

**RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN YERLEŞİM YERİ TESPİTİNDE
MOORA YÖNTEMİNİN KULLANILMASI**

Mustafa GENÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ VE İNOVASYON YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....

Mustafa GENÇ

.. / .. / 20..

RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN YERLEŞİM YERİ TESPİTİNDE MOORA YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa GENÇ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2019

ÖZET

Türkiye enerji ihtiyacının önemli bir kısmını fosil yakıtlı enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Bu yakıtların sürdürülebilir olmaması ve çevreye verdikleri olumsuz etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle rüzgar enerjisi, Türkiye için önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası (REPA, 2006) incelendiğinde ülkemizin rüzgar enerji potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir. Rüzgar enerji santrallerinde kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve en yüksek verimin elde edilebilmesi için santral kurulum yerinin seçimi çok önemlidir. Rüzgar enerji santrali kurulum yeri seçiminde karar verme sürecini etkileyen birçok kriter vardır. Bu yüzden rüzgar santrali kurulum yeri seçimi karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu tez çalışmasında rüzgar enerji santrali kurulum yeri seçimi için ana kriterler; ekonomik (Arazi maliyeti, teşvikler, yollara uzaklık, zemin yapısı, elektrik iletim hatlarına uzaklık), teknik (Rüzgar hızı, kapasite faktörü, eğim, yükseklik) ve çevresel-sosyal kriterler (Gürültü, kuş habitatına, hava alanlarına, yerleşim bölgelerine, korunan ve kültürel miras alanlarına, askeri bölgelere, ormanlara, göllere, maden sahalarına ve tarım alanlarına uzaklık) olarak belirlenmiştir. Alt kriterler yasalar ve literatür çalışmalarından faydalanılarak belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında REPA üzerinden rüzgar hızları dikkate alınarak Amasya ili sınırları içerisinde, bölgenin güneydoğusunda (RES_1), kuzeyinde (RES_2) ve güneybatısında (RES_3) olmak üzere 3 santral bölgesi belirlenmiştir. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden MOORA (Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis) yöntemi en uygun kurulum yerinin seçiminde kullanılmıştır. Karar mekanizması için ekonomik, teknik ve çevresel-sosyal kriterlere ait alt kriterlerinin ağırlıkları alanında uzman üç kişinin görüşleri alınarak belirlenmiştir. Belirlenen kriter değerleri ve ağırlıklar ile MOORA yöntemi uygulanarak kurulum yerleri sıralanmıştır. Bu sıralamaya göre Amasya bölgesi için en uygun rüzgar enerji santrali kurulum yeri (RES_2) belirlenmiştir.

Sayfa Adedi : 100
Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Enerjisi, Çok Kriterli Karar Verme, MOORA
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

USAGE OF MOORA METHOD IN THE SELECTION OF THE WIND POWER
PLANTS SITE
(M. Sc. Thesis)

Mustafa GENÇ

AMASYA UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE
JUN 2019

ABSTRACT

An important part of Turkey's energy needs is met with fossil fuel energy sources. The lack of fossil fuels to be sustainable and lead to pollution of the renewable energy source, wind power has led to be a very important energy source for Turkey. Turkey Wind Potential Atlas (REPA, 2006) shows that when analysed our country's wind energy potential is high. The initial installation costs of wind power plants are high. For this reason, it is very important to select the power plant installation sites correctly to ensure high efficiency from the power plants. There are many criteria that influence the decision-making process in choosing a wind power plant installation site. Therefore, wind power installation site selection is a complex decision-making process. In this thesis, the main criteria for selection of wind power plant installation site are determined as economic (land cost, incentives, distance to roads, ground structure, distance to electricity transmission lines), technical (wind speed, capacity factor, slope, altitude) and environmental - social criteria (noise, bird habitat, distance to airports, distance to residential areas, distance to protected and cultural heritage areas, distance to military zones, distance to forests, distance to forests, distance to lakes and distance to agricultural areas). The sub-criteria were determined by using laws and literature studies. In this thesis, considering the wind speeds over REPA, 3 power zones were determined in the southeast of Amasya province (RES_1), north (RES_2) and southwest (RES_3). MOORA method (Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis), which is one of the Multi-Criteria Decision Making methods, has been used in the selection of the most suitable installation location. The weight of sub-criteria of economic, technical and environmental-social criteria for use in decision-making is determined by taking the opinions of three experts in the field. Determined criteria values and benchmark weights were used in MOORA method. Using the MOORA method, the plant installation locations are listed. According to this ranking, the most suitable wind power plant installation site (RES_2) was determined for Amasya region.

Page Number : 100
Key Words : Renewable Energy, Wind Energy, Multi-Criteria Decision Making, MOORA
Supervisor : Assis. Prof. Engin Ufuk ERGUL

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu belirlemede ve daha sonrasındaki çalışmalarımnda değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, yazımı sırasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez döneminde benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok sevdiğim annem, babam ve kardeşlerim Muhammed, Ömer Faruk ve Mahmut Hüdai'ye teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Elektrik Enerjisi.....	6
2.1.1 Dünyada elektrik enerjisi üretimi	6
2.1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi	10
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	15
2.2.1. Güneş enerjisi	15
2.2.2. Rüzgar enerjisi	16
2.2.3. Hidroelektrik enerji.....	18
2.2.4. Jeotermal enerji.....	19
2.2.5. Biyokütle enerjisi.....	20
2.2.6. Hidrojen enerjisi	21
2.2.7. Dalga enerjisi	21
2.3. Rüzgar Enerjisi	22
2.3.1. Rüzgar kavramı.....	22
2.3.2. Rüzgar gücü.....	22
2.3.3. Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisi	25
2.3.4. Rüzgar santrali ve türbin çeşitleri	30
3. YÖNTEM	41
3.1. Çok Kriterli Karar Verme	41
3.1.1. Çok kriterli karar verme kavramı	41
3.1.2. Çok kriterli karar vermede kullanılan tanımlar ve terimler	43
3.1.3. Çok kriterli karar verme problemleri.....	44
3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	45
3.2.1. MOORA (Multi-Objective Optimization on Basis of Ratio Analysis) yöntemi	46
4. BULGULAR.....	51
4.1. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yerleşim Yeri Tespitinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması.....	51
4.1.1. Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri tespit kriterleri.....	51
4.1.2. Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri alternatiflerinin belirlenmesi.....	59
4.1.3. Kriter değerlerinin belirlenmesi.....	62
4.2. MOORA Yönteminin Uygulanması.....	69

4.2.1. Oran yöntemi	71
4.2.2. Referans nokta teorisi	74
4.2.3. Tam çarpım yöntemi.....	75
4.2.4. Multi MOORA yöntemi	76
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	87



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Dünya birincil enerji tüketimi sıralaması (Milyon TEP)	8
Çizelge 2.2 Dünyadaki bazı ülkelerin yıllık elektrik üretimi (2015)	9
Çizelge 2.3 Bazı ülkelerin elektrik enerji üretiminde kullandığı birincil kaynaklar.....	10
Çizelge 3.1 Çok kriterli karar verme yöntemleri	45
Çizelge 4.1 Alternatif sahaların ortalama rüzgar hızları	62
Çizelge 4.2 Alternatif sahaların rüzgar kapasite faktörleri	62
Çizelge 4.3 Alternatif sahaların eğim ve yükseklik değerleri.....	62
Çizelge 4.4 Alternatif sahaların ekonomik kriterlerinin alt kriter değerleri	66
Çizelge 4.5 Alternatif sahaların çevresel-sosyal kriterlerinin alt kriter değerleri.....	67
Çizelge 4.6 Rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespiti için kriter değerleri	70
Çizelge 4.7 Kriter ağırlıkları	71
Çizelge 4.8 Oran yöntemi normalize matrisi	72
Çizelge 4.9 Oran yöntemi ağırlıklandırılmış normalize matrisi	73
Çizelge 4.10 Oran yöntemi sıralama sonuçları	73
Çizelge 4.11 Referans nokta teorisi kriter değerlerinin referansları	74
Çizelge 4.12 Referans nokta teorisi kriter değerlerinin referans noktalarına uzaklıkları	75
Çizelge 4.13 Referans nokta teorisine göre alternatiflerin sıralanması	75
Çizelge 4.14 Tam çarpım yöntemi alternatif kullanım dereceleri	76
Çizelge 4.15 Multi MOORA yöntemi baskınlık sıralaması.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi	7
Şekil 2.2 Dünya birincil enerji talebinin ve enerji kaynaklarının bölgelere göre dağılımı	8
Şekil 2.3 Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü (Aralık 2018)	11
Şekil 2.4 Türkiye’de lisansız santral kurulu güç (Aralık 2018).....	11
Şekil 2.5 Elektrik enerjisi kurulu gücün birincil kaynaklara göre dağılımı (Aralık 2018) ..	12
Şekil 2.6 Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi	12
Şekil 2.7 Türkiye’de üretilen elektrik enerjisi (2018).....	13
Şekil 2.8 Üretilen elektrik enerjisinin birincil kaynaklara göre oranları (2018).....	14
Şekil 2.9 Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi değişimi (1970-2018)	14
Şekil 2.10 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	16
Şekil 2.11 Türkiye rüzgar enerji santralleri haritası.....	17
Şekil 2.12 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası.....	18
Şekil 2.13 Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli haritası.....	19
Şekil 2.14 Türkiye jeotermal enerji haritası.....	20
Şekil 2.15 Türkiye orman kaynaklı biyokütle haritası.....	21
Şekil 2.16 Rüzgar türbininin enerji akış gösterimi	23
Şekil 2.17 Dünya kümülatif kurulu rüzgar enerji santrali kapasitesi.....	25
Şekil 2.18 Dünya geneli ilk 10 kümülatif kapasitesi (Aralık 2016)	26
Şekil 2.19 Bölgelere göre yıllık kurulu kapasite (Aralık 2016).....	26
Şekil 2.20 Türkiye rüzgar enerji potansiyel atlası (50 m).....	27
Şekil 2.21 Türkiye rüzgar enerji potansiyel atlası (100 m).....	28
Şekil 2.22 Türkiye’deki RES’lerin kümülatif kurulum	28
Şekil 2.23 İşletmede olan RES’lerin bölgelere göre dağılımı (2017).....	29
Şekil 2.24 RES’lerin MW cinsinden il bazında dağılımı (2018).....	30
Şekil 2.25 2 MW’lık bir rüzgâr türbininin yapısı	31
Şekil 2.26 Rüzgar türbin çeşitleri.....	32
Şekil 2.27 Yatay eksenli rüzgâr türbininin yapısı	33
Şekil 2.28 Dikey eksenli rüzgar türbininin yapısı.....	33
Şekil 2.29 Darrieus tipi rüzgâr türbini	34
Şekil 2.30 Savonius tipi rüzgâr türbini	34
Şekil 2.31 Rüzgar türbini kulesi.....	35
Şekil 2.32 Nasel (Türbin kafa kısmı).....	36
Şekil 2.33 Naselin iç yapısı.....	36
Şekil 2.34 Rüzgar türbinleri dişli kutusu	37
Şekil 2.35 Nordex marka 1000 kW/50Hz jeneratör.....	37
Şekil 2.36 Rüzgar türbini pitch kontrol sistemi	38
Şekil 2.37 Rüzgar türbini yaw sistemi	38
Şekil 2.38 Rüzgar türbini rotor ve kanatları.....	39
Şekil 2.39 Rüzgar türbinlerinde rotor ve kanatların dönüş hareketi	40

Şekil 4.1 Rüzgar enerji santralleri yerleşim yeri kriterleri.....	52
Şekil 4.2 Türkiye geneli ortalama rüzgar kapasite faktörü dağılımı (50 m).....	55
Şekil 4.3 Rüzgar türbinlerinin gürültü etkisi.....	56
Şekil 4.4 Türkiye göçmen kuş rotaları.....	57
Şekil 4.5 Amasya ili rüzgar hız dağılımı (50 m).....	60
Şekil 4.6 Amasya ili kapasite faktörü dağılımı (50 m).....	60
Şekil 4.7 Amasya ili rüzgar enerji santrali kurulamaz alanlar.....	61
Şekil 4.8 Amasya ili sınırları içerisinde alternatif rüzgar enerji santral bölgeleri.....	61
Şekil 4.9 Amasya ili yükseklik izohips haritası.....	63
Şekil 4.10 Amasya ili eğim haritası.....	63
Şekil 4.11 Türkiye toprak tipleri dağılım haritası.....	64
Şekil 4.12 Amasya ili enerji nakil hatları ve trafo merkezleri.....	65
Şekil 4.13 Amasya ili maden haritası.....	68
Şekil 4.14 Rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespit modeli.....	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bu tez çalışmasında kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

\$	Amerikan Doları
°C	Santigrat
Cp	Betz kanununa göre birim rüzgardan alınan güç değeri
dB(A)	Ses şiddeti
E _k	Rüzgar kinetik enerjisi
E _{kÇıkış}	Kinetik enerji çıkış
E _{kGiriş}	Kinetik enerji giriş
GWh	Gigawatt saat
Hz	Hertz
kg	Kilogram
kgm/s ²	Kilogram x metre / Saniye kare
km/h	Kilometre / Saat
km ²	Kilometre kare
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
m	Metre
m/s	Metre / Saniye
MW	Megawatt
MWh	Megawattsaat
Nm	Newtonmetre
rpm	Dakikadaki devir sayısı
S	Hava basıncı
TL/m ²	Türk lirası / metrekare
TWh	Terawattsaat
P _r	Rüzgar gücü
W	Watt
V _r	Rüzgar hızı

Kısaltmalar

Açıklama

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme

(devam) Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

Kısaltmalar	Açıklama
BOCR	Faydalar, Fırsatlar, Maliyetler ve Riskler
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi
DERT	Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri
EİAŞ	Elektrik İşleri Etüt Dairesi
ELECTRE	Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi
GES	Güneş Enerji Santrali
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
HES	Hidroelektrik Santrali
JES	Jeotermal Enerji Santrali
KF	Kapasite faktörü
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
MAUT	Çok Nitelikli Yardımcı Program Teorisi
MOORA	Oran Analizi Temelinde Çok Amaçlı Optimizasyon
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
REPA	Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerji Santrali
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği
TUREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
UTA	Faydalı Katkı Maddeleri
WEC	Dünya Enerji Konseyi
WWEC	Küresel Rüzgar Enerji Birliği
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesi, kırsal bölgelerden şehirlere hızla devam eden göçler daha fazla istihdam çabaları ve sanayileşme hamleleri enerjiye olan ihtiyacı artırmıştır. Enerji özellikle elektrik enerjisi hayatın her alanının olmazsa olmazı durumundadır. Elektrik enerjisi, elimizdeki elektronik araçlardan ev eşyalarına, atölyelerden fabrikalara, demir yollarından elektrikle çalışan otomobillere kadar birçok alanda kullanılır hale gelmiştir. Elektrik enerjisinin bu denli geniş kullanım alanlarına erişmesi hayat standartlarını yükseltmiş ve refah seviyesini gösterir hale gelmiştir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın birinci göstergesi enerji sarfiyatı ve dolayısıyla enerji üretimidir [1].

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve teknolojinin günlük hayatın vazgeçilmezi olması beraberinde yüksek enerji tüketimini, buna bağlı olarak kaynakların yüksek verimli kullanımını ve ekolojik sisteme daha az zararlı olan alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye sebep olmuştur [2]. Rüzgar, güneş, jeotermal, hidrolik, biyokütle ve dalga enerjilerinden oluşan yenilenebilir kaynaklar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta ve ekosisteme verilen zararı en aza indirmektedir [3]. Çevre dostu bu enerji kaynaklarına temiz enerji de denilmektedir [4].

Enerji çeşitliliği, enerjinin farklı yöntemlerle elde edilmesi ve değişik alanlarda kullanılmasıyla meydana gelmektedir [5]. Enerjide bu çeşitliliği sağlamak için, dışa bağımlılığın ekonomik özgürlüğe etkileri ve bağımlılığın azaltılması, ekonomik açıdan döviz çıkışını azaltıcı ve düşük maliyetli enerji üretimini, enerjinin yüksek verimle elde edilmesini ve üretilen enerjinin ülke halkı tarafından bilinçli bir şekilde tüketilmesi konularında çalışmalar yapılmaktadır [6].

Dünya genelinde birincil enerji kaynağı olarak yer altı kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Yeraltı kaynaklarının yenilenemeyen enerji kaynakları olması nedeniyle rezervler her geçen gün azalmakta ve bu yakıtların tüketilmesi doğal çevreye zarar vermekte iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkeler sürdürülebilir enerji kaynaklarına öncelik vermektedir. Bu doğrultuda ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım teşvikleri, Ar-Ge (Araştırma-Geliştirme) ve

finansman destekleri vermektedir [7]. Gelişen teknoloji ile beraber yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli ve düşük maliyetli enerji üretimi yapılabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Avantajları, çevre dostu olması, yerel ve doğal yollardan elde edilmesidir. Dezavantajlarından birisi, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Diğer dezavantajları ise elde edilecek enerji türüne göre değişmektedir. Güneş enerjisi için panellerin kurulacağı geniş alanlara ihtiyaç duyulması, hidroelektrik santralleri için su biriktirilmesi ve bazı önemli yerlerin su altında kalması, rüzgar santralleri için göçmen kuşların telef olması yerleşim bölgelerine yakın olan yerlerde gürültüye neden olması ve haberleşme sistemlerinin etkilenmesi bu dezavantajlarındandır.

Türkiye bulunduğu konumdan ötürü dört mevsim görülen bir coğrafyadadır. Bunun sonucu olarak yıllık sıcaklık değişimleri rüzgar oluşumuna sebep olmaktadır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi için oldukça önemli bir potansiyele sahiptir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde enerji kaynaklarının kullanımı ve planlanması çok önemlidir. Enerji üretiminde fosil yakıtların tekel olması gelecek için kaygı vericidir. Bunun yanında, Türkiye zengin yeraltı kaynaklarına sahip bir ülke değildir. Sürekli artış gösteren enerji ihtiyacını ithal ederek sağlanmakta olan ülkemiz, ekonomik bağımsızlığı sağlayamamakta ve dışa bağımlı hale gelmektedir. Tüm bu olumsuz durumları gidermek ve enerji ihtiyacını yerel kaynaklardan elde etmek için ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bu kaynaklardan en önemlisi ve potansiyeli en yüksek olanlardan biriside rüzgar enerjisidir. Dolayısıyla bu santrallerin sayısının artırılması gerekmektedir. Bu nedenle, rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yerlerinin uygun bir şekilde seçilmesi çok önemlidir.

Rüzgar enerji santralleri kurulum yeri seçimi ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Aşağıda bu literatür çalışmalarından bazıları özetlenmektedir.

Haaren ve Fthenakis [8], New York şehrinde konumsal çok kriterli analiz tekniği ile rüzgar santralleri kurulum yeri seçimi çalışması yapmışlardır. Çalışma üç adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda rüzgar santralleri için uygun alanların belirlenmesi, ikinci adımda ekonomik olarak değerlendirilmesi ve üçüncü adımda ise belirlenen alanlarda

kurulacak rüzgar türbinlerinin kuş habitatı üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Gass vd [9], Avusturya'nın sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyelinin ekonomik olarak değerlendirilmesini yapmışlardır. Çalışmadaki genel amaç altyapı, doğal çevre, korunan bölgeler ve mevcut elektrik tarifeleri ile ekonomik açıdan rüzgar enerji santrallerinin bulunduğu yerlerin değerlendirilmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında türbin kurulamayacak alanlar belirlenmiş, ikinci aşamada ise rüzgar santrali kurulabilecek yerlerin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Rodman ve Meentemeyer [10], Kuzey Kaliforniya Amerika'da rüzgar enerji santralleri kurulum yeri tespitinde coğrafik analiz uygulaması yapmışlardır. Yapılan çalışmanın hedefi, GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kullanılarak rüzgar türbin konumlarının uygunluğunu denetlemek ve rüzgar enerji santralleri kurulumu için en uygun alanları belirlemektir. Tegou, Polatidis ve Haralambopoulos [11], Yunanistan'ın Lesvos adasında rüzgar enerji santralleri kurulum yeri için uygulama yapmışlardır. Uygulamanın amacı çok kriterli karar analizi kullanılarak rüzgar enerji santrali kurulumu yerleri için en uygun alanları değerlendirmektir. Bu değerlendirme için görsel etki, arazi maliyeti, eğim, arazi yapısı, rüzgar enerji potansiyeli, yollardan uzaklık, elektrik iletim hatlarına uzaklık ve elektrik talebi kriter olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Kullanılan bu kriterlerin ağırlıklandırılması AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bennui ve diğerleri [12], Tayland'da GIS tabanlı rüzgar enerji santralleri kurulum yeri seçimi uygulaması yapmışlardır. Asıl amaç GIS ile çok kriterli karar verme yöntemlerini birbirine entegre ederek bir kurulum yeri seçimi modeli oluşturmaktır. Yer seçiminde kullanılacak kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılmıştır. Lejeune ve Feltz [13], Belçika Walloon Bölgesi rüzgar enerji politikası için bir karar destek sistemi geliştirmeye çalışmışlardır. Grassi, Chokani ve Abhari [14], Amerika'nın Iowa eyaletinde mevcut rüzgar potansiyelinin teknik ve ekonomik değerlendirmesini GIS tabanlı bir yaklaşımla gerçekleştirmişlerdir. Uygulamanın amacı rüzgar enerji santralleri için en uygun yerlerin belirlenmesi ve bu yerlerde üretilecek elektrik enerjisinin ekonomik değerinin tahmin edilmesidir. Tasri ve Susilawati [15], Endonezya'da alternatif yenilenebilir enerji kaynakları belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP'yi kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Gorsevski ve diğerleri [16], Amerika'nın Ohio Eyaletinde rüzgar tarlalarının kurulum yeri seçimi için grup tabanlı konumsal karar destek sistemi uygulaması yapmışlardır. Phuangpornpitak ve Tia [17], Tayland'ın kuzeydoğu kesiminde yer alan Nakhonphanom yerleşim bölgesinde GIS tabanlı rüzgar enerji santralleri kurulum yer seçimi uygulaması yapmışlardır. Bu çalışmada kırsal yerler için elektrik ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Şengül ve diğerleri [18], Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından

enerji temini sistemlerini sıralamak için bulanık TOPSIS (Bulanık İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği) yöntemini uygulamışlardır. Zhang ve diğerleri [19], yeni bir ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemi önermişler ve bu yöntemi Jiangsu/Çin için yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerini değerlendirmek için uygulamışlardır. Kabak ve Dagdeviren [20], Türkiye'nin enerji üretimini değerlendirmek ve enerji üretimini gerçekleştirebileceği alternatif enerji kaynaklarını sıralamak için BOCR (Faydalar, Fırsatlar, Maliyetler ve Riskler) ve ANP' nin (Analitik Ağ Süreci) hibrit modelini önermişlerdir. Bu modeli kullanarak alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarını sıralamışlar ve en uygun enerji kaynağının hidroelektrik enerji sistemleri olduğunu öne sürmüşlerdir. Kumar ve diğerleri [21], ÇKKV yöntemleri yardımıyla enerji planlaması yapılması hakkında kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. İncecik ve Erdoğan [22], Anadolu'nun batı kesiminde rüzgar gücündeki değişimi Weibull dağılımını dikkate alarak açıklamışlardır. Çalışmalarında Türkiye Meteoroloji Servisinden sağladıkları verileri kullanmışlardır. Şen ve Şahin [23], Ege bölgesi kıyı şeridindeki rüzgar enerjisi potansiyelini, bölgesel kriterleri dikkate alarak araştırmışlardır. Öztopol ve diğerleri [24], bölgesel ve yerel veriler kullanarak Türkiye geneli rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi potansiyel haritaları üretmişlerdir. Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli bulunan alanlarını kategorize etmişlerdir. Buna göre ülkenin kuzeybatı, kuzey ve ege denizi kıyıları en yüksek potansiyele sahip alanlardır. Daha sonra Orta Karadeniz ve Doğu Akdeniz bölgesi gelmektedir. Durak ve Şen [25], Akhisar bölgesi rüzgar enerji potansiyeli çalışması yapmışlardır. WAsP yazılımı kullanılarak bölgede 600kW güce sahip 20 adet rüzgar santrali ile yılda en az 31.346 MWh elektrik enerjisi üretilebileceğini belirtmişlerdir. Karlı ve Geçit [26], Gaziantep Nurdağı bölgesinin sahip olduğu rüzgar enerji potansiyelini saptamak için bir çalışma yapmışlardır. Bilgili ve diğerleri [27], Doğu Akdeniz bölgesi kapsamında, bazı bölgelerin rüzgar enerji potansiyellerini saptamak ve rüzgar enerjisi gücünü hesaplamak için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında bölgenin 1997 ve 2001 yılları arasına ait meteoroloji istasyonlarından elde edilen saatlik rüzgar hızı verilerini kullanmışlardır. Akdağ ve Güler [28], Türkiye'de kurulu rüzgar enerji santrallerinin yapmış olduğu lisans başvurularını incelemişlerdir. Türkiye'de kullanılan 14 farklı tipte santralin elektrik üretim maliyetlerini analiz etmişlerdir. Analiz edilen bölgelerin kapasite faktörleri yapılan hesaplamalar sonucunda %19,7 ile %56,8 arasında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Üretilecek olan elektrik enerjisinin kWh başına maliyeti 0,0173 ile 0,0499 \$/kWh aralığında hesaplanmıştır. Al-Yahyai ve diğerleri [29], ÇKKV yöntemleri kullanarak Umman'da rüzgar enerji santralleri için uygunluk indeksi oluşturma uygulaması yapmışlardır. AHP ve ağırlıklı ortalama tekniği kullanılarak rüzgar santralleri için uygunluk

indeksi üretilmiş ve GIS kullanılarak çok uygun, orta uygun, az uygun ve uygun değil diye sınıflandırma yapılmıştır. Akpınar [30], Karadeniz bölgesinin doğu kıyılarında rüzgar enerjisi potansiyelini incelemeyi amaçlamıştır. Kıyı şeridinde yer alan Sinop, Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon ve Hopa da bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak rüzgar gücü potansiyeli ve rüzgar karakteristikleri analiz edilmiştir. İlkılıç ve Aydın [31], Türkiye'nin denize kıyısı olan bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyelini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları verileri Türkiye Elektrik Gücü Kaynakları Araştırma ve Geliştirme Dairesi'nden temin etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda rüzgar yoğunluklarına göre rüzgardan en fazla yararlanılacak yerler İstanbul, İzmir, Datça, Bandırma, Antakya, Çanakkale ve Hatay'dır.

Türkiye rüzgar enerji potansiyeli yönünden zengin bir ülkedir. Ülkemizin sahip olduğu potansiyel rüzgar enerjisinden tam olarak yararlanılamamaktadır. Mevcut rüzgar potansiyelinden en yüksek oranda elektrik enerjisi elde edebilmek için santrallerin kurulacağı yerlerin belirlenmesi çok önem arz etmektedir. Bu tezde rüzgar enerji santralleri kurulum yeri seçiminin karmaşık bir karar verme süreci olduğu vurgulanmış, rüzgar enerji santrali yer seçimi için kriterler belirlenmiş, belirlenen kriterlerin değerleri çok farklı kaynaklardan elde edilmiş ve Amasya ili için örnek bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ortaya konan yöntem başka bölgelerde kurulması planlanan rüzgar enerji santralleri için fayda sağlayacaktır. Geliştirilen bu yöntemle yatırım maliyetleri en aza indirilirken, enerji üretiminden en yüksek verim sağlanacaktır.

Tezin genel bilgiler bölümünde Dünya'da ve Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi konusunda bilgiler, Türkiye'nin rüzgar enerjisinden ürettiği elektrik enerjisi miktarı hakkında genel bilgiler ile rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinleri hakkında bilgiler verilmiştir. Yöntem bölümünde ise bu tez çalışmasında kullanılan ÇKKV yöntemlerinden MOORA (Oran Analizi Temelinde Çok Amaçlı Optimizasyon) Yöntemi açıklanmıştır. Bulgular bölümünde MOORA yönteminin uygulanabilmesi için ÇKKV yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setleri kullanılarak dört farklı MOORA yöntemi ayrı ayrı uygulanmış ve Amasya ili için en uygun rüzgar santrali kurulum yeri tespiti gerçekleştirilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde MOORA yöntemi kullanılarak Amasya ilinin kuzeyindeki (RES_2) (Rüzgar Enerji Santrali_2) bölgesi rüzgar santrali kurulumu için en uygun yer olarak belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektrik Enerjisi

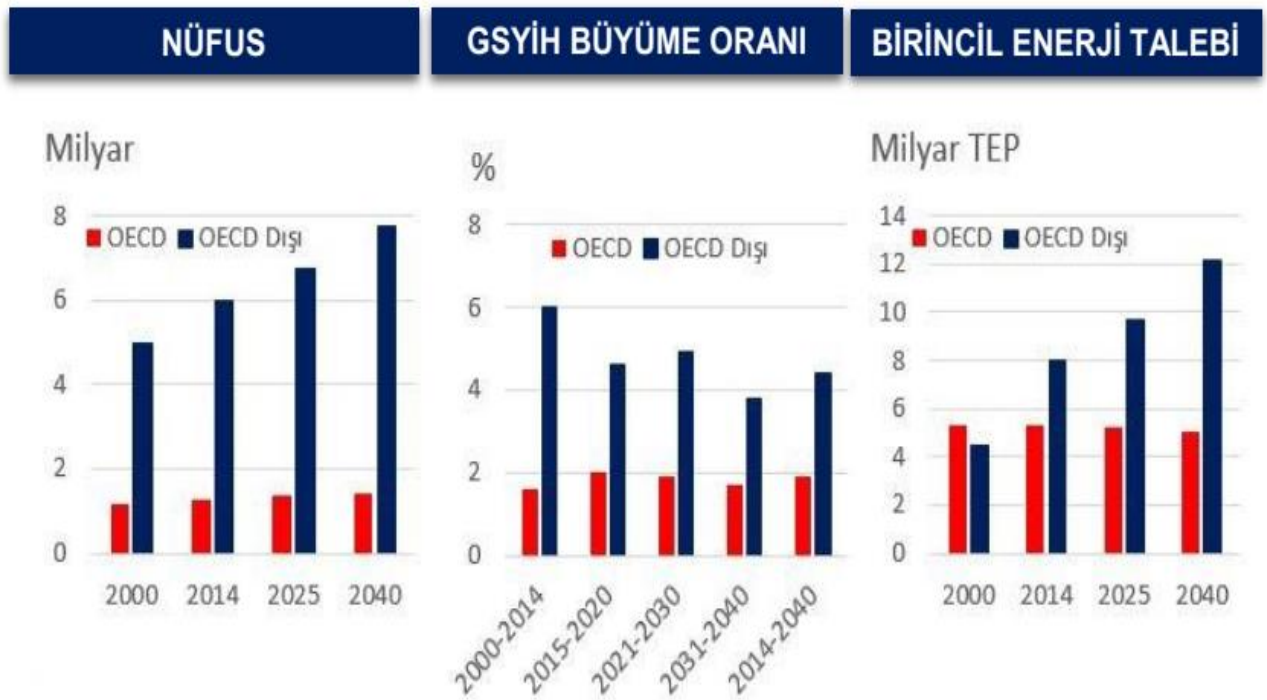
İnsanoğlu yaradılışından bugüne kadar enerji ihtiyacını çeşitli yöntemlerle karşılamıştır. İlk başlarda kas gücünü kullanmış, sonra ise evcilleştirdiği hayvanların kas gücünden faydalanmıştır. Bunların yanında, iş yapabilmek için ihtiyacı olan enerjiyi akarsulardan, ateşin icadıyla ısı enerjisinden elde etmiştir. Enerji ihtiyacını giderebilmek için kullanılan bu yöntemler günümüze kadar değişim ve gelişim, göstermiştir. Bu gelişimin sonucunda rüzgar, buhar, güneş, nükleer vb. enerji kaynakları ihtiyaç duyulan enerjinin temininde kullanılmaya başlanmıştır.

