



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ANALİTİK HİYERARŞİ
YÖNTEMİ KULLANILARAK RÜZGAR TÜRBİN
SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ**

Gökhan CAN

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ANALİTİK HİYERARŞİ
YÖNTEMİ KULLANILARAK RÜZGAR TÜRBİN
SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ

Gökhan CAN

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 18/01/2019

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL

ÇANAKKALE

Gökhan CAN tarafından Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL yönetiminde hazırlanan ve 18/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Türbin Santralleri İçin Yer Seçimi: Çanakkale İli Örneği” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL

Başkan

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

Üye

Doç. Dr. Cahit Çağlar YALÇINER

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Gökhan CAN

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL'e, hayatımın her evresinde bana maddi ve manevi destek olan babam Ahmet CAN, annem Sema Özlem CAN ve ablam Gülistan CAN'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Gökhan CAN
anakkale, Ocak 2019



SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde oranı
°C	Santigrat
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif akım
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
BM	Birleşmiş Milletler
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO ₂	Karbondiyoksit
CSP	Konsantre güneş enerjisi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
dB	Desibel
DC	Doğru akım
DEM	Digital Elevation Model
ECCP	Avrupa İklim Değişikliği Programı
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü
EWEA	The European Wind Energy Association
GB	Gigabayt
GE	General Electric
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemleri
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-saat
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare

kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-saat
LAN	Yerel Alan Ağı
m	Metre
m/sn	Metre/saniye
m ²	Metrekare
MAKS	Mekansal Adres Kayıt Sistemi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼đ¼
MW	Megawatt
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NO _x	Azot Oksit
OWA	Sıralı Ağırlıklı Ortalama
PV	Photovoltaics (fotovoltaik)
REN	Renewable Energy Policy Network
REPA	R¼zgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	R¼zgar Enerji Santrali
SI	Uygunluk endeksi
sn	Saniye
SO ₂	S¼lf¼r dioksit
TEİAŞ	T¼rkiye Elektrik İletim A.S
TPAO	T¼rkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
T¼BİTAK	T¼rkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TW	Terrawatt
UTM	Universal Transverse Mercator
V	Volt
W	Watt
WGS84	World Geodetic System 1984
WHO	D¼nya Sağlık Örg¼t¼
WLC	Doğrusal kombinasyon
WWF	World Wildlife Fund
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel M¼d¼rl¼đ¼
yy.	Y¼zyıl

ÖZET

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ KULLANILARAK RÜZGAR TÜRBİN SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ

Gökhan CAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Gökhan CAN

18/01/2019, 94

Dünyanın genelinde olduğu gibi Türkiye’de de toplam enerji tüketimi katlanarak artmaktadır. Rüzgar enerjisinden yararlanma projeleri, sürdürülebilir enerji geliştirme çalışmaları kapsamında için en uygulanabilir yollardan biridir. Rüzgar türbini kurulumu için yer seçimi, sadece teknik gereklilikleri değil aynı zamanda fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel yaptırımları içeren karmaşık bir süreçtir.

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleriyle (CBS) birlikte çok kriterli karar analizi metotlarından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak Çanakkale İl sınırları içinde rüzgar türbini kurulumu için uygun alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

İlk olarak uygulamada kullanılacak veri katmanları araştırmalar sonucu belirlenmiş ve tahsis edilmiştir. Toplanan bu veri altlıkları ArcGIS 10.5 programında işlenerek kullanıma hazır hale getirilmiş ve tüm ortak veri tabanında birleştirilmiştir. Rüzgar türbin kurulumu için uygun olmayan alanlar belirlenen uygulama alanından çıkartılmış ve türbin kurulamayacak alanlar elenmiştir. Veri katmanları önem derecesine göre yapılan ağırlıklandırma işlemi çok kriterli karar mekanizmalarından olan Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılmıştır. Mekansal analiz için belirlenen kriterlere ağırlık oranlarına göre katmalara çakıştırma işlemi uygulanarak nihai sonuç haritası elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Türbin Santralleri, Yer Seçimi

ABSTRACT

USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND ANALYTICAL HIERARCHY METHOD FOR SITE SELECTION FOR WIND TURBINE PLANTS: THE CASE OF ÇANAKKALE PROVINCE

Gökhan CAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Geographic Information Technologies

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali YÜCEL

18/01/2019, 94

As is the case throughout the world, total energy consumption in Turkey is increasing exponentially. Wind energy utilization projects are one of the most feasible ways for sustainable energy development. The choice of location for installation of wind turbine is not only the technical requirements but also a complex process involving physical, economic, social, environmental sanctions.

In this study, it was aimed to determine the appropriate areas for wind turbine installation within the borders of Çanakkale Province by using Analytical Hierarchy Process (AHP) which is one of the multi criteria decision analysis methods together with Geographic Information Systems (GIS).

Firstly, the data layers to be used in the application were determined and assigned as a result of research. These collected data bases are processed in ArcGIS 10.5 and ready for use. Unsuitable areas for wind turbine installation were removed from the specified application area and the unsuitable turbine areas were eliminated. Analytical Hierarchy Process method which is one of the multi criteria decision mechanisms is used in weighting process according to data layers importance level. The final result map was obtained by applying the registration to the criteria according to the weight ratios to the criteria determined for the spatial analysis.

Keywords: Geographic Information Systems, Analytic Hierarchy Process, Renewable Energy, Wind Turbine Plants, Site Selection

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	2
1.1.1. Petrol.....	4
1.1.2. Doğalgaz.....	5
1.1.3. Kömür.....	5
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	6
1.2.1. Hidroelektrik Enerjisi	11
1.2.2. Jeotermal Enerji.....	13
1.2.3. Güneş Enerjisi	14
1.3. Rüzgar Enerjisi.....	17
1.3.1. Rüzgar Türbinleri	20
1.3.1.1. Rüzgar Türbin Elemanları	21
1.3.1.1.1. Kule	22
1.3.1.1.2. Rotor.....	22
1.3.1.1.3. Jeneratör	23
1.3.1.1.4. Dişli Kutusu	23
1.3.1.1.5. Emniyet Frenleri	24
1.3.2. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	25
1.3.2.1. Avantajları	25
1.3.2.2. Dezavantajları	26
1.3.3. Rüzgar Enerji Santrallerinin Çevreye Etkileri.....	27

1.3.3.1. Kuşlar.....	27
1.3.3.2. Gürültü.....	28
1.3.3.3. İnsan Sağlığı	29
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	30
2.1. CBS Kullanılarak Yapılan Rüzgar Enerji Santralleri Yer Seçimi Çalışmaları	30
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri	41
3.1.1. CBS'nin Temel Bileşenleri.....	42
3.1.1.1. İnsanlar.....	42
3.1.1.2. Veri	43
3.1.1.3. Yazılım.....	43
3.1.1.4. Donanım.....	44
3.1.1.5. Yöntemler	44
3.1.2. CBS'de Veri Yapıları	44
3.1.2.1. Vektör Veri Yapısı.....	45
3.1.2.2. Raster Veri Yapısı.....	46
3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	46
3.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	47
3.2.1.1. AHP'nin Çalışma Yöntemi	47
3.2.1.2. AHP'nin Özellikleri.....	48
3.2.1.3. AHP'nin Avantajları	48
3.2.1.4. AHP'nin Dezavantajları.....	49
3.2.1.5. AHP Adımları	49
3.3. Uygulama	54
3.3.1. Uygulama Alanının Belirlenmesi	54
3.3.2. Çalışmada Kullanılacak Veri Setinin Eldesi	55
3.3.2.1. Yazılım ve Donanım.....	56
3.3.2.2. Veri Kaynakları.....	56
3.3.2.3. Topografik Katmanlar.....	57
3.3.3. Rüzgar Enerji Santrali Kurulamayacak Alanların Elenmesi	68
3.3.4. Uygun Alanların Belirlenmesi.....	70
3.3.4.1. AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması	71

3.3.4.2. Mekansal Analiz ile Yer Seçimi	73
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	80
4.1. Sonuç Haritalarının Değerlendirilmesi	80
4.2. Sonuç Haritalarının Mevcut RES'ler Üzerinden Değerlendirilmesi.....	83
4.2.1. RES Kurulumlarının Bölge Bazlı İncelenmesi.....	84
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	I



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ekonomik faaliyetlere göre küresel sera gazı (CO ₂) emisyonları (EÜAŞ, 2018)...	3
Şekil 1.2. Dünya yenilenebilir enerji kapasitesi 2007-2017 (REN21, 2018)	10
Şekil 1.3. Hidroelektrik enerji santrali çalışma diyagramı (Hydroelectric Dam, 2018).....	12
Şekil 1.4. Jeotermal enerji santrali basit planı (Geothermal Energy, 2018)	14
Şekil 1.5. Uluslararası Uzay İstasyonundaki fotovoltaiik paneller (NASA, 2009)	17
Şekil 1.6. RES basit düzeneği (Wind Power, 2018)	19
Şekil 1.7. Rüzgar türbin elemanları (Mathew, 2006).	22
Şekil 1.8. Kule çeşitleri (Mathew, 2006)	22
Şekil 1.9. Rüzgar türbin kanat dizaynı (Wind Turbine Blade, 2018)	23
Şekil 1.10. GE Şirketinin üretmiş olduğu 12 MW'lık rüzgar türbini Haliade (GE, 2018)..	24
Şekil 1.11. Rüzgar türbinlerinin oluşturduğu gürültü ile mesafe arasındaki ilişkisi (Mathew, 2006)	29
Şekil 3.1. CBS'nin temel bileşenleri.....	42
Şekil 3.2. CBS'de veri çeşitleri (Alkış, 1996)	45
Şekil 3.3. Raster ve vektör gösterim	46
Şekil 3.4. Çok kriterli karar verme yöntemleri	47
Şekil 3.5. Çalışma bölgesinin Türkiye'deki konumu	55
Şekil 3.6. Çanakkale il sınırları haritası	58
Şekil 3.7. Çanakkale dijital yükseklik modeli (DEM).....	58
Şekil 3.8. Bölgenin eğim haritası.....	59
Şekil 3.9. Bölgenin eş yükselti eğrileri haritası	59
Şekil 3.10. Bölgenin akarsular haritası	60
Şekil 3.11. Bölgenin göl ve barajlar haritası.....	60
Şekil 3.12. Bölgenin ormanlık alanlar haritası	61
Şekil 3.13. Bölgedeki il ve ilçe yerleşim alanları haritası	61
Şekil 3.14. Bölgedeki kasaba ve köy yerleşim alanları haritası.....	62
Şekil 3.15. Bölgenin karayolları haritası	62
Şekil 3.16. Bölgedeki korunan alanlar haritası	63
Şekil 3.17. Bölgenin diri fay hatları haritası.....	63
Şekil 3.18. Bölgedeki elektrik iletim hatları ve elektrik trafoları haritası	64
Şekil 3.19. Bölgedeki mevcut RES'ler haritası	65
Şekil 3.20. Bölgenin 100 m'deki kapasite faktörü haritası.....	66
Şekil 3.21. Bölgenin 50 m'deki rüzgar güç yoğunluğu haritası	66
Şekil 3.22. Bölgenin rüzgar hızı haritası.....	67
Şekil 3.23. Bölgenin tematik katmanlar haritası.....	67
Şekil 3.24. Fay, nehirler, göller ve yerleşim birimlerine uygulanan tampon işlemi.....	69
Şekil 3.25. Ormanlık bölgeler hariç kurulamayacak alanlar haritası.....	69
Şekil 3.26. Ormanlık bölgeler dahil kurulamayacak alanlar haritası.....	70
Şekil 3.27. Yerleşim alanları uzaklık puanlama	74
Şekil 3.28. Elektrik iletim hatları uzaklık puanlama	75
Şekil 3.29. Karayolları uzaklık puanlama.....	75
Şekil 3.30. Diri fay hatları uzaklık puanlama	76
Şekil 3.31. Rüzgar kapasite faktörü puanlama	76
Şekil 3.32. Eğim puanlama	77
Şekil 3.33. Ağırlıklı analiz haritası	78
Şekil 3.34. Nihai sonuç haritası (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde)	79
Şekil 3.35. Nihai sonuç haritası (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde).....	79

Şekil 4.1. Nihai sonuç haritası (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde)	80
Şekil 4.2. Nihai sonuç haritası (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde).....	81
Şekil 4.3. Sonuç haritasına (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde oluşan) bölgedeki mevcut RES'lerin eklenmesi	83
Şekil 4.4. Sonuç haritasına (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde oluşan) bölgedeki mevcut RES'lerin eklenmesi.....	84
Şekil 4.5. Birinci inceleme bölgesi (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil olduğunda) .	84
Şekil 4.6. Birinci inceleme bölgesi (Ormanlar uygun alanlara dahil olduğunda).....	85
Şekil 4.7. İkinci inceleme bölgesi (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil olduğunda) ...	86
Şekil 4.8. İkinci inceleme bölgesi (Ormanlar uygun alanlara dahil olduğunda)	86



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Türkiyede yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre kullanımı.....	9
Çizelge 1.2. Elektrik üretimi için enerji kaynakları santrallerinin su tüketimi.....	25
Çizelge 1.3. Rüzgar enerjisinin çevreye etkilerinin diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması	26
Çizelge 1.4. Anormal kuş ölümlerindeki sebepler (Erickson ve ark., 2005).....	27
Çizelge 2.1. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Ayodele ve ark., 2018)	30
Çizelge 2.2. Kullanılan kriterler ve uygunluk dereceleri (Ayodele ve ark., 2018).....	30
Çizelge 2.3. Kullanılan kriterler ve derecelendirmeleri (Al-Shabeeb ve ark., 2016)	31
Çizelge 2.4. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Latinopoulos ve Kechagia, 2015)..	32
Çizelge 2.5. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Tegou ve ark., 2010).....	33
Çizelge 2.6. Kullanılan kriterler ve uygun alan sınırları (Aitzhanov, 2016)	34
Çizelge 2.7. Kullanılan kriterler ve uygun alan sınırları (Noorollahi ve ark., 2016).....	35
Çizelge 2.8. Kullanılan kriterler ve uygun olmayan alanlar (Bennui ve ark., 2007).....	36
Çizelge 2.9. Kullanılan kriterler ve değerlendirme aralıkları (Al-Yahyai ve ark., 2012)....	37
Çizelge 2.10. Kullanılan kriterler ve değerlendirme (Gorsevski ve ark., 2013).....	38
Çizelge 2.11. Yararlanılan çalışmalar (Haaren ve Fthenakis, 2011)	39
Çizelge 2.12. Kullanılan kriterler ve derecelendirme (Aydin ve ark., 2010)	40
Çizelge 3.1. Önem dereceleri tablosu	50
Çizelge 3.2. Matristeki kriterlerin örnekli karşılaştırma açıklaması.....	50
Çizelge 3.3. Matristeki kriterlerin karşılaştırması	51
Çizelge 3.4. Örnek bir karşılaştırma matrisi (Timor, 2011)	51
Çizelge 3.5. Matristeki sütun elemanlarının toplanması.....	51
Çizelge 3.6. Normalizasyon matrisi(1)	52
Çizelge 3.7. Normalizasyon matrisi(2)	52
Çizelge 3.8. Normalizasyon matrisinin satır elemanlarının ortalamaları hesaplanması.....	52
Çizelge 3.9. Alternatif sayısına göre rastgele değerler indeksi.....	54
Çizelge 3.10. İllere göre rüzgar santrali potansiyeli verileri.....	55
Çizelge 3.11. Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri	56
Çizelge 3.12. Elde edilen katmanların özellikleri.....	57
Çizelge 3.13. REPA’da kurulamayacak alanların belirlenmesinde kullanılan kriterler	68
Çizelge 3.14. Çalışmada santral kurulamayacak alanların tespiti için kullanılan kriterler..	68
Çizelge 3.15. Kriterlerin derecelendirilmesi.....	72
Çizelge 3.16. Normalizasyon matrisi.....	72
Çizelge 3.17. Kriter ağırlıkları	73
Çizelge 3.18. Tutarlılık oranı	57
Çizelge 3.19. Ağırlıklı analiz haritasına göre alanların puan-yüzde ilişkisi	77
Çizelge 4.1. Uygun alanların puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar hariç).....	80
Çizelge 4.2. Kurulamayacak alanlarda puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar dahil).....	80
Çizelge 4.3. Uygun alanların puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar dahil).....	81
Çizelge 4.4. Kurulamayacak alanlardaki puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar hariç).....	82

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan gereksinim ekonominin ve sosyal yaşamın en önemli ihtiyaçlarından biridir. Toplumların gelişmişlik seviyesini ve ekonomi büyüme oranlarının sembol göstergelerinden olan enerji tüketimi, sanayi devriminden başlayarak günümüze kadar olan süreçte hızla artış göstermiş ve buna bağlı olarak ihtiyacın giderilmesi için yoğun bir biçimde fosil yakıtlar kullanılmıştır. Fosil kaynaklarının giderek tükeniyor olması ve çevreye verdiği zararların telafisinin güç noktalara ulaşması insanları, çevreye asgari seviyede zararlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjiye ulaşmaya sevk etmiştir. Alternatif enerji kaynakları yenilenebilir, tükenmez, çevre ve insan üzerinde minimum olumsuz etkiye sahip olduğu için tüm bu faktörler alternatif enerji kaynaklarına yönelik bir eğilimi teşvik etmektedir.

Rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal, dalga enerjisi gibi kaynaklar yenilenebilir enerji araştırmalarının ve yatırımlarının yoğunlaştığı alanlardır. Bu kaynakların içerisinde rüzgar, dünyanın çoğu yerinde bol miktarda bulunan, temiz, maliyeti gün geçtikçe azalan, çevreye etkilerinin düşük, ticari olarak en elverişli yenilenebilir enerji türlerindedir. Bu pozitif faktörlere ek olarak rüzgar enerjisi kullanımı hava kirletici gazların salınımını azaltarak çağımızın en büyük çevresel sorunlarından olan sera etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda su tasarrufu sağlamakta, gelişen bir sektör olması sebebiyle istihdamın önünü açmaktadır. Bu nedenlerden dolayı rüzgar enerjisi hem dünyada ülkemizde popülaritesi ve mali yatırımları gün geçtikçe artarak devam etmektedir.

Türkiye'nin enerji alanında sorunları olmasına karşın, bunlardan en önemlisi enerji ihtiyacının karşılanması için ithal kaynakların kullanılmasıdır. Ülkenin giderek artan enerji ihtiyaçları karşısında, yerli kaynakların zamanında üretime alınmaması enerji alanında dışa bağımlılığı ve bunun sebep olduğu ekonomik ve siyasi problemleri de beraberinde getirmektedir.

Rüzgar enerjisi, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yatırımı arttırarak devam ettirdiği önemli bir alternatif enerji kaynağı olmaktadır. Türbinlerin çevreye zarar veren gazlar yaymaması, teknolojinin gelişmesiyle gün geçtikçe düşen yatırım maliyetleri yeni istihdam alanları oluşturması ve enerji üretimi sırasında su kullanımına ihtiyaç duymaması gibi özellikler elektrik üretimi için rüzgar türbinlerine öncelik sağlanmasının başlıca nedenlerindedir. Fakat santral kurulum alanlarında bazı olumsuzluklara da sebep olmaktadır. Gürültü, görsel etki, doğal yaşama olumsuz etkileri türbinlerin neden olduğu

zararlı etkiler arasındadır. Santral kurulum alanı seçimi, proje aşamasında yapılacak detaylı araştırma çalışmalarıyla alınacak önlemler sayesinde olumsuzluklar asgari seviyeye indirilebilmektedir.

1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

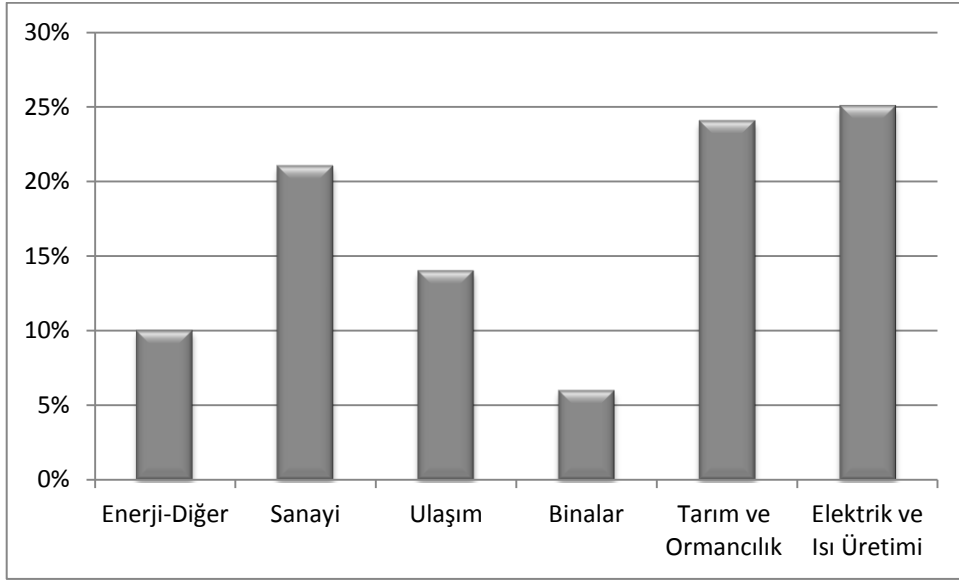
Elektrik enerjisi doğada doğrudan kullanılabilir halde bulunmaz. Doğada bulunan çeşitli enerji türleri bir takım mekanizmalar tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Potansiyel ve kinetik olarak depolanan ısıl kökenli, kimyasal ve mekanik enerji içeren ortamlar birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olarak gruplandırılabilir. Tüklenen yani yenilenemez enerji kaynakları olarak petrol ürünleri, doğalgaz, kömür, linyit sayılabilir. Bu sayılan fosil enerji kaynaklarının yanması sonucu ortaya çıkan ısı, ilk olarak mekanik enerjiye, sonra da elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Celayir, 2008).

Günümüzde üretilen elektrik enerjisinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlar ile nükleer enerji kullanılarak elektrik enerjisi üreten santrallerden elde edilmektedir. Ancak son yıllarda artan nüfus ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün arttığından santrallerin kapasiteleri ve sayıları sanayi devriminden sonra katlanarak şu an zirveye ulaşmıştır. Kullanılan fosil yakıtların enerjiye dönüşümü ile atıklar ortaya çıkmakta, bu atıkların çoğu bilinçsizce doğaya salınmaktadır. Son zamanlarda yapılan toplantılarla da dikkat çekildiği üzere doğanın bu sebepten dengesinin bozulmaya başladığı ülkelerce ve uluslararası kuruluşlarca tartışılarak çözüm önerileri sunulmaktadır.

Yenilenebilir enerji, doğada farklı formlarda bulunan enerji kaynaklarından ortaya çıkan enerjinin birbirlerine dönüşümünün doğaya zarar vermeden gerçekleşen enerji kaynağıdır (Şimşek, 2014). Yenilenebilir enerjinin aksine diğer enerji kaynakları da farklı süreler içinde kendinden yenilenebilir. Fakat çok uzun zaman alabilir. Örneğin fosil yakıtlar canlılığını yitiren bitki tabakasından uzun yıllar içinde toprakta çözünmesiyle oluşan enerji kaynağı çeşididir. Bu kaynağın yenilenmesi de oldukça uzun zaman alacağından kendini yenilemesi bir hayli güçtür (TÜBİTAK, 2003). Geçen yıllar boyunca birikerek artan enerji tüketimi sanayi inkılabından sonra çok daha fazla artarak şu anki yeniden noktaya ulaşmıştır ve her geçen gün enerji olan ihtiyaç teknolojinin gelişmesi ile devasa rakamlara ulaşarak devam etmektedir.

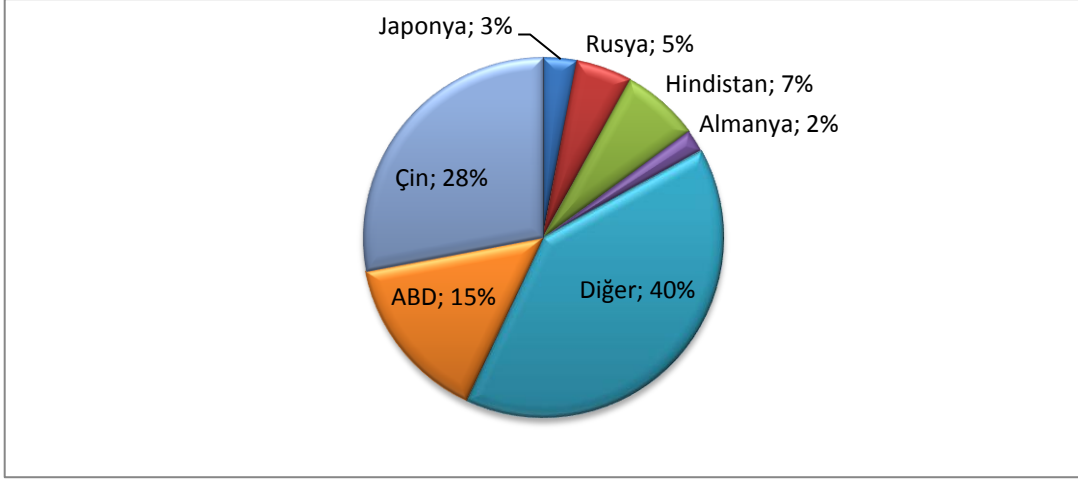
Yenilenemeyen enerji türlerinden olan fosil yakıtların kullanımı ile birlikte oluşan çeşitli atıkların doğaya karışması sonucu insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu atıkların doğa ile tepkimeye girerek (çürüme, fotosentez vb) zararsız duruma

getirilebilmektedir. Fakat tüketilen fosil yakıtların hızlı doğaya geri dönüşümü hızından büyük olduğu görülmektedir. Durum böyle olunca doğaya salgılanan zararlı gazlar atmosferde birikmekte ve atmosferin doğasına aykırı bir şekilde yeni bir katman ortaya çıkarmaktadır. Ortaya çıkan bu katman Güneşten gelen ışınların belli bir bölümünü yeryüzüne kolayca ulaşarak ve buradan yansımaya engel olarak küresel çapta ısı artışına neden olmaktadır ve günümüzde sera etkisi denilen durumu sebebiyet vermektedir (Jones, 2003).



Şekil 1.1. Ekonomik faaliyetlere göre küresel sera gazı(CO₂) emisyonları (EÜAŞ, 2018)

Teknolojinin hızla gelişmesine bağlı olarak ekonomisinin büyük bölümü sanayi faaliyetlerine dayalı olan ve nüfus yoğunluğu yüksek ülkelerde enerjiye olan ihtiyacın karşılanması amacıyla kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüşümü sırasında oluşan CO₂ ve küçük partiküllerin atmosfere karışmasıyla hava kirliliği oranı artarak devam etmektedir. Bu ülkelerin başında gelen Çin'in önemli sanayi kentlerinde insan sağlığını tehlikeye atacak derecede hava kirliliği oranı bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Küresel ölçekte fosil yakıt kullanımı nedeniyle oluşan CO2 emisyonlarının ülkelere göre dağılımı (2016) (EÜAŞ, 2018)

1.1.1. Petrol

Sera etkisinin artmasına sebep olan yenilenemeyen enerji kaynaklarına baktığımızda petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerji ilk aklımıza gelenlerdir. Petrol, sanayi inkılabı ile 19. yüzyıldan itibaren ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bundan önce temel enerji kaynağı kömür iken, 20. yüzyıldan itibaren motorlu araçların kullanımı ile birlikte petrol, temel stratejik ürün niteliği kazanmaya başlamıştır. Petrol ve doğalgaz kolay vergi alınabilen enerji kaynakları olması sebebiyle bunlara sahip ülkelerin ve bunları kullanan ülkelerin ekonomik gelişmesinde önemli bir role sahiptir (Petrol-İş, 2011).

Son zamanlarda giderek önemini kaybedeceği yönündeki iddialar artmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük hayatta kullanımının yaygınlaşması ile petrol rezervlerinin hızlıca tükenmeye devam etmesi iddiaya dayanak oluşturmaktadır. Fakat teknolojik gelişmelere bağlı olarak gerek yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterince ekonomik hale gelememiş olması gerekse petrole dayalı yatırımlarla birlikte araştırmalar sonucu yeni petrol rezervlerinin keşfedilmeye devam etmesi, petrolün stratejik bir ürün olarak öneminin azalmasını durduramamaktadır (Taşkın, 2013). Türkiye sınır komşularından yaklaşık 20 milyon ton ham petrol ithalatı yaparak, artan petrol fiyatlarına bağlı olarak milyarlarca dolar ödemektedir. Bu ithalat giderlerini petrole yönelik teknolojiler yerine ülkemizde mevcut olan yenilenebilir öz enerji kaynaklarımız üzerine yoğunlaşarak azaltılması yönünde stratejik planlar üzerinde çalışılmaktadır (Celayir, 2008).

1.1.2. Doğalgaz

Doğalgaza bakıldığında fosil yakıtların içerisinde en temizdir. Suudi Arabistan, Rusya, İran, Birleşik Arap Emirlikleri, Venezuela, Amerika Birleşik Devletleri, Katar dünyanın en büyük doğalgaz rezervinin bulunduğu ülkelerin başında gelmektedir. Artan atmosfer ve çevre kirliliği nedeniyle enerji dönüşümü sonrasında atık maddelerin arıza sebebiyle doğalgaz, hızla önemi artan alternatif enerji kaynağı olma özelliğindedir. Ülkemizde ilk kez 1976 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından yerli doğalgaz üretimi için teşebbüslere başlanmış, ardından 80'li yıllarda gaz talep tahmini çalışmaları Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) tarafından gerçekleştirilmiştir (Celayir, 2008).

Ülkemizin doğalgaz rezervlerine bakıldığında talep miktarının altında kalması sebebiyle komşu ülkelere ithalat yapılmasına karar verilmiştir. Özellikle ülkemizde kış aylarında taş kömürü gibi fosil yakıtların kullanımıyla hava kirliliği değerlere ulaşmakta ve insanlığın sağlığını tehdit etmektedir. İthal edilen doğalgaz ile hem ısı ihtiyacı hem de elektrik ihtiyacı karşılanması amaçlanmıştır. Atlı (2000)'nin bu konudaki araştırmalarında 1987 yılında büyük çoğunluğu Rusya'dan olmak üzere toplamda yaklaşık 513 milyon metreküp doğalgaz ithal edilmiştir. Bu ithal edilen doğalgazın tamamı elektrik üretimi için 1987 yılında Hamitabat kombine Çevrim Santrali'nde kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yılında gelindiğinde ithal edilen doğalgazın %70'i, 1992 yılında %58'i 1996 yılına gelindiğinde ise %53'ü elektrik enerjisi üretimi için santrallerde kullanılmıştır (Celayir, 2008). İlk zamanlarda elektrik enerjisi üretmek amacıyla elektrik talebinin artmasıyla konutlarda ısıtma, sıcak su ihtiyacı ve ocaklarda kullanılmaya başlanmıştır. İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa gibi büyük şehirlerde ısınma ihtiyacının doğalgaz ile giderilmeye başlanması buralardaki hava kalitesinin iyileşmesinde büyük rol oynamıştır. Ancak bu kaynağın da bazı araştırmalara göre yaklaşık 50 yıl sonra tükenerek olmasından dolayı ülkemizde buna alternatif olarak yenilenebilir enerji üzerine yapılan yatırımlar ve çalışmalar hızla artmaktadır.

1.1.3. Kömür

Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında en çok kullanılanlardan birisi de kömürdür. Dünya geneline bakıldığında kömür rezervlerinin %31'i Avrupa ülkelerinde, %41'i Asya ülkelerinde, %25'i Kuzey Amerika ülkelerinde, %1,4'ü Afrika ülkelerinde ve %1,4'ü ise Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır. Dünya Enerji Konseyi tarafından hazırlanan raporda dünya kömür rezervlerinin büyük çoğunluğu Amerika

Birleşik Devletleri'nde yer almaktadır. Ayrıca sırasıyla Rusya, Avustralya, Çin, Hindistan, Almanya, Ukrayna, Polonya, Kazakistan, Endonezya kömür rezervlerinin en çok bulunduğu ülkeler olmakla birlikte dünya kömür rezervlerinin %90'ından fazlası bu ülkelerde bulunmaktadır.

Dünya Enerji Konseyi tarafından yapılan araştırmalara göre dünya üzerinde toplamda 892 milyar ton büyüklüğünde işlenebilir kömür rezervi bulunmuştur. Fakat şuna dikkat çekilmelidir ki 2015 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında dünya kömür rezervlerinin yaklaşık 134 yıl yeteceği hesaplanmıştır (ETKB, 2018). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülen ciddi arama faaliyetleri sonucunda ülkemizde linyit rezervi önemli ölçüde arttırılmıştır. Ülkemizde üretilen elektriğin %11,3'lük bir bölümü linyit termik santrallerinde üretilmektedir. Nükleer enerji yatırımları sonrasında elektrik üretimi için kömüre olan ihtiyacın yıllar içinde azalması beklenmektedir.

Kömür, yandığında açığa çıkan azot ve kükürt oksitlerin atmosferi karışmasıyla oluşan asit yağmurları sebebiyle çevre için büyük tehlike oluşturmaktadır. Ortaya çıkardığı karbondioksit gazıyla atmosferin belirli bir bölgesinde birikerek güneş ışınlarından gelen radyasyonun atmosfer dışına çıkmasını engellemekte ve sera etkisinin oluşmasına sebebiyet vererek yeryüzü sıcaklığının artmasını tetiklemektedir (Atlı, 2000). Oluşan bu durum iklim değişikliğine neden olduğundan canlılar ekosisteminin de büyük derecede zarar göreceği öngörülmektedir.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir kaynaklarına bakılacak olunursa güneş, rüzgar, hidroelektrik, okyanus dalgaları, fotosentezden gelen biyokütledir. Hidroelektrik enerjisinin temeli güneş enerjisidir. Çünkü güneş enerjisi, gezegenin su döngüsünü yönlendiren fiziki bir olgudur. Diğer yenilenebilir enerji türleri, gelgitler (esasen ay değil güneşe bağlı) ve dünyanın sıcak iç tabaka sıcaklıklarından meydana gelen jeotermal enerji gücüdür. dünya yüzeyinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarının büyüklüğü gerçekten şaşırtıcıdır. Dünya çapında kişi başına düşün elektrik kullanım miktarı 2,4 kW'tır. Bu rakam ABD'de yaşayanlar için dört kat büyük olarak 10 kW'dır. Güneşten dünyaya ulaşan enerji miktarı, dünya çapında insanlar tarafından kullanılan gücün yaklaşık 5000 katıdır. Bu sonuca bakıldığında, eğer güneş enerjisi %100 verim ile kullanılabilirirse, sadece günümüzde kullanılan tüm enerjiyi üretmek için dünya yüzeyinin 5000'de 1'inin güneş panelleri ile kaplanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir (Ehrlich, 2013).

Yenilenebilir enerji terimi, tükenmez olarak kabul edilen birincil enerjileri ifade eder. Bu enerji kaynakları güneş enerjisi, jeotermal enerji ve gelgit enerjisi tarafından sürekli olarak üretilirler. Güneş tarafından üretilen enerji, rüzgar ve hidroelektrik enerjilerinin ortaya çıkmasını sağlayan kaynaktır. Genel olarak bakılacak olunursa yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse tamamı güneşten sağlanan etkiyle oluşmuştur. İnsanların üretmekte olduğu atıkların da enerji içeriği sadece fosil olmayan kaynaklar ise (örneğin organik evsel atıklar, gıda işleme endüstrisinden gelen atıklar vb.) yenilenebilir olarak adlandırılabilir. Yenilenebilir enerji doğal kaynaklardan gelmektedir ve doğada aynı formda bulunacak şekilde yenilenmektedir. Çeşitli biçimlerinde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları, doğrudan güneşten veya yeryüzünün derinlerinde oluşan ısıdan oluşmaktadır.

Bir anlama yenilenebilir enerji dünya olağan hareketlerine devam ettiği sürece sınırsızdır. Günlük güneş enerjisi, teorik olarak tüm bir yıl boyunca tüm insan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli olmaktadır. Fakat güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları, sabit şekilde yararlanılabilen kaynaklar olmayıp, mekân ve zamana göre değişik gösterebilen kaynaklar olduğundan bir nebze de anlamında sınırlı olarak değerlendirilebilir. Diğer kaynakların da buna bağlı olduğu düşünülerek en yenilenebilir enerji, güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, ısı veya elektrik için doğrudan kullanılabilir. Hidroelektrik, potansiyel su enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümünden enerjiden elde edilir. Bunun ilk adımı olan suyun bir bölgede toplanması, güneş enerjisi yüksek kotlarda yağmur yağabilmesi amacıyla düşük kotlarda bulunan suyu buharlaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca Güneş dünya yüzeyinin diferansiyel ısınmasıyla rüzgar yaratır. Biyokütle enerjisi, güneş tarafından yönlendirilen fotosentezde üretilen bitki maddesi birikiminden meydana gelmektedir. Bu sebepler nedeniyle biyokütle, rüzgar ve hidroelektrik ikincil güneş enerjisi kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Gelgit enerjisi, ayın dünya ile etkileşimi sırasında meydana gelen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Nükleer enerjinin yenilenebilir olmasa da, nükleer enerjinin fosil kaynakların bir parçası olup olmadığı konusunda büyük tartışmalar vardır.

