklardaki rüzgâr hızına sahip hücre sayıları, kapladığı alan ve alanda üretilebilecek rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Kırklareli ili rüzgâr enerji potansiyeli

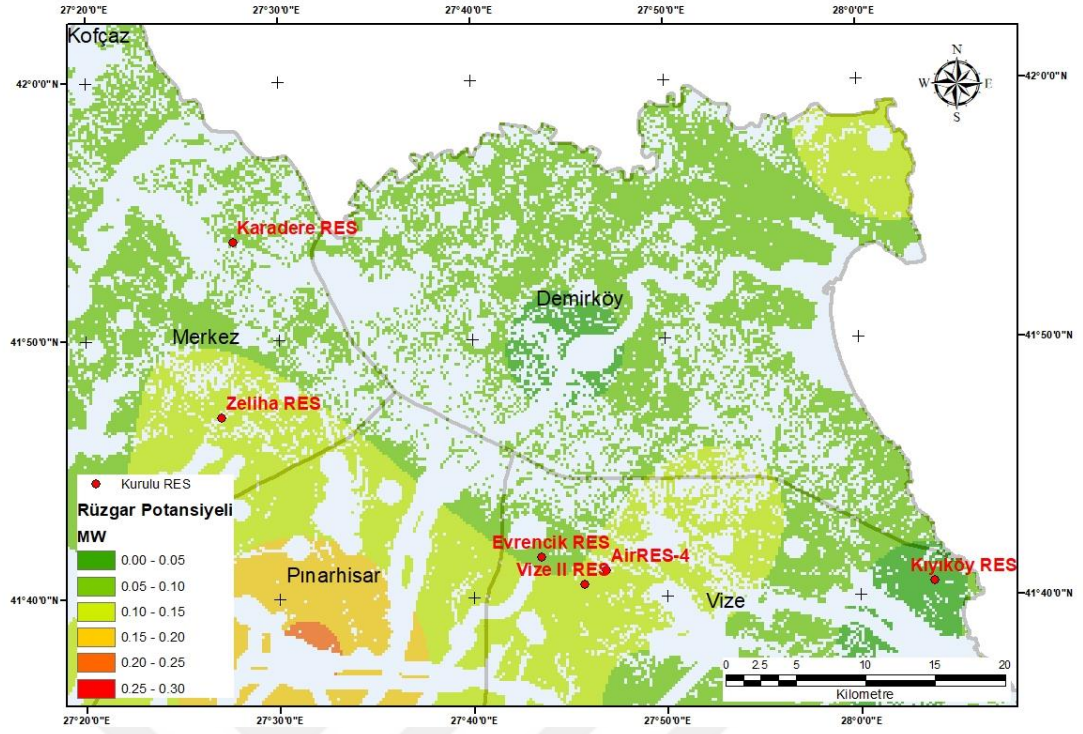
Rüzgâr hızı (m/sn)	Hücre sayısı (n)	Alan (nx0,04km ²)	Bir türbinin üreteceği güç (P) (MW)	Üretilebilecek Güç $P \times [(4,2841 \times \text{Alan}) + 2]$ (MW)
6.0 - 7.0	39961	1598.44	0.76	5230.54
7.0 - 7.5	6995	279.80	1.06	1272.24
7.5 - 8.0	673	26.92	1.29	146.68
8.0 - 8.5	673	26.92	1.56	183.18

Üretilen rüzgâr hızı haritası, dışlama alanlarına ait haritalar ve bir hücreye kurulabilecek türbin sayısını belirten katsayı ile rüzgar eneri potansiyeli haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. Kırklareli ili rüzgâr enerji potansiyeli haritası.

Mevcut RES'lerin bulundukları konumların rüzgar pontasiyelerinin belirlenmesi için üretilen rüzgar pontansiyeli haritasına mevcut RES konumları eklenmiştir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18. İşletmedeki RES'ler ve rüzgar enerji potansiyeli haritası.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında önerilen yaklaşım ile birden çok nokta verisini analiz ederek belirli bir bölgeye yönelik rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında 12 adet MGM istasyon noktası kullanılmıştır. Bu özellik, uygulanan yaklaşımı, literatürde gerçekleştirilmiş olan tek nokta bazlı potansiyel hesabı yaklaşımlarına (Gökçek vd., 2007; Ersoz vd., 2013; Çakmakçı ve Hüner, 2019; Kayı, 2017) göre üstün kılmaktadır. Tek nokta bazlı çalışmalarda rüzgâr enerji potansiyeli yalnızca çalışılan noktaya yönelik hesaplanmaktadır. Fakat alansal bir potansiyel hesabı yapılamamaktadır. Bir CBS fonksiyonu olan konumsal enterpolasyon ile çok sayıda konumları ve rüzgâr hızları bilinen istasyon noktaları kullanılarak belirli bir alana yönelik rüzgâr hızı haritası üretilebilmektedir. Böylece rüzgâr enerji potansiyeli de belirli hız aralıkları ve de hücre bazlı olarak elde edilebilmektedir.