Gelişen teknoloji ve makineleşme dünyamızın enerji ihtiyacının gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Günlük hayatımızın her alanından sanayiye, ulaşımdan teknolojiye, sağlıktan üretime her yerde enerjiye ihtiyaç vardır. İhtiyacımız olan bu enerjiyi temin etmek için çok çeşitli kaynaklardan faydalanılmaktadır. Kullanılan bu kaynaklar yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları diye ikiye ayrılırlar. Yenilenemeyen enerji kaynakları petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtlardır. Bu enerji kaynakları doğadan temin edilir lakin bu kaynaklar kullanıldıkça tükenen enerji kaynaklarıdır. Bunların yanında kullanıldıkça tükenmeyen, doğa tarafından sürekli yenilenen enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır.

Fosil yakıtların doğaya verdiği zararlar ve dünyanın hızla artan enerji ihtiyacını karşılayamaması alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmış, yakın gelecekte fosil yakıtların tükeneceğinin öngörülmesi, alternatif kaynakların kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

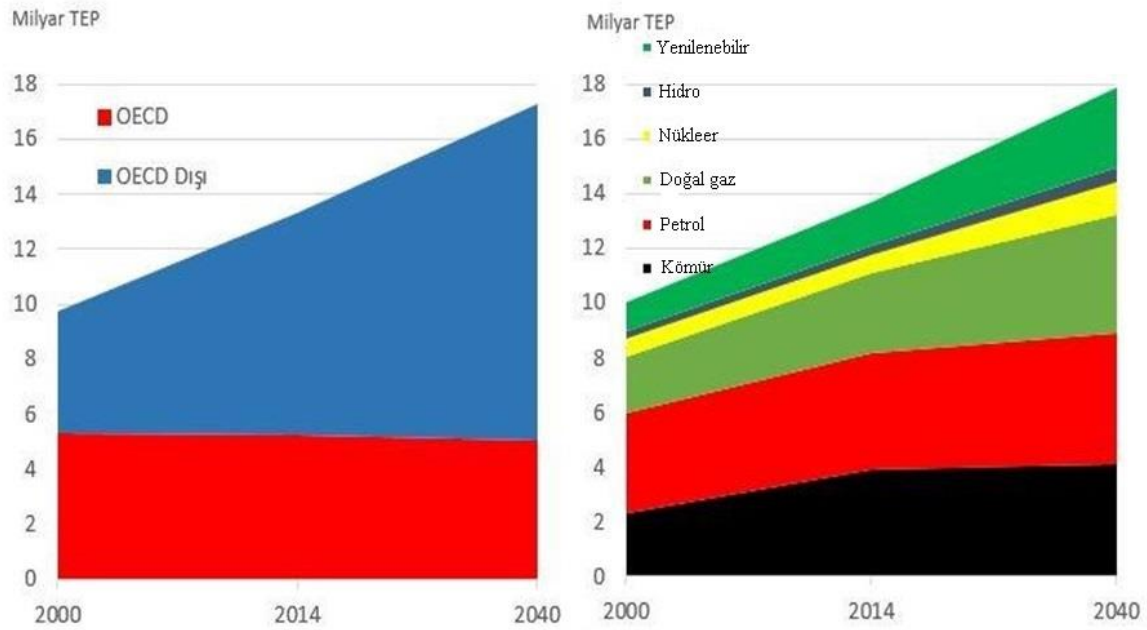
2.1.1. Dünyada elektrik enerjisi üretimi

Nüfus ve buna paralel gerçekleşen gelir artışı dünyada birincil enerji kaynaklarının hızla artmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.1 incelendiğinde OECD (Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü) dışı ülkelerin 2040 yılına kadar öngörülen nüfus artışı ile tüketilen enerjinin orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir [32].



Şekil 2.1 Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi [32]

2040 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar yapılırsa bile fosil yakıtlar enerji üretiminde hâkim olmaya devam edecektir. Gelişen teknoloji ile birlikte nükleer enerjinin sahip olduğu payın artmaya devam edeceği, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin toplam üretilen enerjinin %16,1'i olacağı öngörülmektedir. Gelişen teknoloji ve ülke politikaları dikkate alındığında dünya enerji talebinin her yıl ortalama %2,3 artacağı öngörülmektedir. Fosil yakıtların hızla tükenmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hızla devam etmektedir. Bunun neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarında yıllık %9,8 büyüme gerçekleşmektedir. Dünya genelinde birincil enerji kaynaklarına talebin bölgelere ve birincil kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmektedir [32].



Şekil 2.2 Dünya birincil enerji talebinin ve enerji kaynaklarının bölgelere göre dağılımı [32]

Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi sıralamasında Türkiye 19. sırada yer almaktadır (Bkz Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Dünya birincil enerji tüketimi sıralaması (Milyon TEP)

Ülke	2013	2014	2015	Dünya Top. Payı	
				(%)	Sıra
Çin	2903,9	2970,3	3014	22,9	1
ABD	2271,7	2300,5	2280,6	17,3	2
Hindistan	626	666,2	700,5	5,3	3
Rusya	688	689,8	666,8	5,1	4
Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4	5
Kanada	335	335,5	329,9	2,5	6
Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4	7
Brezilya	290	297,6	292,8	2,2	8
Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1	9
İran	247,6	260,8	267,2	2	10
Suudi Arabistan	237,4	252,4	264	2	11
Fransa	247,4	237,5	239	1,8	12
Endonezya	175	188,3	195,6	1,5	13
Birleşik Krallık	201,4	188,9	191,2	1,5	14
Meksika	188,9	190	185	1,4	15
İtalya	155,7	146,8	151,7	1,2	16
İspanya	134,2	132,1	134,4	1	17
Avustralya	130,7	129,9	131,4	1	18

Türkiye	120,3	123,9	126,9	1	19
Tayland	120,3	123,4	124,9	0,9	20
Güney Afrika	124,6	128	124,2	0,9	21
Tayvan	109,9	111,4	110,7	0,8	22
BAE	97,2	99	103,9	0,8	23
Polonya	96	92,4	95	0,7	24
Ukrayna	114,7	101	85,1	0,6	25

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi her yıl artış göstermektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Avrupa ülkelerinde 2015 yılında üretilen elektriğin %29'u yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir. Dünyadaki bazı ülkelerin elektrik üretimi Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Dünyadaki bazı ülkelerin yıllık elektrik üretimi (2015)

Ülke	Miktar (TWh)	Dünya Top. Payı (%)	Sıra
Çin	5.810,60	24,1	1
ABD	4.303,00	17,9	2
Hindistan	1.304,80	5,4	3
Rusya	1.063,40	4,4	4
Japonya	1.035,50	4,3	5
Almanya	647,10	2,7	6
Kanada	633,30	2,6	7
Brezilya	579,80	2,4	8
Fransa	568,80	2,4	9
Güney Kore	522,30	2,2	10
İngiltere	337,70	1,4	11
Suudi Arabistan	328,10	1,4	12
Meksika	306,70	1,3	13
İran	281,90	1,2	14
İtalya	281,80	1,2	15
İspanya	278,50	1,2	16
Türkiye	261,80	1,1	17
Tayvan	258,00	1,1	18
Avustralya	253,60	1,1	19
Güney Afrika	249,70	1	20
Endonezya	234,70	1	21
Mısır	180,60	0,7	22

Dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde birincil kaynak olarak en fazla kömür kullanılmaktadır. Dünyanın en gelişmiş ülkelerinden olan Amerika, Çin, Hindistan ve Almanya'da elektrik enerjisi üretiminde birincil kaynak olarak kömürü kullanırken, Rusya

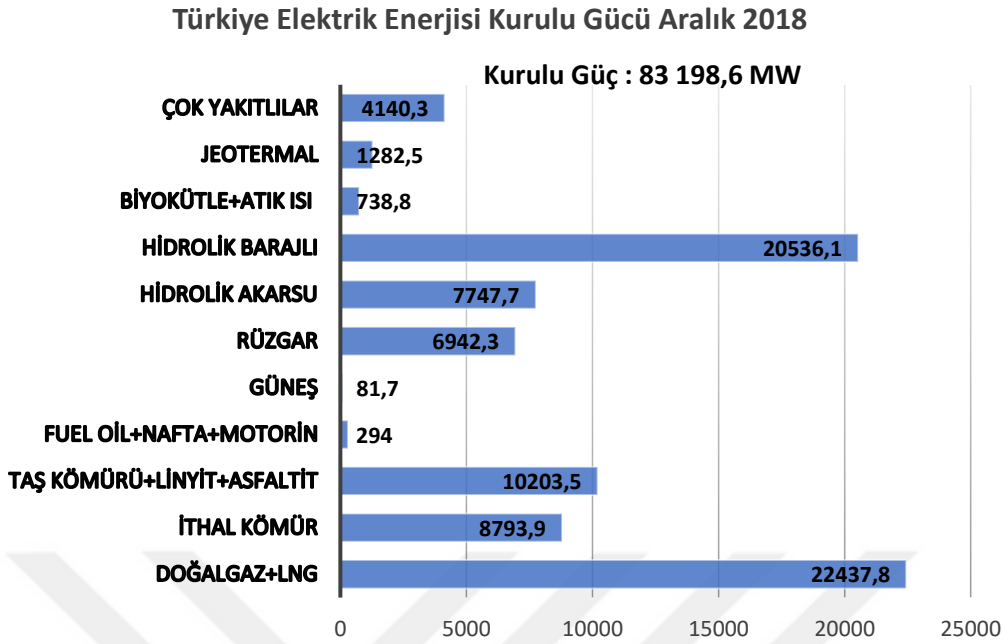
doğalgazı, Fransa nükleer santralleri, Kanada ise yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Çizelge 2.3’de gelişmiş ülkelerin elektrik enerjisi üretiminde kullandıkları birincil kaynaklar gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Bazı ülkelerin elektrik enerji üretiminde kullandığı birincil kaynaklar

Ülke	Kömür	Petrol	Doğal Gaz	Nükleer	Yenilenebilir Enerji	Diğer
Fransa	2,1%	0,3%	2,3%	77,6%	17,5%	0,2%
Almanya	45,4%	0,9%	9,9%	15,5%	28,0%	0,3%
ABD	39,5%	0,9%	26,8%	19,1%	13,6%	0,1%
Kanada	9,9%	1,2%	9,3%	16,4%	62,8%	0,3%
Çin	72,5%	0,2%	2,0%	2,3%	23,0%	0,0%
Hindistan	75,1%	1,8%	4,9%	2,8%	15,5%	0,0%
Rusya	14,9%	1,0%	50,1%	17,0%	17,0%	0,0%
Dünya	40,6%	4,3%	21,6%	10,6%	22,9%	0,1%

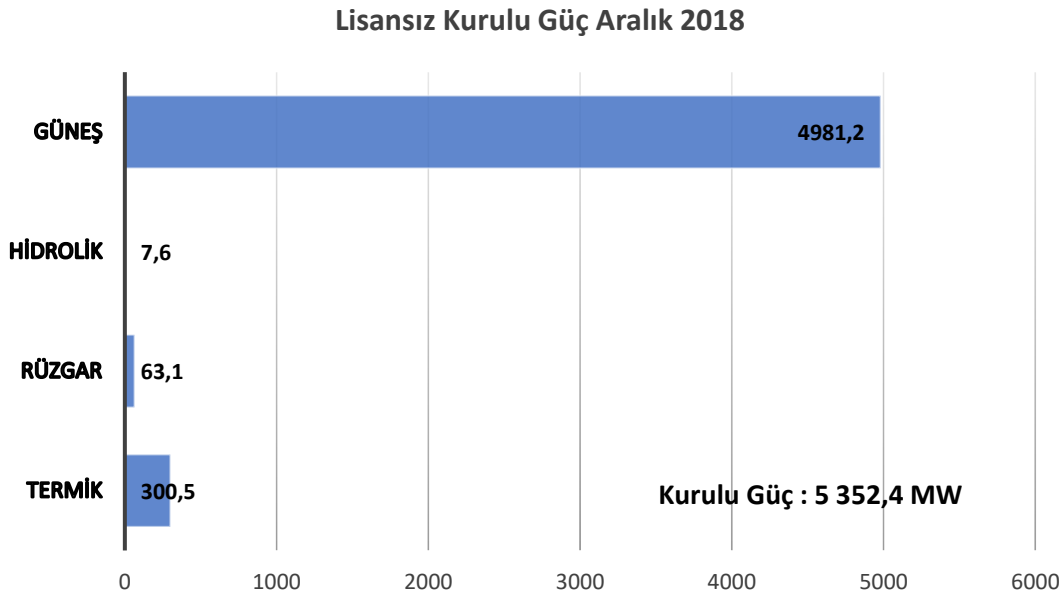
2.1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi

Türkiye’nin elektrik enerjisi kurulu gücü 2018 yılı sonu itibari ile 83 198,6 MW lisanslı (Bkz. Şekil 2.3) ve 5 352,4 MW lisansız (Bkz. Şekil 2.4) olmak üzere 88 550,8 MW olarak gerçekleşmiştir. Toplam kurulu gücü %26,97 ile doğalgaz kaynaklı santraller oluşturmaktadır. 2018 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklı toplam kurulu güç %44,86’dır. Kurulu güç olarak baktığımızda mevcut kurulu gücün neredeyse yarısı yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerden oluşmaktadır. Yenilenebilir kaynaklı kurulu gücü %24,68 ile barajlı hidrolik santraller, %9,31 ile hidrolik akarsu santraller, %8,34 ile rüzgar santralleri, %1,54 ile jeotermal santraller, %0,89 ile biyokütle santralleri ve %0,1 ile güneş enerji santralleri oluşturmaktadır [33] (Bkz. Şekil 2.5).

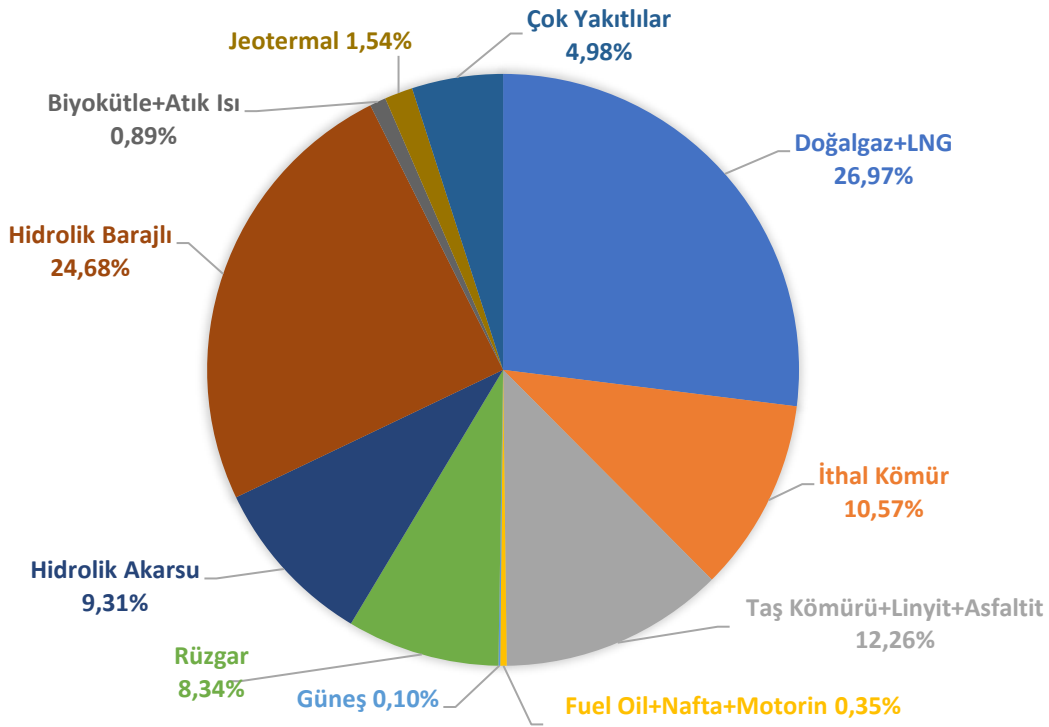


Şekil 2.3 Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü (Aralık 2018) [33]

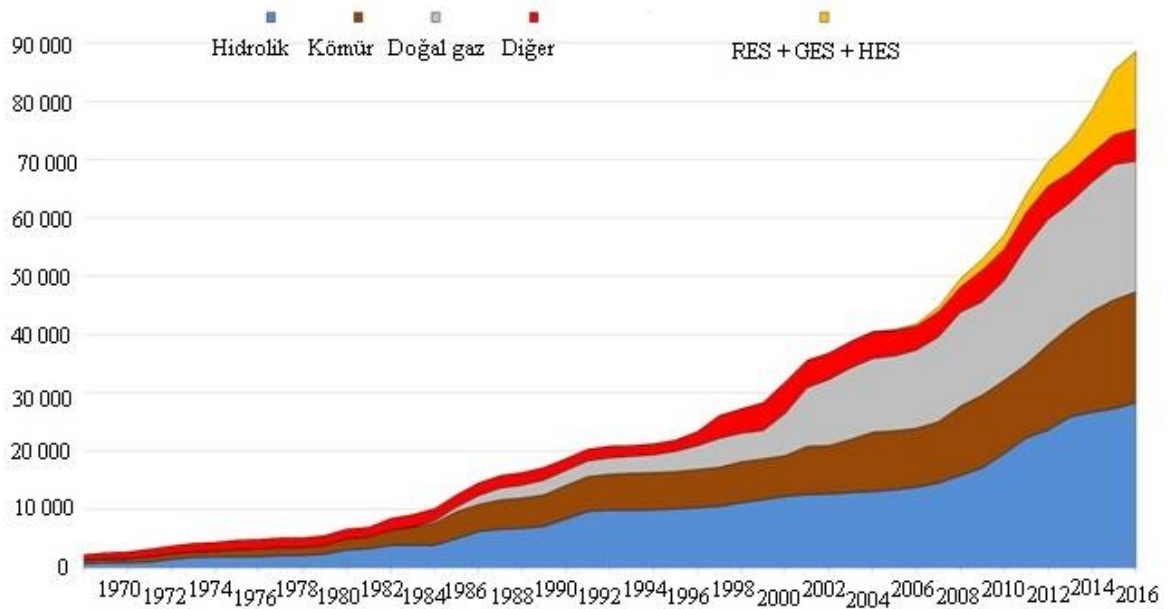
Şekil 2.4’de gösterildiği üzere Türkiye de 2018 yılı sonu itibariyle lisansız santrallerin toplam kurulu gücü 5 352,4 MW’tır. Lisansız santraller içerisinde 4 981,2 MW’lık kurulu güç ile güneş santralleri ilk sıradadır. Güneş santrallerinde bu denli artışın nedeni ülkemizde uygulamaya konulan ve desteklenen mikro ölçekli yatırımların sayısında meydana gelen artış gösterilebilir [33].



Şekil 2.4 Türkiye’de lisansız santral kurulu güç (Aralık 2018) [33]



Şekil 2.5 Elektrik enerjisi kurulu gücün birincil kaynaklara göre dağılımı (Aralık 2018) [33]

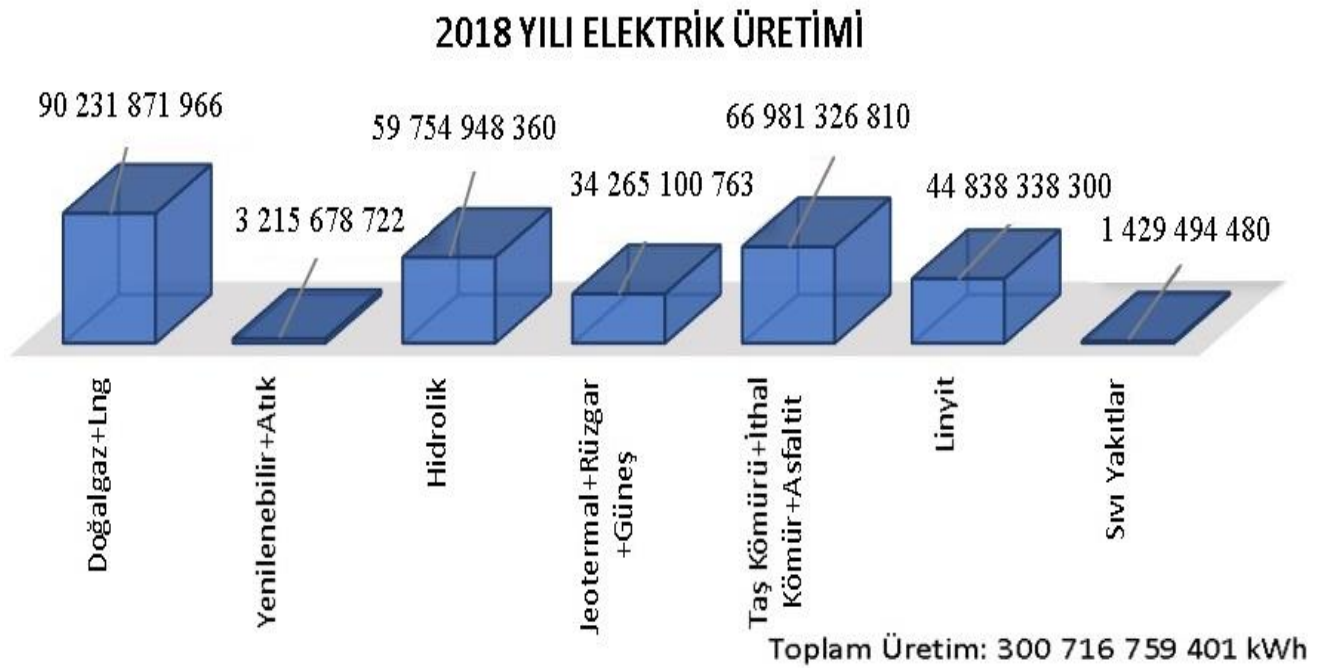


Şekil 2.6 Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi [33]

Ülkemizde nüfus artışına paralel sanayileşme ve kalkınma hamleleri elektrik enerjisine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Şekil 2.6’da ülkemizin 1970 yılından 2018 yılı sonuna kadar elektrik enerjisi kurulu gücünde meydana gelen değişim gösterilmektedir. Şekil 2.6

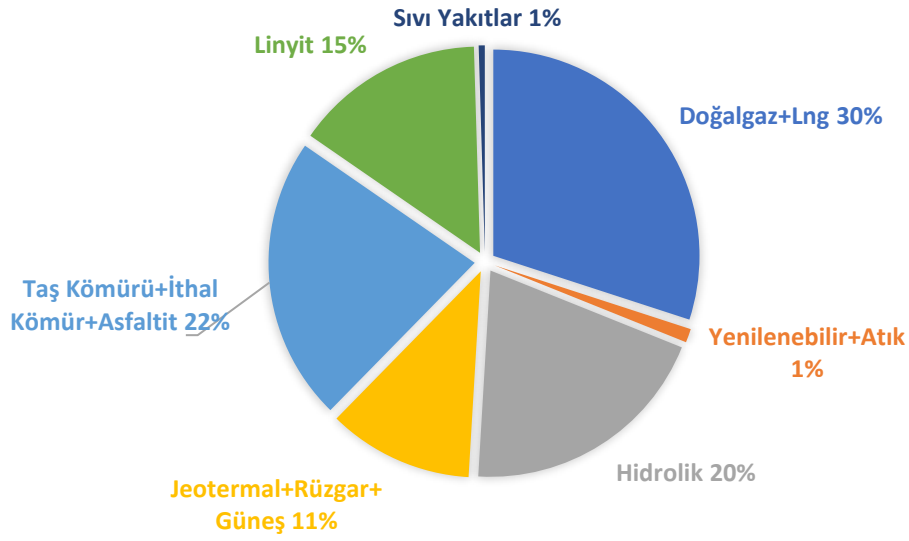
incelendiğinde 2006 yılına kadar kurulu gücün tamamını hidrolik ve termik santraller oluşturmaktadır. 2006 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar yapılmış ve kurulu güç teki payı her geçen gün artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklı bu artışa paralel bir şekilde kömür kaynaklı santrallerde azda olsa azalma olduğu görülmektedir [33].

Türkiye de 2018 yılı sonu itibariyle üretilen elektrik enerjisi 300 716 759 401 kWh olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2.7 incelendiğinde en fazla elektrik üretiminin doğalgaz kaynaklı santrallerde gerçekleştiği görülmektedir. Rüzgar, jeotermal ve güneş enerji santrallerinden ise 34 265 100 763 kWh elektrik enerjisi üretilmiştir.



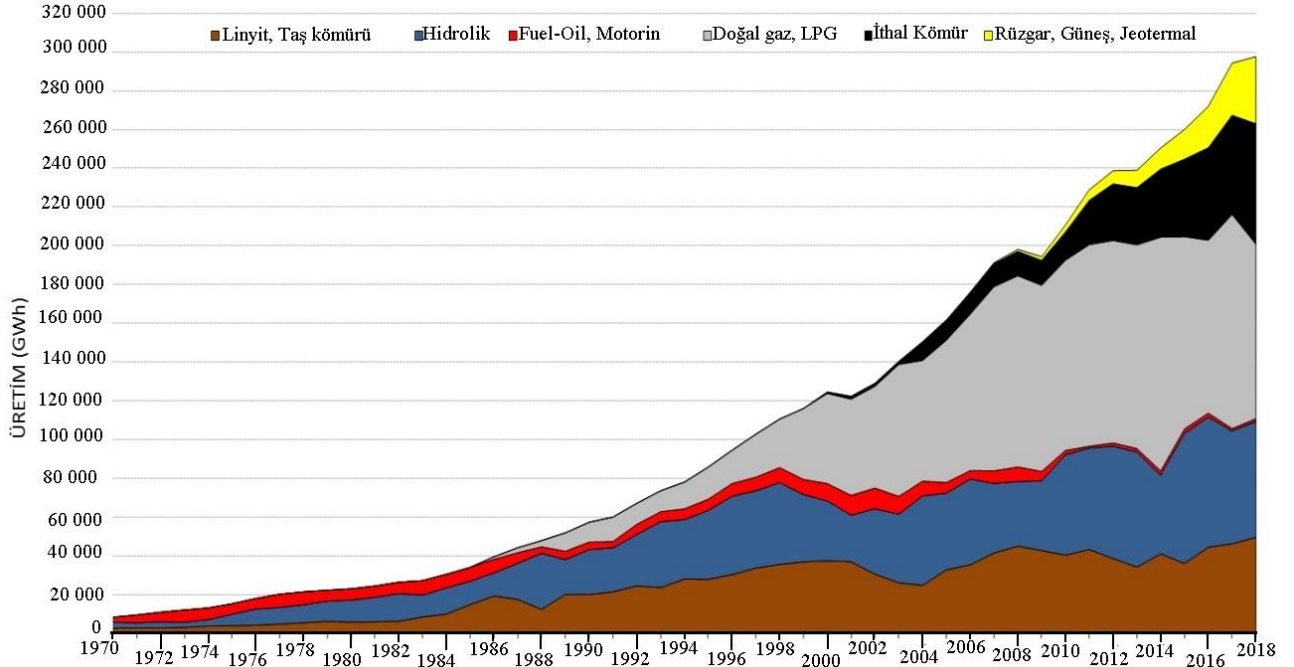
Şekil 2.7 Türkiye’de üretilen elektrik enerjisi (2018) [33]

Türkiye de kurulu gücün %44,86’sını oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarından maalesef sadece toplam elektrik enerjisi üretiminin %32’si üretilebilmektedir (Bkz. Şekil 2.8). Bu verilere göre mevsimsel etkiler haricinde yenilenebilir enerji kaynaklarından en yüksek verim elde edilebilmesi için daha kapsamlı fizibilite çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle santral kurulum yeri seçilirken daha titiz davranılmalıdır.



Şekil 2.8 Üretilen elektrik enerjisinin birincil kaynaklara göre oranları (2018) [33]

Türkiye de 1970 ve 2018 yılları arasında üretilen elektrik enerjisi miktarının birincil enerji kaynaklarına göre dağılımını Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi değişimi (1970-2018) [33]

Türkiye de elektrik enerjisi üretiminde birincil kaynak hala doğalgaz ve kömür gibi yer altı kaynaklarıdır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım her geçen gün artmaktadır. Yapılan yatırımlara rağmen enerjide dışa bağımlılığımız devam etmektedir.

Yeraltı kaynakları bakımından zengin bir ülke olmadığımız için her geçen gün artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir.

Rüzgar enerji santralleri ülkemiz için enerji yatırımlarında öncelikli konumdadır. Türkiye'nin 100 m yükseklikte hesaplanan rüzgar enerji kapasitesi 48 000 MW'tır. Türkiye'de 2018 yılı sonu itibari ile lisanslı ve lisanssız olmak üzere toplam rüzgar enerji santrali kurulu gücü 7 143,8 MW'tır. Bu oran Türkiye'nin sahip olduğu toplam rüzgar enerji potansiyelinin %15'ine denk gelmektedir.