Çok uzun zamandır insanların günlük yaşantılarını kolaylaştırması amacıyla kullandığı ve o günlerden bu günlere kadar sürekli gelişme içerisinde olan yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji gereksiniminin her geçen gün artmasıyla daha da önemsenmesi gereken hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji genellikle uzun vadede daha ucuz olurken, fosil yakıtlar daha pahalıdır. Fosil yakıt teknolojileri halen yoğun şekilde bilinçsizce kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğini artırmak ve kullanılabilir

hale gelebilmesi için uygulanan tekniklerin maliyetini azaltmak için yenilenebilir enerji teknolojileri de hızla gelişmektedir. Kırsal ve şehir merkezlerine uzak bölgelerde, fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin iletimi ve dağıtımı zor ve pahalı olabilmektedir. Bu nedenlerle yenilenebilir enerji üretmek kırsal bölgelerde yaşayanlar açısından olarak uygulanabilir bir alternatif sunabileceği stratejik olarak planlanmaktadır (Noorzad, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları ülkelerin yerel birimlerinde de üretilebildiğinden çevreye olan pozitif yararlarının yanı sıra üretilen bölgenin ekonomisine de olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Yerel bölgelerde üretilen elektrik hem yöre halkı tarafından kullanılabilirken hem de ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin diğer bölgeler için satılarak yerel yönetimlere de ciddi maddi kazanç oluşturmaktadır. Ülkelerin enerji ithalatı ekonomik açıdan önemli sorun teşkil etmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli olan ülkelerin bu kaynakları kullanmasıyla ithal enerjiye olan bağımlılık engellenerek, ekonomik bağımsızlığın oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır (Güzel, 2013).

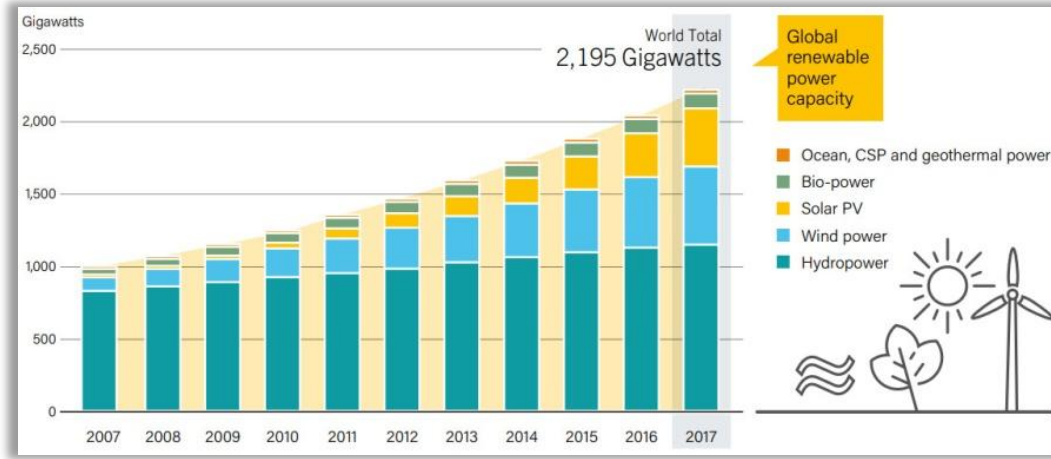
Son zamanlarda bazı ülkelerde yenilenebilir enerjiyi kullanım çabaları artmıştır. Şimdilik yenilenebilir enerji kaynakları fosil enerji kaynaklarıyla rekabet edemediği gözlemlenmektedir. Ancak bu durum hızla değişmektedir. Bu değişim özellikle fosil yakıtların ve yenilenebilir enerjinin maliyetini karşılaştırdığımızda, yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisine dönüşüm aşamasındaki kullanılan araçların pahalı olması sebebiyle için büyük bir zorluk olmaktadır. Dünyanın enerji tercihlerinin temel kriterlerine baktığımızda, ekonomik faktörler, çevresel faktörlere nazaran daha çok önemsenmektedir. İnsanoğlunun uzun vadeli doğayı koruma planları süreklilik arz etmezse ekonomik kriterler önemli olması geri dönülemez zararlara sebebiyet verecektir. Gerekli çalışmaların tamamlanması ile sadece yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak günlük yaşam olağan şekilde sürdürülebileceği fikri her geçen gün artarak destek bulmaktadır (Şekerci, 2017).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na bağlı olarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün kurulmasıyla artan teşvik edici uygulamalarla her geçen gün artarak devam etmektedir. Özellikle son yıllarda rüzgar ve güneş enerjileri alanında büyük proje ihaleleri yapılmaktadır. Türkiye’nin en büyük güneş enerji santrali Konya’nın Karapınar İlçesinde kurulması planlanarak 1,3 milyar dolar maliyetiyle ihale edilmiştir. Ayrıca Şanlıurfa, Hatay ve Niğde illerinde toplam 1000 MW gücünde kapasiteli santral projeleri ihale edilecektir. Rüzgar enerjinde ise yapılan ihalede 1 milyar doların üstünde yatırımla yapılacak olan tesisler bu alanda yatırımların hızla büyüdüğünün göstergesi olmaktadır.

Çizelge 1.1. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre kullanımı

Yıllar	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Biyokütle	Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü	Kurulu Toplam Güç	Yenilenebilir Enerji Payı %
2000	11175,2	17,5	18,9		10,0	11221,6	27264,1	41,2
2001	11672,9	17,5	18,9		10,0	11719,3	28332,4	41,4
2002	12240,9	17,5	18,9		13,8	12291,1	31845,8	38,6
2003	12578,7	15,0	18,9		13,8	12626,4	35587,0	35,5
2004	12645,4	15,0	18,9		13,8	12693,1	36824,0	34,5
2005	12906,1	15,0	20,1		13,8	12955,0	38843,5	33,4
2006	13062,7	23,0	59,0		19,8	13164,4	40564,8	32,5
2007	13394,9	23,0	147,5		21,2	13586,6	40835,7	33,3
2008	13828,7	29,8	363,7		38,2	14260,4	41817,2	34,1
2009	14553,3	77,2	791,6		65,0	15487,1	44761,2	34,6
2010	15831,2	94,2	1320,2		85,7	17331,3	49524,1	35,0
2011	17137,1	114,2	1728,7		104,2	19084,2	52911,1	36,1
2012	19609,4	162,2	2260,6		147,3	22179,5	57059,4	38,9
2013	22289,0	310,8	2759,7		178,0	25537,5	64007,5	39,9
2014	23643,2	404,9	3629,7	40,2	227,0	27945,0	69519,8	40,2
2015	25867,8	623,9	4503,2	248,8	277,1	31520,8	73146,7	43,1
2016	26681,1	820,9	5751,3	832,5	363,8	34449,6	78497,4	43,9
2017	27273,1	1063,7	6516,2	3420,7	477,4	38751,1	85200,0	45,5

Yenilenebilir enerji kaynakları, kurulduğu bölgenin insanlarına enerji ihtiyacını karşılamının yanında iş imkanı da sağlamaktadır. 1994 yılında ağır ekonomik bunalım geçiren İspanya işsizlik ve maddi sorunları bu kaynaklara yönelerek çözmüştür. Dünyada rüzgar enerjisinde adından söz ettiren Almanya’da santrallerin kurulmasıyla 40.000 kişi bu alanda iş olanaklarından yararlanmıştır. Bu sayıların gelişen teknolojiyle birlikte ve enerji dönüştürücü sistemlerinin maliyetlerinin düşmesiyle artarak devam edeceği düşünülmektedir (Savin, 2003; Güzel, 2013).



Şekil 1.3. Dünya yenilenebilir enerji kapasitesi 2007-2017 (REN21, 2018)

2017'de dünya çapında yenilenebilir enerji sektöründen doğrudan ve dolaylı olarak yaklaşık 10,3 milyon kişi istihdam etmiştir. Bu rakam, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinde 1,5 milyon iş istihdamından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründeki istihdam; düşen teknoloji maliyetleri, işgücü verimliliğindeki değişiklikler, şirketlerin revize olan stratejileri ve endüstrinin yeniden yapılanması, sanayi politikaları ve enerji pazardaki gelişmeler dahil olmak üzere birçok farklı faktörden etkilenmektedir.

2017 yılında dünyada rüzgar enerjisi sektöründe çalışan yaklaşık 1,1 milyon kişi istihdam etmiştir. Bu sayı 2016'da %0,6'lık bir düşüş göstermiştir. Rüzgar enerji teknolojilerinde yeni kapasite elemanlarının eklenmelerinin daha yavaş bir şekilde ilerlediğini göstermiştir. Çin'deki rüzgâr istihdamı önceki yıllara oranla neredeyse değişmemiştir. Yeni tesislerdeki düşüş, yoğun emek gerektiren deniz üstü (offshore) rüzgar enerji üretimi sektöründeki büyümeyle telafi edilmiştir. 2017'de Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri rüzgar enerji sektörü istihdamında yeni rekorlara ulaşmışlardır. Hindistan, İngiltere ve Brezilya da diğer önemli işverenler arasındadır.

Genel olarak yenilenebilir enerji istihdamının büyük bir bölümü Çin, Brezilya, ABD, Hindistan, Almanya ve Japonya'da olduğu görülmektedir. Çin, yaklaşık 4,2 milyon iş gücü ile yenilenebilir enerji istihdamı konusunda tartışmasız liderliğini sürdürmektedir. Güneş enerjisi, ülkenin yenilenebilir enerji sektöründeki en büyük istihdam yaratma kaynağı olmaktadır. Çin'in yenilenebilir enerji teknolojilerindeki istihdam oranı önceki senelere bakıldığında pek fazla değişmeden kalmıştır. Hindistan'da, güneş sektöründeki istihdam kapasitenin yükseltilmesiyle hızlı bir büyümeyle gerçekleşmiştir. Rüzgar enerjisi, 2017 yılında Hindistan'da yaklaşık 60.500 kişi istihdam etmiştir. 2016 yılında (mevcut en yeni veriler) Avrupa Birliğindeki yenilenebilir enerji istihdamının sayısı 1,19 milyondan 1,27

milyona yükselmiştir. Güneş enerjisi istihdamı, 100.000 istihdamın altına inerek, küçülmeye devam etmiştir. Almanya, Avrupa'da bu konuda lider konumdadır. Güneş enerjisi, Bangladeş, Japonya, Malezya, Filipinler, Kore Cumhuriyeti, Singapur ve Türkiye'nin yanı sıra Avustralya, Meksika ve Güney Afrika gibi diğer ülkelerin de dahil olduğu bir dizi ülkenin yenilenebilir enerji sektörlerinde önemli bir iş kaynağı oluşturmuştur (REN21, 2018).

1.2.1. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerji, dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik, bir su türbini veya bir su çarkı gibi bir enerji dönüştürme araçlarından geçerken, düşen suyun potansiyel enerjisinin dönüşüm araçları sayesinde kinetik enerjiye açığa çıkarmasıdır. Bu kinetik enerji su türbini sayesinde mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Mekanik enerji de son olarak jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Hidroelektrik sisteminin üç ana bileşeni vardır. Bunlar su tutma, saptırma ve pompalanan suyu depolama şeklindedir. Geleneksel hidroelektrik güç iki temel bileşeni kullanılmakta olup birincisi basınçlı sudaki enerjiyi mekanik dönüş gücüne çeviren bir hidroelektrik türbini ve ikincisi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren türbine bağlı bir jeneratör sistemidir. Bir kanalda veya nehirde akan su miktarı biliniyorsa ve su rezervuarın tepesi ile türbin boşaltımının konumu arasındaki kot farkı da biliniyorsa, güç üretimi yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Bir hidroelektrik santralinin kapasitesi, bir rezervuarın yüksekliği ve kapasitesi ile kurulan bölgenin coğrafyası gibi diğer belirli koşullar ile ilgilidir. Bir nehirden elde edilen hidrolik güç veya hidroelektrik potansiyeli, akış hızı ve yerçekimi kuvveti ile doğrudan ilişkilidir (Noorzad, 2018).

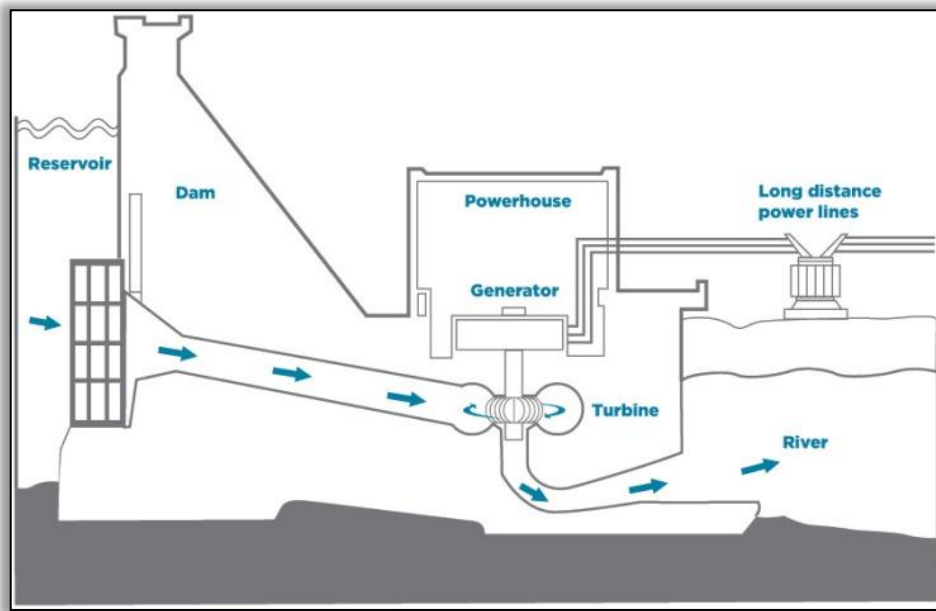
Hidroelektrik enerjisi, temelde güneşe bağlıdır. Çünkü suyun hareketleri ile enerji elde etme işi olsa bile, gezegenin su döngüsü güneş enerjisi tarafından kontrol edilmektedir. Üstelik güneş enerjisi nehir akıntılarını ve okyanus dalgalarını kontrol eden güçtür. Diğer yenilenebilir enerjiler gibi hidroelektrik de erken dönemlerde sulama için tarım amaçlı kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar farklı medeniyetlerde önemli işlevlerde kullanılmaya devam etmiş ve sanayi devrimi ile daha gelişmiş uygulamalarda hesaba katılmaya başlanmıştır.

Hidroelektrik santralleri enerjiyi akan sudaki enerjiye dönüştürmektedir. En yaygın hidroelektrik üretim şekli, büyük bir su rezervuarını bir nehre baraj inşa ederek muhafaza ederek suyun potansiyelini arttırmakla elde etmektir. Bu kullanım yöntemi, elektrik

üretmek için jeneratör kullanmak içindir. Hidroelektrik üretim tesislerinden bazıları büyük su türbinlerine ihtiyaç duymaktadır, ancak bazıları nehir akıntısını olduğu gibi kullanarak su akarken enerjiyi anında yakalayıp değerlendirebilmektedir.

Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi, hidroelektrik enerjisi de asla tükenmeyen ve çevreye duyarlı bir enerji çeşididir. Dünya genelinde hidroelektrik enerji, yenilenebilir kaynaklar arasındaki elektrik üretiminin çoğunu elinde tutmaktadır. Aynı zamanda dünyadaki en büyük ölçekli üretim santrallerine de sahiptir. Hidroelektrik üretimi, diğer yenilenebilir enerji ve fosil yakıt santralleriyle kıyaslandığında oldukça verimlidir, çünkü temel olarak en düşük maliyetle elektrik sağlamaktadır (Şekerci, 2017).

Hidroelektrik enerji, bu konudaki yüzyılı aşkın süredir kullanıma dayanan en uygun ve verimli yenilenebilir enerji kaynağından biridir. Güç kapasitesi ve tesis özellikleri, hidroelektrik santrallerinin sınıflandırılması için gerekli iki kriterdir. Bunlardan ilki beş teknolojiye dayanmaktadır: baraj gölü, nehir akışı, pompalanmış su rezervi, akış teknolojisi. Diğerleri ise güç ölçeğinin büyüklüğüne göre büyük, küçük, mini, mikro ve piko hidroelektrik güç olarak sınıflandırılmıştır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal bölgelerin çoğu ucuz ve etkili olduğundan elektrik üretmek için hidroelektrik santrallerini kullanmaktadır. Diğer yenilenebilir kaynaklar için yapılan en uygun yerlerin tespiti çalışmaları santral kategorilerine ve performans özellikleri dikkate alınarak hidroelektrik santralleri için de yapılabilmektedir (Elbatrana ve ark., 2015).



Şekil 1.4. Hidroelektrik enerji santrali çalışma diyagramı (Hydroelectric Dam, 2018)

1.2.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal kelimesi, Yunanca dünya anlamına gelen 'geo' ve ısı anlamına gelen 'therma' kelimelerinin birleşmesiyle meydana gelmiştir. Böylece jeotermal Dünyanın ısısı anlamına gelmektedir. Yerkürenin ısısı içten sürekli olarak yayılır ve her yıl yağmur suyu, karların erimesiyle oluşan sular jeotermal rezervuarlara yeni su kaynağı oluşturur. Jeotermal alanlardan elde edilen üretim, bu kaynağın yenilenebilirlik durumunu açıklayan on yıllarca ve belki de asırlardır kesintisiz kullanımı sürdürülebilir olduğunun kanıtıdır.

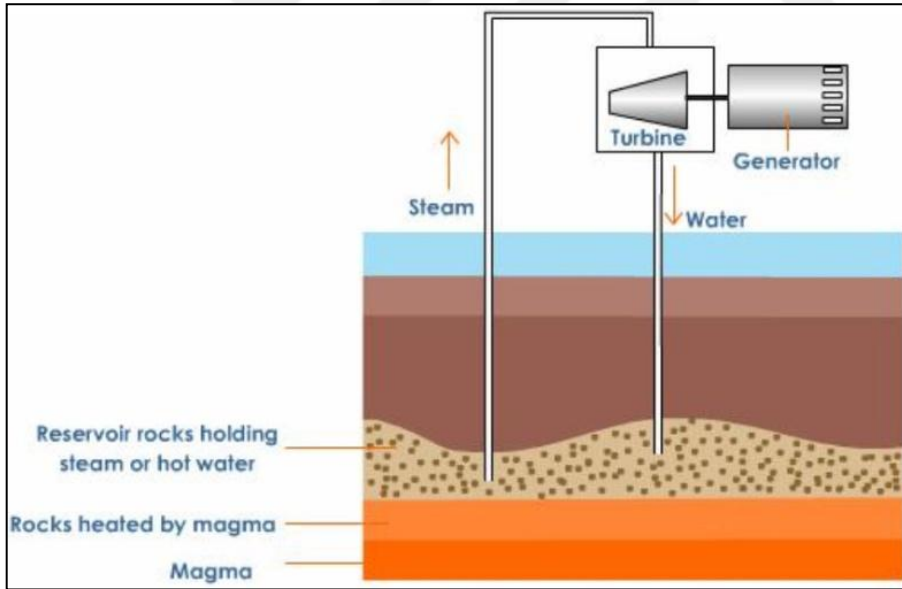
Jeotermal enerji, CO₂ emisyonlarını azaltmak için tercih edilen bir yaklaşımdır. Jeotermal enerji en çok yenilenebilen yenilenebilir enerjidir ve ısı ihtiyacının karşılanması, yıkama, yemek pişirme ve sağlık için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Sıcak suyun doğrudan kullanımı uzun süredir devam etmektedir ve farklı uygulamalar ile kullanımı genişlemektedir. Dünyanın ilk jeotermal bölge ısıtma sistemi, Fransa'nın Chaudes-Aigues kentinde 14. yüzyılda başlamış ve ilk jeotermal kuyusu 1755 yılında İzlanda'nın Reykjavik bölgesinde açılmıştır. Ancak, 20. Yüzyıldan itibaren elektrik üretimi ve endüstriyel kullanım için çalışmalar başlamıştır. İlk büyük belediye merkezi ısıtma hizmeti 1930'larda İzlanda'da başlamış ve şu anda Reykjavik şehrinin 200.000 sakininin yaklaşık %99'u jeotermal ısı enerjisinden faydalanmaktadır. Elektrik üretmek için ilk ticari tesis 1913 yılında İtalya'nın Larderello kentinde piyasaya sunulmuştur. 1970'lerden itibaren jeotermal enerjinin kullanımı hızla artmıştır. 2000-2010 arası dönemde, küresel bazda kurulan doğrudan kullanım kapasitesi, 15 GW'dan 50 GW'a yükselerek kapasite üçe katlanmıştır ve elektrik üretimi için kurulan kapasite ise 8 GW'dan 10,7 GW'a çıkmıştır.

Jeotermal enerjinin temel özellikleri, yenilenebilirliği, sürdürülebilirliği ve çevre dostu olmasıdır. Çeşitli uygulamalar sayesinde elektrik üretimi (konvansiyonel buhar türbini), yapı ısıtması, seralar, su ürünleri yetiştiriciliği ve sağlık turizmi için kaplıcalar için jeotermal ısının doğrudan kullanımıyla ilgili örneklerdir. Genellikle iki tür jeotermal sistem vardır. Bunlar konvektif ve iletken sistemlerdir. Konvektif jeotermal sistemler, buharın baskın ve suyun dominant sistemleri içermektedir. İletken jeotermal sistemler ise sıcak kuru kaya sistemi ile temsil edilir. Jeotermal rezervuarı oluşturmak için şu üç bileşen gereklidir; ısı kaynağı, iletken ısı taşıyan akışkan ve suyun dolaşımını sağlayan kayaç geçirgenliğidir (Saibi ve ark., 2013).

İlk çağlarda sadece sağlık amacıyla kullanılan jeotermal enerjisi günümüzde, bir başka enerji türüne dönüştürülmesiyle ya da doğrudan ısısından yararlanma yöntemiyle de kullanılmaktadır. 20. Yüzyılın başlarına kadar sadece sağlık ve yiyecek pişirme amacıyla kullanılan bu kaynak teknolojinin gelişmesi ile artan enerji ihtiyacını daha fazla verimle

karşılama için kullanım alanları arttırılmıştır. Şuan ki kullanım yoğunluğu elektrik üretimi, yapı ısıtmacılığı ve endüstriyel amaçlı olarak gelişme göstermiştir. Jeotermal kaynaktan elektrik üretimi için gerekli su sıcaklığı 200°C'dir. Gelişen teknolojiyle beraber bu değer günden güne düşerek 150°C'ye kadar gerilemiştir.

Jeotermal kaynağın sıcaklık derecelerine göre kullanım alanlarına bakılırsa;180°C konsantrasyonu yüksek solüsyonun buharlaştırılmasında, 170°C hidrojen sülfid kullanılarak ağırsu üretiminde, 160°C kerestelerin kurutulmasında, yiyeceklerin kurutulmasında, 150°C alüminyum eldesinde, 140°C çiftlik ürünlerinin kurutulmasında (konservecilik), 130°C şeker ve tuz eldesinde, 120°C temiz su üretiminde, 110°C çimento kurutma işlemlerinde, 100°C organik madde kurutma ve yün temizliğinde(yıkama), 90°C balık kurutma işleminde, 80°C konut ve sera ısıtmada, 70°C soğutma işleminde, 60°C kümes ve ahır ısıtma sistemlerinde, 50°C mantar yetiştirme, kaplıca tedavisinde, 40°C toprak ve kent ısıtmasında, 30°C yüzme havuzları, damıtma ve fermantasyonda, 20°C balık çiftliklerinde kullanılmaktadır (YEGM, 2018).



Şekil 1.5. Jeotermal enerji santrali basit planı (Geothermal Energy, 2018)

1.2.3. Güneş Enerjisi

Atmosferik olayların ve ekolojik hayatın oluşmasını sağlayan güneş, rüzgar, hidroelektrik ve dalga gibi birçok yenilenebilir enerjinin birincil kaynağıdır. Güneş tarafından açığa çıkan güneş enerjisi, ilerleyen zamanlarda fosil yakıt kaynakların tükenmesi tehlikelerine karşı en temel ve önemli alternatif enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi, fotovoltaik gibi modern teknoloji yöntemleriyle ısıtma,

aydınlatma ve elektrikte kullanılmaktadır. Yenilenebilir ve fosil enerji kaynaklarına kıyasla, yatırımcılar tarafından güneş enerjisi kaynaklarının seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Güneş enerjisi, herhangi bir atık, hava kirletici, sera gazı salgılayıcı ve gürültü yaratmayan çevresel duyarlılığa sahiptir. Fakat teknolojinin gelişmesi ile güneş panel üretiminde kullanılan kadmiyum tellürid gibi üretim materyalleri ile çevreye dolaylı yoldan zararlı etkileri de vardır. Güneş panelleri, kablolama, invertör ve pillerden oluşan ilk satın alma ve yapım maliyetleri, hükümetlerin yatırımcıları kredi teklifleri ve düzenlemelerle teşvik etmeye çalışmaktadır. Santral kurulum sonrasında bakım hariç herhangi bir üretim maliyeti yoktur ve uzun vadeli üretim garantisi de sağlamaktadır. Nanoteknoloji, kimya ve fizik temel bilim dallarının işbirliği içerisinde yapılan güneş enerjisi teknolojisi ar-ge çalışmaları, başlangıç maliyetlerini azaltmayı ve güneş enerjisi üretim verimini artırmayı hedeflemektedir. Güneş panellerinin, güneş ışınlarının kaynak ve uzaklığı gibi teknik altyapıdan oluşan, güneş enerjisi kaynaklarının diğer yenilenebilir enerji kaynak santrallerine göre fizibilitesini ve verimliliğini açısından uygun, çok sayıda yer ve hava koşullarına sahip birçok alanın olması yatırım sürecini daha da kolaylaştırmaktadır (Çoban, 2018).

Güneşimiz doğal bir nükleer reaktördür. Yaklaşık 8,5 dakika içinde güneşten 149.600.000 km kat ederek Dünya'ya ulaşan ışınlar küçük enerji fotonlarıdır. Her saat, yeterli fotonlar gezegenimizi tüm yıl boyunca küresel enerji ihtiyacını teorik olarak karşılamak için yeterli güneş enerjisi üretmeye etkiliyor. Güneş enerjisi teknolojisi hızla gelişmektedir. Bu gelişim de güneş enerjisi kullanmanın maliyeti hızla düşürmekte, bu nedenle güneş enerjisinin karşılıksız gücünü kullanabilme kabiliyetimiz artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı(IEA)'ndan yapılan bir 2017 raporu, güneş enerjisinin tüm diğer kaynaklara oranla artışını işaret ederek, güneş enerjisinin dünyanın en hızlı büyüyen kaynağı haline geldiğini göstermektedir (U.S. Department Of Energy, 2018).

Güneş enerjisinden verim alınabilmesi iki şekilde mümkün olabilmektedir. Birincisi, güneş ışınlarını ısıya dönüştürebilen güneş kolektörleri ve bir diğeri ise fotovoltaik(PV) hücreler olarak adlandırılan ve güneş ışınlarını elektriğe dönüştürebilen araçlardan oluşmaktadır. Güneş ısı enerjisi kullanarak evleri, yiyecekleri ısıtabilir, elektrik üretebilmektedir. Elektrik üretmek için güneş enerjisini kullanma en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji uygulamasıdır. Temel olarak güneş hücreleri olarak da adlandırılan fotovoltaik'in tanımı güneş ışınlarının elektriğe dönüşmesidir. Fotovoltaik sayesinde güneşin elektriğe dönüşümü arasında başka adımlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Güneş

kolektörlerine göre çok daha pahalı olmasına rağmen, fotovoltaik kullanımının geleceği çok parlak görüldüğü için maliyetlerini düşürme çabaları vardır ve bu nedenle bu teknolojinin birçok ar-ge programı özellikle Almanya, Japonya ve ABD'de büyük destek yapılmaktadır. PV'nin çevresel etkilerine bakılacak olursa olumsuz hiçbir yanı bulunmamaktadır (Ehrlich, 2013; Şekerci, 2017).

Güneş enerjisi dünya genelinde kullanılmaktadır ve elektrik üretmek, ısıtmak ve suyu tuzdan arındırmak için giderek daha popülerdir. Güneş pili olarak da adlandırılan fotovoltaik (PV) güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren elektronik cihazlardır. 1954 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell Telephone Laboratories'de icat edilmiştir. Bugün PV, en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir ve gelecekteki küresel elektrik üretimi pazarında önemli bir rol oynamaya hazırdır.

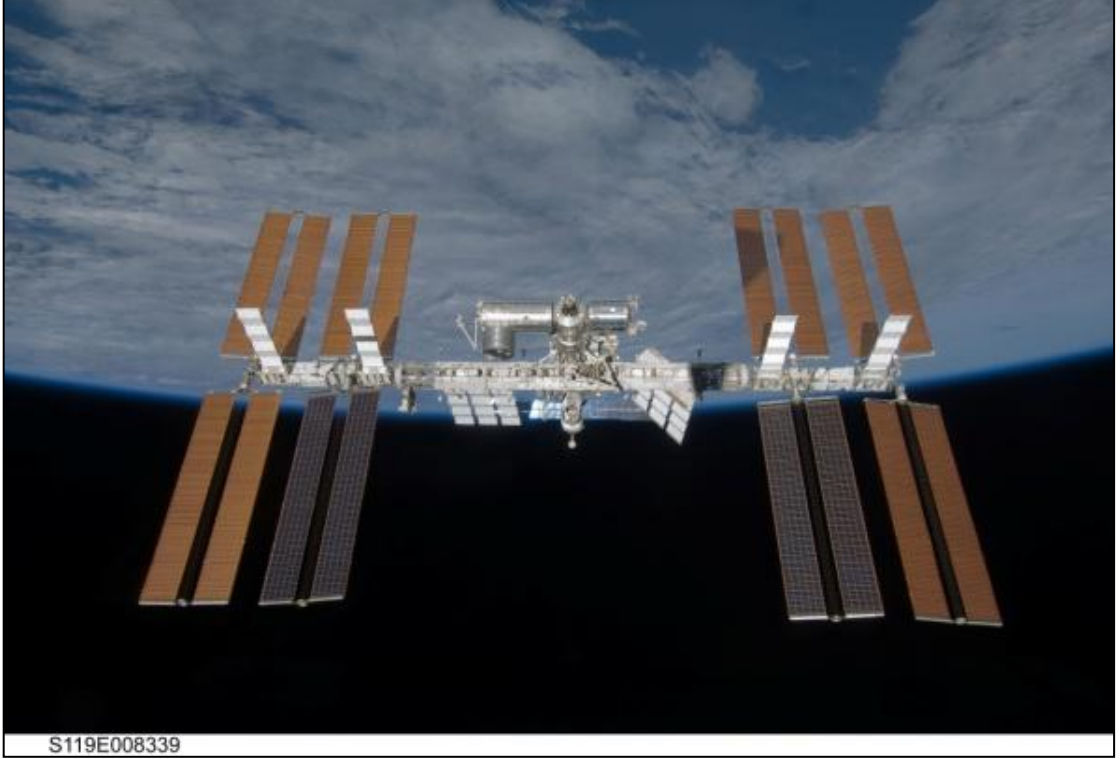
Solar PV tesisleri, ticari bir ölçekte elektrik sağlamak için büyük çapta veya kişisel kullanım için daha küçük çaplarda düzenlenebilmektedir. Küçük şebekelere güç sağlamak için güneş PV'sinin kullanılması, özellikle yüksek güneş enerjisi kaynaklarına sahip gelişmekte olan ülkelerde, elektrik nakil hatları yakınında yaşamayan insanlara elektrik erişimi sağlamak için mükemmel bir yoldur.

Güneş panelleri üretim maliyeti son on yılda önemli ölçüde düşüş göstermiştir. Güneş panelleri yaklaşık 30 yıllık bir ömre sahiptir ve imalatta kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak çeşitli renk tonlarına sahiptir.

Konsantre güneş enerjisi (CSP), güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için aynalar kullanılmaktadır. Bu ışınlar ısıyı artırır, bu da bir türbini çarkını çevirmek ve elektrik üretmek için buhar oluşturur. CSP büyük ölçekli santrallerde elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Bir CSP enerji santrali genellikle ışınları uzun bir kuleye yönlendiren bir ayna alanı içerir. Bir CSP enerji santralinin bir güneş PV enerji santraline göre en önemli avantajlarından biri, güneşin battıktan sonra elektrik üretilmesine izin veren, ısı depolanabilen erimiş tuzlarla donatılabilmesidir (IRENA, 2018).

Dünya'nın 354 km uzağında bulunan Uluslararası Uzay İstasyonu için en iyi enerji kaynağı güneş ışığıdır. Mühendisler güneş enerjisini elektrik enerjisine verimli bir şekilde dönüştürmek için üstün teknolojiler geliştirmişlerdir. Uluslararası Uzay İstasyonunda enerjiyi elektriğe çeviren güneş panelleri, silisyumunun saflaştırılmış parçalarından yapılmış binlerce güneş hücresinden oluşmaktadır. Bu hücreler, fotovoltaik adı verilen bir işlemi kullanarak ışığı doğrudan elektriğe dönüştürmektedir. Güneş panelleri, istasyon sistemleri ve deneyler için istasyonun ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinden daha fazla güç

üretmektedir. İstasyon güneş ışığında, güneş enerjisi panellerinin ürettiği elektriğin yaklaşık yüzde 60'ı istasyonun enerji bataryalarını şarj etmek için kullanılmaktadır. Bataryalar güneş olmadığında istasyona güç sağlamaktadır. İstasyondaki paneller toplam 262.400 güneş hücresini içermektedir ve yaklaşık 2.500 metrekare yani bir futbol sahası alanının yarısından fazlasını kaplamaktadır. Bir güneş panelinin kanat açıklığı 73 metre, Boeing 777 tipi uçağın kanat açıklığından daha uzundur (NASA, 2018).



Şekil 1.6. Uluslararası Uzay İstasyonundaki fotovoltaik paneller (NASA, 2009)

1.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, güneş enerjisi biçimidir ve güneşin atmosferin eşit olmayan şekilde ısınması, yeryüzünün düzensizlikleri ve yerkürenin dönüşünün bir sonucudur. Rüzgar türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi mekanik güce dönüştürür. Bu mekanik güç, belirli görevler (tahıl veya pompalama suyu öğütme gibi) için kullanılabilir veya bir jeneratör bu mekanik gücü elektriğe dönüştürebilir.

Rüzgar, insanların kullandığı en eski enerji formlarından biridir. En eski uygulamalar arasında yelkenli gemilerin hareketi, tahıl öğütmek için rüzgar değirmenleri ve sulama amaçlı pompalar bulunmaktadır. İtici güç olarak kullanılan rüzgar en az 5500 yıl öncesine

dayanmakta ve tarım amaçlı olarak kullanımı Orta Doğu ve Asya'da yedinci yüzyıla kadar uzanmaktadır (Ehrlich, 2013).

Rüzgar türbinleri ilk olarak bir asırdan fazla yıl önce ortaya çıkmıştır. 1830'larda elektrik jeneratörü icat edildikten sonra, mühendisler elektrik üretmek için rüzgar enerjisinden yararlanmaya çalıştılar. 1887 ve 1888'de İngiltere'de ve Amerika Birleşik Devletleri'nde rüzgar enerjisi üretimi gerçekleşmiştir. Danimarka'da 1891'de yatay eksenli rüzgar türbinleri inşa edilmiş ve modern rüzgar enerjisi teknolojisi geliştirilmiştir.

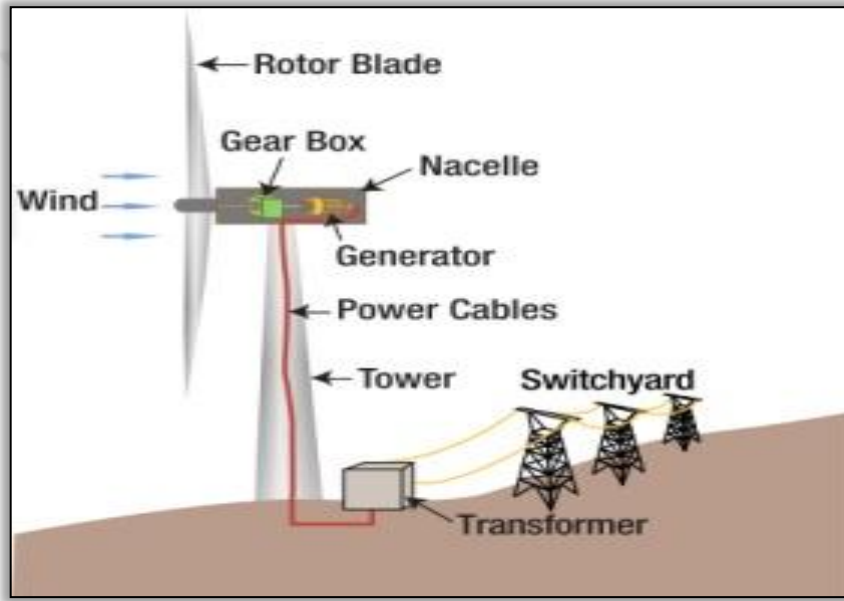
Rüzgar enerjisi en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. Rüzgar, hareket halindeki havanın yarattığı kinetik enerjidir. Bu enerji rüzgar türbinleri veya rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar ilk olarak bir türbinin kanatlarına çarpar, bu da onlara bağlı olan türbinlerin döndürülmesini sağlar. Türbin, jeneratöre bağlı şaftı hareket ettirerek elektromanyetizma yoluyla elektrik enerjisi üretimi için kinetik enerjiyi dönüş enerjisine dönüştürür.

Küresel rüzgar enerjisi kaynağı gerçekten çok büyüktür, ancak rüzgar gücünün büyük bir kısmına ulaşamaz. Bununla birlikte, teknik olarak erişilebilir miktarın yılda yaklaşık 300 milyar GWh olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyel dünya mevcut elektrik talebinin yaklaşık 20 katıdır (Ehrlich, 2013). Üretimi için gerekli araçların maliyetleri düştüğü için kullanım dünya çapında yükselmiştir. 21. yüzyılın Renewable Energy Network (REN)'den alınan rakamlara göre, küresel kurulu rüzgâr enerjisi üretim kapasitesi karada ve denizde, son yirmi yılda yaklaşık 50 kat artarak, 1997'de 7,5 GW'dan 2016 yılına kadar 487 GW'a yükselmiştir (REN21, 2018). Rüzgar enerjisi üretimi 2009 ve 2013 yılları arasında iki katına çıkmıştır. Dünyanın birçok yerinde rüzgar hızları güçlü bölgeler bulunmaktadır. Ancak rüzgar enerjisi üretmek için en iyi yerler olan denizlerde offshore rüzgar enerjisi mükemmel bir potansiyel barınmaktadır (IRENA, 2018).