REPA'da ekonomik bir rüzgâr santraline yönelik hız sınırının 7 m/sn olduğu belirtilmesine rağmen, literatürde ekonomik RES yatırımlarına yönelik rüzgâr hızı eşik değerinin 5, 6 ve 6.5 m/sn alındığı çalışmalar bulunmaktadır (Voivontas vd., 1998; Hayli, 2001; TAEK, 1995; Yıldız, 2021a). Kırklareli ilinde 6 m/sn'den daha düşük rüzgâr hızlarının toplamı, tüm rüzgâr hızlarının içinde %46.6 oranla en büyük payı oluşturmaktadır. Ayrıca $6 \text{ m/sn} \geq$ rüzgâr hızının, rüzgârdan enerji üretimine yönelik verimli olduğu dikkate alındığında tüm hızların %53.4'ünün enerji üretimi için uygun olduğu görülmektedir.

Kırklareli ilinin rüzgâr enerji potansiyeli belirli hız eşik değerlerine göre incelendiğinde, 6 m/sn'den daha yüksek hıza sahip alanlardaki toplam enerji potansiyel 6628.21 MW'tır. 7 m/sn'den daha yüksek hıza sahip alanlardaki toplam enerji potansiyeli 1397.67 MW'tır. 8 m/sn'den daha yüksek hıza sahip alanların toplam potansiyel ise 526.89 MW'tır.

REPA'da 50 m yükseklikte Kırklareli ilinde 6.8 m/sn'nin üzerinde hıza sahip alanlardaki toplam rüzgâr enerji potansiyeli 3079.36 MW'tır. Bu çalışma kapsamında 6.8 m/sn'nin üzerinde hıza sahip alanlardaki toplam rüzgâr enerji potansiyeli ise 1832.47 MW olarak hesaplanmıştır. REPA'da yüksekliğin daha az olmasına rağmen potansiyelin daha fazla olması, REPA'daki potansiyel hesabı yaklaşımından

kaynaklanmaktadır. REPA'da, bütün rüzgâr hızı aralıklarında, 6.8 m/sn'nin üzerindeki hıza sahip alanlarda her bir km² alanın 5 MW potansiyele sahip olduğu genellemesi yapılmaktadır. Bu çalışmada ise REPA ile karşılaştırma yapabilmek üzere rüzgâr hız sınıf aralık değerleri aynı tutulmuştur. Rüzgâr hızı aralıklarına denk gelen alanlar belirlenmiştir. Bu alan değerleri ile her bir hız aralığına ilişkin belirlenen türbin özellikleri de kullanılarak gerçekçi bir yaklaşımla hesaplanmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında üretilen Kırklareli ili rüzgâr enerji potansiyeli haritasına göre, rüzgâr enerji potansiyelinin Babaeski ilçesinde diğer ilçelere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Pınarhisar, Lüleburgaz, Merkez ve Vize ilçeleri de rüzgâr potansiyeli açısından elverişli olarak değerlendirilmiştir.

Üretilen rüzgâr enerji potansiyeli haritasına göre işletmedeki RES'lerin enerji potansiyeli düşük alanlara bulunduğu görülmüştür. RES için uygun alan belirledeme her ne kadar rüzgâr enerji potansiyeli kriteri en büyük ağırlığa sahip olsada yer seçiminde için tek kriter olmadığından, bir çok kriter göz önünde bulundurularak mevcut RES konumlarının belirlendiği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdağ, S.A. ve Dinler, A., 2009. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, *Energy Conversion and Management*, 50, 7, 1761-1766.
- Akınsal, A., 2009. Rüzgâr enerjisi ve Türkiye rüzgâr potansiyeli rüzgâr enerjisinde değişken ve sabit fiyat tarifeleri ve enerji depolama teklifleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkaya, N., 2019. Rüzgâr enerji santralleri için uygun alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi: Tekirdağ ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Akkaya, S., 2007. Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi ve bir rüzgâr enerjisi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Akkuş, İ. ve Alan, H., 2016. Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J. ve Gyawali, S., 2019. GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand, *Renewable Energy*, 132, 1360-1372
- Amadi, H.N., 2018. Wind energy potential assessment of Coastal States in South-South Nigeria based on the weibull distribution model, *European Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2, 7, 1-6
- Anlar, A., 2017. Farklı Bakış Açıları ile Enerji Güvenliği Üretici, Tüketici ve Transit Ülkeler: Türkiye Örneği, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 19, 59-88.
- Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Odigie, O. ve Munda, J. L., 2018. A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria, *Applied Energy*, 228, 1853-1869
- Azizi, A., Malekmohammadi, B., Jafari, H.R., Nasiri, H. ve Parsa, V.A., 2014. Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province Iran, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 10, 6695-6709.
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F.G., Gil, C., Alcayde, A. ve Gómez, J., 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 15, 4, 1753-66.
- Bayraç, H.N., 2011. Küresel rüzgâr enerji politikaları ve uygulamaları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30, 1, 37-57.
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P. ve Chetpattananondh, K., 2007. Site selection for large wind turbine using GIS, *PSU-UNS International*