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

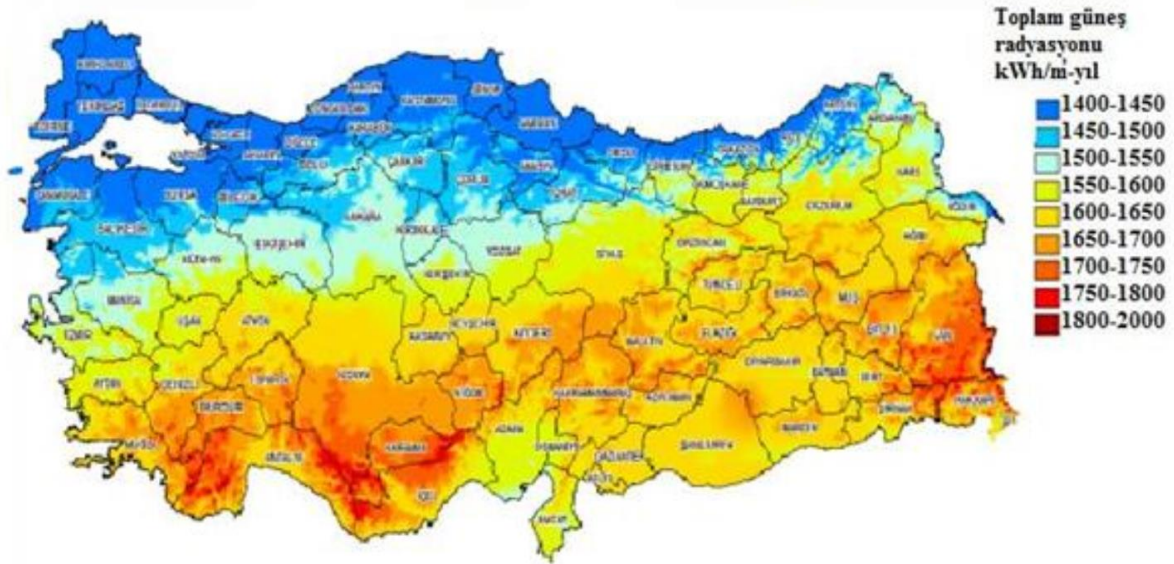
Doğada herhangi bir çaba sarf etmeden meydana gelen enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları denir. Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretimi esnasında doğaya en az oranda zarar veren ve karbonmonoksit salınımı yok denecek kadar az olan sürdürülebilir temiz enerji kaynağıdır. Güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılır [34].

2.2.1. Güneş enerjisi

Güneşten gelen ısı ve ışıkla üretilen enerjiye denir. Güneşin merkezinde gerçekleşen füzyon olayı sonucunda açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneş enerjisinden farklı şekillerde faydalanabilmek için geliştirilen teknolojiler vardır. Güneş enerjisinin dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım şekli sıcak su elde edilmesidir. Gelişen teknolojiyle birlikte güneş ışıklarından sadece yaz aylarında değil kış aylarında bile sıcak su elde edilebilmektedir. Güneş enerjisinden sıcak su elde edilmesi oldukça tasarruf sağlamaktadır. Güneş toplama aynaları güneş ışıklarını bir noktaya odaklayarak yüksek enerji elde edebilmektedir. Güneş panelleri ise yarı iletken malzemelerden üretilerek güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisi üretiminde kullanmaktadır [35].

Güneş panelleri P ve N tipi yarıiletken maddelerden üretilmiştir. Elektrik üretimi fotoelektrik olaylar sonucunda üretilir. Güneşten gelen ışınlar elektronları kopararak harekete geçirir. Bu hareket esnasında elektrik akımı oluşur [36].

2018 yılı sonu itibari ile Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü 83 198,6 MW' tır. Toplam kurulu güç içerisinde güneş enerjisinin payı %0,1 ile 5 062,9 MW'tır. Türkiye yıllık güneşlenme süresi dikkate alındığında elektrik enerjisi üretiminin en verimli olacağı yer Güney Doğu Anadolu bölgesidir. (Bkz. Şekil 2.10)



Şekil 2.10 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [37]

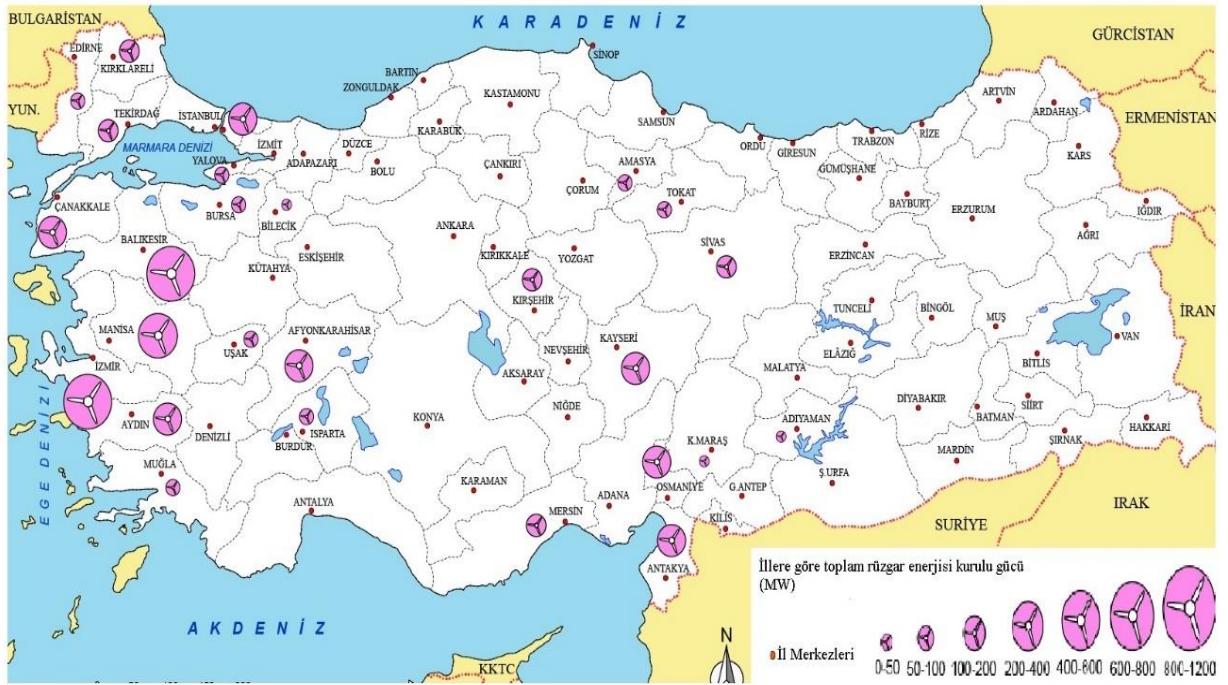
2.2.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar, yeryüzünün farklı yönlerden güneşlenmesiyle oluşan ısı farkından meydana gelen bir doğa olayıdır. Yeryüzünde oluşan bu farklılıklar atmosfer sıcaklığının ve basıncının değişmesine sebep olarak hava hareketlerine neden olmaktadır. Atmosferik hava hareketleri sonucunda rüzgarlar oluşur. Rüzgârın ana sebebi atmosferik hava hareketleri olduğundan yeryüzü şekilleri de rüzgar oluşumunda çok etkilidir. Yeryüzünde bulunan kara ve denizin birleşim yerleri, vadiler ve dağlık tepeler rüzgar oluşumunun sık görüldüğü yerlerdir. Rüzgar yeryüzünün farklı güneşlenme süreçlerinde meydana geldiği için coğrafi özelliklere ve zamansal değişikliklere göre farklılık gösterebilir.

Rüzgarı oluşturan iki ana parametre, rüzgar hızı ve rüzgar yönüdür. Rüzgar türbinleri rüzgar potansiyelini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgar türbinleri hava hareketleriyle oluşan rüzgar kinetik enerjisini kanatları yardımı ile süpürerek mekanik enerjiye dönüştürürler. Rüzgar türbinlerinden elde edilen mekanik enerji generatörler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

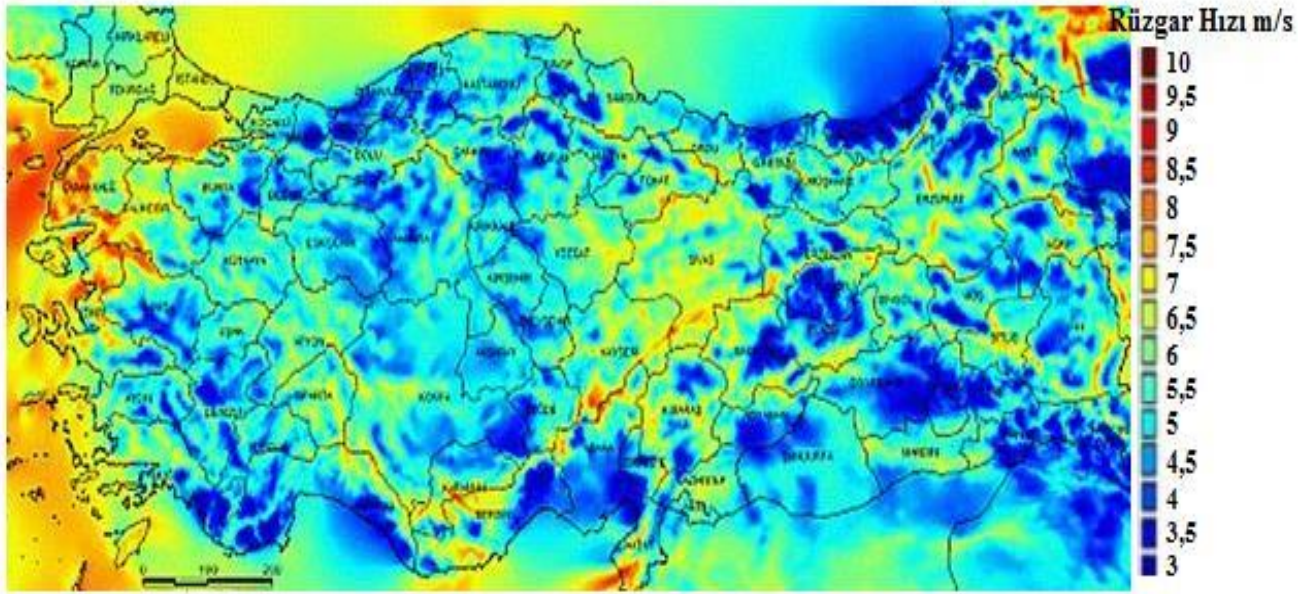
Rüzgar türbinleri rüzgar potansiyeline göre iki farklı şekilde tasarlanır. Yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki çeşit rüzgar türbini modelleri bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri içerisinde en fazla kullanılan model yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Bu türbinlerin tercih edilmesinin en büyük sebebi tehlikeli rüzgar hızlarına ulaşıldığında kanat dönme hareketlerini kısıtlayarak türbini olası zararlardan korumasıdır [37].

Türkiye’de kurulu olan santrallerin bulunduğu bölgeler Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Şekil 2.11 incelendiğinden rüzgar enerji santrallerinin en fazla kurulu olduğu yerler, Ege ve Marmara bölgeleridir.



Şekil 2.11 Türkiye rüzgar enerji santralleri haritası [38]

Türkiye’nin elektrik enerjisi kurulu gücü 2018 yılı aralık ayında 83 198,6 MW’ tır. Toplam kurulu güç içerisinde rüzgar enerjisinin payı %8,34 ile 7 143,8 MW’tır. Türkiye’nin bölgeleri incelendiğinde rüzgar potansiyelinin en yüksek olduğu bölge Ege bölgesidir (Bkz. Şekil 2.12).



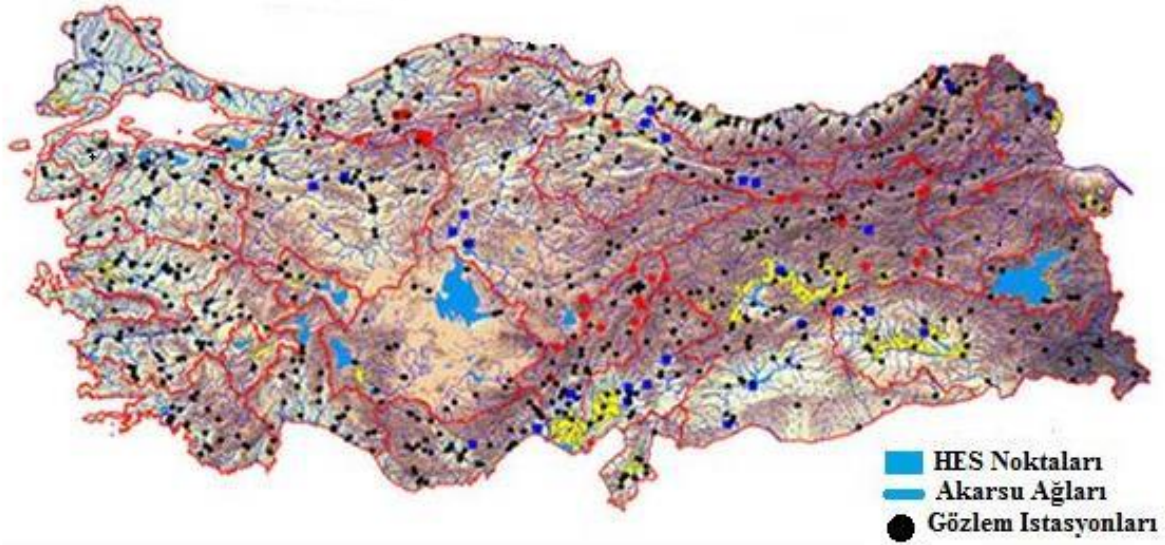
Şekil 2.12 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası [37]

2.2.3. Hidroelektrik enerji

Suyun bir bent ile tutulması sonucu oluşan potansiyel enerjinin veya su akışının sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülerek, dönüştürülen mekanik enerjinin generatörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi işlemidir. Temel ilke üst seviyedeki suyun yerçekimi etkisiyle alt seviyeye düşürülmesi sonucu türbinlerin döndürülmesi ile elektrik enerjisi elde edilir. Üretilen elektrik enerjisinin miktarı doğrudan suyun potansiyeline bağlıdır. Mevsim şartları su potansiyelini doğrudan etkilemektedir. Bu etkiyi en aza indirmek için su barajlarda biriktirilir. Bu barajlardan oluşan yapıya hidroelektrik santral denir. Hidroelektrik santraller en eski temiz enerji kaynaklarıdır. Bunun sebebi olarak işletme maliyetlerinin düşük olması, uzun ömürlü ve yüksek verimli olması gösterilebilir.

Türkiye'nin mevsimsel ve su kaynakları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda hidroelektrik enerji potansiyelinin 216 TWh olduğu öngörülmektedir. Türkiye bu potansiyelin %35'ni, 126 TWh'lik kısmını ekonomiye kazandırabilmektedir [39].

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde hidroelektrik enerjisinin payı %34 ile 28 283,8 MW'tır. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli Şekil 2.13'de verilmektedir.



Şekil 2.13 Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli haritası [37]

2.2.4. Jeotermal enerji

Jeotermal kelimesini incelediğimizde; jeo yer, termal sıcaklık anlamına gelmektedir. Kısaca jeotermal yerkabuğunun farklı kısımlarının sahip olduğu sıcaklık demektir. Yapılan çalışmalarda her 33 m derinlikte yerkabuğunda sıcaklık 1°C artmaktadır [40].

Jeotermal enerji yerkabuğunun çeşitli katmanlarında biriken sıcak su, buhar ve kimyasal gazların, yeraltında bulunan akışkanlar tarafından taşınması sonucunda rezervuarlarda depolanarak yapay yollardan elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar genellikle yerkabuğu katmanlarının kırılması sonucu oluşan sistemler ve volkanik bölgelerde görülmektedir.

Jeotermal enerji kaynakları yeraltından çıkan sıcak akışkanların sıcaklık dereceleri göz önüne alındığında; düşük sıcaklık aralığı $20-70^{\circ}\text{C}$, orta sıcaklık aralığı $70-150^{\circ}\text{C}$ ve yüksek sıcaklık 150°C ve üzeri olmak üzere üçe ayrılır [41].

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde jeotermal enerjisinin payı %1,54 ile 1282,5 MW'tır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli Şekil 2.14'de verilmektedir.

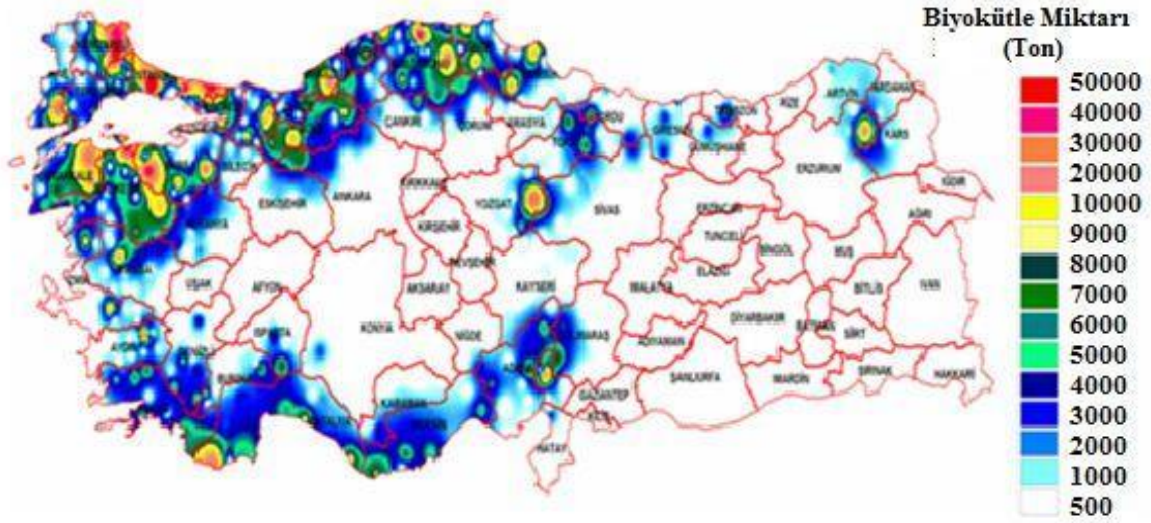


Şekil 2.14 Türkiye jeotermal enerji haritası [37]

2.2.5. Biyokütle enerjisi

Biyokütle belirli tür ve sayıda mikroorganizmanın oluşturduğu habitata denir. Aslında mikroorganizmalar kendi yaşam döngülerini sürdürmek için fotosentez yaparlar ve bu yolla organik madde üretirler. Üretilen bu organik maddelerin yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisi elde edilir. Biyokütle enerji kaynağı olarak mısır, buğday, ot, evsel atık, hayvansal dışkı, meyve ve sebze gibi artıklar verilebilir [42].

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde biyokütle enerjisinin payı %0,89 ile 738,8 MW'tır. Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeli haritası Şekil 2.15'de gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Türkiye orman kaynaklı biyokütle haritası [37]

2.2.6. Hidrojen enerjisi

Hidrojen yerkürede elde edilmesi en kolay olan elementtir. Hidrojen renksiz, kokusuz ve hafif bir elementtir. Fosil yakıtlar göz önüne alındığında sahip olduğu enerji potansiyeli bakımından en zengin enerjiye sahiptir. Bir kilogram hidrojenden elde edilen enerjiyi temin edebilmek için 2,1 kg doğalgaz veya 2,8 kg petrole ihtiyaç vardır. Temel hidrojen kaynağı sudur. Hidrojen yakıt olarak kullanıldığında karbonmonoksit salınımına sebep olmamaktadır. Hidrojen yakıtı atık olarak su veya su buharı meydana getirmektedir. Bu atıkların çevreye zararları yok denecek kadar azdır. Hidrojen yakıt hücrelerinde, hidrojenin kimyasal enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrojen motor yakıtı olarak ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılır [43].

2.2.7. Dalga enerjisi

Yeryüzünün 2/3'ünün okyanus ve denizlerden oluşması, buralarda gözlemlenen dalgaların potansiyel enerjilerinin yüksek olması bilim insanlarını bu enerjiden nasıl yararlanılabileceği noktasında düşünmeye sevk etmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda dalga enerjisinden elektrik üretimini sağlayacak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Teknolojik gelişmeler ve çok yönlü çalışmalarla bu potansiyelden maliyeti düşük elektrik enerjisi üretim sistemi geliştirilmeye çalışılmaktadır.

2.3. Rüzgar Enerjisi

2.3.1. Rüzgar kavramı

Rüzgar, yeryüzünün farklı yönlerden güneşlenmesiyle oluşan ısı farkından meydana gelen doğa olayıdır. Yeryüzünde oluşan bu farklılıklar atmosfer sıcaklığının ve basıncının değişmesine sebep olarak hava hareketlerine neden olmaktadır. Atmosferik hava hareketleri sonucunda rüzgarlar oluşur. Rüzgarın ana sebebi atmosferik hava hareketleri olduğundan yeryüzü şekilleri de rüzgar oluşumunda çok etkilidir. Yeryüzünde bulunan kara ve denizin birleşim yerleri, vadiler ve dağlık tepeler rüzgar oluşumunun sık görüldüğü yerlerdir. Rüzgar yeryüzünün farklı güneşlenme süreçlerinde meydana geldiği için coğrafi özelliklere ve zamansal değişikliklere göre farklılık gösterebilir.

Dünyada yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler rüzgar potansiyelinin yüksek olduğunu, fosil yakıtların da giderek tükeniyor olması ve yeşil enerji bilincinin dünya ülkeleri arasında hızla gelişmesi ile rüzgar enerjisine olan talebin arttığını göstermektedir. Gelişen teknoloji ile elektrik üretim maliyetlerinin azalması ve geliştirilen sistemler sayesinde verimliliğin artması bu yönelimi tetiklemektedir [44].

Rüzgar türbinlerinden elektrik üretilebilmesi için rüzgar hızının 3-25 m/s aralığında olması gerekmektedir. Bu aralık dışındaki hızlarda türbinler özel tasarım gerektirdiğinden ekonomik görülmemektedir [45]

2.3.2. Rüzgar gücü

Hava hareketinden oluşan rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji Eşitlik 2.1 deki formül yardımıyla hesaplanır [46-48].

$$P_r = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_r^3 (W) \quad (2.1.)$$

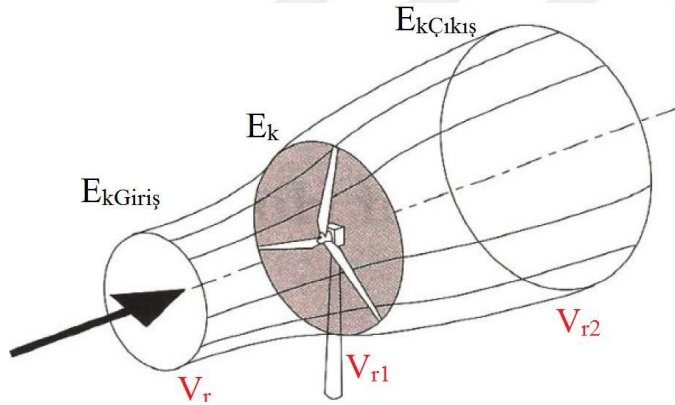
Eşitlik 2.1'deki ρ_a hava yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu değer genellikle 1255 kg/m^3 kabul edilir. A_T kanat süpürme alanı (m^2) ve V_r ise rüzgar hızı (m/s)'dır. Hava yoğunluğu değeri hesaplanırken sıcaklık, atmosfer basıncı, eğim ve havanın bileşenleri etkilidir. Hava

yoğunluğu hesaplanacak bölgenin sıcaklığı (T) ve yüksekliği (Z) elde edilmiş ise hava yoğunluğu Eşitlik 2.2 ile hesaplanır:

$$\rho_a = \frac{353049}{T} e^{(-0,034\frac{Z}{T})} \quad (2.2.)$$

Bu denklemler teorik olarak rüzgar gücünün hesaplamasında kullanılır. Betz kanununa göre birim rüzgardan alınacak güç değeri hesaplanan teorik değer %59'u kadardır ($C_p=0,59$). Betz kanununa göre rüzgar türbinlerinin kanatlarının süpürdüğü rüzgar kinetik enerjisinin en fazla %59'undan faydalanılabildiğinden dolayı bu noktaya maksimum verim noktası denir. Bu durum dikkate alındığında rüzgar türbinlerinden alınacak maksimum güç Eşitlik 2.3 ile ifade edilir:

$$P_T = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_r^3 C_p \quad (W) \quad (2.3.)$$



Şekil 2.16 Rüzgar türbininin enerji akış gösterimi [49]

Şekil 2.16'da gösterildiği gibi kanatlardan geçen havanın enerjisi Eşitlik 2.4'de gösterildiği gibidir [50].

$$E_k = E_{kGiriş} - E_{kÇıkış} \quad (Nm) \quad (2.4.)$$

Rüzgarın taşıdığı kinetik enerji şöyle hesaplanır:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_{T1} (v_r^2 - v_{r2}^2) \quad (Nm) \quad (2.5.)$$

Birim zamanda yapılan iş miktarı güce eşit olduğuna göre, türbin gücü şöyle bulunur:

$$p_T = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_{r1} (V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (W) \quad (2.6.)$$

Türbin kanatlarındaki rüzgarın yaptığı iş aynı zamanda kanatlara uygulanan birim zamandaki basınca bağlıdır. O halde;

$$P_T = S \cdot V_{r1} \quad (W) \quad (2.7.)$$

Rüzgarın kanatlarına yaptığı basınç değeri ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$S = \rho_a A_T V_{r1} (V_r - V_{r2}) \quad (kgm/s^2) \quad (2.8.)$$

Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7 birbirine eşitlenir ve Eşitlik 2.8'deki S değeri yerine yazılırsa;

$$V_1 = \frac{1}{2} (v + v_2) \quad (m / s) \quad (2.9.)$$

olur.

Eşitlik 2.9, Eşitlik 2.6'da yerine yazılırsa;

$$P_T = \frac{1}{2} \rho_a A_T \frac{1}{2} (v + V_2) (v_r^2 - V_{r2}^2) \quad (2.10.)$$

olur ve:

$$P_T = \frac{1}{4} \rho_a A_T (v + V_2) (v_r^2 - V_{r2}^2) \quad (W) \quad (2.11.)$$

elde edilir. Buna göre P_T ve P_r değerleri oranlanırsa;

$$\frac{P_T}{P_r} = \frac{\frac{1}{4} \rho_a A_T (v + V_2) (V_r^2 - V_{r2}^2)}{\frac{1}{2} \rho_a A_T v^3 C_p} = C_p \quad (2.12.)$$

türbin verimi olan C_p elde edilir. $\frac{v_{r2}}{v_r} = n$ olarak tanımlanırsa;

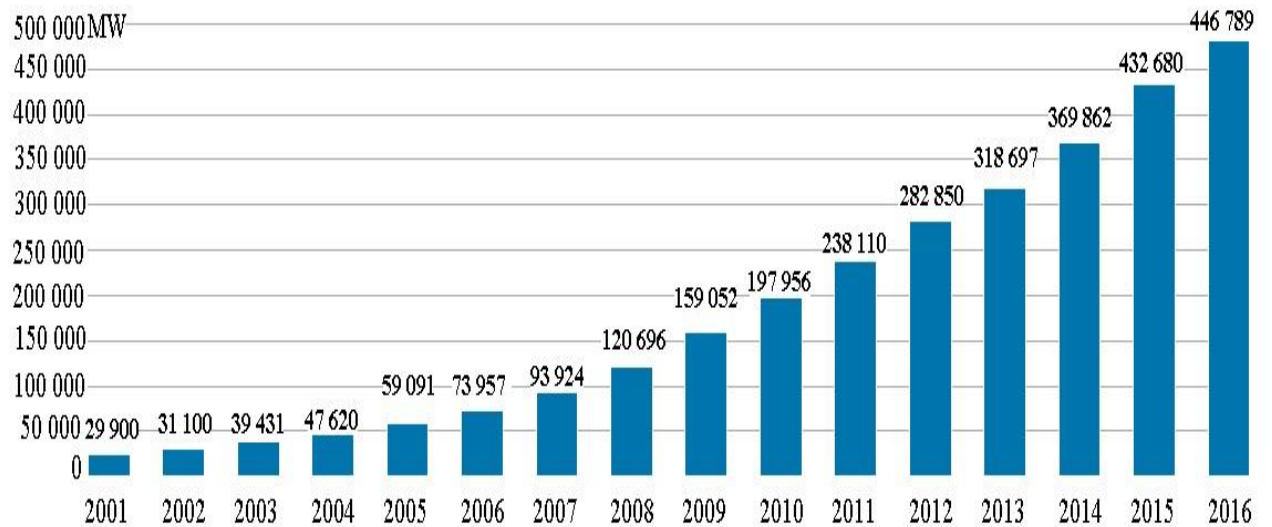
$$C_p = \frac{1}{2}(1 - n^2)(1 + n) \quad (2.13.)$$

verim katsayısı fonksiyonu elde edilir. C_p 'yi maksimum yapan n değerini bulabilmek için bu fonksiyonun türevi alındıktan sonra sıfıra eşitlenirse, $n = \frac{1}{3}$, 0,59 olarak hesaplanır. Bu durum Betz kanunu ile açıklanmaktadır [50].