Rüzgar türbinleri basit bir prensipte çalışır. Rüzgardaki enerji, bir rotor etrafında iki veya üç pervane benzeri kanatları döndürür. Rotor, elektrik üretmek için bir jeneratöre dönüşen ana şafta bağlanır. Basitçe ifade edilirse, bir rüzgar türbini bir fanın tersi şeklinde çalışır. Fan gibi rüzgar yapmak için elektrik kullanmak yerine, elektromanyetizma motorları yani jeneratör vasıtasıyla elektrik üretmek için rüzgar kullanır.

Modern rüzgar türbinleri iki temel gruba ayrılır: yatay eksenli ve dikey eksenli türbin tasarımlarıdır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri tipik olarak iki veya üç kanada sahiptir. Bu üç kanatlı rüzgar türbinleri, kanatlar rüzgara bakacak şekilde

çalışmaktadır. Rüzgar türbinleri, karada veya denizde, okyanus ve göller gibi büyük su kütlelerinde kurulabilmektedir. Deniz (offshore) rüzgar türbinleri kara (onshore) türbinlerine göre daha büyüktür, daha fazla güç üretebilir ve karada uygulanan rüzgar kurulumlarında yaşanan aynı taşıma zorluklarına sahip değildir. Çünkü büyük parçalar yollarda değil gemilerde taşınmaktadır. Evlerin enerji ihtiyacını karşılama veya su pompalama için 100 kW'ın altındaki tek küçük türbinler kullanılır. Küçük türbinler bazen dizel jeneratörler, bataryalar ve fotovoltaik sistemlerle birlikte kullanılır. Bu sistemlere hibrit enerji sistemleri denir. Genel olarak elektrik şebekesiyle bağlantı bulunmayan uzak, şebeke dışı yerlerde kullanılmaktadır (U.S. Department Of Energy, 2018).



Şekil 1.7. RES basit düzeneği (Wind Power, 2018)

Elektrik üretme yeteneği Watt enerji birimi ile ölçülmektedir. Bir rüzgar türbinini veya santrallerin kapasitesini tanımlamak için, kilowatt ($kW = 1.000 \text{ Watt}$), megawatt ($MW = 1 \text{ milyon Watt}$) ve gigawatt ($GW = 1 \text{ milyar Watt}$) terimleri kullanılmaktadır. Elektrik üretimi ve tüketimi, saatte kilowatt (1.000 Watt) saat (kWh) olarak ölçülmektedir. 20 saat boyunca açık bırakılan 50 watt'lık bir ampul, bir kilowatt saat elektrik tüketir. Günümüzde %80-%95 verimlilikle elektrik üretmek için modern rüzgar türbinleri mevcuttur. Fakat değişken rüzgar hızına bağlı olarak bu verim oranlarında süreklilik çok zordur. Bir rüzgar türbininin verimliliği yaklaşık olarak % 59'dur. Diğer enerji kaynaklarına bakılacak olunursa örneğin kömür yaklaşık %35, doğalgaz yaklaşık %50 verimlilik oranına sahiptir.

1.3.1. Rüzgar Türbinleri

Bir rüzgar türbini, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjisine dönüştüren bir makine düzeneğidir. Rüzgar türbinleri genel olarak türbin temeli, kule, makine bölümü ve rotordan oluşmaktadır. Temel, türbinin dikey olarak kalmasını sağlar. Kule, rotoru ve motor belli bir irtifada sabit kalmasını sağlamaktadır. Motor bölümü ana aks, şanzıman, jeneratör, trafo ve kontrol sistemi gibi bileşenlerden oluşur. Rotor, kanatları ve birbirine bağlı tutan göbekten meydana gelir.

Ticari rüzgar türbinlerinin çoğunun üç rotor kanadı vardır. Kanat uzunlukları 60 ila 200 metre arasında değişmektedir. Bugün üretilmekte olan 50 metre kanat uzunluğuna sahip bir türbinin ürettiği elektrik 2,5-3 MW civarındadır. 1985 yılında üretilen 15 metre rotor çaplı rüzgar türbinlerinin ürettiği değer ise 1 MW'ın altındadır. 2012 yılında üretilen 100 metre rotor çaplı türbinlerden 2,5 MW güç elde edilebilmektedir. 7,5 MW'lık türbinler, 60 metre uzunluğunda, 120 metreden daha uzun bir rotor çapına sahiptir. Yapılan ar-ge çalışmalarıyla gelecekte kullanılacak 15 MW türbinler planlanmakta ve 20 MW türbinlerin ise teorik olarak yapılabilirliği mümkün kabul edilmektedir.

Kuleler çoğunlukla boru şeklindedir ve genellikle açık gri boyalı çelik veya betondan yapılmıştır. Kanatlar fiberglas, güçlendirilmiş polyester veya ahşap epoksiden yapılmaktadır. Çoğunlukla mat açık gri renk tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise çoğu aydınlatma koşulunda bu renkteki nesnelerin çok göze çarpmasını engellemektir. Aydınlatma ışığının yansımalarını azaltmak için ise kaplama mattır.

İnşaat süresi genellikle kısadır. 10 MW'lık bir rüzgâr santrali iki ayda kolaylıkla inşa edilebilmektedir. 50 MW'lık bir santral ise 6 aydan biraz daha sürede kurulabilir. Kurulum maliyetleri değişebilir, ancak en büyük maliyet türbinin üretimi için gereklidir. Bu miktar kurulum için gereken sermaye genel toplamın % 75'ini oluşturur. Bunun dışında santral tam kapasiteyle çalışmaya başladığında bakım giderleri dışında maliyet söz konusu değildir.

Rüzgar türbinleri genel olarak saniyede 4-5 metre rüzgar hızlarında çalışmaya başlar ve yaklaşık 15 m/sn hızında maksimum güç çıkışına ulaşır. Çok yüksek rüzgar hızlarında, yani 25 m/sn ve üzeri hızlarda rüzgar türbini kapanır. Modern bir rüzgar türbini potansiyele bağlı olarak zamanının %70-85'ini elektrik üreterek geçirebilmektedir. Türbinler bazen parçaların bakım ve onarımı için bazen de kontrol edilmesi gereken bir arıza olduğunda durumlarda durdurulabilmektedir. Bakım veya arızaların durması nedeniyle, hiçbir elektrik santrali zamanının %100'ünde elektrik üretememektedir. Bir başka sebep de çok fazla rüzgar hızında türbin hasar görebileceğinden kapatılmaktadır. Türbinler 20-25 yıldır

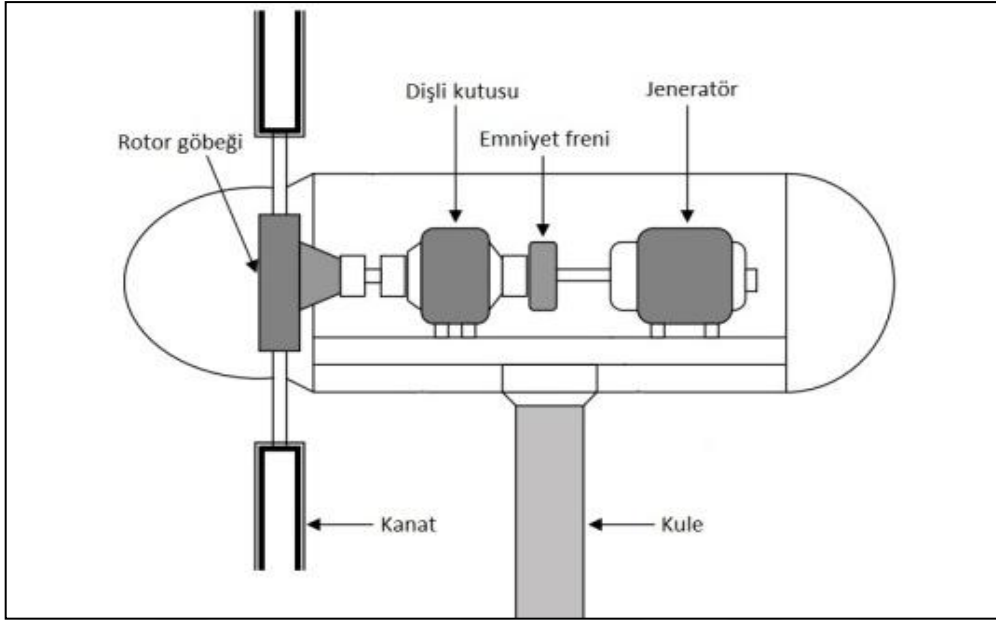
elektrik üretmeye devam edebilir. Bu zaman içerisinde yaklaşık 120.000 saat kadar sürekli olarak çalışmaktadır. Bu durum bir otomobil motorunun tasarım ömrü ile karşılaştırılırsa 4.000 ila 6.000 saat arasında değişmektedir.

Çeşitli ebatlardaki rüzgar türbinleri ticari olarak temin edilebilir. Küçük türbinler genellikle evsel veya küçük ölçekli endüstriyel elektrik ihtiyaçları gibi düşük enerjili uygulamalarda kullanılır. Büyük miktarda güç üretmek için, birkaç rüzgar türbini bir araya kurulur ve bir rüzgar santrali veya rüzgar çiftliği oluşturur. Rüzgar türbinlerinin kümelenmesi bir çok avantajı beraberinde getirir. Bu tür tesislerin montajı, işletimi ve bakımı aynı güçteki dağıtık santrallere göre daha kolaydır. Ayrıca, üretilen elektrik daha yüksek bir voltaja sahip olacağından, enerji iletimi daha verimli olabilmektedir.

Deniz rüzgarı projeleri (offshore), arazi kullanımı, gürültü etkisi ve görsel etki planlama için karada olduğu gibi problem olmayabilir. Kara temelli türbinler (onshore), gürültü kirliliğini azaltmak için çoğunlukla optimum hız oranlarında çalışacak şekilde üretilir. Deniz türbin sistemleri, daha yüksek aerodinamik verimle, yüzde 10 daha yüksek hızlarda çalışacak şekilde tasarlanabilir. Benzer şekilde, deniz türbinlerinin boyutları daha büyüktür ve bu nedenle daha ekonomik olmaktadır. Şu anda, offshore tesislerde 2 MW ve daha büyük kapasiteli (şuan en büyük kapasiteli türbin 12 MW gücünde) büyük türbinler kullanılmaktadır. Görsel estetik etki açık denizde önemli bir sorun olmadığından, geleneksel üç kanatlı tasarım yerine iki kanatlı rotor üretmek mümkün olabilmektedir. Böylece iki kanatlı tasarım ağırlığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda aerodinamik verimliliği de artırır (Saidur ve ark, 2011).

1.3.1.1. Rüzgar Türbin Elemanları

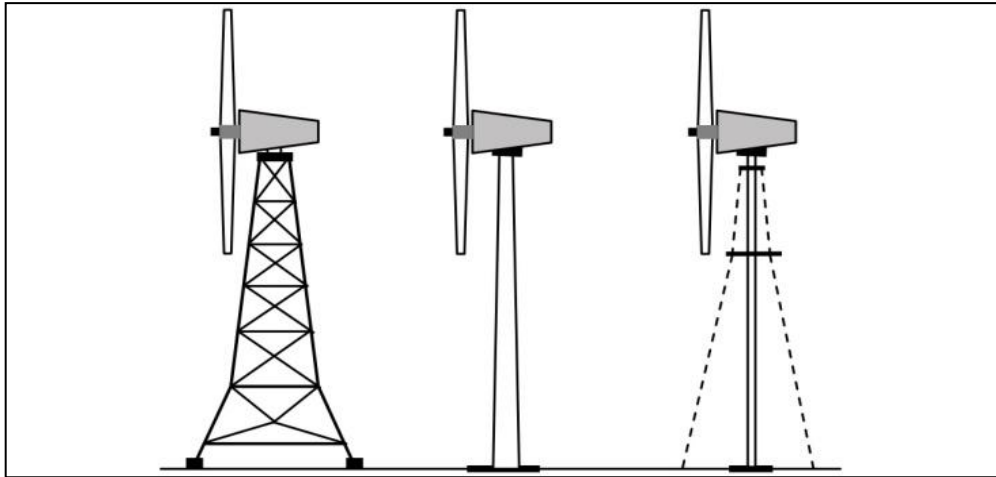
Rüzgar türbinleri genel olarak kule, rotor, jeneratör, dişli kutusu, emniyet freni elemanlarından meydana gelmektedir.



Şekil 1.8. Rüzgar türbin elemanları (Mathew, 2006)

1.3.1.1.1. Kule

Kule, rüzgar türbininin rotorunu ve makine aksamını belli bir irtifada sabitlemeye yarayan destekleyici araçtır. Modern türbinlerde kullanılan başlıca kule tipleri kafes kulesi, çelik boru kulesi ve gergili kuledir.

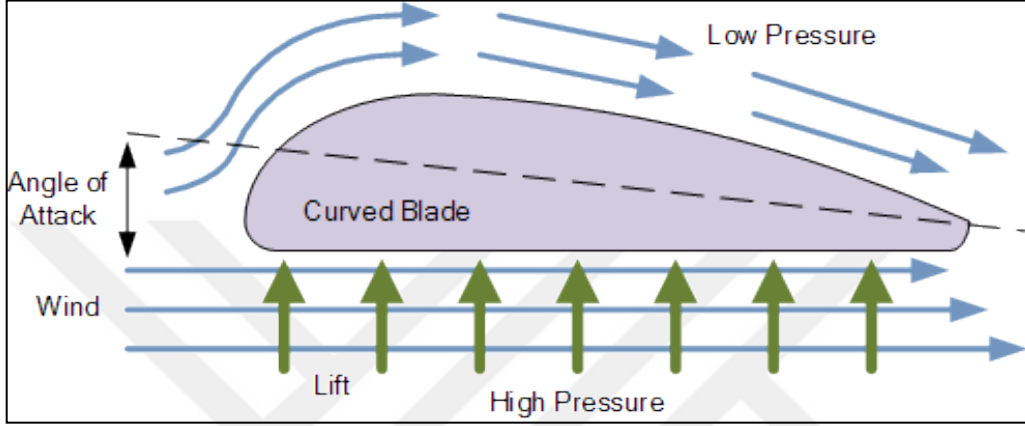


Şekil 1.9. Kule çeşitleri (Mathew, 2006)

1.3.1.1.2. Rotor

Bir rüzgar türbini rotorunun bileşenleri kanatlar, göbek, mil ve diğer iç parçalardır. Rotoru tek bir kanat şeklinde tasarlamak mümkün olsa da, bu tür rotorların dengelenmesi mühendislik açısından çok zordur. Tek kanatlı rotorlar daha hızlı çalışır ve ancak aşırı

titreşim ve gürültü oluşturur. İki kanatlı rotor da dengelenme ve görsel estetik açısından sorunlardan muzdariptir. Bu nedenle, çoğunlukla ticari tasarımlarda üç kanatlı rotor bulunur. Akü şarjı için kullanılan küçük rüzgar türbinlerinin bazıları, düşük rüzgar hızlarında bile kendiliğinden çalışmaya başlayacak şekilde tasarlandıkları gibi dört, beş veya altı hatta daha fazla sayıda kanada sahip olabilir. Rotorun büyüklüğü türbinin güç derecesine bağlıdır.



Şekil 1.10. Rüzgar türbin kanat dizaynı (Wind Turbine Blade, 2018)

1.3.1.1.3. Jeneratör

Jeneratör, rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin en önemli bileşenlerinden biridir. Diğer geleneksel enerji sistemlerinde kullanılan jeneratörlerin aksine, rüzgar türbinlerinin jeneratörleri, rüzgar hızındaki değişikliklerle uyumlu olarak dalgalı güç seviyelerinde çalışmak üzere tasarlanmaktadır. Rüzgar makinelerinde farklı tipte jeneratörler kullanılmaktadır. Küçük rüzgar türbinleri, birkaç watt (W) ila kilowatt (kW) kapasiteye sahip DC jeneratörleri ile donatılmıştır. Daha büyük sistemlerde tek veya üç fazlı AC jeneratörleri kullanılır. Büyük ölçekli rüzgar üretim santralleri genellikle şebekeye bağlandığından, üç fazlı AC jeneratörleri bu tür büyük santrallerde kurulu türbinler için doğru seçimdir (Mathew, 2006).

1.3.1.1.4. Dişli Kutusu

Dişli kutusu, bir rüzgar türbininin güç aktarma sistemlerinde önemli bir bileşendir. Tipik bir rüzgar türbinini rotorunun dönüş hızı dakikada 30 ila 50 tur iken, optimum jeneratör hızı 1000 ila 1500 tur civarında olabilir. Bu nedenle, hızı jeneratörün ihtiyacına göre değiştirmek için şanzıman hattına çapları birbirinden farklı dişliler kullanılmaktadır.

İdeal bir dişli sistemi, türbinin kullanım ömrü boyunca olumsuz iklim koşullarında bile sorunsuz ve sessiz çalışacak şekilde tasarlanmalıdır (Mathew, 2006).

1.3.1.1.5. Emniyet Frenleri

Çok şiddetli rüzgar dönemlerinde rüzgar türbinleri güvenliği için tamamen durdurulmalıdır. Benzer şekilde, eğer elektrik hattı kesilirse veya herhangi bir nedenle jeneratör arızalanırsa, rüzgar türbini hızı şiddetlice artar. Bu gibi acil durumları önlemek amacıyla emniyet fren sistemleri devreye girmektedir (Mathew, 2006).

Dünyanın en güçlü açık deniz rüzgar türbini General Electric (GE) firması tarafından üretilen 12 MW'lık üretim gücüyle Haliade-X adlı türbin modelidir. 220 metrelik rotor çapı, LM Wind Power şirketi tarafından tasarlanan 107 metrelik kanatlara sahiptir. En büyük açık deniz rüzgar türbini olmasının yanı sıra Haliade-X, aynı zamanda deniz yüzeyine kurulan en verimli rüzgar türbini olması planlanmıştır. %63 kapasite faktörüyle günümüzde diğer tüm deniz rüzgar türbinlerinden daha fazla rüzgarı enerjiye dönüştürme kabiliyeti sahiptir (GE, 2018).



Şekil 1.11. GE Şirketinin üretmiş olduğu 12 MW'lık rüzgar türbini Haliade (GE, 2018)

1.3.2. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

1.3.2.1. Avantajları

Rüzgar enerjisinin neden olduğu çevresel avantajlar öncelikle, rüzgar enerjisi su veya hava emisyonlarına neden olmaz ve ayrıca herhangi bir tehlikeli atık üretmez. Dahası, rüzgar enerjisi, petrol, gaz ve kömür gibi fosil yakıt kaynaklarını kullanmaz ve bu nedenle kaynak nakliyesi ve çıkarılması için yapılan çalışmalarla çevreye zarar vermez. İşletim esnasında su kullanımına ihtiyaç duymaz. Rüzgar enerjisi, atmosferin dengesini bozarak sera etkisine neden olan CO₂, SO₂ ve NO_x gibi gaz emisyonuna sebep olmaz. Geleneksel fosil yakıt bazlı elektrik üretimi için önemli miktarlarda kaynak ithalatına olan bağımlılığı azaltır, yerli enerji üretimini sağlar. Küresel ısınma sorununun önlenmesine yardımcı olur. Rüzgar enerji santralleri yeşil enerji teknolojisi olarak kabul edilir, çünkü çevre üzerinde çok az olumsuz etkileri vardır. Rüzgar enerjisi ideal bir yenilenebilir enerjidir. Kirlilik içermeyen, sınırsız sürdürülebilir bir enerji şeklidir. Elektrik üretimi için yakıtı ihtiyaç duymaz. Toksik veya radyoaktif atık üretmez. İmalat, kurulum, bakım ve sökme işlemleri maliyetini ömrünün 5'te 1'i sürede amorti eder. Temeli haricinde etrafındaki tüm alanlarda tarım yapılabilir. Yerel yönetimlere ekonomik açıdan katkısı yaparak, yarattığı iş potansiyeliyle de işsizliğin azalmasını sağlar.

Çizelge 1.2. Elektrik üretimi için enerji kaynakları santrallerinin su tüketimi

Santral türü	Kullanılan su hacmi(litre/kWh)
Nükleer	2,3
Kömür	1,9
Petrol	1,6
Doğalgaz	0,95
Güneş	0,11
Rüzgar	0.004

Her geçen gün giderek artan su kaynaklarının azalması, özellikle temiz suyun çok değerli ve az olduğu ülkelerde için büyük bir endişeye sebep olmaktadır. Elektrik santrallerinin, termodinamik döngünün yoğunlaşma kısmı için büyük miktarda su kullandığı görülmektedir. Örneğin kömür santrallerinde yakıtı temizlemek ve işlemek için su da kullanılır. Kullanılan su miktarı günde milyon litreye kadar çıkabilmektedir. Bu gibi tüketimin yüksek olduğu santrallerde su kullanımını azaltarak, su korunmalı ve başka amaçlar için kullanılabilinmelidir. California Enerji Komisyonu'nun bu konu üzerindeki araştırmaları sonucunda, rüzgar türbini için su kullanım miktarının diğer enerji

santrallerinden ve güneş enerjisi sistemlerinden bile daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Jaber, 2013).

Çizelge 1.3. Rüzgar enerjisinin çevreye etkilerinin diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması

Çevreye etkileri	Kömür	Doğalgaz	Petrol	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar
Hava ve su kirliliği	✓	✓	✓			
Küresel ısınma	✓	✓	✓			
Sel baskını					✓	
Atık	✓			✓		
Madencilik ve sondaj	✓	✓	✓	✓		
Yeşil alanlar	✓	✓	✓	✓	✓	✓

1.3.2.2. Dezavantajları

Enerji üretim araçlarının geneli çevreyi bir şekilde etkiler ve bunlara rüzgar enerjisi dahildir. Diğer enerji teknolojileri gibi, rüzgar santrallerinin çevre üzerinde bazı etkileri vardır. Geleneksel enerji kaynaklarının çevresel etkileri ile karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinin çevresel etkileri nispeten azdır. Rüzgâr santralleri genellikle, temizleniş araziler üzerine kuruludur. Rüzgar santralleri için gereken bitki örtüsü temizliği ve zemin düzenleme işlemleri, kömür madenleri ve kömür yakıtlı elektrik santralleriyle karşılaştırıldığında minimum düzeydedir. Rüzgar santrallerinin hizmetten çıkarılması durumunda, arazi santral kurulumundan önceki durumuna geri döndürülebilir. Rüzgarı bir güç kaynağı olarak kullanmanın en büyük zorluğu, rüzgârın aralıklı esmesi ve elektrik ihtiyacı olduğunda her zaman esmemesidir.

Rüzgar enerjisi depolanamaz(batarya kullanılmadığı sürece) ve türbinler, elektrik taleplerini karşılamak için tüm rüzgar potansiyelini kullanamaz. Güçlü rüzgar sahaları genellikle, elektriğe ihtiyaç duyulan şehirlerden uzak bölgelerde bulunur. Rüzgar santralleri, diğer geleneksel santrallere göre çevre üzerinde nispeten az bir etkiye sahip olsa da, rotor kanatlarının ürettiği gürültü, radyasyon, görsel etkiler ve bazen de göç etmekte olan kuşların rotolarına çarparak ölmeleri bazı önemli dezavantajlarındandır. Bu sorunların çoğu, teknolojik gelişmelerle büyük ölçüde azaltılmıştır (Jaber, 2013).

1.3.3. Rüzgar Enerji Santrallerinin Çevreye Etkileri

Rüzgar enerji santrallerinin çevreye ve insanlara birçok yararı olduğu görülmektedir. Ancak az miktarda zararları olduğu da bilinmektedir.

1.3.3.1. Kuşlar

Birdlife, WWF, Greenpeace, Earth of Friends gibi dünya genelinde söz sahibi çevre kuruluşları rüzgar enerjisini desteklemektedir. Birdlife geçtiğimiz günlerde iklim değişikliğinin kuşlara karşı en büyük tehdit olduğunu ve yenilenebilir enerjinin iklim değişikliğini engelleyebilecek en yararlı çözüm olduğunu belirtmiştir.

Karbondioksit veya başka herhangi bir emisyonu olmayan rüzgar enerjisi, çevresel sorunlar, en önemlisi kuşlar üzerindeki etkisine ve bazı insanların gürültü sebebiyle can sıkıcı bulunduğu türbinler buna rağmen çevre dostu bir teknolojidir. Kuş ölümleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda, kuşların göç esnasında rüzgar türbinlerine çarpmasıyla yılda 10.000-40.000 ölüme sebep olduğunu göstermiştir. Ancak, insan kaynaklı kuş ölümlerinin tüm nedenleri göz önünde bulundurulursa, binalara ve pencerelere çarparak ölen kuşlar en büyük etkidir. Kediler ikinci sırada yer alırken, rüzgar türbinlerinin bu tablodaki oranı % 0,01'in altındadır. Buna ek olarak, fosil yakıtı ile üretilen elektriğin yarattığı kirlilikle mukayese edildiğinde kWh baz alınarak rüzgar gücünden olarak yaklaşık 20 kat fazla kuşun ölmesine neden olduğunu belirlenmiştir. Diğer taraftan, bu tür kuş göçleri düşük rüzgar hızlarında meydana geldiği için, türbin kanatları dönüş hızı bu gibi zamanlarda büyük ölçüde yavaşlamaktadır. Bu da rüzgar santrali sebebiyle kuş ölümlerini asgari seviyede tutmaktadır (Ehrlich, 2013).

Çizelge 1.4. Anormal kuş ölümlerindeki sebepler (Erickson ve ark., 2005)

Ölüm Sebebi	Yıllık Yaklaşık Ölüm Adedi
Binalar ve diğer yapılar	550 milyon
Yüksek gerilim hatları	130 milyon
Kediler	100 milyon
Motorlu araçlar	80 milyon
Zirai tarım ilaçları	67 milyon
Haberleşme kuleleri	4,5 milyon
Rüzgar türbinleri	28,5 bin

1.3.3.2. Gürültü

Rüzgar türbinlerinin gürültüsü gelişen modern türbinlerle mekanik bileşenlerin gürültüsünü önemli ölçüde azaltılmıştır. En çok duyulan ses, rotor kanatları ile etkileşen rüzgarın sesidir. Sessiz kırsal bölgelerde bile, uğuldayan rüzgârın sesi genellikle türbin sesinden daha yüksektir.

2010 yılında Kanada’da yayınlanan 'Rüzgar Türbinlerinin Potansiyel Sağlık Etkileri' konulu raporda gürültü seviyesi değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün yerleşim alanları ile ilgili tavsiye ettiği ses seviyesi içinde olduğunu göstermiştir.

General Electric (GE) Şirketinin yapmış olduğu araştırmalarda rüzgar türbinlerinin yerleşim yerlerine en az 300 m mesafede olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu mesafede bulunan türbin, 600 m çaplı çemberin en uç noktalarına 43 desibel ses göndermektedir. Bu rakamın günlük hayatta sıkça kullanılan başka araçlarla karşılaştırılması yapılırsa evin içerisinde bulunan klima 50 desibel, buzdolabı 40 desibel ses üretmektedir. Örnek verilen araçlara nazaran rüzgar türbinleri çok daha sessizdir. 500m uzaklığa kurulan türbinin sesi ise 38 desibele düşmektedir. Çoğu insanın yaşadığı ortamlardaki dış ses yüksekliği ortalaması 40-45 desibel aralığında olduğu düşünülürse bu uzaklıktan sonra türbinlerin yayacağı ses seviyesi neredeyse anlaşılamayacak düzeye gelmektedir (GE, 2018).

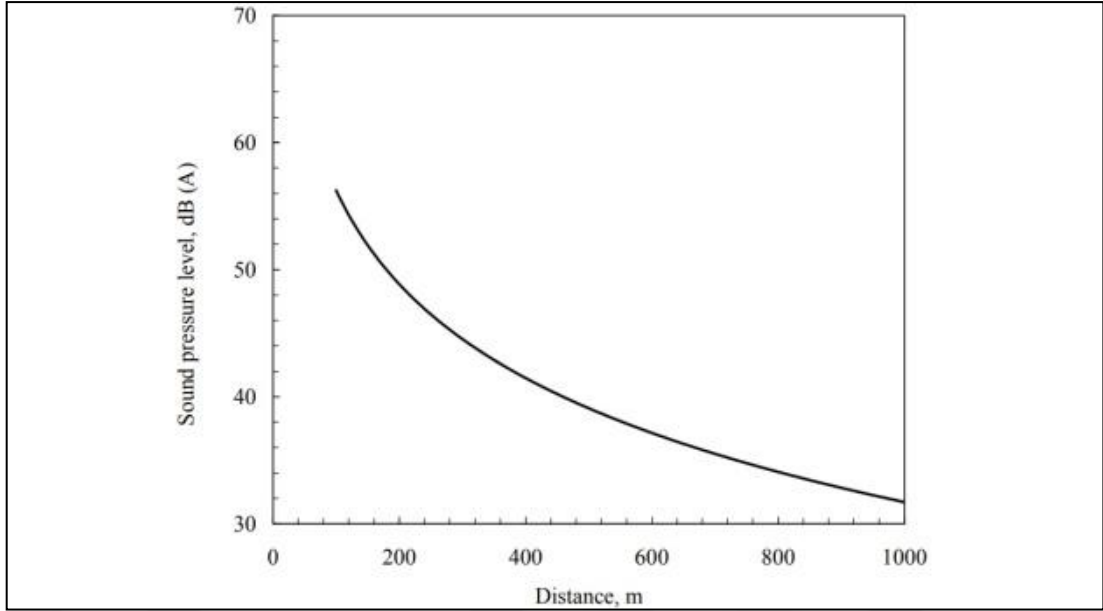
Basit bir şekilde gürültü yayılım alanının yarım küre olduğunu düşünebilir. Bu varsayım, bir rüzgar türbinden R mesafesindeki ses basıncı seviyesi L_p , L_w yoğunluğunda yayılan gürültüyü desibel (dB) şiddetinde basitçe hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$L_p = L_w - 10 \log_{10}(2\pi R^2) - \alpha R \quad (1.1)$$

Örneğin: 50 metre kule yüksekliğine sahip bir rüzgar türbininin ürettiği gürültü 104 dB olarak alınıp rüzgarsız havada bu türbinden 200 m uzaklıktaki noktalardaki gürültü şiddetini hesaplamak için 0.005 dB (A)/m'lik bir ses emme katsayısı varsayılarak ve ortam gürültüsünün etkisi de ihmal edilirse;

$$L_p = 104 - 10 \log_{10}(2\pi \times 200^2) - 0.005 \times 200 = 49 \text{ dB}$$

olarak hesaplanmaktadır (Mathew, 2006).



Şekil 1.12. Rüzgar türbinlerinin oluşturduğu gürültü ile mesafe arasındaki ilişkisi (Mathew, 2006)

1.3.3.3. İnsan Sağlığı

Rüzgar enerjisi en temiz, çevre dostu enerji kaynaklarından biridir. Sera gazı veya hava kirlenici gazlar yaymaz. Kanserojen olan ve insan sağlığını ciddi derecede etkileyen fosil yakıtların aksine hiçbir parçacık içeren gazlar yaymamaktadır. Rüzgar enerjisi, atık veya su kirliliği yaratmaz. Fosil yakıt ve nükleer santrallerin aksine, rüzgar teknolojisi elektrik üretmek için çok az su kullanır. Temiz su kaynaklarının giderek azalması, hızlanan iklim değişikliği ve nüfus artışı göz önüne alındığında, rüzgâr enerjisi su kaynaklarının korunmasında rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük öneme sahiptir.

2009 yılında ABD, Kanada, Danimarka ve İngiltere'den bir tıp uzmanlarından oluşan bir grup araştırmacının hazırlamış olduğu 'Rüzgar Türbini Sesi ve Sağlık Etkileri' konulu çalışmaya göre "Rüzgar türbinleri tarafından yayılan seslerin ve radyasyonun insanlar üzerinde doğrudan herhangi bir olumsuz fizyolojik etkiye sahip olduğuna dair bir kanıt yoktur." sonucuna ulaşılmıştır.

2010 yılında Ulusal Sağlık ve Tıbbi Araştırma Konseyi (NHMRC)'nin "Rüzgar Türbinleri ve Sağlık" konulu çalışmasına göre: "Rüzgar santrallerinin insanlar üzerinde doğrudan bir patolojik etkisi yoktur." sonucuna ulaşılmıştır (EWAE, 2018).

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. CBS Kullanılarak Yapılan Rüzgar Enerji Santralleri Yer Seçimi Çalışmaları

Ayodele ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada Nijerya'daki uygun rüzgâr çiftliği sahalarının belirlenmesi için rüzgâr çiftliği bölgesi seçimi için bulanık analitik hiyerarşi işlemi kullanılarak coğrafi bilgi sistemi temelli bir model önerilmiş ve uygulanmıştır. Modelde, rüzgar santrali kurulumu için uygun yerlerin değerlendirilmesinde ekonomik, sosyal veya çevresel olan kriterleri kullanmıştır.

Çizelge 2.1. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Ayodele ve ark., 2018)

Kriterler	Tampon Bölgeler
Havaalanları	<5000 m
Önemli kuş alanları	<300 m
Korunan alanlar	<500 m
Su yolları	<200 m
Ormanlar	Ormanlık alan sınırları içi

Çizelge 2.2. Kullanılan kriterler ve uygunluk dereceleri (Ayodele ve ark., 2018)

Rüzgar hızı(m/sn)	Rüzgar yoğunluğu	Uygunluk derecesi
<4,4	<100	Uygun değil
4,4 - 5,1	100 - 150	Daha az uygun
5,1 - 5,6	150 - 200	Uygun
5,6 - 6,0	200 - 250	Daha uygun
6,0 - 6,4	250 - 300	Çok Uygun
6,4 - 7,0	300-400	Son derece uygun

Rüzgar santrali saha seçimi için coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bir model geliştirilmiş ve Nijerya'daki rüzgar santrallerinin konumlarının uygunluğunu, ekonomik/teknik, çevresel ve sosyal faktörleri göz önünde bulundurarak değerlendirmek için kullanılmıştır. Modelde karar verme sürecinin güvenilirliğini arttırmaya yönelik olarak kararları değerlendirmek için bulanık analitik hiyerarşi süreci tekniği kullanılmıştır. Ekonomik/teknik değerlendirmede rüzgar hızı, şebeke hatlarına yakınlık, eğim, şehirlere yakınlık ve yollara yakınlık gibi beş kriter kullanılmıştır. Sonuç haritasını hazırlamak için korunma alanları, nehirler ve su kütleleri, önemli kuş alanları ve havaalanları gibi

kurulamayacak alan kriterleri (yani çevresel ve sosyal faktörler) kullanılmıştır (Çizelge 2.1). Çalışmanın sonuçları, rüzgar santrali için en iyi yerlerin temel olarak Nijerya'nın Kuzey bölgesindeki Bauchi, Jigawa, Kaduna, Kano, Katsina, Plato ve Sokoto bölgelerinin rüzgar santrali projeleri için en uygun yerler olduğunu ortaya konmuştur. Ülkede rüzgar santrallerinin konumlandırılması için uygun alanın yaklaşık 125728,6 km² olduğu, bunun yaklaşık 2650,1 km²'nin bir rüzgar türbin santralleri için son derece uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Al-Shabeeb ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmanın amacı, Ürdün'ün kuzey batısındaki rüzgar türbini için potansiyel bölgeleri tespit edilmesidir. CBS ortamında analitik hiyerarşi prosesini (AHP) kullanarak çalışma alanı için mevcut fiziksel veriler kullanılarak Ürdün'ün kuzeyindeki rüzgar türbin santrali kurulumu için bir ön saha seçimi yapılabilmesi için bu araştırma yapılmıştır. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP), rüzgar türbini alanlarını etkileyen beş fiziksel kritere (Rüzgar hızı, yağış, eğim, irtifa ve arazi kullanımı) dayalı belirlenen çalışma alanındaki rüzgar türbin santrali kurulumu için uygun alanları belirlemek için kullanılmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Kullanılan kriterler ve derecelendirmeleri (Al-Shabeeb ve ark., 2016)

Kriterler	Uzaklık	Derecelendirme
Rüzgar(m/sn)	<5,35	1
	5,35 - 6,2	2
	6,2 - 8,0	3
	>8,0	4
Yağmur(mm)	>700	1
	500 - 700	2
	300 - 500	3
	<300	4
Yükseklik(m)	<1000	1
	1000 - 1500	2
	1500 - 2000	3
	>2000	4
Eğim(%)	>45	1
	30 - 45	2
	15 - 30	3
	<15	4
Alan kullanımı(Sınıf)	Ormanlar, Sulak alanlar	1
	Endüstri	2
	Tarımsal alanlar	3
	Meralar	4

Her bir kriterin önemi bu konu üzerinde çalışan uzmanların görüşleriyle elde edilmiştir. Kriterin sağlıklı derecelendirebilmesi için mevcut literatür taraması yapılmıştır ve sonucunda derecelendirme tamamlanmıştır. Konu uzman görüşleri arasındaki tutarlılık oranı ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve her kriter için son ağırlık hesaplanmıştır. CBS ortamında ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC) yöntemi kullanılarak bir rüzgar türbini uygunluk haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanının %45'inin rüzgar türbini için yüksek ve çok yüksek uygunluğa sahip olduğu bulunmuştur.

Latinopoulos ve Kechagia (2015) tarafından yapılan çalışmada, rüzgar santral kurulum projeleri için en uygun yerlerin seçilmesi için bütünlük bir değerlendirme sistemiyle uygulanmıştır. Bu sistem, bölgesel düzeyde rüzgar santrallerinin planlaması aşamasında uygun yerlerin belirlenmesini amaçlayan coğrafi bilgi sistemlerinin (GIS) ve mekansal çok kriterli karar analizinin bir arada kullanılmasıyla yapılmıştır. İlk aşama rüzgar türbin santrali için potansiyel / uygun yerlerin tespit edilmesi amacıyla uygun olmayan alanlar ve değerlendirme faktörleri olarak kullanılan çeşitli teknolojik, ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler belirlenerek başlanmıştır (Çizelge 2.4). Kurulum ve sonrasında bu alanları bir uygunluk endeksi (SI) kullanarak değerlendirilmiştir. Önerilen karar aracı, hali hazırda lisans alınarak tamamlanmış olan santrallerin uygunluk analizini yapmasının yanı sıra gelecekteki projeler için en uygun yerlerin tespiti yapılmıştır.