- Conference on Engineering and Environment, Phuket, Tayland, Bildiriler kitabı, 561-566.
- Bingöl F., 2018. Rüzgar enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması, Politeknik Dergisi, 21, 2, 273-281.
- BP, 2019. British Petroleum, Statistical Review of World Energy 2019.
- BP, 2020. British Petroleum, Statistical Review of World Energy 2020.
- Can, G. ve Yücel, M.A., 2019, Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak rüzgâr enerji santralleri için yer tespiti, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Çakmakçı, A.B., Hüner, E., 2019. Kırklareli Üniversitesi Kayalı kampüsünün dönemsel rüzgâr enerji potansiyelinin bulunması, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 5, 1, 40-57.
- Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N., ve Ural, G., 2002. Türkiye rüzgâr atlası, DMI ve EİE ortak yayını, Ankara.
- Ecer, F., 2021. FUCOM sübjektif ağırlıklandırma yöntemi ile rüzgâr çiftliği yer seçimini etkileyen faktörlerin analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27,1, 24-34.
- Economides, M.J ve Wood, D.A., 2009. The state of natural gas, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 1, 1-2, 1-13
- Elmahmoudi, F., Abra, O., Raihani, A., Serrar, O. ve Bahatti L., 2020. Elaboration of a wind energy potential map in morocco using gis and analytic hierarchy process, Engineering, Technology & Applied Science Research, 10,4, 6068-6075.
- Erik, N. ve Koşaroğlu Ş.M., 2016. Tarihsel süreç boyunca değişen petrol fiyatları şeyl gazı etkisi ve bazı öngörüler, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 17, 2, 119-143.
- Ersoz, S., Akıncı, T.C., Nogay, H.S. ve Doğan, G., 2013. Determination of Wind Energy Potential in Kırklareli-Turkey, International Journal of Green Energy, 10,1, 103-116.
- European Environment Agency (EEA). (2019). Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20. Release Date: 14-06-2019.
- ExxonMobil, 2014. The outlook for energy: A view to 2040, Texas, United States of America
- Feng, J., Feng, L., Wang, J. ve King, C., 2020. Evaluation of the onshore wind energy potential in mainland china-based on gis modeling and eroi analysis, Resources, Conservation and Recycling, 152, 104484.
- Garih, Ü., 2000. Türkiye Sorunlarına Çözüm Önerileri, İstanbul Hayat Yayınları, İstanbul

- Gasparotto, J. ve Martinello, B.K., 2021. Coal as an energy source and its impacts on human health, *Energy Geoscience*, 2, 2, 113-120.
- Gigovic, L., Pamucar, D., Bozanic, D. ve Ljubojevic, S., 2017. Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia, *Renewable Energy*, 103, 503-521
- GWEC, 2021. Global Wind Energy Council, Global Wind Report 2021
- Gökçek, M., Bayülken, A. ve Bekdemir, Ş., 2007. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli Turkey, *Renewable Energy*, 32, 10, 1739-52.
- Gülsaç, I. I., 2009. Okyanuslardan Gelen Enerji, *Dalga Enerjisi, Bilim ve Teknik Dergisi*, 498, 1,58-61.
- Hayli, S., 2001. Rüzgâr Enerjisinin Önemi, Dünya'da ve Türkiye'deki Durumu, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11, 1, 1-26.
- İlkılıç, Z., 2016. Türkiye’de rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerji sistemlerinin gelişimi, *Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6, 2/2, 1-13
- Kanbur, G.B., 2021. Yenilenebilir enerji kaynakları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye üzerinde bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak*.
- Karaca, C. ve Bingül, A., 2019. Türkiye’de fosil enerji bağımlılığının neden olduğu ekonomik ve çevresel maliyetler, *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi, Tam Metin Kitabı*, 212-221
- Karaca, C., 2016. Türkiye’nin güncel ekonomik- mali sorunları ve politikaları, *Ekin yayın evi, Bursa*.
- Kayı, Z., 2017. Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu yerleşkesinin rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli*.
- Kayıkçı, B., 2020. Aydın ili Didim ilçesindeki kırsal bölgede yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit güneş-rüzgâr enerji sistemi ile karşılanmasının analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.
- Kessides, I.N., 2010. Nuclear power: understanding the economic risks and uncertainties, *Energy Policy*, 38, 8, 3849-3864.
- Kidnay, A.J. ve Parrish, R.W., 2006. *Fundamentals of natural gas processing*, Taylor and Francis Group, New York, United States of America
- Koç, E. ve Kaplan, E. 2008. Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-I Dünya değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi*, 187, 1, 70-80.