2.3.3. Dünya'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisi

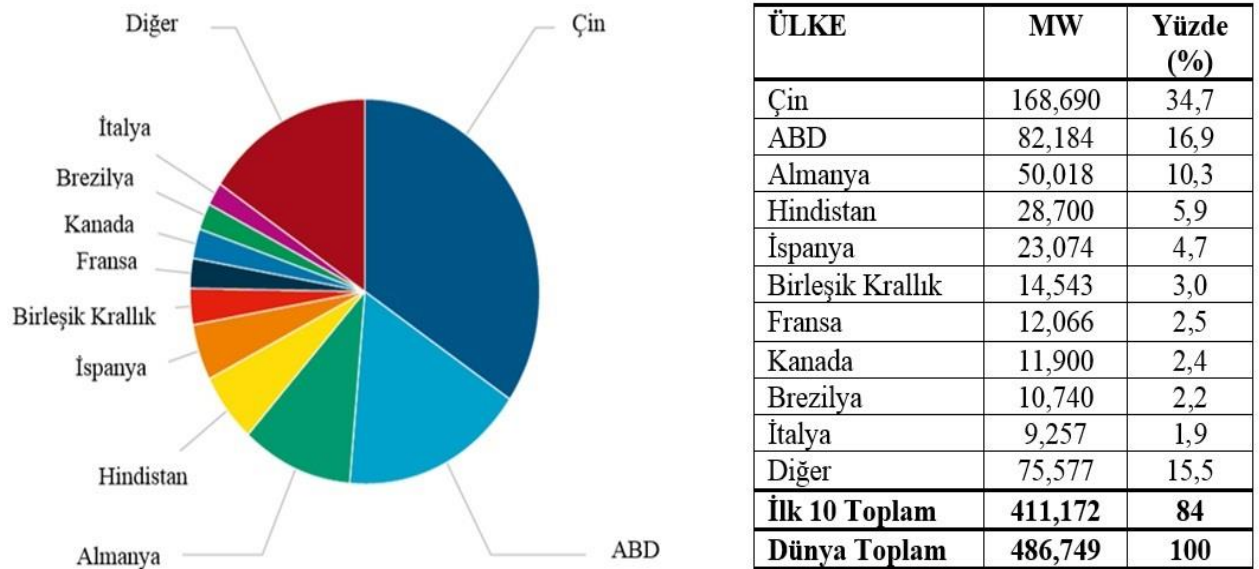
Dünya Enerji Konseyi'nin verilerine göre dünya üzerinde her 1km^2 'lik alanda 8 MW güç değeri ve %23'lük kapasite faktörü ile hesaplanan toplam yıllık 20 000 TWh potansiyel rüzgar enerjisi vardır. Dünya yüzeyinin zeminden 10 m yüksekte %27'si, yıllık ortalama 5,1 m/s'den daha fazla rüzgar hızına sahiptir. Bu alanların %4'ü santral kurulmaya uygun alanlardan oluşmaktadır [51].

Dünya genelinde kurulu rüzgar enerji santrali toplam potansiyeli 2001 yılında 23 900 MW iken 2016 yılı sonu itibaren bu değer 486 749 MW'a ulaşmıştır [52]. Şekil 2.17'de bu durum gösterilmiştir.



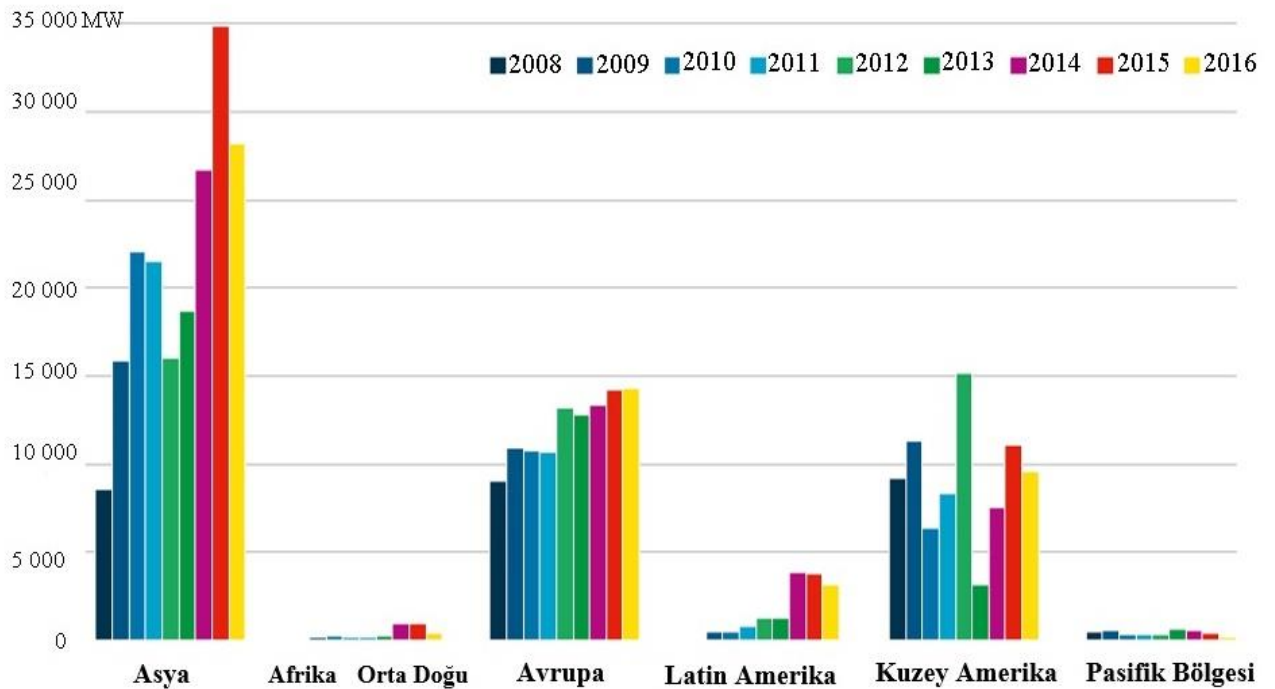
Şekil 2.17 Dünya kümülatif kurulu rüzgar enerji santrali kapasitesi [52]

Küresel Rüzgar Enerji Birliği'nin 2016 yıl sonu verilerine göre rüzgar enerji santrali kapasitesi en fazla olan on ülke Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Dünya geneli ilk 10 kümülatif kapasitesi (Aralık 2016) [52]

Dünya genelinde rüzgar enerji santrali kurulu güç oranları en fazla Asya bölgesinde yer alırken en fazla artış yine bu bölgede 2015 yılında gerçekleşmiştir (Bkz. Şekil 2.19).

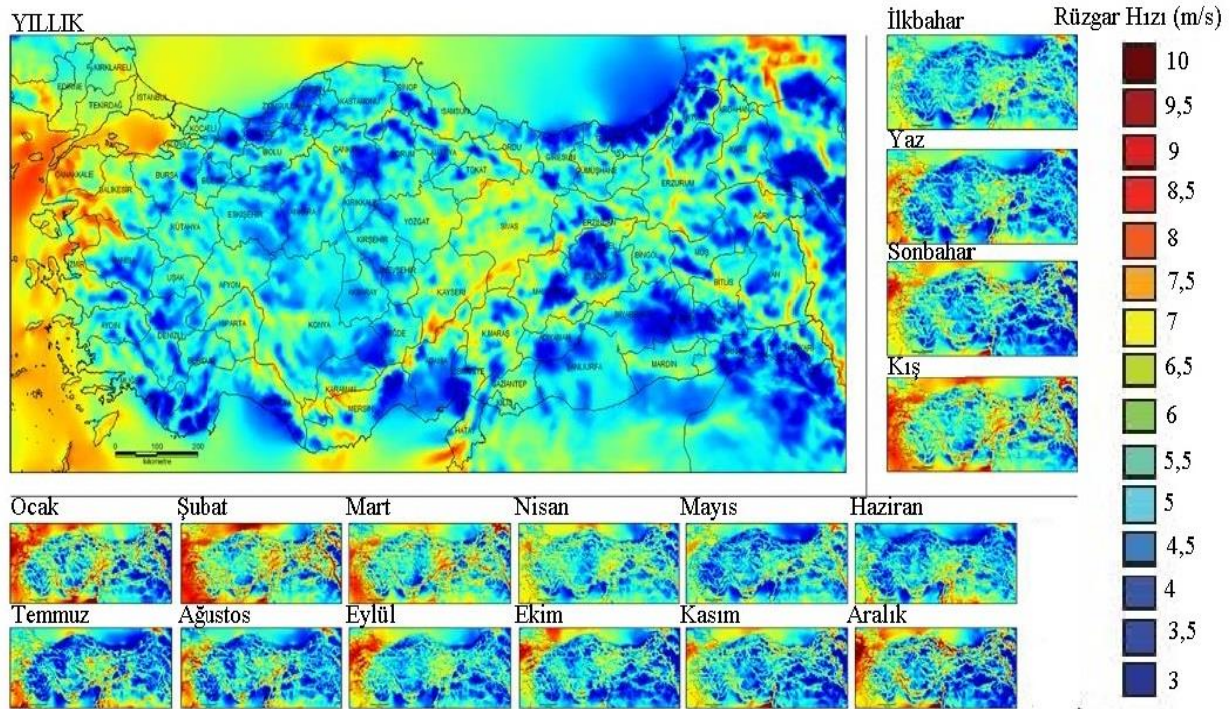


Şekil 2.19 Bölgelere göre yıllık kurulu kapasite (Aralık 2016) [52]

Türkiye'nin jeopolitik konumu ve coğrafi yapısı nedeniyle rüzgar enerjisi potansiyeli kıyı bölgelerde yüksektir. Türkiye'de kurulan rüzgar enerji santrallerinin birçoğu bu bölgelerde bulunmaktadır.

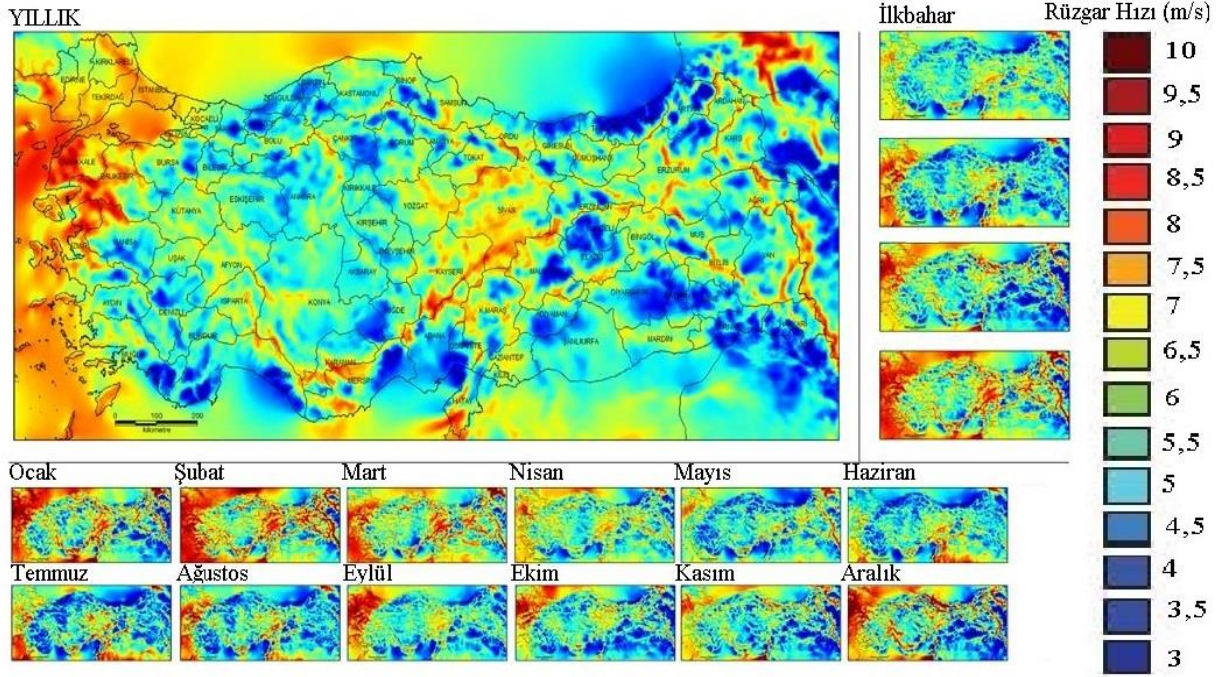
Türkiye rüzgar enerji potansiyeli 100 m yükseklikte, 7,5 km/h rüzgar hızında 1 km² alanda 5 MW olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin hesaplanan toplam rüzgar enerji potansiyeli 48 000 MW'tır [45]. Türkiye yüz ölçümünün %1,3'ü bu potansiyele sahiptir. Rüzgar hızının ortalama 5-6 km/h olduğu alanların (50 m yükseklik) toplam rüzgar enerji potansiyeli 1 317 456,40 MW'tır [53].

Elektrik İşleri Etüt Dairesi (EİAŞ) hazırlamış olduğu 50 m yükseklikteki Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası (REPA) Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Türkiye rüzgar enerji potansiyel atlası (50 m) [37]

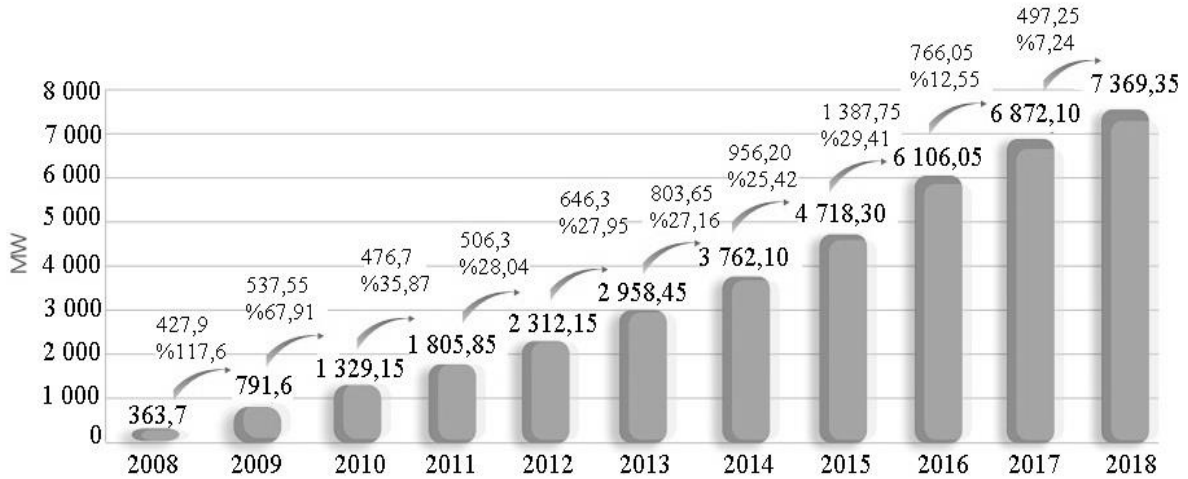
Türkiye'nin 50 m yükseklikteki REPA atlasına göre rüzgar hızı ortalaması kış mevsiminde yüksek iken, ilkbahar mevsiminde düşük seviyelerdedir. Rüzgar hızı ortalamalarını ay bazında karşılaştırdığımızda en yüksek ortalamaya Şubat ayında, en düşük ortalamaya da Haziran aylarında ulaşılmaktadır. Yine aynı şekilde 100 m yükseklik için REPA (Şekil 2.21) incelendiğinde aynı durumlar gözlenmektedir.



Şekil 2.21 Türkiye rüzgar enerji potansiyel atlası (100 m) [37]

50 m ve 100 m yükseklikteki REPA atlasları incelendiğinde 100 m yükseklikteki hız değerlerinin 50 m'deki hız değerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Avrupa ve Türkiye kıyaslandığında rüzgar enerji potansiyeli olarak Türkiye üçüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'nin rüzgar türbinlerinin çalışma süreleri yıllık 3000 saat iken bu değer Avrupa'da 2000-2500 saat civarındadır [53].

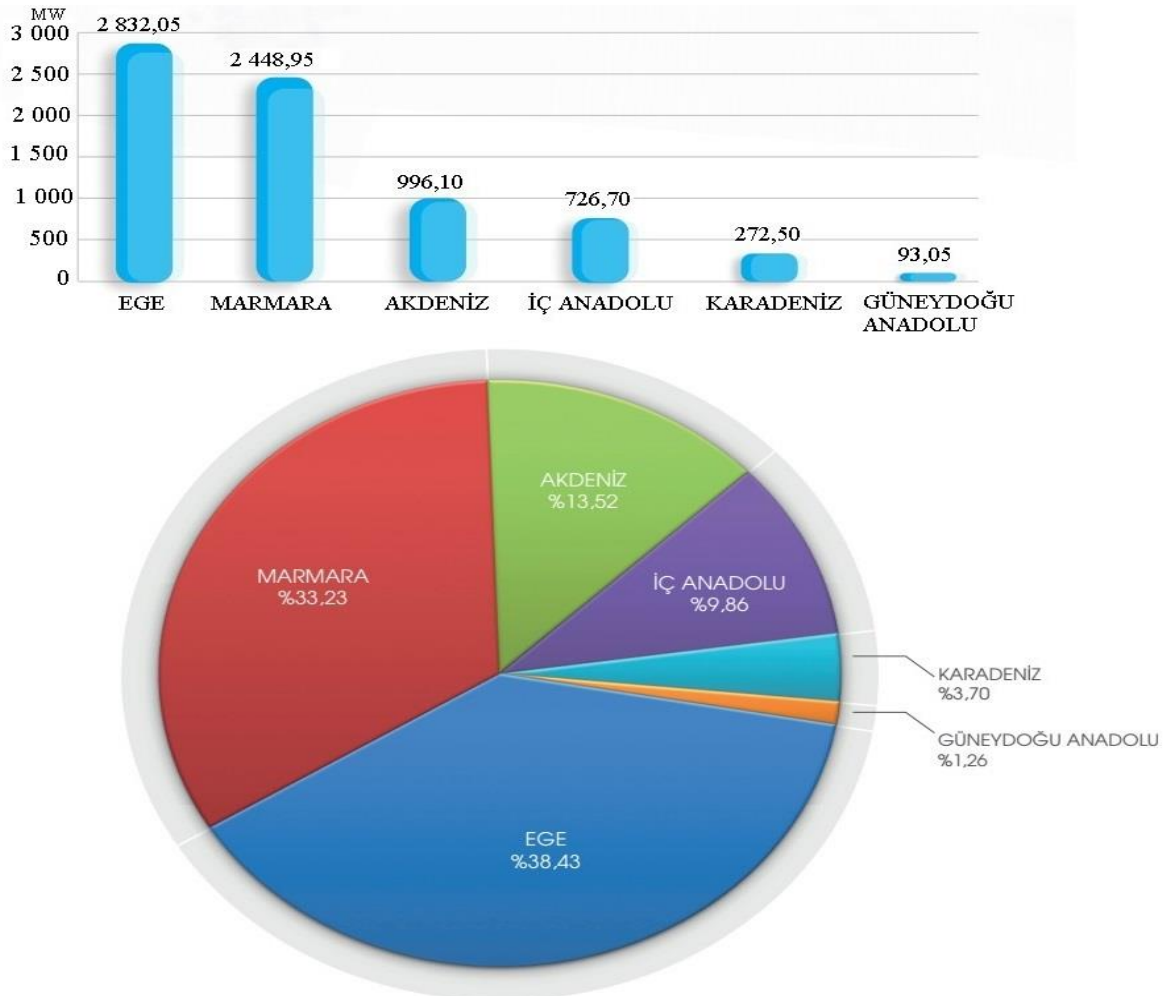
Türkiye'nin 2008-2018 yıllarına ait rüzgar enerji kümülatif kurulumu Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Türkiye'deki RES'lerin kümülatif kurulum [54]

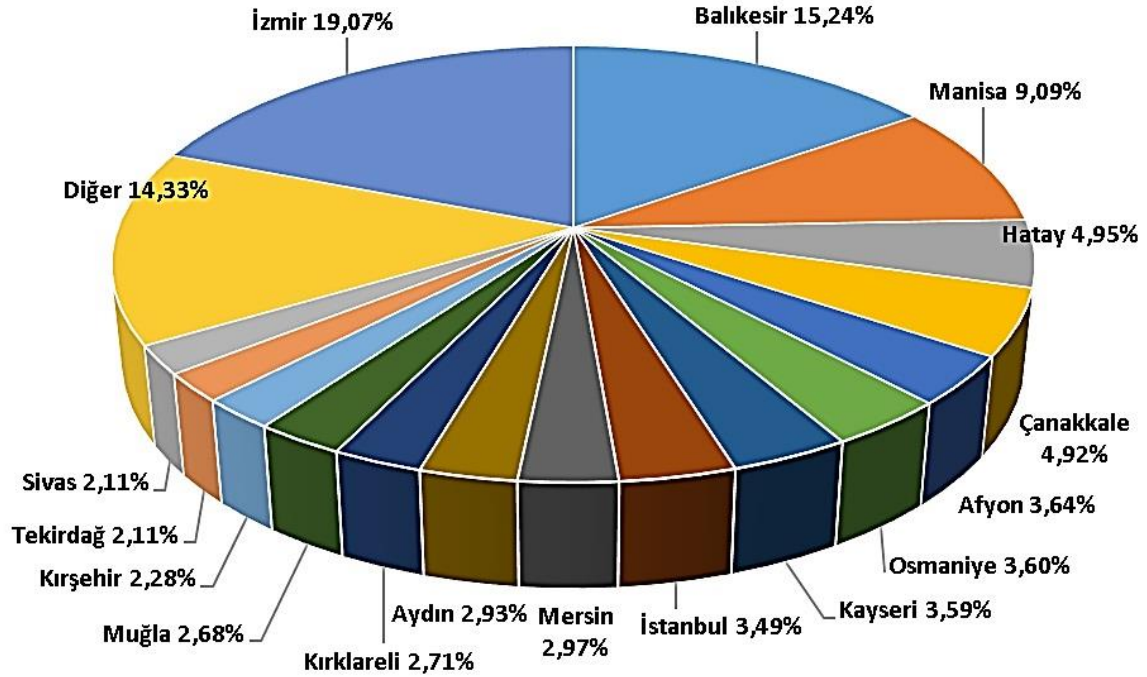
Şekil 2.22 incelendiğinde ülkemizde rüzgar enerji santrallerinin kurulumunun her sene bir önceki seneye göre artış gösterdiği gözlemlenebilmektedir. Ülkemizin 2018 yılı sonu itibariyle rüzgar enerji santrali kurulu gücü 7 369,35 MW'tır. Türkiye'nin hesaplanan rüzgar enerji potansiyeli 48 000 MW olduğu düşünüldüğünde mevcut kurulu güç potansiyel gücün %15'ine denk gelmektedir. Türkiye mevcut rüzgar enerji potansiyelini tamamını ekonomisine kavuşturamamıştır.

Türkiye'de mevcut işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.23'de verilmiştir. Buna göre 2 832,05 MW kurulu güç ve %38,43 oranıyla Ege Bölgesi ilk sırada iken, bunu 2 448,95 MW kurulu güç ve %33,23 oran ile Marmara Bölgesi, 996,10 MW kurulu güç ve %13,52 oran ile Akdeniz, 726,70 MW kurulu güç ve %9,26 oran ile İç Anadolu Bölgesi, 272,50 MW kurulu güç ve %3,7 oran ile Karadeniz Bölgesi ve 93,05 MW kurulu güç ve %1,26 oran ile Güney doğu Anadolu Bölgesi takip etmektedir.



Şekil 2.23 İşletmede olan RES'lerin bölgelere göre dağılımı (2017) [54]

Bölgelere göre dağılımını incelediğimiz rüzgar enerji santrallerinin il bazında dağılımı Şekil 2.24'de gösterilmiştir. Buna göre 1 426,20 MW kurulu güç ile İzmir ilk sırada yer alırken, 10,25 MW kurulu güç ile Kocaeli en son sırada yer almaktadır.



Şekil 2.24 RES'lerin MW cinsinden il bazında dağılımı (2018) [54]

Türkiye'nin 2018 yılında elektrik enerjisi üretim 306,7 TWh'tir. 2018 yılında üretilen elektriğin %68'i yeraltı kaynakları kullanılarak, %32'side yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin dağılımı; %20 hidroelektrik, %7 rüzgar, %3 jeotermal, %2 diğer enerji santralleridir [55].

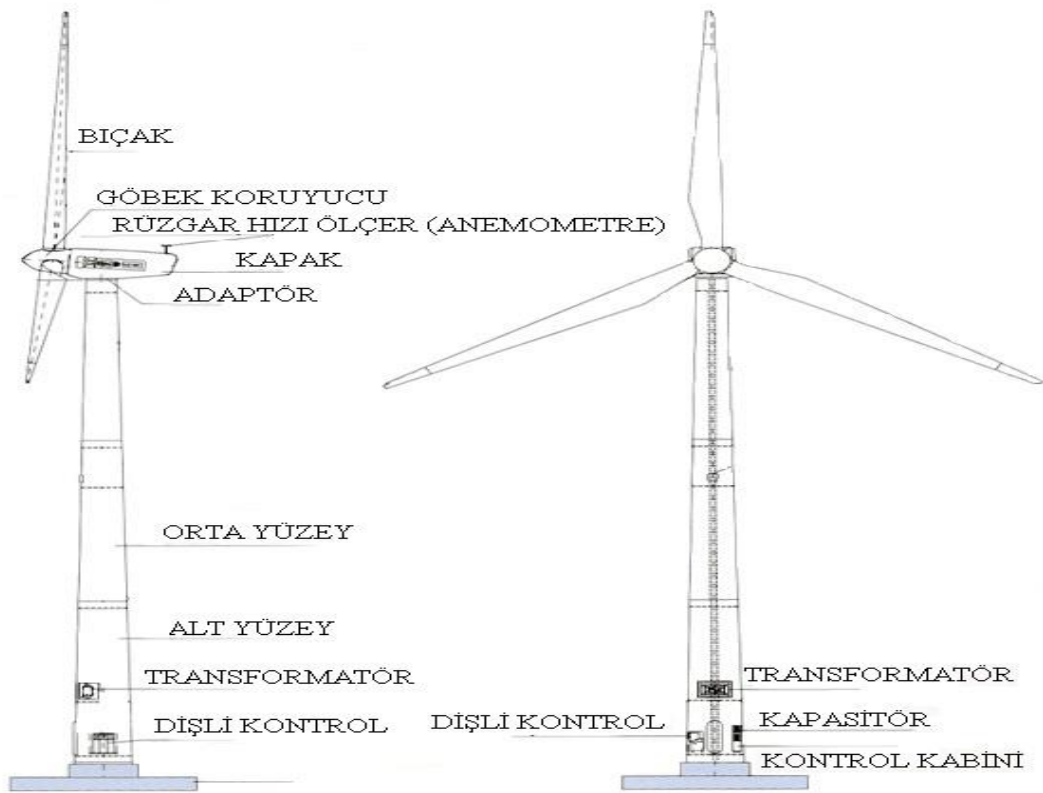
2.3.4. Rüzgar santrali ve türbin çeşitleri

Rüzgar dünyada tarih boyunca birçok farklı amaç için kullanılmıştır. Bunlardan en bilinenleri değirmenler ve su pompalarıdır. Ancak zamanla fosil yakıtla çalışan makineler bunların yerini almıştır. Günümüzde artık rüzgar, elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin sahip olduğu kanatlar vasıtasıyla rüzgarlar yakalanır. Temel olarak yapıları bir rotor için şafta bağlı iki ya da üç kanattan oluşur. Rüzgar oluştuğunda alt kısımdaki kanatın uç bölgesinde düşük basınçlı bir hava akımı oluşur. Oluşan bu düşük basınçlı hava akımı üst tarafta kalan kanadı kendine doğru çeker. Bu hareketlerin tekrarlanmasıyla rotor hareketi sağlanmış olur. Gerçekleşen bu olaya kaldırma

kuvveti denir. Kanatlarda oluşan bu kaldırma kuvveti, kanatlara doğrudan gelen rüzgârın uyguladığı kuvvetten daha büyüktür. Bu duruma sürüklenme denir. Kaldırma ve bunu takip eden sürüklenme olayı bir döngü halinde rüzgar olduğu müddetçe devam eder. Bu sayede kanatlar döner ve dolayısıyla kanatların bağlı olduğu şaft da dönmeye başlar. Döner şafta bağlı olan jeneratörün dönmeye başlamasıyla birlikte elektrik enerjisi üretilir. Rüzgar türbinlerine bağlı jeneratörlerin elektrik üretebilmesi için; tek başına bir uygulama tasarlanmış ise türbin ona göre tasarlanır veya fotovoltaik bir sistem ile desteklenmesi gerekir. Rüzgar türbinleri büyük kapasitede tasarlandıklarında bir enterkonnekte sisteme bağlı çalışırlar. Birden fazla rüzgar türbininin bir araya getirilmesiyle oluşan yapılara rüzgar santrali veya rüzgar tarlası denir.

Türbin çeşitleri

Bir rüzgar türbini temel olarak üç bölümden oluşur. Bunlar; kule, nasele, rotor ve kanatlardır (Bkz. Şekil 2.25).



Şekil 2.25 2 MW'lık bir rüzgâr türbininin yapısı [56]

Rüzgar türbinleri Şekil 2.26'da gösterilen parametrelere göre sınıflandırılır.

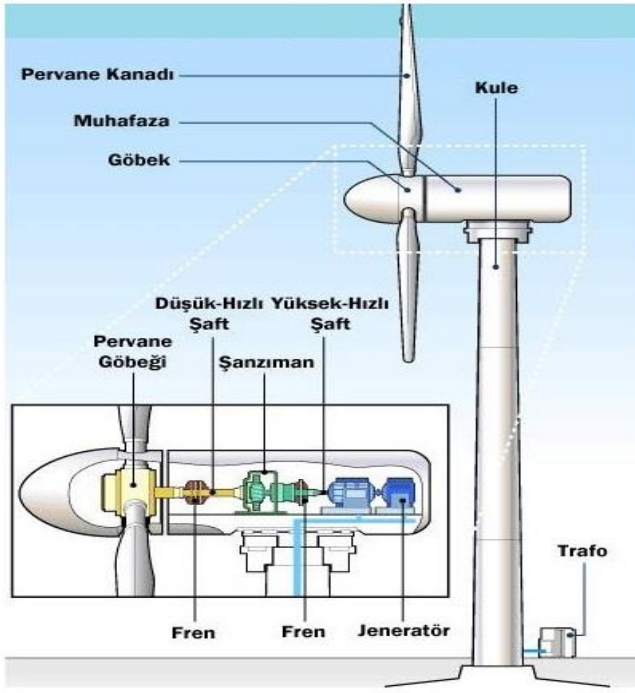


Şekil 2.26 Rüzgar türbin çeşitleri [57]

Rüzgar türbinleri, yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT) ve düşey eksenli rüzgar türbinleri (DERT) olmak üzere genelde iki sınıfa ayrılır;

Yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT)

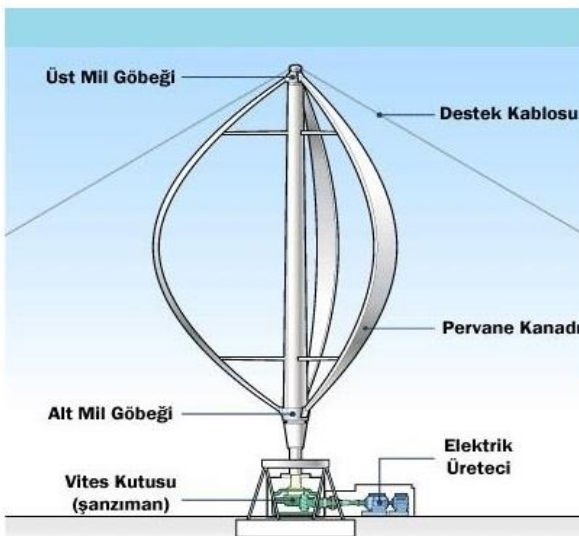
Yatay eksenli rüzgar türbinleri ismini dönme ekseninin rüzgara paralel olması ve kanatlarının rüzgar yönüyle dik açı yapmasından almaktadır. Büyük çaplı rüzgar türbinleri genellikle bu yapıya sahiptir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri genellikle kanatları rüzgarı ön kısımdan karşılayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Rüzgarı arkadan alabilecek şekilde kullanımı kabul görmüş yaygın bir yatay eksenli rüzgar tipi bulunmamaktadır (Bkz. Şekil 2.27). Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin çoğunda pervane yardımı ile rüzgarın kinetik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Pervane sayısı tasarlanan rüzgar türbinine göre değişiklik göstermektedir. Dünya genelinde üç kanatlı tip yaygın olarak kullanılmaktadır [58].