Çizelge 2.4. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Latinopoulos ve Kechagia, 2015)

Kategoriler	Tampon Bölgeler
Korunan Alanlar	1000 m
Arkeolojik Sit Alanları	1000 m
Tarihi Sit Alanları	Sit sınırları içi
Yerleşim Alanları	[İnsan popülasyonu > 2000] = 1000 m
	[İnsan popülasyonu < 2000] = 500 m
Turizm Bölgeleri	1000 m
Yollar	150 m
Arazi Kullanım	Endüstriyel, maden, çöplük, şantiyeler, sulak tarım arazileri
Rüzgar hızı	Ortalama rüzgar hızının 4,5 m/sn'den düşük olduğu alanlar
Havaalanları	3000 m
Eğim (Tampon yok)	>25%

Çalışmanın amacı rüzgar çiftliği projelerinin gelişimi için en uygun alanların bölgesel düzeyde seçilmesi için entegre bir sistem tasarlamak, uygulamak ve değerlendirmektir. Bu amaçla, GIS tabanlı çok kriterli bir karar analizi uygulaması geliştirilerek Yunanistan'daki Kozani bölgesine uygulanmıştır. Uygunluk analizi, mevcut rüzgar potansiyel haritasının piksel formatta olarak yüksek çözünürlükte (150 m x 150 m) kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak çalışma bölgesinin uygun olmayan alanlar haritası ve uygunluk haritası yapılmıştır.

Tegou ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, çoklu ölçütlü analiz ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) birlikte kullanılarak rüzgar santrali konumlandırma amacıyla arazi uygunluğunu değerlendirmek için yapılmıştır. Çalışma için önerilen bölge Yunanistan'ın Lesvos adasıdır. Yunan mevzuatına dayanarak bir dizi çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kısıtlama, rüzgar enerjisi tesisatı kriterleri dikkate alınarak santral kurulumu için potansiyeli yüksek bölgeleri belirlemeye çalışmıştır (Çizelge 2.5). Ayrıca, söz konusu alan rüzgar enerjisi potansiyeli, arazi örtüsü tipi, elektrik talebi, görsel etki, arazi değeri ve elektrik şebekesinden uzaklık gibi çeşitli kriterler belirlenerek değerlendirme yapılmıştır. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırmaya dayalı analizi, uygulama sahasının değerlendirmesinde katkı derecelerini belirlemek için ağırlık ölçütlerini karşılaştırmak için uygulanmıştır. CBS, Uygun olmayan alanların ve değerlendirme kriterlerinin mekansal boyutunu belirledi ve genel uygunluk haritasını oluşturmak için altlıkları birleştirmiştir. Çalışma bölgesinin rüzgar santrali kurulumu için genel alan uygunluğu ağırlıklı toplam kuralı ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Lesvos'un toplam alanının sadece çok küçük bir yüzdesinin rüzgar santrali kurulumu için uygun olabileceğini göstermiştir, ancak adanın birçok alanında rüzgar potansiyeli yüksektir.

Çizelge 2.5. Kullanılan kriterler ve tampon bölgeleri (Tegou ve ark., 2010)

Kriterler	Tampon Bölgeler
Yerleşim alanlarına uzaklık	<1500 m
Arkeolojik sit alanlarına uzaklık	<500 m
Karayolu ağına olan uzaklık	>10000 m
Havaalanı	
Eğim	<30%
Ormanlık alanlar	
Rüzgar potansiyeli	<4 m/sn
Sulak alanlar	
Manastırlara uzaklık	<500m

Aitzhanov (2016) tarafından yapılan çalışmanın amacı, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanarak rüzgar türbini santralleri için bir yer seçim tekniği geliştirilmesidir. Geliştirilen bu tekniği kullanarak, metodolojinin pratik doğrulamasının kolay olabilmesi ve birkaç faktörden dolayı Kuzey Kazakistan'daki Akmola Bölgesi seçilmiştir. Bu bölgede önceden 22 adet rüzgar türbini kurularak ile 45 MW'lık santral inşa edilmiştir ve bu da uygulama sonucunun doğruluğunu denetlemek için kullanılmıştır.

Literatür taramasıyla İncelenen makalelerin yazarları tarafından belirtilen tüm kriterler birleştirilerek ve mevcut çalışma için seçilmiştir (Çizelge 2.6). Belirlenen tüm kriterler ve alt kriterler AHP metodu kullanılarak analiz edilmiştir. İki akademisyen ve iki araştırmacının röportaj ve anketleri incelenerek her bir kriter için ağırlıklar elde edilmiş ve daha sonra analizlerde kullanılmıştır.

Harita katmanlarının bir kısmı indirilmiş ve diğerleri, çevrimiçi verilerin yetersiz olması nedeniyle CBS ortamında üretilmiştir. 14 alt kriter ve 14 harita katmanı bulunan veri seti oluşturulmuştur. Veri seti yapılandırıldıktan sonra, ArcGIS 10.2 yazılımında bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. ArcGIS yazılımında yapılan bir ağırlıklı yerleşim analizi, uygun olmayan alanlar ve maliyetler dikkate alarak her kriter için önceden belirlenen ağırlıklar kullanılarak senaryolara göre sonuç haritaları elde edilmiştir.

Çizelge 2.6. Kullanılan kriterler ve uygun alan sınırları (Aitzhanov, 2016)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Uygun Alan Sınırları
Ekonomik	Yollara uzaklık	<10000 m
	Elektrik hatlarına uzaklık	<10000 m
Planlama	Demiryollarına uzaklık	>500 m
	Havaalanına uzaklık	>5000 m
	Şehirlere uzaklık	2500 m
	İlçe ve köylere uzaklık	2000 m
	Tarihi alanlara uzaklık	3000 m
	Radyo ve Tv istasyonlarına uzaklık	>600 m
Teknik	Rüzgar potansiyeli	>5 m/sn
	Yükseklik	>200 m
	Eğim	<30%
	Fay hatlarına uzaklık	>200 m
	Maden sahalarına uzaklık	>100 m
Çevresel	Nehir/su kanal yollarına uzaklık	>3000 m
	Kuş göç yollarına uzaklık	500 m
	Orrmanlık alanlara uzaklık	500 m

Noorollahi ve ark. (2016) tarafından yapılan bu çalışmada, İran'ın batısındaki Markazi eyaletinde rüzgar enerjisi kaynaklarını belirleyerek rüzgar türbin santrali için uygun alanların tespitini çok kriterli bir karar destek sistemi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılmıştır. Çalışma alanı için çoklu kriterler karar verme yöntemiyle rüzgar kaynakları değerlendirmesi için saha seçim kriteri belirlenmiş ve puanlandırılmıştır. Teknik, çevresel, ekonomik ve coğrafi koşullar olmak üzere eşit öneme sahip kriterler incelenmiştir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Kullanılan kriterler ve uygun alan sınırları (Noorollahi ve ark., 2016)

Türbin Kurulamayacak Alanlar		
Kategori	Veriler	Kriterler
Çevresel	Yerleşim Alanları	Şehirsiz yerleşim < 2 000 m Köy yerleşimleri < 500 m
	Otoyol ve yollar	< 500 m
	Demiryolu	< 300 m
	Havaalanları	< 15000 m
	Elektrik iletim hatları	< 250 m
	Tarihi anıtlar	< 700 m
	Nehir ve akarsular	< 500 m
	Sahil şeridi ve sulak alanlar	< 500 m
	Çevre koruma alanları	< 2000 m
	Göller ve su toplanan alanlar	< 1000 m
	Fay hatları	< 500 m
Fiziksel	Dijital yükseklik modeli	> 2000 m
	Eğim	> %15

Yer seçimi analizinin sonuçları, tanımlanan kriterlerin çok kriterli bir karar destek analiz yöntemleriyle değerlendirilerek, Tafresh ve Komijan ilçelerinin güneyindeki ilin orta kısmının, Arak ilçesinin kuzey bölgesinin ve Ashtian eyaletinin çoğunluğunda rüzgar türbin santralleri kurulumu için en uygun alanların olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca, Mamonieh ve Saveh ilçelerinin kuzey kesiminde de en uygun alanlar bulunmuştur. Sonuçlar çalışma alanının %72'sinin kuruluma uygun olmadığını, %28'inin büyük rüzgar türbin santrallerinin kurulması için üç farklı sınıfta uygun olduğunu göstermiştir.

Bennui ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Tayland'daki büyük rüzgar türbin kurulumuna uygun saha seçimi için çok kriterli karar verme yöntemi ile birlikte coğrafi bilgi sistemi kullanılmıştır. Coğrafi bilgi sistemleri ile saha seçimi için hangi kriterlerin kullanılacağını ve varsa kriterler için hangi tampon mesafelerinin uygulanacağını çalışmalarının bir altlıkta birleştirme işlemi yapılmıştır. Belirlenen kriterler; rüzgar hızı bilgisi, yükseklik, eğim, otoyollar ve demiryolları, inşaat alanları, orman alanları ve doğal alanlar gibi çeşitli parametreler ve kurulumuna uygun olmayan faktörlerdir (Çizelge 2.8). Tayland'ın doğu kıyılarındaki Nakhon Si Thammarat Eyaletinden Narathiwat Eyaletine kadar rüzgar türbinlerinin kurulumu için uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada rüzgar türbini kurulumu için uygun bölgeler için verilerin analizi, rüzgar gücünün etkinliği ve belirli yükseklikteki verilerin diğer faktörlerden daha yüksek ağırlığına sahip olacak şekilde ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca, bu çalışma alanındaki mühendislik ve inşaat olanakları için, deniz seviyesinden 200 metreden daha yüksek olan ile %15'ten daha eğimli olan yaylalar, alanlar kurulum için uygun olmayan bölgeler olarak belirlenmiştir. Ovalar ile sahil bölgeleri orta derecede uygun alanlar olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni ovalar ve sahil bölgelerinin içerisinde kentsel ve kırsal yerleşimler, turistik yerler, ana yollar olmasıdır. Bu alanlarda tampon alan 2,5 km'dir.

Çizelge 2.8. Kullanılan kriterler ve uygun olmayan alanlar (Bennui ve ark., 2007)

Kurulumuna Uygun Olmayan Alanlar	
Kriter	Uzaklık
Yükseklik	> 200 m
Eğim	> 15%
Kentsel Alanlar	< 2500 m
Kırsal yerleşim alanları	< 1000 m
Önemli alanlar	< 2000 m
Askeri ve turistik bölgeler	< 1000 m
Havaalanları	< 3000 m
Otoyollar	< 500 m
Doğa koruma bölgeleri	< 200 m
1. sınıf sulak araziler	Sadece alan içi

Al-Yahyai ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Umman'daki rüzgar santralleri için arazi uygunluk analizinin coğrafi bilgi sistemi ortamında sınıflandırmasının

yapılarak için sıralı ağırlıklı ortalama (OWA) toplama fonksiyonuna sahip analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılarak çok kriterli karar verme yöntemi uygulanmıştır. Araştırmacılar, AHP-OWA toplama işlevini, arazileri rüzgar santralleri kurulumuna uygunluklarına göre sınıflandırmak için kullanmıştır. Ekonomik (karayolu mesafesi, arazi eğimi), sosyal (kentsel alan), çevresel (tarihi yerler, vahşi yaşam ve doğal rezervler) ve teknik (rüzgar enerjisi yoğunluğu, enerji-talep ilişkisi, sürdürülebilir rüzgar yüzdesi, türbülans yoğunluğu vb.) dahil olmak üzere farklı seçim kriterleri göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 2.9). Çalışmasının sonuçları, en uygun sınıflandırmaya sahip arazilerin Dhofar ve Wusta bölgelerinde bulunduğunu göstermiştir. Elde edilen bu alan, toplam Umman yüzölçümünün yaklaşık % 0,2'sini temsil ettiği görülmüştür.

Çizelge 2.9. Kullanılan kriterler ve değerlendirme aralıkları (Al-Yahyai ve ark., 2012)

Kriterler	Değerlendirme
Yollara uzaklık	En çok 500 m
Eğim	%10'dan fazlası kapsam dışı
Yerleşim alanları	2 km tampon
Rüzgar güç yoğunluğu	50 m, 80 m, 100 m, 150 m irtifasındaki değerler
Rüzgar hızı	5m/s<x<20m/s
Elektrik talebinin maksimum olduğu saat aralıkları	15:00-17:00 ve 23:00-04:00
Kum tepeleri	1 km tampon

Gorsevski ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmanın amacı, ABD Kuzeybatı Ohio'daki rüzgar santral kurulumu için uygunluğun değerlendirilmesi için mekansal karar destek sistemi uygulanmasıyla birlikte coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak uygun yerlerin tespit edilmesidir. Oluşturulan yöntemle çevresel ve ekonomik kriterleri birleştirip ve ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC) teknikleri ile CBS işlevselliği kullanarak rüzgar santral kurulumu için bir hiyerarşi oluşturulmuştur. WLC tekniği, atanmış değerleri bulanık karar teorisi kullanılarak işlenebilir hale getirilmiş harita katmanlarıyla birleştirmek için uygunluk haritaları üretmekte kullanılmıştır. Faktörlerin ağırlığındaki küçük değişikliklerin hesaplanan uygunluk puanlarını nasıl etkilediğini incelemek için grup çalışmasıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Grup temelli mekansal karar destek

sistemi, çevresel ve ekonomik karar faktörlerine ağırlık vermek için 30 araştırma katılımcısıyla geliştirilerek ve uygulanmıştır.

Çalışma dört şama şeklinde gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, uygunluk analizi tamamlanıp nihai sonuca ulaşmaktır. İkinci aşamada, santral kurulumu için uygun görülen aday alanların, kurulumu engelleyen faktörlere göre değerlendirilmesidir. Üçüncü aşama ise araştırmacı kararlarını etkileyen çevresel ve ekonomik hedeflerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Son aşamada çevresel ve ekonomik hedefleri etkileyen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Arazi kullanımı, rüzgar hızı, kuş habitat alanlarına uzaklık çevresel hedeflere etki eden kriterlerdir. Elektrik iletim hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, nüfus yoğunluğu, zeminin yapısı da ekonomik hedeflere etki eden kriterler olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10. Kullanılan kriterler ve değerlendirme(Gorsevski ve ark., 2013)

Kriterler	Kont. Nok. a	Kont. Nok. b	Bulanık İlişki
Kuş habitat alanlarından uzaklık	5000 m	30000 m	Doğrusal artan
Düşük yoğunluklu yerleşim alanları			0,333
Yollara uzaklık	1000 m	10000 m	Doğrusal artan
İletim hatlarına uzaklık	1000 m	20000 m	Doğrusal artan
Nüfus yoğunluğu	20 m	200 m	Doğrusal artan

Haaren ve Fthenakis (2011), Amerika Birleşik Devletleri'nin New York Eyaletindeki rüzgar türbini santralleri için mekansal bir maliyet-gelir optimizasyonuna dayanan yeni bir saha seçimi yöntemi üzerine çalışılmıştır. Bunun için kullanılan coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan ESRI ArcGIS Desktop 9.3.1 kullanılmış ve üç aşama şeklinde planlanmıştır. İlk aşama, arazi kullanımına ve jeolojik kısıtlamalara dayanarak rüzgar türbini santralleri için kurulumu uygun olmayan sahalara önceli çalışmalardan belirlenen kriterlere(Çizelge göre uygulama alanından çıkarılmasıdır. İkinci aşama, mekansal olarak birbirine bağımlı olan dört ana maliyet ve gelir kategorisinden(üretilen elektrikten elde edilen gelir, santral alanına erişim yollarından gelen maliyetler, elektrik hatları ve arazi temizlik maliyeti) yola çıkılarak çalışma zamanında net değeri temel alan en uygun sahaların tanımlanmasıdır.

Üçüncü aşama, kurulumun kuş habitatları üzerindeki ekolojik etkileri değerlendirilmiştir. Önerilen mekansal çok kriterli metodoloji New York Eyaletinde uygulanmış ve sonuçlar mevcut rüzgar türbini santrallerinin lokasyonları ile karşılaştırılmıştır (Şimsek, 2014).

Çizelge 2.11. Yararlanılan çalışmalar (Haaren ve Fthenakis, 2011)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	(Baban ve Parry 2001)	(Hansen, 2003)	(Aydın vd., 2010)
Ekonomik	Rüzgar kaynakları	> 5 m/sn	250-600 W/m ²	200-400 W/m ²
Planlama	Görsel etki	Kasabalara > 2000 m	Yerleşimlere 500-1500 m, Yollara 150-450 m	1000-3000 m
	Kentlere uzaklık	> 2000 m	500-1500 m	1000-3000 m
	Gürültü, ses	500 m	500-1500 m	400-500 m
	Koruma alanları	Paklara 1000 m	5000-7500 m havaalanlarına	3000-6000 m Havaalanlarına
Fiziksel	Eğim	< 10%		
Ekolojik	Kuş yaşam alanları			2500-5000 m
	Ormanlar	> 500 m	300-800 m	
	Göller ve nehirler	> 400 m	150-650 m göllere	2500-5000 m sulak alanlara

Aydın ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmanın amacı, coğrafi bilgi sistemi (GIS) araçlarından ArcGIS 9.2 kullanarak rüzgar türbinlerinin saha seçimi için bir karar destek sistemi oluşturulmasıdır. Saha seçimi için karar verme mekanizmasında rüzgar enerjisi potansiyeli ve çevresel uygunluk kriterleri kullanılmıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından oluşturulan Türkiye rüzgar enerji potansiyeli atlası (REPA), rüzgar enerjisi üretimi açısından ekonomik olarak en uygun konumların belirlenmesinde kullanılmıştır. Türkiye'nin Güneybatısında bulunan Uşak, Aydın, Denizli, Muğla ve Burdur illerinden oluşan bir çalışma alanı seçilerek bu alan 250 m x 250 m'lik karelere ayrılmıştır. Her bir kare, bir rüzgar türbinini veya rüzgar türbinleri için alternatif bir alanları temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Gürültü seviyesi açısından uygun , kuş habitatı açısından uygun , güvenlik ve estetik açısından uygun ve doğal kaynaklar açısından uygun olarak çevresel kriterler, önceki araştırmalara dayanılarak tanımlanmış ve bu kriterlerin her biri bulanık bir küme ile temsil edilmiştir (Çizelge 2.12). Çalışma alanındaki her bir kare için elde

edilmiştir. Bulanık ilişkili kriterler kullanılarak, CBS ortamında bir çevresel uygunluk haritası geliştirilmiştir.

Çizelge 2.12. Kullanılan kriterler ve derecelendirme (Aydın ve ark., 2010)

Kriterler	Fuzzy Bulanık İlişki Derecelendirme
Şehirselen alanlara uzaklık	0-1000 m = 0 1000-2000 m = 0-1 >2000 m = 1
Kırsal alanlara uzaklık	0-2000 m = 0 2000-3000 m = 0-1 >3000 m = 1
Havalimanlarından uzaklık	0-3000 m = 0 3000-6000 m = 0-1 >6000 m = 1
Gürültü	0-400 m = 0 400-500 m = 0-1 >500 m = 1
Kuş habitat alanları	0-2500 m = 0 2500-5000 m = 0-1 >5000 m = 1
Doğal kaynaklara uzaklık	0-300 m = 0 300-1000 m = 0-1 >1000 m = 1

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), kullanıcıların konumsal ve konumsal olmayan verileri toplamasını, saklamasını, işlemlerini, analiz etmesini ve sunmasını sağlayan bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Dünyanın doğal ve insan yapımı nesnelere hakkında mekansal veri adı verilen bilgilerin elektronik ortamda sunumunu sağlar.

CBS, dünya üzerindeki oluşturulan veri öğelerini bir koordinat sistemine göre elektronik ortama aktararak bilgi edinmeyi ve analiz yapabilmeyi sağlar. Bu nesne özellikleri farklı katmanlara ayrılarak depolanır. Bir CBS sistemi, her bir bilgi kategorisini güncelleme, analiz ve görselleştirme kolaylığı için ayrı ayrı katmanlara depolar. Örneğin bu katmanlar arazi özelliklerini, nüfus sayımı verilerini, demografik bilgileri, çevresel ve ekolojik verileri, yolları, arazi kullanımını, nehir yollarını ve taşkın ovalarını ve vahşi yaşam alanlarını temsil edebilir. Farklı uygulamalarla farklı katmanlar oluşturularak ve kullanılması sağlanır. CBS ayrıca harita özelliklerinin açıklayıcı bilgisi olan öznelik verilerini de depolayabilir. Bu nitelik bilgisi, grafik verilerinden (raster ve vektör) ayrı bir veritabanında saklanır, ama grafik verilere bağlıdır.

Bir CBS mekanizması hem mekansal hem de nitelik verilerinin aynı anda incelenmesine izin verebilir. CBS, konumsal ve konumsal olmayan veri türlerini birleştirerek haritalar ve raporlar oluşturarak kullanıcıların konum tabanlı bilgileri planlı bir şekilde toplamasını, yönetmesini ve analiz edilmesini sağlar. CBS yönetimi hızlı güncelleme, analiz ve görüntüleme işlemlerini sağlayan dinamik yapıdadır. Uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, haritalar, yer araştırmaları ve küresel konumlandırma sistemleri (GPS) gibi birçok farklı kaynaktan gelen verileri kullanabilir (Asirvatham, 2001).

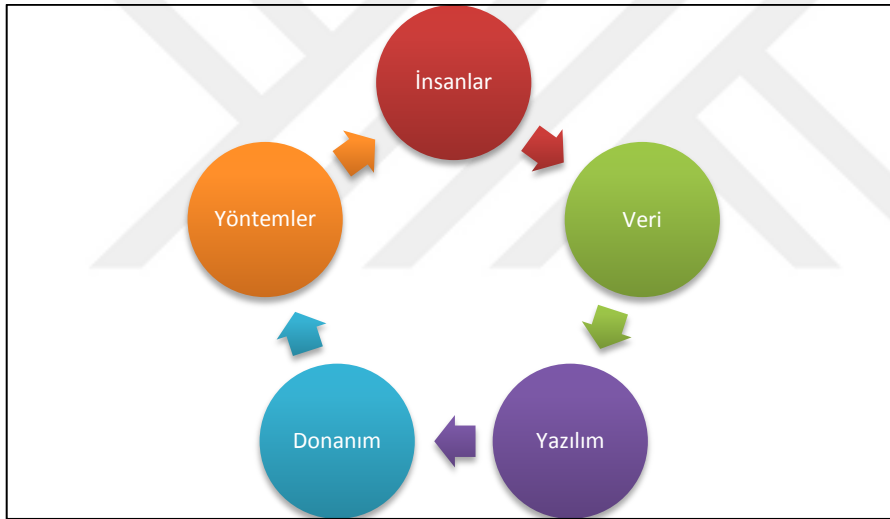
CBS bir çok farklı alan ve disiplinlerde kullanılmakta olup değişik isimlerle de ifade edilmiştir. Bunlardan bazıları ise şunlardır;

- Arazi Bilgi Sistemleri Sistemleri
- Arazi Veri Sistemleri Sistemleri
- Coğrafi Referanslı Bilgi Sistemleri
- Çok Amaçlı Kadastro Sistemleri
- Doğal Kaynak Yönetimi Bilgi Sistemleri

- Görüntü İşlem Tabanlı Bilgi Sistemleri
- Kadastral Bilgi Sistemleri
- Kent Bilgi Mekansal Karar Destekli Bilgi Sistemleri
- Mülkiyet Bilgi Sistemleri
- Planlama Bilgi Sistemleri Ticari Analiz Bilgi Sistemleri
- Toprak Bilgi Sistemleri
- Uzaysal Bilgi Sistemleri (Yomralıoğlu, 2015)

3.1.1. CBS'nin Temel Bileşenleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri beş temel bileşeninin bir araya gelmesiyle aktifleşmektedir. Bu temel bileşenler insanlar, veri, yazılım, donanım ve yöntemlerden oluşmaktadır (Çizelge 3.1).



Şekil 3.1. CBS'nin temel bileşenleri

3.1.1.1. İnsanlar

CBS teknolojilerini tasarlayan, yöneten ve geliştiren kişilerdir. İnsanlar CBS'in en önemli temel bileşenidir. Çünkü bir CBS'in kullandığı bileşenlerle araçları tanımlar ve geliştirir. CBS teknolojisi, sistemi yöneten ve onu gerçek dünyadaki problemlere uygulamak için planlar geliştiren insanlar olmadan sınırlı bir değere sahiptir. Temel gerçeğe uygun veri toplama, verileri depolama, işleme ve analiz işlemlerini yöneten CBS kullanıcıları, sistemi tasarlayan ve bakımını yapan teknik uzmanlardan günlük işlerinin verimini arttırmak için kullananlara kadar birçok alanda çeşitlilik göstermektedir.

3.1.1.2. Veri

CBS'nin diğeri önemli bileşenlerinden biridir. Veri kaynaklarının çokluğu, dağınık halde bulunması, farklı veri tiplerinde olması, verilerin toplanmasında büyük zaman harcanmasına ve maliyet açısından da yüksek miktarlar gerekmesinden dolayı bu sistem CBS projelerinin süre ve ekonomik açıdan en az yarısını oluşturmaktadır.

Veriler hazır şekilde kullanılmak üzere üretici şirketlerden, kamu kuruluşlarından veya ticari veri sağlayıcılarından satın alınabilir. CBS kullanıcıları grafik yapılar da bulunan coğrafi veriler veya çeşitli harita altlıkları kullanarak çalışılabilinecek gerekli verileri elde edebilmektedir. Verinin temin edildiği tedarikçiler yüksek bir veri güvenilirliği oranına sahip olmalıdır. Veriler, verilerin nasıl toplandığı, kim ve ne zaman vb. denetleyici sorulara cevap vererek verilerin kalitesini doğruladığına ilişkin kalite beyanlarını da taşımaktadır.

Veriler, kullanılması gereken amaç için doğru veri türü olmalıdır. CBS'nin daha yaygın kullanılabilmesi için veriler erişilebilir olmalıdır. Bu, gelişmekte olan ülkelerin çoğunda büyük bir sorun olduğu görülmektedir (Yomralıoğlu, 2015).

3.1.1.3. Yazılım

CBS yazılımları, gelişmiş programlama dilleri sayesinde oluşturulan, verileri ve bilgileri üretmek, yönetmek, analiz etmek ve etkin bir şekilde güncellemek için kullanılan araçlar sunmaktadır. Dünyada ticari amaçlı olarak firmalarca geliştirilerek satılan pek çok CBS yazılım paketleri bulunmaktadır. Bunun yanında üniversitelerde bilimsel amaçlı çalışmalar için devlet tarafından finanse edilerek araştırma laboratuvarlarında üniversite kurumlarınca üretilen yazılımlar da mevcuttur.

CBS yazılımları, bir CBS projesini organizasyonlarda tanıtırken genellikle yatırım maliyetlerinin önemli bir kısmını temsil eder. Yazılımlar üretilirken ve geliştirilirken kullanıcı ihtiyaçları ve işlevselliğini göz önünde bulundurmamak önemlidir, çünkü CBS konusunda çok sınırlı bilgiye sahip bir kullanıcıya gelişmiş bir yazılım veya uzman kullanıcıya yetersiz bir yazılım tasarlamak oldukça kullanışsız olabilmektedir. CBS yazılımları arasında popüler olanlara bakılacak olursa; ArcGIS, QGIS, GRASS, MapInfo, Global Mapper, GeoMedia, SAGA GIS, IDRISI, ILWIS, Smallworld, AutoCAD Map 3D and Autodesk Geospatial (Autodesk), GeoDa örnek olarak verilebilir (Yomralıoğlu, 2015).

3.1.1.4. Donanım

CBS, merkezi sunucu bilgisayar, tek başına veya ağa bağlı bilgisayarlara kadar çok çeşitli donanım üzerinde çalıştırılabilir. Sistem içinde en önemli işleve sahip olarak bakılan bilgisayarın yanında yardımcı yan donanımlara da bulunması gerekebilmektedir. Mesela, çizici, yazıcı, tarayıcı, sayısallaştırıcı, veri depolayıcı gibi teknolojiyle gelişen cihazlar bunlara örnektir.

Mekansal analizler bazen geniş alanlara (karayolları, nehirler gibi coğrafi özelliklerin şeklini ve konumunu tanımlamak için büyük miktarlarda veriler barındıran alanlar gibi) bazen de yüksek mekansal çözünürlüklere sahip verilerle uygulandığından ve hesaplamalar genellikle on milyonlarca kez tekrar edilmek zorunda olduğundan hızlı işlemcili, büyük veri depolama kapasiteli ve yüksek kaliteli bir ekrana sahip bilgisayarlar gereklidir.

Analog harita verilerini ve tabloları dijital veritabanlarına aktarabilmek için sayısallaştırıcı ve tarayıcılar gereklidir. Geniş çaplı CBS projelerinde donanım yatırımlarını kuruluşun ihtiyaçlarına göre ayarlamak önemlidir (Yomralıoğlu, 2015). Bu projelere örnek olarak Türkiye’de devam etmekte olan Mekansal Adres Kayıt Sistemi (MAKS) verilebilir. Bu projelerde maksimum verime ulaşmak için, kullanıcıların tüm sistem bileşenlerinin Yerel Alan Ağı (LAN)’na bağlanması gereklidir.

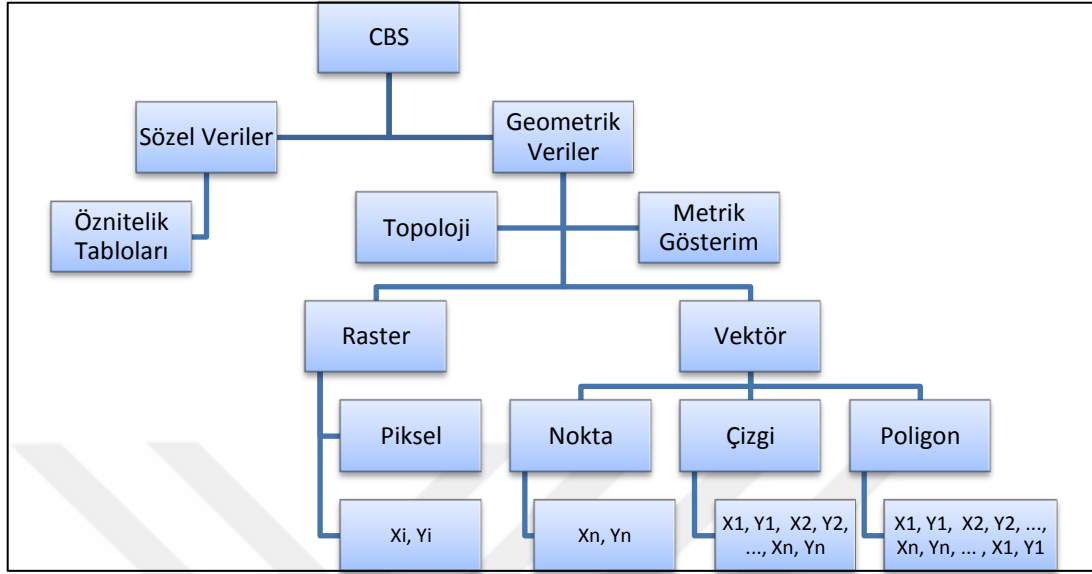
3.1.1.5. Yöntemler

Başarılı bir CBS projesi, her organizasyona özgü modeller ve işletme uygulamaları olan iyi tasarlanmış bir planda kurallara göre çalışır. CBS’de kullanılan birçok yöntem vardır. Hangi metodolojinin izlenmesi gerektiği yalnızca yapılacak uygulamanın türüne bağlıdır. CBS’de kullanılan bazı standart yöntemler vardır. Ancak, istenen çıktıyı elde etmek için yapılacak projeye en uygun yöntemi geliştirmek gerekebilir. Hangi yöntemleri kullanırsa kullanılsın, her adım için iyi bir planlama yapmak gerekir. İyi tanımlanmış ve dikkatlice seçilmiş bir yöntem başarılı sonuçlar vermesinin yanında şirketler için çok önemli kavramlar olan zaman, kaynak ve para tasarrufu sağlar (Yomralıoğlu, 2015).

3.1.2. CBS’de Veri Yapıları

CBS’de genel olarak veriler sözel ve geometrik olarak ikiye ayrılır. Sözel veriler geometrik veriler hakkında bilgi vermek için öznitelik tablolarından oluşmaktadır. Geometri veri raster ve vektör olmak üzere iki çeşit veri kullanmaktadır. Raster veri piksellerin değerler atanarak nitelik kazandırılmasıyla oluşturulur. Vektör veri ise nokta,

çizgi, poligon geometrik çizim araçları kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bu iki geometrik veri çeşidi nesnelerin dijital ortamda depolanmasını sağlar.



Şekil 3.2. CBS’de veri çeşitleri (Alkış, 1996)

3.1.2.1. Vektör Veri Yapısı

Belli bir koordinat sistemine dahil olarak haritalarda temsil edilen veri çeşididir. Nokta, çizgi ve poligon olmak üzere üç tipe sahiptir.

Nokta: Haritada X_i, Y_i koordinatlarıyla gösterilen veri tipidir. Nokta, birbirine çok bitişik olmayan nesnelere olan elektrik direkleri, ağaçlar, trafolar gibi gerçekte çok yer kaplamayan nesnelerin gösteriminde kullanılır. Noktaların boyutları sıfırdır. Bu nedenle bu veri tipinde ne uzunluk ne de alan ölçülebilir.

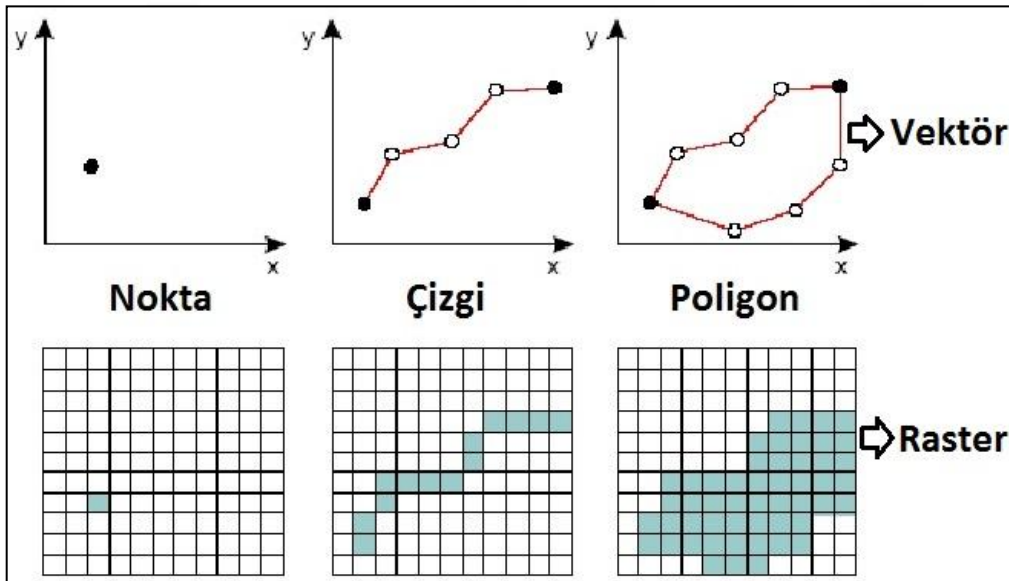
Çizgi: Haritada $X_1, Y_1, X_2, Y_2, \dots, X_n, Y_n$ koordinat şekliyle gösterilen veri tipidir. Doğrusal özellikteki nehirler, yollar ve sokaklar gibi nesnelere temsil etmek için kullanılır. Çizgi veri tipi sadece bir boyuta sahiptir. Bu nedenle yalnızca uzunluğu ölçmek için kullanılabilir. Çizgi nesnelere bir başlangıç ve bitiş noktasına sahiptir. Birden fazla çizgi özelliğindeki verileri birbirinden ayırt etmek için en yaygın kullanılan çizgi sembolü türleri (kesikli, şekilli veya düz çizgiler) farklı renkler ve çizgi kalınlıkları kullanan gösterimlerdir.

Poligon: Haritada $X_1, Y_1, X_2, Y_2, \dots, X_n, Y_n, \dots, X_1, Y_1$ koordinat şekliyle gösterilen, bir noktada başlayıp aynı noktada biten, içinde nokta ve çizgi veri tipini barındıran veri tipidir. Poligon veri tipi, bir şehrin idari sınırı, göl, orman gibi alanları temsil etmek için kullanılır. Poligon özellikleri iki boyutludur. Bu nedenle bir coğrafi nesnenin

alanını ve çevresini ölçmek için kullanılabilir. Poligon veri tipi en yaygın olarak arazi kullanım haritaları, tematik haritalama gösterimi, kadastro haritaları uygulamalarda kullanılır.

3.1.2.2. Raster Veri Yapısı

Raster veriler yüzeyleri temsil eder. Raster veriler piksel veya hücre tabanlıdır. Bu veri kategorisi aynı zamanda havadan ve uydu çekilmiş fotoğrafları içermektedir. Raster yapısındaki bir harita yatay olarak satır ve düşey olarak sütunlardan oluşan bir koordinat sistemine sahiptir. Her bir piksel belli renk ölçüsü aralıklarında değer alır. Vektör veri modeline göre depolama biriminde oldukça büyük alan kaplar (Dempsey, 2017).