- Koç, E., Kaya, K. 2015. Enerji kaynakları- yenilenebilir enerji durumu, Mühendis ve Makina, 56, 668, 36-47.
- Koçaslan, G., 2006. Türkiye'nin enerji kaynakları ve alternatif bir kaynak olarak rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kombe, E.Y. ve Muguthu, J., 2019. Wind energy potential Assessment of Great Cumbrae Island using weibull distribution function, Journal of Energy Research and Reviews, 2, 2, 1-8.
- Koyuncu, T., ve Lüle, F., 2009. Ondokuzmayıs Üniversitesi Kurupelit kampüsünün rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 6, 2, 178-178.
- Masters, G. M., 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems, New Jersey, John Wiley and Sons, USA
- Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., ve Kılıç, F., 2014. Rüzgâr türbini kurulacak alanların CBS çok ölçütlü karar analizi kullanılarak belirlenmesi Davutpaşa Kampüsü, 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, 1.
- Mentis, D., 2013. Wind energy assessment in Africa a GIS-based approach, Yüksek Lisans Tezi, KTH Royal Institute of Technology, İsveç.
- Miller, A. ve Li, R., 2014. A Geospatial Approach for Prioritizing Wind Farm Development in Northeast Nebraska, USA, ISPRS International Journal of Geo-Information, 3, 3, 968-979.
- MEB, 2012. Milli Eğitim Bakanlığı, Yenilenebilir enerji kaynakları ve önemi, Ankara.
- Oral, F., Behçet, R. ve Gönel, E., 2019. Windpro programı ile rüzgâr analizi ve enerji üretim miktarının belirlenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, 1, 362-371
- Özen, A., Şaşmaz, M. Ü. ve Bahtiyar, E., 2015. Türkiye'de Yeşil Ekonomi Açısından Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Rüzgâr Enerjisi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 17 ,28, 85-93.
- Öztürk, H.H., Yaşar, B. ve Eren, Ö., 2010. Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ankara
- Ramachandra, T.V., ve Shruthi, B.V., 2005. Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS, Energy Conversion and Management, 46, 9-10, 1561-78.
- Sağlam, M. ve Uyar, T. S., 2005. Dalga enerjisi ve Türkiye'nin dalga enerjisi teknik potansiyeli, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM), Mersin.
- Savin, J., 2003. Enerji için yeni bir gelecek yaratmak, dünyanın durumu 2003, Gülçaylar, Ş. T., TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul.

- Silubun, H. C. A., 2019. Study of wind energy potential as source of wind power plant in Merauke city, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 10, 3, 262-272
- Sliz-Szkliniarz, B., Vogta, 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.
- Şahin, T., 2019. Ordu ili Fatsa ilçesi jeotermal enerji potansiyelinin ısıtma sisteminde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Şenel, M. C., 2012. Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Şenol, Ü., 2017. Rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları yöntemiyle tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Şimşek, G. Ve Doğru, A.Ö., 2019. Rüzgar haritası üretimine yönelik uygun ara deper hesap yöntemi seçimi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Talinli, I., Topuz, E., Aydın, E. ve Kabakci, S.B., 2011. A holistic approach for wind farm site selection by FAHP, Wind farm: technical regulations, potential estimation and siting assessment, InTech, 3,1, 213-234.
- Tegou, L., Polatidis, H. ve Haralambopoulos, D.A., 2010. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study, Journal of Environmental Management, 91, 11, 2134-47.
- Tunay M.T., Cebeci M., 2001. Büyük Hidroelektrik Santraller ile Küçük Hidroelektrik Santrallerin Karşılaştırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir.
- TÜBİTAK, 1998. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili teknolojiler.
- TAEK, 1995. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Alternatif Enerji Kaynakları. İstanbul: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- TAEK, 2010. Türkiye Atom Enerjisi Kurum, Günümüzde Nükleer Enerji, 5-78.
- TUREB, 2019. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2019.
- TUREB, 2020. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2020.