Şekil 2.27 Yatay eksenli rüzgâr türbininin yapısı [56]

Düşey eksenli rüzgar türbini (DERT)

Düşey eksenli rüzgar türbinleri yatay eksenlilerin aksine yere dik olacak şekilde tasarlanmıştır (Bkz. Şekil 2.28). Düz bir kanat yapısı yoktur. Ekseni yardımcı teller vasıtasıyla zemine bağlanmaktadır. Türbinin tüm yardımcı aksamaları zeminde bulunduğu için avantaj sağlamaktadır. Ticari olarak kullanımları pek yaygın değildir [58].



Şekil 2.28 Dikey eksenli rüzgar türbininin yapısı [59]

Darrieus Tipi

Yer yüzüne düşey şekilde yerleştirilmiş iki adet kanat bulunmaktadır. Kanat tasarımları türbin mili merkezde olacak şekilde elips biçimindedir. Çekme kuvveti kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasında oluşur, bunun sonucunda dönme hareketi meydana gelir (Bkz. Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Darrieus tipi rüzgâr türbini

Savonius Tipi

Bu tip rüzgar türbinlerinde iki yada üç adet kepçe görünümünde tasarlanmış kanatlar bulunmaktadır. ‘S’ şeklinde dizayn edilmiş iki kanatlı tasarımların kullanımı yaygındır. Savonius tipi rüzgar türbinlerinde rüzgar türbülanslı bir yol izlediğinden dolayı performansları düşüktür. Elektrik üretimi için verimli değildir. Genellikle su pompası çalışmalarında kullanılır (Bkz. Şekil 2.30).



Şekil 2.30 Savonius tipi rüzgâr türbini

Türbin parçaları ve teknolojisi

Üç kanatlı yatay eksenli, dişli kutulu ve rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri yaygın olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır [57]. Bu rüzgar türbinlerini oluşturan kısımlar aşağıda açıklanmıştır.

Kule

Rüzgar türbinlerinin, zemin ile bağlantısını sağlayan, pervane ve naseli üzerinde taşıyan en büyük parçasıdır. Rüzgar türbinlerinin kurulu gücüne ve hangi yükseklikte çalışacağına göre farklılık gösterir. Rüzgar hızı yükseklik ile doğru orantılı bir biçimde artış gösterdiği için kule boyu uzun türbinlerin kapasiteleri de yüksek olur. Bu durum yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dikey eksenli rüzgar türbinlerine göre daha verimli olmasına neden olur. Rüzgar türbinleri 50 m ve üstü yüksekliklerde daha verimlidir. Bu yüksekliklerde çevre etkisi azaldığı için rüzgar potansiyel enerjisi en yüksek verimle değerlendirilir [57]. Şekil 2.31’de rüzgar türbini ve kule gösterilmektedir.



Şekil 2.31 Rüzgar türbini kulesi [57]

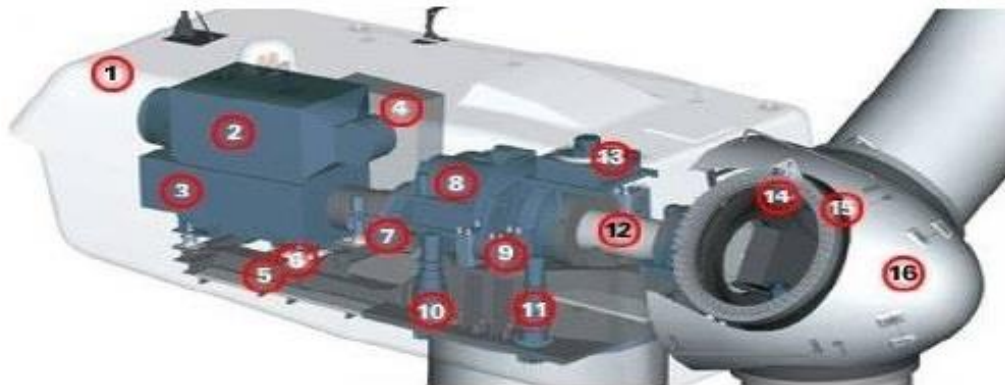
Nasel (Türbin kafa kısmı)

Rüzgar türbinlerinde dişli kutusu, jeneratör gibi ana parçaların bulunduğu kısımdır. Şekil 2.32’de bir rüzgar türbininin nasel kısmı gösterilmektedir.



Şekil 2.32 Nasel (Türbin kafa kısmı) [57]

Rüzgar türbinlerinin en önemli parçasıdır. Elektrik üretiminin gerçekleştiği, türbin bakım ve güvenliğini sağlayan birimlerin bulunduğu kısımdır. Şekil 2.33’te nasel içerisinde bulunan bu kısımlar gösterilmektedir.



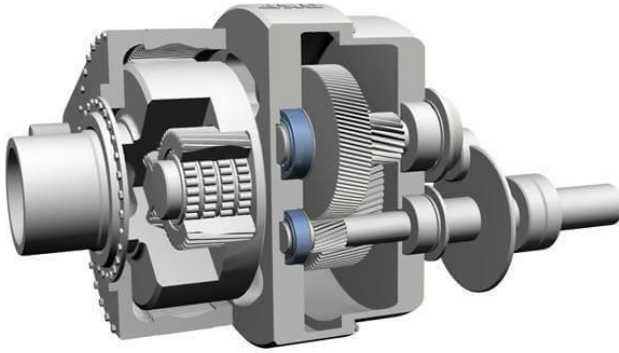
Nasel iç yapısında bulunan diğer ekipmanlar;

- | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 1)Nasel | 5)Main Frame | 9)Ses İzalasyonu | 13)Yağ Soğutucu |
| 2)Eşanjör | 6)Ses İzalasyonu | 10)Yaw Sürücü | 14)Pitch Kontrol |
| 3)Jeneratör | 7)Hidrolik Fren | 11)Yaw Sürücü | 15)Pervane Hub |
| 4)KontrolPaneli | 8)Dişli Kutusu | 12)Pervane Şaftı | 16)Hub Burun |

Şekil 2.33 Naselin iç yapısı [57]

Dişli kutusu

Rüzgar türbinlerinin güç aktarım organı olan dişli kutusu, ana şaft ile jeneratör arasında konumlandırılır. Pervane şaftından aldıkları dönme hızını regüle ederek dakikada 1000-1500 rpm olacak şekilde jeneratöre iletirler. Dişli kutusu iç içe geçmiş farklı diş sayılarına sahip dişli çarkların bir araya getirilmesiyle oluşturulur (Bkz. Şekil 2.34) [57].



Şekil 2.34 Rüzgar türbinleri dişli kutusu [57]

Jeneratör

Elektromanyetik indüksiyon ile mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. Elektrik motorları ile aynı yapıya sahiptir. Stator ve şafta bağlı rotordan meydana gelir. Stator kısmı bakır sarımlardan oluşur, rotor kısmı da tasarıma göre ya mıknatıstan ya da bakır iletken sarımlardan meydana gelmektedir. Oluşturulan elektromanyetik alan içerisinde şafta bağlı rotorun dönmesi ile elektrik enerjisi üretilir (Bkz. Şekil 2.35) [56].



Şekil 2.35 Nordex marka 1000 kW/50Hz jeneratör [57]

Rüzgar türbinlerinde tasarımlarına göre üç farklı jeneratör tipi kullanılır.

- Doğru akım Jeneratörü
- Senkron Jeneratör (Alternatör)
- Asenkron Jeneratör (İndüksiyon Jeneratör).

Pitch kontrol (dönen yatak)

Kanatların rüzgar yönüne göre döner yataklar vasıtası ile dönmesini sağlar. Bu işlem sonucunda rüzgar yönü tespit edilir. Rüzgar yönü tespit edildikten sonra naselin rüzgar yönüne göre konumlanması (Yaw Kontrol) sağlanır. Pitch kontrol rüzgar türbinlerinin verimliliğini artırır (Bkz. Şekil 2.36) [57].



Şekil 2.36 Rüzgar türbini pitch kontrol sistemi

Yaw sistem (sapma mekanizması)

Yaw sistem mekanizması gövde ile nasele arasında kurulur. Pitch kontrol ile tespit edilen rüzgar yönüne nasele'nin dönmesini sağlar. Rüzgar türbini değişen rüzgar yönüne döndürülerek en yüksek verim elde edilir (Bkz. Şekil 2.37) [57].



Şekil 2.37 Rüzgar türbini yaw sistemi [57]

Elektronik kontrol sistemi

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte rüzgar türbinlerinde mikroişlemci tabanlı elektronik kontrol üniteleri kullanılmaya başlamıştır.

Mikro işlemciler kullanılarak rüzgar türbinlerinin performansları izlenmektedir [57]. Temel olarak izlenen parametreler;

- Türbinin çalışmasını ve durmasını sağlayan rüzgar hızları
- Jeneratörün şebeke ile senkronizasyonu
- Naselin hareket kontrolü ve takibi
- Kanat hareketleri
- Rüzgar türbininin acil durumlarda veya gerekli durumlarda durdurulmasıdır.

Mikro işlemcilerin raporlamasını yaptığı veriler;

- Rüzgar türbininin genel durumu
- Rüzgar hızı ve yön bilgisi
- Jeneratör çıkışındaki elektriksel veri
- Güç eğrisi (Rüzgar hızı ve ona karşı tahmini üretilmesi hedeflenen enerjinin durumu)

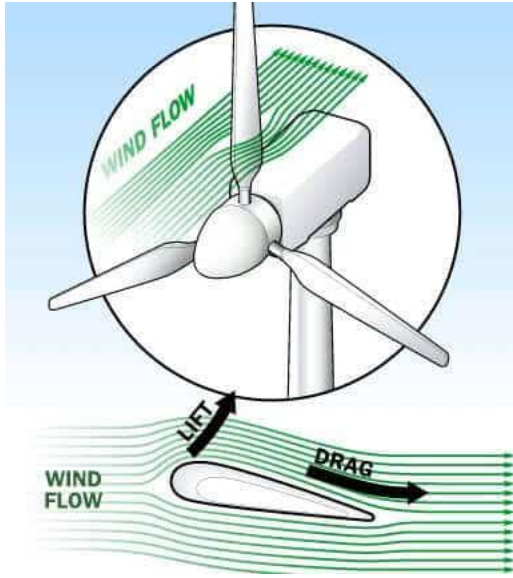
Rotor ve kanatlar

Rüzgar türbinlerinde rotor; kanatların bağlı olduğu göbek, göbeğe bağlı şaft ve kanatlardan oluşur. Kanatlar rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür ve rotora iletir. Rotor şafta bir göbek ile bağlanmıştır. Göbek, rüzgar türbinin düşük hız şaftına bağlıdır. Kanatlar rüzgarı yakalar ve onun gücünü kanatların bağlantı noktasındaki göbek ile rotora aktarır. Rüzgar türbinlerinin kanatları genel olarak, cam elyafı ile desteklenmiş polyester veya epoksi ile birleştirilmiş cam elyafıyla plastikten üretilmektedirler (Bkz. Şekil 2.38) [57].



Şekil 2.38 Rüzgar türbini rotor ve kanatları [57]

Dönme hareketi; rüzgar alt kısımdaki kanatın uç bölgesinde düşük basınçlı bir hava akımı oluşturur. Oluşan bu düşük basınçlı hava akımı üst taraftaki kanadı kendine doğru çeker. Bu olaya kaldırma kuvveti denir. Oluşan bu kaldırma kuvveti, kanatlara gelen rüzgarın kuvvetinden daha büyüktür. Bu durum sürüklenmeye neden olur. Kaldırma ve sürüklenme olayı rüzgar olduğu müddetçe devam eder. Bunun sonucunda kanatlar döner ve kanatların bağlı olduğu şaft da dönmeye başlar (Bkz. Şekil 2.39). Şaftın dönmesiyle birlikte jeneratörün dönmeye başlamasıyla elektrik enerjisi üretilir.



Şekil 2.39 Rüzgar türbinlerinde rotor ve kanatların dönüş hareketi [57]

3. YÖNTEM

3.1. Çok Kriterli Karar Verme

3.1.1. Çok kriterli karar verme kavramı

Karar verme amaç, hedef ve yöntemlerin, sistemli bir yapı içerisinde düşünülmesi gerekmektedir. Hedefler, bu hedeflere varmak için izlenecek yollar, bilgi kaynakları, bilgi-işlem teknikleri vb. şartlar değişikçe her bir duruma göre karar vermek için kullanılan çeşitli yöntem, analiz ve teknikler bulunmaktadır.

Karar verici bir seçim yaparken, doğru ve güvenilir bilgilere ve değerlendirme aşamalarına gereksinim duymaktadır. Bundan dolayı, karar verme süreçlerine bilimsel yöntemlerin entegre edilmesinin sonuçların daha doğru olmasına ve öznellikten uzaklaşılmasına katkısı olur. Birden fazla karar problemleriyle karşılaşan karar vericiler için zor problemlerden biri de, alternatifler kümesinden uygun alternatifin seçimidir. Bu seçim aşamalarında birbiriyle çelişen ve çok fazla sayıda kriter olduğundan geleneksel seçim aşamalarının tercih edilmesi doğru bir çözüm bulunmasını sağlamaz. Bu nedenle, ÇKKV yöntemleri günümüzde birçok karar verici tarafından kullanılmaktadır.

Karar verme sürecinde karşılaşılan temel sorunlardan biri seçeneklerin (farklı sistemler, sistem durumları, karar değişkenlerinin farklı değerleri v.b.) kıyaslanabilirliğidir. Hedeflenen şey seçenekler üzerinde bir tercih sırası oluşturmayı sağlayacak bir ölçü oluşturabilmektir. Böyle bir ölçüye genellikle, değer, yararlılık veya etkinlik ölçüsü denir. Eğer karşılaştırma bir tek değer ölçüsü ile yapılabiliyorsa, en iyi seçeneğin saptanması kolayca mümkün olmaktadır. Tek değer ölçülü (amaç fonksiyonlu) bir matematiksel model oluşturulmuş ise, oluşturulan bu modelden en iyi çözümü elde etmek için kullanılabilir birinden fazla hesaplama tekniği vardır veya uygun bir teknik geliştirilebilir. Ancak çoğu karar verme durumlarında, kıyaslamaya yeterli olabilecek, kapsamlı bir tek ölçü tanımlamak mümkün değildir.

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde iyilenmesi istenen amaç veya amaçlar fonksiyonu sayısı genellikle birden fazladır. Diğer bir şekilde ifade etmek gerekirse bir problemde birden

fazla amaç bulunabilir. Bu gibi durumlarda tercih edilmek amacıyla geliştirilmiş çeşitli çözüm yöntemleri bulunmaktadır. Önemli olan hedeflenen amacın ilk başta dikkate alınıp, diğer amaçların probleme koşul olarak ilave edilmesi ya da başka bir optimizasyon problemi olarak ifade edilmesi bu yaklaşımlardan biridir. Başka bir yaklaşım ise, birden fazla amacın tek bir amaca dönüştürülmesidir. Bu yaklaşım olumsuz yanı, birbiriyle çelişen amaçların yuvarlamayla tek bir amaca dönüştürülmesi işlemidir. Birbiriyle çelişen amaçların aynı şekilde değerlendirilmesiyle tek bir amaç fonksiyonu oluşturulması oldukça zordur. Bu gibi durumlarda her bir amacın önem durumunu temel alan uzlaşık çözümler bulunabilir.

Karar problemlerinin çözümünde, sıklıkla tek amaç üzerinde odaklanma, sonuca kolay bir şekilde ulaşmanın yöntemlerinden biridir. Ancak karar verme problemlerinde, tek amaçtan ziyade birden fazla veya birbirleriyle çelişen amaçlar ortaya çıkmaktadır. Birden fazla amacın en iyi çözüm değerlerini elde etmek için birden fazla yöntem bulunmuştur. Bulunan bu yöntemlere çok amaçlı karar alma yöntemleri denilir. Karar vericinin tercihleri de dikkate alınarak her bir amaç için en iyi olan çözümlerin belirli bir şekilde uzlaştırılması en doğru yol olarak benimsenmektedir. Sonuç olarak ulaşılan çözüme de tek amaçlı karar problemlerindeki “en iyi çözüm” yerine, “en uzlaşık çözüm” demek daha doğru olacaktır.

Problemlerde birbiriyle çelişen amaçların aynı ölçekte değerlendirilmiş olsalar dahi çelişen bu amaçları en iyi yapan tek bir çözümün elde edilmesi problem için uygun veya tatmin edici olmayabilir. Bu yaklaşımda en önemli aşama modelleme aşamasıdır. Çünkü söz konusu bu yaklaşımda farklı değer ölçütleri tek bir modelde ifade edilmektedir.

ÇKKV, aynı anda uygulanan ve birden fazla kriterin içerisinde en iyi alternatifin seçilmesi işlemidir. ÇKKV problemi tanımlayıcı bir yaklaşım ortaya koymaktadır ve muhtemel kararları tanımlayarak, nitelikleri, değerlendirme kriterini ve kriterin saptandığı bir fayda fonksiyonunu da katarak problemi tanımlamayı içermektedir. ÇKKV problemlerinde karar vericiler, kriter, karar değişkeni ve alternatif takımlarına göre karar vermektedirler. ÇKKV teknikleri verilen bir karar kriterleri kümesi ve bir alternatifler kümesinde en iyi alternatifi çeşitli yöntemlerle bulmaya çalışan tekniklerdir [60]. Bu tür durumlarda, çeşitli şekillerde problemlerle karşılaşılabilir. Örneğin; alternatifler ya da kriterler için, pratikte olduğu gibi ilgili veriler iyi tanımlanamamış olabilir. Zaten gerçek hayatta karşılaşılan pek çok problemde, geçerli olan verilerin objektif ve doğru olarak sayısallaştırılması mümkün olmamaktadır. Genellikle bir karar problemi çok kademeli hiyerarşide yapılandırılır.

ÇKKV, karar matrisi kesiklidir. Yani, sayılabilir miktarda alternatif vardır ve kesikli matematik yaklaşımları kullanılır. Bu modeller, bir en iyi sonucu bulmaktan ziyade, çeşitli kriterlere göre en iyi karar alternatiflerinin sıralamasını ve sıralama prosedürlerini tanımlarlar. AHP'de bu kapsamda, kesikli seçenekli problemlerden tercihleri baştan toplayan yaklaşımlar arasında yer alır. Böyle problemler uygulamada daha sık görülmesine rağmen, teoride çok daha az çözüm yöntemi bulunmakta ve bu yöntemlerin açıklanması sürekli durumlara göre çok daha zor olmaktadır. Bu nedenle; sorulması gereken soru, verilen bir problem için hangisinin en iyi yöntem olduğudur.

3.1.2. Çok kriterli karar vermede kullanılan tanımlar ve terimler

ÇKKV yöntemleri, oldukça fazla çeşitlilik göstermektedir. Genellikle çoğunluğu, belirli ortak aşamalara sahiptirler. Çok kriterli karar vermede kullanılan genel tanımlar ve terimler aşağıda açıklanmaktadır:

- Alternatifler: Alternatifler, karar verici için mümkün olan farklı sonuçları temsil eder. Alternatiflerin sayısı sonlu kabul edilir ve alternatiflerin elenebildiği, öncelikle dirilebildiği ve sıralanabildiği kabul edilir.
- Çok yönlü amaçlar: Her çok kriterli karar verme problemi çok amaçla ilişkilidir. Amaçlar, alternatiflerin farklı boyutlarını temsil ederler. Kriterlerin sayılarının fazla olduğu durumlarda, kriterler hiyerarşik olarak düzenlenebilir. Bu, bazı kriterlerin ana kriter olması durumunu gerektirir. Her ana kriter kendi alt kriterleriyle ilişkilidir ve her alt kriter de yine kendisiyle ilişkili çeşitli alt kriterlere sahip olabilir. Bazı ÇKKV yöntemleri, karar probleminin kriterlerini açıkça hiyerarşik olarak belirlerken, ÇKKV yöntemlerinin çoğunluğu, kriterleri tek seviyede inceler, yani hiyerarşi yoktur.
- Kriterler arası uyumsuzluk (ihtilaf): Farklı kriterler alternatiflerin farklı boyutlarını temsil ettikleri için, bazen aralarında uyumsuzluk oluşabilir. Örneğin, maliyet kârla uyumsuzluk gösterebilir.
- Orantısız birimler: Farklı kriterler farklı ölçü birimleriyle değerlendirilebilirler. Örneğin; kullanılmış bir araba alırken bakılan en önemli kriterlerden ikisi arabanın maliyeti ve yaptığı kilometredir. Aslında çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünün zor olması, yapısında farklı birimleri bulundurmasından kaynaklanmaktadır.
- Karar Ağırlıkları: ÇKKV yöntemlerinin çoğunda, kriterlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması gerekmektedir. Genellikle bu ağırlıklar, normalize edilerek toplamalarının 1 olması sağlanır.

- Karar Matrisi: ÇKKV problemi, matris formatında kolaylıkla gösterilebilir. Bir A karar matrisinde a_{ij} , C_j karar kriterine göre değerlendirilen A_i alternatifinin performansını göstermektedir ($i=1,2,3,\dots,m$ ve $j= 1,2,3,\dots,n$). Aynı zamanda, karar kriterinin bağıl performansının ağırlığının (w_j) karar verici tarafından belirlendiği kabul edilir.

Karar verme yöntemlerinin ve çeşitlerinin hızla artışı ile birlikte, yöntem karşılaştırılma değerlerinin anlaşılması önem kazanmıştır. Yöntemlerin her biri, bir kesikli alternatif kararlar kümesinden seçimin yapılmasında karar vericiye yardım etmek üzere sayısal teknikleri kullanmaktadır. Karar verme yöntemlerinin kıyaslanması ve en iyisinin ortaya konulması çalışmaları sırasında zorluklar ortaya çıkmaktadır.

3.1.3. Çok kriterli karar verme problemleri

Çok kriterli karar verme problemleri üç başlık altında incelenir. Bu problemler seçim, sınıflama ve sıralama problemleridir.

Seçim problemleri

Seçim problemlerinde ulaşılmak istenilen sonuç, en iyi alternatifin belirlenmesi ya da birçok alternatifin bulunduğu ancak bu alternatiflerin birbirleri ile kıyaslanmasının zor veya eşit ağırlıklara sahip olması durumunda en iyi seçimin yapılmasıdır. Bir yöneticinin karmaşık bir proje için görevlendireceği çalışan, bu tür problemlere bir örnek olarak verilebilir. Buradaki amaç ortadaki problem için, doğru kişinin, çalışanlar arasından seçilmesinden ibarettir.

Sınıflama problemleri

Alternatiflerin belirli kriter ve tercihlere göre sınıflama işlemidir. Bu tür problemlerde hedeflenen amaç, benzer özellik ve davranıştaki alternatiflerin bir araya getirilmesidir. Örneğin bir fabrikada çalışanların performanslarını iyi, orta ve zayıf olarak sınıflayıp, buna göre çalışanların değerlendirilmesi bir sınıflama problemidir.

Sıralama problemi

Alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru tanımlanabilir ya da ölçülebilir şekilde sıralanması işlemidir. Bu sıralama işlemi çeşitli şekillerde çok parçalı olabilir. Örneğin dünyada üretilen savaş uçaklarının sıralamasında dikkate alınan kriterler örnek olarak verilebilir.

3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Gelişen teknoloji ile birlikte çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan birçok yöntem bulunmakla birlikte, bu yöntemlerin uygulanması için geliştirilen bilgisayar yazılımları problemi çözmeye çalışan karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Bkz. Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Çok kriterli karar verme yöntemleri [61]

SEÇİM PROBLEMLERİ	SINIFLAMA PROBLEMLERİ	SIRALAMA PROBLEMLERİ
AHP	AHP	AHPSort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FlowSort
MACBETH	MACBETH	ELECTE-Tri
PROMETHEE	PROMETHEE	MOORA
ELECTRE I	ELECTRE	
TOPSİS	TOPSİS	
HEDEF PROGRAMLAMA		

Rüzgar enerji santrallerinin kurulum yeri tespiti çalışmalarında birçok yöntem uygulanmıştır. Literatür çalışmalarını incelediğimizde, AHP, VİKOR, TOPSİS ve bunlardan birkaçının aynı anda uygulandığı yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Gerçekleştirilen uygulamalarda belirlenen yol ve önceliklerin durumuna göre tercih edilecek ÇKKV yöntemi en doğru sonuca ulaşmak açısından farklılık göstermektedir.

Bu tez çalışmasında izlenen yöntem ve ulaşılmak istenen sonuçlar göz önüne alınarak, yapılan literatür çalışmasında rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespitinde bu yöntemin daha önce kullanılmadığı görüldüğünden yeni bir çalışma ortaya konulması açısından en uygun yöntemin MOORA yöntemi olacağı belirlenmiştir. Rüzgar enerji santralleri kurulum yeri tespiti birbirinden bağımsız kriterlere sahip olduğundan karmaşık bir karar verme

mekanizması gerektirmektedir. Birbirinden bağımsız birçok kriterin değerlendirildiği ve doğru sonuca yakın çözümleri bize sunabilen en iyi yöntem MOORA yöntemidir. MOORA yönteminin en önemli avantajlarından biri yoğun matematiksel işlemler gerektirmediğinden özel yazılımlara ihtiyaç duymamasıdır. MOORA yönteminin diğer avantajları bir sonraki başlıkta detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.1. MOORA (Multi-Objective Optimization on Basis of Ratio Analysis) yöntemi

Bu yöntem ilk defa 2006 yılında Willem Karel M. Brauers ve Edmundas Kazimieras Zavadskas tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemin temel faydaları; tüm kriterleri dikkate ve değerlendirmeye alması, alternatif ve kriterleri tek tek değil birlikte değerlendirmeye almasıdır [61].

MOORA yöntemi aşağıda yazılı olan koşulları sağlamaktadır [61]:

- Tüm kriterler ve onları etkileyenler hesaba katılır.
- Amaçların tümü dikkate alınır.
- Alternatifler ve amaçlar arası tüm bağlantılar değerlendirilmeye dahil edilir.
- Değerlendirmesi öznel değildir.
- Sıralı olmaması üstünlüğüdür.
- Verilerin güncel olması önemlidir.
- Birden çok MOORA yöntemi birlikte değerlendirilebilir.

MOORA yöntemi ilk başlarda oran metodu ve referans noktası yaklaşımı olarak uygulanmaktaydı. Braus "Project Management by Multi-MOORA as an Instrument for Transition Economies" adlı yayınlanan makalede Multi MOORA'nın önerilmesi ile Tam Çarpım Formu Yöntemi ve Multi-MOORA çalışmalarda beraber kullanılmaya başlamıştır [61- 63].

MOORA yöntemi iki veya daha fazla birbiriyle örtüşmeyen kriteri veya alternatifi belirli kısıtlar altında eşzamanlı en iyileme sürecidir [64]. MOORA yöntemi çeşitli alternatif ve kriterlerinin performansını gösteren karar matrisinin oluşturulmasıyla başlar [64]. Bu karar matrisi Eşitlik 3.1'de gösterilmiştir:

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdot & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdot & x_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1.)$$

$A_i = i$. alternatif $i= 1,2,\dots,m$

$x_{ij} = j$. kriter ($j= 1,2,\dots,n$) i . alternatifin değeridir.

Oran yöntemi

Alternatif değerlerinin kareleri toplamının karekökü ile kriter değerleri bölünerek normalizasyon matrisi elde edilir [60].

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3.2.)$$

Burada $i=1,2,\dots,m$ alternatiflerin sayısını, $j=1,2,\dots,n$ kriterlerin sayısıdır. x_{ij} ; i . alternatifin j . kriter için olan değerinin normalleştirilmiş değeridir. $x_{jj}^* \in [0,1]$ dir. Bazı durumlarda $x_{ij}^* \in [-1,1]$ olabilmektedir [63].

Bu işlemlerden sonra hazırlanan tabloda kriterler, maksimum veya minimum olmalarına göre belirlendikten sonra toplanırlar ve toplanan maksimumlardan toplanan minimumlar çıkartılır. $j= 1,2,\dots,g$ maksimize edilecek kriterler, $j= g+1,g+2,\dots,n$ minimize edilecek kriterler olmak üzere:

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (3.3.)$$

Şeklinde yazılabilir [64].

y_i^* ; i alternatifinin tüm kriterlere göre normalleştirilmiş değerlendirilmesidir. y_i^* 'lerin sıralanmasıyla işlem tamamlanmış olur [63].

Referans nokta teorisi

Oran metoduna ek olarak, her kriter için; amaç maksimizasyon ise maksimum noktalar, amaç minimizasyon ise minimum noktalar olan referans noktaları belirlenir. Belirlenen bu noktaların, her x_{ij} kriter değerine uzaklıkları bulunur [66].

$$\Gamma_j - x_{ij}^* \quad (3.4.)$$

İşlemi uygulanır ve elde edilen değerler matris olarak yazılır. Burada $i= 1,2,\dots,m$ alternatiflerin sayısını, $j= 1,2,\dots,n$, kriterlerin sayısını, x_{ij} , i . Alternatifin j . Kriterdeki normleştirilmiş değerini, r_i , j . Kriterin referans noktasını göstermektedir. Oluşturulan bu matrise ‘Tchebycheff Min-Max Metrik’ işlemi uygulanır [64]. Bu şekilde sıralama yapılır:

$$(\min)_i \{ \max_j (|\Gamma_i - x_{ij}^*|) \} \quad (3.5.)$$

Önemliliği verilmiş Amaç Durumunda

Kriterlerin önem ağırlıklarının kullanılması istenilen uygulamalarda alternatifin normalize edilmiş değeri önem katsayısı ile çarpılır [68].

$$\ddot{y}_i^* = \sum_{j=1}^g (S_j x_{ij}) - \sum_{j=g+1}^n (S_j x_{ij}^*) \quad (3.6.)$$

$j= 1,2,,g$ maksimize edilecek kriterler, $j= g+1,g+2,,n$, minimize edilecek kriterlerdir. \ddot{y}_i^* ; i . alternatifin önem katsayısıyla tüm kriterlere göre normleştirilmiş değerlendirilmesidir. S_j j . kriterin önem katsayısıdır.