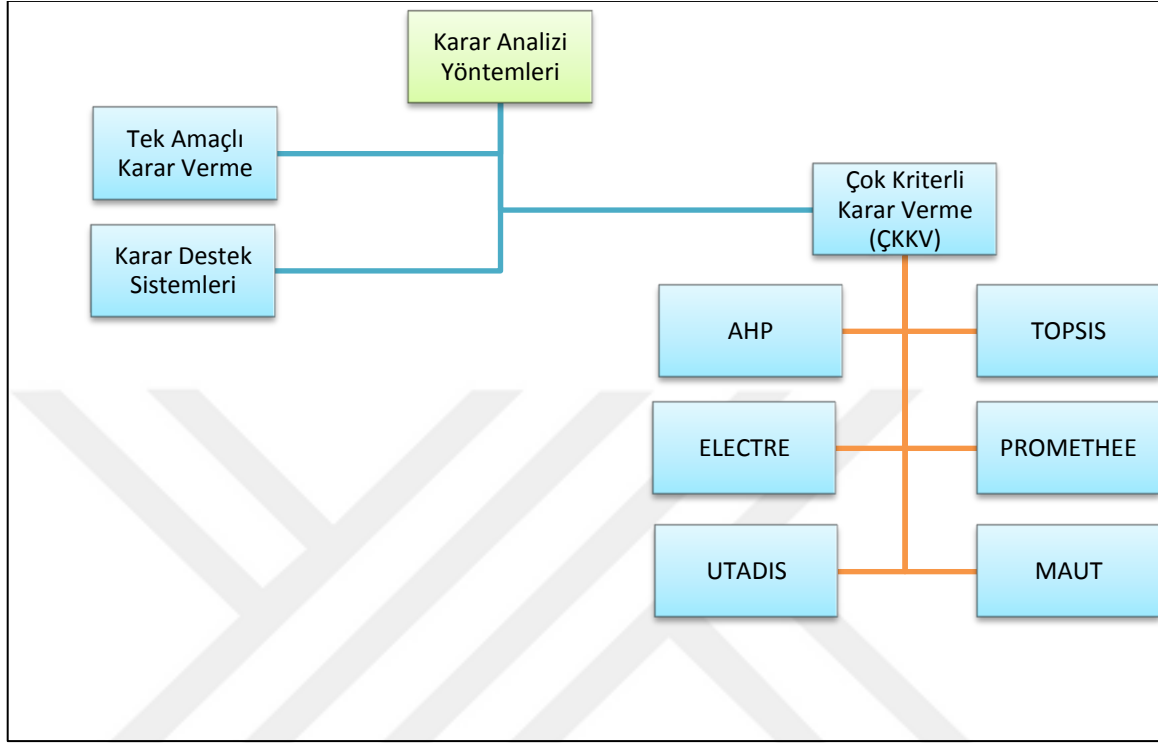


Şekil 3.3. Raster ve vektör gösterim

3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Karar problemlerinde, birden çok nitelik ve nicelik barındıran kriter ve hedefler söz konusu olduğu durumlarda karar verme amaçları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) stratejileri başlığı altında ele alınmaktadır. Kriterlerin arasında çelişkiler olması ve bir kriter için bir başka kriterden fedakarlık edilmesi gerektiğinden ötürü en iyi alternatifin seçilmesi zor olmaktadır. Bu kriterler arasında anlaşma sağlamak ve alternatiflerin arasından en uygununu seçmek için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) başlığının altında Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKK) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) bölümleri iki ayrı konu olarak incelenmektedir. Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKK) yöntemleri birden fazla kriteri önemine göre sıralama yapma olanağı

veren teknikler içerir. Çok Nitelikli Karar Verme yöntemlerine bakılacak olursa, AHP, TOPSİS, ELECTRE, PROMETHEE, UTADIS yöntemleri örnek olarak verilebilir (Timor, 2011).



Şekil 3.4. Çok kriterli karar verme yöntemleri

3.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

1980 yılında Thomas Saaty tarafından sunulan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık kararlar ile başa çıkmak için etkili bir araçtır. Karar vericiye önceliklerinin belirlemesinde ve en iyi kararı vermesinde yardımcı olmaktadır. AHP, karmaşık kararları bir dizi ikili karşılaştırmaya indirgeyip ardından sonuçları sentezleyerek, bir kararın hem öznel hem de nesnel yönlerini tanımlamaya yardımcı olur. Ek olarak, AHP karar vericinin değerlendirmelerinin tutarlılığını kontrol etmek ve böylece karar verme sürecindeki önyargıyı azaltmak için kullanışlı bir tekniktir.

3.2.1.1. AHP'nin Çalışma Yöntemi

AHP, değerlendirme kriterlerini ve en iyi kararın verilmesi için alternatif seçenekleri sunmaktadır. AHP, karar vericinin kriterler ile ikili olarak karşılaştırmasına göre her değerlendirme kriteri için bir ağırlık oluşturur. Ağırlık arttıkça, karşılık gelen kriter o kadar önemlidir. Daha sonra, sabit bir kriter için AHP, karar vericinin o kritere dayanan

seçeneklerle ikili karşılaştırmasına göre her seçeneğe bir puan verir. Puan arttıkça, seçeneğin dikkate alınan kritere göre önemi de artar. Son olarak, AHP lut ağırlıkları ve seçenek puanlarını birleştirerek her seçenek için bir genel puan ve bunun sonucunda bir sıralama belirlemektedir. Belirli bir seçenek için hesaplanan puan, tüm ölçütlere göre elde ettiği puanların ağırlıklı bir toplamıdır.

3.2.1.2. AHP'nin zellikleri

AHP çok esnek ve güçlü bir araçtır. Çünkü kriterlerin ağırlık dereceleri, hem kriterlerin hem de kullanıcılar tarafından sağlanan seçeneklerin ikili olarak değerlendirmelerine dayanarak elde edilir. AHP aracıyla hesaplanan ağırlıklar her zaman karar vericilerin tecrübesiyle yönlendirilir ve AHP bu nedenle karar vericinin yaptığı değerlendirmeleri (hem nitel hem de nicel olarak) ok kriterli bir sıralamaya çevirebilecek bir araç olarak kabul edilebilir. Ek olarak, AHP basit bir çözüm aracıdır. Zira karar vericilerin karmaşık bir puanlama sistemi oluşturmasına gerek yoktur. Öte yandan AHP, özellikle birçok kriter ve seçeneğe sahip problemler için kullanıcı tarafından çok sayıda değerlendirmede kullanılabilir. Her bir değerlendirme basit olmasına rağmen, karar vericinin sadece iki seçeneğin veya kriterin birbiriyle karşılaştırma yapması gerektirdiğinden, değerlendirme görevinin işlevi mantıksız hale gelebilir (Saaty, 1980).

3.2.1.3. AHP'nin Avantajları

- AHP, büyük ölçekli ve çok kriterli problemleri değerlendirebilen esnek bir modelleme çözüm aracıdır.
- Belirlenen kriterler birbirleriyle ikili olarak karşılaştırılır. Böylece, probleme ait kriter matrisi bytlmeksizin daha çok kriter probleme eklenebilmektedir.
- Objektif ve sübjektif kriterleri kapsayan problemlerin çözümünde oldukça başarılı yöntemlerdendir.
- Uygulama alanı geniş olup, bu yöntem kullanılarak yapılan bir çok çalışma mevcut olduğu görülmektedir (Timur, 2011).
- Kriterlerin sayısal olarak ifade edilemediği durumlarda sözel yargıların kullanılmasını sağlamaktadır.
- Grup tarafından yönetilen problemlerin çözümüne uygundur.
- Karmaşık problemleri ağaç yapıya çevirerek basitleşmesini sağlar.

▪ Karar vericilerin kriterler üzerindeki etki ağırlıklarını belirlerken yapılan tutarsızlıkların önüne geçer. Tutarsız bulunan hükümlerin tekrardan ele alınmasına karar verir.

▪ Oluşturulan yazılımlar (Super Decisions, Expert Choice vb.) sayesinde kullanımı basit ve anlaşılır durumdadır (Basar, 2011).

3.2.1.4. AHP'nin Dezavantajları

▪ Diğer karar verici yöntemlerde olduğu gibi bu yöntem de karar vericilerin hükümleriyle yönetildiği için sonuçları tam bağımsız olarak belirleyebildiği söylenememektedir.

▪ Kriterlerin tümünün göreceli olduğu görülmekte ve bu sebeple kesin ölçekler verilemediği belirtilmektedir.

▪ Yeni kriterler eklendiğinde yöntemin yeniden düzenlenerek sıralamanın değiştirilmesi ve uygulamaya konması eleştirilmektedir.

▪ Grup halinde yapılan çalışmalarda karar verme durumu fazla zaman alabilmektedir.

▪ Alternatifler dikkate alınmadığında sorun oluşabilmektedir (Timor, 2011).

3.2.1.5. AHP Adımları

Analitik hiyerarşi Prosesi, çok kriterli karmaşık karar verme problemlerinde kriterlere ve alternatiflere nispi önem değeri verilerek, yönetsel karar mekanizmasının çalışmasının sağlanması temeline dayanan bir karar verme işlemleri bütünüdür.

AHP'de ilk olarak hiyerarşik yapı oluşturulmaktadır. Bu yapı oluşturulduktan sonra aşağıdaki adımlar uygulanır:

▪ AHP'deki işlemleri gerçekleştirebilmek için önce karşılaştırma matrisinin eldesi gerekmektedir.

▪ Karşılaştırma matrisi daha sonra öncelikler vektörüne dönüştürülür.

▪ Uyum oranı hesaplanır.

AHP'de ikili karşılaştırma yapabilmek için göreceli veya kesin ölçümler kullanılmaktadır. Bunlardan oluşturulan bilgiler kullanılarak hükümler karşılaştırma matrisine dönüştürülmektedir.

a_{ij} , i'inci kriter ile j'inci kriter arasında ikili karşılaştırma değeri, a_{ji} ise j'inci kriter ile i'inci kriter arasında ikili karşılaştırma değerini ifade ettiği düşünülürse;

$$a_{ij} = 1 / a_{ji}$$

İkili karşılaştırma matrislerinin genel formuna bakılacak olunursa (Timor, 2011);

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Çizelge 3.1. Önem dereceleri tablosu

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki kriter eş öneme sahip
3	Orta Derecede Önemli	Hükümlere göre bir faktör diğerinden biraz daha önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir kriter diğerine göre daha önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir kriter diğerine göre çok daha önemli
9	Mutlak Derecede Önemli	Kriterlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemli
2,4,6,8	Ara Değerler	İki kriter arasında yukarıdaki tanımlara göre küçük farklar olduğunda kullanılmaktadır.

Çizelge 3.2. Matristeki kriterlerin örnekli karşılaştırma açıklaması

Kriterler	A	B	C	D
A	A'nın A ile karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir. (AA)	A'nın B ile karşılaştırılmasının sonucu 3'e eşittir. (AB)	A'nın C ile karşılaştırılmasının sonucu 1/4'e eşittir. (AC)	A'nın D ile karşılaştırılmasının sonucu 6'ya eşittir. (AD)
B	B'nin A ile karşılaştırılmasının sonucu 1/3'e eşittir. (BA)	B'nin B ile karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir. (BB)	B'nin C ile karşılaştırılmasının sonucu 1/5'e eşittir. (BC)	B'nin D ile karşılaştırılmasının sonucu 3'e eşittir. (BD)
C	C'nin A ile karşılaştırılmasının sonucu 4'e eşittir. (CA)	C'nin B ile karşılaştırılmasının sonucu 5'e eşittir. (CB)	C'nin C ile karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir. (CC)	C'nin D ile karşılaştırılmasının sonucu 8'e eşittir. (CD)
D	D'nin A ile karşılaştırılmasının sonucu 1/6'ya eşittir. (DA)	D'nin B ile karşılaştırılmasının sonucu 1/3'e eşittir. (DB)	D'nin C ile karşılaştırılmasının sonucu 1/8'e eşittir. (DC)	D'nin D ile karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir. (DD)

Çizelge 3.3. Matristeki kriterlerin karşılaştırması

Kriterler	A	B	C	D
A	AA	AB	AC	AD
B	BA	BB	BC	BD
C	CA	CB	CC	CD
D	DA	DB	DC	DD

AHP'nin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla A, B, C ve D adında dört adet kriterin ikili karşılaştırma sonucu ağırlıklarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır. İlk olarak kriterlerin birbirlerine göre önem derece puanları oluşturulmuştur (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Örnek bir karşılaştırma matrisi (Timor, 2011)

Kriterler	A	B	C	D
A	1	3	1/4	6
B	1/3	1	1/5	3
C	4	5	1	8
D	1/6	1/3	1/8	1

Normalizasyon işlemi için karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları toplamı hesaplanır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Matristeki sütun elemanlarının toplanması

Kriterler	A	B	C	D
A	1	3	1/4	6
B	1/3	1	1/5	3
C	4	5	1	8
D	1/6	1/3	1/8	1
Toplam	5,50	9,33	1,58	18,00

Karşılaştırma matrisinde elde edilen her sütunda bulunan değerler sütunların toplam değerlerine bölünerek normalizasyon matrisi oluşturulur (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.6. Normalizasyon matrisi (1)

Kriterler	A	B	C	D
A	1/(5,5)	3/(9,33)	(1/4)/(1,58)	6/18
B	(1/3)/(5,5)	1/(9,33)	(1/5)/(1,58)	3/18
C	4/(5,5)	5/(9,33)	1/(1,58)	8/18
D	(1/6)/(5,5)	(1/3)/(9,33)	(1/8)/(1,58)	1/18

Çizelge 3.7. Normalizasyon matrisi (2)

Kriterler	A	B	C	D
A	0,18	0,32	0,16	0,33
B	0,06	0,11	0,13	0,17
C	0,73	0,54	0,63	0,44
D	0,03	0,04	0,08	0,06

Öncelikler Vektörünün oluşturulması için normalizasyon matrisinin satır elemanlarının ortalamaları hesaplanır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Normalizasyon matrisinin satır elemanlarının ortalamaları hesaplanması

Kriterler	A	B	C	D	Ortalama
A	0,18	0,32	0,16	0,33	0,25
B	0,06	0,11	0,13	0,17	0,12
C	0,73	0,54	0,63	0,44	0,59
D	0,03	0,04	0,08	0,06	0,05

Tüm Öncelikler matrisi oluşturmak için öncelikler vektörü ortalamaları ile ilk olarak oluşturulan karşılaştırma matrisi değerleri matris çarpımı yapılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/4 & 6 \\ 1/3 & 1 & 1/5 & 3 \\ 4 & 5 & 1 & 8 \\ 1/6 & 1/3 & 1/8 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.12 \\ 0.59 \\ 0.05 \end{bmatrix}$$

$$= 0.25 * \begin{bmatrix} 1 \\ 1/3 \\ 4 \\ 1/6 \end{bmatrix} + 0.12 * \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 5 \\ 1/3 \end{bmatrix} + 0.59 * \begin{bmatrix} 1/4 \\ 1/5 \\ 1 \\ 1/8 \end{bmatrix} + 0.05 * \begin{bmatrix} 6 \\ 3 \\ 8 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.058 \\ 0.471 \\ 2.59 \\ 0.205 \end{bmatrix}$$

Tüm öncelikler matrisiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Karar vericinin kriterlerin birbirine göre derecelerini belirleme işleminin denetimi Tutarlılık Oranı hesaplanarak kontrol edilir. Bunun için;

Elde edilen tüm öncelikler matrisi öncelikler vektörü elemanlarına bölünür.

$$1,058/0,25 = 4,232$$

$$0,471/0,12 = 3,925$$

$$2,590/0,59 = 4,390$$

$$0,205/0,05 = 4,100$$

h_{maks} 'ı hesaplamak için bulunan bu dört değer aritmetik ortalaması alınır.

$$h_{maks} = (4,232 + 3,925 + 4,390 + 4,100) / 4 = 4,162$$

Tutarlılık indeksi (CI) hesabı için ise n alternatif sayısı olmak üzere;

$$CI = (h_{maks} - n) / (n - 1) \quad (3.1)$$

$$CI = (4.162 - 4) / (4 - 1) = 0,054$$

Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması için rastgele değerler endeksi (RI) tablosuna göre kullanılan 6 kritere göre karşılık gelen 1,24 değeri alınarak aşağıdaki formül uygulanır;

Çizelge 3.9. Alternatif sayısına göre rastgele değerler endeksi

Alternatiflerin Sayısı (n)	Rastgele Değerler Endeksi (RI)
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

$$CR = CI / RI \quad (3.2)$$

CR = 0,054 / 0,90 = 0,06 olarak hesaplanır. Tutarlılık oranı Saaty (1980)'ye göre belirlenen 0,10 oranından düşük olduğu için karşılaştırmadaki tutarsızlık kabul edilebilen sınır içerisinde olduğu görülmektedir (Timor, 2011).

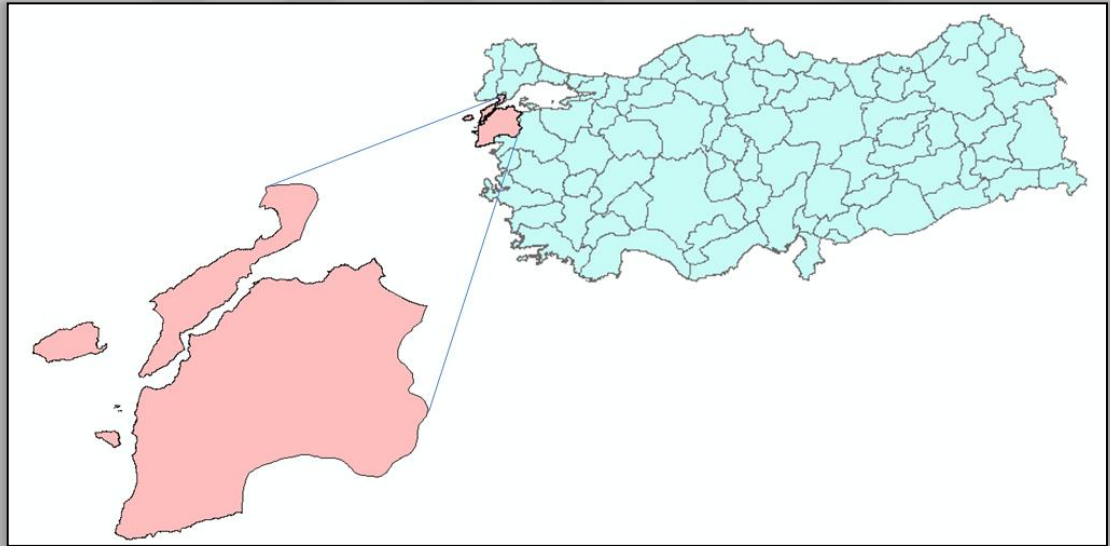
3.3. Uygulama

3.3.1. Uygulama Alanının Belirlenmesi

Uygulama alanı belirlenmesinde rüzgar potansiyeli olarak Türkiye'nin rüzgar potansiyeli en yüksek ikinci ili olması, rüzgar enerji santrali kurulumu açısından oldukça popüler olması ve bölgenin çalışma yürütücülerince diğer illere nazaran daha iyi tanınmasından dolayı Çanakkale il sınırları içinde kalan 9817 km² alan seçilmiştir. Bölgenin var olan potansiyeli ile kullanılmakta olan potansiyel karşılaştırılması yapılırsa yaklaşık %8 oranında bölgede işlem hacmi görülmektedir.

Çizelge 3.10. İllere göre rüzgar santrali potansiyeli verileri

Sıra	İl	Teorik Potansiyel	Devrede	İnşaat Halinde	Lisans Alınan	Ön Lisanslı	Toplam İşlem	İşlem-Teori Oranı
1	Balıkesir	13.827	1.023	187	104	228	1.542	11%
2	Çanakkale	13.013	300	89	400	294	1.083	8%
3	İzmir	11.854	1.269	264	69	43	1.645	14%
4	Manisa	5.302	629	1	10	0	640	12%
5	Samsun	5.222	0	52	9	0	61	1%
6	Muğla	5.171	185	59	0	25	269	5%
7	Tekirdağ	4.627	153	49	19	60	281	6%
8	İstanbul	4.177	223	116	277	50	666	16%
9	Bursa	3.882	119	4	0	130	253	7%
10	Mersin	3.531	159	0	14	30	203	6%
11	Edirne	3.47	167	27	0	50	244	7%
12	Hatay	3.414	360	27	33	30	450	13%
13	Kırklareli	3.079	116	11	150	145	422	14%
14	Tokat	3.002	128	1	0	40	169	6%
15	Aydın	2.524	221	20	209	0	450	18%



Şekil 3.11. Çalışma bölgesinin Türkiye'deki konumu

3.3.2. Çalışmada Kullanılacak Veri Setinin Eldesi

Mekansal analiz işleminin yapılabilmesi uygun yerlerin seçim kararını etkileyen unsurlar (Elektrik hatları, akarsular, yerleşim alanları, korunan alanlar vb.) bu konu üzerinde önceki yapılan çalışmaların incelenmesi ile belirlenerek verilerin hazırlanması işlemi yapılmıştır.

3.3.2.1. Yazılım ve Donanım

Çalışmadaki CBS uygulamalarının genelinde ESRI Şirketinin ürünü olan ArcGIS programının 10.5 sürümü kullanılmıştır. Analitik hiyerarşi yöntemini uygulayabilmek için Microsoft Excel programında hesaplama tabloları hazırlanmıştır. Gerekli görülen yerlerde Google Earth programından da destek alınmıştır. Çalışmada kullanılan bilgisayarın özellikleri ise Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri

İşlemci	RAM Belleği	İşletim Sistemi	Sistem Türü
Intel® Core™ i5-3210M CPU @ 2.50 GHz	6.00 GB	Windows 7 Ultimate	64 bit

3.3.2.2. Veri Kaynakları

Yapılan araştırmalar sonucu çalışmada kullanılacak veriler çeşitli kamu kurum ve kuruluşları ile özel şirketlerden elden veya web siteleri aracılığıyla elde edilmiştir. Verilerin elde edildiği kaynaklar ve verilerin içerikleri ise şöyledir:

- Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) 2.Bölge Müdürlüğünden elektrik iletim hatları ve elektrik trafolarının konumları,
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünün Harita Çizim Editörü kullanılarak diji fal hatları,
- Geofabrik GmbH Şirketinin web sayfasından nehirler, göller, yerleşim alanları, ormanlar, korunan alanlar,
- Global Wind Atlas web sayfasından 50, 100, 200 m rüzgar hız ve yoğunlukları ile kapasite faktörleri,
- Orman ve Su işleri Bakanlığı GeoData, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atlas, Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü Türkiye ve Çanakkale Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası (REPA) web sayfa ve uygulamalarından diğ er verilerin kontrolü,
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünden mevcut rüzgar enerji santralleri konumları,
- USGS EarthData web uygulamasından ASTER GDEM projesiyle oluşturulan Küresel Dijital Yükseklik Modeli’nden Çanakkale bölgesi için dijital yükseklik modeli (Digital Elevation Model – DEM) elde edilmiştir.

Bu veriler ArcGIS Desktop 10.5'te düzenlenerek analiz yapmak için uygun hale getirilmiştir. Elde edilen katmanların özellikleri Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

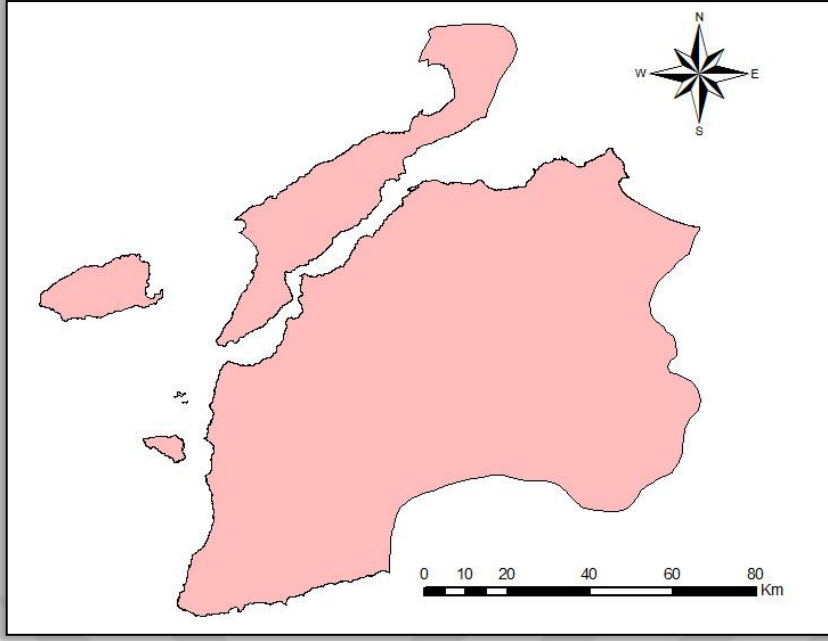
Çizelge 3.12. Elde edilen katmanların özellikleri

Veri Katmanı	Veri Yapısı	Veri Türü
Yükseklik modeli	Raster	Piksel
Arazi eğimi	Raster	Piksel
Arazi yüksekliği	Raster	Piksel
Karayolları	Vektör	Çoklu Çizgi
Diri faylar	Vektör	Çoklu Çizgi
Yerleşim alanları	Vektör	Poligon
Koruma alanları	Vektör	Poligon
Orman alanları	Vektör	Poligon
Akarsular	Vektör	Çoklu Çizgi
Göller	Vektör	Poligon
Kurulu RES'ler	Vektör	Nokta
Elektrik hatları	Vektör	Çoklu Çizgi
Rüzgar kapasitesi	Raster	Piksel

3.3.2.3. Topografik Katmanlar

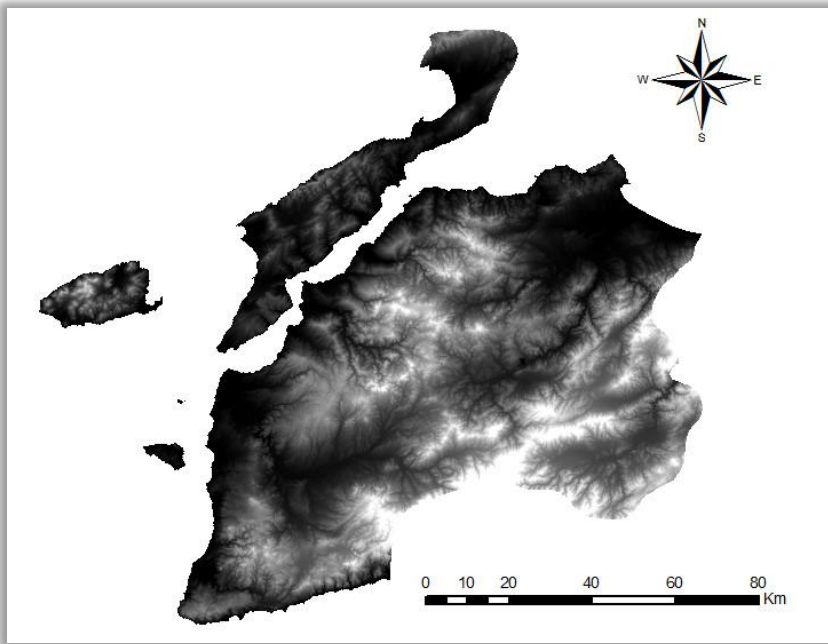
Elde edilen katmanlara ilk olarak hepsinin aynı projeksiyon sisteminde olmasını sağlamak amacıyla ArcMap programında ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Project adımları izlenerek Çanakkale ili için uygun olan WGS 1984 UTM Zone 35N projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür.

Ardından bazı verilerin Türkiye genelini temsil etmesinden dolayı çalışma bölgesi olarak seçilen Çanakkale il sınırlarını içerisinde kalacak şekilde vektör veriler için Geoprocessing Toolbar > Clip, raster veriler için ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Clip aracı kullanılarak kesilmiştir.



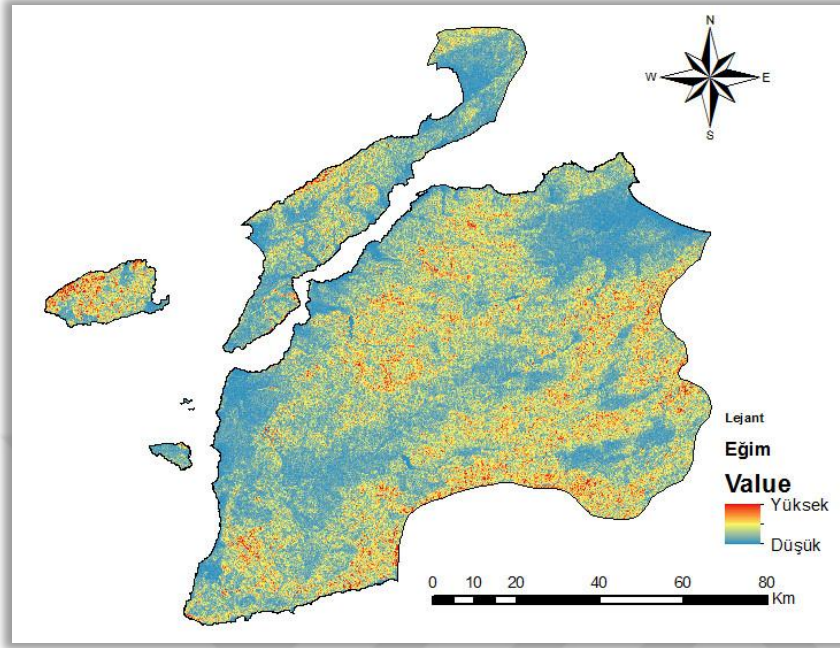
Şekil 3.6. Çanakkale il sınırları haritası

Bölgenin dijital yükseklik modeli (DEM), Japonya Ekonomi ve Ticaret Bakanlığı (METI) ile ABD Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) ortaklaşa çalışması ile 17 Ekim 2011'de tamamlanan ASTER GDEM projesinde küresel dijital yükseklik modelinden Çanakkale bölgesini kapsayacak şekilde USGS EartDATA web uygulamasından indirilerek kullanıma hazır duruma getirilmiştir (Şekil 3.7).



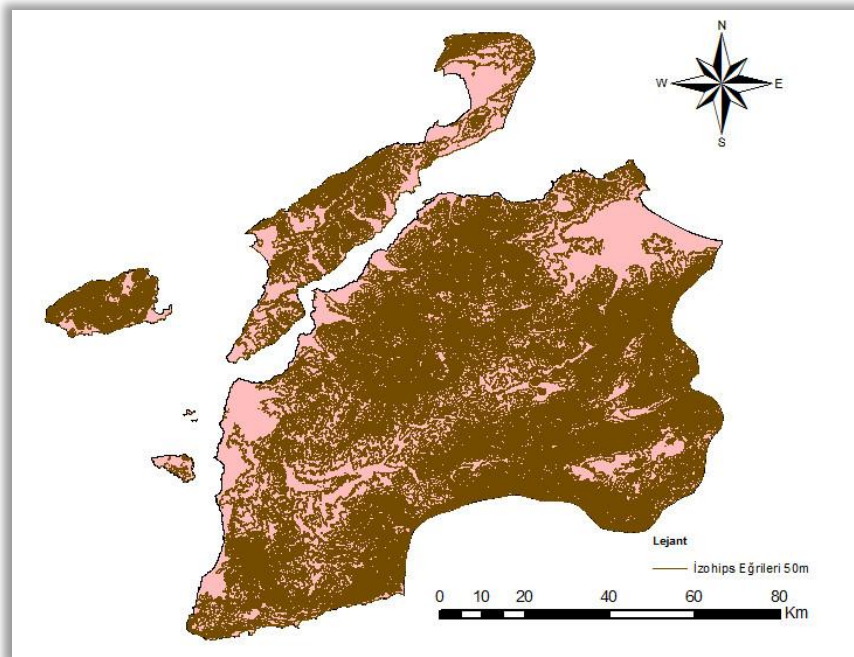
Şekil 3.7. Çanakkale dijital yükseklik modeli (DEM)

Bölgenin DEM haritasından Spatial Analyst Tools > Surface > Slope aracı kullanılarak eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.8).



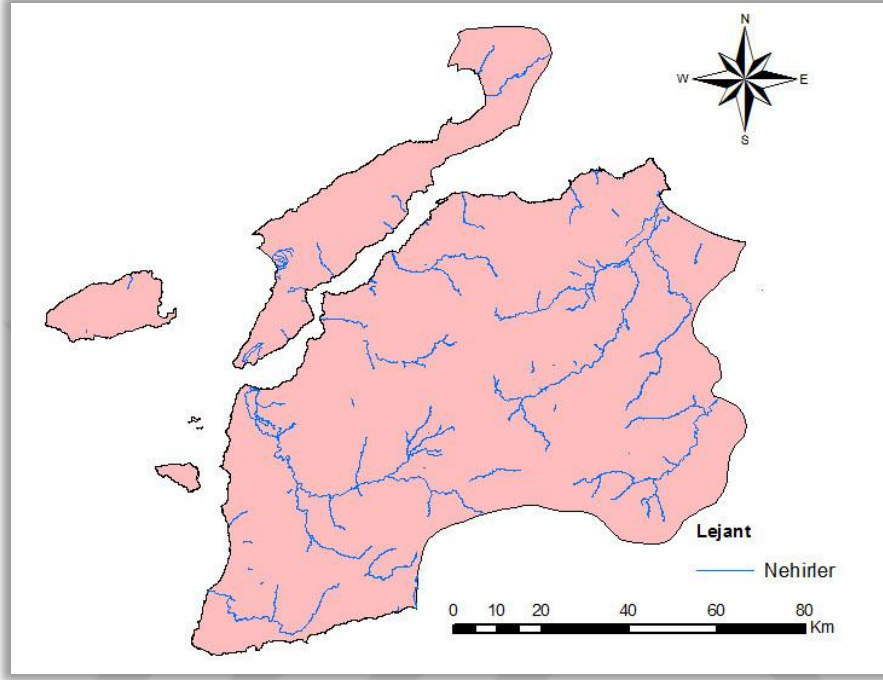
Şekil 3.8. Bölgenin eğim haritası

Bölgenin DEM haritasından Spatial Analyst Tools > Surface > Contour aracı ile 50 m aralıklı olacak şekilde eş yükseklik eğrileri haritası elde edilmiştir (Şekil 3.9).

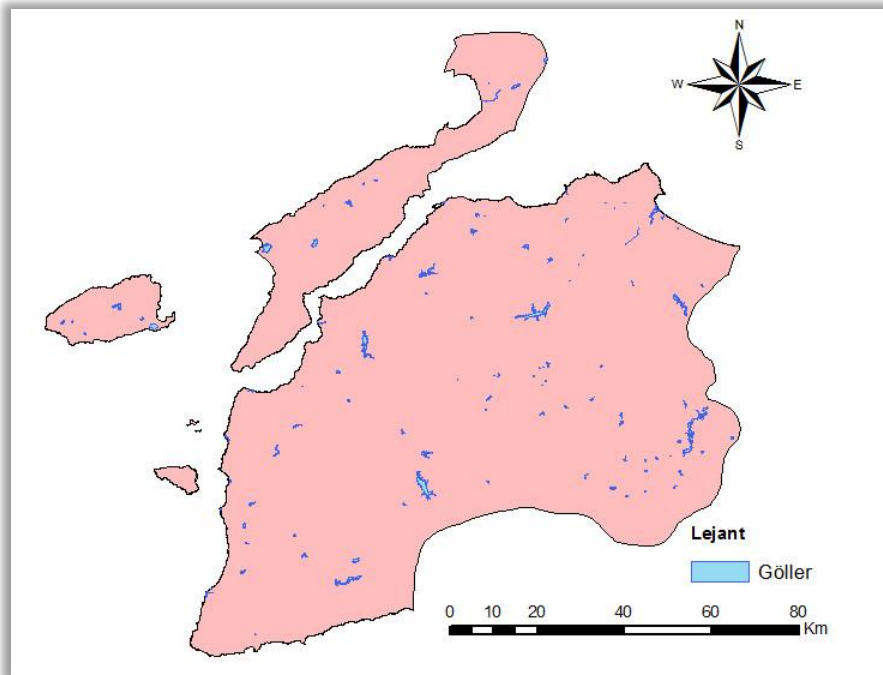


Şekil 3.9. Bölgenin eş yükselti eğrileri haritası

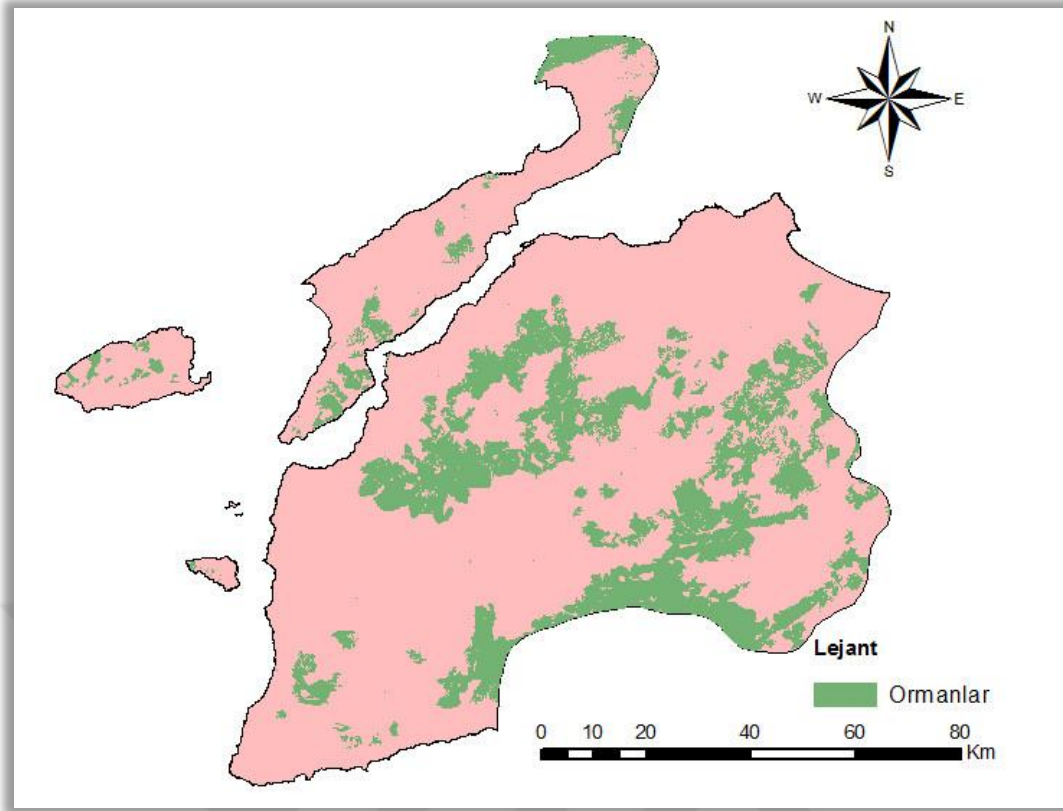
Bölgenin akarsular (Şekil 3.10), göller (Şekil 3.11), yerleşim alanları (Şekil 3.12, Şekil 3.13), ormanlar (Şekil 3.14), yollar (Şekil 3.15), korunan alanlar (Şekil 3.16) harita katmanları çok sık aralıklarla veri güncellemesi gerçekleştiren Geofabrik GmbH şirketinin web sitesinden indirilerek kullanıma hazır duruma getirilmiştir.