- TUREB, 2021. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Ocak 2021.
- Urfalı, T. ve Eymen, A., 2021. CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi, Geomatik Dergisi, 6, 3, 227-237.
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A. ve Belenli, İ., 2006. Batı Karadeniz Bölgesindeki dalga enerjisi potansiyelinin araştırılması, PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 1, 7-13.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A. ve Corominas, J., 1998. Evaluation of Renewable Energy Potential Using A GIS Decision Support System, Renewable Energy, 13, 3, 333-344.
- Yamak, T., 2006. Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları, potansiyeli ve ekonomik analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, S. S., 2021a. Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi, Geomatik Dergisi, 6, 3, 198-206.
- Yıldız, S. S., 2021b. Rüzgâr Hızı Haritalarının Oluşturulmasında Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Balıkesir Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 1, 130-137.
- Yomralıoğlu, T., 2015, Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, İber Ofset, Trabzon.
- URL-1: <<https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/content/fosil-yakitlar>>, Erişim tarihi: 15.04.2021
- URL-2: <<http://www.enerjiatlasi.com/ruzgar/geycek-ruzgarsantrali>>, Erişim tarihi: 18.01.2019
- URL-3: < <https://panorama.khas.edu.tr/turkiyede-ruzgar-enerjisi-ve-gelecege-dair-ruzgar-iskalasi-259> >, Erişim tarihi 05.01.2021
- URL-4: < <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020> > , Erişim tarihi 23.04.2021
- URL-5: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels?utm_content=link5> , Erişim tarihi 23.04.2020
- URL-6: < <https://www.enerjiatlasi.com/rezerv/dunya-dogalgaz-rezervi.html>> , Erişim tarihi 23.04.2020
- URL-7: <<https://www.enerjiportali.com/petrol-nedir-ham-petrol-nedir/#:~:text=Petrol%2C%20hidrojen%20ve%20karbondan%20olu%C5%9Fan,%C4%B0ngilizcesi%20Petroleum'dur.&text=Ham%20petrol%20ve%20do%C4%9Falgaz%C4%B1n%20ana,i%C3%A7in%20hidrokarbon%20olarak%20da%20isimlendirilirler>> , Erişim tarihi 23.04.2020

- URL-8: <<https://www.enerjiportali.com/nukleer-enerji-nedir-nukleer-enerji-nasil-calisir/>>, Erişim tarihi 23.04.2020
- URL-9: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren/default/table?lang=en> , Erişim Tarihi:01.05.2021
- URL-10: <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-tuketim-icindeki-payi-i-85809>>, Erişim Tarihi: 01.05.2021
- URL-11: < <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-enerjisi-nedir/>> , Erişim Tarihi: 01.05.2021
- URL-12: < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen>>, Erişim Tarihi: 04.05.2021
- URL-13:
<https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_g%C3%BCc%C3%BC#cite_note-6> , Erişim Tarihi: 05.05.2020
- URL-14: < <https://ourworldindata.org/renewable-energy#wind-energy-generation>>, Erişim Tarihi 10.05.2021
- URL-15:< <https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-wind>>, Erişim Tarihi 10.05.2021
- URL-16: < <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>>, Erişim Tarihi 10.05.2021
- URL-17: <
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmFmYWY0MTYtNjUyNS00NzQ1LWIwMTMtOTI5ZTNkM2FlYWlxlwIdCI6ImU5YzY0NjU4LWlkMWQtdNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjEyMyIsImMiOiJ9>>, Erişim Tarihi 10.05.2021
- URL-18: < <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html>>, Erişim Tarihi: 05.05.2020
- URL-19: < <https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1rklareli#Co%C4%9Frafya>>, Erişim Tarihi: 10.05.2021
- URL-20:
<https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/retsseminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf>, Erişim Tarihi: 15.05.2021
- URL-21: < <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx?il=K%C4%B1rklareli>> , Erişim Tarihi 01.03.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Celal BIÇAKCI

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği Bölümü, 2005-2011

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
2020 - 2021

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. 2012 – 2013: Hezen Tic. ve San. Ltd. Şti. / Harita Mühendisi
2. 2013 – Halen: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi / Öğretim Görevlisi

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

1. Bıçakcı, C., Karataş, K. ve Yıldız, S.S., 2020. Creation Of Wind Speed Maps Of Kırklareli City, Intercontinental Geoinformation Days, 216-218. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:7104817)