Referans nokta yaklaşımında ise önem katsayıları; Eşitlik 3.5 ifadesinde $|s_j r_j - s_j x_j^*|$ şeklinde yer alır [68].

Tam çarpım formu yöntemi

Brauers ve Zavadskas tarafından 2010 yılında geliştirilen bu yöntemin formülü aşağıdaki gibidir [64]:

$$u_i = \frac{A_i}{B_i} \quad (3.7.)$$

Burada $A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}^*$ ve $B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}^*$ şeklinde ifade edilmiştir. U_i ise i . alternatifi'nin kullanım derecesini ifade eder. Bu eşitlik de maksimize edilecek değerler paya, minimize edilecek değerler paydaya yazılarak formül uygulanır.

Multi- MOORA yöntemi

Bu yöntem ile üç farklı MOORA yönteminden elde edilen sonuçlar Brauer ve Zavadskas tarafından geliştirilen baskınlık teoremi sayesinde sonuçlar arasında baskınlık değerlendirmesi yapılarak daha doğru bir sıralama elde edilmeye çalışılır [68].

Baskınlık Teoremi

Multi-MOORA yönteminin uygulanması için hesaplamaları yapılan diğer üç MOORA yöntemi birbirinden bağımsız ve birbirlerine üstünlükleri yoktur. Bu yöntemlerin önem dereceleri aynı kabul edilir [68].

Ordinal ve Kardinal Ölçeğin Aksiyomları

- Kardinal veri ile ordinal ölçek elde edilebilir.
- Ordinal bir ölçeğin kardinal bir sayı üretmesi mümkün değildir.
- Ordinal ölçekler arasında çevrim yapılabilir.

Üç numaralı aksiyom kuralı göz önüne alındığında Multi-MOORA yöntemleri ile ulaşılan ordinal sıralamalar baskınlı, geçişlilik ve kararlılık kurallarına göre sıralanabilir [68].

Baskınlık

- Tam Baskınlık: Bir alternatifin tüm alternatiflere tam olarak baskın olmasıdır. Multi-MOORA Yönteminde bu durum (1 – 1 – 1) olarak ifade edilir [69].
- Genel Baskınlık: Uygulanan üç yöntemden ikisinin aynı seviyede olması durumudur. Örneğin; 1 P 2 P 3 P 4 (bir tercih edilir ikiye, iki tercih edilir üçe ve üç tercih edilir dörde) incelenirse üç MOORA yöntemine göre sonuçları aşağıdaki gibi olduğunda:
(4-1-1) genellikle baskındır (3-2-2)'ye
(1-4-1) genellikle baskındır (2-3-2)'ye
(1-1-4) genellikle baskındır (2-2-3)'e diye ifade edilir [68].

Geçişlilik

Geçişlilik şöyle açıklanabilir; 1, 2'ye baskın ve 2, 3'e baskın ise 1,3'e baskındır [68].

- Bütüncül Baskınlık: Kısaca örnek vermek gerekirse (1-1-1) durumu tamamen (2-2-2) durumuna baskındır [68].

Kararlılık

- Tam Kararlılık: Bir alternatifin tüm yöntemlerde aynı sırada olmasıdır. Örnek; (1-1-1) [68].
- Kısmi Kararlılık: Bir örnekle açıklayacak olursak; (1-2-2) durumu, (4-2-3) durumundan kısmi olarak daha karardır. Durumları kıyasladığımızda (1-2-2) durumunda üç yöntemin ikisinde aynı sonuç elde edilmiş iken (4-2-3) durumunda üç yöntemde de farklı sonuçlara ulaşılmıştır [68].
- Devingen Mantık: Üç farklı yöntemin aralarında farklar bulunmasına rağmen bazı çelişkili karşılaştırmalar olabilmektedir. Örneğin; (1-1-2) durumu genellikle baskın, (1-2-2) durumuna, (1-2-3) durumu genellikle baskın, (1-3-3) durumuna, (1-2-3) durumu genellikle baskın (1-1-2) durumuna, Bunun gibi özel hallerde durumların performans değerleri aynı kabul edilir [69].

4. BULGULAR

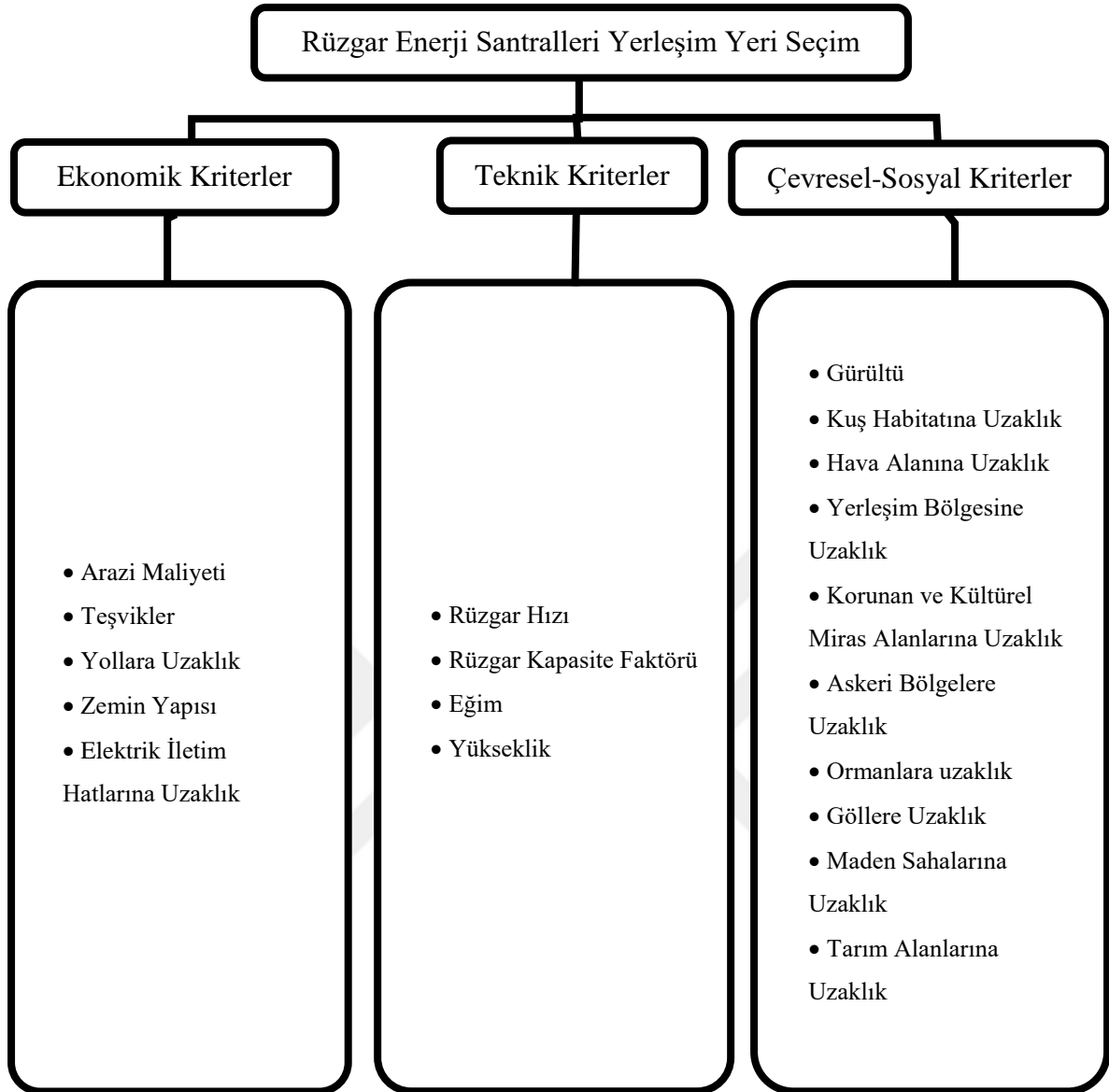
4.1. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yerleşim Yeri Tespitinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması

Bu tezde, rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri tespitinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden MOORA yöntemi kullanılmıştır. MOORA yönteminin temel faydaları; tüm kriterleri dikkate ve değerlendirmeye alması, alternatif ve kriterleri parça parça değil aynı anda değerlendirmeye almasıdır.

Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yerlerine alternatif olarak Amasya ili sınırları içerisinde, bölgenin güneydoğusunda (RES_1), kuzeyinde (RES_2) ve güneybatısında (RES_3) olmak üzere üç alternatif santral bölgesi belirlenmiştir.

4.1.1. Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri tespit kriterleri

Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri tespiti yapılırken verilecek kararlar mikro ve makro düzeydedir. Mikro düzeyde verilecek kararlar rüzgar enerji santralinin yerleşim yeri tespit edildikten sonra rüzgar profiline göre türbinin doğrultusu, kanat açıları ve kanat uzunluklarıdır. Makro düzeyde verilecek kararlar ise ekonomik, teknik ve çevresel-sosyal kriterlerin yerleşim yeri tespitini etkilediği kararlardır. Bu kriterlerin yapısı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Rüzgar enerji santralleri yerleşim yeri kriterleri

Ekonomik kriterler

Arazi maliyeti

Arazi maliyeti rüzgar enerji santralinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Büyük güçteki santraller için daha geniş araziler gereklidir. Arazi maliyeti türbin kurulacak bölgenin sosyal ekonomik durumu ve yerleşim bölgelerine olan uzaklıklarına göre değişiklik gösterebilir. Arazi maliyetini yükselten temel sebep arazinin mülkiyet durumudur. Mülk sahibi ile araziyi satın alma veya kiralama konularında anlaşma sağlanmalıdır. Türbin arazisi temin edilirken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da gelecekte öngörülen güç artırımını için çevre arazilerin satın alma veya kiralamaya uygun olup olmamasıdır.

Teşvikler

Teşvikler toplumsal fayda sağlamak amacıyla belirli bir faaliyetin desteklenmesi ve özendirilmesi için kullanılan ekonomik bir araçtır. Rüzgar santrallerinden elektrik enerjisi elde edilirken çevreye verilen zararın az olması nedeniyle bu alanda hatırı sayılır teşvik programları uygulanmaktadır. Bu kapsamda; vergi indirimi, sigorta prim desteği, arazi tahsisi vb. teşvikler sağlanmaktadır.

Türkiye de uygulanan teşvikler

- Sabit fiyat garantisi,
- Elektrik alım garantisidir.

Yollara uzaklık

Rüzgar türbinleri büyük ve ağır parçaların bir araya gelmesi ile oluşturulduğundan, bu parçaların santral bölgesine nakli kurulum aşamasında çok önemlidir. Ağır tonajlı araçların kullanıldığı bu nakil işlemlerinde santral yerleşimi için seçilen bölgelerin mevcut ulaşım yollarına yakın olması, yeni yol yapımını gerektirmediği için ek bir maliyet oluşturmayacaktır. Santral bölgesinin yollara olan uzaklığı kurulum maliyetleri ile doğru orantılıdır. Ayrıca yollara uzaklık işletme, bakım ve onarım işlemlerini gerçekleştirecek personel giderlerin artmasına sebep olmaktadır.

Zemin yapısı

Rüzgar türbinleri fiziki olarak ağır ve büyük yapılardır. Bu denli bir yapının temeli türbini taşıyabilecek kadar güçlü olmalıdır. Türbin sahası seçilirken bataklık ve kaygan zeminler değil sert ve kayalık zeminler tercih edilmelidir. Bataklık ve kaygan zeminler temel güçlendirmesi için ek maliyetler getirmektedir.

Elektrik iletim hatlarına uzaklık

Elektrik enerjisi iletim hatları vasıtası ile son kullanıcıya taşınmaktadır. Her ne kadar elektrik direnci düşük iletim telleri kullanılsa da belirli bir oranda kayıplar meydana gelmektedir. İletim hatlarında mesafe artıkça kayıplarda artmaktadır. Nakil hatlarında üretilen enerjinin

yaklaşık %10 ile %20 arasında kayıplar olmaktadır. Ayrıca rüzgar enerji santrallerinde üretilen enerji şebekeye bağlandığı noktada elektrik saatleri tarafından ölçülmektedir. Santralden şebeke bağlantı noktasına kadar olan mesafede meydana gelen kayıplar zarar hanesine yazılmaktadır. Türbin sahası ile şebeke bağlantısı arasında iletim hatlarının ilk kurulum maliyetleri ve işletme sürecindeki bakım-onarım giderleri mesafe artıkça maliyetleri artırmaktadır.

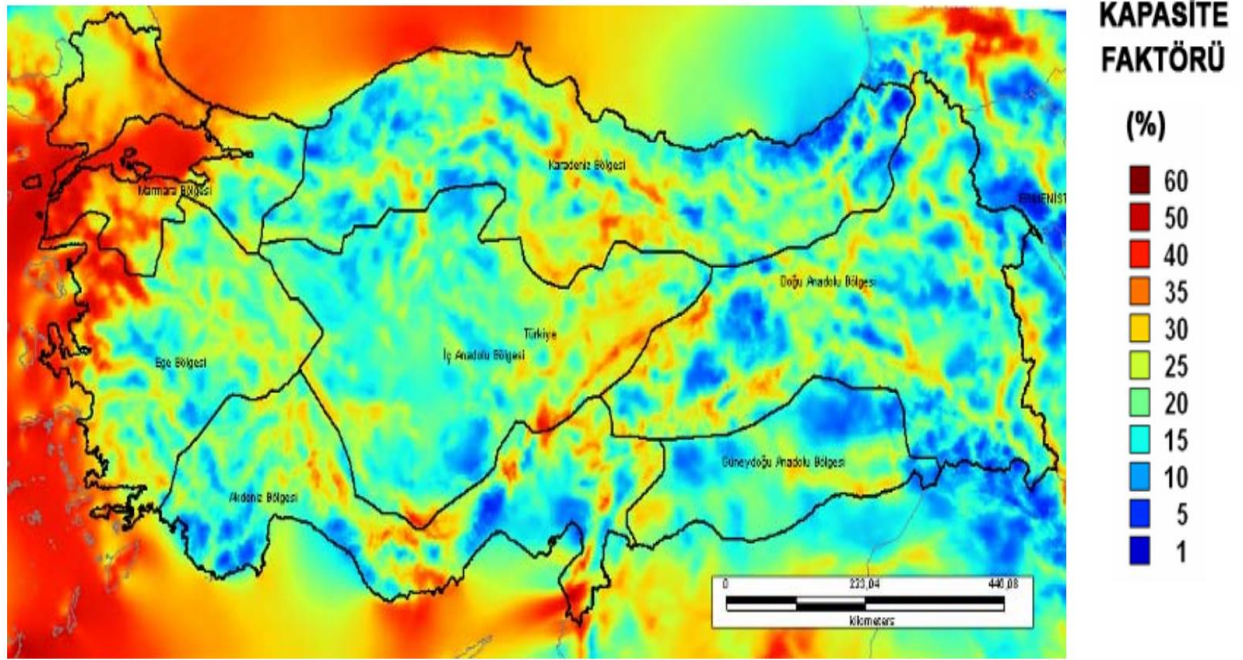
Teknik kriterler

Rüzgar hızı

Rüzgar kinetik enerjisi rüzgar hızıyla doğru orantılıdır. Rüzgar türbinlerinden yüksek miktarlarda enerji üretilebilmesi için rüzgar hızının yüksek olması gerekmektedir. Rüzgar enerji santrali yerleşim yeri tespit edilirken yıllık ortalama rüzgar hızları bakılmalıdır. Santral yeri seçilirken en önemli kriter rüzgar hızıdır.

Rüzgar kapasite faktörü

Kapasite faktörü (KF) rüzgar enerji santralinin elektrik enerjisi üretiminde ne kadar verimli olduğunu gösteren verilerden biridir. Rüzgar enerji santralinin sahip olduğu nominal güç ile yıllık bu santralden üretilen elektrik enerjisi arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılır. Kısaca bir rüzgar enerji santralinin kapasite faktörü, o santralden yıllık üretilen toplam elektrik enerjisinin santralin nominal gücüne göre yıllık üretmesi beklenen elektrik enerjisine oranı olarak ifade edilir. Türkiye'nin kapasite faktörü haritası Şekil 4.2'de görülmektedir. Türkiye'de %35 kapasite faktörü altındaki değerler ekonomik olarak değerlendirilmemektedir.



Şekil 4.2 Türkiye geneli ortalama rüzgar kapasite faktörü dağılımı (50 m) [37]

Eğim

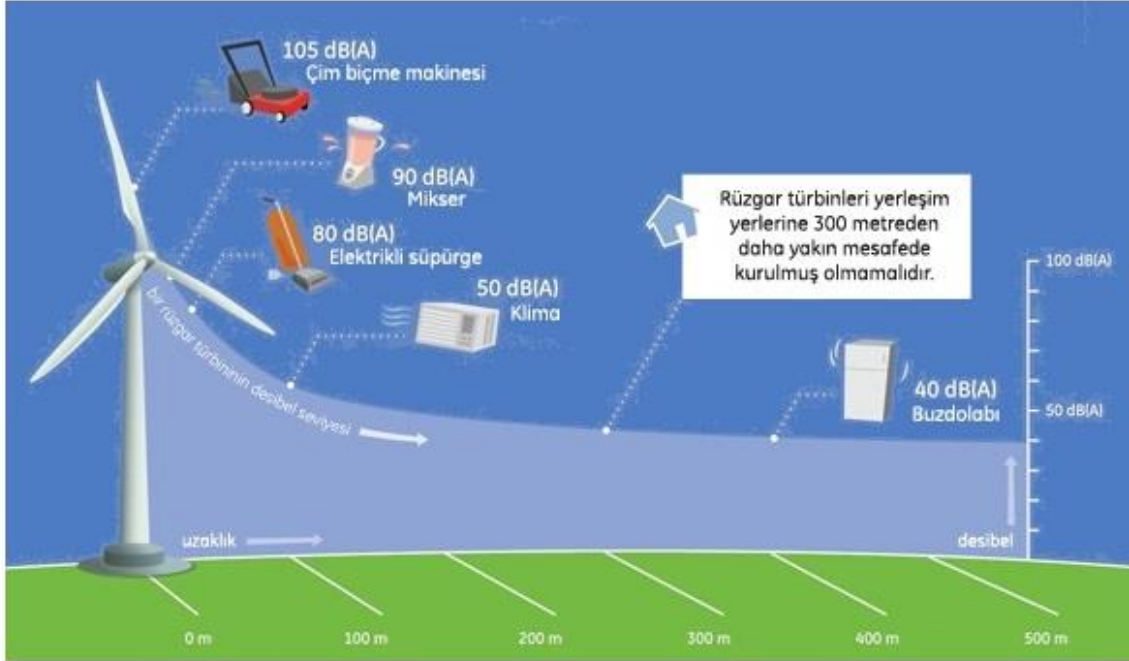
Rüzgar türbininin uzun yıllar ayakta kalabilmesi ve kanat, gövde gibi parçalarını taşıyabilmesi için temelini sağlam olması gerekmektedir. Eğimli arazilerde türbin temelini sağlam yapılabilmesi için ek işlemler gerekmektedir. Ayrıca inşa aşamasında türbin parçaları ekonomik olarak karayolu ile taşındığından kullanılan ağır tonajlı araçların eğimli arazilerde bu işlemi gerçekleştirmesi olanaksızdır. Karayolu ile taşınamayan parçaların hava yolu ile taşınması maliyetleri artırarak santral yatırımının ekonomik olmamasına sebep olmaktadır. Dünyada ve ülkemizde yapılan akademik çalışmalarda %20 eğim değerinin üstünde rüzgar santrali kurulumunun ekonomik olmayacağı görülmüştür.

Yükseklik

Deniz seviyesinden her 100 m yükseklikte sıcaklık 1°C azalmaktadır. Rüzgar türbinlerinin mekanik parçaları belirli sıcaklıklarda çalışmaya uygun üretilebilmektedir. Deniz seviyesinden çok yükseklerde hava sıcaklığının sıfırın altına düşmesi türbin yüzeylerinde ve mekanik parçalarında donmalara sebep olduğundan arızalara neden olmakta ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Yapılan çalışmalarda bir rüzgar türbininin ekonomik olarak işletilebilmesi için 1500 m yüksekliğin altında inşa edilmesi gerekmektedir.

Çevresel- sosyal kriterler

Gürültü



Şekil 4.3 Rüzgar türbinlerinin gürültü etkisi [70]

Rüzgar türbinlerinin kanatlarının hava ile sürtünmesi sonucunda ses dalgaları oluşur. Şekil 4.3'de görüldüğü üzere 300 m uzaklıktan sonra rüzgar türbinlerinde oluşan ses 43 dB(A) seviyelerinde duyulur. Bu ses seviyesi günlük hayatta kullandığımız ev eşyaları olan klima ve buzdolapları ile aynı seviyededir. Rüzgar türbinlerinin yerleşim yerlerine uzaklıkları 500 m ve üzerinde olduğunda duyulabilecek ses 38 dB(A) şiddetinde olmaktadır. Bu düzeylerdeki sesler insan yaşamına olumsuz bir etki göstermemektedir [70].

Kuş habitatına uzaklık

Yapılan gözlem ve çalışmalarda bazı göçmen kuş türlerinin rüzgar türbinlerinden olumsuz etkilendikleri görülmektedir. Rüzgar türbinlerinin inşasına başlanmadan önce ve işletme esnasında olmak üzere iki yıl boyunca gözlem yapılması gerekmektedir [71]. Dünyada ve ülkemizde yapılan gözlem ve çalışmalarda türbinlerin kuş habitatlarını çok fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde kuşların çarpmalardan korundukları ve türbinlere doğru uçmadıkları görülmektedir [71].

Türkiye önemli kuş göç yolları üzerindedir. Ülkemizde bulunan rüzgar santrallerinden 48 tanesi kuş göç yolları üzerinde bulunmaktadır. Bu tesislerde yapılan incelemelerde 2006-2015 yılları arasında kuş ölümlerine ilişkin bilgilere ulaşılamamıştır. Bu bölgelerde incelemelerde bulunan uzmanlar rüzgar enerji santrallerinin kuşlara olumsuz etkilerinin çok az olduğunu tespit etmişlerdir [72-75].

Resmi kurumlar ve araştırmacılar tarafından hazırlanan Türkiye üzerinden geçen kuş göç yolları haritası Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Türkiye göçmen kuş rotaları [71]

Havaalanına uzaklık

Rüzgar türbinlerinin gövdeleri sabit, kanatları ise hareketli olduğundan havaalanı radar sistemlerine sürekli değişen genlikte sinyal göndermektedir. Bu alanı izleyen radar sistemlerinde türbinlerden gelen sinyaller yüzünden körlük meydana gelmektedir [76].

Rüzgar türbinlerinin yönleri rüzgar yönüne göre değiştiği için kesit alanları sürekli değişmekte ve radar için daha büyük sorun oluşturmaktadır. Görüntü düzensizliği sivil ve askeri hava alanlarındaki uçuşları olumsuz etkilemektedir.

Kanat üreticileri radar sistemlerine olan etkiyi azaltmak için fiberglas materyal kullanmaktadır. Ancak yıldırımdan korunmak amacıyla kanatlarda kullanılan metal kablolar mikrodalga sinyallerini yansıtmaktadır.

Havaalanı radar sistemlerinin ve uçakların etkilenmemesi için rüzgar türbinlerinin coğrafi koşullarda göz önüne alınarak minimum 5000 m ve ötesinde kurulması gerektiği akademik çalışma ve gözlemlerle tespit edilmiştir.

Yerleşim bölgesine uzaklık

Rüzgar türbinleri fiziksel olarak büyük yapılardır. Kanat hareketleri sırasında gürültü ve gölge titreme etkisi oluşmaktadır. Oluşan bu etkiler rüzgar türbinine yakın olan insanlarda uyku bozukluğu, baş ağrısı ve bulanık görme gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Bu tür olumsuz etkilerin önlenmesi için türbinlerin yerleşim bölgelerine uzaklıkları yapılan akademik çalışmalarla 2500 m ve üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir.

Korunan ve kültürel miras alanlarına uzaklık

Tarihi alanlar, antik eserler devlet tarafından koruma altına alınmış alanlardır. Koruma altına alınan bu ve benzeri alanlarda herhangi bir şekilde görüntü ve durumunda değişikliğe sebep olacak faaliyetlere izin verilmemektedir. Devlet tarafından belirlenen korunan ve kültürel miras alanlarına rüzgar türbini kurulmasına izin verilmemektedir [77].

Askeri bölgelere uzaklık

Askeri bölgeler ve askeri havaalanı radar sistemleri rüzgar türbinlerinden olumsuz etkilendiği için; hava alanına uzaklık başlığı altında söylenenler bu durum için de geçerlidir.

Ormanlara uzaklık

Orman arazileri koruma altında olduğundan rüzgar santrali kurulumuna izin verilmemektedir. Ayrıca yüksek boylu ağaçlar türbinlere giden rüzgarlara engel oldukları için bu tür alanlarda rüzgar santralleri verimli çalışmamaktadır [77].

Göllere uzaklık

Rüzgar enerji santralleri deniz ve göllerin üzerinde kurulabilir. Rüzgar enerji santralleri belirlenen santral sahasının çok küçük bir alanına inşa edilir. Türbinin kapladığı alan santral

sahasının %1'i kadardır. Santral sahasının geriye kalan kısmı istenildiği gibi kullanılabilir. Su canlılarına herhangi bir zararı yoktur. O bölgelerde balıkçılık ve turistik faaliyetler gerçekleştirilebilir. Rüzgar türbininden herhangi bir atık oluşmadığından çevre kirliliğine sebep olmamaktadır [78].

Maden sahalarına uzaklık

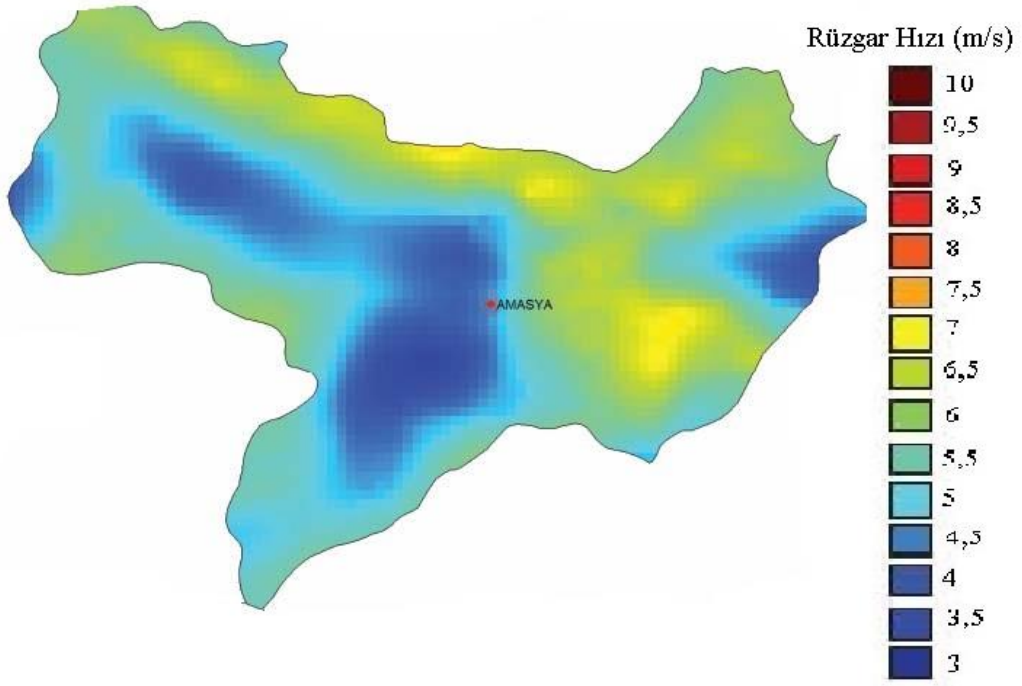
Maden sahaları kapalı ve açık sahalar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Açık maden sahalarına rüzgar türbinleri inşa etmek olanaksızdır. Yeraltı maden sahalarının tehlike oluşturmayacak bölgelerinde rüzgar santrallerinin kurulması uygun görülmüştür.

Tarım alanlarına uzaklık

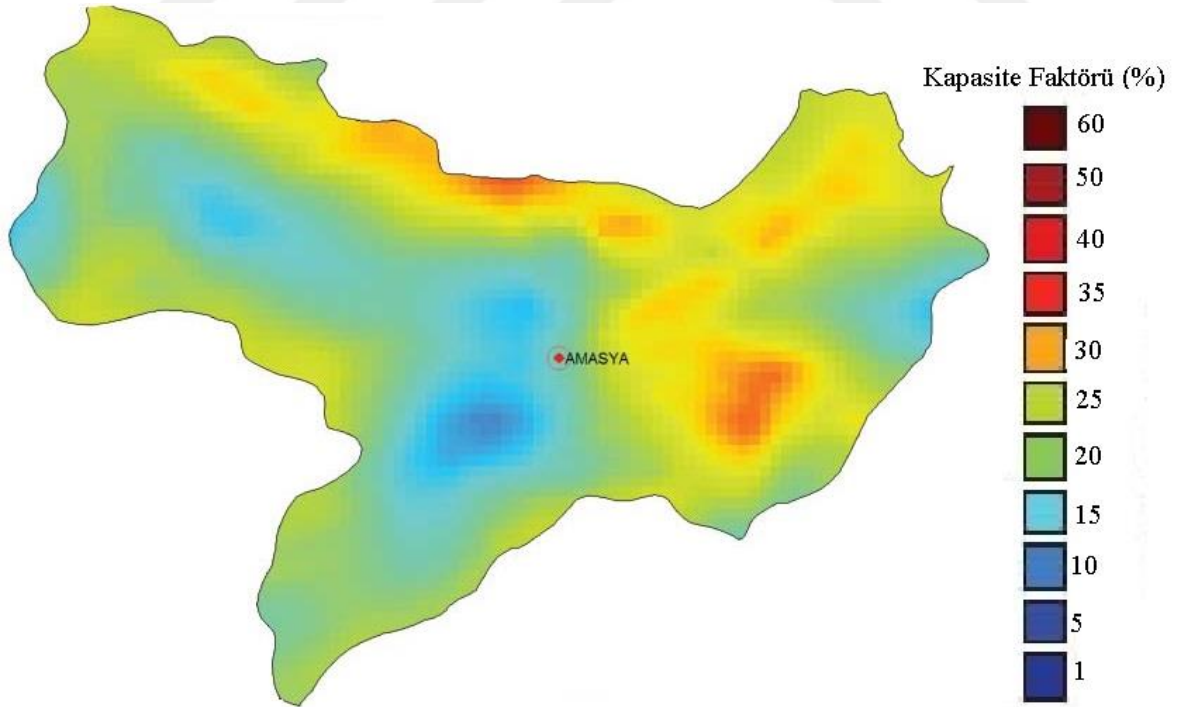
Rüzgar türbinlerinin kurulu olduğu sahada tarım, ormancılık gibi faaliyetler yapılabilmektedir. Rüzgar enerji santralleri belirlenen santral sahasının çok küçük bir alanına inşa edilir. Türbinin kapladığı alan santral sahasının %1'i kadardır. Santral sahasının geriye kalan kısmı istenildiği gibi kullanılabilir. Rüzgar türbininden herhangi bir atık oluşmadığından çevre kirliliğine sebep olmamaktadır [79].