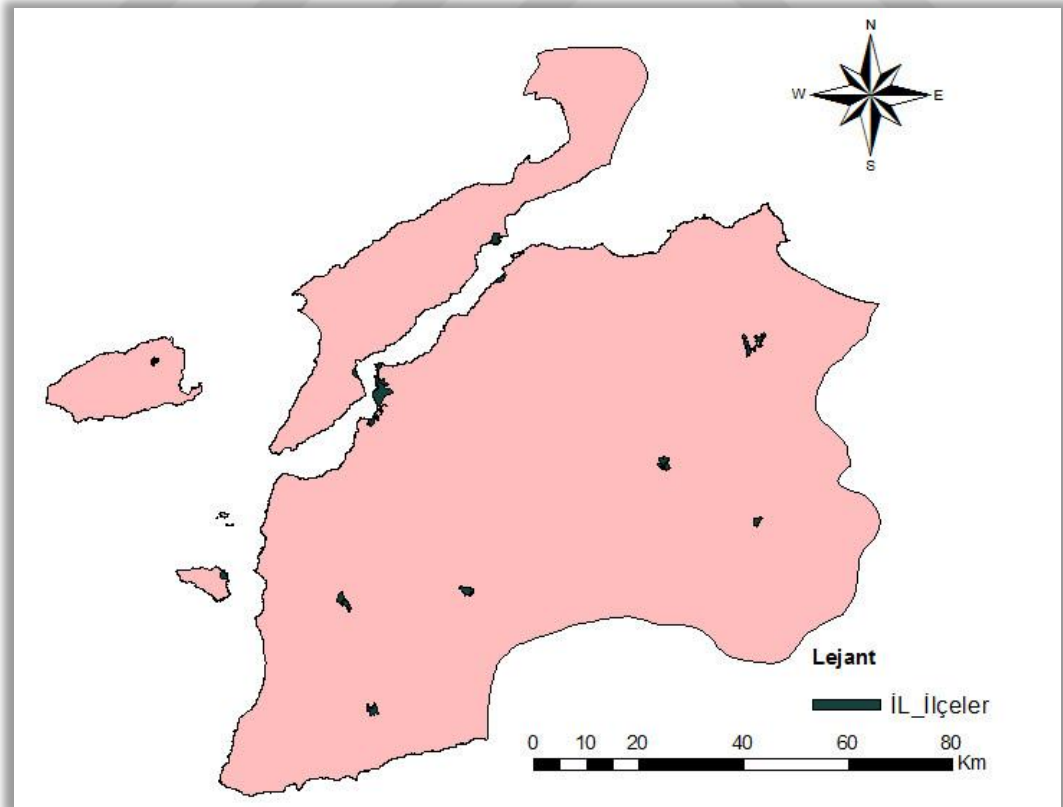
Şekil 3.10. Bölgenin akarsular haritası



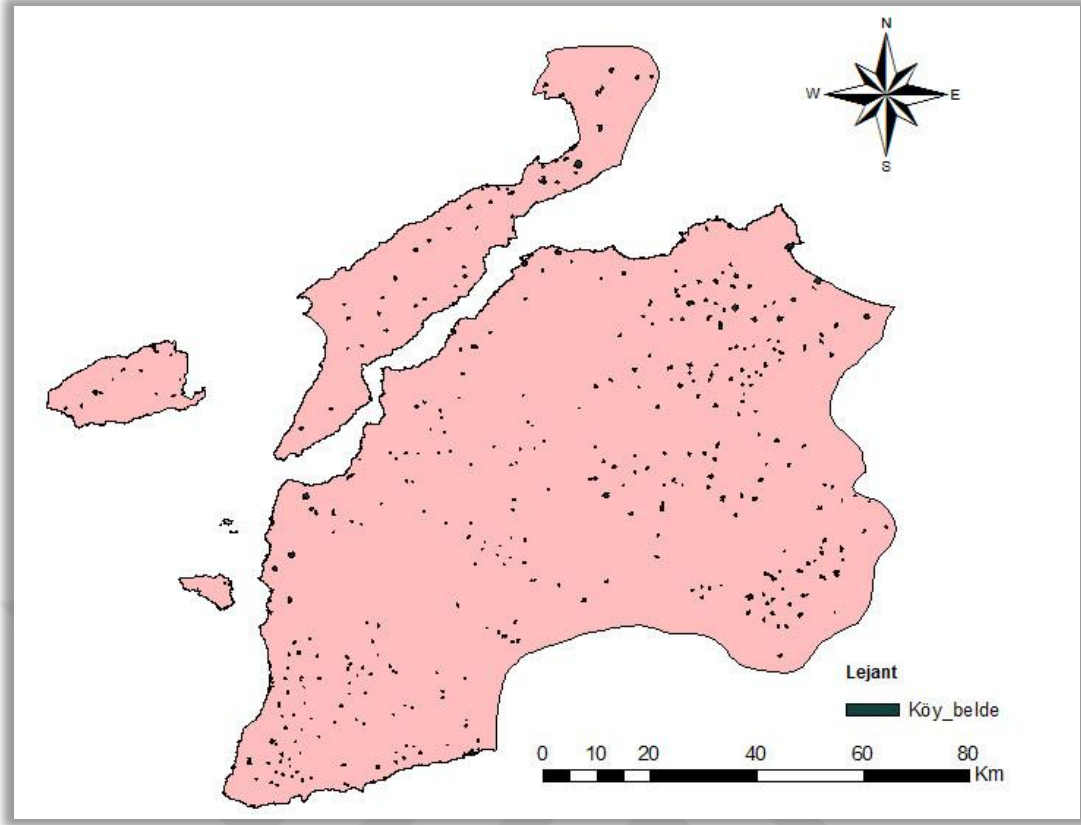
Şekil 3.11. Bölgenin göl ve barajlar haritası



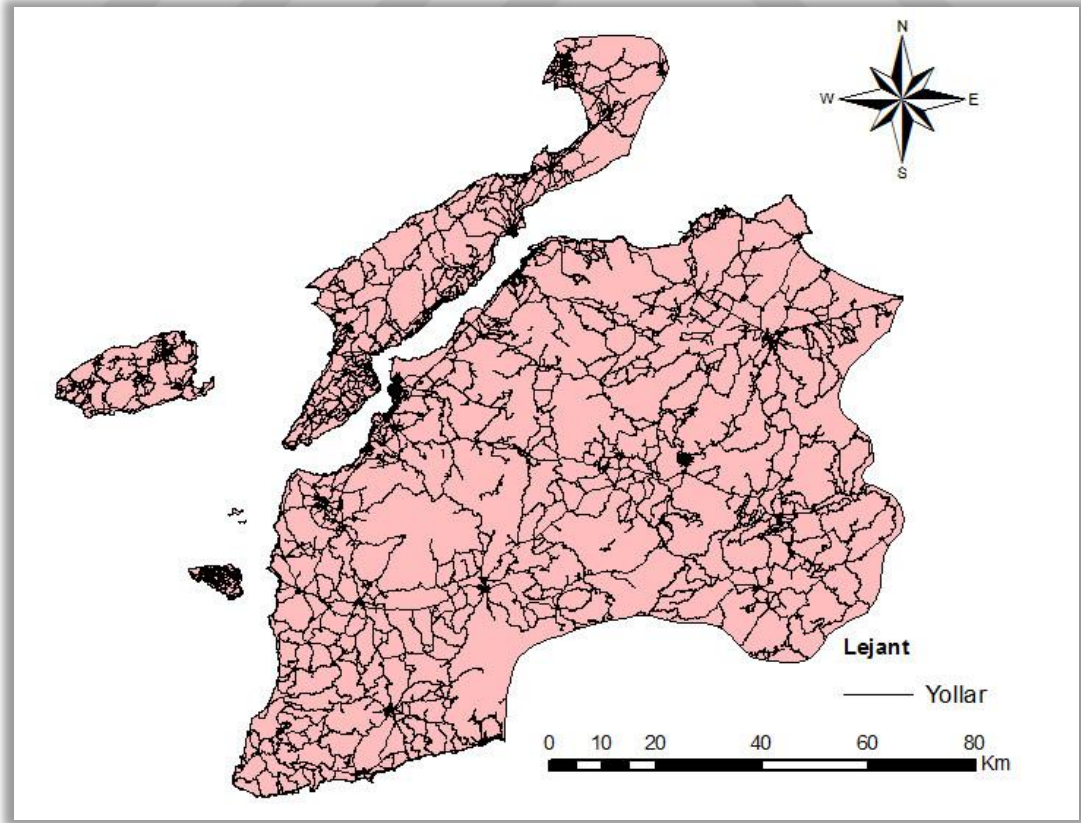
Şekil 3.12. Bölgenin ormanlık alanlar haritası



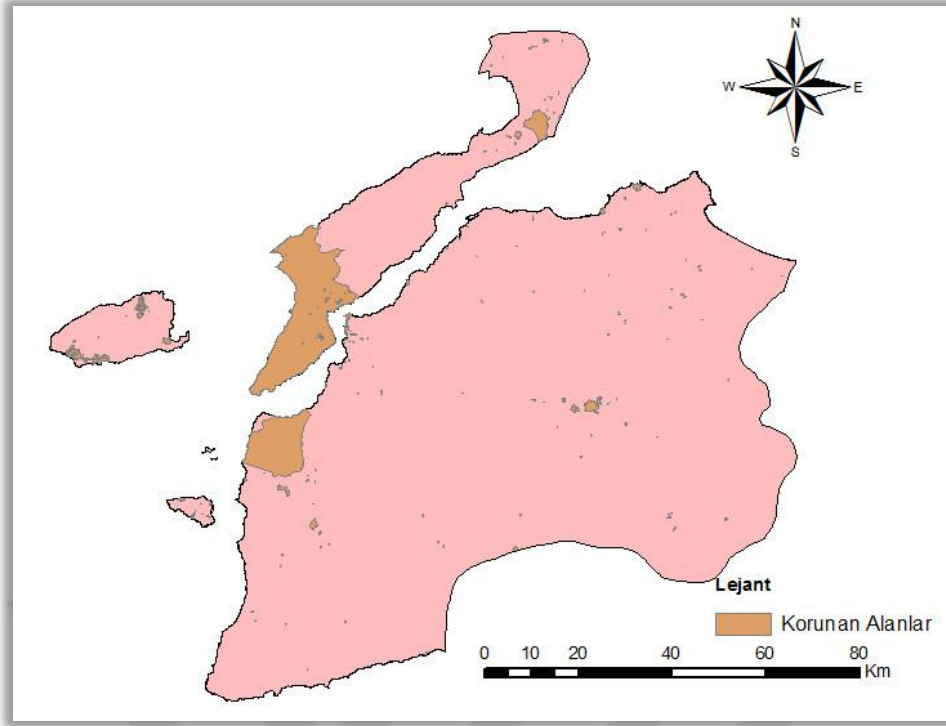
Şekil 3.13. Bölgedeki il ve ilçe yerleşim alanları haritası



Şekil 3.14. Bölgedeki kasaba ve köy yerleşim alanları haritası

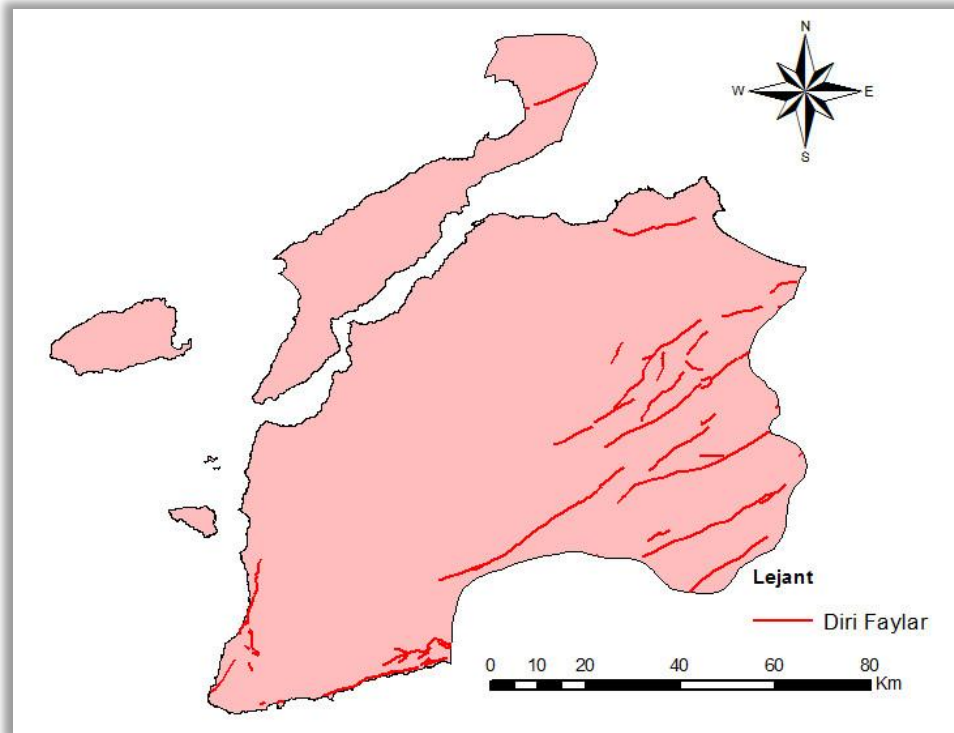


Şekil 3.15. Bölgenin karayolları haritası



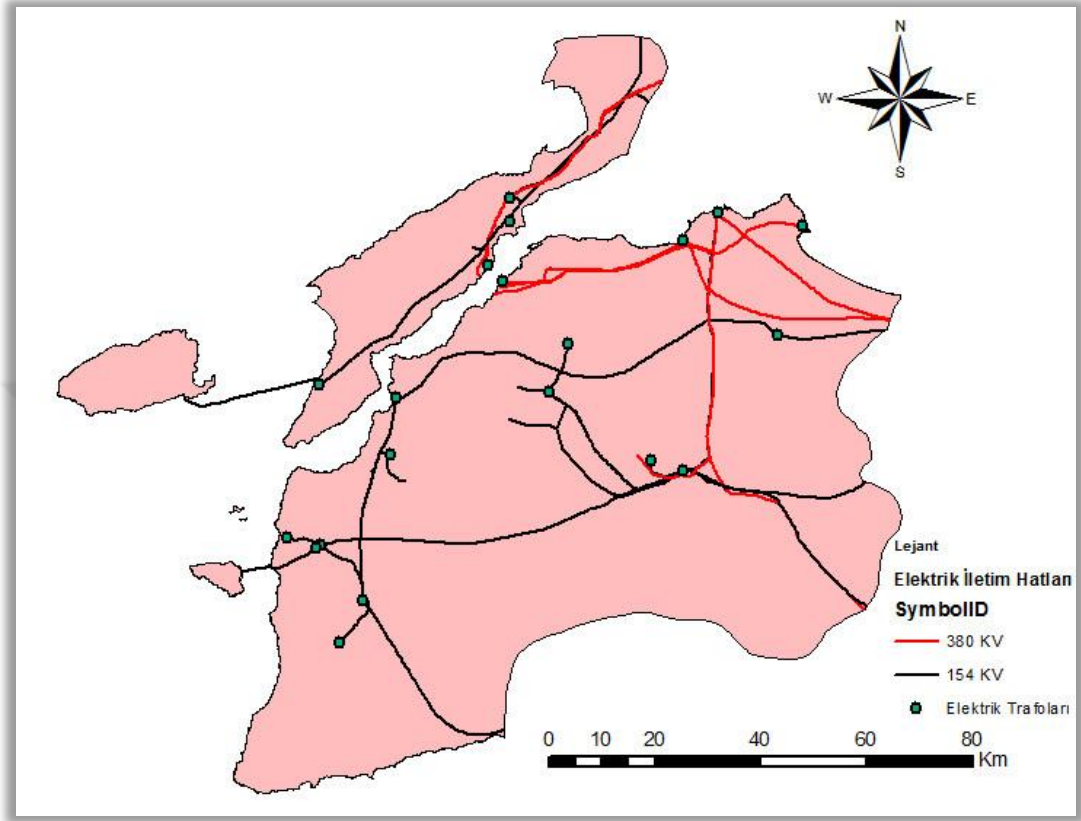
Şekil 3.16. Bölgedeki korunulan alanlar haritası

Fay hatları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün online uygulamasından yararlanılarak harita çizim editörü aracı ile elde edilmiştir. Arctoolbox > Conversion Tools > KML To Layer aracı ile de kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.17).



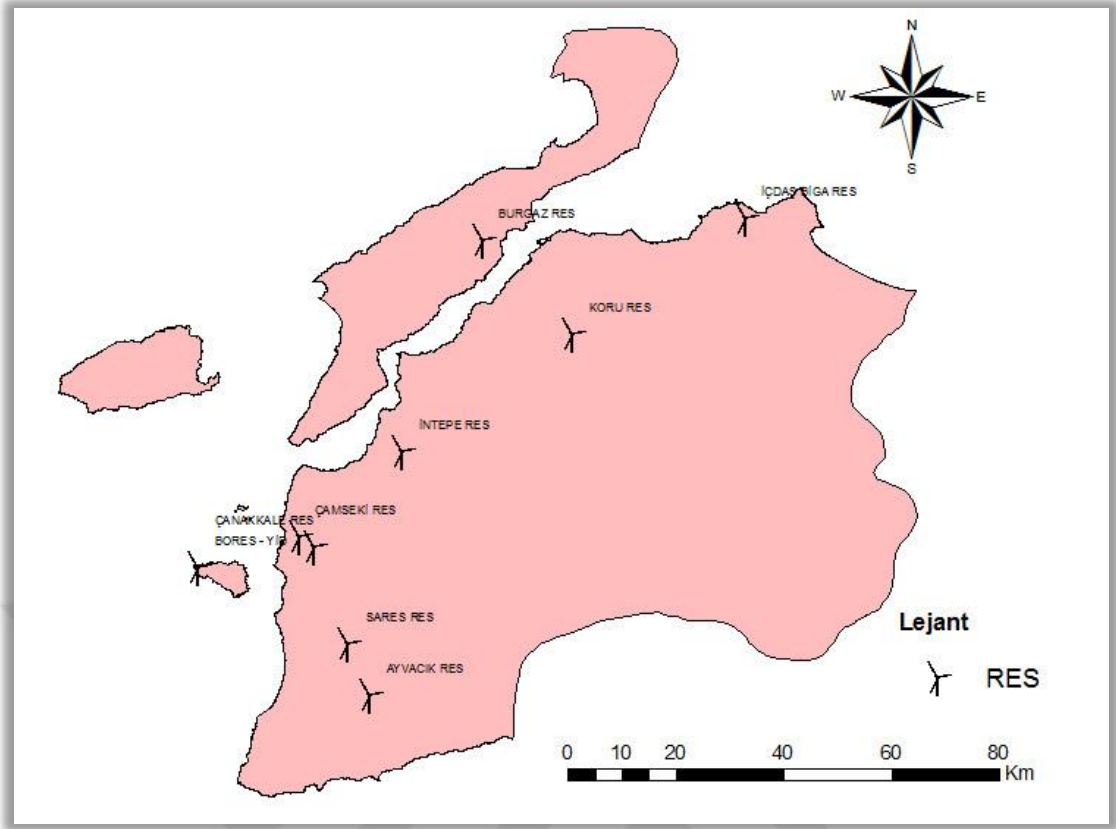
Şekil 3.17. Bölgenin diri fay hatları haritası

Elektrik İletim hatları ve elektrik trafoları katmanı Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) 2.Bölge Müdürlüğüyle yapılan görüşmeler sonucu temin edilmiş ve Arctoolbox > Conversion Tools > KML To Layer kullanıma hazır hale dönüştürülmüştür (Şekil 3.18).



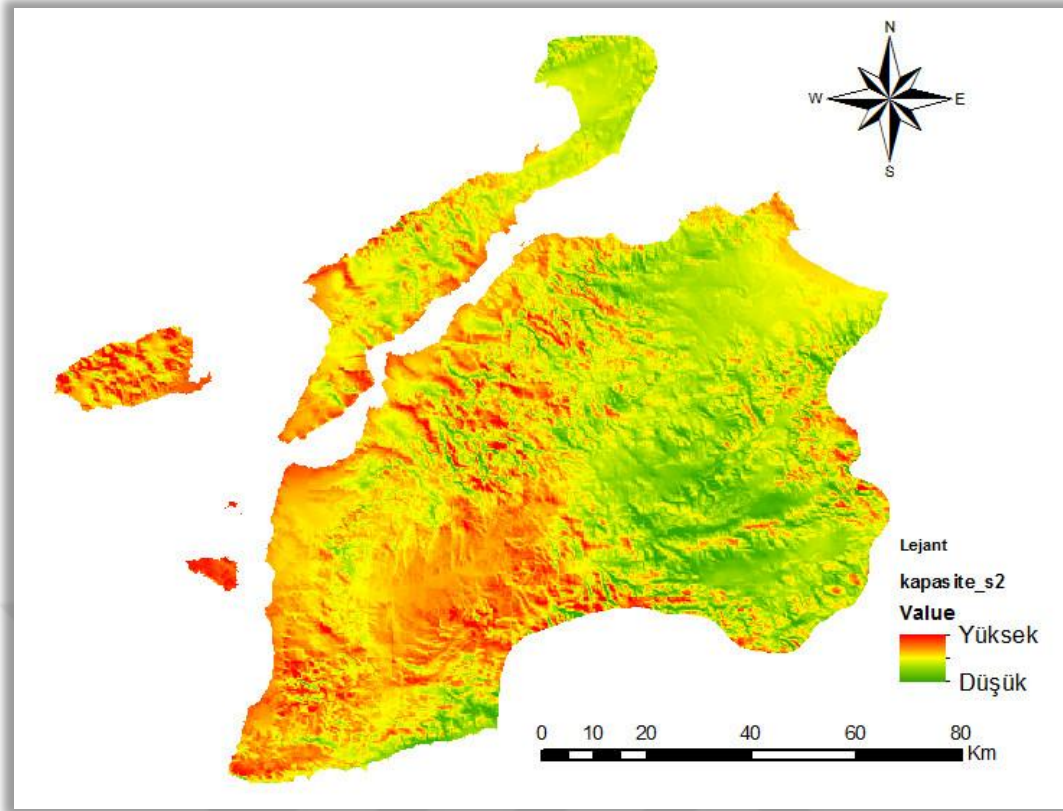
Şekil 3.18. Bölgedeki elektrik iletim hatları ve elektrik trafoları haritası

Bölgede mevcut durumda bulunan rüzgar enerji santrallerinin konumları Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün web sitesinden KML uzantılı indirilerek Arctoolbox > Conversion Tools > KML To Layer aracıyla ArcGIS programında kullanılabilir veri katmanına dönüştürülmüştür (Şekil 3.19).

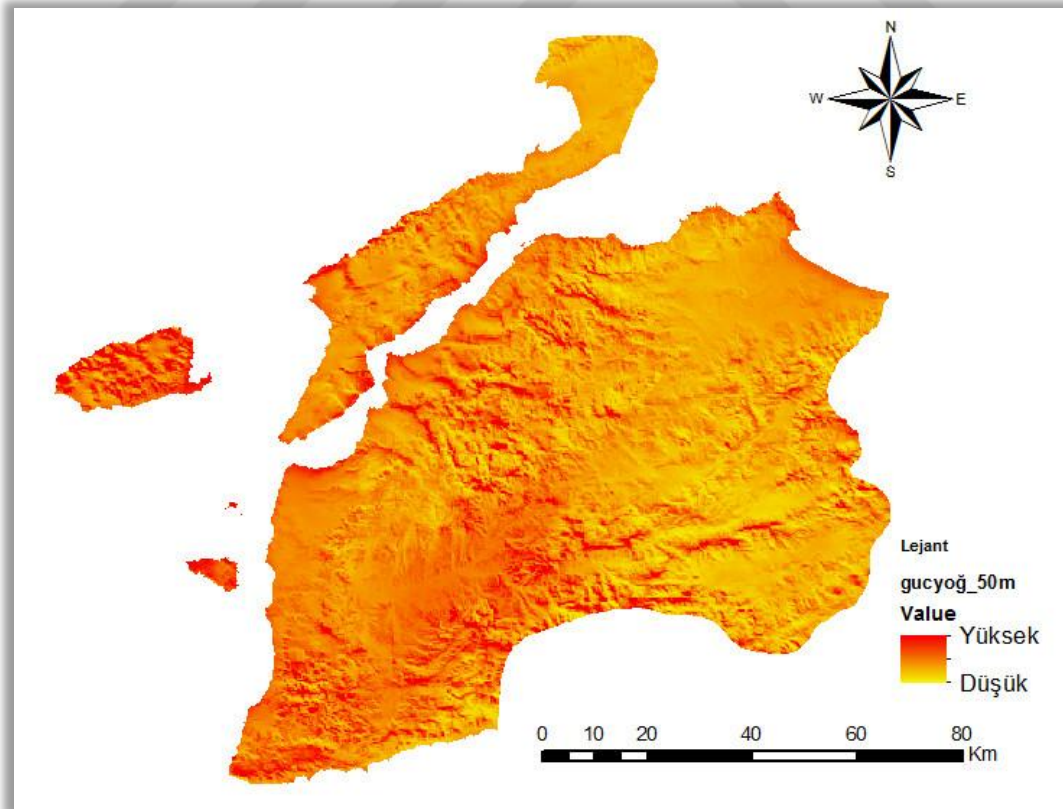


Şekil 3.19. Bölgedeki mevcut RES'ler haritası

Bölgenin 50, 100 ve 200 m irtifalarındaki rüzgar hızı (Şekil 3.22), yoğunluğu (Şekil 3.21) ve kapasite faktörü (Şekil 3.20) verileri raster formatta küresel çapta hizmet veren Global Wind Atlas web sitesinden indirilerek ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Clip aracıyla il sınırlarını kapsayacak şekilde kesilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.20. Bölgenin 100 m'deki kapasite faktörü haritası



Şekil 3.21. Bölgenin 50 m'deki rüzgar gücü yoğunluğu haritası

3.3.3. Rüzgar Enerji Santrali Kurulamayacak Alanların Elenmesi

Çalışmada türbinlerin yaratacağı olumsuzlukları en aza indirmek için yapılan çalışmalar incelenerek ele alınan kriter değerlendirmelerindeki en fazla alanı eleyen sınır değerleri kullanılmıştır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası(REPA)'nda kurulamayacak alanların yüzeysel şekilde belirlenmesinde aşağıdaki tabloda bulunan kriterler kullanılmıştır (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13. REPA'da kurulamayacak alanların belirlenmesinde kullanılan kriterler

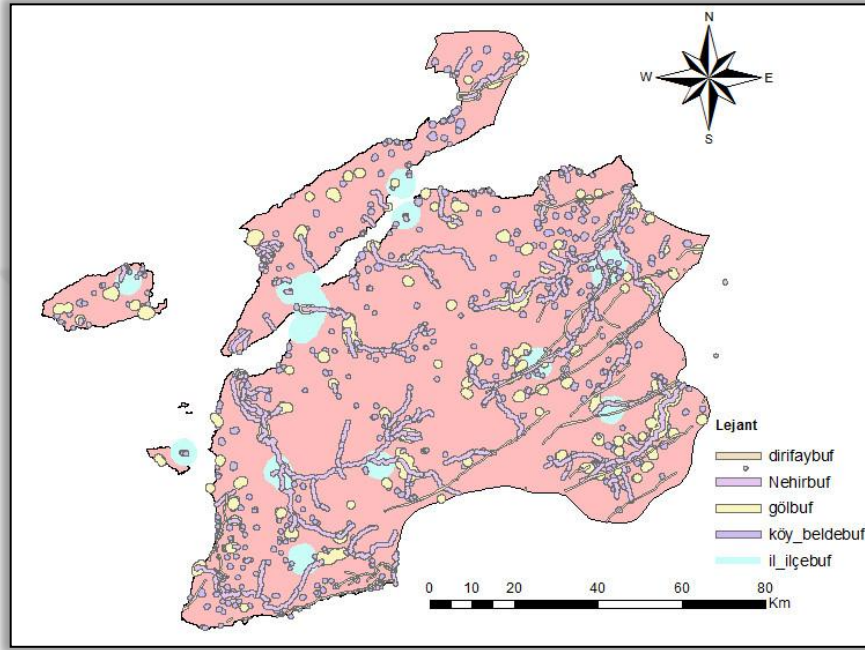
Kriter	Değerlendirme
Karayolları ve Demiryolları	>100 m
Havalimanları	>3000 m
Şehirsiz Alanlar	>500 m
Milli Parklar, Çevre Koruma ve Tabiat Alanları	>500 m
Arazi Eğimi	<%20
Rakım	<1500 m
Nehirler, Göller, Baraj Gölleri, Sulak Alanlar	Tampon Yok
Belirli Orman Tipine Sahip Alanlar	Tampon yok

Literatür tarama çalışması sonucu bu çalışmada kullanılan kriterler ve uygulanan tampon bölge değerleri ise Çizelge 3.14'te gösterilmiştir.

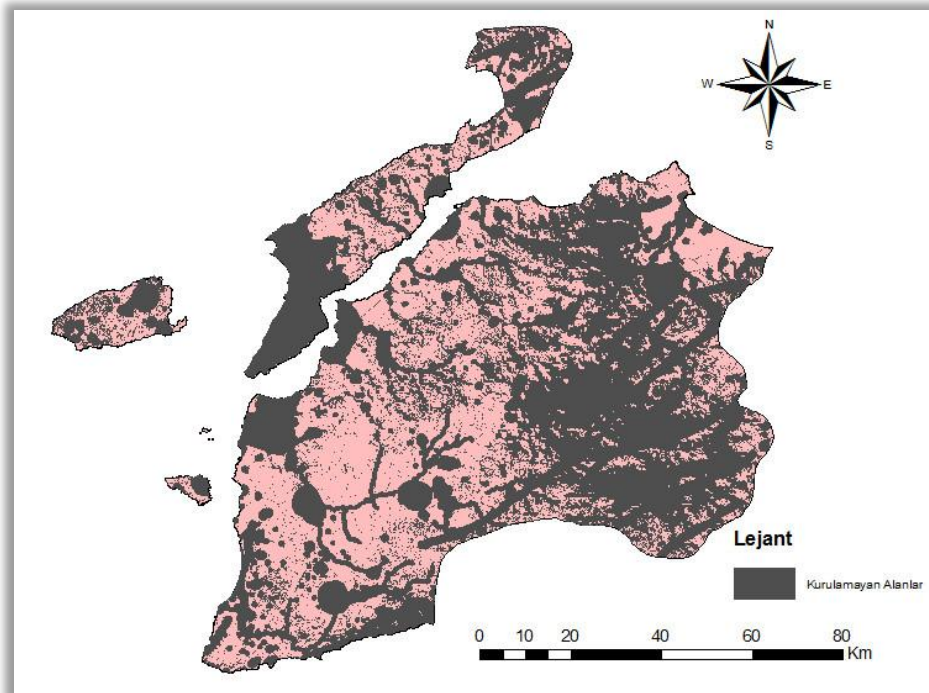
Çizelge 3.14. Çalışmada santral kurulamayacak alanların tespiti için kullanılan kriterler

Kriterler	Değerlendirme
Yerleşim Alanları (İl ve İlçe)	<2500 m
Yerleşim Alanları (Belde ve köy)	<1000 m
Milli Parklar ve Askeri Alanlar	Sadece Alanlar
Göller ve Barajlar	<1000 m
Akarsular	<500 m
Karayolları	<20 m
Fay Hatları	<1000 m
Ormanlık Alanlar	Sadece Alanlar
Eğim	>%20
Yükseklik	>1500 m
Kapasite Faktörü	<%50

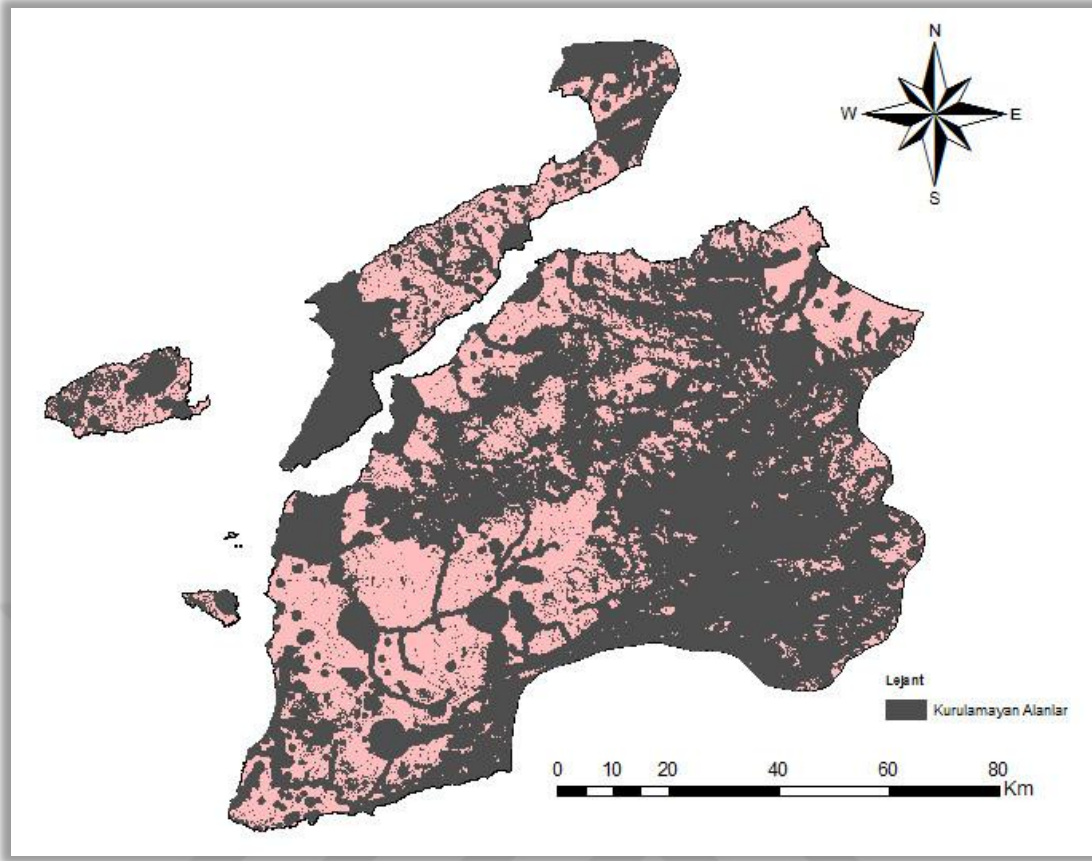
ArcMap 10.5 programı araçlarından Geoprocessing Toolbar > Buffer kullanılarak belirlenen kriterlere tampon bölgeler oluşturularak kurulum için uygun olmayan alanlar belirlenmiştir (Şekil 3.24). Ardından tüm kurulmayacak alanlar katmanlar ve tamponları Geoprocessing Toolbar > Merge aracıyla tek bir katmanda birleştirilerek bütün haline getirilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Fay, nehirler, göller ve yerleşim birimlerine uygulanan tampon işlemi



Şekil 3.25. Ormanlık bölgeler hariç kurulamayacak alanlar haritası



Şekil 3.26. Ormanlık bölgeler dahil kurulamayacak alanlar haritası

Çalışmada ormanlık alanların kurulamayacak alanlara dahil edilmesi ve edilmemesi sonucunda ortaya çıkan bulgular değerlendirilmek üzere ayrı ayrı oluşturulmuştur. Ormanların dahil edilmesi sonucunda yüzölçümü $6602,61 \text{ km}^2$ (Şekil 3.26) ve dahil edilmemesi sonucu $5786,42 \text{ km}^2$ (Şekil 3.25) rüzgar enerji santrali kurulamayacak alan tespit edilmiştir.

3.3.4. Uygun Alanların Belirlenmesi

Kurulamayacak alanlar belirlenmesinden sonraki aşama Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini kullanarak değerlendirmeye dahil olması planlanan kriterlerin sonuç haritasındaki etki oranının hesaplanması yapılmıştır. Kurulumları doğrudan etkileyebilecek teknik, ekonomik ve çevresel faktörler belirlenip ikili karşılaştırmalarda kullanılmak üzere analiz işlemine alınmıştır.

Kapasite faktörü: Bir rüzgar türbin kurulumu için seçilen alandaki en yüksek rüzgar hızına ve sürekliliğine sahip konumun seçilmesini sağlamak için çok dikkatli bir şekilde araştırma yapılmalıdır. Yer seçimi için en önemli kriter olarak görülmektedir.

Eğim: Artan eğim oranı ile birlikte santral için gerekli inşaat alanları daralmaktadır. Bununla birlikte eğimli arazilerde çalışma yapmak ekonomik açıdan da maliyetleri arttırmaktadır.

Fay hatlarına uzaklık: Diri fay hatlarından aday santral kurulum alanlarına olan mesafedir. Muhtemel depremlerin verebileceği yıkıcı zararlardan en az etkilenecek şekilde fay hatlarından uzak bölgeler seçilmelidir.

İletim hatlarına uzaklık: Rüzgar türbin santralleri aday alanları ile elektrik iletim hatları arasındaki mesafedir. Kurulacak santraller bölge üzerinde 154 ve 380 KV gibi güçlü elektrik iletim hatlarına yakın olacak şekilde seçilerek üretilen elektriğin nakli için gerekli maliyetler asgari seviyeye indirilmelidir.

Karayollarına uzaklık: Aday kurulum alanları ile en yakın karayolu arasındaki mesafedir. İnşaat ve bakımların kolayca yapılabilmesi için kullanılabilir karayollarına yakın alanlar seçilmelidir. Artan türbin büyüklükleri ile alanlara ulaşım için maliyetlerin artacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Yerleşim alanlarına uzaklık: Aday kurulum alanlarıyla yerleşim birimleri arasındaki mesafedir. En önemli etken olarak türbinlerin üretim aşamasında çıkardığı rüzgar sesinin engellenmesi amacıyla türbinlerin belli bir uzaklıktan itibaren kurulabilir olması ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olduğu iddiaları sebebiyle yerleşim alanlarından mümkün mertebe en uzağa kurulabileceği alanların seçimine dikkat edilmelidir. Ayrıca yerleşim birimlerine yakın bölgelerde arazi maliyetleri de yüksektir (Şimşek, 2014).

3.3.4.1. AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin birbirine göre durumları önem derecesi tablosuna göre her düzeyde kendi aralarında karşılaştırılmak için 1 ile 9 arasında puanlama yapılmıştır. Kriterlerin üstünlük dereceleri Şimşek (2014)'in ve diğer benzer çalışmalarda kullanılan önem derecelerinin incelenmesiyle oluşturulmuştur. Normalizasyon işlemi için karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları toplamı program yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. Kriterlerin derecelendirilmesi

	KAPASİTE FAKTÖRÜ	EĞİM	FAY HAT UZAKLIK	İLETİM HAT UZAKLIK	KARAYOLUNA UZAKLIK	YERLEŞİM AL. UZAKLIK
A Matrisi						
KAPASİTE FAKTÖRÜ	1	5	9	4	5	7
EĞİM	1/5	1	5	1/5	1	2
FAY HAT UZAKLIK	1/9	1/5	1	1/7	1/5	1/2
İLETİM HAT UZAKLIK	1/4	5	7	1	3	5
KARAYOLUNA UZAKLIK	1/5	1	5	1/3	1	3
YERLEŞİM AL. UZAKLIK	1/7	1/2	2	1/5	1/3	1
	1.90	12.70	29.00	5.88	10.53	18.50

Karşılaştırma matrisinde elde edilen her sütunda bulunan değerler sütunların toplam değerlerine bölünerek normalizasyon matrisi oluşturulur. Öncelikler Vektörünün oluşturulması için normalizasyon matrisinin satır elemanlarının ortalamaları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.16. Normalizasyon matrisi

Sütun Toplamı 1 olan A Matrisi	KAPASİTE FAKTÖRÜ	EĞİM	FAY HAT UZAKLIK	İLETİM HAT UZAKLIK	KARAYOLUNA UZAKLIK	YERLEŞİM AL. UZAKLIK	ORTALAMA
KAPASİTE FAKTÖRÜ	0,53	0,39	0,31	0,68	0,48	0,38	0,46
EĞİM	0,11	0,08	0,17	0,03	0,10	0,11	0,10
FAY HAT UZAKLIK	0,06	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
İLETİM HAT UZAKLIK	0,13	0,39	0,24	0,17	0,29	0,27	0,25
KARAYOLUNA UZAKLIK	0,11	0,08	0,17	0,06	0,10	0,16	0,11
YERLEŞİM ALANLARINA UZAKLIK	0,08	0,04	0,07	0,03	0,03	0,05	0,05

Kriter ağırlıklarını oluşturmak için normalizasyon matrisi satır ortalamaları ile ilk olarak oluşturulan karşılaştırma matrisi değerleri matris çarpımı şeklinde çarpılmış ve ağırlıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 3.17. Kriter ağırlıkları

Ağırlıklar (W)	D MATRİSİ (AxW)	E MATRİSİ (Di/Wi)
0,461	3,13	6,796
0,099	0,60	6,093
0,030	0,18	6,166
0,249	1,65	6,655
0,112	0,69	6,145
0,051	0,31	6,183

Analitik Hiyerarşi Prosesiyle katmanların birbirleriyle olan ikili karşılaştırmalarına dayalı biçimde analizde kullanılacak ağırlıklar; kapasite faktörü %46, elektrik iletim hatlarına uzaklık %25, karayollarına uzaklık %11, eğim faktörü %10, yerleşim alanlarına uzaklık %5 ve fay hatlarına olan uzaklık %3 olmak üzere (Çizelge 3.17) hesaplanmıştır.

Çizelge 3.18. Tutarlılık oranı

ORTALAMA	CI	RI	CR
6,33962369	0,067925	1,24	0,0548

Karar vericinin kriterlerin birbirine göre derecelerini belirleme işleminin denetimi Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanarak kontrol edilmiş ve tutarlılık oranı %5 sonucuna (Çizelge 3.18) ulaşılmıştır. Analitik Hiyerarşi yöntemine göre %10'un altında kalan oranlar tutarlıdır.

3.3.4.2. Mekansal Analiz ile Yer Seçimi

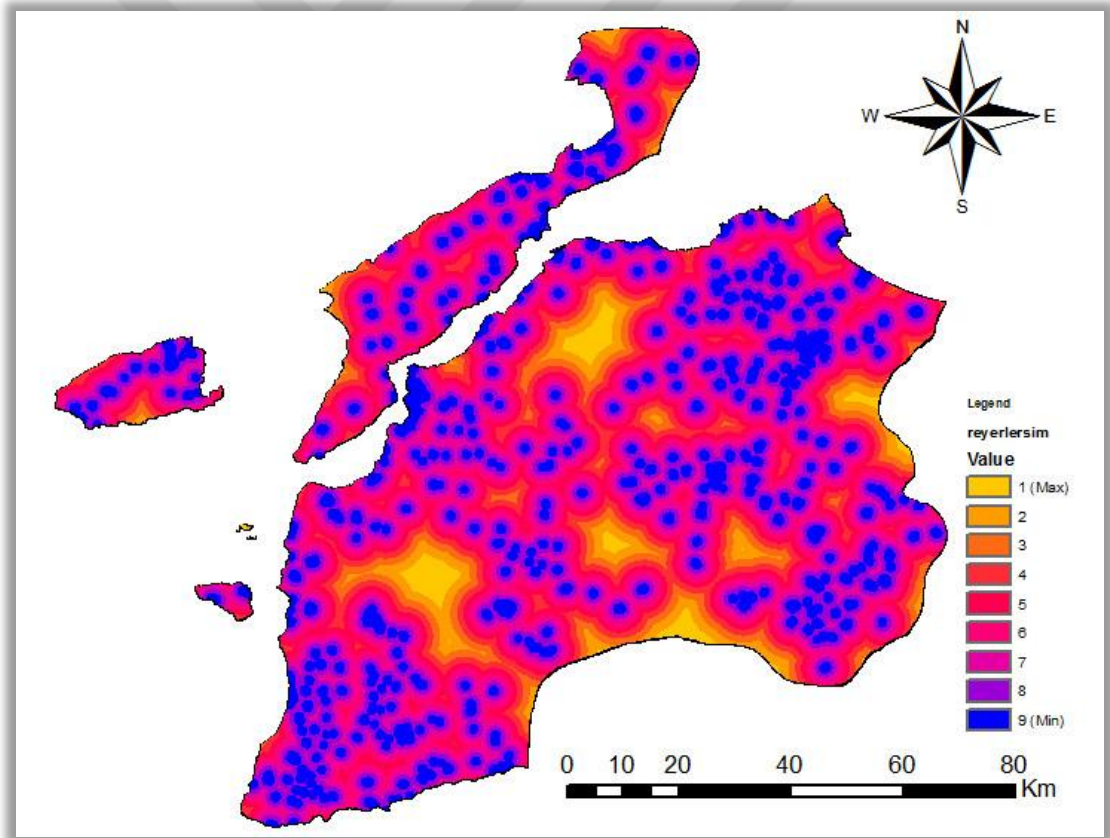
Literatür araştırması sonucunda analiz için kullanılacak katmanlar belirlenmiş ve AHP yöntemiyle ağırlıklarının tespiti önceki kısımda yapılmıştır.

Yerleşim alanları, diri fay hatları, karayolları, enerji nakil hatları katmanlarının uzaklığa veya yakınlığa göre (elektrik nakil hatlarından ve karayollarından uzaklaştıkça azalan, yerleşim birimlerinden ve diri fay hatlarından uzaklaştıkça artan şekilde) puanlama yapılarak ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Distance aracı ile

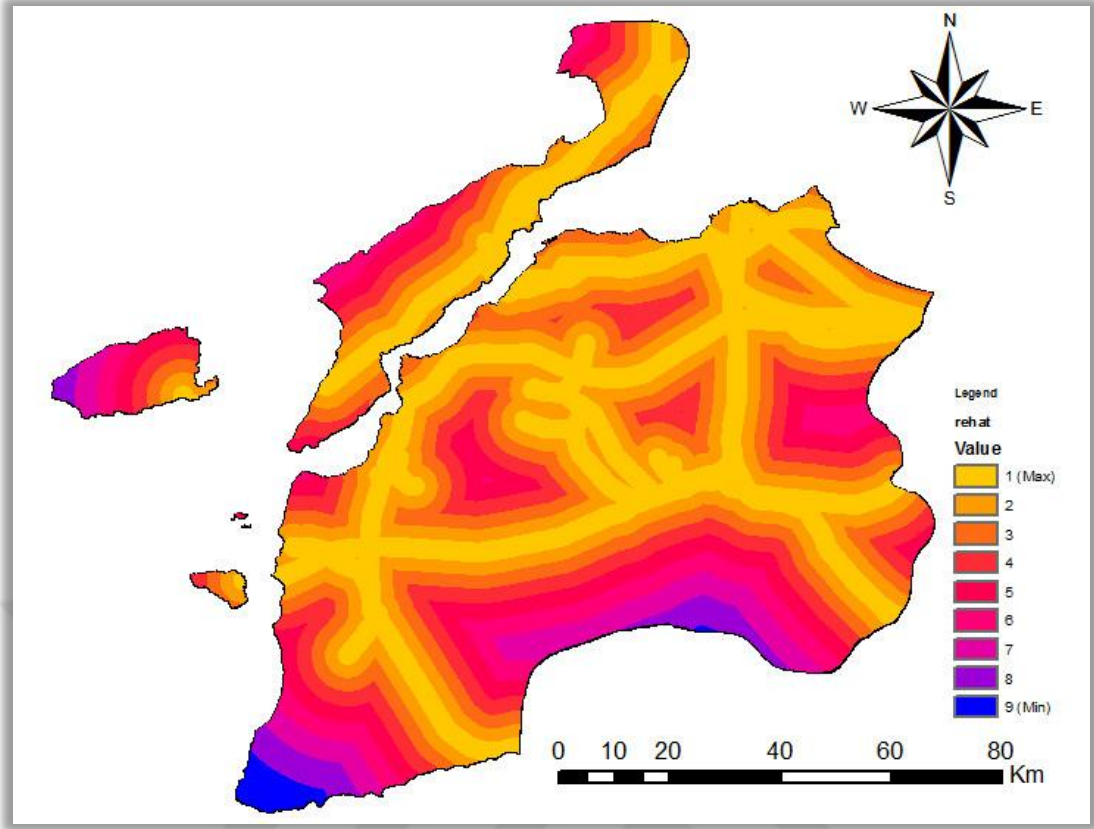
yerleşim alanlarından 500 m (Şekil 3.27), diri fay hatlarından 1000 m (Şekil 3.30), elektrik iletim hatlarından 1000 m (Şekil 3.28) ve karayollarından 250 m (Şekil 3.29) aralıklarla artacak şekilde raster veri tipinde uzaklığa dayalı puanlandırma haritaları oluşturulmuştur.

Puanlandırma işlemi tamamlanan katman çıktılarına ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify aracıyla yeniden sınıflandırma işlemi yapılarak yerleşim birimleri ve diri fay hatları puan değerleri uzaklaştıkça artacak şekilde tersine çevrilmiş, elektrik nakil hatları ve karayolları puan değerleri ise bu katmanlardan uzaklaşıldığında azalacak şekilde elde edildiği için müdahale edilmemiştir. Ayrıca eğim ve kapasite katmanlarında eğim derecesi arttığında atanan puan değeri azalacak (Şekil 3.32) ve kapasite oranı arttığında atanan puan değeri artacak biçimde (Şekil 3.31) düzenlenmiştir.

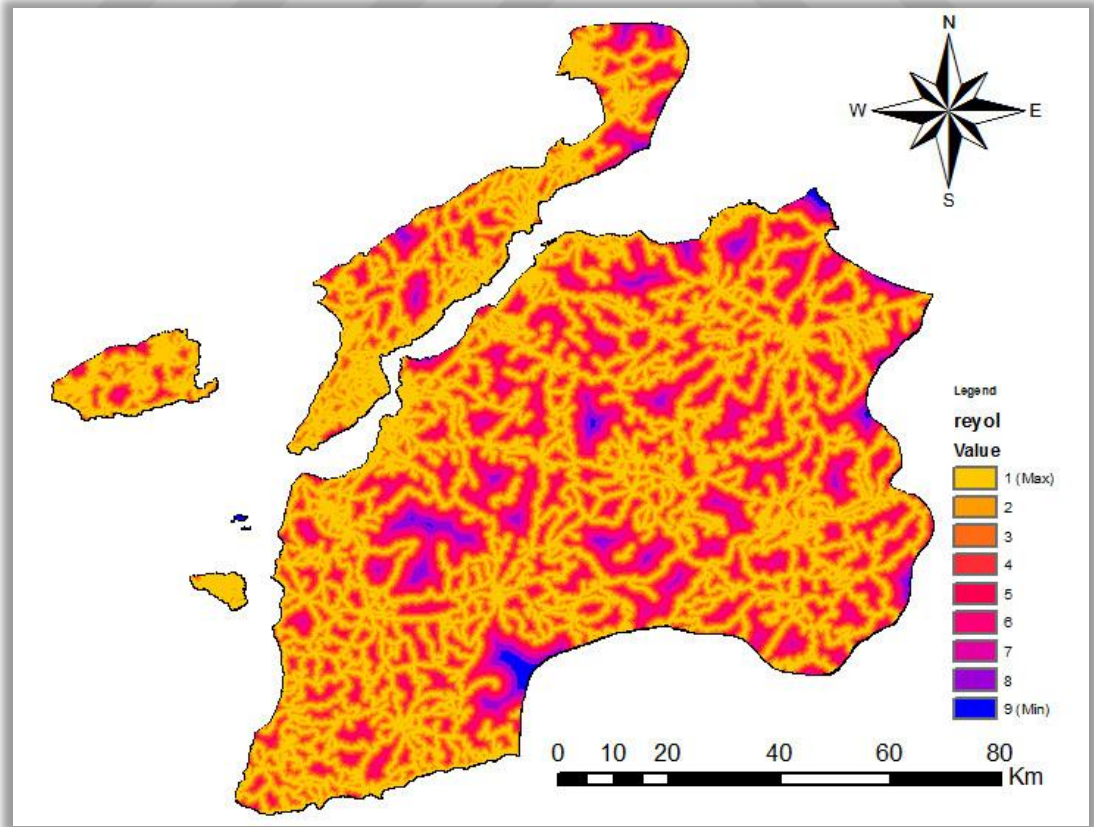
Çıktı haritalar ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask aracıyla Çanakkale İl sınırları içini kapsayacak şekilde kesilerek düzenlenmiştir.



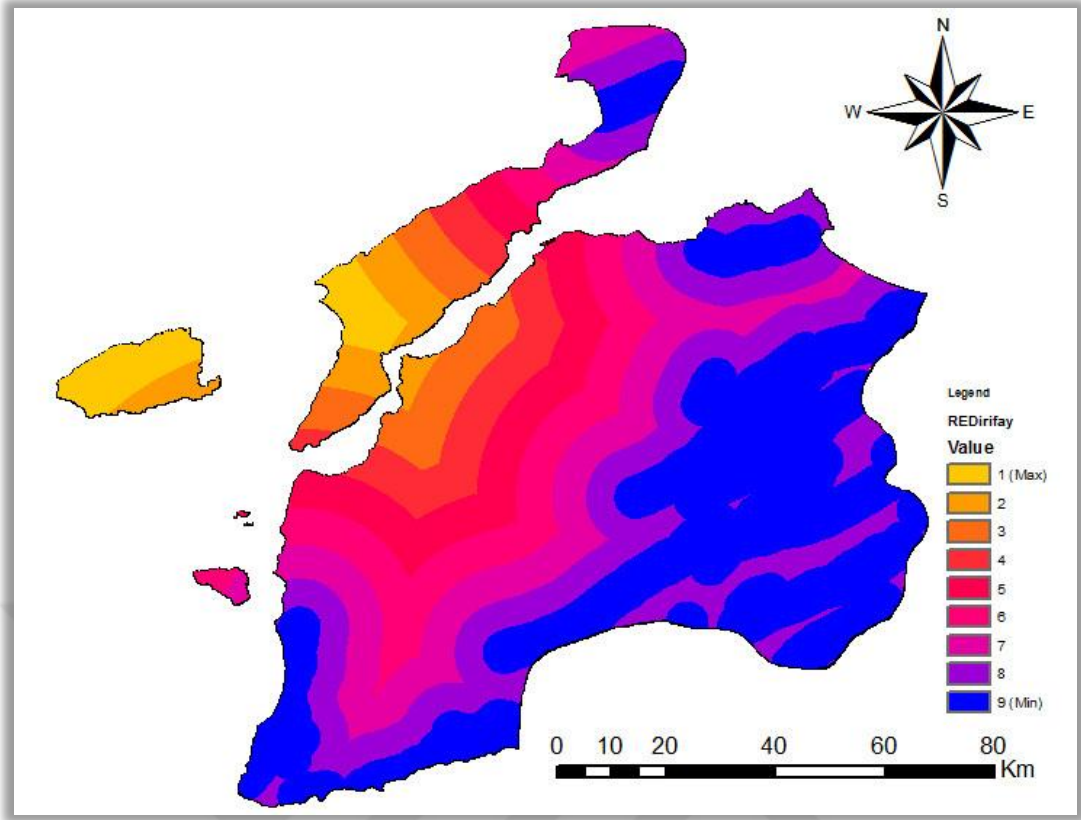
Şekil 3.27. Yerleşim alanları uzaklık puanlama



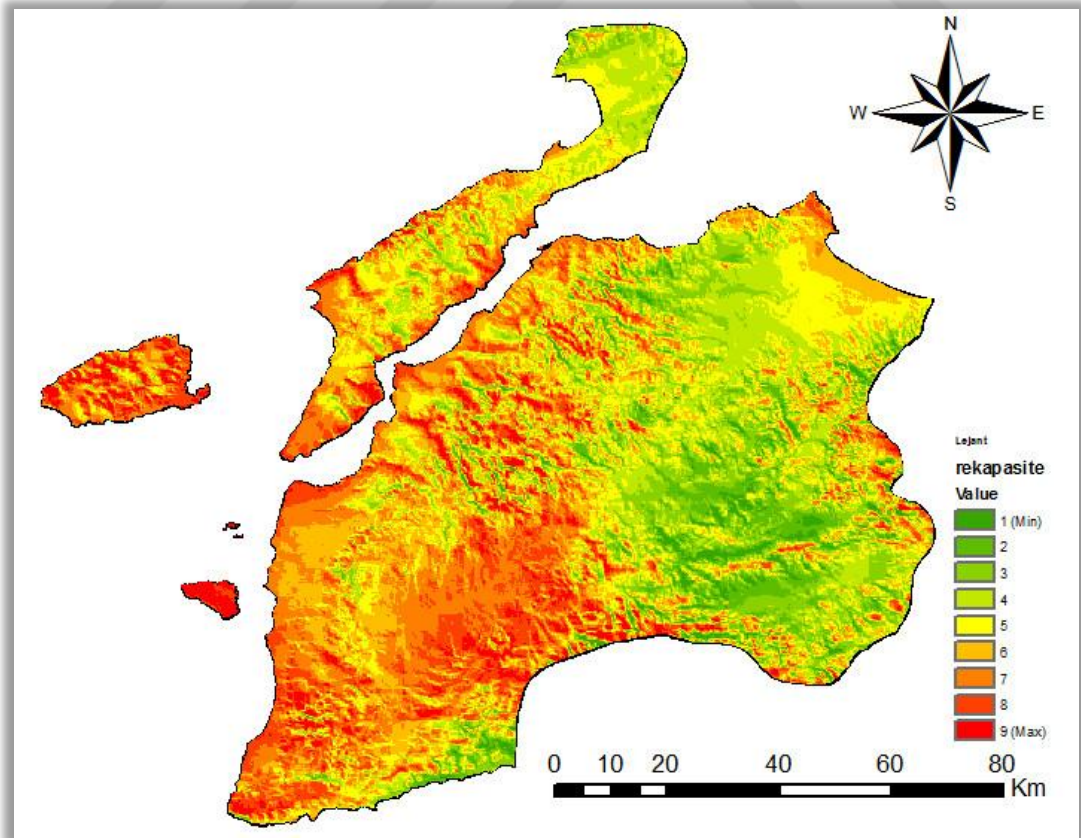
Şekil 3.28. Elektrik iletim hatları uzaklık puanlama



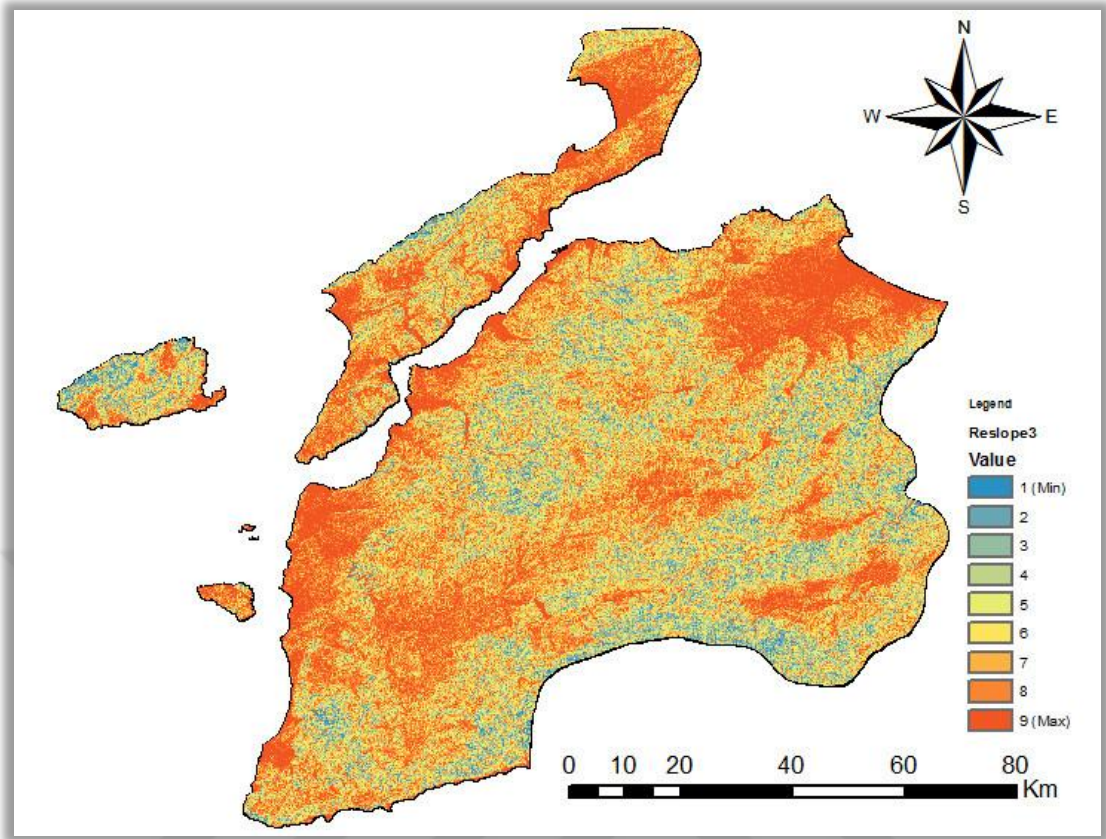
Şekil 3.29. Karayolları uzaklık puanlama



Şekil 3.30. Diri fay hatları uzaklık puanlama



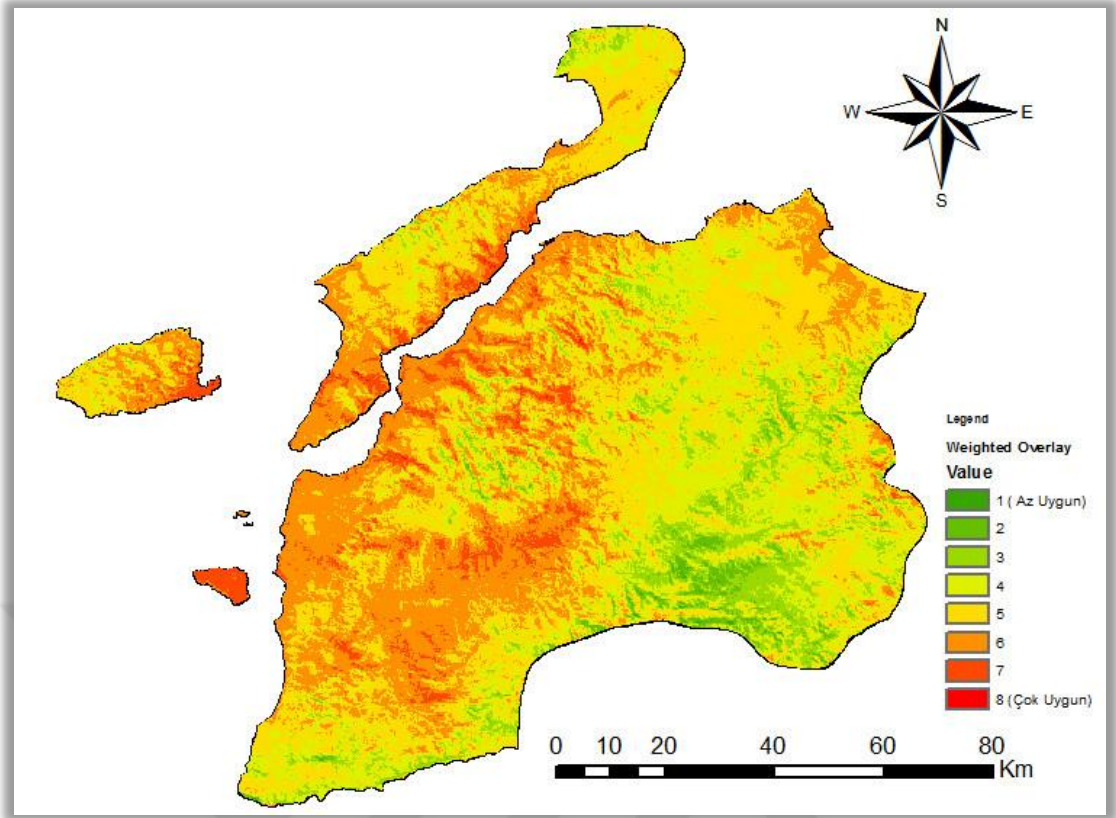
Şekil 3.31. Rüzgar kapasite faktörü puanlama



Şekil 3.32. Eğim puanlama

Elde edilen raster puan haritaların ağırlıklına göre çakıştırılarak sonuç haritasını oluşturma işlemi ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Overlay > Weighted Overlay aracıyla yapılmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesiyle katmanların birbirleriyle olan ikili karşılaştırmalarına dayalı biçimde analizde kullanılacak ağırlıklar; kapasite faktörü %46, elektrik iletim hatlarına uzaklık %25, karayollarına uzaklık %11, eğim faktörü %10, yerleşim alanlarına uzaklık %5 ve fay hatlarına olan uzaklık %3 olmak üzere hesaplanmıştır. Kriterlerin analize etkisini belirlemek amacıyla Weighted Overlay aracında katmanların bu ağırlıkları hesaba katılarak sonuç haritası (Şekil 3.33) oluşturulmuştur.

Önceki bölümde oluşturulan santral kurulumu için uygun olmayan alanlar haritası da eklenerek nihai sonuç haritası edilmiştir.



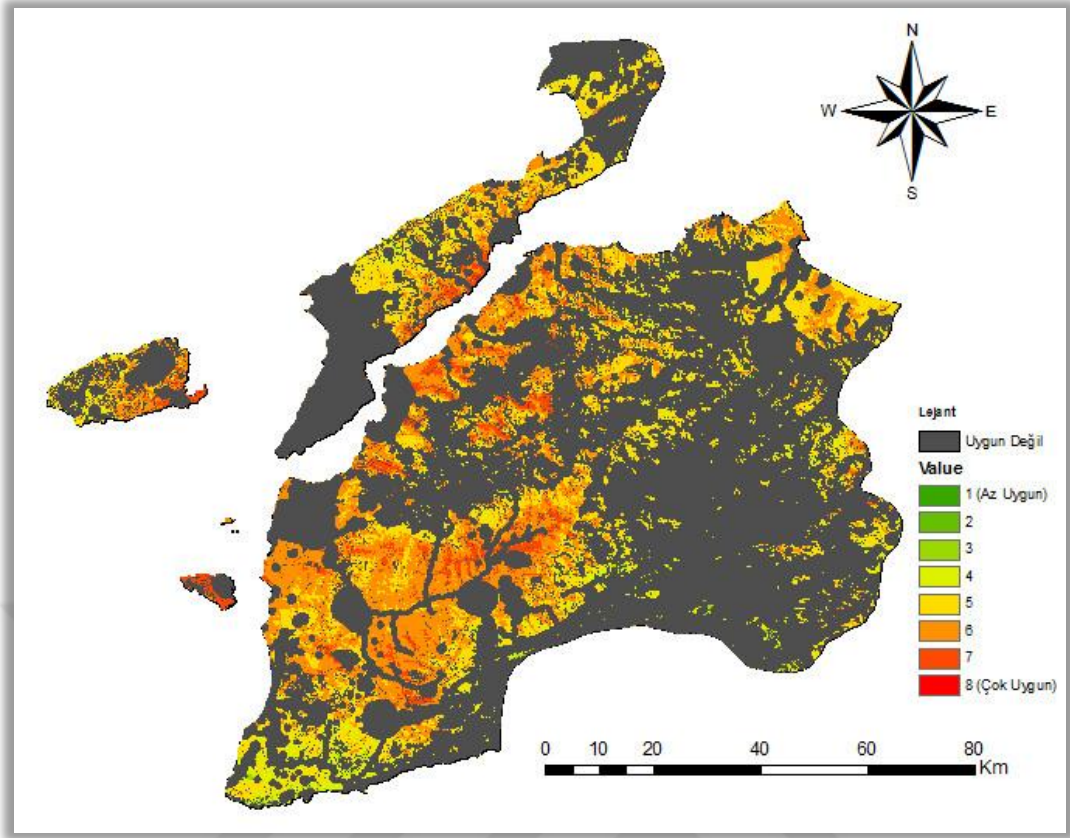
Şekil 3.33. Ağırlıklı analiz haritası

Ağırlıklı analiz sonucu oluşturulan bu haritaya(Şekil 3.33) göre bölgenin Güneydoğusunda bulunan Yenice İlçesinin büyük kısmı, Çan İlçesinin güney ve doğu kısımları ile Biga İlçesinin güney kısmında kalan koridor haricinde bölgenin büyük bir bölümünde kurulum potansiyeli orta ve yüksek gözükmektedir.

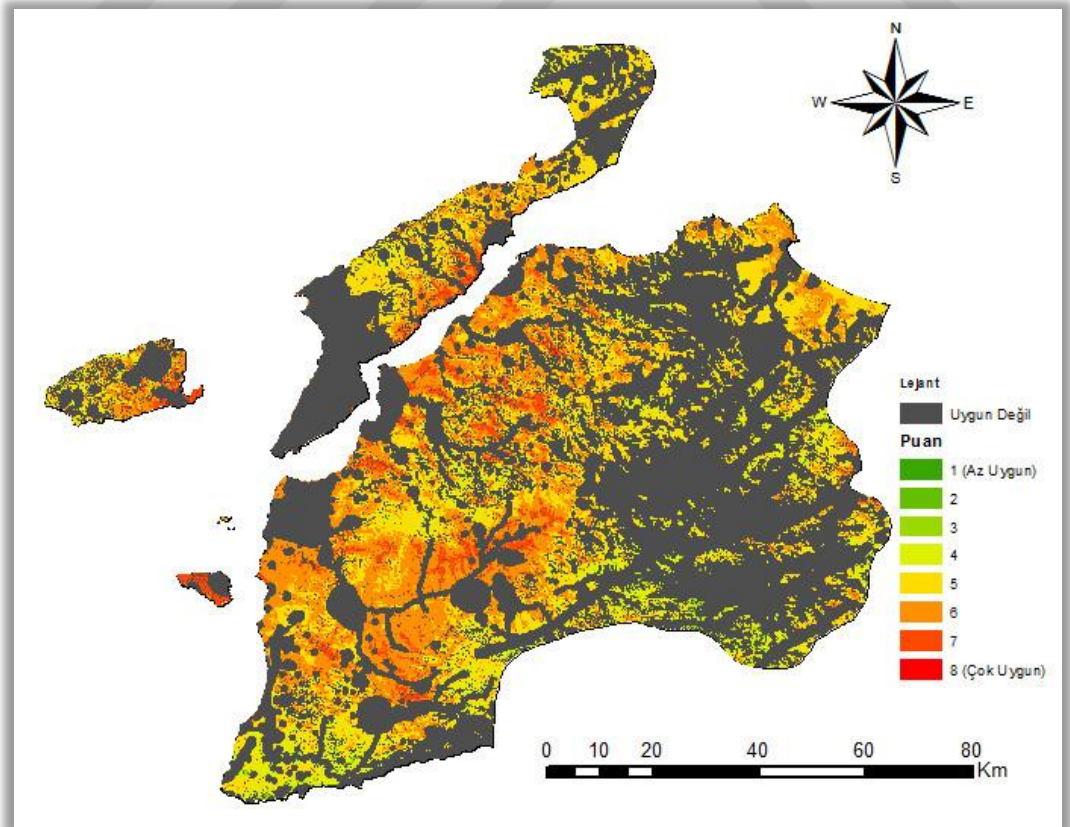
Çizelge 3.19. Ağırlıklı analiz haritasına göre alanların puan-yüzde ilişkisi

Puan	Km ²	Yüzde %
1	6,13	0,06
2	149,33	1,52
3	789,59	8,04
4	2113,93	21,53
5	3532,97	35,99
6	2754,25	28,06
7	467,56	4,76
8	3,24	0,03
Toplam	9817,00	100,00

Önceki aşamada belirlenen kurulamayacak alanların çıkarılmasıyla nihai sonuç haritalarına (Şekil 3.34 ve Şekil 3.35) ulaşılmıştır.



Şekil 3.34. Nihai sonuç haritası (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde)



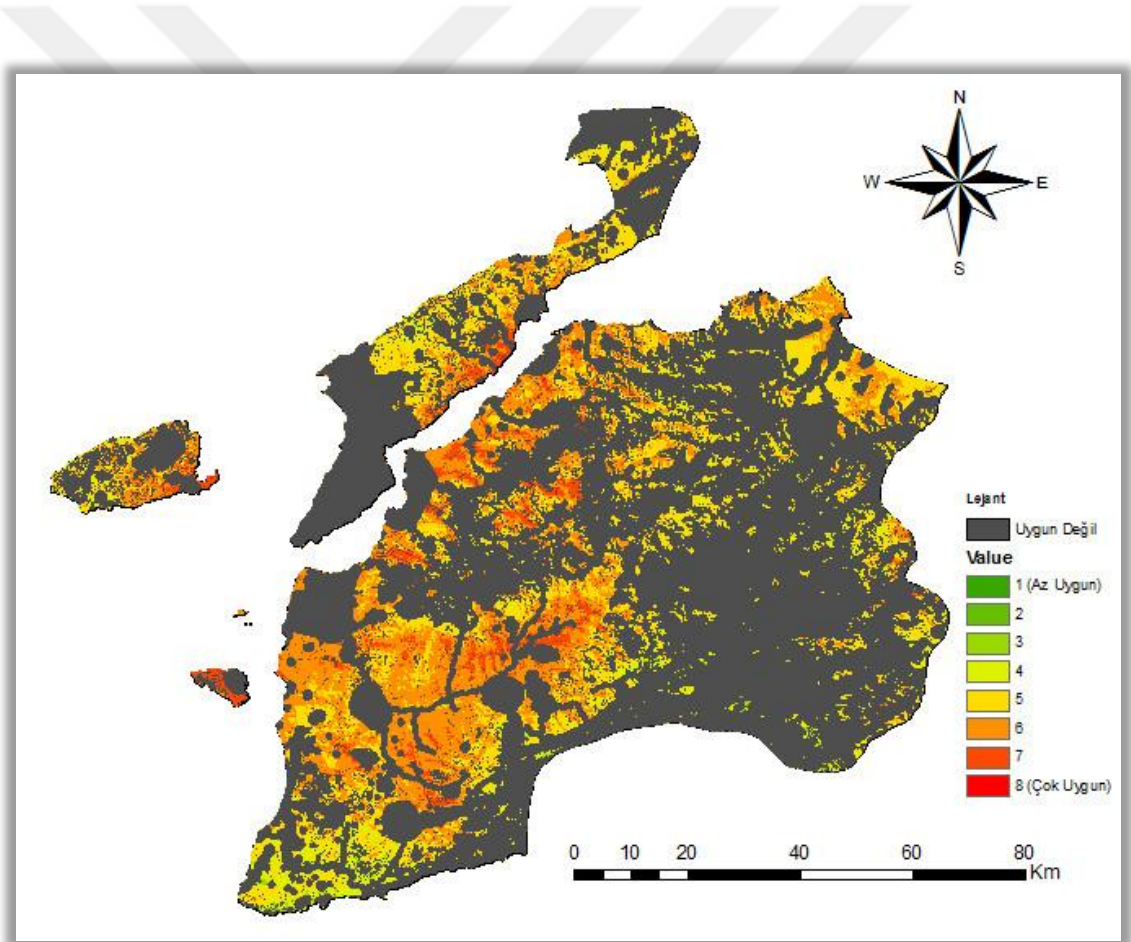
Şekil 3.35. Nihai sonuç haritası (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde)

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sonuç Haritalarının Değerlendirilmesi

Nihai sonuç haritasına göre kurulamayan alanlar çıkarıldığında bölgenin genellikle orta ve batı kesimleri kurulum için en uygun alanları barındırmaktadır. Özellikle Ezine, Ayvacık ve Bayramiç İlçelerinde kurulum için uygun alanlar bir hayli fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Gelibolu Yarımadasının orta kesimleri ile Biga İlçesinin Kuzeydoğusunda kalan denize yakın kesimlerde uygun alanlar mevcuttur. Gökçeada ve Bozcaada İlçelerinin de potansiyelinin yüksek olduğu fakat bu bölgelerin ulaşımdaki zorluklar nedeniyle fazla yatırım alamadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Nihai sonuç haritası (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde)

Ağırlıklı analiz sonucu elde edilen puanlandırılmış haritadan kurulamayacak alanlar çıkarılmış ve kalan uygun alanlar değerlendirilmiştir. Bu alanların %83,35'lik kısmını 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun bölgeler minimum seviyede olup oran %1'in altındadır. 4 ve 7 puanlı bölgelerin oranları

yaklaşık %8'dir. 1 ile 4 arasında puan alan bölgelerin oranı %8,56 ve 5 ile 8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise %91,44'tür (Çizelge 4.1).

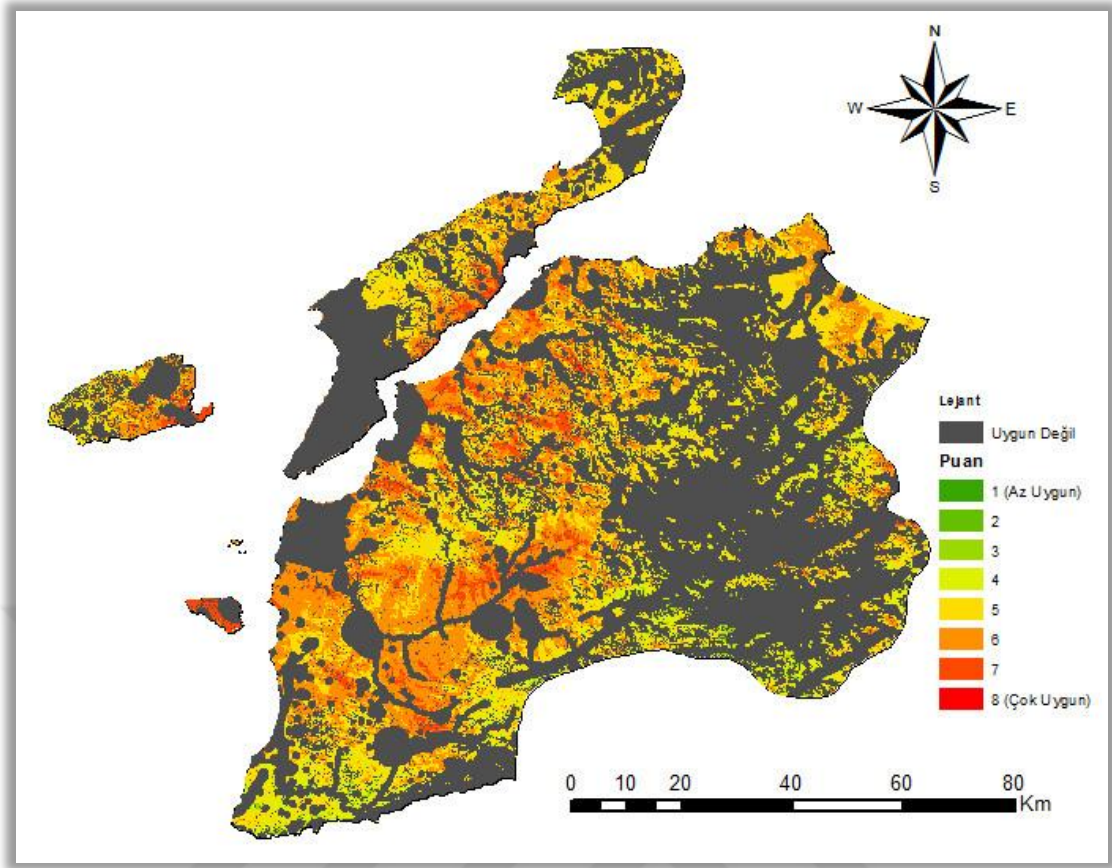
Çizelge 4.1. Uygun alanların puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar hariç)

Puan	Km ²	Yüzde %
1 (Az Uygun)	0,0004	0,00
2	0,1655	0,01
3	18,3123	0,57
4	256,5469	7,98
5	1287,3614	40,05
6	1391,9435	43,30
7	258,7397	8,05
8 (Çok Uygun)	1,3206	0,04
Toplam	3214,3902	100,00

Ormanların dahil olduğu kurulamayacak alanların incelemesi yapıldığında 1 ile 4 aralığındaki puana sahip bölgelerin toplam oranı %42,16 ve 5 ile 8 aralığında puan alan bölgelerin toplam oranı ise %57,84 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Kurulamayacak alanlarda puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar dahil)

Puan	Km ²	Yüzde %
1 (Az Uygun)	6,13	0,09
2	149,16	2,26
3	771,28	11,68
4	1857,38	28,13
5	2245,60	34,01
6	1362,31	20,63
7	208,83	3,16
8 (Çok Uygun)	1,92	0,03
Toplam	6602,61	100,00



Şekil 4.2. Nihai sonuç haritası (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde)

Ormanların dahil olduğu uygun alanlara bakıldığında %80,91'lik kısmını 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun bölgeler minimum olup oran %1'in altındadır. 4 puanlı bölgeler %10,73 ve 7 puanlı bölgeler %7,33 orana sahiptir. 1 ile 4 arasında puan alan bölgelerin oranı %11,71 ve 5 ile 8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise %88,29'dur. (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Uygun alanların puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar dahil)

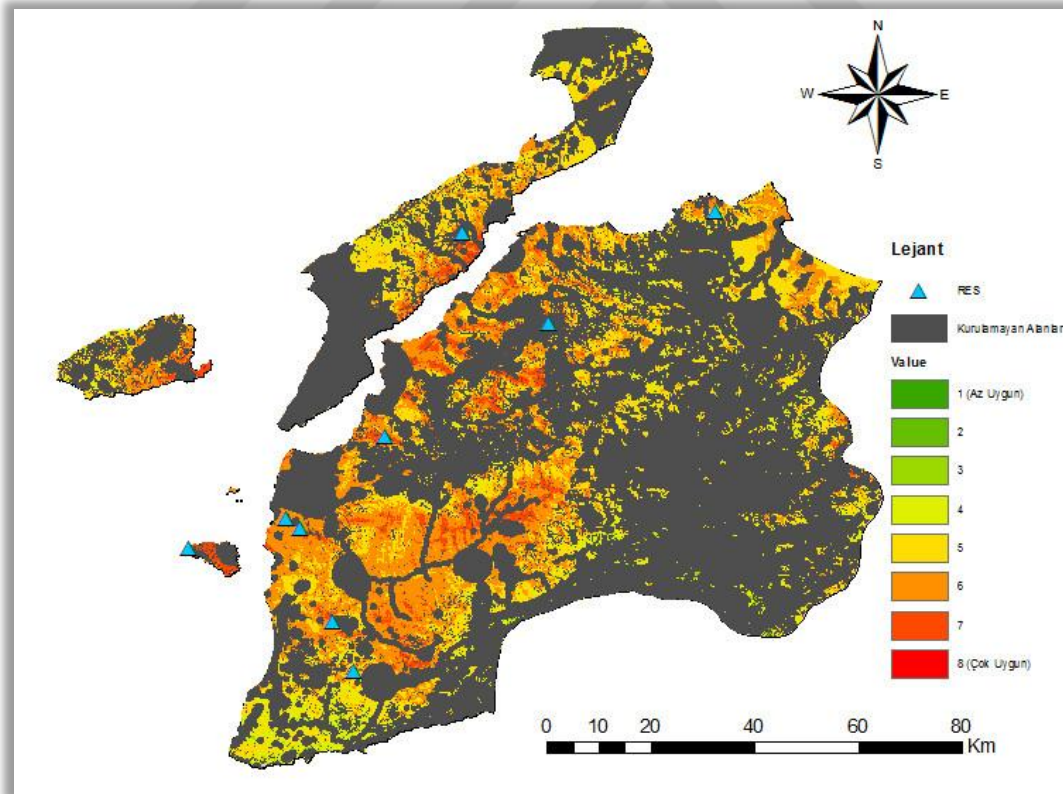
Puan	Km ²	Yüzde %
1 (Az Uygun)	0,003	0,00
2	0,553	0,01
3	39,037	0,97
4	432,422	10,73
5	1664,780	41,30
6	1596,486	39,61
7	295,488	7,33
8 (Çok Uygun)	1,811	0,04
Toplam	4030,580	100,00

Ormanların hariç tutulduğu kurulamayacak alanların incelemesi yapıldığında 1 ile 4 aralığındaki puana sahip bölgelerin toplam oranı %44,71 ve 5 ile 8 aralığında puan alan bölgelerin toplam oranı ise %55,29 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Kurulamayacak alanlardaki puan-yüzde ilişkisi (Ormanlar hariç)

Puan	Km ²	Yüzde %
1 (Az Uygun)	6,13	0,11
2	148,77	2,57
3	750,55	12,97
4	1681,50	29,06
5	1868,19	32,29
6	1157,77	20,01
7	172,08	2,97
8 (Çok Uygun)	1,43	0,02
Toplam	5786,42	100,00

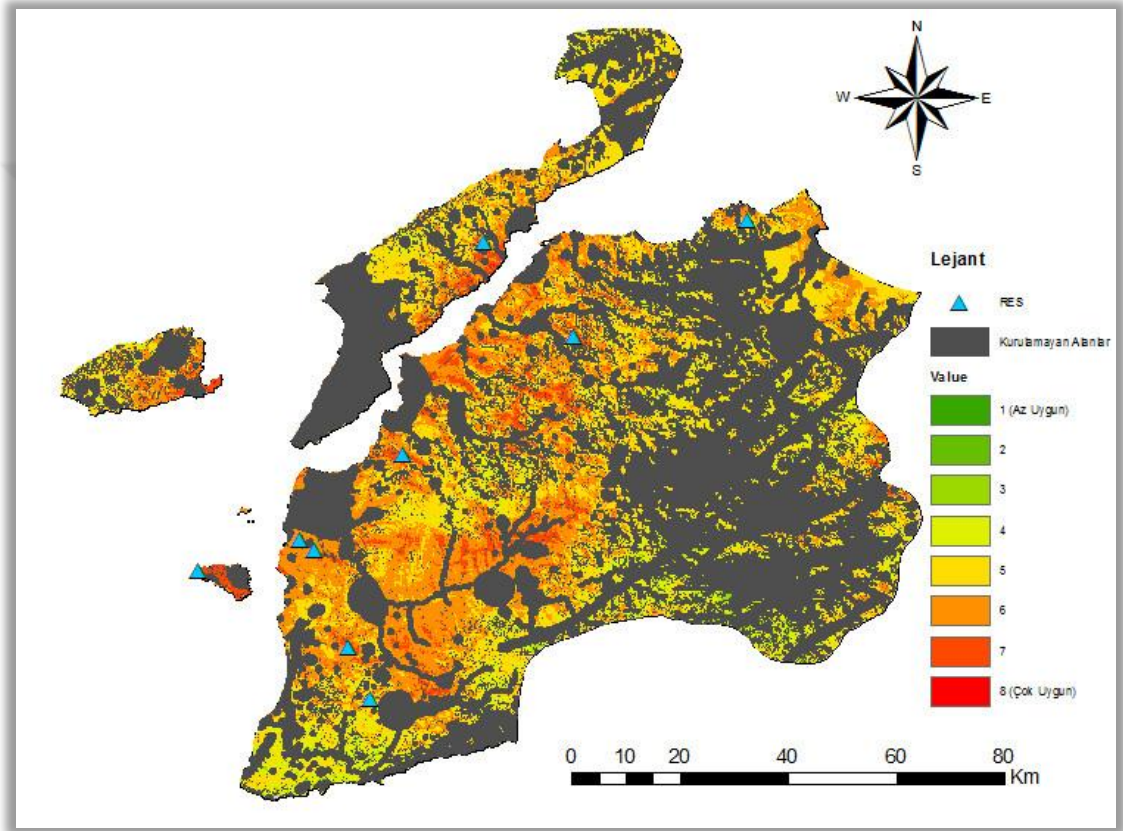
4.2. Sonuç Haritalarının Mevcut RES'ler Üzerinden Değerlendirilmesi



Şekil 4.3. Sonuç haritasına (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil edildiğinde oluşan) bölgedeki mevcut RES'lerin eklenmesi

Çalışmada belirlenen kriterlere dayanarak oluşturulan nihai sonuç haritasının kontrolünü bölgede bulunan rüzgar enerji santrallerinin konumları katmanı eklenerek sağlanmıştır.

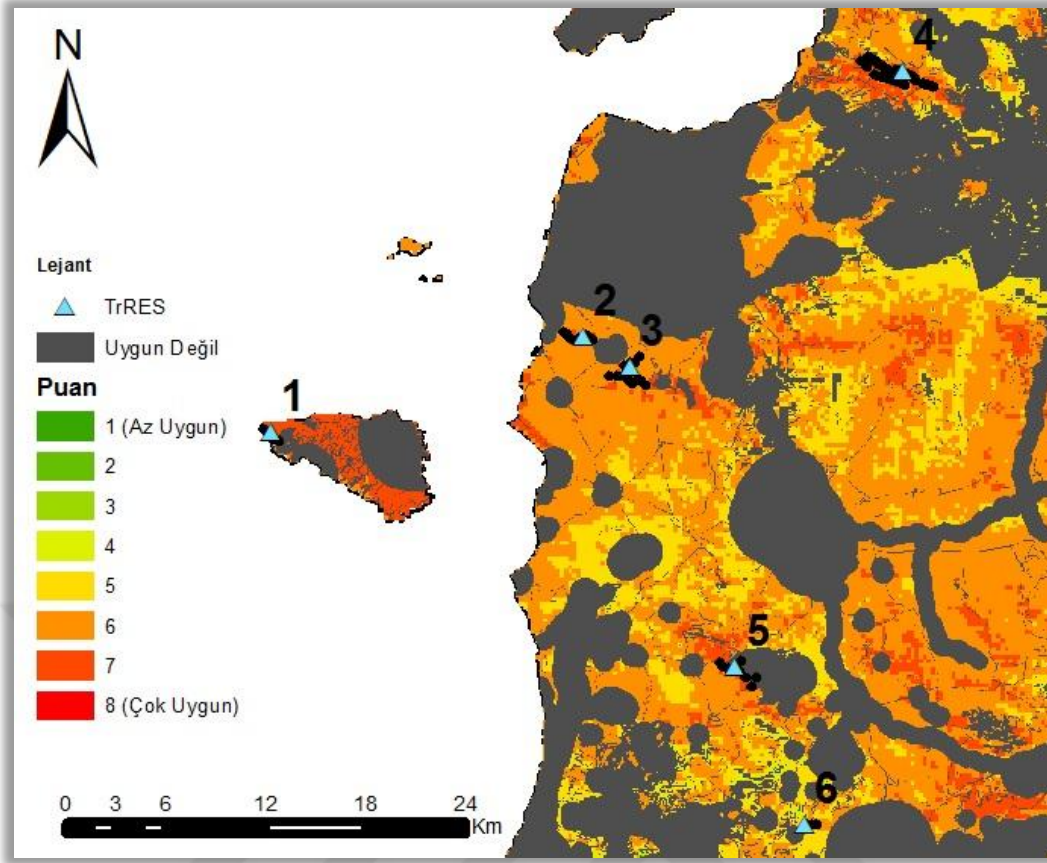
Bu değerlendirmeye göre mevcut RES'lerin çoğunluğu kurulum potansiyeli yüksek ve kurulamayacak alanların dışındaki bölgelerde bulunmaktadır (Şekil 4.3). Ancak çalışmada kurulamaz alanlar içerisinde değerlendirilen ormanlık alanlarda bazı RES'lerin kurulumu yapıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.4).



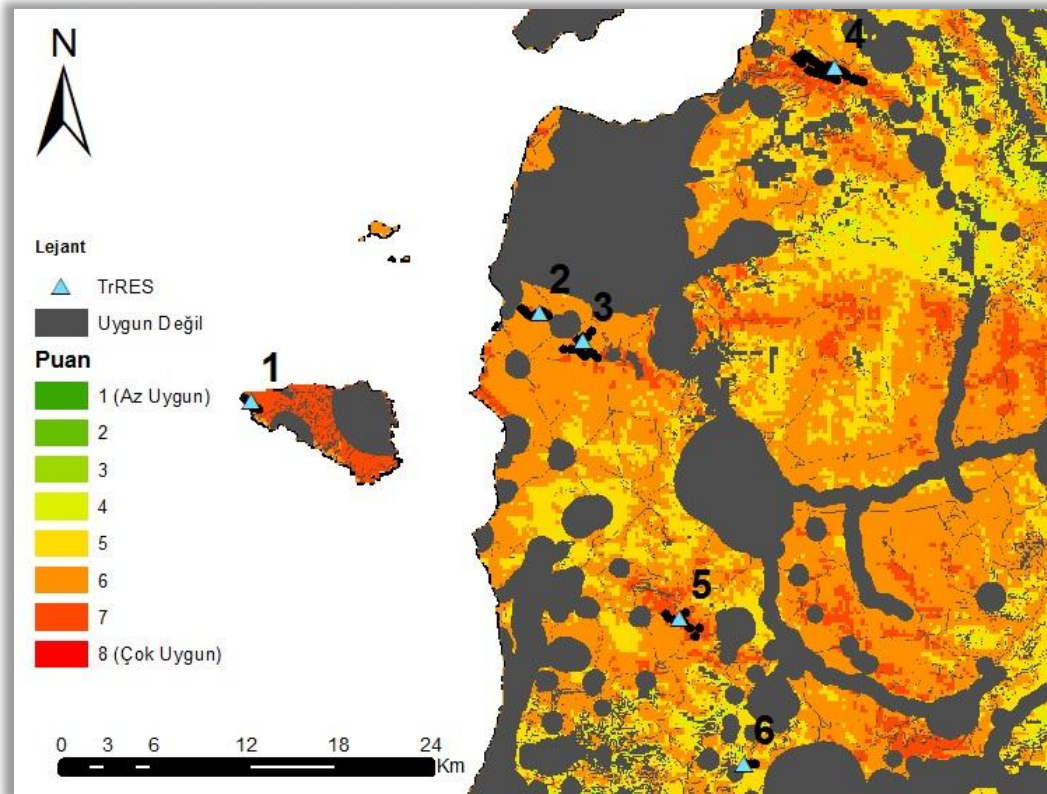
Şekil 4.4. Sonuç haritasına (Ormanlar uygun alanlara dahil edildiğinde oluşan) bölgedeki mevcut RES'lerin eklenmesi

4.2.1. RES Kurulumlarının Bölge Bazlı İncelenmesi

RES'nin yoğun olarak kurulduğu Çanakkale'nin Güneybatı ve Kuzeydoğu bölgeleri birinci inceleme bölgesi olarak yakından analizi yapıldığında Güneybatı bölgesinde yer alan 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı RES'lerin kurulum potansiyeli orta-yüksek (5,6 ve 7 puanlı bölgeler) ve ormanlık alanların da dahil olduğu kurulumu uygun olmayan alanların dışında oldukları görülmüştür (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

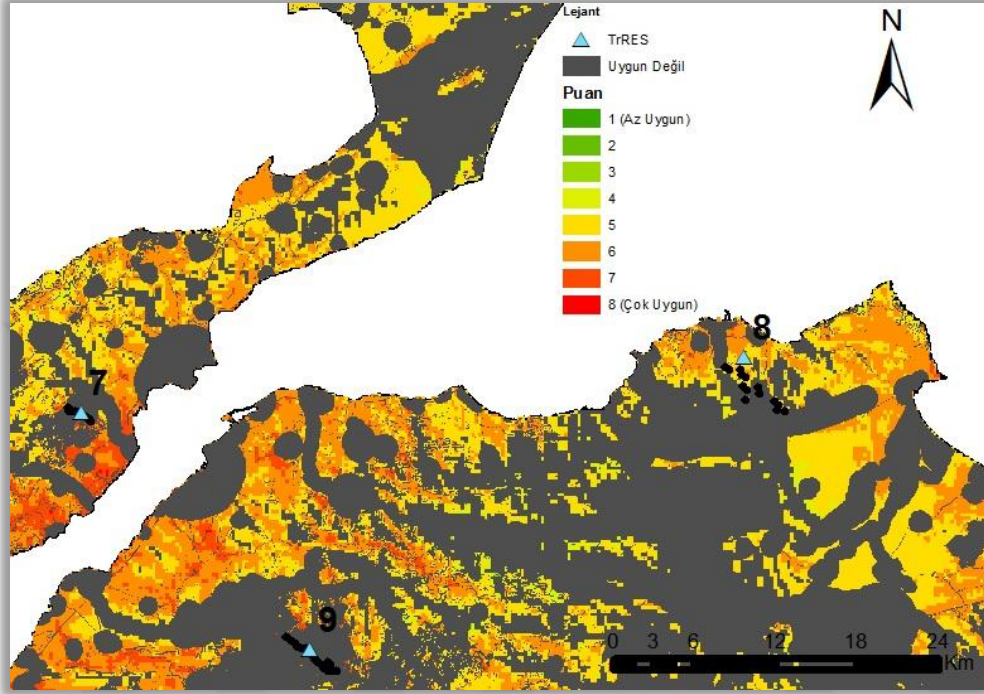


Şekil 4.5. Birinci inceleme bölgesi (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil olduğunda)

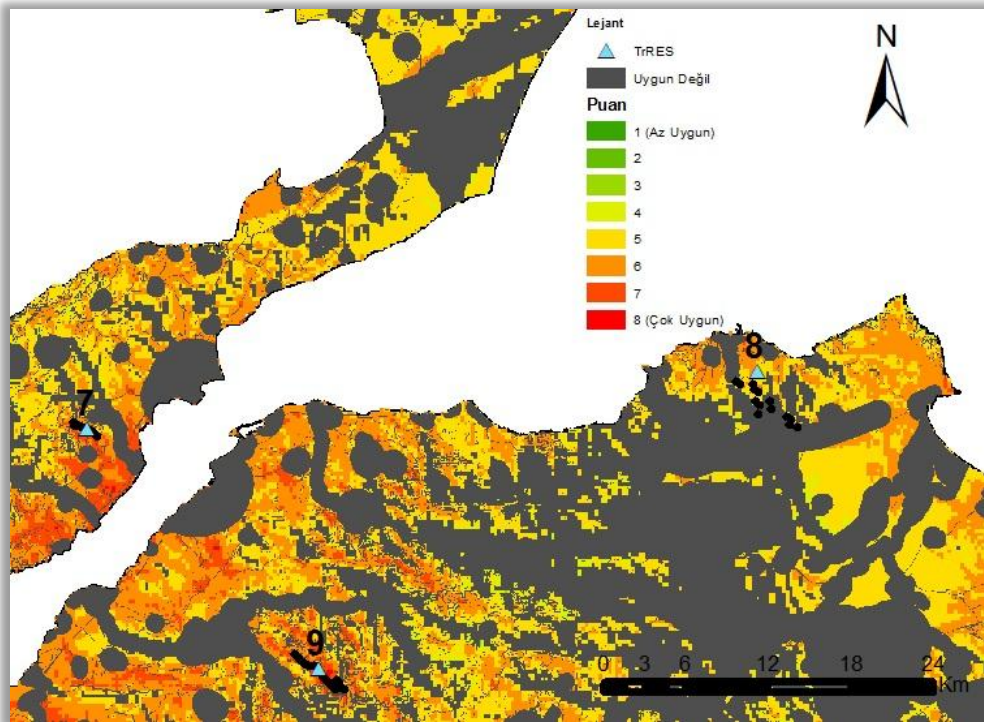


Şekil 4.6. Birinci inceleme bölgesi (Ormanlar uygun alanlara dahil olduğunda)

Uygulama alanının ikinci inceleme bölgesi olan Çanakkale'nin Kuzeydoğu bölgesinde yer alan 7,8 ve 9 numaralı RES'lerin kurulum potansiyeli orta-yüksek (5,6 ve 7 puanlı) bölgelerde kurulduğu, ancak ormanlık alanların da dahil olduğu kurulumu uygun olmayan alanların içerisinde oldukları görülmüştür (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



Şekil 4.7. İkinci inceleme bölgesi (Ormanlar kurulamayacak alanlara dahil olduğunda)



Şekil 4.8. İkinci inceleme bölgesi (Ormanlar uygun alanlara dahil olduğunda)

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda sanayinin gelişmesine bağlı olarak enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla ortaya çıkan küresel ısınma sorunu, insanlığı her alanda enerji üretimi ve tüketimi hakkında yeniden düşünmeye zorlamaktadır. Sınırlı kaynaklara sahip olan ve enerji dönüşümü sırasında ortaya çıkardıkları zararlı atıklar sebebiyle çevreye zarar veren kömür, petrol ve doğalgaz gibi doğal kaynakların yaygın olarak kullanılması, bilim insanları ve mühendislerin enerji ihtiyacı için daha iyi çözümler bulmak amacıyla işbirliği yapmasına yol açmaktadır. Bu problemin en basit çözümlerinden biri, çevreye etkisi minimum seviyede olan yenilenebilir kaynaklardan enerji elde etmektir. Rüzgar bu kaynaklar arasında en kolay enerji elde edilebilecek enerji kaynağıdır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi amacıyla kurulacak türbinler için uygun yer seçimi karar yöntemleri, doğrudan konumsal bilgilerin analizi ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla YEGM tarafından üretilen rüzgar enerjisi potansiyel atlası (REPA) bu alanda büyük ölçekteki yatırım projeleri için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda Çanakkale İlinde rüzgar türbinlerinin kurulumu için en uygun alanları coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan ArcGIS 10.5 yazılımı ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, rüzgar türbin kurulumu için uygun yer alanların belirlenmesi sürecinin hangi aşamalardan oluştuğu irdelenmiş, yer seçimi kararını etkileyen temel faktörler belirlenmiştir. Mekansal analiz işlemi kullanılan veriler sayısal ortamda elde edilmiş veya sayısallaştırılarak üretilmiştir. Türbin kurulamayacak alanlar tampon aracı yardımıyla elenmiş, AHP yöntemi kullanılarak tercihler bu metoda göre ağırlıklandırılmış ve Çanakkale İli için raster tabanlı türbin uygunluk haritası üretilmiştir.

Ağırlıklı analiz sonucu elde edilen puanlandırılmış haritadan ormanlık alanlar dahil edilen kurulamayacak alanlar çıkarılmış ve kalan uygun alanlar değerlendirilmiştir. Bu uygun alanların 2679,30 km² ile %83,35'lik kısmını 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun bölgelerin toplam oranı %1'in altında olup 19,80 km²'dir. 4 puanlı bölgeler 256,55 km² ve 7 puanlı bölgeler 258,74 km² ile oranları yaklaşık %8'dir. 1-4 arasında puan alan bölgelerin oranı 275,03 km² ile %8,56 ve 5-8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise 2939,37 km² ile %91,44'tür.

Ormanların dahil olduğu uygun alanların %80,91'lik kısmını 3261,27 km² ile 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun

bölgeler oranları toplamı yaklaşık %1 olup 41,40 km²'dir. 4 puanlı bölgeler 432,42 km² ile %10,73 ve 7 puanlı bölgeler 295,49 km² ile %7,33 orana sahiptir. 1-4 arasında puan alan bölgelerin toplam oranı 472,02 km² ile %11,71 ve 5-8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise 3558,57 km² ile %88,29'dur.

Çalışmanın kontrolü için bölgede mevcut olan RES'nin konumu incelenmiştir. RES'lerin büyük çoğunluğunun kurulum potansiyeli yüksek ve kuruluma uygun olmayan alanların dışında olduğu, ancak bazı santrallerin yatırım şirketleri için büyük önem arz eden maliyetin düşürülmesi amacıyla ormanlık alanların içerisinde kurulumun gerçekleştiği görülmüştür.

Rüzgar enerji santralleri için yapılan bu çalışmada CBS ve AHP yönteminin birlikte kullanıldığında doğruluğu yüksek sonuçların elde edilebileceği görülmüştür. Diğer yenilenebilir enerji santralleri için de uygun alanların tespiti bu yöntemlerle yapılabileceğinde etkili sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma karasal bölgelerdeki alanların tespiti yapılmıştır. Ancak rüzgar türbinleri deniz yüzeylerine de kurulabilmektedir. Bununla ilgili uygun alan belirleme çalışmalarının eksikliği görülmektedir. Deniz yüzeyleri için yapılacak analiz çalışmalarının Türkiye'de sahip olduğu atıl durumda bulunan büyük rüzgar potansiyelinin kullanılmasında etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aitzhanov C., 2016. Site Selection Technique For Wind Turbine Power Plants Utilizing Geographical Information Systems (GIS) And Analytical Hierarchy Process (AHP). M.Sc. Thesis (Yüksek Lisans Tezi). Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology, Turkey.
- Al-Shabeeb A. R., Al-Adamat R., Mashagbah A., 2016. AHP With GIS For A Preliminary Site Selection Of Wind Turbines In The North West Of Jordan. International Journal Of Geosciences, 7: 1208-1221
- Al-Yahyai S., Charabi Y., Gastli A., Al-Badi A., 2012. Wind Farm Land Suitability Indexing Using Multi-Criteria Analysis. Renewable Energy, 44: 80-87.
- Arul Prakash Asirvatham, 2001. Geographical Information Systems - An Overview. Indian Institute of Information Technology
- Atlı C., 2000. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Aydin N.Y., Kentel E., Duzgun S., 2010. GIS-Based Environmental Assessment Of Wind Energy Systems For Spatial Planning: A Case Study From Western Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14:364–373.
- Ayodele T.R., Ogunjuyigbea A.S.O., Odigiea O., Mundab J.L., 2018. A Multi-Criteria GIS Based Model For Wind Farm Site Selection Using Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process: The Case Study Of Nigeria. Applied Energy , 228:1853–1869
- Baban S., Parry T., 2001. Developing And Applying A GIS-Assisted Approach To Locating Wind Farms In The UK. Renewable Energy. 24:59–71.
- Basar H.B., 2011. Enerji Santrallerinin Çok Kriterli Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Bennui A., Rattanamanee P., Puetpaiboon U., Phukpattaranont P., Chetpattananondh K., 2007. Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment(ICEE) Phuket, Thailand. 184:561-566
- Celayir N., 2008. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Gelişimi ve Türkiye'deki Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.

- Çoban V., 2018. Modeling Turkey's Solar Energy Potential Under Different Conditions. Ph.D. Thesis (Doktora Tezi). Istanbul Technical University, Turkey. p.40
- Dempsey C., 2017. Types of GIS Data Explored: Vector and Raster. GIS Lounge. <https://www.gislounge.com/geodatabases-explored-vector-and-raster-data/>
- Ehrlich, R. 2013. Renewable Energy: A First Course. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press p.183,193,212
- Elbatrana A. H., Abdel-Hameda M. W., Yaakobb O. B , Ahmedb Y.M., Ismailb M.A., 2015. Hydro Power and Turbine Systems Reviews. Jurnal teknologi. www.jurnalteknologi.utm.my. 74(5): 83-90
- Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2018. Elektrik Üretim Sektör Raporu 2017. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Stratejik Planlama Müdürlüğü
- Elektrik Üretim Sektör Raporu, (Mayıs 2017). 31 Aralık 2018. http://www.euas.gov.tr/Documents/sektor_raporlari/EUAS-Sektor_Raporu2017.pdf
- Erickson, W. P., Johnson, G. D., Young, D. P., 2005. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. p.1039
- European Wind Energy Association, Wind Energy Basics. (n.d.). Retrieved December 21, 2018, from <http://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/>
- General Electric, Haliade-X Offshore Turbine. (n.d.). Retrieved December 22, 2018, from <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/turbines/haliade-x-offshore-turbine>
- General Electric, How Loud Is A Wind Turbine. (n.d.). Retrieved December 22, 2018, from <https://www.ge.com/reports/post/92442325225/how-loud-is-a-wind-turbine/>
- Geothermal Energy. (n.d.). Retrieved December 23, 2018, from <https://www.energygroove.net/technologies/geothermal-energy/>
- Gorsevski P. V., Cathcart S. C., Mirzaei G., Jamali M. M., Ye X., Gomezdelcampo E., 2013. A Group-Based Spatial Decision Support System For Wind Farm Site Selection In Northwest Ohio. Energy Policy, 55: 374-385. USA.

- Güzel A., 2013. Rüzgar Enerji Santralleri Ve Halkın Kabulü: Çanakkale-Erenköy Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Turkey.
- Haaren R., Fthenakis V., 2011. GIS-Based Wind Farm Site Selection Using Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA): Evaluating The Case For New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 3332-3340
- Hansen HS., 2003. GIS-Based Multi-Criteria Analysis Of Wind Farm Development. In: *ScanGIS'2005 Proceedings*. p.75–87.
- Hydroelectric Dam. (n.d.). Retrieved December 23, 2018, from https://trival.co/designs_electricity_hydro_diagram.php
- International Renewable Energy Agency, Solar. (n.d.). Retrieved December 20, 2018, from <https://www.irena.org/solar>
- International Renewable Energy Agency, Wind. (n.d.). Retrieved December 21, 2018, from <https://www.irena.org/wind>
- Jaber S., 2013. Environmental Impacts Of Wind Energy. *Journal Of Clean Energy Technologies*, 1(3): 251
- Jones P. D., 2003. Greenhouse Effect and Climate Data. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, p.87-106.
- Kömür. (b.t.). 04 Aralık 2018, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>
- Latinopoulos D., Kechagia K., 2015. A Gis-Based Multi-Criteria Evaluation For Wind Farm Site Selection. A Regional Scale Application In Greece. *Renewable Energy*, 78: 550-560
- LM Wind Power. (n.d.). Retrieved December 22, 2018, from <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/news-from-lm-places/ge-announces-haliade-x-the-worlds-largest-offshore-wind-turbine>
- Mathew S., 2006. *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis And Economics* . Springer Science & Business Media. Netherlands s.90-198

- Modern Turbines: How They Work. (n.d.). Retrieved December 21, 2018, from <http://www.history.alberta.ca/energyheritage/energy/wind-power/modern-wind-power/modern-turbines-how-they-work.aspx>
- National Aeronautics and Space Administration. (August 4, 2017). Retrieved December 20, 2018, from https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/solar_arrays-about.html
- Noorollahi Y., Yousefi H., Mohammadi M., 2016. Multi-Criteria Decision Support System For Wind Farm Site Selection Using GIS. Sustainable Energy Technologies And Assessments, 13: 38-50
- Noorzad N., 2018. Renewable Energy: Power Generation And Opportunities For A Sustainable Future In Afghanistan. Master Of Science Thesis. Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey. p.15-38
- Petrol-İş, 2011. Office Ofenergy Efficiency & Renewable Energy, Wind Energy Technologies Office. Kaynak Savaşları ile Belirlenen Güncel ve Yapısal Eğilimler Araştırması.
- REN21. 2018. Renewables 2018 Global Status Report s.46-209
- Renewables 2018 Global Status Report, (2018). Retrieved December 18, 2018, from http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/06/178652_GSR2018_FullReport_web_fin al_.pdf
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Saibi H., Finsterle S., Bertani R., Nishijima J., 2013. Geothermal Energy. 54: 1020 https://www.researchgate.net/publication/236737240_Geothermal_Energy
- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., Solangi, K. H., 2011. Environmental Impact Of Wind Energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(5): 2423-2430.
- Savin J., 2003. Enerji İçin Yeni Bir Gelecek Yaratmak, Dünyanın Durumu 2003, Çev. Şehnaz Tahir Gürçağlar, TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul, s.103-135
- Şekerci A., 2017. Renewable Energy Promotion Strategies Of Individual States And Regional Frameworks: A Comparative Approach. In Partial Fulfillment Of The

Requirements For The Degree Of Master Of Science In The Department Of International Relations. Middle East Technical University, Turkey.

Şekil Zübeyde Alkış, 1996. Coğrafi Bilgi Sistemi Bileşenleri. Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi. İstanbul. 79:59

Şimşek A., 2014. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgar Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye.

Taşkın B., 2013. Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Fiziksel Ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Türkiye.

Tegou L., Polatidis H., Haralambopoulos D.A., 2010. Environmental Management Framework For Wind Farm Siting: Methodology And Case Study. Journal Of Environmental Management, 91: 2134-2147

TEİAŞ, 2018. Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklarına Ait Kurulu Gücünün Toplam Kurulu Güç İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi (2000-2017). 25 Aralık 2018. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>

Timor M., 2011. Analitik Hiyerarşi Prosesi. Türkmen Kitabevi, İstanbul. s.29-51

TÜBİTAK, 2003. Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu. Ankara.

U.S. Department Of Energy, How Do Wind Turbines Work. (n.d.). Retrieved December 21, 2018, from <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>

U.S. Department Of Energy, How Does Solar Energy Work. (n.d.). Retrieved December 20, 2018, from <https://us.sunpower.com/blog/2017/10/25/how-does-solar-energy-work/>

Wind Power. (n.d.). Retrieved December 21, 2018, from <http://www.history.alberta.ca/energyheritage/energy/wind-power/modern-wind-power/modern-turbines-how-they-work.asp>

Wind Turbine Blade Design, Flat or Curved. (n.d.). Retrieved December 22, 2018, from <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wind-turbine-blade-design.html>

Wind Turbine Blade. (n.d.). Retrieved December 22, 2018, from, <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wind-turbine-blade-design.html>

YEGM, Jeotermal Enerji Kullanım Alanları. (b.t.). 23 Aralık 2018. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/jeo_kullanim_alanlari.aspx

Yomralioğlu, T., 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. İber Ofset, 6.Baskı. İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökhan CAN

Doğum Yeri : Lapseki

Doğum Tarihi : 06.08.1994

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

Can G., Yücel M.A., 2018. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Mekansal Analiz ve Analitik Hiyerarşi Yöntemini Kullanarak Çanakkale İli Rüzgar Türbinleri İçin Uygun Yer Tespiti. 2. Uluslararası Farkındalık Kongresi, Çanakkale.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Çanakkale Lisanslı Harita Kadastro Bürosu 2017 - 2019

İLETİŞİM

E-posta Adresi : cangokhan17@gmail.com