4.1.2. Rüzgar enerji santrallerinin yerleşim yeri alternatiflerinin belirlenmesi

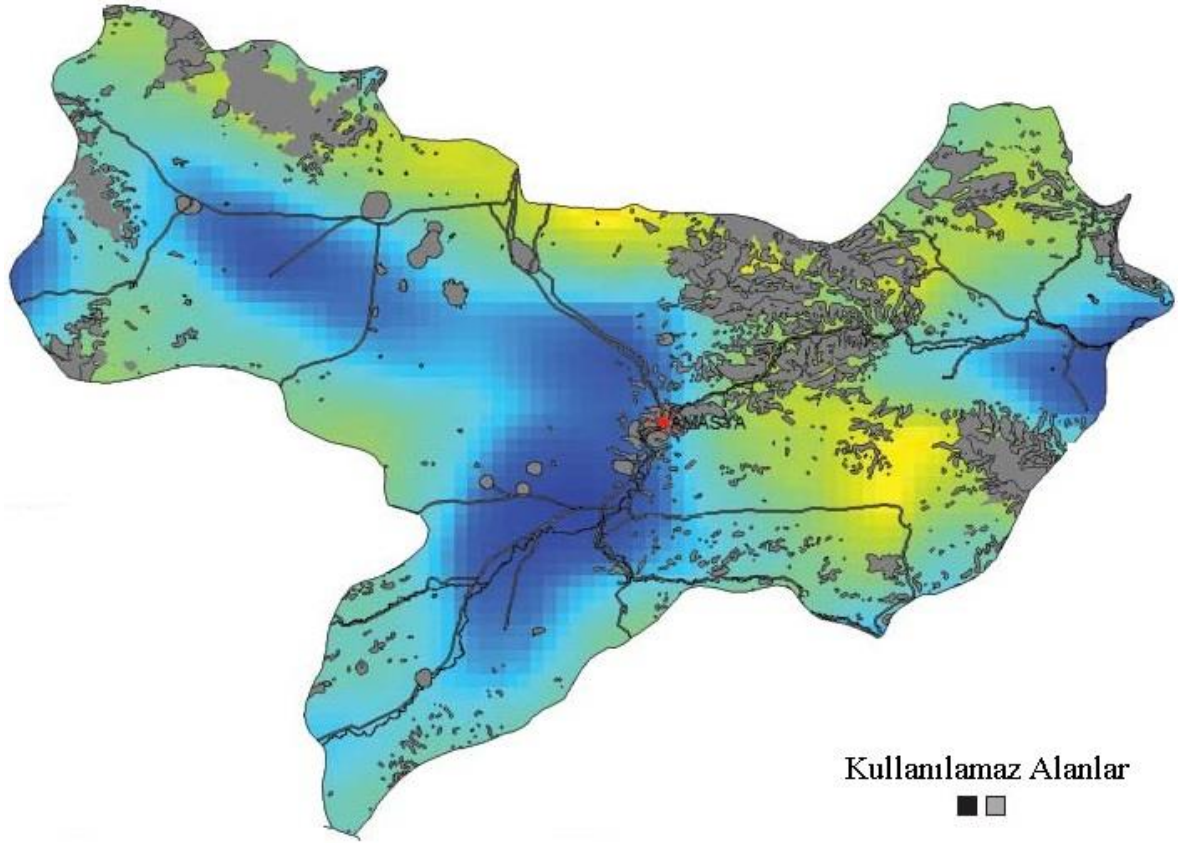
Bu tezde Orta Karadeniz bölgesinde bulunan Amasya ili sınırları içerisinde rüzgar enerji santralleri için en iyi yerleşim yeri belirleme çalışması yapılmıştır. Amasya ili rüzgar hızı ve kapasite faktörü (Bkz. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6) ve santral kurulamaz alanlar (Bkz. Şekil 4.7) haritalarından yararlanılarak alternatif santral kurulum sahaları belirlenmiştir. Rüzgar enerjisi santrallerinin yerleşim yeri seçenekleri olarak Amasya ilinin güneydoğunda (RES_1), kuzeyinde (RES_2) ve güneybatısında (RES_3) olmak üzere üç bölge belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.8)



Şekil 4.5 Amasya ili rüzgar hız dağılımı (50 m) [37]



Şekil 4.6 Amasya ili kapasite faktörü dağılımı (50 m) [37]



Şekil 4.7 Amasya ili rüzgar enerji santrali kurulamaz alanlar [37]



Şekil 4.8 Amasya ili sınırları içerisinde alternatif rüzgar enerji santral bölgeleri

4.1.3. Kriter değerlerinin belirlenmesi

Amasya rüzgar hızı atlası (Şekil 4.5) incelenerek elde edilen alternatif santral kurulum yerlerindeki mevcut rüzgar hızları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Alternatif sahaların ortalama rüzgar hızları

KRİTERLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Rüzgar hızı (km/h)	7	7,5	6,5

Amasya ili sınırları içerisinde alternatif olarak belirlenen rüzgar enerji santral alanlarına ait rüzgar kapasiteleri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Alanlara ait kapasite faktörleri belirlenirken Şekil 4.6’dan yararlanılmıştır.

Çizelge 4.2 Alternatif sahaların rüzgar kapasite faktörleri

KRİTERLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Rüzgar Kapasite Faktörü (%)	35	40	30

Amasya ili sınırları içerisinde alternatif santral kurulum yerlerine ait eğim ve yükseklik bilgileri Çizelge 4.3’de gösterilmektedir. Alternatif bölgelerin eğimleri dijital yükseklik modelinden (Digital Elevation Model- DEM) faydalanılarak bulunmuştur. Şekil 4.9’da Amasya ili yükseklik eğrileri gösterilmektedir. Bu haritada her eğri aralığı 50 metre’dir.

Çizelge 4.3 Alternatif sahaların eğim ve yükseklik değerleri

KRİTERLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Eğim (%)	16	15	13
Yükseklik (m)	720	1000	978



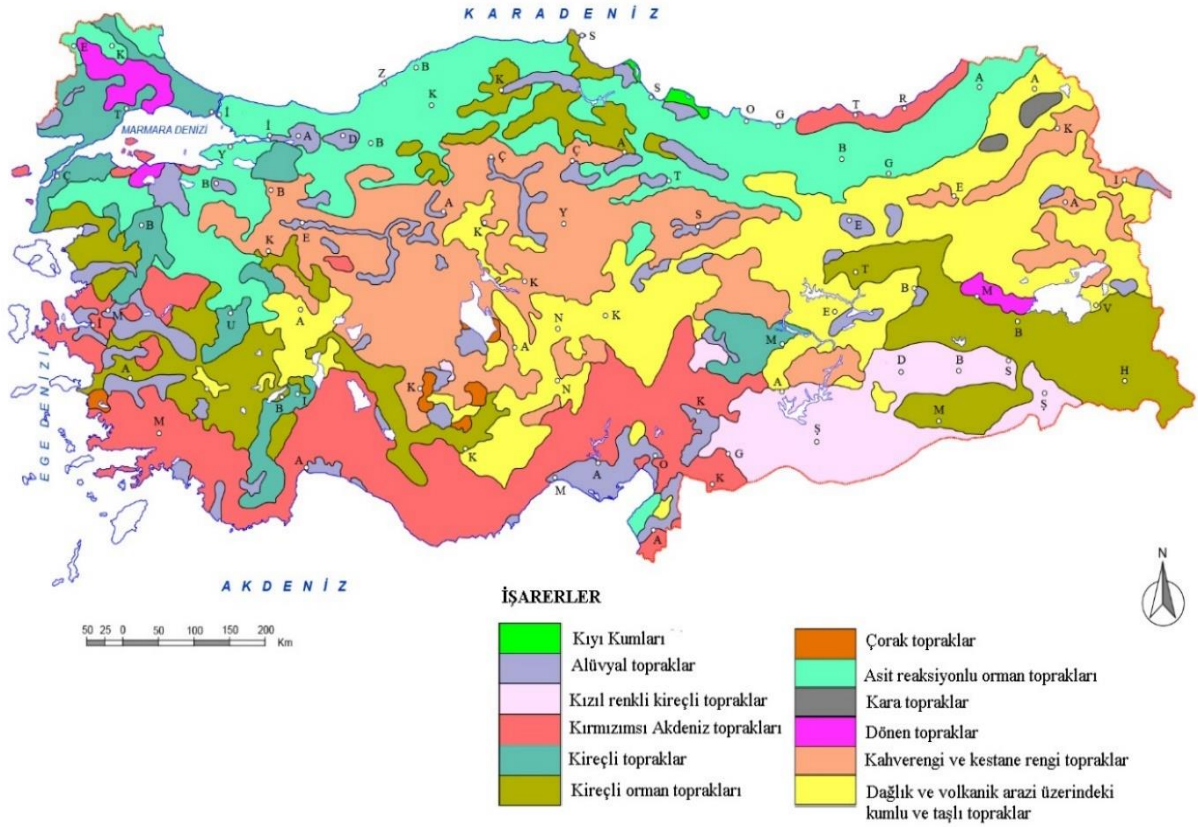
Şekil 4.9 Amasya ili yükseklik izohips haritası

Amasya ilini ait eğim haritası Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Alternatif bölgelere ait eğim ve yüksekliklerin hesaplamalarında ARCGIS firmasına ait ARCMAP 10.3 yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4.10 Amasya ili eğim haritası

Rüzgar enerji santrali kurulması için alternatif olarak belirlenen alanların zemin yapısı Türkiye toprak haritası kullanılarak belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.11).



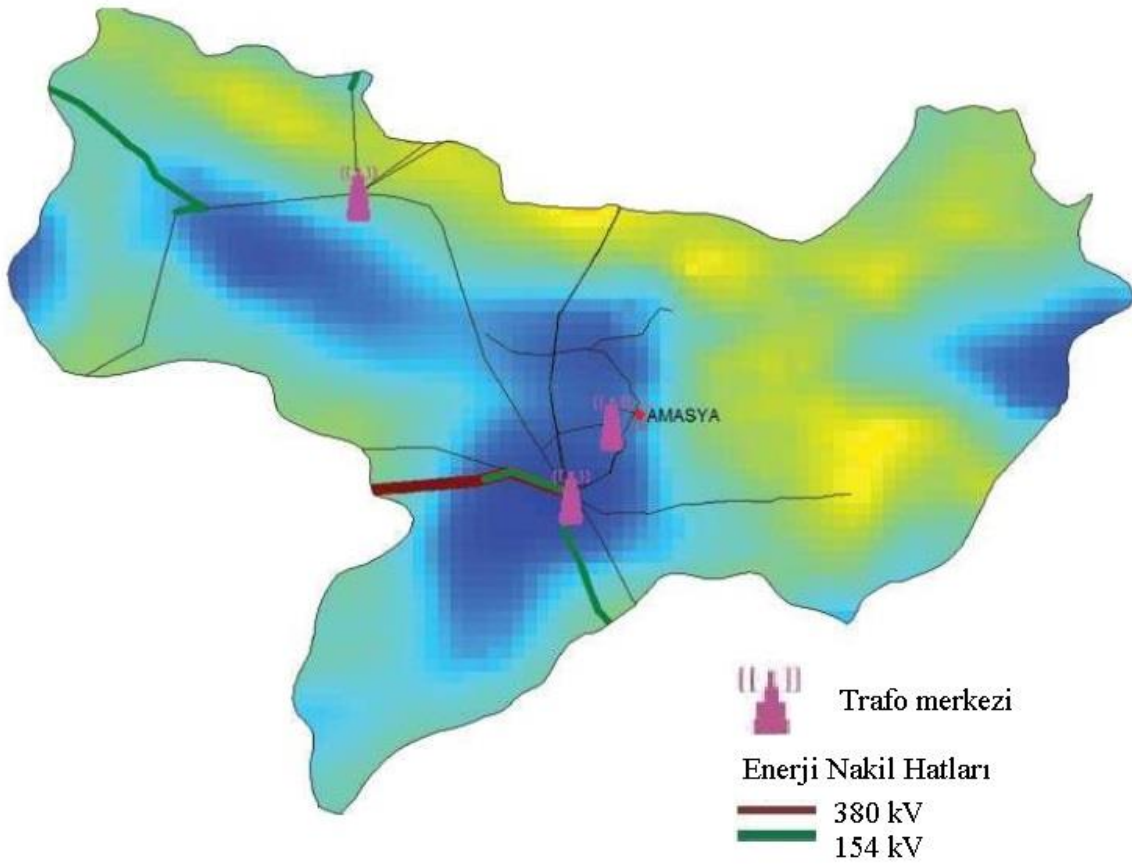
Şekil 4.11 Türkiye toprak tipleri dağılışı haritası [79]

RES_1 olarak adlandırılan bölgenin zemin yapısı asit reaksiyonlu orman toprakları (kahve rengi orman toprakları), RES_2 alternatif bölgesinin zemin yapısı kireçli orman toprakları ve RES_3 alternatif bölgesinin zemin yapısı çorak toprak yapısına sahiptir. Sahaların zemin yapıları nitel özelliklere sahip olduğu için bu kriterlerin değerlendirilmeye sokulabilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir. Alternatif sahaların zemin yapısı sayısallaştırılırken şu yöntem izlenmiştir. Rüzgar enerji santrali kurulum yeri için en uygun zemin yapısı ve uygun olmayan zemin yapıları literatür çalışmalarından belirlenmiştir. Buna göre en uygun zemin yapısı sert ve kaya zeminler (1 değeri), uygun olmayan zeminler ise kaygan ve bataklık zeminlerdir (0 değeri). 1 ve 0 değerleri aralığında alternatif sahaların rüzgar enerji kurulumu için en uygun zemin yapısına sahip alan çorak toprak yapısına sahip RES-3 alanıdır ve 0,65 değeri verilmiştir. Santral kurulması için diğerlerine göre en az uygun olan kahverengi orman topraklarına sahip RES_1 bölgesine 0.40 değeri verilmiştir.

Alternatif santral kurulum yerlerinin arazi maliyetleri, bölge ve çevresindeki tarla ve arazilerin satış ilanlarındaki metrekare fiyatlarının ortalamaları alınarak bulunmuştur. Aynı

bölge ve çevresinde satışa çıkarılmış üç arazinin metrekare fiyatlarının ortalaması o bölgedeki alternatif kurulum yeri için arazi maliyet değeri olarak bulunmuştur.

Alternatif kurulum yerlerinin iletim hatlarına uzunlukları, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu Amasya ili nakil hatları ve trafo merkezleri (Bkz. Şekil 4.12) haritası ve Google Earth kullanılarak hesaplanmıştır. Yine aynı şekilde alternatif kurulum yerlerinin ulaşım yollarına uzaklıkları Google Earth yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.12 Amasya ili enerji nakil hatları ve trafo merkezleri [37]

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları teşvik edilmektedir. Ülkemizde uygulanan belirli şekillerde teşvik programları vardır. 21 Temmuz 2011’de yayınlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik’e göre rüzgar enerji santrallerinin ürettiği elektriğe devlet alım garantisi vermektedir. Şu an ülkemizde kilovatsaat başına 7,3 cent fiyat ile devlet üretilen elektriği 20 yıl boyunca satın almaktadır.

Alternatif sahaların ekonomik kriterin alt kriterlerine ait değerleri Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Alternatif sahaların ekonomik kriterlerinin alt kriter değerleri

KRİTERLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Arazi Maliyeti (TL/m ²)	25	20	15
Teşvikler (kWh/cent)	7,3	7,3	7,3
Yollara Uzaklık (m)	279	672	883
Zemin Yapısı	0,40	0,55	0,65
Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık (m)	1568	3920	2752

Alternatif santral kurulum yerlerine ait çevresel-sosyal kriterlerin alt kriterlerine ait veriler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Kurulum yerlerine ait gürültü kriteri belirlenirken insan nüfusu bulunan en yakın yaşam alanına uzaklık mesafesi temel alınmıştır. Alternatif santral yerleri genellikle kırsal ve yaşam alanlarından uzak bölgelerdedir. Ayrıca belirlenen bölgelerde mevcut bir santral olmadığından gerçek bir ölçüm yapılamamıştır. Literatür çalışmalarından ve işletmedeki santraller için yapılan ölçüm verileri kullanılarak alternatif bölgelerin gürültü kriter değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar neticesinde bir rüzgar santralinin 500 m uzağında ölçülen ve hesaplanan ses şiddeti 43,3 dB olarak bulunmuştur. Bu veri referans alınarak alternatif bölgelerin en yakın yaşam alanlarında meydana getirdiği gürültü; RES_1 40,9 dB (659 m), RES_2 30,4 dB (2194 m) ve RES_3 35,3 dB (1249 m) olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formül Eşitlik 4.1’de verilmiştir.

$$L_r = L - 20 \cdot \text{LOG}_{10} \left(\frac{r}{100} \right) \text{ (dB)} \quad (4.1.)$$

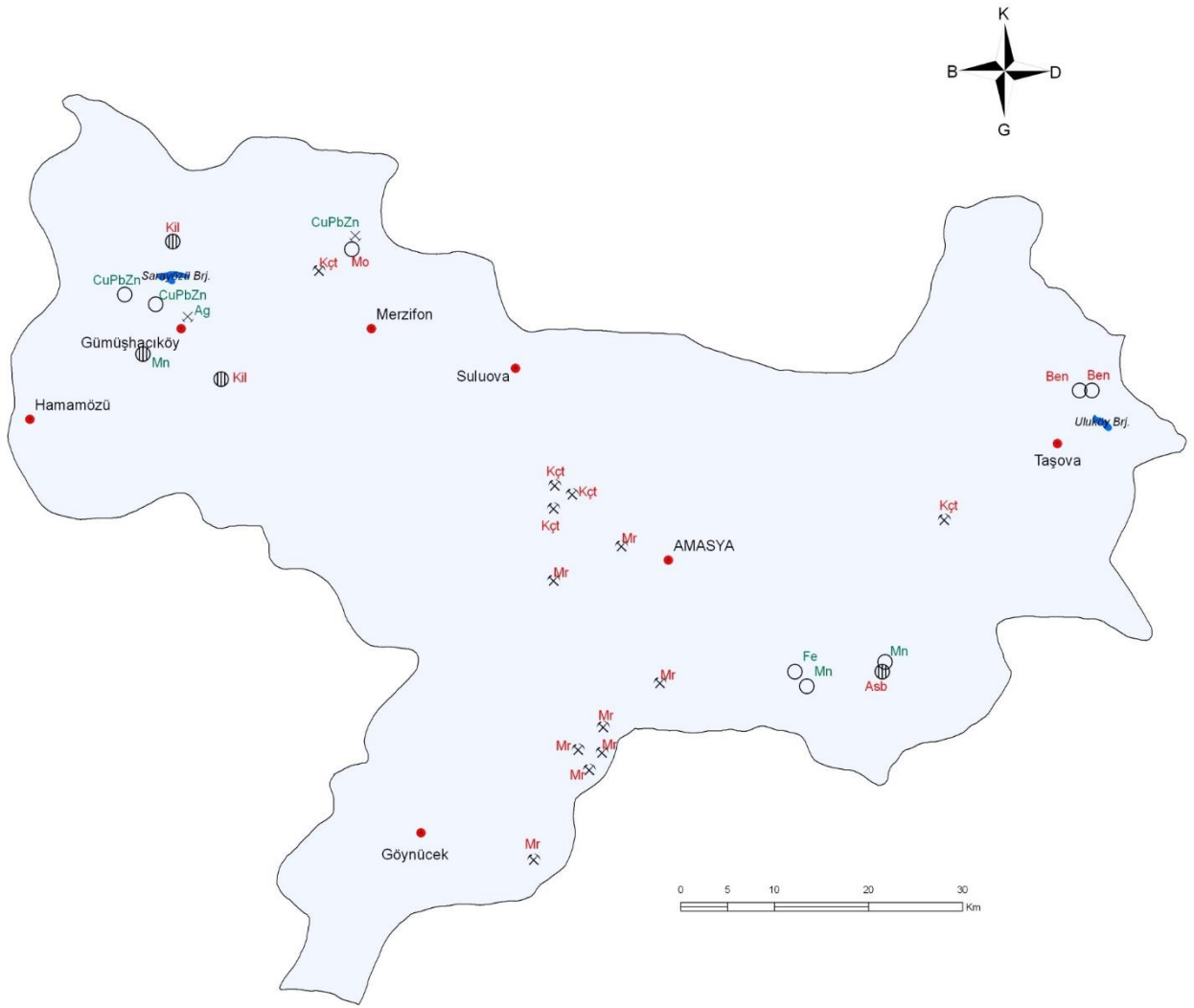
Burada L_r hesaplanan uzaklıktaki ses şiddetini (dB), L referans ses kaynağı şiddetini (dB) ve r ses şiddeti hesaplanacak mesafeyi (m) ifade etmektedir.

Türkiye’nin önemli kuş göç yolları üzerinde bulunduğu daha önce kriterlerin açıklandığı bölümde belirtilmiştir. Alternatif kurulum yerleri için literatürde herhangi bir kuş gözlemi yapıldığına dair veri elde edilememiştir. Çeşitli kurumlar ve örgütler tarafından çizilen haritalarda bu bölgeler için ayrıntılı bilgi bulunamamıştır. Bu kriteri değerlendirmeye alabilmek için kuş göç yollarını bilmediğimiz, ancak kuşların yaşam bölgesi olarak tercih ettikleri baraj ve göllere olan uzaklık dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.5 Alternatif sahaların çevresel-sosyal kriterlerinin alt kriter değerleri

KRİTERLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Gürültü (dB)	40,9	30,4	35,3
Kuş Habitatına uzaklık (m)	25140	16797	19310
Hava Alanına Uzaklık (m)	31900	19675	22200
Yerleşim Bölgesine Uzaklık (m)	1412	2194	1249
Korunan Ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık (m)	5875	4391	6225
Askeri Bölgelere uzaklık (m)	28347	18675	22200
Ormanlara Uzaklık (m)	416	498	1557
Göllere Uzaklık (m)	9314	600	10770
Maden Sahalarına Uzaklık (m)	2281	8583	7096
Tarım Alanlarına Uzaklık (m)	15,2	219	10

Alternatif kurulum yerlerinin havaalanına, yerleşim bölgelerine, korunan ve kültürel miras alanlarına, askeri bölgelere, ormanlara, göllere, maden sahalarına (Bkz. Şekil 4.13) ve tarım alanlarına uzaklıkları Google Earth yazılımı kullanılarak bulunmuştur.



AÇIKLAMALAR

- ZUHUR
- ⊕ YATAK
- × İŞLETME
- × ESKİ İŞLETME
- Yerleşim merkezi

METALİK MADENLER

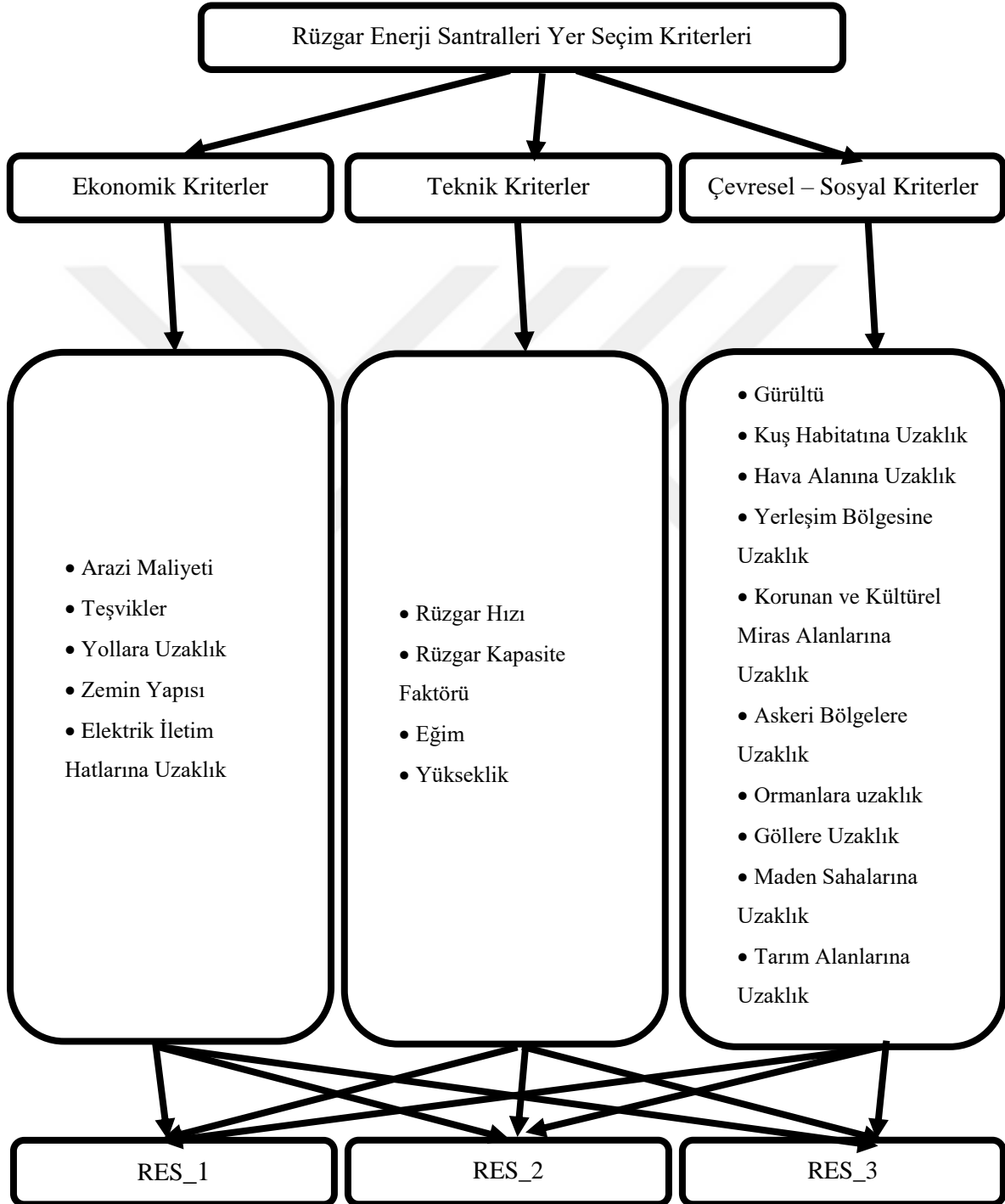
ENDÜSTRİYEL HAMMADELER

Ag	Gümüş	Kçt	Kireçtaşı
Asb	Asbest	Kil	Kil
Ben	Bentonit	Mn	Mangan
CuPbZn	Bakır-Kurşun-Çinko	Mr	Mermer
Fe	Demir	Mo	Molibden

Şekil 4.13 Amasya ili maden haritası [80]

4.2. MOORA Yönteminin Uygulanması

Rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespiti uygulamasında oluşturulan model Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespit modeli

Şekil 4.14’de verilen rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespiti modelinde belirlenen ve hesaplanan kriter değerlerinin hepsi Çizelge 4.6’da verilmektedir. Bu değerler kullanılarak MOORA yöntemi ile en iyi kurulum yeri belirlenecektir.

Çizelge 4.6 Rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespiti için kriter değerleri

KRİTERLER		Birim	ALTERNATİFLER		
			RES_1	RES_2	RES_3
EKONOMİK	Arazi Maliyeti	TL/m ²	25	20	15
	Teşvikler	kwh/cent	7,3	7,3	7,3
	Yollara Uzaklık	metre	279	672	883
	Zemin Yapısı		0,40	0,55	0,65
	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	metre	1568	3920	2752
TEKNİK	Rüzgar Hızı	km/h	7	7,5	6,5
	Rüzgar Kapasite Faktörü	%	35	40	30
	Eğim	%	16	15	13
	Yükseklik	metre	720	1000	978
ÇEVRESEL-SOSYAL	Gürültü	dB	40,9	30,4	35,3
	Kuş Habitatına Uzaklık	metre	25140	16797	19310
	Hava Alanına Uzaklık	metre	31900	19675	22200
	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	metre	1412	2194	1249
	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	metre	5875	4391	6225
	Askeri Bölgelere Uzaklık	metre	28347	18675	22200
	Ormanlara Uzaklık	metre	416	498	1557
	Göllere Uzaklık	metre	9314	600	10770
	Maden Sahalarına Uzaklık	metre	2281	8583	7096
	Tarım Alanlarına Uzaklık	metre	15,2	219	10

MOORA yönteminde kullanılacak ana kriterler; ekonomik kriterler (Arazi Maliyeti, Teşvikler, Yollara Uzaklık, Zemin Yapısı, Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık), teknik kriterler (Rüzgar Hızı, Rüzgar Kapasite Faktörü, Eğim, Yükseklik) ve çevresel – sosyal kriterler (Gürültü, Kuş Habitatına Uzaklık, Hava Alanına Uzaklık, Yerleşim Bölgesine Uzaklık, Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık, Askeri Bölgelere Uzaklık, Ormanlara Uzaklık, Göllere Uzaklık, Maden Sahalarına Uzaklık, Tarım Alanlarına Uzaklık) olarak belirlenmiştir.

Rüzgar enerji santrali yer tespiti kriter değerleri ile oluşturulan Çizelge 4.6 aynı zamanda uygulama için oluşturulan karar matrisidir.

Rüzgar enerji santrali yer tespiti kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için bu alanda uzman üç kişinin değerlendirmeleri alınmış ve Çizelge 4.7 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7 Kriter ağırlıkları

	KRİTERLER	Ağırlıklar
EKONOMİK	Arazi Maliyeti	0,07
	Teşvikler	0,06
	Yollara Uzaklık	0,04
	Zemin Yapısı	0,04
	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	0,05
TEKNİK	Rüzgar Hızı	0,16
	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,14
	Eğim	0,07
	Yükseklik	0,05
ÇEVRESEL-SOSYAL	Gürültü	0,02
	Kuş Habitatına Uzaklık	0,04
	Hava Alanına Uzaklık	0,04
	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	0,05
	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	0,05
	Askeri Bölgelere Uzaklık	0,05
	Ormanlara Uzaklık	0,01
	Göllere Uzaklık	0,01
	Maden Sahalarına Uzaklık	0,02
	Tarım Alanlarına Uzaklık	0,03

4.2.1. Oran yöntemi

Alternatifler ve kriter değerlerinden oluşturulan karar matrisi Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Karar matrisi kullanılarak normalize matris elde edilecektir.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra Eşitlik 3.2’deki formülün tüm alternatiflerin kriter değerlerine ayrı ayrı uygulanması ile Normalize matris elde edilir (Bkz. Çizelge 4.8)

Çizelge 4.8 Oran yöntemi normalize matrisi

KRİTERLER		ALTERNATİFLER		
		RES_1	RES_2	RES_3
EKONOMİK	Arazi Maliyeti	0,7071	0,5657	0,4243
	Teşvikler	0,5774	0,5774	0,5774
	Yollara Uzaklık	0,2438	0,5873	0,7717
	Zemin Yapısı	0,4252	0,5846	0,6909
	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	0,3111	0,7778	0,5461
TEKNİK	Rüzgar Hızı	0,5764	0,6175	0,5352
	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,5735	0,6554	0,4915
	Eğim	0,6276	0,5883	0,5099
	Yükseklik	0,4577	0,6357	0,6217
ÇEVRESEL-SOSYAL	Gürültü	0,6598	0,4904	0,5694
	Kuş Habitatına Uzaklık	0,7008	0,4682	0,5383
	Hava Alanına Uzaklık	0,7323	0,4517	0,5096
	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	0,4881	0,7585	0,4318
	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	0,6107	0,4564	0,6471
	Askeri Bölgelere Uzaklık	0,6989	0,4604	0,5473
	Ormanlara Uzaklık	0,2466	0,2952	0,9230
	Göllere Uzaklık	0,6535	0,0421	0,7557
	Maden Sahalarına Uzaklık	0,2007	0,7550	0,6242
	Tarım Alanlarına Uzaklık	0,0692	0,9966	0,0455

Normalize matris oluşturulduktan sonra her bir alternatifin kriter değeri ayrı ayrı kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir. Kriterlerin fayda durumu gözetilerek maksimum veya minimum olma durumları belirlenir. Arazi maliyeti, yollara uzaklık, elektrik iletim hatlarına uzaklık, eğim, yükseklik ve gürültü kriterleri maliyet artırıcı ve santral kurulumunu zorlayıcı etkilere sahip olduklarından minimum olmaları istenmektedir. Bunun dışındaki diğer kriterlerin maksimum olması istenmektedir. Bu durumda oluşturulan ağırlıklandırılmış normalize matris Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Oran yöntemi ağırlıklandırılmış normalize matrisi

KRİTERLER			ALTERNATİFLER		
			RES_1	RES_2	RES_3
EKONOMİK	min	Arazi Maliyeti	0,0495	0,0396	0,0297
	max	Teşvikler	0,0346	0,0346	0,0346
	min	Yollara Uzaklık	0,0098	0,0235	0,0309
	max	Zemin Yapısı	0,0170	0,0234	0,0276
	min	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	0,0156	0,0389	0,0273
TEKNİK	max	Rüzgar Hızı	0,0922	0,0988	0,0856
	max	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,0803	0,0918	0,0688
	min	Eğim	0,0439	0,0412	0,0357
	min	Yükseklik	0,0229	0,0318	0,0311
ÇEVRESEL-SOSYAL	min	Gürültü	0,0132	0,0098	0,0114
	max	Kuş Habitatına Uzaklık	0,0280	0,0187	0,0215
	max	Hava Alanına Uzaklık	0,0293	0,0181	0,0204
	max	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	0,0244	0,0379	0,0216
	max	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	0,0305	0,0228	0,0324
	max	Askeri Bölgelere Uzaklık	0,0349	0,0230	0,0274
	max	Ormanlara Uzaklık	0,0025	0,0030	0,0092
	max	Göllere Uzaklık	0,0065	0,0004	0,0076
	max	Maden Sahalarına Uzaklık	0,0040	0,0151	0,0125
	max	Tarım Alanlarına Uzaklık	0,0021	0,0299	0,0014

Normalize matrisin elde edilmesinden sonra Eşitlik 3.3'teki formül yardımı ile Y_i değerleri hesaplanır ve elde edilen sıralama Çizelge 4.10'da gösterildiği gibi olmaktadır.

Çizelge 4.10 Oran yöntemi sıralama sonuçları

	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Y_i	0,2316	0,2328	0,2046
SIRALAMA	2	1	3

Çizelge 4.10 incelendiğinde oran yöntemine göre en yüksek Y_i değerine sahip rüzgar enerji santrali kurulum yeri olarak RES_2 en uygun yer olarak belirlenmiştir. Bunu RES_1 ve RES_3 bölgesi takip etmektedir.

4.2.2. Referans nokta teorisi

Referans nokta teorisi uygulamasında oran yönteminden elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matrisi (Bkz. Çizelge 4.9) kullanılarak kriter değerlerinin maksimum ve minimum koşullarını sağlayan kriter değerleri referans noktası olarak belirlenir. Çizelge 4.11’de her bir kriterin üç alternatife göre maksimum ve minimum olması amaçlanan durumları göz önüne alınarak referans noktaları belirlenmiştir.

Çizelge 4.11 Referans nokta teorisi kriter değerlerinin referansları

KRİTERLER			ALTERNATİFLER			Ref.Nok.
			RES_1	RES_2	RES_3	
EKONOMİK	min	Arazi Maliyeti	0,0495	0,0396	0,0297	0,0297
	max	Teşvikler	0,0346	0,0346	0,0346	0,0346
	min	Yollara Uzaklık	0,0098	0,0235	0,0309	0,0098
	max	Zemin Yapısı	0,0170	0,0234	0,0276	0,0276
	min	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	0,0156	0,0389	0,0273	0,0156
TEKNİK	max	Rüzgar Hızı	0,0922	0,0988	0,0856	0,0988
	max	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,0803	0,0918	0,0688	0,0918
	min	Eğim	0,0439	0,0412	0,0357	0,0357
	min	Yükseklik	0,0229	0,0318	0,0311	0,0229
ÇEVRESEL-SOSYAL	min	Gürültü	0,0132	0,0098	0,0114	0,0098
	max	Kuş Habitatına Uzaklık	0,0280	0,0187	0,0215	0,0280
	max	Hava Alanına Uzaklık	0,0293	0,0181	0,0204	0,0293
	max	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	0,0244	0,0379	0,0216	0,0379
	max	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	0,0305	0,0228	0,0324	0,0324
	max	Askeri Bölgelere Uzaklık	0,0349	0,0230	0,0274	0,0349
	max	Ormanlara Uzaklık	0,0025	0,0030	0,0092	0,0092
	max	Göllere Uzaklık	0,0065	0,0004	0,0076	0,0076
	max	Maden Sahalarına Uzaklık	0,0040	0,0151	0,0125	0,0151
	max	Tarım Alanlarına Uzaklık	0,0021	0,0299	0,0014	0,0299

Her bir kriterin değerinin referans noktalarına olan uzaklıkları Eşitlik 3.4 yardımı ile bulunur. Her bir kriterin referans noktalarına uzaklıklarını gösteren değerler Çizelge 4.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 Referans nokta teorisi kriter değerlerinin referans noktalarına uzaklıkları

KRİTERLER			ALTERNATİFLER		
			RES_1	RES_2	RES_3
EKONOMİK	min	Arazi Maliyeti	0,0198	0,0099	0,0000
	max	Teşvikler	0,0000	0,0000	0,0000
	min	Yollara Uzaklık	0,0000	0,0137	0,0211
	max	Zemin Yapısı	0,0106	0,0043	0,0000
	min	Elektrik İletim Hatlarına Uzaklık	0,0000	0,0233	0,0117
TEKNİK	max	Rüzgar Hızı	0,0066	0,0000	0,0132
	max	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,0115	0,0000	0,0229
	min	Eğim	0,0082	0,0055	0,0000
	min	Yükseklik	0,0000	0,0089	0,0082
ÇEVRESEL-SOSYAL	min	Gürültü	0,0034	0,0000	0,0016
	max	Kuş Habitatına Uzaklık	0,0000	0,0093	0,0065
	max	Hava Alanına Uzaklık	0,0000	0,0112	0,0089
	max	Yerleşim Bölgesine Uzaklık	0,0135	0,0000	0,0163
	max	Korunan ve Kültürel Miras Alanlarına Uzaklık	0,0018	0,0095	0,0000
	max	Askeri Bölgelere Uzaklık	0,0000	0,0119	0,0076
	max	Ormanlara Uzaklık	0,0068	0,0063	0,0000
	max	Göllere Uzaklık	0,0010	0,0071	0,0000
	max	Maden Sahalarına Uzaklık	0,0111	0,0000	0,0026
	max	Tarım Alanlarına Uzaklık	0,0278	0,0000	0,0285

Çizelge 4.12’de oluşturulan bu matrise Eşitlik 3.5 uygulanarak sıralama yapılır. Elde edilen sıralama Çizelge 4.13’te verilmiştir. Referans nokta teorisine göre en düşük değere bakılarak rüzgar enerji santrali kurulum yeri olarak ilk sırada RES_2, sonra RES_1 ve son olarak RES_3 vardır.

Çizelge 4.13 Referans nokta teorisine göre alternatiflerin sıralanması

	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Maxlar	0,0278	0,0233	0,0285
Ref. Nok. Yak. Sıralama	2	1	3

4.2.3. Tam çarpım yöntemi

Tam çarpım yönteminde, oran yöntemi ve referans nokta teorisindeki gibi normalizasyon işlemi yapılmamaktadır. Standart karar matrisi kullanılır. Alternatiflerin kriter değerleri maksimum veya minimum amaçlarına göre dizi şeklinde çarpılır. Her alternatifin ayrı ayrı

maksimum ve minimum amaçlarına göre çarpım değerleri bulunur. Eşitlik 3.6 yardımı ile her alternatifin kullanım dereceleri hesaplanır. Çıkan sonuçlar maksimumdan minimuma doğru sıralanır ve sıra sayısı belirlenir.

Çizelge 4.14’de kullanım dereceleri sıralamasına göre ilk sırada RES_3 daha sonra RES_1 ve son olarak RES_2 vardır.

Çizelge 4.14 Tam çarpım yöntemi alternatif kullanım dereceleri

	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
A_i (max)	1,8124E+34	4,02233E+34	8,14664E+34
B_i (min)	5,15307E+12	2,40243E+13	1,6359E+13
U_i=A_i/B_i	3,51712E+21	1,67428E+21	4,97991E+21
SIRALAMA	2	3	1

4.2.4. Multi MOORA yöntemi

Multi MOORA yöntemi tek başına uygulanan bir yöntem değildir. Oran yöntemi, referans nokta teorisi ve tam çarpım yöntemi sonucunda çıkan sıralamaların baskınlık incelemesi yapılarak nihai sonuca ulaşılmak hedeflenmektedir. Multi MOORA diğer yöntemlerin sonucu yapılan bir yorumlama yöntemidir. Çizelge 4.15’de baskınlık incelemesi sonucunda ulaşılan nihai sıralama gösterilmiştir.

RES_1 oran yöntemi, referans nokta teorisi ve tam çarpım yönteminde ikinci sırada bulunduğundan Multi MOORA yönteminde de ikinci sırada bulunmaktadır. RES_2 tam çarpım yönteminde üçüncü olmasına rağmen, oran ve referans nokta teorisi yöntemlerinde birinci geldiği için baskın gelerek Multi MOORA yönteminde birinci sırada bulunmaktadır. RES_3 tam çarpım yönteminde birinci geldiği halde, diğer iki yöntemde üçüncü geldiği için Multi MOORA yönteminde de üçüncü gelmektedir (Bkz. Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15 Multi MOORA yöntemi baskınlık sıralaması

YÖNTEMLER	ALTERNATİFLER		
	RES_1	RES_2	RES_3
Oran Yöntemi	2	1	3
Referans Nokta Teorisi	2	1	3
Tam Çarpım Yöntemi	2	3	1
Multi-MOORA Yöntemi	2	1	3

Multi MOORA yöntemi sonucunda rüzgar enerji santral kurulum yeri için en uygun bölge RES_2 bölgesidir. İkinci en uygun alternatif RES_1 bölgesi iken alternatif olarak düşünülmesi gereken en son bölge RES_3 bölgesidir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye’de ve dünyada yeraltı kaynakları her geçen gün azalmakta ve çevreye verdiği zararlar telafi edilmez noktalara gelmektedir. Teknolojinin gelişmesi ve artan sanayileşme elektrik enerjisine ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar sera gazı salınımına ve iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Tüm bu gelişmelere artan nüfusta eklendiğinde dünya yaşanılmaz hale gelmektedir. Dünya ülkeleri dünyayı yaşanabilir kılmak, gelecek nesillere temiz bir dünya bırakmak hem de ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak için alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir.

Türkiye de üretilen elektriğin %68’i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Türkiye yeraltı kaynakları olan fosil yakıtlara sahip değildir. İhtiyacı olan bu kaynakları dışardan temin etmektedir. Hem dışa bağımlılığı azaltmak hem de temiz ve yaşanabilir bir Türkiye bırakmak için 2006 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarında büyük bir atılım gerçekleştirilmiştir. 2018 yılı itibari ile üretilen toplam enerjinin %32’si yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bunun %7’si rüzgar enerji santrallerinden karşılanmaktadır. Türkiye sahip olduğu coğrafi ve iklimsel özellikleri nedeniyle rüzgar enerji potansiyeli yüksek bir ülkedir. Bu tez çalışmasında Orta Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Amasya ilinde rüzgar enerji santrali kurulum yeri tespiti çalışması yapılmıştır. Rüzgar enerji potansiyel atlasından yararlanılarak santral kurulum yeri için Amasya ilinin güney doğusunda (RES_1), kuzeyinde (RES_2) ve güneybatısında (RES_3) olmak üzere üç alternatif belirlenmiştir. Rüzgar enerji santrali yer tespiti yapılırken üç ana kriter belirlenmiştir. Bunlar ekonomik, teknik ve çevresel-sosyal kriterlerdir. Belirlenen bu kriterlerin alt kriterleri literatür çalışmaları ve alanında uzman üç kişinin görüşleri alınarak oluşturulmuştur. Alt kriter değerleri alternatif bölgeler dikkate alınarak çok çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir. Alternatifler ve kriter değerleri belirlendikten sonra çok kriterli karar yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapıya MOORA yöntemleri uygulanmış ve en uygun alternatif sıralamaları elde edilmiştir.

MOORA yöntemlerinden oran yöntemi ve referans nokta teorisi uygulamalarında ilk sırada, tam çarpım metodu uygulamasında üçüncü sırada yer alan RES_2 baskın gelerek Multi-MOORA yöntemi sonucunda ilk sırada yer alırken, bunu RES_1 ve RES_3 alternatifleri takip etmiştir. Yapılan bu uygulama sonucunda Amasya ili sınırları içerisinde rüzgar santrali

kurulum yeri tespiti kriterlerine göre en uygun alternatif RES_2 santral kurulum yeri olarak belirlenmiştir.

Ülkemiz her geçen gün gelişmekte ve enerji ihtiyacı buna paralel artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için rüzgar enerji santrallerine yatırımlar devlet tarafından teşvik edilmektedir. Rüzgar enerji santrallerinden maksimum verim elde edilebilmesi ve ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle santrallerden elde edilecek geri dönüş sürelerinin kısa olmasını sağlamak için santrallerin en uygun yerlere kurulması gerekmektedir. Bu tezde, rüzgar enerji santralleri kurulum yeri seçimi için kriterler belirlenmiş ve Amasya ili için örnek bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ortaya konan yöntem başka bölgelerde kurulması planlanan rüzgar enerji santralleri için fayda sağlayacaktır. Bu yöntemlerle yatırım maliyetleri minimize edilirken, rüzgar enerjisinden dolayısıyla enerji üretiminden maksimum verim sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Miremadi, I. Saboohi, Y. and Jacobsson, S. (2018). Assessing the performance of energy innovation systems: Towards an established set of indicators. *Energy Research and Social Science*, 40, 159-176.
- [2] Kumar, I., W.E. Tyner, and K.C. Sinha (2016), Input–output life cycle environmental assessment of greenhouse gas emissions from utility scale wind energy in the United States. *Energy Policy*, 89, 294-301.
- [3] Twidell, J. and T. Weir (2015), *Renewable energy resources*, Routledge, 565.
- [4] Gülsaç, I. I. (2009). *Bilim ve Teknik*, sayı 498.
- [5] Dupont, E., Koppelaar, R. and Jeanmart, H. (2018). Global available wind energy with physical and energy return on investment constraints. *Applied Energy*, 209, 322-338.
- [6] Boran, F.B. (2018). A new approach for evaluation of renewable energy resources: A case of Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 13(3), 196-204.
- [7] Çelikkaya, A. (2017). Yenilenebilir Enerjinin Teşvikine Yönelik Uluslararası Kamu Politikaları Üzerine Bir İnceleme. *Maliye Dergisi*, (172), 52-84.
- [8] Haaren, R. and Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multicriteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3332-3340.
- [9] Gass, V., Schmidt, J., Strauss, F., and Schmid, E. (2013). Assessing the economic wind power potential in Austria. *Energy Policy*, 53, 323-330.
- [10] Rodman, L. C., and Meentemeyer, R. K. (2006). A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. *Energy Policy*, 34(15), 2137-2149.
- [11] Tegou, L.-I., Polatidis, H., and Haralambopoulos, D. A. (2010). Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2134-2147.
- [12] Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., and Chetpattananondh, K. (2007). Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS. *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment Phuket: ICEE*. 561-566.

- [13] Lejeune, P., and Feltz, C. (2008). Development of a decision support system for setting up a wind energy policy across the Walloon Region (southern Belgium). *Renewable Energy*, 33(11), 2416-2422.
- [14] Grassi, S., Chokani, N., and Abhari, R. S. (2012). Large scale technical and economical assessment of wind energy potential with a GIS tool: Case study Iowa. *Energy Policy*, 45, 73-85.
- [15] Tasri, A. and Susilawati, A. (2014). Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 34-44.
- [16] Gorsevski, P. V., Cathcart, S. C., Mirzaei, G., Jamali, M. M., Ye, X., and Gomezdelcampo, E. (2013). A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio. *Energy Policy*, 55, 374-385.
- [17] Phuangpornpitak, N., and Tia, S. (2011). Feasibility Study of Wind Farms Under the Thai very small Scale Renewable Energy Power Producer (VSPP) Program. *Energy Procedia*, 9, 159-170.
- [18] Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V. and Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey, *Renewable Energy*, 75, 617-625.
- [19] Zhang, L., Zhou, P., Newton, S., Fang, J. X., Zhou, D. Q., and Zhang, L. P. (2015). Evaluating clean energy alternatives for Jiangsu, China: An improved multi-criteria decision making method, *Energy*, 90, 953-964.
- [20] Kabak, M. and Dağdeviren, M. (2014). Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology, *Energy Conversion and Management*, 79, 25-33.
- [21] Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P. and Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.
- [22] İncecik, S., and Erdoğan, F. (1995). An investigation of the wind power potential on the western coast of Anatolia. *Renewable Energy*, 6(7), 863-865.
- [23] Şen, Z., and Şahin, A. D. (1997). Regional assessment of wind power in western Turkey by the cumulative semivariogram method. *Renewable Energy*, 12(2), 169-177.
- [24] Öztopal, A., Şahin, A. D., Akgün, N., Şen, Z. (2000). On the regional wind energy potential of Turkey. *Energy*, 25(2), 189-200.

- [25] Durak, M., Şen, Z. (2002). Wind power potential in Turkey and Akhisar case study. *Renewable Energy*, 25(3), 463-472.
- [26] Karsli, V. M., and Geçit, C. (2003). An investigation on wind power potential of Nurdağı- Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy*, 28(5), 823-830.
- [27] Bilgili, M., Şahin, B., and Kahraman, A. (2004). Wind energy potential in Antakya and Iskenderun regions, Turkey. *Renewable Energy*, 29(10), 1733-1745.
- [28] Akdağ, S. A., and Güler, Ö. (2010). Evaluation of wind energy investment interest and electricity generation cost analysis for Turkey. *Applied Energy*, 87(8), 2574-2580.
- [29] Al-Yahyai, S., Charabi, Y., Gastli, A., and Al-Badi, A. (2012). Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 44, 80-87.
- [30] Akpınar, A. (2013). Evaluation of wind energy potentiality at coastal locations along the North eastern coasts of Turkey. *Energy*, 50, 395-405.
- [31] İlkılıç, C., and Aydın, H. (2015). Wind power potential and usage in the coastal regions of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 78-86.
- [32] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Dünya ve Türkiye Enerji Tabii Kaynaklar Görünümü*, Sayı:15.
- [33] <http://direnc.blog/elektrik-istatistikleri-nisan-2019/> Erişim Tarihi: 12.04.2019, 17:25
- [34] Milli Eğitim Bakanlığı. (2012). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi*, Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
- [35] Şen, Z. (2002). *Temiz Enerji ve Kaynakları*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- [36] Akova, İ. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynakları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- [37] İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yegm.gov.tr%2Fyenilenebilir.aspx&date=2019-05-02>, Erişim Tarihi: 02.05.2019, 17:25.
- [38] İnternet:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcografyaharita.com%2Fturkiye_enerji_haritalari.html&date=2019-05-02, Erişim Tarihi: 02.05.2019 17:25.
- [39] Çolak, İ., Bayındır, R. ve Demirtaş, M. (2008). *Türkiye'nin enerji geleceği*, Ankara: TÜBAV Bilim Dergisi.
- [40] Aydın, İ. (2008). *Konutların jeotermal enerjiyle ısıtılmasına bir örnek: Bigadiç (Balıkesir)*, Marmara Coğrafya Dergisi, 17, 79-96.
- [41] Kılıç, F. Ç. ve Kılıç, M. K. (2013). Jeotermal enerji ve Türkiye, *Engineer and the Machinery Magazine*, 639.

- [42] İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yegm.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Ftur_or_kay_biyo_pot.aspx&date=2019-05-02, Erişim Tarihi: 02.05.2019.
- [43] Koçak, M, E. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidroelektrik Santraller ve Sıra konaklar HES Projesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- [44] Kerem, A., Atayeter, Y. Görgülü, S. ve Salman, S. (2014). Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal Yerleşkesinin rüzgar enerji fizibilite alt yapısının hazırlanması ve uygulanması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 18-24.
- [45] İnternet:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr-TR%2FSayfalar%2FRuzgar&date=2019-05-02>, Erişim Tarihi: 02.05.2019.
- [46] Saygın, A. and Kerem, A. (2017). An implementation study of wind power forecasting using artificial neural network models. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 301-307.
- [47] Patel, M.R. (1942). Wind and solar power systems. *New York: CRC Press*, 380.
- [48] Golding, E.W. (1955). The generation of electricity by wind power. *New York: Philosophical Library*, 318.
- [49] Rahmani, R., Khairuddin, A., Cherati, S. M. and Pesaran, H. M. (2010). A novel method for optimal placing wind turbines in a wind farm using particle swarm optimization (PSO). *IPEC, 2010 Conference Proceedings*, Singapore.
- [50] Çetin, N.S. (2006). Şebeke Bağlantısız PM Generatörlü Rüzgar Türbinlerinin YSA ile Sistem Optimizasyonu. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 20-81.
- [51] Yalçın, U. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerjisi Santral Yeri Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 22-63.
- [52] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. (2017). Global Wind Energy Council (GWEC), *Global Wind Istatistic Report*, Brussels, Belgium, 1-4.
- [53] Başaran, K. (2013). Bulanık Mantik Kontrollü Otonom ve Şebeke Bağlantılı Rüzgâr Güneş Hibrid Güç Sisteminin Optimizasyonu ve Adnan Menderes Üniversitesi Kampüs Alanında Uygulanması. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- [54] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB). (2019). Türkiye Rüzgar Enerjisi. *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*, 5-45.
- [55] Elektrik Piyasası İşletmesi Anonim Şirketi (EPIAŞ). (2018). *Elektrik Piyasası Özet Bilgiler Raporu*, 1-58.
- [56] Akgün, N. (2004), *Rüzgar Türbin Bileşenleri* Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları.
- [57] İnternet:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.muhendisbeyinler.net%2Fyatay-eksenli-uc-kanatli-ruzgar-turbinleri%2F&date=2019-05-02>, Erişim Tarihi: 2.05.2019, 17:25.
- [58] Fıçıcı, F., Dursun, B. ve Gökçöl, C. (2007) *Rüzgar Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürültünün İncelenmesi*.
- [59] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü,(2006), *Rüzgar Enerjisi 2006 Raporu*, www.eie.gov.tr
- [60] Brauers W. K. M., Zavadskas E. K. and Peldschus F., Turskıs Z. (2008). Multi-Objective Optimization Of Road Design Alternatives With An Application Of The Moora Method, The International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2008, *Institute of Internet and Intelligent Technologies Vilnius Gediminas Technical University*, 541-548.
- [61] Ishizaki, A, Nemery, (2013) P. Multi-Criteria Decision Analysis Methods And Software, *Wiley*, 2.
- [62] Karaca, T; (2011), Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Kritik Yolun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [63] Önay, O., Çetin E. (2012), ‘Turistik Yerlerin popülaritesinin Belirlenmesi: İstanbul Örneği’ *İ.Ü İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 23(72),90-109.
- [64] Brauers, W. K.; Zavadskas, E. K. (2009). Robust- ness of the multiobjective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy* 15(2), 352–375.
- [65] Telleria, J. L. (2009). Wind power plants and the conservation of birds and bats in Spain:a geographical assessment. *Biodiversity and Conservation*. 18 (7), 1781-1791.
- [66] Brauers W. K. M., Zavadskas E. K. (2006), The MOORA Method And Its Applieation To Privatization İn A Transition Economy, *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.

- [67] Brauers, W. K.; Zavadskas, E. K. (2010), Project Management by MULTIMOORA as an Instrument for Transition Economies, *Technological And Economic Development Of Economy*, 16(1), 5-24.
- [68] Brauers W. K. M., Zavadskas E. K., (2012) ‘‘Robustness of Multi-MOORA: A Method for Multi-Objective Optimization’’, *Informatica*, 23(1), 1-25.
- [69] Brauers, W. K.; Zavadskas, E. K. (2013). Multi-Objective with a large number of Objectives. An Application for Europe 2020, *International Journal of Operation Research*, 2(10), 67–79.
- [70] İnternet:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeturkiyeblog.com%2Fbir-ruzgar-turbini-ne-kadar-sessiz-olabilir%2F&date=2019-05-02>, Erişim Tarihi: 02.05.2019
- [71] İnternet:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tureb.com.tr%2Fturek2017%2Ffiles%2F2017_sunumlar%2Fmehmet%2Fmehmet%2Fali%2Ftabur%2Frevize%2Fediten.pdf&date=2019-05-02, Erişim Tarihi:4.04.2019
- [72] Erdoğan, A., Aslan, A., Sert, H., Kaçar, S. ve Karaardıç, H. (2010). Hatay-Şenköy’de Kurulması Planlanan Rüzgâr Enerji Santralinin Yaz ve Sonbahar Kuş Göç Hareketleri Üzerine Olası Etkilerinin Değerlendirmesi, 60.
- [73] Tuncalı, T. (2010). Kapıdağ Yarımadası (Balıkesir) Üzerinden Süzülerek Göç Eden Kuşların İlkbahar Göçünün Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- [74] Özbahar, İ. ve Gül R. (2011). Hatay-Ziyaret Tepesi Rüzgâr Santralleri Bölgesinin Ornitolojik Değerlendirilmesi. 45.
- [75] Kiziroğlu, İ. (2011). Hatay-Samandağ’da İşletmedeki Rüzgâr Enerji Türbinlerine Ek Olarak İnşası Planlanan Yeni Rüzgâr Türbinlerinin Yörede Yaşayan ve Göçen Kuş Türlerine Etkileri İle İlgili Ornitolojik Değerlendirme Raporu. 49.
- [76] İnternet:<http://seyrusefergunce.blogspot.com/2012/06/ruzgar-turbini-ve-radarlara-etkileri.html> Erişim Tarihi: 4.04.2019
- [77] Aydın, Y. (2013). Bulanık Topsis ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Enerjisi Santral Yer Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [78] İnternet:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ekoyapidergisi.org%2F1791-ruzgar-enerjisi-hakkinda-dogru-bilinen-yanlislar.html&date=2019-05-02>, Erişim Tarihi: 02.05.2019

- [79] İnternet: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcogrfyaharita.com%2Fturkiye_toprak_haritalari1.html&date=2019-05-02, Erişim Tarihi: 02.05.2019
- [80] İnternet: <http://yebilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> Erişim Tarihi: 09.04.2019



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Mustafa GENÇ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum tarihi ve yeri : 03.04.1991- Samsun
Medeni hali : Bekar
e-posta : mustafa-genc@outlook.com.tr



Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet Yılı

Lisans

Sakarya Üniversitesi

2014

Yüksek Lisans

Amasya Üniversitesi

2019

İş Deneyimi/Yıl

Çalıştığı Yer

Görevi

2015-2018

Amasya Şeker Fabrikası A.Ş

Elektrik-Elektronik Müh.

Yabancı Dili

İngilizce

Yayımlar

1. Genç, M. ve Ergül, E.U. (2019). Çok Kriterli Karar Verme İle Rüzgar Enerji Santrali Kurulum Yeri Seçimi: Amasya İli Örneği, 4. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul