

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE DALGA ENERJİ
SANTRALİ KURULUM YERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ TİPİ SEÇİMİ**

Tayfun ÖZBEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2018

Tayfun ÖZBEK tarafından hazırlanan ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE DALGA ENERJİ SANTRALİ KURULUM YERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ TİPİ SEÇİMİ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Amasya Üniversitesi

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

Başkan: Doç. Dr. Aytaç YILDIZ

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Amasya Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 13.07.2018

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

.....

Doç. Dr. Meryem EVECEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Tayfun ÖZBEK

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE DALGA ENERJİ
SANTRALİ KURULUM YERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ TİPİ SEÇİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Tayfun ÖZBEK

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEMMUZ 2018

ÖZET

Enerji ihtiyacındaki artışa, fosil yakıt türlerinin gelecek yıllarda azalmasının beklenmesine ve özellikle de küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre kirliliğine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep hızla artmaktadır. Bu nedenle, alternatif yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar büyük bir gelişim göstermektedir. Bu kaynaklardan biri de dalga enerjisidir. Dünyada dalga enerjisi potansiyeli üzerine birçok çalışma yapılmış ve birçok dönüştürücü (santral) tipi geliştirilmiştir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye’de ise dalga enerjisi potansiyeli olmasına rağmen, bu enerji türünden neredeyse hiç yararlanılmamıştır. Ancak bu enerji türünün önemi fark edilmiş ve dalga enerjisi santralleri kurulması planlanmaya başlanmıştır. Dalga santrallerinden maksimum verim alınabilmesi için uygun bir dönüştürücü tipinin uygun bir yere kurulması önem taşımaktadır. Bu tezin ana amacı, Türkiye’de kurulması planlanan bir dalga enerji santrali için en uygun yer ve en uygun dönüştürücü tipinin belirlenmesidir. En uygun yer ve en uygun dönüştürücünün belirlenmesinde birçok kriter bulunduğu için dolayı, bu amacı gerçekleştirmek için iki aşamalı çok kriterli karar verme yapısı oluşturulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemleri olarak ANP (Analitik Ağ Süreci) ve Bulanık TOPSIS (Bulanık İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği) yöntemleri seçilmiştir. Dalga enerji santrali kurulum yeri alternatifleri olarak Türkiye’nin dalga enerji potansiyeli yüksek olan Karadeniz sahillerinde yer alan 5 şehir (Sinop, Samsun, Trabzon, Ordu, Giresun) ve dalga enerjisi dönüştürücü alternatifleri olarak ise 5 farklı dönüştürücü tipi (Salınlı Su Kolonu, Oyster, Wave Dragon, Pelamis ve McCabe Dalga Pompası) belirlenmiştir. Kurulum yeri ve dönüştürücü seçimini etkileyen kriterler ise literatür taraması yöntemiyle belirlenmiştir. Birinci aşamada ANP yöntemi kullanılarak dalga enerji santralinin kurulabileceği en uygun yer olarak Sinop ili, ikinci aşamada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenen en uygun santral yeri olan Sinop’a kurulacak en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi Oyster olarak belirlenmiştir.

Sayfa Adedi : 92
Anahtar Kelimeler : Dalga Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Çok Kriterli Karar Verme, ANP, Bulanık TOPSIS
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Engin Ufuk ERGÜL

WAVE ENERGY POWER PLANT SITE AND CONVERTER TYPE SELECTION BY USING MCDM METHODS

(M. Sc. Thesis)

Tayfun ÖZBEK

AMASYA UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE

July 2018

ABSTRACT

Due to the increase in energy demand, the decline of fossil fuel types in the coming years, and especially due to global warming, climate change and environmental pollution, demand for renewable energy sources is growing rapidly. Hence, the studies based on alternative renewable energy sources have made great progress. One of these sources is wave energy. Many studies have been made on the potential of wave energy in the world and many wave energy converters (WECs) have been developed. Although there is wave energy potential in Turkey, three sides of which are surrounded by seas, this type of energy is hardly exploited. However, the importance of this energy type has been recognized and the planning of the establishment of wave energy plants has begun. It is important that an appropriate WEC is installed at an appropriate site to obtain maximum efficiency from the wave energy power plants. Main purpose of this thesis is to determine the most appropriate site and converter type for a wave energy power plant planned to be established in Turkey. Since there are many criteria for determining the most suitable site and converter type, a two-phased multi-criteria decision making (MCDM) structure has been constructed to realize this aim. ANP (Analytic Network Process) and Fuzzy TOPSIS (Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) are selected as multi-criteria decision making methods. Five cities (Sinop, Samsun, Trabzon, Ordu, and Giresun) located in the Black Sea coast which have high wave energy potential and five WEC types (Oscillating Water Column, Oyster, Wave Dragon, Pelamis and McCabe Wave Pump) are determined as alternatives. The criteria affecting the selection of site and converter type were determined by literature review. In the first phase, Sinop is determined as the most suitable site to install the wave power plant by using ANP and Oyster is determined as the most suitable WEC type to be installed in Sinop by using Fuzzy TOPSIS in the second phase.

Page Number : 92

Key Words : Wave Energy, Renewable Energy, Multi-criteria Decision Making, ANP, Fuzzy TOPSIS

Supervisor : Assis. Prof. Engin Ufuk ERGUL

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca 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. Tez döneminde yardımını esirgemeyen Aydın OKUR'a teşekkür ederim. Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, çok değerli eşim Hatice ÖZBEK'e ve kendisine zaman ayıramadığım biricik kızım Leyla Eylül ÖZBEK'e teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Elektrik Enerjisi Üretimi	7
2.1.1. Dünyada elektrik enerjisi üretimi	7
2.1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi.....	9
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	13
2.2.1. Güneş enerjisi	13
2.2.2. Rüzgar enerjisi.....	14
2.2.3. Hidroelektrik enerji.....	15
2.2.4. Jeotermal enerji.....	16
2.2.5. Biyokütle enerjisi.....	17
2.2.6. Hidrojen enerjisi	18
2.2.7. Dalga enerjisi	19
2.3. Dalga Enerjisi.....	19
2.3.1. Dünyadaki dalga enerjisi potansiyeli.....	21
2.3.2. Türkiye’nin dalga enerjisi potansiyeli	22
2.3.3. Dalga enerjisi dönüştürücü tipleri.....	25
2.3.4. Dalga enerjisinin avantaj ve dezavantajları	36
3. YÖNTEM	37
3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	37
3.1.1. Analitik ağ süreci (ANP) yöntemi	37
3.1.2. Bulanık TOPSIS yöntemi	39
4. BULGULAR.....	41
4.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Dalga Enerjisi Santrali Kurulum Yeri Ve Dönüştürücü (Santral) Tipi Seçimi	41
4.1.1. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi.....	41
4.1.2. Dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçimi	77
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	84

KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	92



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye'nin elektrik talebi ve üretim planlaması.....	12
Çizelge 2.2. 2000-2025 yılları arası yerli yenilenebilir enerji üretimi (enerji optimizasyon modeli ile yapılan hesaplama) (Btep)	12
Çizelge 3.1. İkili karşılaştırma 1-9 ölçeği.....	38
Çizelge 4.1. SWAN modeli ile elde edilen dalga enerjisi değerleri	46
Çizelge 4.2. Sinop ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları.....	66
Çizelge 4.3. Samsun ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları	67
Çizelge 4.4. Ordu ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları	68
Çizelge 4.5. Giresun ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları	69
Çizelge 4.6. Trabzon ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları.....	70
Çizelge 4.7. Dalga santrali kurulum yeri seçimi kriter değerleri	74
Çizelge 4.8. Dilsel değişkenlerin ağırlıklı önemleri	80
Çizelge 4.9. Karar vericilerin karar kriterleri değerlendirme sonuçları.....	81
Çizelge 4.10. Salınlı su kolonu (OWC), oyster, wave dragon, pelamis ve McCabe dalga pompası (MWP) dalga enerjisi dönüştürücü tipleri seçim kriterleri.....	81
Çizelge 4.11. Dilsel değişkenlerin alternatiflerinin değerlendirilmesi	81
Çizelge 4.12. Alternatif dönüştürücü tiplerinin kriterlere göre dilsel değerlendirilmesi.....	82
Çizelge 4.13. Bulanık karar matrisi	82
Çizelge 4.14. Normalleştirilmiş bulanık karar matrisi.....	82
Çizelge 4.15. Ağırlıklı normalleştirilmiş bulanık karar matrisi.....	83
Çizelge 4.16. d_i^+ , d_i^- ve C_i değerleri	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya ülkelerinde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı....9	
Şekil 2.2. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı..... 10	
Şekil 2.3. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı 11	
Şekil 2.4. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün 2017 yılı Kasım ayı sonu itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı. 11	
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası. 14	
Şekil 2.6. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritası 15	
Şekil 2.7. Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli haritası..... 16	
Şekil 2.8. Türkiye jeotermal enerji haritası 17	
Şekil 2.9. Türkiye orman kaynaklı biyokütle haritası..... 18	
Şekil 2.10. Sinüzoidal dalga karakteristiği 20	
Şekil 2.11. Dalga gücü seviyesinin dünyadaki dağılımı (kW/m tepe yüksekliği). 22	
Şekil 2.12. METU-3 dalga tahmin modeli bölgeleri..... 23	
Şekil 2.13. Asgari dalga enerji seviyeleri 23	
Şekil 2.14. Azami dalga enerji seviyeleri 24	
Şekil 2.15. SWAN dalga modeli bölgeleri 24	
Şekil 2.16. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin sınıflandırılması..... 26	
Şekil 2.17. Salınlımlı su kolonu çalışma prensibi (OWC)..... 27	
Şekil 2.18. Salınlımlı su kolonu (OWC) 27	
Şekil 2.19. Konik kanal tipi dalga enerji dönüştürücüsü çalışma prensibi. 28	
Şekil 2.20. Konik kanal tipi dalga enerji dönüştürücüsü 29	
Şekil 2.21. Sarkaç tipi dalga enerjisi dönüştürücü sisteminin çalışma prensibi. 30	
Şekil 2.22. Osprey tipi dalga enerjisi dönüştürücü sisteminin çalışma prensibi 31	
Şekil 2.23. Osprey tipi dalga enerji dönüştürücüsü 31	
Şekil 2.24. The Wave Dragon dalga enerjisi dönüştürücüsü iç yapısı..... 32	
Şekil 2.25. The Wave Dragon dalga enerji dönüştürücüsü 32	
Şekil 2.26. Pelamis tipi dalga enerjisi dönüştürücüsü iç yapısı. 33	
Şekil 2.27. Pelamis tipi dalga enerji dönüştürücüsü 33	
Şekil 2.28. McCabe dalga pompası iç yapısı 34	
Şekil 2.29. McCabe dalga pompası..... 34	

(devam) Şekiller Dizini

Şekil	Sayfa
Şekil 2.30. Oyster tipi dalga enerji dönüştürücüsü iç yapısı.....	35
Şekil 2.31. Oyster tipi dalga enerji dönüştürücüsü	36
Şekil 3.1. AHP ve ANP yöntemlerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.1. Türkiye haritası.....	45
Şekil 4.2. SWAN dalga modeli ölçüm istasyonları	46
Şekil 4.3. Deniz otomatik meteorolojik gözlem istasyonları.....	47
Şekil 4.4. Sinop ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	48
Şekil 4.5. Sinop ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	48
Şekil 4.6. Sinop ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	49
Şekil 4.7. Sinop ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	49
Şekil 4.8. Sinop ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	50
Şekil 4.9. Sinop ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	50
Şekil 4.10. Sinop ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	51
Şekil 4.11. Samsun ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	51
Şekil 4.12. Samsun ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	52
Şekil 4.13. Samsun ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	52
Şekil 4.14. Samsun ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	53
Şekil 4.15. Samsun ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	53
Şekil 4.16. Samsun ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	54
Şekil 4.17. Samsun ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	54
Şekil 4.18. Ordu ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	55
Şekil 4.19. Ordu ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	55
Şekil 4.20. Ordu ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	56
Şekil 4.21. Ordu ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	56
Şekil 4.22. Ordu ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	57
Şekil 4.23. Ordu ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.	57
Şekil 4.24. Ordu ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	58
Şekil 4.25. Giresun ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	58
Şekil 4.26. Giresun ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	59
Şekil 4.27. Giresun ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	59

(devam) Şekiller Dizini

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. Giresun ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	60
Şekil 4.29. Giresun ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	60
Şekil 4.30. Giresun ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	61
Şekil 4.31. Giresun ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği.....	61
Şekil 4.32. Trabzon ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	62
Şekil 4.33. Trabzon ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	62
Şekil 4.34. Trabzon ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	63
Şekil 4.35. Trabzon ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	63
Şekil 4.36. Trabzon ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	64
Şekil 4.37. Trabzon ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	64
Şekil 4.38. Trabzon ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği	65
Şekil 4.39. Karadeniz batimetri haritası.....	71
Şekil 4.40. Türkiye 1940-2010 yılları arasındaki gözlenen meteorolojik afetlerin haritası	72
Şekil 4.41. Türkiye deprem haritası.....	72
Şekil 4.42. Türkiye deniz yolları ve limanlar haritası.....	73
Şekil 4.43. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçim modeli.....	73
Şekil 4.44. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi ağ modeli.....	75
Şekil 4.45. En iyi dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modelinde yer alan kriterlerin öncelik değerlerini gösteren ekran görüntüsü	76
Şekil 4.46. Alternatif dalga enerji santrali kurulum yeri öncelik değerleri ve tercih sıralamasını gösteren ekran görüntüsü.....	77
Şekil 4.47. En uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçim modeli.....	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
CO ₂	Karbondioksit
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt saat
kWh	Kilowatt saat
TL/m ²	Türk Lirası / metrekare
MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
MW	Megawatt
TEP	Ton eşdeğer petrol
TWh	Terawatt saat
T _e	Enerji periyodu
H _s	Belirgin dalga yüksekliği
P	Dalga gücü
g	Yerçekimi ivmesi
p	Deniz suyunun yoğunluğu

Kısaltmalar	Açıklama
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC	Uluslararası İklim Değişikliği Paneli
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TEMSAN	Türkiye Elektromekanik Sanayi Anonim Şirketi
BOREN	Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
OWC	Salınımlı Su Kolonu
MWP	McCabe Dalga Pompası

(devam) Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

Kısaltmalar	Açıklama
FPIS	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
FNIS	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
TFNs	Bulanık Üçgen Sayılar
ANP	Analitik Ağ Süreci
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Karar Verme ve Değerlendirme Laboratuar Metodu
MAUT	Çok Nitelikli Karar Verme
ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
SW	Spektral Dalga Modeli
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GRA	Gri İlişkisel Analiz
CR	Tutarlılık Oranı
MOORA	Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi
BOCR	Faydalar, Fırsatlar, Maliyetler ve Riskler
SWAN	Yakın Kıyı Dalga Simülasyonu
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
ELECTRE	Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi
PROMETHEE	Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralama Organizasyonu
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çevreye saldıkları karbondioksit gazı ve atıklarından dolayı, ülkeler çevresel, ekonomik ve sürdürülebilir olan yeni enerji kaynakları arayışına yönelmiştir. Bu enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri çevre dostu ve yenilenebilir olması, yani doğada sürekli olması ve tekrarlayabilmesidir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları temiz enerji olarak da adlandırılır [1].

Ülkelerin ekonomisi üretim ve sanayileşmeye bağlıdır. Üretim ve sanayileşmenin gelişmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanması gerekir. Bu enerji ihtiyacı karşılanırken ülkenin kaynaklarının tükenmemesi ve yerli imkanlarla kendi enerji ihtiyacını karşılaması beklenir. Dünya ülkelerinin tamamı kendi potansiyeli ölçüsünde yenilenebilir enerji kaynaklarından mümkün oldukça fazla yararlanmaya çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum oranda faydalanmak için çeşitli yatırımlar ve araştırmalar yaparak, en iyi sonucu almak için çalışmalar yürütülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları şöyle sıralanabilir: çevre dostudur, dışa bağımlı değildir, yerli imkanlarla elde edilmektedir, doğal bir kaynaktır, yenilenebilir ve sürdürülebilirdirler ve yeni iş imkanlarına olanak sağlamaktadırlar. En önemli dezavantajları ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Güneş enerjisinden, güneş panellerinin yerleştirildiği alan kadar faydalanılır, ülkemizde dört mevsim yaşandığı için geceleri ve bazı aylarda güneş ışığından faydalanılamayacaktır. Hidroelektrik enerji üretiminde su potansiyelinin oluşması için yapılan baraj havzasında su biriktirilmesi gerekir. Biriken su aynı zamanda sulama faaliyetlerinde kullanılır, ancak yerleşim yerleri ve turistik yerlerin su altında kalma riski bulunmaktadır. Rüzgar enerjisinden faydalanmak için kurulan rüzgar türbinleri, sesli çalışmalarını sonucu istenmeyen gürültüye ve göçmen kuşların ölümlerine sebep olabilmektedir.

Dünyamızın yaklaşık olarak %70'i sularla kaplıdır. Deniz ve okyanus dalgalarının sürekli olması yani her gün milyonlarca kez bu hareketi tekrarlamasından ve her dalga boyundan elektrik enerjisi üretimi mümkün olduğundan sınırsız bir enerji kaynağıdır. Ayrıca kıyıların korunmasını sağlayarak, elektrik enerjisinin naklinin kısıtlı olduğu adalara ve yerleşim yerlerine elektrik enerjisinin naklini sağlar [2].

Dalga; rüzgar ve yerçekiminin deniz yüzeyine uyguladıkları kuvvet sonucu oluşan salınımlı hareket sonucu meydana gelir. Dalgaların yapmış olduğu bu hareketten faydalanılarak elektrik enerjisi üretimi için dalga enerjisi dönüştürücüleri kullanılır. Doğru teknolojik sistemler kullanılarak yapılan dalga enerjisi dönüştürücüleri sayesinde her dalga boyundan elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Birçok farklı tipte dalga enerjisi dönüştürücüsü vardır. Kuruldukları yere, dalganın hareket tipine ve sahip oldukları elektrik enerjisi dönüştürücü güç şekline göre üretilebilmektedirler [3].

Enerji kaynaklarının kullanımının ve planlamasının önemi çok büyüktür. Sadece fosil yakıtlara bağımlı olmak gelecekte büyük sıkıntılara yol açacaktır. Ayrıca, fosil yakıt kaynakları Türkiye'de sınırlı miktardadır. Bu nedenle, Türkiye'nin hem komşu ülkelerden ithal ettiği fosil yakıt kaynağını azaltması hem de ulusal güvenlik ve milli servetinin bu kaynaklar için harcanmasının önüne geçebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bu kaynaklardan birisi de üzerinde çok fazla çalışılmamış olan dalga enerji kaynaklarıdır. Aynı zamanda Türkiye gibi hızlı gelişmekte olan bir ülkenin enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır ve yeni alternatifler üretilmesi bir zorunluluktur.

Dünya nüfusundaki artışa, endüstride ve teknolojiadaki gelişmelerle paralel olarak son yıllarda enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Dünyadaki ortalama yıllık enerji talep artışının yaklaşık olarak %2 olması beklenmektedir. Dünyada enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %81'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır [4]. Ancak artan endüstrileşme, enerji fiyatlarındaki artış, fosil yakıt kaynaklarının azalması ve bu yakıt türlerinin çevreye olan zararlı etkisi (çoğunlukla CO₂ emisyonu) ve bundan dolayı oluşan iklim değişikliği tehlikesi nedeniyle, dünya çapında yeni enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu yüzden, kullanılabilir en temiz kaynaklar sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir. Bu enerji kaynaklarının kullanımı ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını da önemli ölçüde azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla, CO₂ (Karbondiyoksit) salınımı azaltılabilir, iklim değişikliği tehlikesi azaltılabilir, fosil yakıtlar

için harcanan paralar daha yararlı amaçlar için kullanılarak ülkelerin enerjide dışa bağımlılığı azaltılabilir, insan sağlığı olumlu yönde etkilenebilir. Sosyal ve ekonomik gelişmenin sürdürülebilir olması için alternatif enerji kaynaklarının ve özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir.

Literatürde yenilenebilir enerji kaynakları içinde en uygun olanının belirlenebilmesi için çok kriterli karar verme yöntemleri sıklıkla kullanılmıştır. Tasri ve Susilawati [4], Endonezya'daki en uygun yenilenebilir enerji kaynakları alternatifini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemi olarak bulanık AHP (Analitik hiyerarşi süreci) kullanmışlardır. Kahraman ve arkadaşları [5], Türkiye için beş alternatif arasından (biyokütle, hidroelektrik, jeotermal, rüzgar ve güneş) en iyi yenilenebilir enerji kaynaklarını seçmek için çok kriterli karar verme yöntemi olarak bulanık AHP ve bulanık aksiyomatik tasarım kullanmışlardır. Şengül ve diğerleri [6], Türkiye'deki yenilenebilir enerji tedarik sistemlerini sıralamak için bulanık TOPSIS (Bulanık İdeal Çözüm Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği) yöntemini uygulamışlardır. Zhang ve arkadaşları [7], bulanık ölçüm ve integrali temel alan geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemi önermişler ve bu yöntemi Jiangsu/Çin için temiz enerji alternatiflerini değerlendirmek için uygulamışlardır. Kabak ve Dagdeviren [8], Türkiye'nin enerji durumunu değerlendirmek ve alternatif enerji kaynaklarına öncelik vermek için BOCR (Faydalar, Fırsatlar, Maliyetler ve Riskler) ve ANP'nin (Analitik Ağ Süreci) hibrit modelini önermişlerdir. ANP yöntemini kullanarak alternatifleri sıralamışlar ve optimum seçeneğin hidroelektrik enerji sistemleri olduğunu öne sürmüşlerdir. Büyüközkan ve Güteryüz [9], DEMATEL (Karar Verme ve Değerlendirme Laboratuvar Metodu) ve ANP'yi bütünleştirmişler ve daha sonra bu yaklaşımı Türkiye'nin en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını seçmek için kullanmışlardır. Büyüközkan ve Güteryüz [10], kriterlerinin önceliklerini bulmak için bir hibrit DEMATEL-ANP yaklaşımı kullanmışlar ve daha sonra uygun yenilenebilir enerji alternatiflerini sıralamak için çok kriterli karar verme yöntemi olan TOPSIS kullanmışlardır. Ayrıca, dalga enerjisini çalışmalarında alternatif olarak kullanmışlardır. Mardani ve diğerleri [11], çok kriterli karar verme yöntemlerinin 1995'ten 2015'e kadar enerji yönetimi problemlerine uygulamaları üzerine bir inceleme çalışması yapmışlardır. Çelikkbilek ve Tuysuz [12], yenilenebilir enerji kaynaklarını gri DEMATEL, gri ANP ve gri VIKOR'un bütünleşik yaklaşımlarını kullanarak değerlendirmişlerdir. Kumar ve diğerleri [13], enerji planlamasında çok kriterli karar verme modellerinin uygulanması hakkında kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Vasileiou ve diğerleri [14], Coğrafi Bilgi Sistemlerini

(GIS) ve AHP'yi birleştirmişler ve daha sonra Yunanistan'daki en uygun deniz alanlarını hibrit açık deniz rüzgar ve dalga enerji sistemlerinin yerleştirilmesine yönlendirmek için uygulamışlardır. Colak ve Kaya [15], aralık tipi-2 bulanık AHP ve bulanık TOPSIS'i kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Uluş [16], Türkiye'nin alternatif enerji kaynaklarını değerlendirmek için ANP'yi uygulamıştır. San Cristóbal [17], VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) ve AHP yöntemlerini birleşmiş ve İspanya'daki en iyi yenilenebilir enerji santralini seçmek için uygulamıştır. Kaya ve Kahraman [18], İstanbul için en iyi yenilenebilir enerji alternatifini belirlemek için entegre VIKOR-AHP metodolojisini kullanmışlardır. Daha sonra aynı yöntemi kullanarak İstanbul'daki en iyi enerji üretim tesisini seçmişlerdir. Lavidas ve Venuqopal [19], Ege Denizi için 1980-2014 yılları arası sayısal verileri kullanarak dalga modeli çalışması yapmışlardır. Bingölbali ve diğerleri [20], Karadeniz bölgesi için dalga enerji santrali kurulum yeri çalışması yapmışlardır. Drew ve diğerleri [21], dalga enerjinin genel durumu ve dalga enerjisi dönüştürücüsü tipleri üzerine çalışma yapmışlardır. Rusu [22], Karadeniz bölgesi için SWAN (Yakın Kıyı Dalga Simülasyonu) dalga modelini kullanarak dalga enerjisi üzerine çalışma yapmıştır. Astariz ve diğerleri [23], Denizlere kurulacak rüzgar, gelgit ve dalga enerjisi maliyeti üzerine çalışma yapmışlardır. Rusu [24], Karadeniz için dalga enerjisi potansiyeli çalışması yapmıştır. Angre ve Joshi [25], Hint Yarımadasını çevreleyen okyanusların dalga özelliklerini incelemişler ve Hindistan'daki dalga enerjisinden elektrik üretimini hakkında çalışmalar yapmışlardır. Enferad ve diğerleri [26], deniz dalgalarının yüksek bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu ve gelecek yıllarda deniz dalgalarının elektrik enerjisi üretiminde önemli bir kaynak olacağına belirtmişlerdir.

Literatürde ülkemizin dalga enerjisi potansiyelinin araştırılması ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Uygur ve diğerleri [27], Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesindeki dalga enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Potansiyeli hesaplamışlar, ancak potansiyelin etkisiz olduğunu görmüşlerdir. Düşük potansiyelin yeni dönüştürücüler geliştirilerek değerlendirilebileceğini öne sürmüşlerdir. Aydoğan ve arkadaşları [28], Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nden (ECMWF) elde edilen rüzgar verilerini kullanarak, 1996-2009 yıllarında Mike 21 Spectral Wave Model (SW) kullanarak Karadeniz Bölgesinin dalga özelliklerini hesaplamışlardır. Bu bölgenin mevcut bir enerji potansiyeli olduğunu ve bu potansiyelin uygun dalga enerjisi üretim yönteminin seçilmesiyle kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Sağlam ve arkadaşları [29], Türkiye'nin teknik olarak

mevcut dalga enerjisi potansiyelinin yılda yaklaşık 10 TWh/yıl olduğunu ve yıllık dalga gücünün 4 ile 17 kW/m arasında olduğunu göstermişlerdir. Yeşilyurt ve diğerleri [30], Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeli ve politikası üzerine çalışma yapmışlardır. Kukner ve diğerleri [31], Karadeniz ve Akdeniz sahil şeridi boyunca kıyı bölgesinin ve İğneada'nın yüksek dalga boyuna sahip olduklarını ve en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipinin salınımlı su kolonu olduğunu belirtmişlerdir. Gur ve diğerleri [32], Türkiye'nin yıllık dalga enerjisi potansiyelinin 15,5 TWh/yıl olduğunu ve Karadeniz Bölgesinin dalga enerjisi potansiyelinin 1,96-4,22 kWh/m arasında olduğunu göstermişlerdir. Akpınar ve Kömürcü [33], Karadeniz bölgesinde bulunan Sinop, Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon ve Rize illeri için SWAN dalga modelini kullanarak dalga enerjisi potansiyelini hesaplamışlar ve yıllık en yüksek dalga enerjisi potansiyelinin 9841 MWh/m yıl ile Sinop iline ait olduğunu hesaplamışlardır. Literatür incelemesinden ve Türkiye'nin enerji kaynak kullanımı ile ilgili araştırmalardan da görüleceği üzere dalga enerjisi kullanımı ve potansiyeli çok dikkate alınmamıştır.

Ülkemizin etrafı Akdeniz, Karadeniz, Ege Denizi ve Marmara Denizi ile çevrilidir. Sahil uzunluğu ve potansiyeli dikkate alındığında tüm denizlere dalga enerji santralının kurulumu uygundur. Ancak bu denizler içerisinde en ideal yerin tespitinin yapılarak buraya kurulacak en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu tezde, dalga enerjisi santrali kurulum yeri ve bu yere uygun dönüştürücü (santral) tipinin belirlenebilmesi için seçim kriterleri belirlenmiş ve Karadeniz Bölgesi için örnek çalışma yapılmıştır. Bu örnek çalışma diğer denizlerimize yapılması planlanan dalga enerji santrali kurulum yeri ve dönüştürücü tipi seçiminde fayda sağlayacaktır. Böylelikle dalga enerjisinden minimum yatırım maliyetiyle maksimum düzeyde enerji üretimi sağlanabilecektir.

Tezin genel bilgiler bölümünde Dünya'daki ve Türkiye'deki elektrik enerjisi üretimi ile ilgili bilgiler, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından ürettiği elektrik enerjisi miktarı hakkında bilgiler, yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi hakkında temel bilgiler ile dalga enerjisi ve dalga enerjisi dönüştürücü tipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Yöntem bölümünde bu tez çalışmasında kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri olan ANP ve Bulanık TOPSIS hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Bulgular bölümde iki aşamalı çok kriterli karar verme yapısı oluşturulmuştur. Birinci aşamada dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi için ANP yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçimi için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. ANP ve bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Karadeniz bölgesi için dalga enerji santrali kurulum yeri ve dönüştürücü tipi seçimi yapılmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde, ANP kullanılarak Sinop ilinin dalga santrali kurulacak en uygun yer olduğu ve bulanık TOPSIS kullanılarak Oyster'in en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi olduğu belirlenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektrik Enerjisi Üretimi

Elektrik enerjisi insanların yaşamını kaliteli sürdürebilmesi için ekonomik ve sosyal olarak ilerlemesinde önemli bir rol oynayan ve bu sayede küreselleşen dünyada ülkeler ile rekabet edebilme gücünü artıran en temel unsurlardandır [34].

Elektrik enerjisi üretmek amacıyla fosil yakıtların kullanılması sonucu açığa çıkan gazların çevre dengesine olan olumsuz etkileri ve yeryüzündeki fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi; bir taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini, diğer taraftan da mevcut kaynakları korumak için enerjinin daha etkin kullanılmasını yani enerji tasarrufunu teşvik etmektedir [35].

2.1.1. Dünyada elektrik enerjisi üretimi

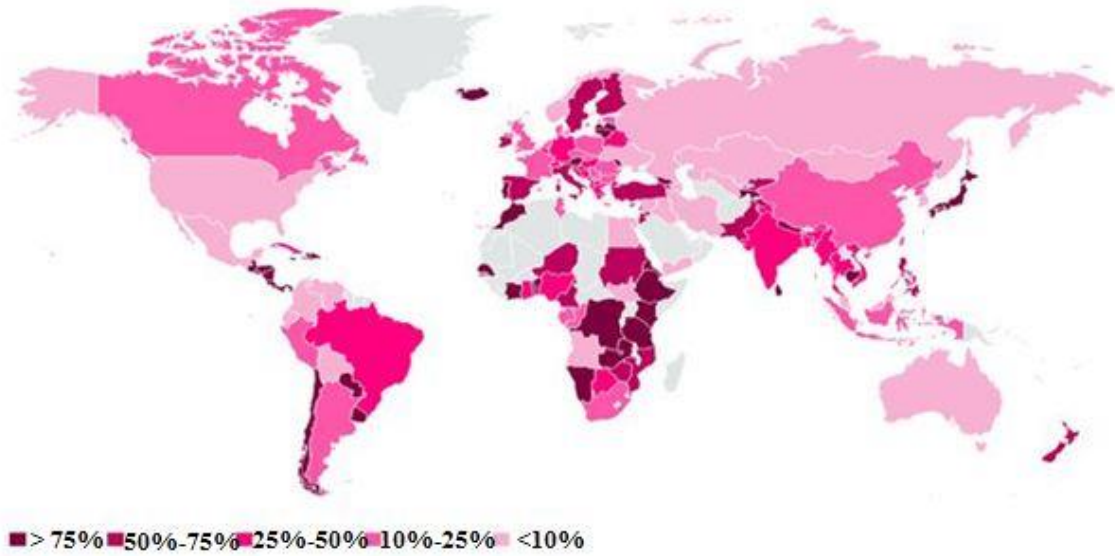
Dünyadaki enerji ihtiyacı 2015 yılında %1 oranında artmıştır. Bu artış oranı son on yılın ortalama artış oranı %1,9 altında gerçekleşmiştir. Petrol, enerji tüketiminin %32,9'unu karşılayarak en fazla kullanılan fosil yakıt olarak birinci sıradaki yerinin korumaktadır. Kömür, enerji tüketiminin %29,2'sini karşılayarak dünya sıralamasındaki ikinci yerini korumaktadır, ancak 2015 yılında enerji üretiminde tüketimi azalan tek fosil kaynaklı yakıttır. Doğalgazın enerji tüketimindeki payı ise %23,8'dir. [36].

Dünyada 2015 yılı birincil enerji tüketim miktarı yaklaşık olarak 14 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) seviyesindedir. Birincil enerji tüketimine sahip ülke Çin'dir. Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisidir [37].

Uzun dönemde yani 2013-2040 yılları arası ortalama %3,4 büyüme gerçekleşmesi beklenen dünya ekonomisi, dünya nüfusundaki artış, sanayileşme ve kentleşme, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi önemli ölçüde arttırmaktadır. Yapılan projeksiyon çalışmalarında aynı enerji politikalarıyla devam etmesi sonucunda, 2040 yılında dünya enerji talebi, yıllık ortalama %1,4 artış gerçekleştirerek, 2014 yılına göre %43,5 oranında

artacaktır. Talep artışı miktarının %89,8'inin, 2014-2040 döneminde ekonomik büyüme oranları yüksek öngörülen ve hızlı nüfus artış oranına sahip OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) dışı ülkelerde (özellikle Çin ve Hindistan'da), yıllık ortalama %2,0'lik bir değerle, oluşacağı hesaplanmaktadır. Aynı dönemde yıllık gayrisafi yurt içi hasıla artış ortalaması %1,9 olarak öngörülen OECD ülkelerinde ise yıllık ortalama %0,2'lik artışlar beklenmektedir. 2014 yılı itibariyle dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi konumundaki Çin'in, 2040 yılında ikinci sırada olacak olan Amerika Birleşik Devletleri'nin tüketeceği enerjiden %95 daha fazlasını tüketeceği, yine 2030 yılı itibariyle Hindistan'ın Avrupa Birliği'ni de geçerek üçüncü büyük enerji tüketicisi olması beklenmektedir. Bu dört büyük tüketici, 2020 yılında dünya toplam enerji arzının %56'sını, 2040 yılına gelindiğinde ise %53,3'ünü tüketecektir. Dünya enerji talebindeki artışın sürdürülebilir koşullarda karşılanabilmesi için ise, 2016-2040 döneminde, enerji sektöründe yaklaşık 64,5 trilyon dolar yatırım yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yatırımlarda en büyük pay 33 trilyon dolar ile fosil kaynaklı yakıtlara ayrılırken, 15 trilyon dolar ise enerji verimliliğine ayrılacaktır [38].

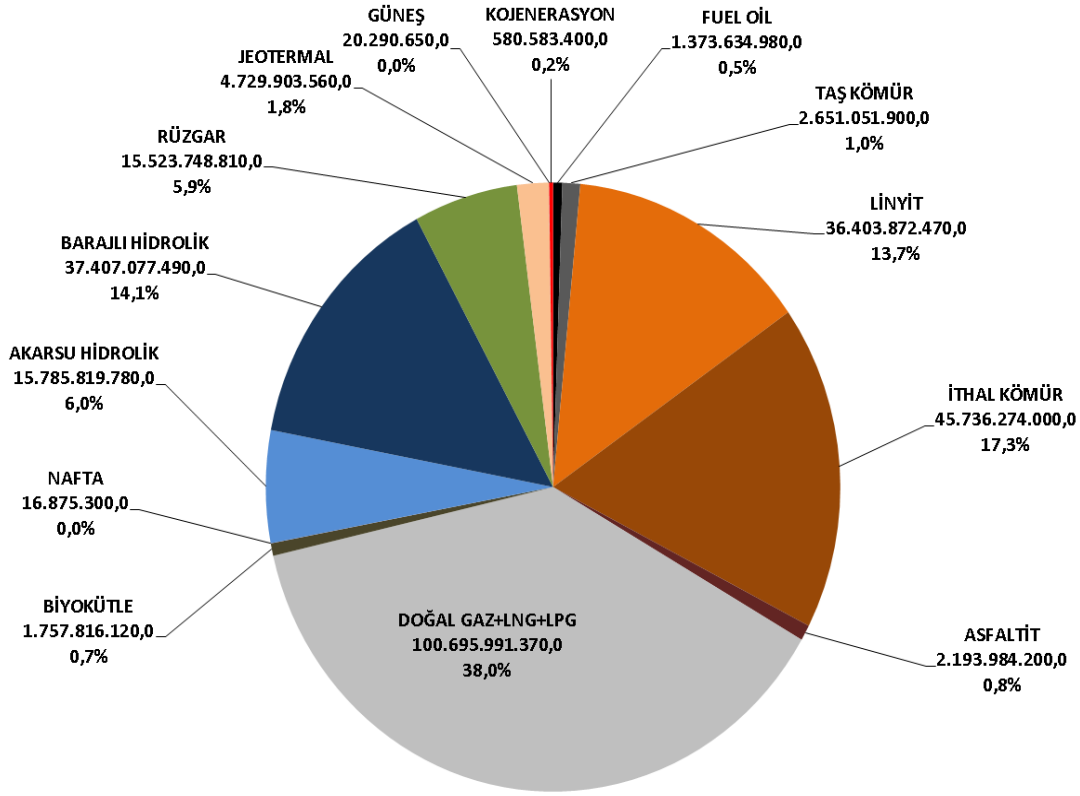
Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, International Energy Agency) verilerine göre 2015 yılı için toplam elektrik üretimi; Çin Halk Cumhuriyeti 5840 TWh, Japonya 1040 TWh, Kanada 670,74 TWh, Almanya 640,97 TWh, Brezilya 581,65 TWh, Fransa 563,49 TWh, Türkiye 261,78 TWh'dir. Toplam elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji kaynakların payı; Çin Halk Cumhuriyeti %24, Japonya %16, Kanada %63, Almanya %29, Brezilya %74, Fransa %16, Türkiye %32'dir (Bkz. Şekil 2.1) [39].



Şekil 2.1. Dünya ülkelerinde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı [39].

2.1.2. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi

Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlı enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Fosil yakıtlı enerji kaynağı olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi yakıtların rezervlerinin kısıtlı olması ve elektrik enerjisi üretimi için fosil kaynaklı yakıtların tüketilmesi sonucu ortaya çıkan karbondioksit gazı ve atık salınımlarından dolayı küresel ısınma ve iklim değişikliği etkileri, bu enerji kaynaklarına alternatif olan çevre dostu ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi potansiyelleri bakımından ülkemiz oldukça zengindir. Bu enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanmak için gerekli yatırımlar yapılarak en üst düzeyde faydalanılmaktadır. 2017 Kasım ayı sonu itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı şöyledir: hidroelektrik santrallerden elektrik üretimi %20,1, rüzgar enerjisinden elektrik üretimi %5,9, güneş enerjisinden elektrik üretimi %0,1, jeotermal enerjiden elektrik üretimi %1,8, biyokütleden üretilen elektrik üretimi %0,7 ve toplamdaki payları ise %28,6’ dır. En fazla pay %38 ile doğalgaza aittir (Bkz. Şekil 2.2).



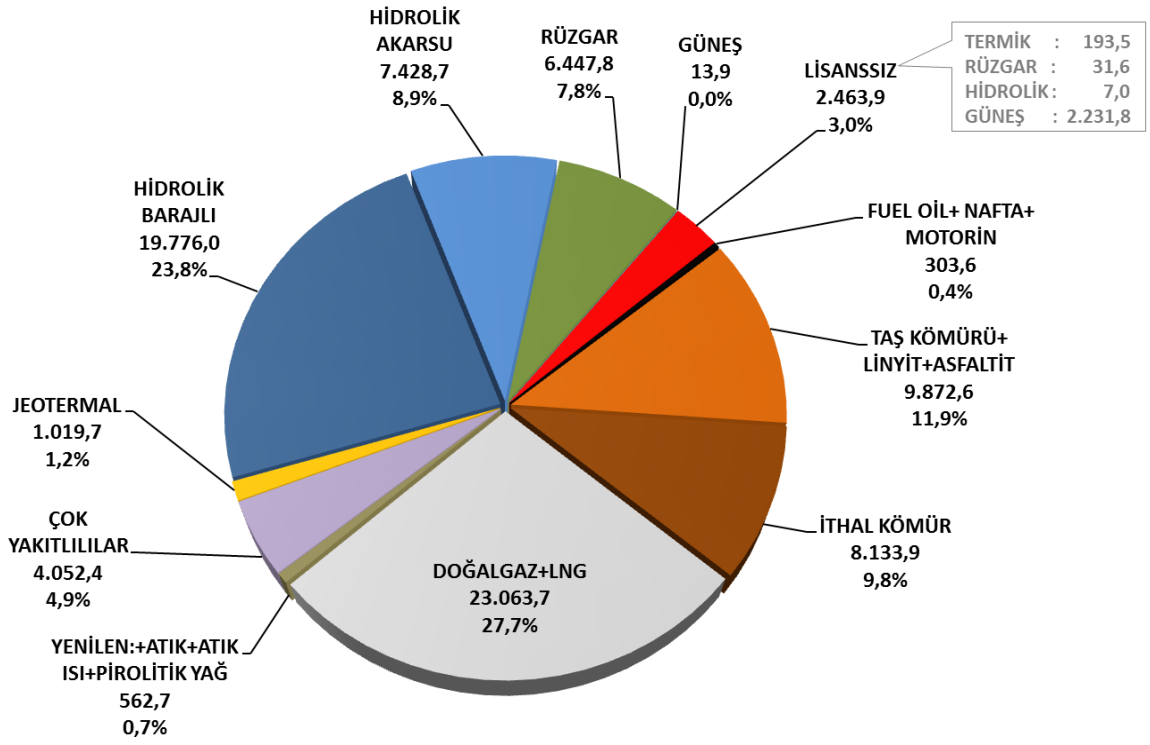
ÜRETİM (11/2017) : 264.876.924.030 kWh

TÜKETİM (11/2017) : 264.380.709.320 kWh

NOT: Lisanssız Üretim Hariçtir.

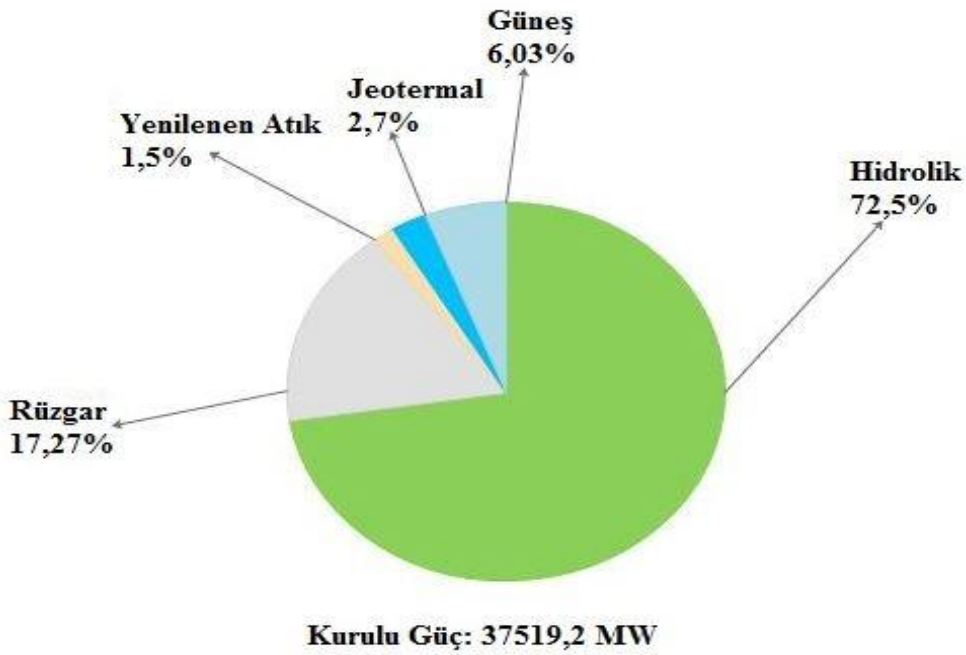
Şekil 2.2. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı [40].

2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünün %54,9' u fosil yakıtlı enerji kaynaklarından, %45,1'i ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan kurulu gücün; %2,7'si güneş enerjisi, %7,8 rüzgar enerjisi, %0,7 biyokütle enerjisi, %1,2 jeotermal enerji ve %32,7 hidroelektrik enerjiden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 2.3) [40].



KURULU GÜÇ (11/2017) : 83.138,9 MW

Şekil 2.3. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [40].



Şekil 2.4. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün 2017 yılı Kasım ayı sonu itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı [40].

Hidroelektrik santraller Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında en yüksek paya sahiptir. Daha sonrasında ise rüzgar enerjisi kullanımı gelmektedir. Dalga enerji kullanımı ise hemen hemen hiç yoktur (Bkz. Şekil 2.4).

Çizelge 2.1’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TEİAŞ tarafından 2000-2025 yılları arasında brüt ve net talep, kurulu ve puant güç değerlerini göstermektedir. 2000 yılında kişi başı elektrik tüketimi net 1750 kWh düzeyinden 2020 yılında 3,4 kat artışla net 5965 kWh düzeyine çıkacaktır [41].

Çizelge 2.1. Türkiye’nin elektrik talebi ve üretim planlaması [41].

	Yıllar						
	2000	2005	2010	2015	2020	2023	2025
Brüt Talep GWh	134307	199560	289820	398168	547060	639045	708952
Net Talep GWh	115107	174614	257687	356306	492666	576455	640248
Kurulu Güç MW	30395	46300	64703	85602	108999	124235	134892
Puant Güç MW	23286	32083	45802	64443	88007	104508	116493

Çizelge 2.2’de Türkiye’nin 2000-2025 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi bin ton eşdeğer petrol (Btep) cinsinden verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi yıllara oranla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar, modern biyokütle ve dalga enerjisinden enerji üretimi yıllara oranla artmaktadır. Özellikle dalga enerjisinden enerji üretimi 2010 yılında 10 Btep’den 2025 yılında 17,5 kat artışla 175 Btep’e yükselecektir. 2000 yılına göre toplam yerli yenilenebilir enerji üretimi 2025 yılında 2,83 kat artacaktır [41].

Çizelge 2.2. 2000-2025 yılları arası yerli yenilenebilir enerji üretimi (enerji optimizasyon modeli ile yapılan hesaplama) (Btep) [41].

Enerji Türü	Yıllar						
	2000	2005	2010	2015	2020	2023	2025
Hidrolik	3763	6268	7695	9219	9989	10726	11585
Jeotermal	432	1380	3760	5000	5250	5400	5400
Güneş	287	716	1458	2514	3882	4854	5564
Rüzgar	58	263	629	995	1519	1883	2167
Dalga	--	--	10	25	125	175	175
Klasik+Modern	6970	7226	7386	7289	7495	7609	7713
Biyokütle							
Toplam	11510	15853	20938	25042	28260	30647	32604

Dalga enerji potansiyeli az olarak görünmekle birlikte bu potansiyelin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte bu potansiyelin değerlendirme oranı ve önemi de giderek artacaktır.

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeryüzünde ve doğada herhangi bir üretime gerek duymadan tedarik edilen, elektrik enerjisi üretimi sırasında çevreye karbondioksit salınımı yapmayan veya çok az seviyede karbondioksit salınımı yapan, çevreye etkisi fosil kaynaklı enerji yakıtlarına göre çok düşük seviyede olan, sürdürülebilir ve yenilenebilir olan doğada sürekli var olan kullanılmakla tükenmeyen temiz enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjisidir [42].

2.2.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, kaynağı güneş olan ısı ve parlak ışıktır. Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneş enerjisinden faydalanabilmek için kullanım amacına göre çeşitli teknolojilerden faydalanılmaktadır. Güneş enerjisinin en sık kullanılan yöntemi ülkemizde de oldukça yaygın kullanılmakta olan sıcak su elde edilmesidir. Sıcak su elde edilmesi oldukça tasarruf sağlamaktadır ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte sadece yaz aylarında değil tüm aylarında elde edilebilmektedir. Parabolik toplayıcılar güneş ışınımını bir noktada odaklamak suretiyle yüksek enerji miktarları elde ederken, güneş pilleri yani fotovoltaik piller ise doğrudan doğruya güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler [43].

Fotovoltaik piller P ve N tipi yarıiletken malzemelerden yapılmışlardır. Fotoelektrik olay prensibine dayanarak fotonlar tarafından koparılan elektronlar harekete geçer ve bir elektrik akımı oluştururlar. Fotovoltaik dönüşümün sağlanması için yarıiletken bölgeye ışık düşürülerek elektron hareketi oluştururlar. Birbirlerinden ayrılan elektronlar fotovoltaik pillerin uçlarından güç çıkışı oluşturur [44].

Türkiye'nin 2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 83138,9 MW olup, güneş enerjisinin kurulu gücü 2245,7 MW ve toplam elektrik enerjisi

kurulu gücündeki payı %2,7'dir. Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretimi bakımından en uygun coğrafi bölgesi Güney Doğu Anadolu bölgesidir (Bkz. Şekil 2.5).

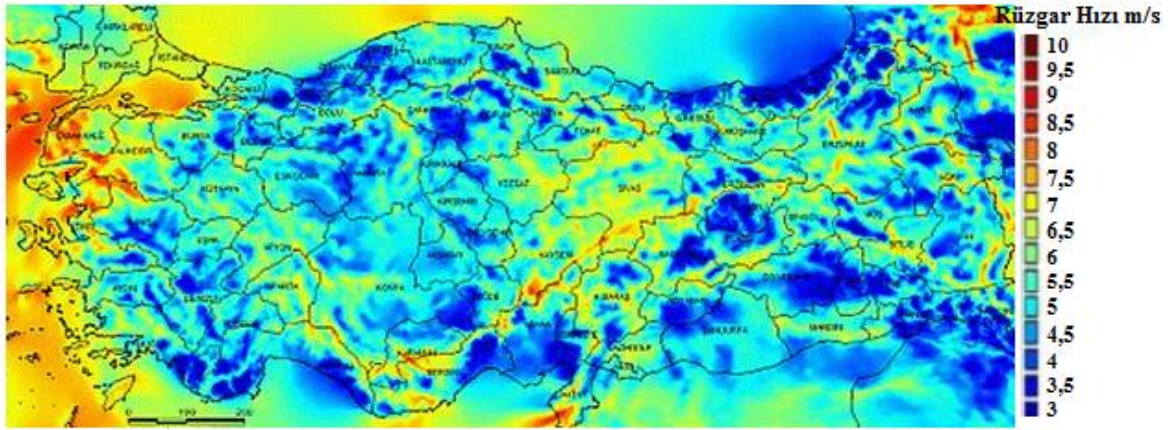


Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [45].

2.2.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar, güneş radyasyonunun yeryüzünü farklı ısıtması sonucu meydana gelir. Yer yüzeyinin farklı ısınması sonucu, havanın sıcaklığında ve basıncında değişiklik meydana gelir, bu değişiklik havanın hareket etmesine neden olur ve rüzgar oluşur. Güneş enerjisinin yaklaşık olarak %2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Rüzgar gücünün yüksek olduğu bölgeler; kıyı şeritleri, vadiler ve tepelerdir. Rüzgarın özelliği, coğrafi özellik ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik göstermesidir. Rüzgar parametreleri hız ve yön olmak üzere iki parametreden oluşur. Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin temel yapı taşıdır. Rüzgar türbinleri havanın hareketinden dolayı oluşan kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonrada elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar türbinleri yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki şekilde imal edilirler. Bu türbin tiplerinden en çok kullanılan, yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Bu türbinin özelliği, çok şiddetli rüzgarlarda belli bir rüzgar hızına ulaştıktan sonra türbinin zarar görmemesi için otomatik olarak durduran bir sistemin bulunmasıdır [46].

Türkiye'nin 2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 83138,9 MW olup, rüzgar enerjisinin kurulu gücü 6447,8 MW ve toplam elektrik enerjisi kurulu gücündeki payı %7,8'dir. Türkiye'nin rüzgar enerjisinden elektrik üretimi bakımından en uygun coğrafi bölgesi Ege Bölgesi'dir (Bkz. Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritası [45].

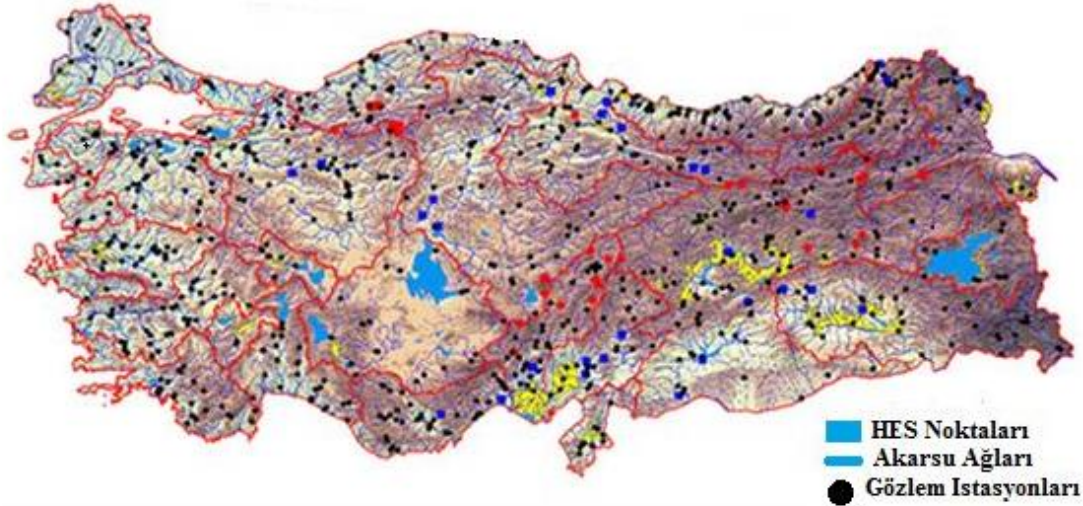
2.2.3. Hidroelektrik enerji

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisini önce mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine çevirir. Suyun üst seviyeden daha alt seviyeye düşmesi sonucu türbinlerin dönmesi sağlanarak elektrik enerjisi üretilir. Bu oluşan enerji, suyun potansiyeline bağlıdır. Suyun potansiyeli mevsim şartlarına göre değişiklik gösterebilir, bu değişikliği en aza indirmek için su depolanarak suyun potansiyeli sabit tutulmaktadır. Hidroelektrik enerji elde etmek için hidroelektrik santraller kurulmaktadır. Hidroelektrik santrallerin diğer santrallere göre avantajları; düşük işletme maliyeti, uzun ömürlü ve yüksek verimli olmasıdır [47].

Türkiye'nin teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli yaklaşık olarak 216 TWh'dır. Bunun 126 TWh'ı ekonomik olarak değerlendirilebilir durumdadır ve bu potansiyelin %35'i değerlendirilmektedir [48].

Türkiye'nin 2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 83138,9 MW olup, hidroelektrik enerjinin kurulu gücü 27204,7 MW ve toplam elektrik

enerjisini kurulu gücündeki payı %32,7'dir. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyel haritası Şekil 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.7. Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli haritası [45].

2.2.4. Jeotermal enerji

Jeotermal kelime anlamı olarak jeo ve termal kelimelerinden oluşmaktadır. Jeo kelimesi yer, termal kelimesi ise sıcak anlamına gelmekte olup jeotermal yer sıcaklığı anlamına gelmektedir. Yer kabuğunun derinliklerine inildikçe sıcaklık yaklaşık olarak 33 metrede 1°C artmaktadır [49].

Jeotermal, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji ise yerin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanmasından oluşan sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar çoğunlukla aktif kırık sistemleri ile volkanik ve magmatik birimlerin yakınında oluşmaktadır. Jeotermal enerji sıcak suyun çıkış derecesine göre üç şekilde sınıflandırılır: düşük sıcaklık 20-70°C arası, orta sıcaklık 70-150°C arası ve yüksek sıcaklık 150°C 'den yüksek sıcaklıklardır. Jeotermal enerjiden sıcaklık derecelerine göre ısıtma, endüstri, termal kaplıca ve elektrik enerjisi üretiminde faydalanılmaktadır [50].

Türkiye'nin 2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 83138,9 MW olup, jeotermal enerjinin kurulu gücü 1019,7 MW ve toplam elektrik enerjisi

kurulu gücündeki payı %1,2'dir. Türkiye'nin jeotermal enerji haritası Şekil 2.8'de verilmektedir.

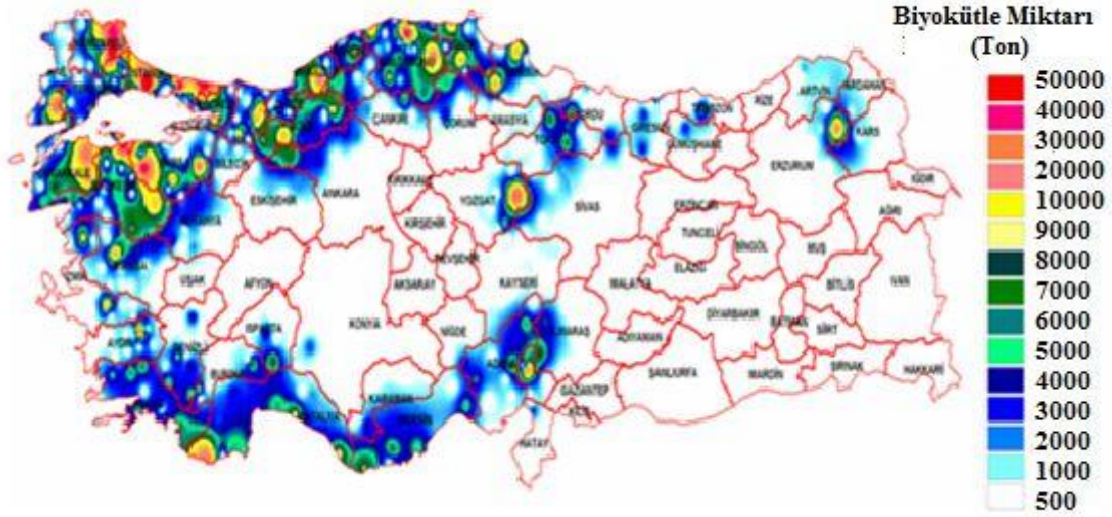


Şekil 2.8. Türkiye jeotermal enerji haritası [45].

2.2.5. Biyokütle enerjisi

Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının çevresel etkileri dikkate alındığında daha temiz enerji kaynağı olan, çevresel etkisi az olan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi tükenmez bir enerji kaynağı olması, kolaylıkla temin edilebilmesi ve kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere katkıda bulunmasından dolayı önemli bir enerji kaynağıdır. Enerji kaynağı olarak özel olarak yetiştirilen mısır, buğday gibi bitkiler, otlar, yosunlar, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan organik çöpler olan meyve ve sebze artıkları biyokütle enerjisi için kaynak oluşturmaktadır. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salımı açısından korunmuş olacaktır [51].

Türkiye'nin 2017 yılı Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 83138,9 MW olup, biyokütle enerjisinin kurulu gücü 562,7 MW ve toplam elektrik enerjisi kurulu gücündeki payı %0,7'dir. Türkiye'nin orman kaynaklı biyokütle haritası Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.9. Türkiye orman kaynaklı biyokütle haritası [45].

2.2.6. Hidrojen enerjisi

Hidrojen 1500'lü yıllarda bulunmuş ve 1700'lü yıllarda yanıcı özelliğinden faydalanılmaya başlanmıştır. Hidrojen dünyada bulunması en kolay elementtir. Hidrojen elementinin özelliği; renksiz, kokusuz, zehirsiz ve havadan hafif olmasıdır. Hidrojen gazı yaklaşık olarak sıfırın altında 253°C'de sıvı hale dönüşür. Hidrojen tüm fosil yakıtlı enerji kaynakları içerisinde en yüksek enerji potansiyeline sahiptir. 1kg hidrojen, 2,1kg doğal gaz ya da 2,8kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Hidrojen doğada bileşik halinde bulunur ve en bilinen bileşiği ise sudur. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, çevreye olumsuz etkisi olan karbondioksit ve atık salınımı yoktur. Atık salınımı olarak sadece zararsız olan su veya su buharı dışarı verilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine çevrildiği sistemlere yakıt hücreleri denir. Bu sistemlerde hidrojen ya doğrudan ya da hidrojen salan herhangi bir kaynak yardımıyla sisteme verilmekte ve istenilen enerji elde edilmektedir. Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak değişik hammaddelerden

üretilebilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen motor yakıtı olarak kullanılabilirdiği gibi, sanayide, elektrik üretiminde ve konutlarda güvenle kullanılabilir [52].

2.2.7. Dalga enerjisi

Dünyamızın yaklaşık olarak %70'inin sularla çevrili olması, okyanus ve deniz dalgalarından elektrik üretimi konusunda bilim insanlarının dikkatini çekmiş ve mevcut olan dalga enerjisinden elektrik üretimi için dünyada çeşitli model ve tasarımlar yapılarak dalga enerjisinden elektrik üretimine başlanmıştır. Bu teknoloji geliştirilerek önümüzdeki süreçte daha ucuz maliyetle elektrik üretimi ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik elde eden santrallerle rekabet edecek güce gelecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan dalga enerjisi ile elektrik enerjisi üretimi ülkemizde henüz yaygınlaşmamıştır.

2.3. Dalga Enerjisi

Deniz dalgaları; rüzgar, denizdeki hareketli taşınmalar, denizlerin altındaki depremler, farklı özgül kütledeki akışkan hareketleri, ay ve güneşin çekim kuvveti gibi dış etkiler sonucunda dengesi bozulan deniz yüzeyinin tekrar eski denge konumuna dönmek için yaptığı hareketlerdir. Denizlerin her gün milyonlarca kez bu hareketi tekrarlaması sonucu doğru yer ve teknolojik sistemler kullanılarak deniz veya okyanus dalgalarından elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır [53].

Deniz dalgalarından enerji elde edilmesi konusunda ilk çalışmayı 1892 yılında A. W. Stahl yapmıştır. Günümüzde dalga enerjisi konusunda araştırmalar yapıp çeşitli sistemler geliştirilmektedir [1]. 1932 yılında dalga enerjisinin gücünü gören Osborn Havelock papazları 1933 yılında dalga enerjisi düşüncelerine patent almışlardır. 1932 yılından 2001 yılına kadar dalga enerjisinden toplam 259 patent alınmıştır [54].

Dalga enerjisi, dalganın yüksekliği ve periyodunun bir fonksiyonu ile değişen hem kinetik hem de yerçekimsel potansiyel enerji taşır. Dalga enerjisi dönüştürücüleri bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Büyük dalgaların taşıdığı enerji miktarı yüksek olduğu için

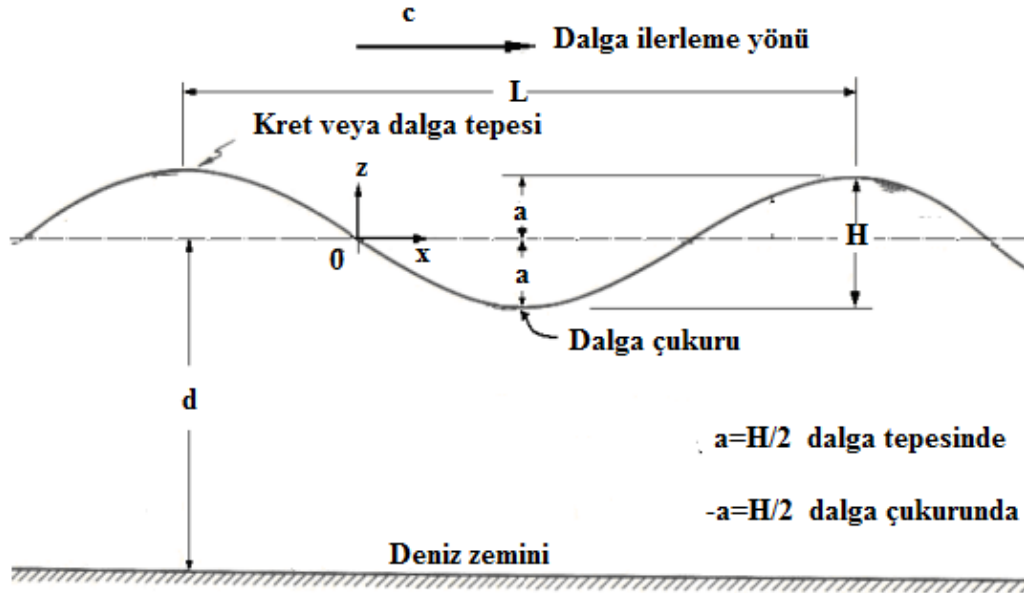
dalga enerjisinden elektrik üretiminde dalga yüksekliği ve dalga sıklığı önemlidir. Dalga gücü şu şekilde hesaplanır:

$$P = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H_s^2 \cdot T_e}{64\pi} \text{ kW/m} \quad (2.1.)$$

Denklem 4.1.'de, H_s belirgin dalga yüksekliği, T_e enerji periyodu, g yerçekimi ivmesi ve ρ deniz suyunun yoğunluğunu ifade etmektedir. Karadeniz için yerçekimi ivmesi $g=9,81$ N/kg ve deniz suyunun yoğunluğu $\rho=1015$ kg/m³ alınarak dalga gücü hesaplaması denklem 4.2.'de verilmiştir [33].

$$P = 0,486 \cdot H_s^2 \cdot T_e \text{ kW/m} \quad (2.2.)$$

Dalga gücü, belirgin dalga yüksekliğinin karesi ve enerji periyodu ile doğru orantılıdır. Sinüzoidal bir dalganın karakteristiği Şekil 2.10'da verilmektedir.



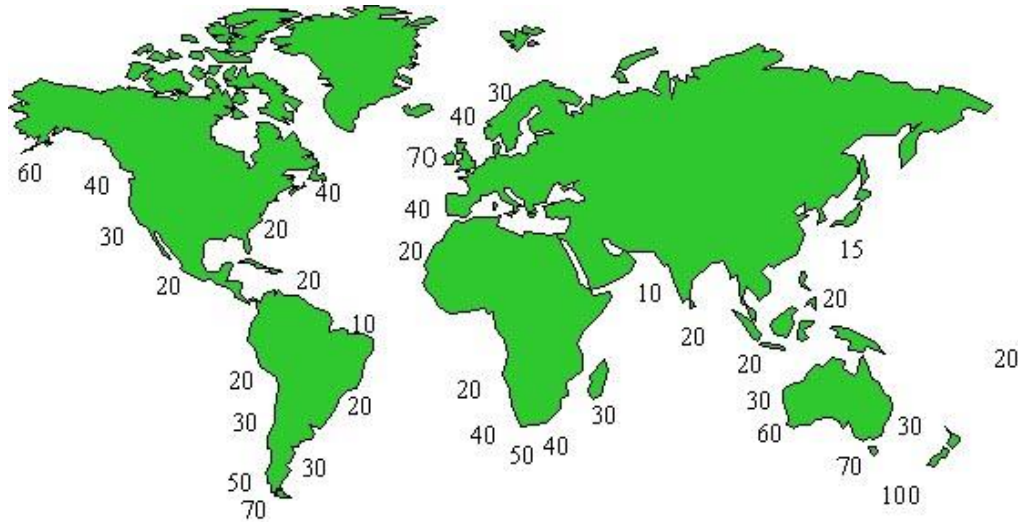
Şekil 2.10. Sinüzoidal dalga karakteristiği [55].

2.3.1. Dünyadaki dalga enerjisi potansiyeli

Dünyanın yaklaşık dörtte üçü sularla kaplıdır. Bu nedenle dalga enerjisi potansiyeli dünya ülkelerinin dikkatini çekmiştir, özellikle okyanusa kıyısı olan ve ada ülkeleri dalga enerjisinden yararlanmak için çeşitli prototipler yaparak faaliyete geçirmişlerdir.

Danimarka, İrlanda, Norveç, Portekiz, İsveç ve İngiltere’de dalga enerjisi potansiyeli üzerine çalışmalar başlamış olup Avrupa dışında Avustralya, Kanada, Çin, İran, Endonezya, İsrail, Japonya, Kore, Meksika, Rusya, Sri-Lanka ve Amerika Birleşik Devletleri bu alanda çalışmalarına devam etmektedir. *Danimarka*; Kuzey denizinin güneyi dalga enerjisi üretimi için elverişlidir. Yıllık dalga enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak 30 TWh’tır. *İrlanda*; Yüksek dalga enerjisi potansiyeline sahip ve yıllık yaklaşık dalga enerjisi potansiyeli 187,5 TWh’tır. *Norveç*; Batı Atlantik’te uzun sahillere sahiptir. Yıllık dalga enerji potansiyeli yaklaşık 400 TWh’tır. *İngiltere*; Atlantik’in batı kıyısında, büyük fırtınaların olduğu ve batı rüzgarlarının etkisinde kalan bir bölgeye sahiptir. Yıllık dalga enerjisi potansiyel yaklaşık 120 GWh’tır. *Fransa*; Atlantik ve Akdeniz ile uzun sahil şeridinde sahiptir. Yıllık güç kapasitesi 40 kW/m ve potansiyeli yaklaşık 28 GWh’tır [54].

Dünyada yüksek dalga gücüne sahip birkaç bölge bulunmaktadır. Şekil 2.11’de dalga gücünün dünyadaki dağılımı görülmektedir. Avrupa ülkelerinin Akdeniz sahillerinde yıllık dalga gücü 4 ile 11 kW/m arasında değişmekte ve en yüksek değerler Ege Denizinin güney batı bölgesinde görülmektedir. Avrupa’nın toplam dalga enerji potansiyeli 320 GWh iken Avrupa’nın Akdeniz sahilleri boyunca derin su kaynağı yıllık 30 GWh mertebesindedir [56].



Şekil 2.11. Dalga gücü seviyesinin dünyadaki dağılımı (kW/m tepe yüksekliği) [56].

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change, IPCC) tarafından yapılan çalışmada 2008 yılı dalga enerjisi potansiyeli 32000 TWh/yıl olarak belirlenmiştir. Dünya enerji ihtiyacı 17000 TWh/yıl olduğu dikkate alınırca dalga enerjisi potansiyeli dünya enerji ihtiyacının yaklaşık iki katıdır [57].

2.3.2. Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeli

Türkiye, Kuzey Yarımkürenin orta kuşağında yer almaktadır. Matematiksel konum olarak 26° – 45° doğu meridyeni ile 36° – 42° kuzey paralelinde yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Akdeniz, batısında Ege Denizi ve Ege Denizi ile Karadeniz'i birbirini bağlayan bir iç deniz olan Marmara Denizi bulunmaktadır [58].

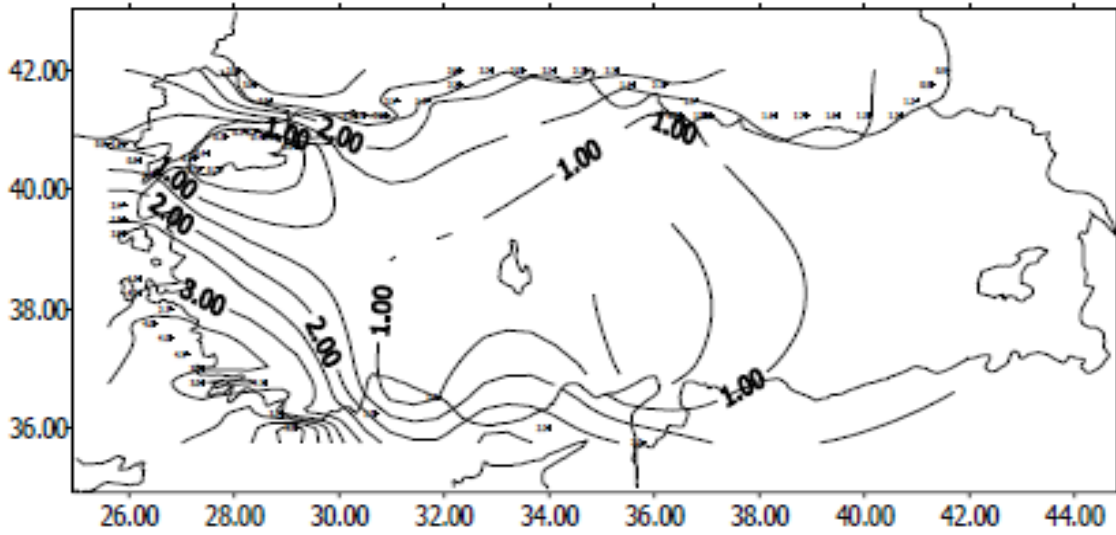
Özhan ve Abdalla [59], Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla NATO TU- Waves projesi kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve ODTÜ ile ortaklaşa gerçekleştirilen METU-3 dalga tahmin modeli ile "Türk Kıyı Rüzgarları ve Derin Dalga Atlası" oluşturmuşlardır.

METU-3 dalga modeli bölgeleri Şekil 2.12'de verilmiştir. Türk Kıyı Rüzgarları ve Derin Dalga Atlası verilerinden yararlanarak yaklaşık belirgin dalga yüksekliği (H_s) ve enerji periyodu (T_e) değerleri ile minimum enerji akışı için aylık ortalama, maksimum enerji akışı için aylık ortalamaların matematik ortalaması ve en büyük değerlerin en düşük olan

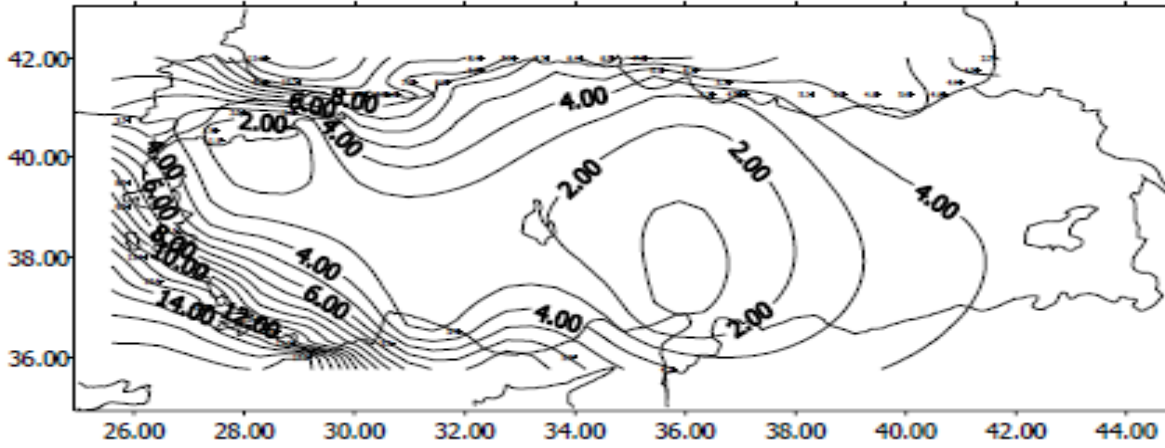
değerleri kullanılarak hesaplanan Türk sularının kullanıma hazır yaklaşık azami ve asgari dalga enerji seviyeleri Şekil 2.13'te ve Şekil 2.14'de verilmiştir [60].



Şekil 2.12. METU-3 dalga tahmin modeli bölgeleri [61].



Şekil 2.13. Asgari dalga enerji seviyeleri [60].



Şekil 2.14. Azami dalga enerji seviyeleri [60].

Bölgelere göre dalga enerjisi yoğunlukları Karadeniz 1,96-4,22 kWh/m, Marmara Denizi 0,31-0,69 kWh/m, Ege Denizi 2,86-8,75 kWh/m, Akdeniz 2,59-13 kWh/m ve İzmir Antalya arası 3,91-12,05 kWh/m'dir [60].

Diğer bir dalga enerjisi potansiyeli hesaplama yöntemi ise SWAN (Simulating Waves Nearshore) modelidir. Bu model ile dalga yönü ve yüksekliği, dalga periyodu, rüzgar yön ve şiddeti kullanılarak dalga enerjisi potansiyeli hesaplanabilir. SWAN dalga modeli bölgeleri Şekil 2.15'te verilmiştir.



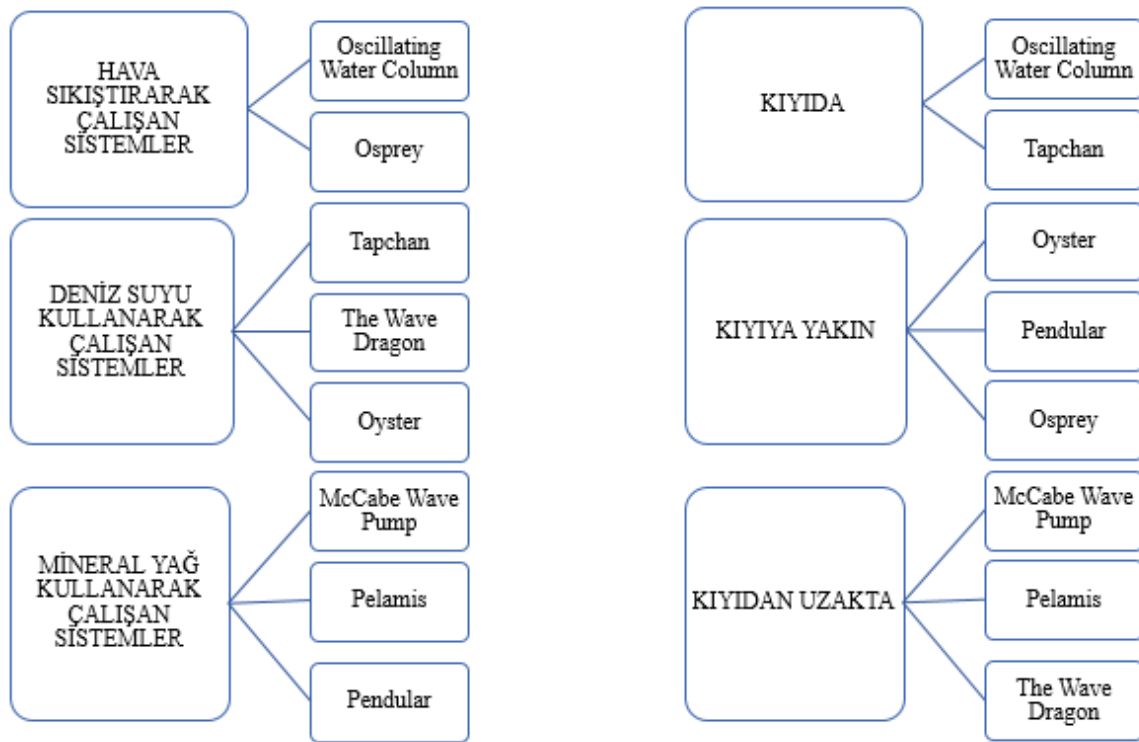
Şekil 2.15. SWAN dalga modeli bölgeleri [61].

Ülkemizin Marmara Denizi dışında sahil uzunluğu yaklaşık 8200 km'dir. Balıkçılık, turizm ve askeri tesisler nedeniyle elektrik enerjisi üretimi için bunun yalnızca 1/5'i kullanılabilir ise de dalga enerjisi potansiyeli Türkiye için yaklaşık 18 TWh/yıl düzeyindedir. Ancak sistem seçiminde yöresel meteorolojik şartlar, enerji talebi, üretilen enerjinin iletimi de düşünülmelidir. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) ve Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. (TEMSAN) iş birliğinde 15.02.2008 tarihinde başlatılan "Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi" konulu proje kapsamında, denizdeki dalgaların dikey hareketini elektrik enerjisine çeviren bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sakarya Karasu'da 2009 yılında kurulan bu prototip sistemde günde ortalama 5 kWh enerji elde edilmektedir [1].

Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı tarafından Dalga Enerjisi Pilot Tesisi kurulması üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının desteklenmesi ve dalga enerjisi üretim tesisinin verimliliğinin test edilmesi amacı ile Avustralya merkezli CSG Exploration and Production Services firması tarafından 50 kW kurulu güce sahip bir pilot tesis kurulması planlanmaktadır [62].

2.3.3. Dalga enerjisi dönüştürücü tipleri

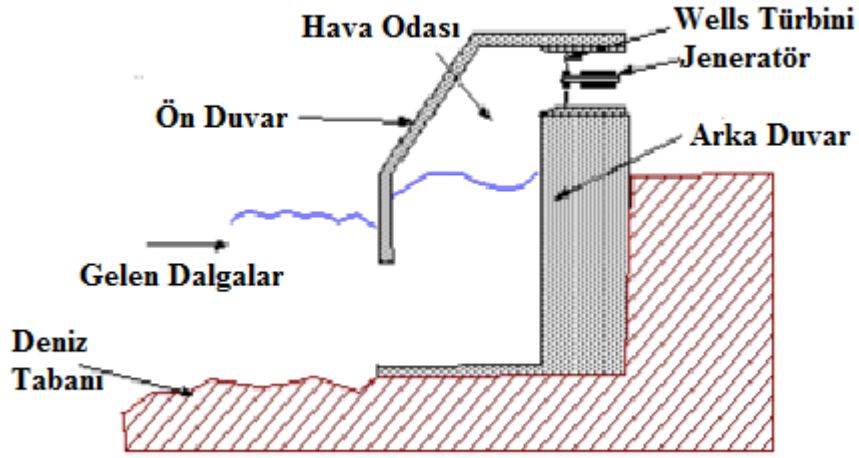
Dalga enerjisi hem kinetik enerji hem de yerçekiminden dolayı potansiyel enerji taşır. Bu enerji seviyesi dalganın yüksekliğine ve periyoduna bağlıdır. Bu enerjiden faydalanmak için dalga enerjisi dönüştürücüleri kullanılır [57]. Dalga enerjisi dönüştürücülerini konumlandırıldıkları yere göre kıyı şeridinde, kıyıya yakın ve kıyıdan uzakta olmak üzere üç şekilde sınıflandırmak mümkündür. Dalga enerji dönüştürücüleri çalışma prensibi hava ile çalışan, deniz suyu ile çalışan ve mineral yağ ile çalışan olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir (Bkz. Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin sınıflandırılması

Salınımlı su kolonu (OWC, Oscillating Water Column)

Bu sistemler deniz kıyısına yatay olacak şekilde yapılıdır. Su kolunu ve onun üzerinde bir hava kolunu vardır. Dalgalar yatay olarak odaya girer ve bir miktar su tarafından sıkıştırılan hava dar kısımdan geçerek çıkıştaki türbini hareket ettirir ve havanın bacadan çıkışı sağlanır. Dalga geri çekilirken içerdeki havayı boşaltarak odaya bacadan ters yönde bir hava dolmasına neden olur (Bkz. Şekil 2.17). Bu durum türbinin yeniden hareket etmesini sağlar bu da sistemin veriminin düşmesine neden olur. Bu sistemde verimi yükseltmek için Wells tipi türbin kullanılmıştır. Bu türbinin özelliği havanın türbine girmesi ve çıkması esnasında türbinin sürekli olarak aynı yönde dönmesidir. Kara donanımlı deniz güçlü enerji trafosu (Land Installed Marine Powered Energy Transformer, LIMPET) ile kurulan OWC, 21 metre genişliğinde ve her biri 6 metre olmak üzere 3 eşit bölme ve 500 kW gücünde inşa edilmiştir. Dalga enerjisi potansiyeline göre üretilen elektrik enerjisi gücü farklılık göstermektedir. Nominal şartlarda üretilen güç 206 kW civarındadır. Portekiz ve İskoçya kıyılarında örnekleri vardır (Bkz. Şekil 2.18) [63].



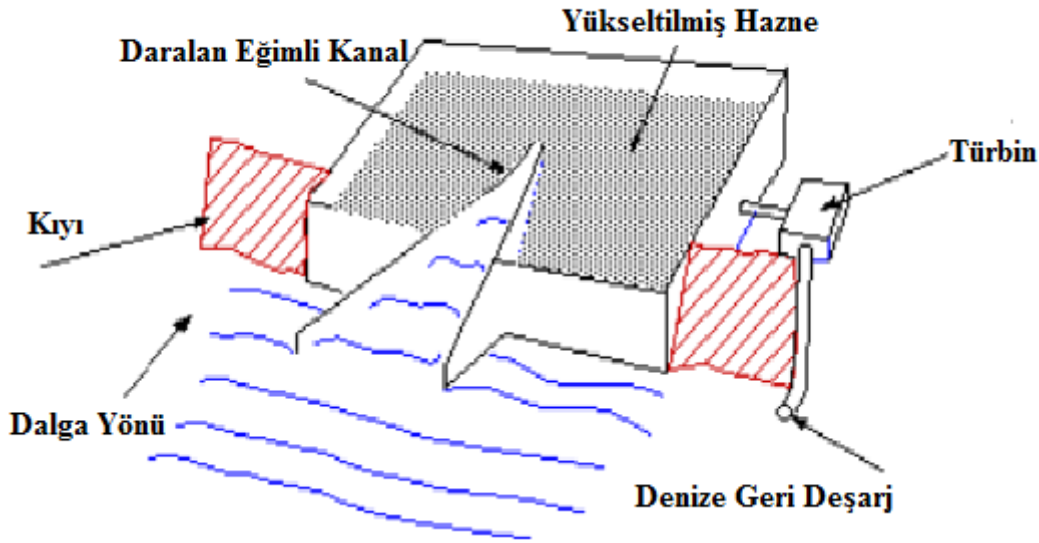
Şekil 2.17. Salımlı su kolonu çalışma prensibi (OWC) [56].



Şekil 2.18. Salımlı su kolonu (OWC) [64].

Konik kanal (Tapchan) tipi dalga enerji dönüştürücüsü

Konik kanal (Tapchan) sistemi hidroelektrik enerji üretim sistemiyle aynı prensipte çalışır. Bu sistemler deniz kıyısına inşa edilir, ancak tüm kıyılar için uygun değildir. Bu sistem su seviyesinin 3-5 metre üzerinde duvar yüksekliğine sahip olan genellikle uçurumun kenarına inşa edilir. Hazneyi besleyen daralan bir kanaldan oluşmaktadır, kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır (Bkz. Şekil 2.19). Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanmış su türbine verilir. Verimi artırmak için kaplan tipi türbin kullanılır. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulan enerji depolanabilmektedir. Norveç'te uygulama örneği vardır (Bkz. Şekil 2.20) [65].



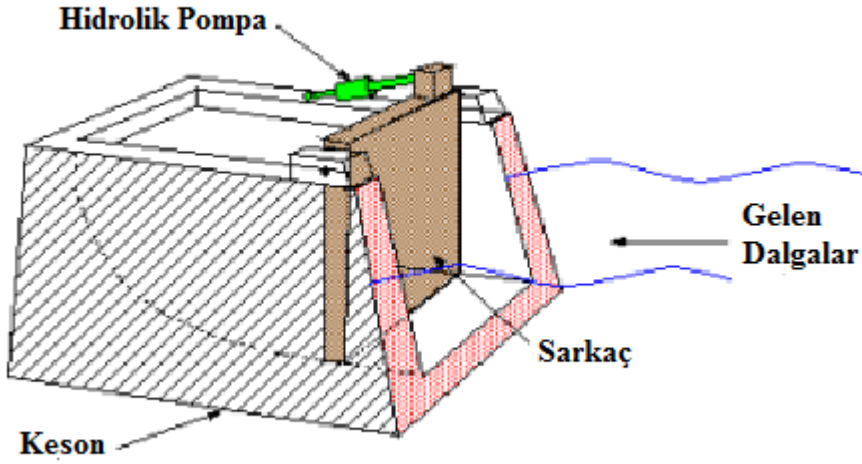
Şekil 2.19. Konik kanal tipi dalga enerji dönüştürücüsü çalışma prensibi [56].



Şekil 2.20. Konik kanal tipi dalga enerji dönüştürücüsü [64].

Sarkaç (Pendular) tipi dalga enerji dönüştürücüsü

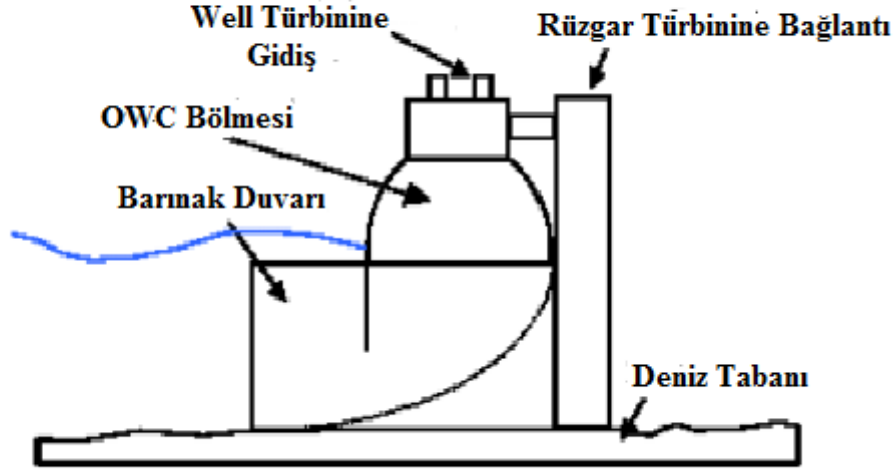
Sistem, bir tarafı denize açılan dikdörtgen şeklindedir. Açık kısma sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Gelen dalga bu kapağa çarparak ileri geri hareket ettirir. Kapak gelen dalga karşısında içeriye doğru açılırken temel yapı içine de suyun girmesine kısmen izin verilir. Dalga enerjisini kaybettikten sonra dalga tepesi yerini dalga çukuruna bıraktığında sarkacın ağırlığının oluşturduğu basınç temel içindeki suyun basıncından yüksek olmakta ve sarkaç suyu temelden dışarıya basmaktadır. Bu hareket sürekli olarak devam etmekte ve sarkacın kendisine bağlı hidrolik pompayı tahrik ederek enerji üretmekte ve dalga yüksekliğinin indirgenmesi sağlanmaktadır (Bkz. Şekil 2.21) [56].



Şekil 2.21. Sarkaç tipi dalga enerjisi dönüştürücü sisteminin çalışma prensibi [56].

Osprey tipi dalga enerji dönüştürücüsü

Sistem Wavegen şirketi tarafından geliştirilmiştir. Sistemin gücü maksimum 0,5 MW olmasına rağmen 1,5 MW'lık rüzgar türbinin dahil edilmesiyle sistem 2 MW güç üretebilmektedir. Sistemin deniz yüzeyi altında bulunan kısmı okyanus altı akıntıları olarak adlandırılan deniz altı akıntılarında faydalanarak hidroelektrik santral sisteminin temel mantığı ile elektrik üretimini sağlamaktadır (Bkz. Şekil 2.22). Rüzgar türbini olmadan sistem stabilizasyon problemlerinden dolayı verimsizken rüzgar türbini sayesinde üstün bir verim sağlamaktadır. İskoçya'da uygulama örneği vardır (Bkz. Şekil 2.23) [56].



Şekil 2.22. Osprey tipi dalga enerjisi dönüştürücü sisteminin çalışma prensibi [56].

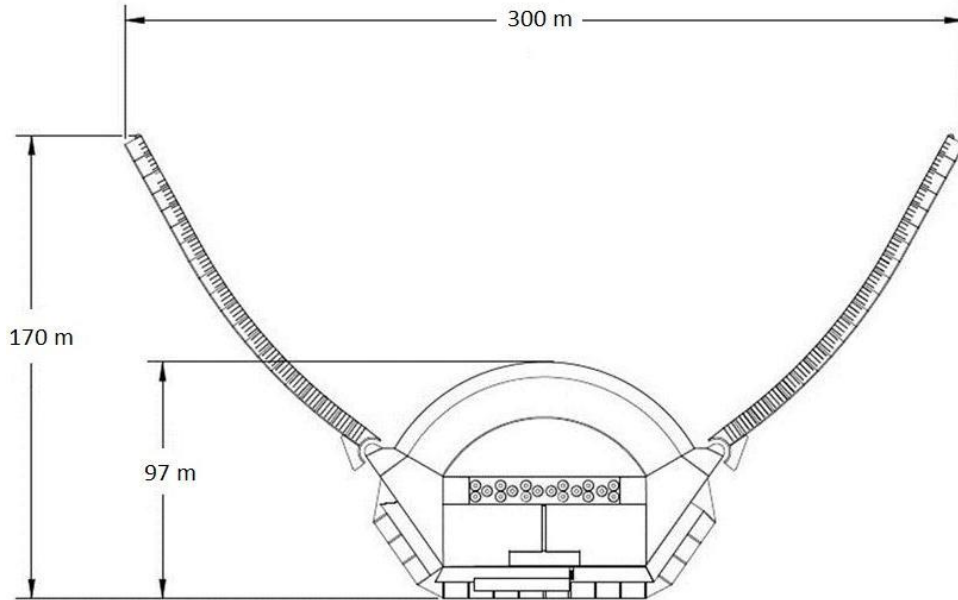


Şekil 2.23. Osprey tipi dalga enerji dönüştürücüsü [64].

The wave dragon dalga enerji dönüştürücüsü

Dalgayla gelen su kütesinin sistem haznesine hareketi sonucu orifise yerleştirilen türbini hareket ettirmesiyle elektrik üretir. Türbin küçük bir basınç farklılığı ile elektrik üretebilir. Dalga yüksekliğine göre kendini ayarlayabilir ve kurulu gücüne göre farklı boyutlarda imal edilirler (Bkz. Şekil 2.24). Nominal gücü 7 MW için 33000 ton ağırlığında, 19 metre

yükseğinde, 300x170 metre ebatında, 25 metreden fazla su derinliğine sahip 16-20 adet türbin kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2.25) [66].



Şekil 2.24. The Wave Dragon dalga enerjisi dönüştürücüsü iç yapısı [66].

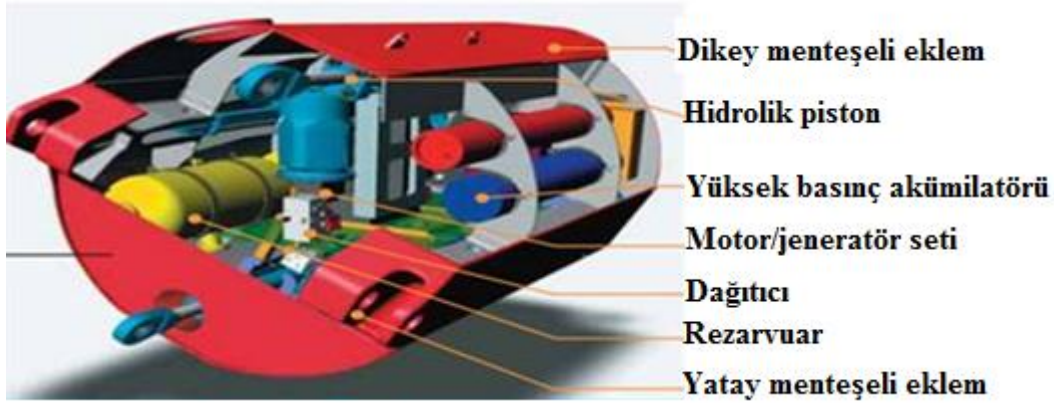


Şekil 2.25. The Wave Dragon dalga enerji dönüştürücüsü [66].

Pelamis tipi dalga enerji dönüştürücüsü

Dört bölümden oluşan bu sistemde dalgaların yönüne göre hareket eden hidrolik pistonlar sayesinde enerji elde edilir (Bkz. Şekil 2.26). Elde edilen elektrik enerjisi depolanarak kıyıya iletilir. Elektrik enerjisinin kıyıya iletiminde özel olarak tasarlanmış deniz altı kabloları kullanılır. Denizin 50-70 metre derinliklerine kurulan sistem 750 kW gücünde 150 metre uzunluğunda ve 3,5 metre çapında yapılarak 2010 yılının Eylül ayında Portekiz

sahillerinde test edilmeye başlanmıştır. Pelamis dalga santralleri genellikle tek olarak değil, üç ve üstü dönüştürücü olacak şekilde kurulurlar. Kolaylıkla temin edilebilen malzemeden üretilerek istenilen yere nakli sağlandığı için kurulumu kolaydır. Portekiz’de uygulama örneği vardır (Bkz. Şekil 2.27) [56].



Şekil 2.26. Pelamis tipi dalga enerjisi dönüştürücüsü içyapısı [56].

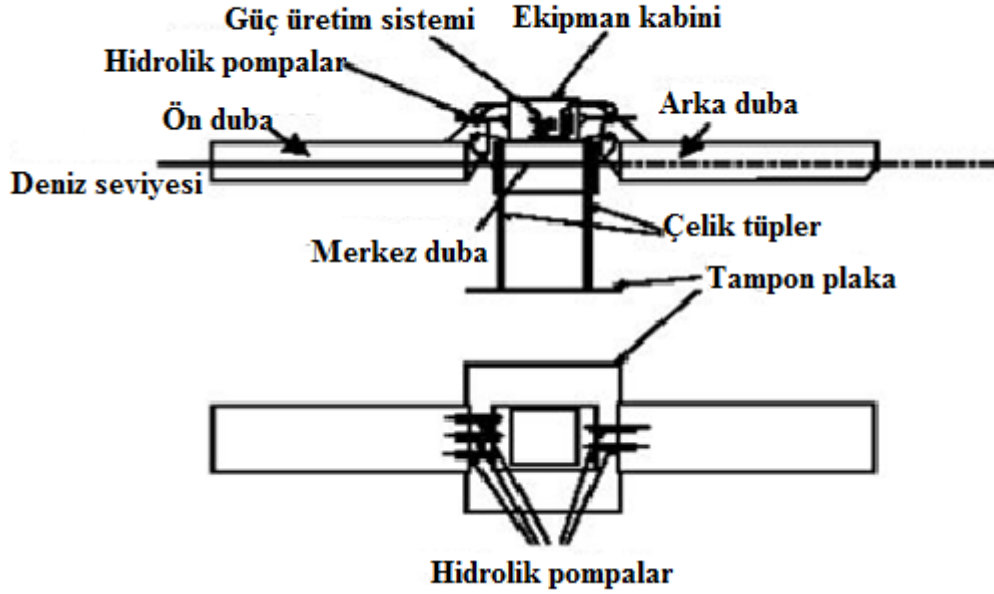


Şekil 2.27. Pelamis tipi dalga enerji dönüştürücüsü [56].

McCabe dalga pompası (MWP, McCabe Wave Pump)

1980’de Peter McCabe tarafından deneysel olarak yapılmıştır. Sistem 4x4 metre ebadında 3 adet dikdörtgenden oluşur. Ortada bulunan duba diğer iki dubaya göre daha ağırdır ve hafif olan iki duba orta dubaya doğru yaklaşıp uzaklaşarak pompaları çalıştırır. Bunun sonucunda güç elde edilir (Bkz. Şekil 2.28). Elde edilen bu güç iki şekilde oluşur; birincisi pompa kapalı çevrimle bir hidrolik yağı pompalayarak jeneratörleri çalıştırır, ikincisi açık

çevrimli bir sistem deniz suyu sistemine basınç uygular ve bu sayede Pelton tipi türbini çalıştırarak enerji üretir. Sistemin ilk örnekleri 40 metre uzunluğunda 400 kW kurulu gücünde 4x4 metre ebadında kurulmuştur. Üretilen elektrik enerjisi uygun şartlarda yaklaşık olarak 257 kW seviyesindedir. 1996 yılının ağustos ayında County Clare ve Kilmaha yakınlarındaki Shannon nehri kıyısında kurulmuştur (Bkz. Şekil 2.29) [63].



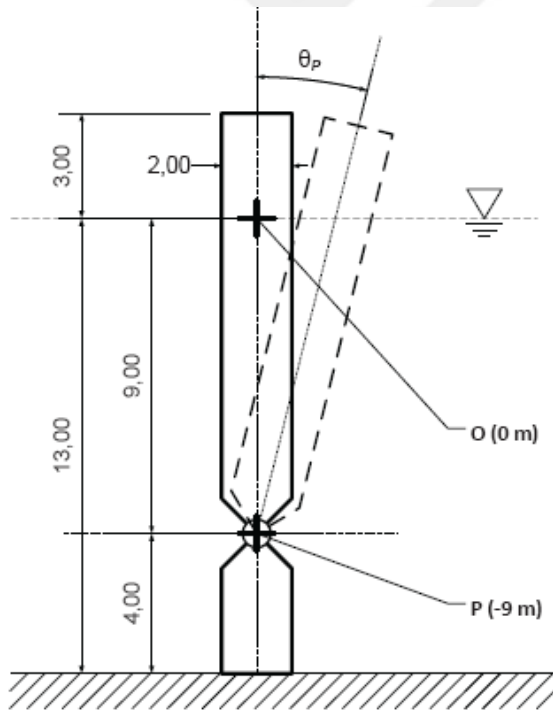
Şekil 2.28. McCabe dalga pompası iç yapısı [56].



Şekil 2.29. McCabe dalga pompası [64].

Oyster (İstiridye) tipi dalga enerji dönüştürücüsü

İngilizce istiridye anlamına gelen bu sistem, bir istiridyenin açılıp kapanması temeline dayanarak tasarlanmıştır. Deniz tabanına sabitlenmiş bir levhadan ve hareketli kapaktan oluşmaktadır. Bu sistem denizden 500 metre açıkta 10 – 20 metre derinlikte 26 metre genişliğinde 13 metre uzunluğunda yaklaşık olarak toplam ağırlığı 450 ton civarında ve 800 kW elektrik enerjisi üretme gücünde tasarlanmıştır (Bkz. Şekil 2.30). Deniz dibindeki dalga hareketinden yararlanarak enerji üretimini hedefleyen bu sistemde, gelen dalga ile ileri geri hareket eden kapak piston tarafından tutulmaktadır. Bu piston kıyıya yüksek basınçlı su pompalayarak kıyıda bulunan hidroelektrik santralinin türbinini çalıştırır ve elektrik üretimi gerçekleşir. Hidroelektrik santral kıyıda olduğu için ulaşımı ve bakımı kolaydır. Ancak sistemin bir parçası deniz tabanına sabit olduğundan sabit parçanın bakımı zordur (Bkz. Şekil 2.31) [67].



Şekil 2.30. Oyster tipi dalga enerji dönüştürücüsü iç yapısı [68].



Şekil 2.31. Oyster tipi dalga enerji dönüştürücüsü [67].

2.3.4. Dalga enerjisinin avantaj ve dezavantajları

Dalga enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir; temiz ve sınırsız enerji kaynağıdır. İlk yatırım maliyetinden başka yüksek maliyeti yoktur. Üretilen enerji nüfusun yoğun olduğu kıyı kesimlerinde tüketileceği için uzun enerji nakil hatlarına ihtiyaç yoktur. Her dalga boyundan enerji üretmek mümkün olduğundan dalga enerji santralleri kurulacak bölgenin dalga boyutuna göre kurulum mümkün olup, büyük dalga boyutu maliyeti düşürür. Dalyan görevi görerek denizlerdeki balık neslinin çoğalmasına yardım eder. Kurulduğu alan deniz üzerinde olacağı için tarım arazilerine etkisi yoktur. Enerji üretimi sırasında çevreye olumsuz etkisi olan karbondioksit ve atık salınımı azdır. Dalga enerji santrallerinin üzerlerine sosyal tesis, lokanta gibi tesisler kurulabilir. Yeni iş imkanları oluşturacağından ülke ekonomisine olumlu katkısı olacaktır. Dalga enerjisinin dezavantajları şöyle sıralanabilir; dalga enerjisi ile elektrik üretebilmek için her dalga boyuna ayrı ayrı tasarım yapmak gerekir. Standart bir dalga enerji dönüştürücü tipi yoktur. Dalga enerji santralleri kurulum yeri dikkate alınırken gemi güzergâhları, askeri alanlar, soyu tükenmekte olan deniz canlılarının yaşam alanları, balıkların göç yolları dikkate alınmalıdır, ayrıca denizlerin insanların yüzmeye, sörf, su kayağı, dalgıçlık gibi su sporlarını yapmaya geldikleri yerler olduğu dikkate alınmalıdır. Eğer bunlar dikkate alınmazsa denizler insanlar için kamusal miras olduğundan sorunlar ortaya çıkabilir [69].

3. YÖNTEM

3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

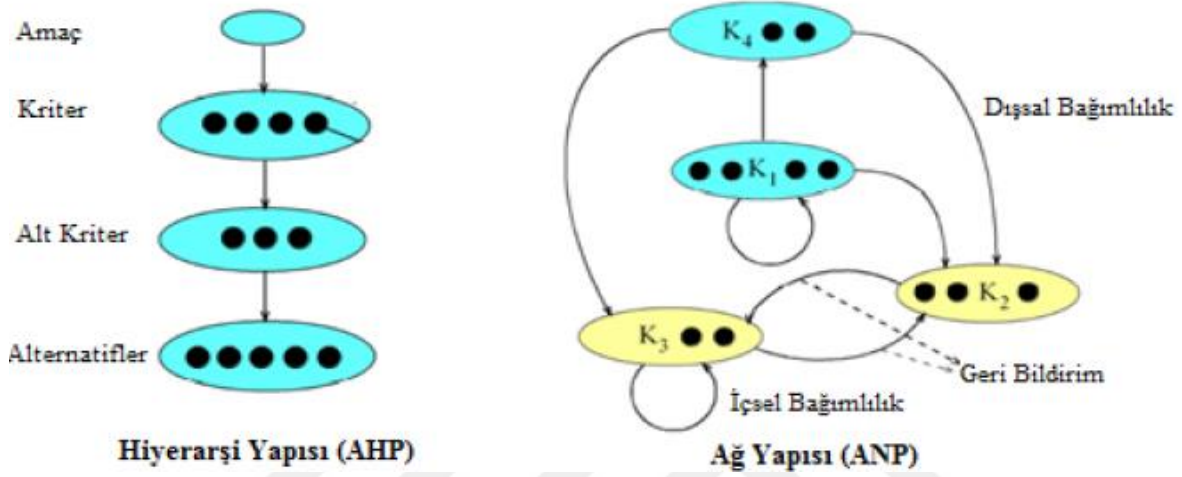
Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, karar verme süreçlerinde birçok kriteri dikkate alarak, en uygun seçeneğin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. ÇKKV yöntemleri başta; AHP ve ANP olmak üzere, bulanık AHP, bulanık ANP, TOPSIS, bulanık TOPSIS, PROMETHEE (Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralama Organizasyonu), MAUT (Çok Nitelikli Karar Verme), GRA (Gri İlişkisel Analiz), MOORA (Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi), VIKOR, ELECTRE (Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi) vb. gibi farklı yöntemlerden oluşmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlükleri bulunduğundan dolayı bir problemin çözümüne başlamadan önce hangi yöntemin daha uygun olacağı belirlenmelidir. Karar verici en uygun yöntemi belirlerken, problemin yapısına ve karar sürecinin özelliklerine bakmalıdır.

Bu yöntemlerden; kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve böylelikle tek bir yöne bağlı modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırarak karar vericilere daha hassas ve tutarlı sonuçlar üreten ANP yöntemi dalga enerji santrali yer seçiminde kullanılmıştır [70]. Bulanık TOPSIS birden fazla karar vericinin çok sayıda kritere göre belirsizlik altında alternatifleri değerlendirerek alternatifleri sıralamasını sağlayan bir yöntemdir ve bu çalışma kapsamında dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçiminde kullanılmıştır.

3.1.1. Analitik ağ süreci (ANP) yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından önerilmiştir. AHP nicel değerlerin yanı sıra nitel değerleri de göz önüne alan bir ÇKKV yöntemidir. AHP'de karar verme problemleri hiyerarşik bir yapıda ve tek yönlü olarak değerlendirilmektedir. Hiyerarşinin en üstünde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt kriterler ve en altında alternatifler bulunmaktadır. Aynı seviyede bulunan kriterler birbirinden bağımsızdır ve kriterlerin birbirlerine olan etkileşimleri karar alma sürecinde göz önüne alınmamaktadır. Ancak gerçek hayatta ortaya çıkan karar verme problemleri birbirleri ile etkileşim içinde olabilir ve her zaman hiyerarşik bir yapıyla ifade edilemezler. En doğru kararın verilebilmesi, karar problemine ait kriterler arasındaki ilişkilerin dikkate

alınmasıyla mümkündür. Bu amaçla geliştirilen ANP’de karar kriterleri arasındaki ilişkiler dikkate alınır ve tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğu ortadan kaldırılır. ANP yönteminde problem Şekil 3.1’de görüldüğü gibi modellenir. Tüm kriter kümelerindeki alt kriterler arasındaki bağımlılıklar ve her kriter kümesindeki alt kriterler arasındaki o kümeye ait içsel bağımlılıklar göz önüne alınmaktadır [71].



Şekil 3.1. AHP ve ANP yöntemlerinin karşılaştırılması [72].

ANP yönteminde kriterlerin modele olan etkilerinin belirlenmesi için kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması gerekmektedir. İkili karşılaştırmalarda Çizelge 3.1’de gösterilen 1-9 ölçeği kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. İkili karşılaştırma 1-9 ölçeği [71].

Değeri	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derece öneme sahip
3	Biraz önemli	Bir kriterin diğerine karşı biraz üstün olduğu durum
5	Fazla önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğerine karşı oldukça üstün sayılmıştır
9	Aşırı derece önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğu çok nettir
2,4,6,8	Ara değerler	Ardışık iki değerlendirme arasındaki ara değerlerdir

3.1.2. Bulanık TOPSIS yöntemi

TOPSIS (İdeal Çözümüne Benzerlikle Tercih Sıralama Tekniği) ÇKKV yöntemlerinden birisidir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. TOPSIS metodu ideal çözüm için gerekli olan yakınlığı bulurken hem pozitif ideal çözüme uzaklığı hem de negatif ideal çözüme uzaklığı hesaba katar. Bu uzaklıkların karşılaştırılması ile tercih sıralaması yapılır. Farklı dilsel değerlendirmeler yapmak, ağırlıkları oluşturmak ve en iyi seçime karar vermek için çok kriterli bir bulanık karar verme yöntemine ihtiyaç duyulur. Bulanık TOPSIS yönteminde kriterlerin bulanık önem ağırlıkları $\tilde{w}_j; j=1,2,\dots,$ (ölçüt sayısı (n)) ve kriterdeki bulanık alternatifler $(\tilde{x}_{ij}, i=1,2,\dots,(m),$ alternatiflerin alternatif derecelendirme kriterleri $j=1, 2,..$ kriter sayısı (n)) girdilerdir ve matris biçiminde yerleştirilir. TOPSIS aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [73].

Adım 1: Girişlerin karar matrisinde ifade edilmesi:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & K & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & K & \tilde{x}_{2n} \\ M & M & O & M \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & K & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1.)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \Lambda, \tilde{w}_n] \quad (3.2.)$$

Adım 2: Normalleştirilmiş bulanık karar matrisinin hesaplanması \tilde{R} :

$$\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij} \right]_{m \times n} \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad \tilde{r}_{ij} \quad (3.3.)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}^-}{u_j^+}, \frac{m_{ij}^-}{u_j^+}, \frac{u_{ij}^-}{u_j^+} \right) \quad u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad \tilde{r}_{ij} \quad (3.4.)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{m_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{l_{ij}^-} \right) \quad l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (3.5.)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize karar matrisinin hesaplanması \tilde{V} :

$$\tilde{V} = \left[\tilde{v}_{ij} \right]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.6.)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.7.)$$

Adım 4: Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS) tanımlanması:

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (3.8.)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (3.9.)$$

$$\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1) \quad \tilde{v}_j^- = (0, 0, 0), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.10.)$$

Adım 5: Alternatiflere ait FPIS ve FNIS hesaplanması:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.11.)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.12.)$$

Adım 6: Alternatifin yakınlığının hesaplanması:

$$C_i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.13.)$$

$$0 \leq C_i \leq 1 \quad (3.14.)$$

Adım 7: Tercih sırasının sıralanması C_i 'ye göre belirlenir.

4. BULGULAR

4.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Dalga Enerjisi Santrali Kurulum Yeri Ve Dönüştürücü (Santral) Tipi Seçimi

Bu tezde, dalga enerji santrali kurulum yeri ve bu yere kurulacak dönüştürücü tipinin belirlenmesi için iki aşamalı çok kriterli karar verme yapısı oluşturulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemleri olarak ANP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri seçilmiştir. ANP, kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve böylelikle tek bir yöne bağlı modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırarak karar vericilere daha hassas ve tutarlı sonuçlar üreten bir yöntemdir. Bulanık TOPSIS ise birden fazla karar vericinin çok sayıda kritere göre belirsizlik altında alternatifleri değerlendirerek alternatifleri sıralamasına dolayısıyla da seçime yönelik kararını doğru vermesine yardımcı olan bir yöntemdir. Bu yöntemler sahip oldukları avantajlar nedeniyle bu tez kapsamında kullanılmıştır.

Yer alternatifleri olarak Türkiye'nin dalga enerji potansiyeli yüksek olan Karadeniz sahillerinde yer alan 5 şehir belirlenmiş ve ANP yöntemi kullanılarak en uygun yer seçimi çalışması yapılmıştır. İkinci aşamada ise bu yere kurulacak en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

4.1.1. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi

Ülkemizin üç tarafı denizlerle çevrilidir. Kıyı uzunluğu dikkate alındığında tüm kıyılarına dalga enerji santrali kurmak mümkündür. Burada en önemli olan en uygun yerin tespit edilmesidir. En uygun yeri tespit etmek için 4 ana kriter ve bu ana kriterlerin alt kriterleri tespit edilerek dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modeli oluşturulmuştur. Yer seçimi için oluşturulan modelde yer alan kriterlerin birbirini etkilemesi amacıyla ve iç etkileşimlerinin olması nedeniyle kriterler arası etkileşimleri de dikkate alan ANP yöntemi dalga enerjisi santrali için en uygun kurulum yerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Dalga enerji santrali kurulum yeri seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler

Dalgalardan sürekli ve ekonomik enerji elde etmek için santralin kurulacağı en uygun yerin tespit edilmesi gerekir. Uygun bölgelerden olan Marmara Denizi'nde deniz trafiğinin yoğun olması nedeniyle dalga enerjisinden yararlanılamamaktadır [37].

Karadeniz'in coğrafi özelliği bakımından iç deniz olması, liman sayısı, sahil şeridinin uzun olması ve çok az kısmının turizm potansiyeli açısından kullanılması ve nüfusun kıyı kesiminde yoğunlaşmasından dolayı üretilen elektriğin iletimi ve müşteri potansiyeli fazladığından Karadeniz Bölgesi dalga enerji santrali kurulabilecek en uygun yerlerden biri olarak değerlendirilmiştir. Turizm potansiyelinin yüksek olduğu bir yere dalga enerji santrali kurulacak olursa, elektrik enerjisi üretimi sağlanırken diğer taraftan turizm potansiyeli olumsuz yönden etkileneceğinden ülkemiz önemli ölçüde turist potansiyelini kaybederek ekonomik olarak etkilenecektir. Turizm potansiyeli yüksek yerlerde dalga çiftliklerinin kurulması daha uygundur. Yer seçiminde dikkat edilmesi gereken temel özellikler vardır. Bu özelliklerin en başında dalga enerji potansiyelinin olması gelir, ancak potansiyelin olması tek başına yeterli değildir. Yatırım maliyetleri, bölgenin yöresel meteorolojik şartları, enerji talebi, üretilen enerjinin iletimi, çevresel özellikleri gibi etkiler de dikkate alınmalıdır.

Teknik özellikler

Dalga gücü denklem 4.1'den anlaşılacağı üzere; deniz suyunun yoğunluğu (ρ), yerçekimi ivmesi (g), belirgin dalga yüksekliği (H_s) ve enerji periyodu (T_e) parametrelerine bağlıdır. Dalga gücünden elektrik üretimi için yer seçiminde en önemli olan etken teknik potansiyele sahip olmasıdır. Teknik potansiyeli yoksa ne kadar ekonomik veya çevre dostu olursa olsun dalga enerji santrali kurulamaz. Bu çalışmada Karadeniz için deniz suyunun yoğunluğu $\rho = 1015 \text{ kg/m}^3$ ve yer çekimi ivmesi $g=9,81 \text{ N/kg}$ alınarak dalga gücü denklem 4.2 kullanılarak hesaplanır. Bu denklemden anlaşılacağı üzere dalga gücü H_s ve T_e 'ye bağlıdır. Dalga gücü; belirgin dalga yüksekliğinin karesi ve enerji periyodu ile doğru orantılıdır [33]. Belirgin dalga yüksekliği ve enerji periyodu rüzgar hızına bağlıdır, bu nedenle rüzgar hızındaki değişimler doğrudan dalga gücünü etkiler.

Bazı dalga santrallerinin türbinlerine ilave olarak rüzgar türbinleri de eklenerek ürettikleri enerji miktarı arttırılmıştır. Bu tip dalga santrallerinde rüzgar hızındaki değişim doğrudan dalga enerjisi santralının enerji üretimini etkileyecektir [74].

Ekonomik özellikler

Ekonomik özellikler; enerji iletimi maliyeti, tesisinin kurulacağı yer maliyeti ve iş gücü maliyetidir. Enerji iletimi maliyeti, üretilen enerjinin müşterilere nakli sırasında oluşan maliyettir. Trafo merkezlerine ve enerji nakil hatlarına yakınlık dikkat edilmesi gereken hususlardır. Ayrıca kıyıya yakın veya kıyıdan uzakta yer seçimi yapılırsa üretilen enerjinin iletiminde özel olarak tasarlanmış denizaltı kabloları kullanılmalıdır. Bu kablolar tasarlanırken deniz altındaki basınç, sıcaklık, deniz suyunun özelliği ve deniz zemini dikkate alınarak tasarlandığı için oldukça maliyetlidir [65]. Tesisin kurulacağı yer fiyatı da dikkat edilmesi gereken hususlardan birdir. Dalga enerji santralleri kıyıda, kıyıya yakın ve kıyıdan uzaktan olmak üzere üç tipte kurulur. Kıyıda kurulacak tesisin yeri satın alınmak veya kiralanmak suretiyle temin edilir. Kurulacak dalga enerji santralının yer bedeli tarım arazisi, imar arazisi veya hazine arazisi olmasına göre fiyat farklılığı gösterir. Kıyıya yakın veya kıyıdan uzakta kurulacak tesis için yer kiralama bedeli ödenir. Deniz sahilleri ve deniz kamu malı olup ancak kiralamak suretiyle dalga santralının kurulacağı yer temin edilir. İş gücü maliyeti; mühendislik, proje ve işçi maliyetini içerir. Deniz yüzeyine kurulacak dalga santrali yer seçiminde özellikle malzeme nakli ve personel nakli maliyeti arttıracaktır.

Konum özellikleri

Konum özellikleri; tesise ulaşım türü, deniz zemini ve doğal afet etkisidir. Yer seçiminde tesisin kurulacağı yerin konumu önemlidir. Tesisin konum itibari ile kolay ulaşılabilir olması veya ulaşım araçlarına yakın olması gerekmektedir. Özellikle limanlara yakın olması gerekmektedir. Limana yakınlık malzeme ve personel naklinde etkilidir, ancak deniz trafiği de dikkate alınarak yer seçimi yapılmalıdır. Özellikle deniz yüzeyine veya tabanına kurulacak santral için yer seçiminde deniz zemini önemlidir. Deniz zemini batimetri ile tespit edilir. Batimetri denizdeki derinlik dağılımıdır, yani deniz tabanının düz olup olmadığı veya dik yamaçlara sahip olup olmadığı hakkında bilgi verir. Yer seçiminde

o yerin bir batimetri haritasının çıkarmak fayda sağlayacaktır. Seçilecek yerin doğal afetlere karşı risk analizi yapılır. Bu doğal afetler deprem, heyelan, sel ve fırtına v.b olabilir. Seçilen yerin yapılan risk analizine göre oluşabilecek doğal afete karşı tedbirler alınmalıdır [75].

Çevresel özellikler

Seçilen yerin çevresel özellikleri olarak manzara kirliliğine, deniz ekosistemine, çevre kirliliğine ve sosyo-kültürel (plaj, su sporları, balıkçılık) etkisi dikkate alınmalıdır. Deniz manzarası insanlar tarafından kamusal miras kabul edilir ve insanlar kamusal mirasa sahip çıkarlar, görüntü kirliliğinin olmaması istenir. Kurulacak dalga enerji santrallerinin çevre kirliliği etkisi oldukça azdır ancak kıyıya kurulacak olan Salınlı Su Kolonu dalga enerji dönüştürücüsünde hava ile çalışan Wells tipi türbin kullanıldığı için gürültü etkisi olacaktır. Gürültü etkisini asgari seviyede tutmak için tesiste gerekli yalıtımlar yapılarak bunun önüne geçilebilir. Soyu tükenmekte olan türlerin yaşam alanları, deniz memelilerin ve balıkların yaşam alanları ve göç yolları dikkate alınmalıdır. Geleneksel olarak tüm denizlerde balıkçılık yapılır ve balıkçılık gerek ticari gerekse hobi olarak yapılmaktadır. Balık popülasyonunun yoğun olduğu ve balıkçı teknelerin güzergahları, yüzme, sörf, su altı dalgıçlığı ve yelkenli gibi su sporlarının yapıldığı yerler ile insanların yüzmeye ve çeşitli aktiviteler yapmaya geldiği plajlar kurulacak santral seçiminde dikkate alınmalıdır [75].

Dalga enerji santrali kurulum yeri alternatiflerinin belirlenmesi

Bu tezde Karadeniz Bölgesinde kurulacak dalga enerji santrali için en uygun yer seçimi çalışması yapılmıştır. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçenekleri olarak Sinop, Samsun, Ordu, Giresun ve Trabzon illeri seçilmiştir (Bkz. Şekil 4.1). Bu illerin dalga enerjisi potansiyelleri yüksektir. Sanayi bölgesinde olmalarından dolayı kurulumu aşamasında malzeme temini ve eleman temini rahatlıkla karşılanabilecektir. Sahip oldukları limanlar sayesinde istenilen yerde imal edilen dalga enerji dönüştürücüsünün nakli ve kurulumu kolaylıkla sağlanabilecektir. Bu iller nüfus yoğunluğunun kıyı şeridinde yakın yerlerde toplanması nedeniyle yüksek müşteri potansiyeline sahip olduklarından dolayı seçilmiştir.

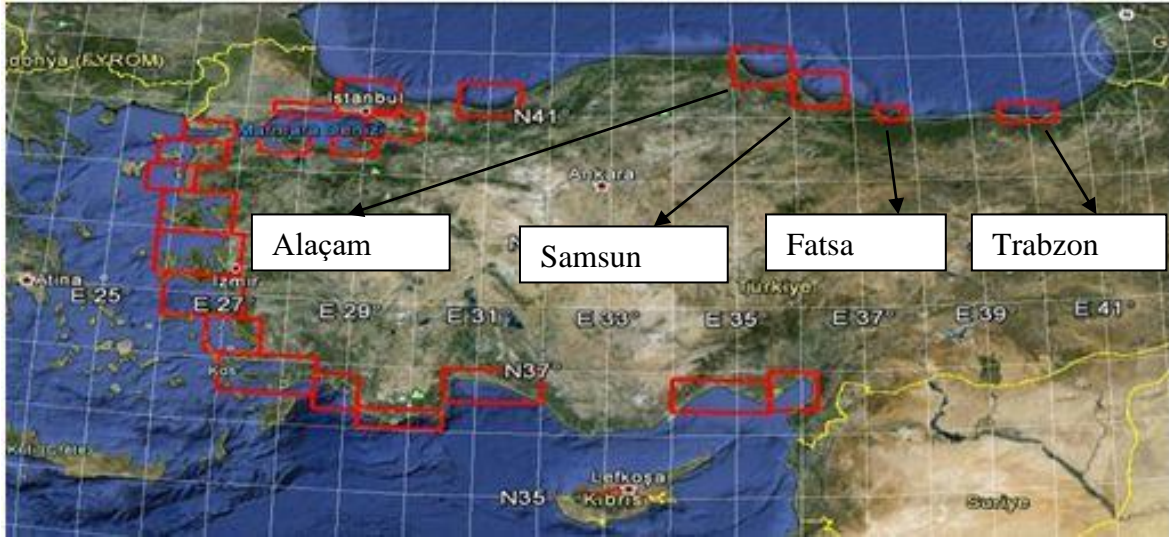


Şekil 4.1. Türkiye haritası

Karadeniz Bölgesi'nin yaklaşık kıyı uzunluğu 1500 km'dir. Karadeniz Bölgesi; Batı Karadeniz, Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Dalga enerjisi potansiyelini değerlendirilmesinde, sanayi ve liman bakımından en uygun yerin Doğu Karadeniz bölümü olduğu değerlendirildiğinden bu bölümde bulunan Sinop, Samsun, Ordu, Giresun ve Trabzon illeri dalga enerji santralının kurulacağı yer seçimi çalışması için seçilmiştir.

Kriter değerlerinin belirlenmesi

SWAN dalga tahmin modelinde Karadeniz bölgesinde bulunan bu illeri kapsayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 4 adet meteorolojik ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu meteorolojik istasyonlar; Alaçam Koyu, Samsun Koyu, Fatsa Koyu ve Trabzon Koyu istasyonlarıdır (Bkz. Şekil 4.2). Bu koylardan rüzgar yön ve şiddeti, dalga yüksekliği ve yönü, dalga periyodu ile ilgili veriler elde edilmektedir. Bu verilere göre dalga enerjisi potansiyeli hesaplaması yapılabilmektedir.



Şekil 4.2. SWAN dalga modeli ölçüm istasyonları [61].

SWAN dalga tahmin modeli kullanılarak hesaplanan yıllık dalga enerjisi potansiyeli; Sinop 9841 MWh/m yıl, Ordu 6153 MWh/m yıl, Giresun 5518 MWh/m yıl, Trabzon 6036 MWh/m yıl ve Samsun 4592 MWh/m yıl olarak hesaplanmıştır. Bu illerden dalga enerjisi potansiyeli en fazla olan il 9841 MWh/m yıl ile Sinop ilidir [33].

Çizelge 4.1. SWAN modeli ile elde edilen dalga enerjisi değerleri [33].

Kriter	Yer Adı				
	Sinop	Samsun	Ordu	Giresun	Trabzon
Ortalama Belirgin					
Dalga Yüksekliği (m)	0,533±0,442	0,399±0,316	0,403±0,365	0,384±0,348	0,414±0,372
Maksimum Belirgin					
Dalga Yüksekliği (m)	4,566	4,295	4,614	4,619	4,186
Ortalama Dalga					
Gücü (kW/m)	1,123	0,524	0,702	0,629	0,689
Maksimum Dalga					
Gücü (kW/m)	83,664	73,333	93,412	97,638	72,031

Enerji periyodu (T_e) aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$T_e = \frac{P}{0,486.H_s^2} \quad s \quad (4.1.)$$

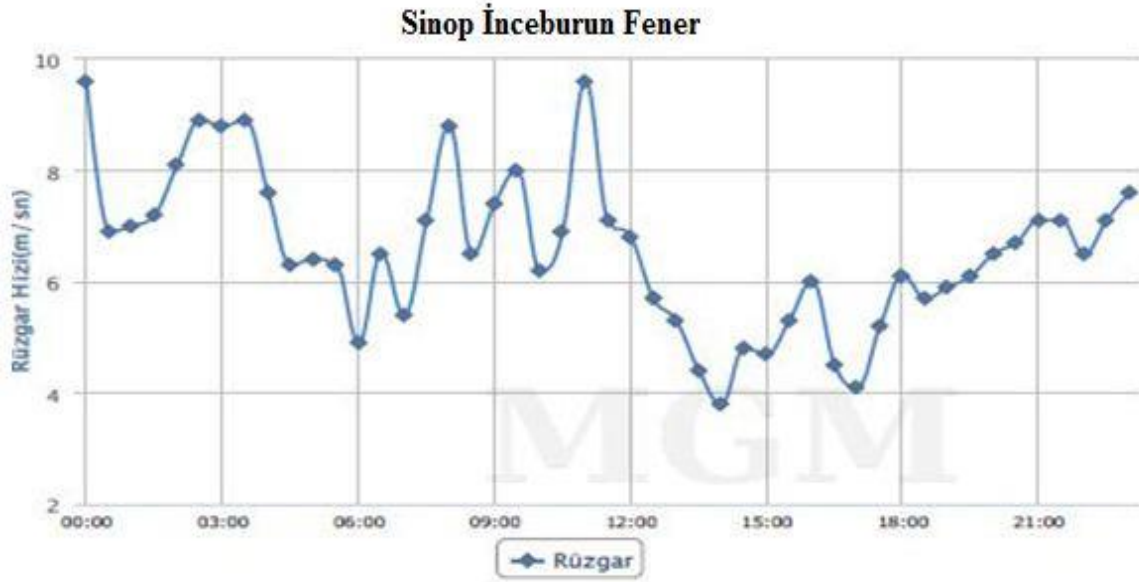
Çizelge 4.1'deki değerler dikkate alınarak ortalama dalga gücü ve ortalama belirgin dalga yüksekliği değerleri için ortalama enerji periyotları hesaplanırsa Sinop ili için $T=8,134s$, Samsun ili için $T=6,773s$, Ordu ili için $T=8,894s$, Giresun ili için $T=8,777s$ ve Trabzon ili için $T=8,272s$, değerleri elde edilir.

Rüzgar hızını hesaplamak için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait deniz otomatik gözlem istasyonlarından faydalanılmıştır (Bkz. Şekil 4.3). Sinop için 17456 kod nolu $42^{\circ}05'52''$ N enleminde, $34^{\circ}56'43''$ E boylamında bulunan 30 metre yüksekliğinde beton kuleden yapılmış Sinop İnceburun Fener'inden, Samsun için 17459 kod nolu $41^{\circ}18'37''$ N enleminde, $36^{\circ}21'21''$ E boylamında bulunan 15 metre yüksekliğinde beton kuleden yapılmış Samsun Liman Kuzey Mendirek Fener'inden, Ordu için 17461 kod nolu $41^{\circ}08'09''$ N enleminde, $37^{\circ}40'57''$ E boylamında bulunan 12 metre yüksekliğinde saç kuleden yapılmış Yasonburnu Fener'inden, Giresun için 17462 kod nolu $40^{\circ}57'14''$ N enleminde, $38^{\circ}09'00''$ E boylamında bulunan 30 metre yüksekliğinde saç kuleden yapılmış Pirazizburnu Fener'inden ve Trabzon için 17463 kod nolu $41^{\circ}06'26''$ N enleminde, $39^{\circ}06'26''$ E boylamında bulunan 25 metre yüksekliğinde beton kuleden yapılmış Işıklı Yaroz Fener'lerine ait rüzgar hızı ölçüm verileri kullanılmıştır [61].

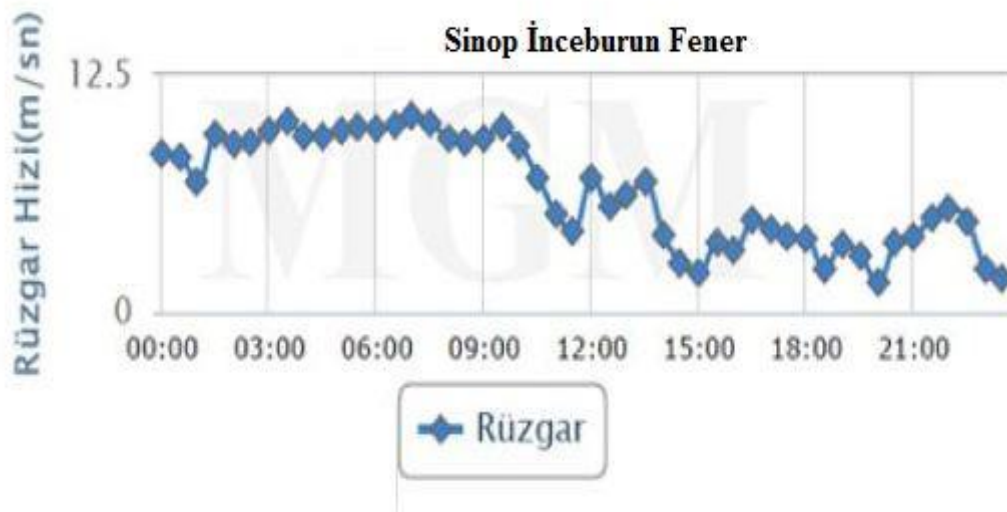


Şekil 4.3. Deniz otomatik meteorolojik gözlem istasyonları [61].

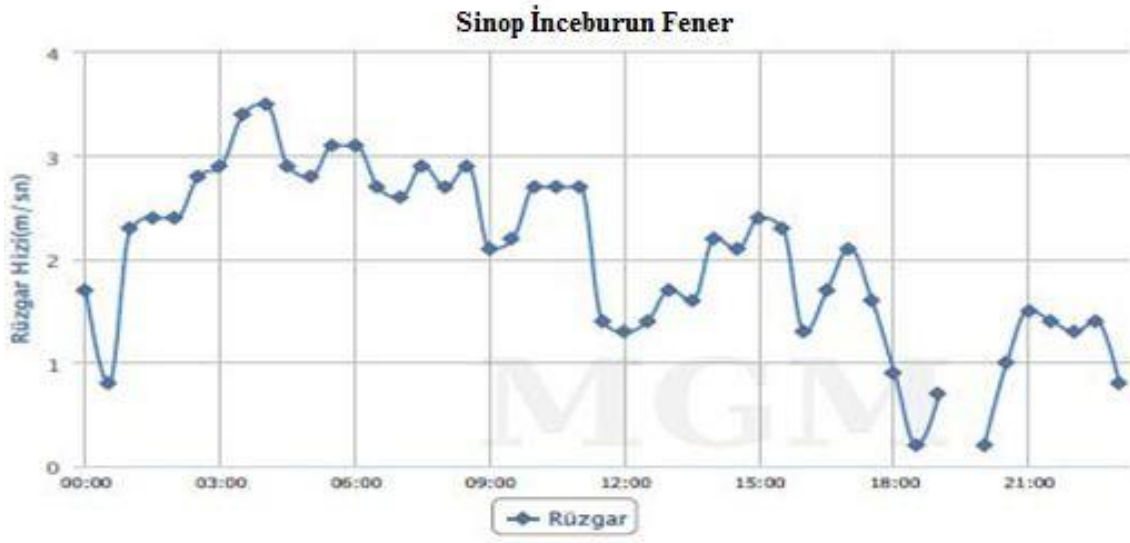
Bu illere ait 26 Ocak 2017 saat: 00.00 ile 01 Şubat 2017 saat: 23.00 arası elde edilen rüzgar hızı değişim grafikleri günlük olarak Şekil 4.4 – Şekil 4.38 arasında verilmektedir.



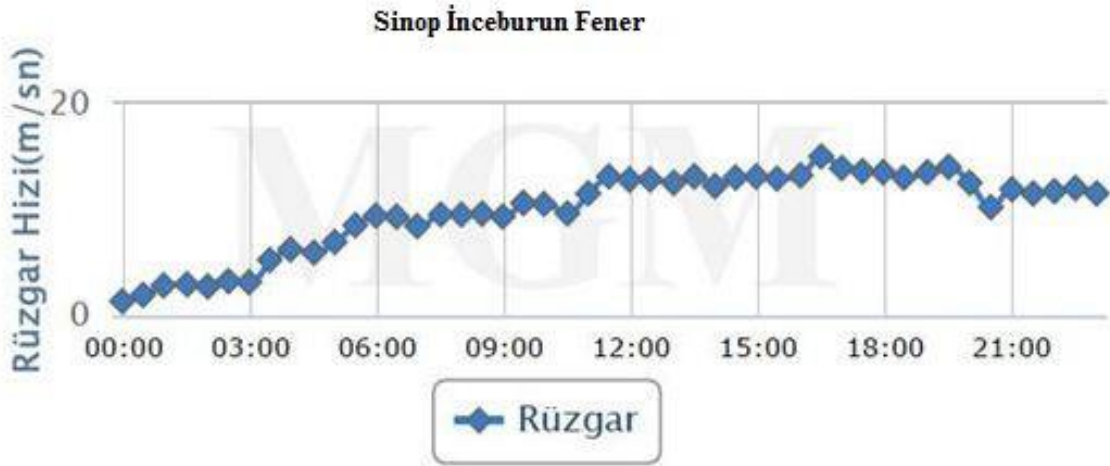
Şekil 4.4. Sinop ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



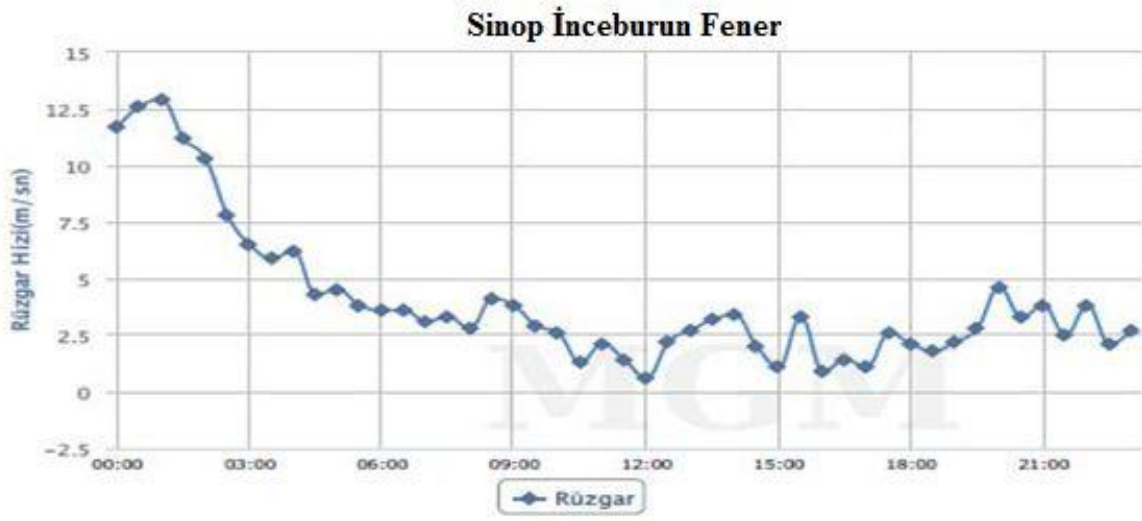
Şekil 4.5. Sinop ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



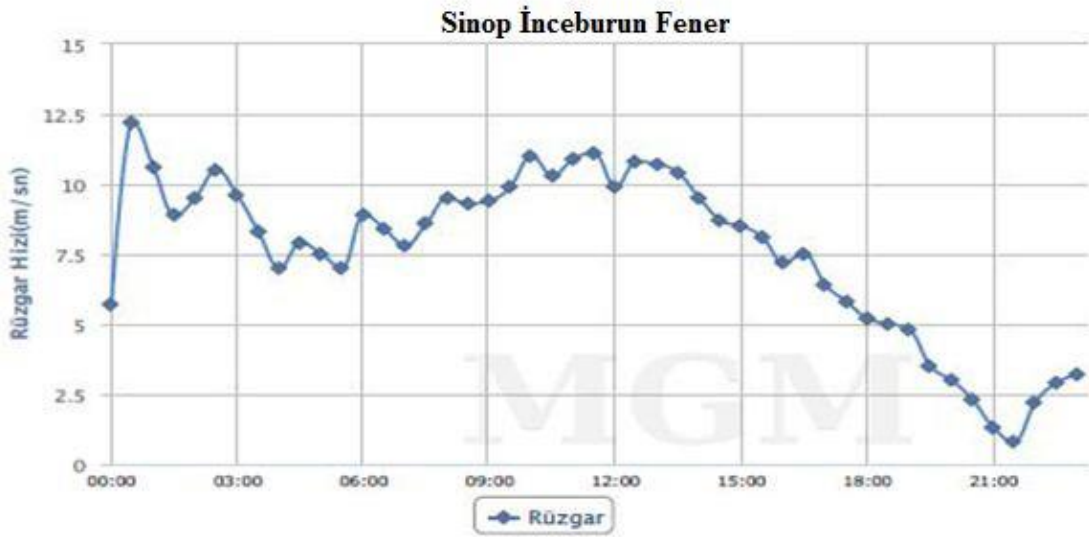
Şekil 4.6. Sinop ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



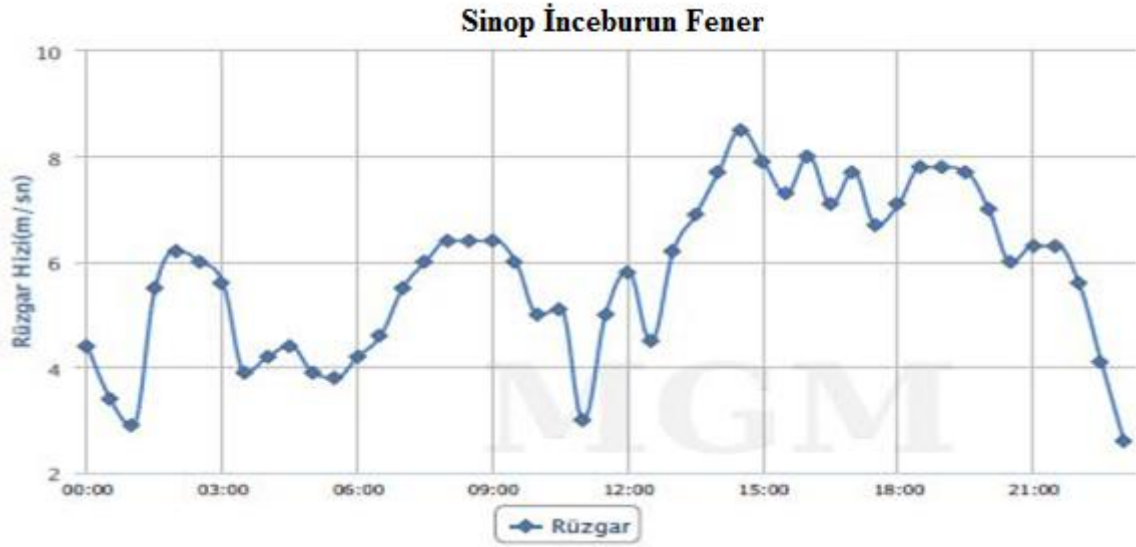
Şekil 4.7. Sinop ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



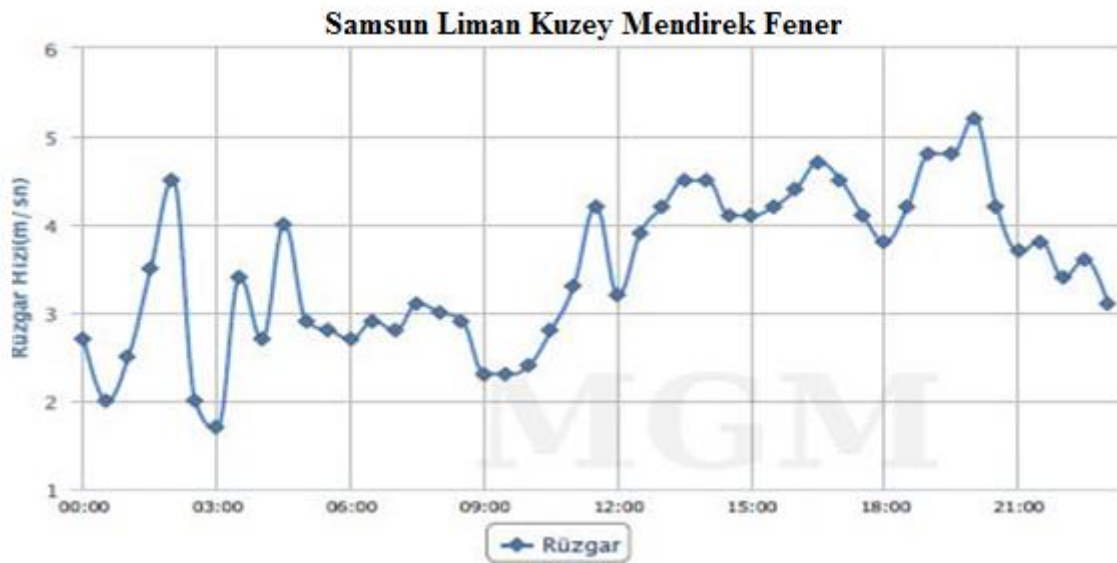
Şekil 4.8. Sinop ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



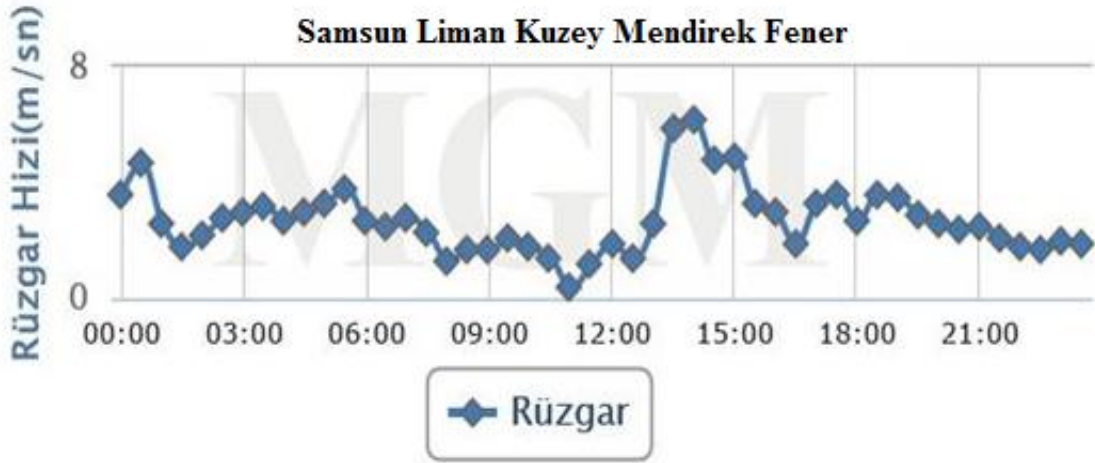
Şekil 4.9. Sinop ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



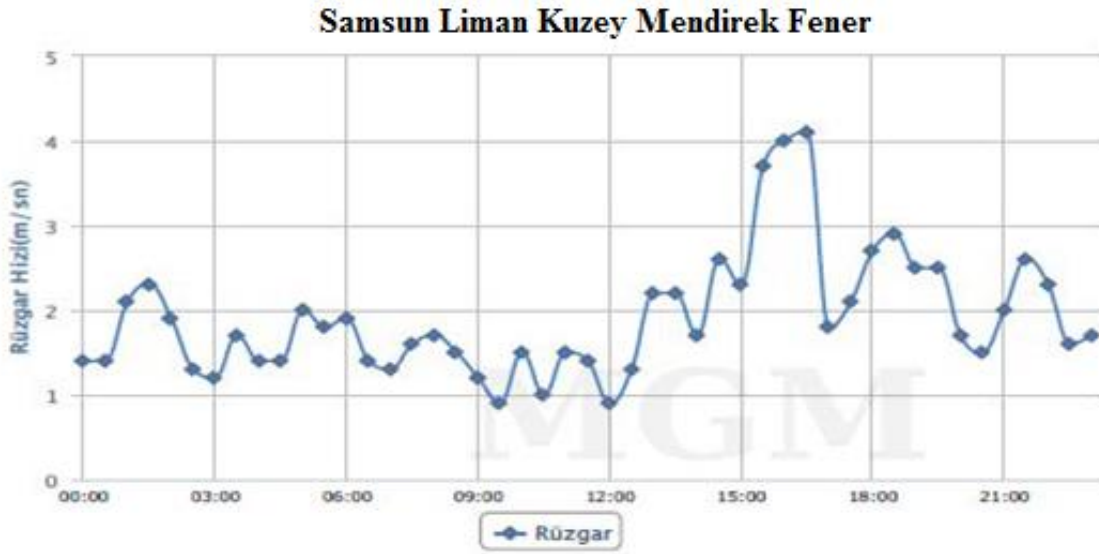
Şekil 4.10. Sinop ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



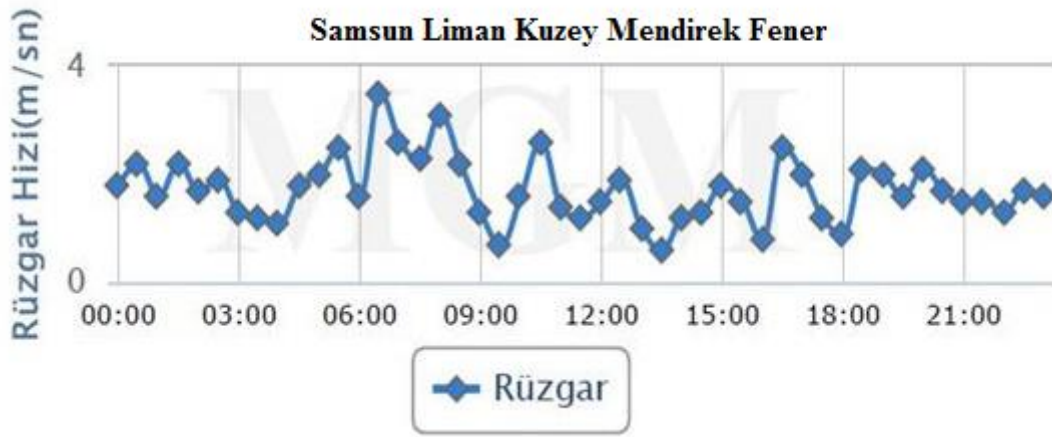
Şekil 4.11. Samsun ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



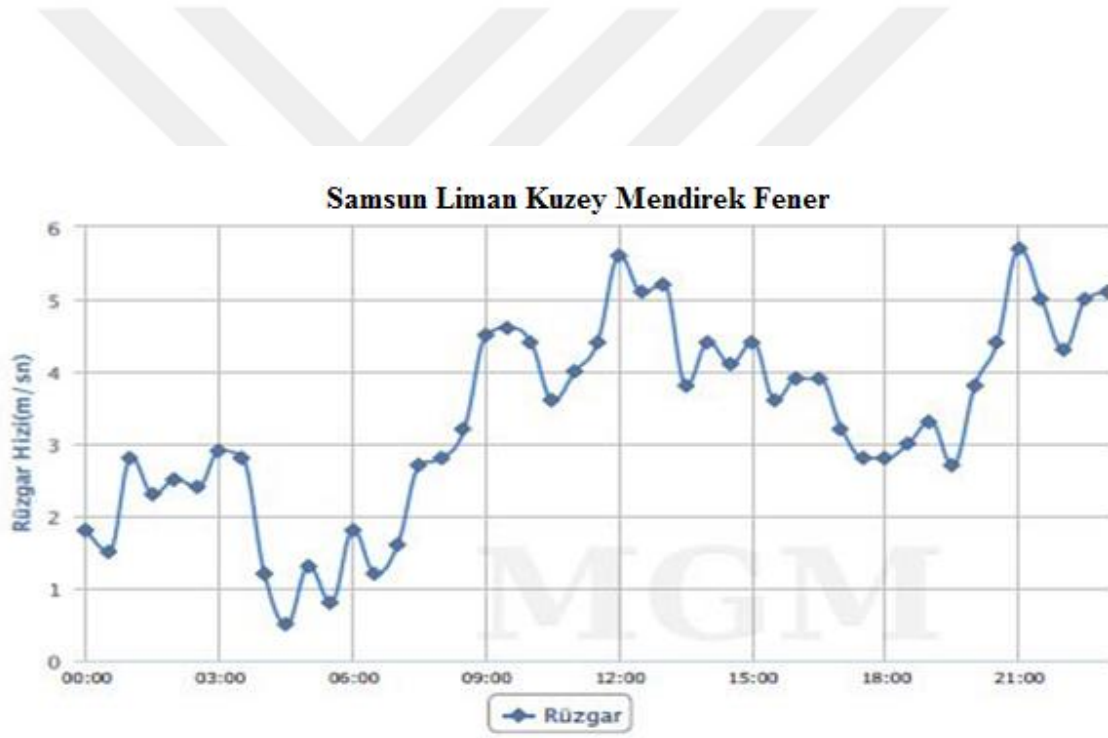
Şekil 4.12. Samsun ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



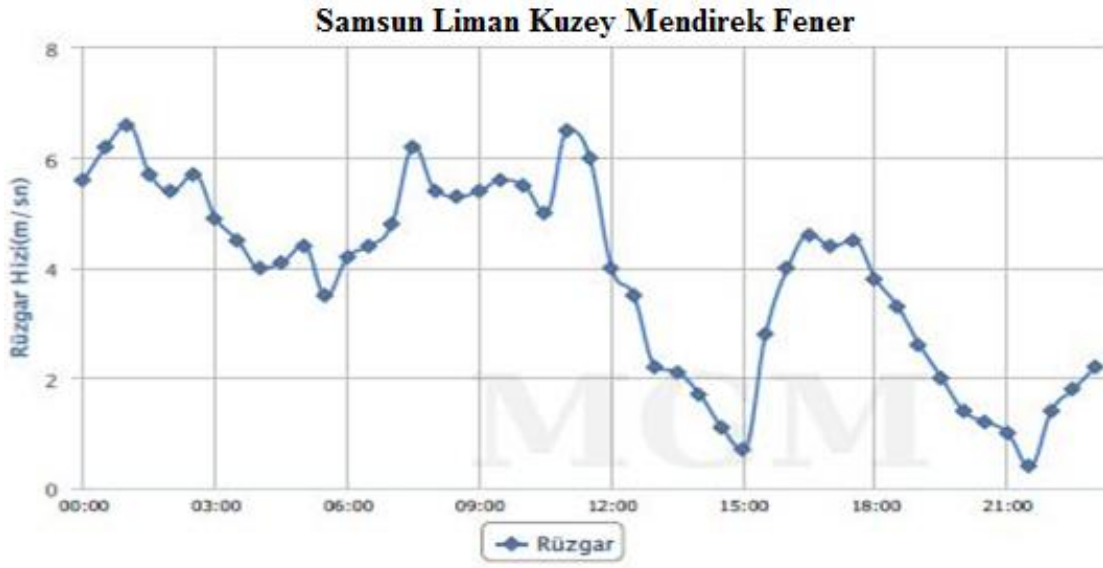
Şekil 4.13. Samsun ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



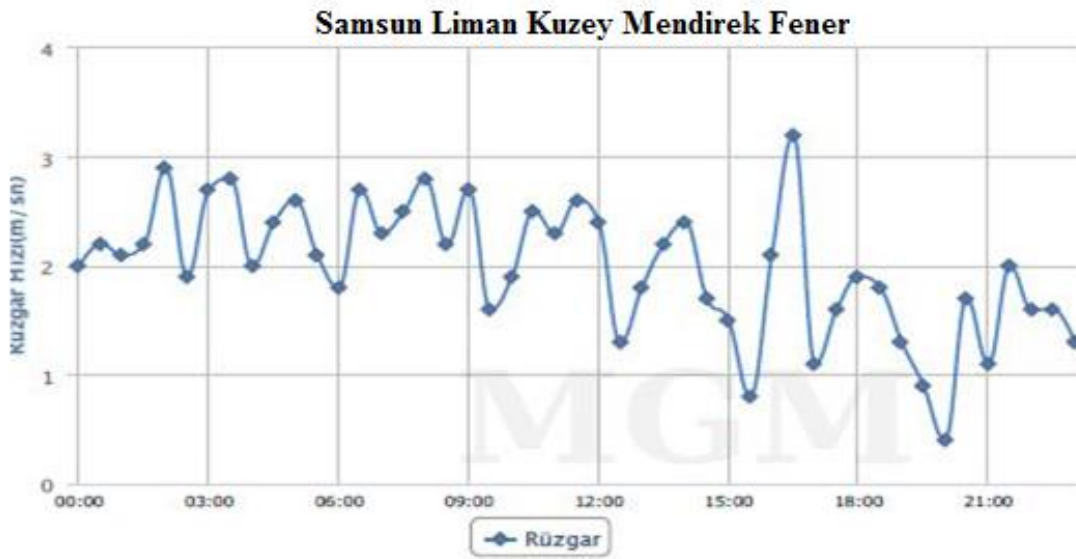
Şekil 4.14. Samsun ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



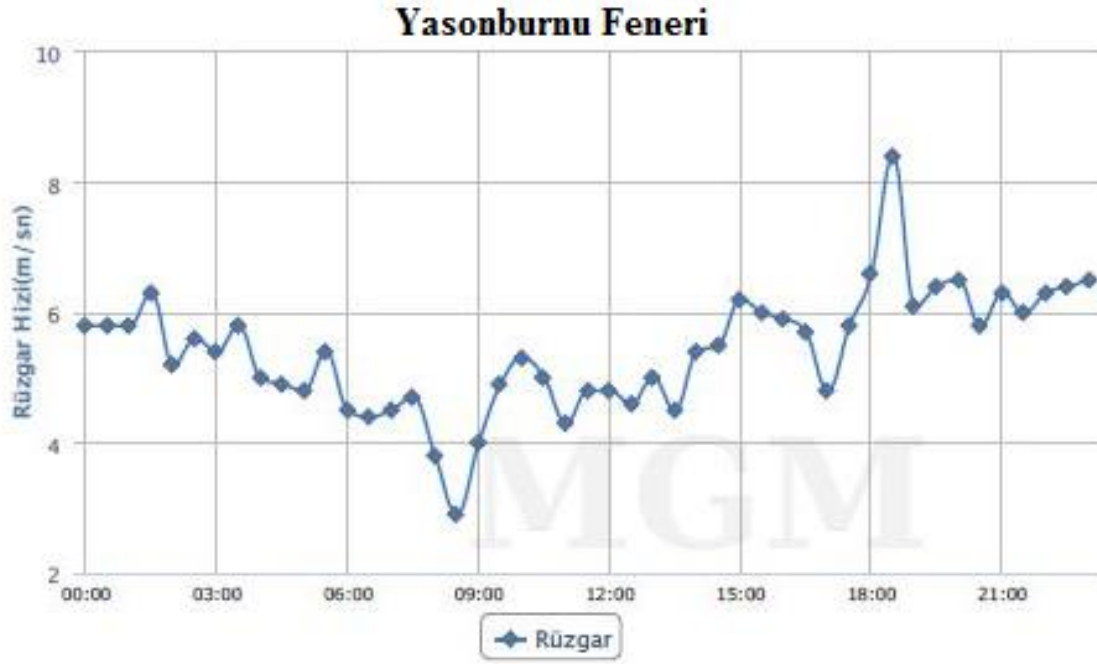
Şekil 4.15. Samsun ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



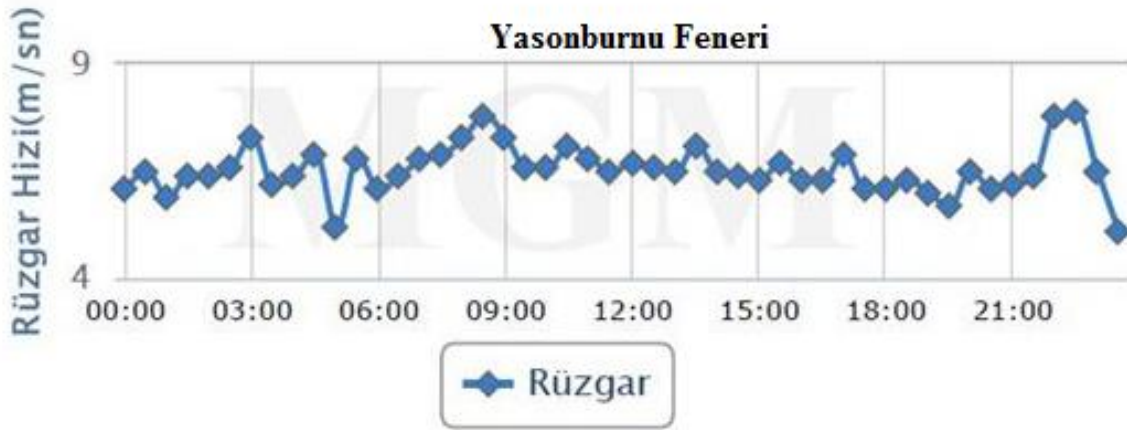
Şekil 4.16. Samsun ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



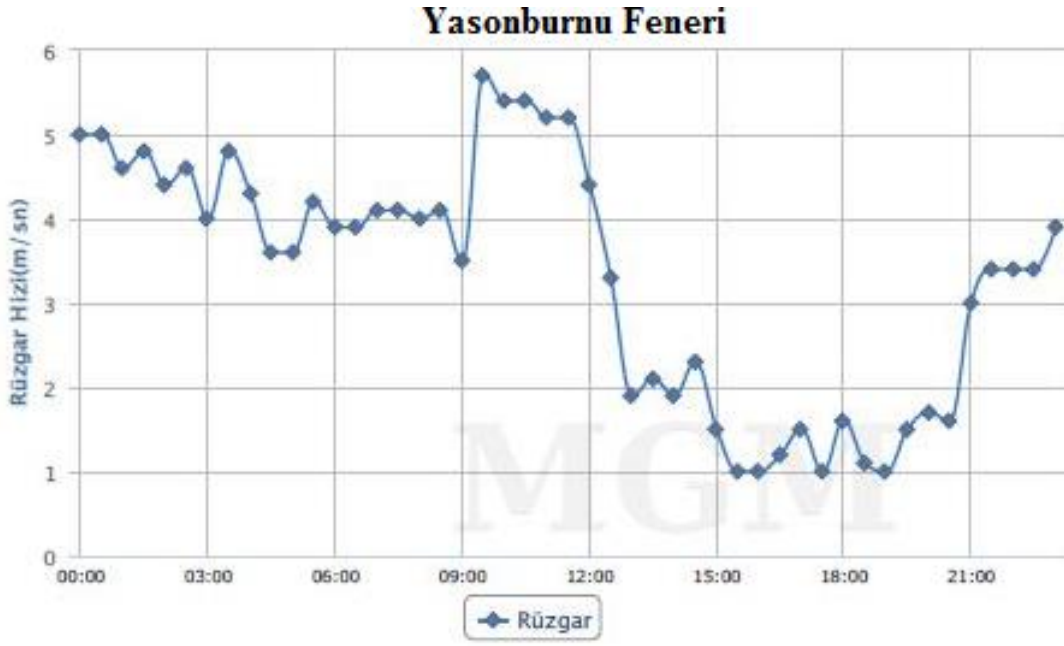
Şekil 4.17. Samsun ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



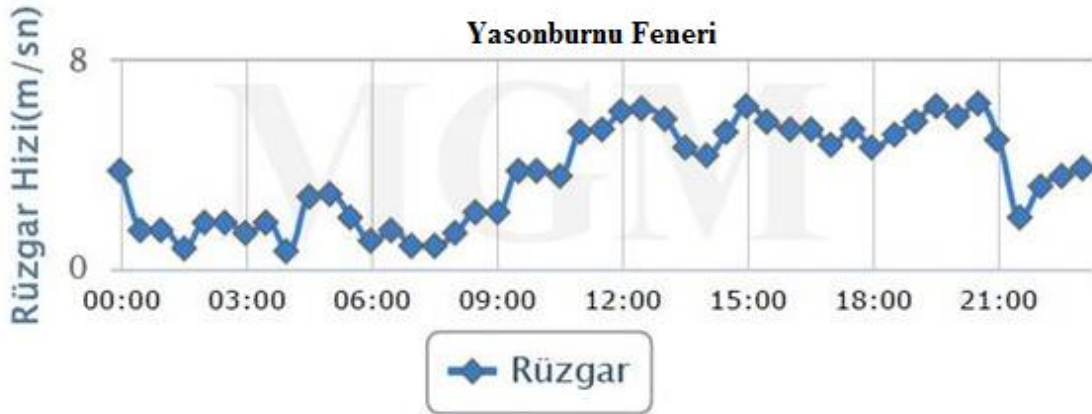
Şekil 4.18. Ordu ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



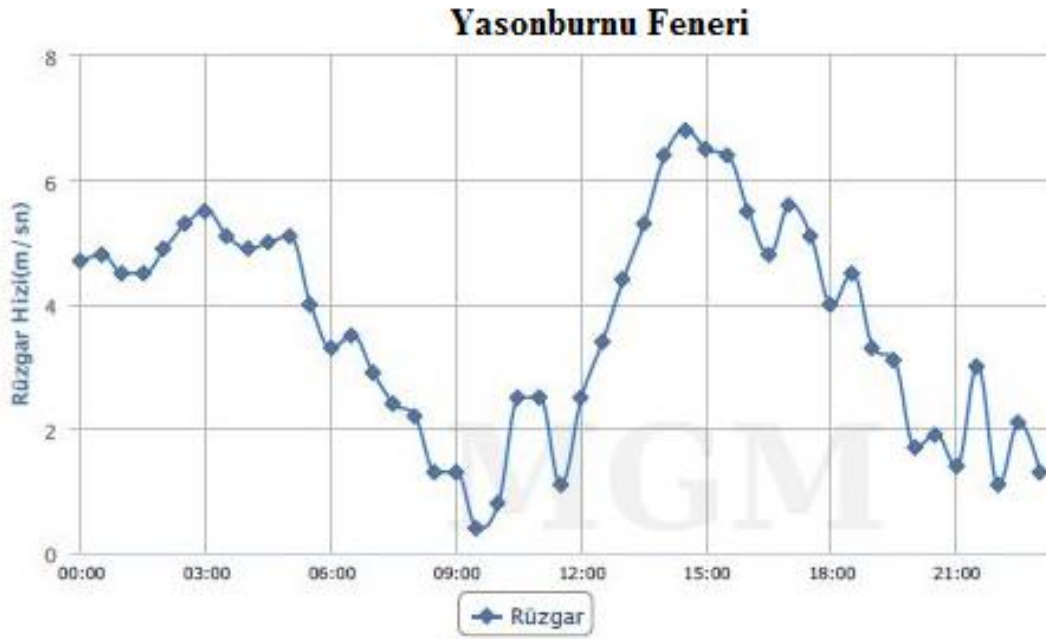
Şekil 4.19. Ordu ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



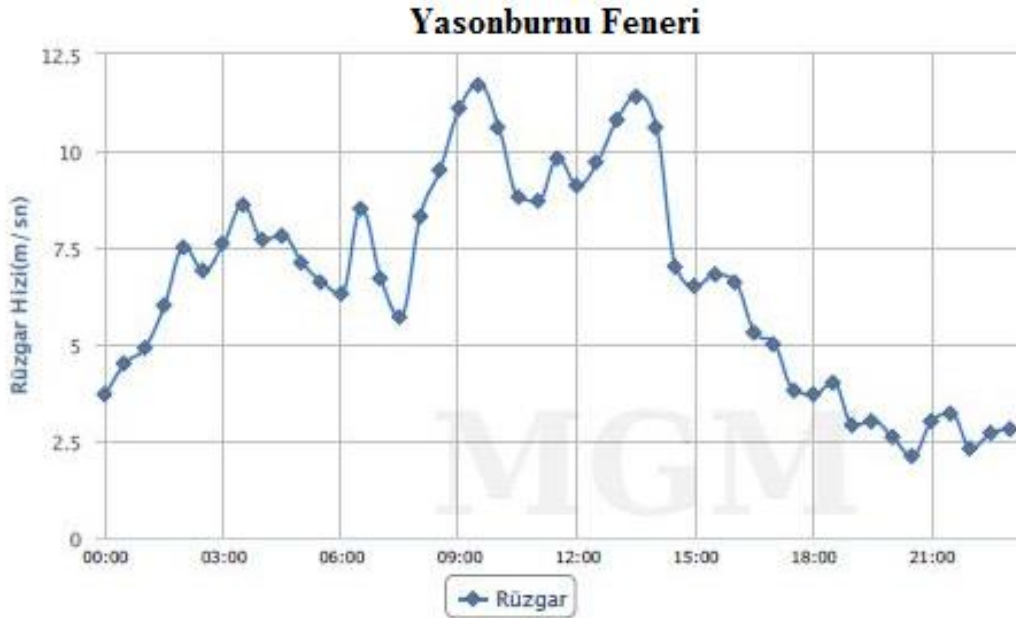
Şekil 4.20. Ordu ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



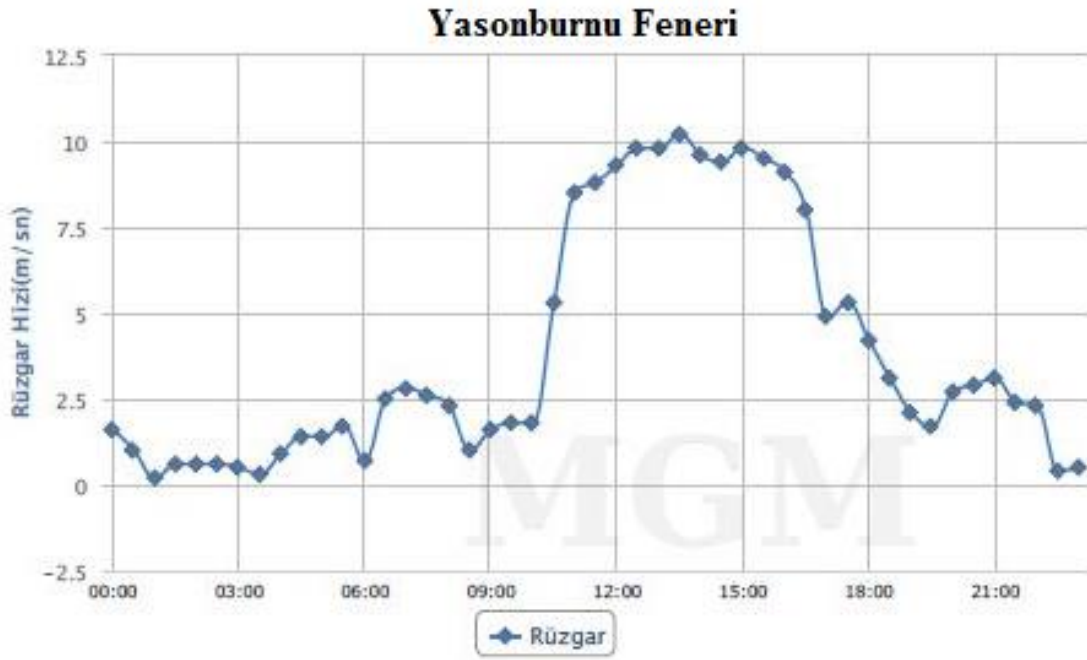
Şekil 4.21. Ordu ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.22. Ordu ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



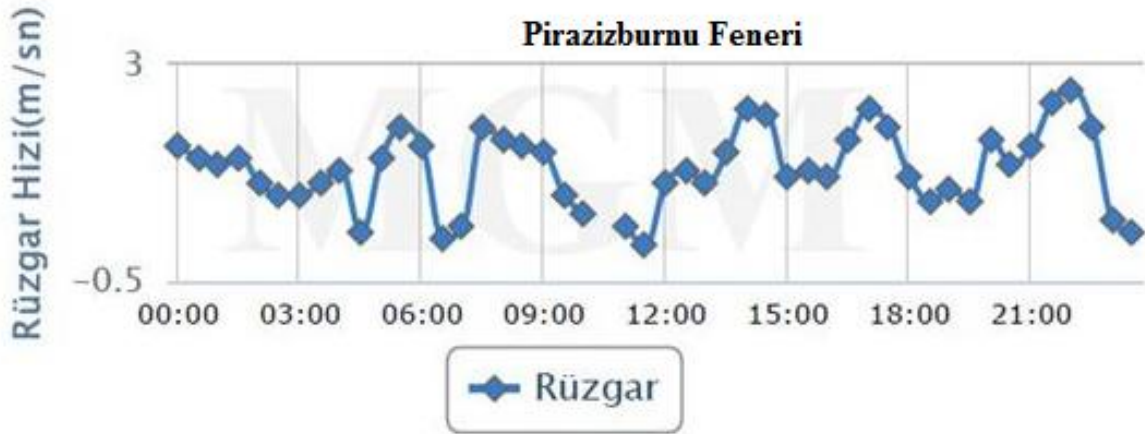
Şekil 4.23. Ordu ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



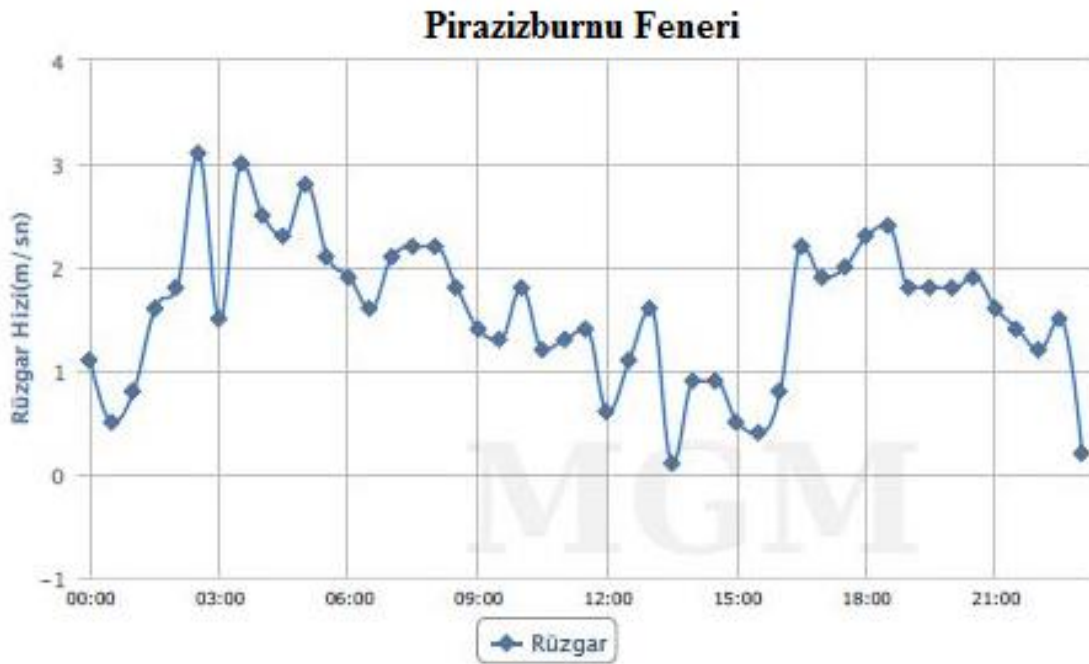
Şekil 4.24. Ordu ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



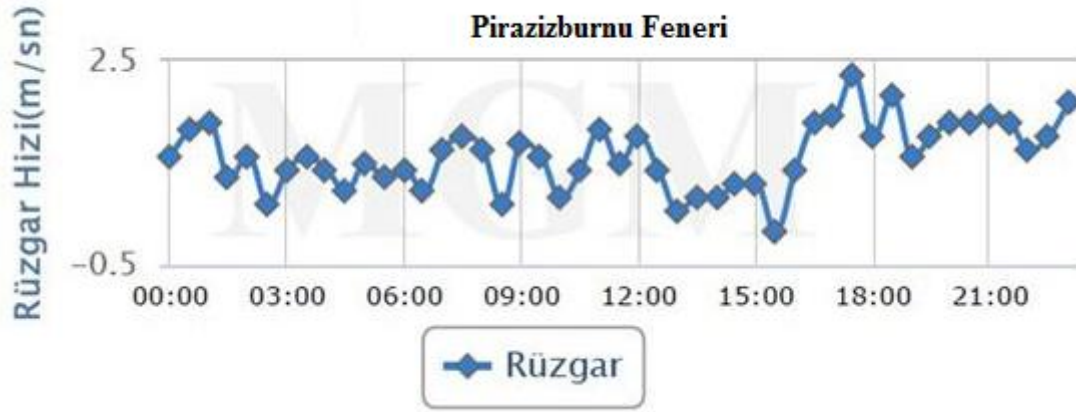
Şekil 4.25. Giresun ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.26. Giresun ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



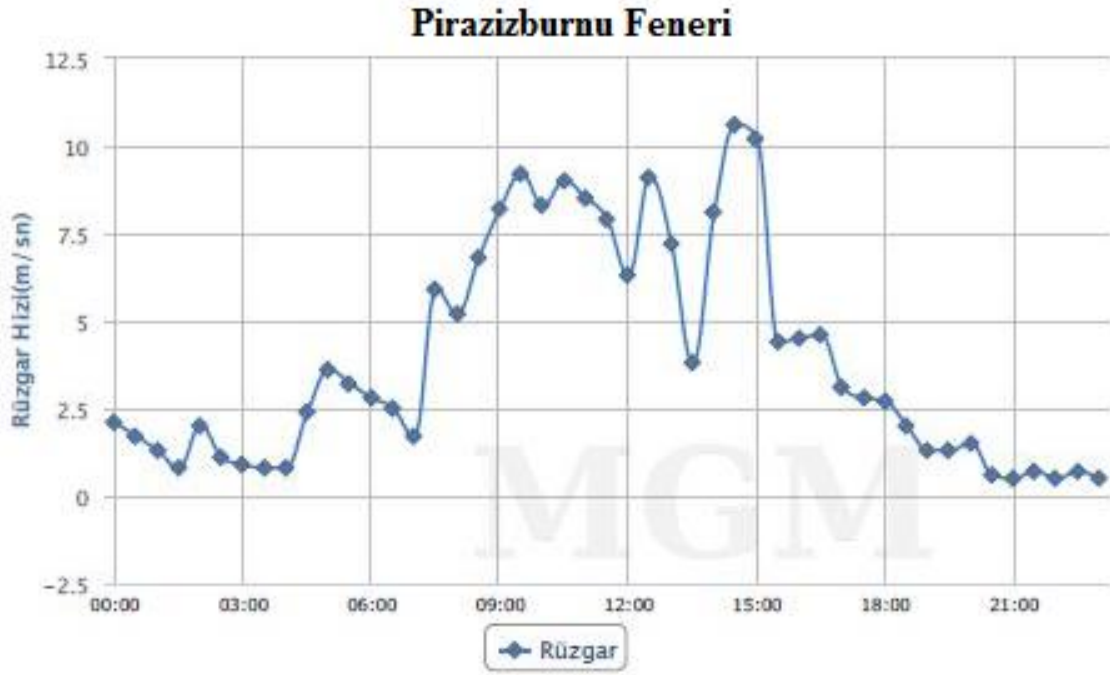
Şekil 4.27. Giresun ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



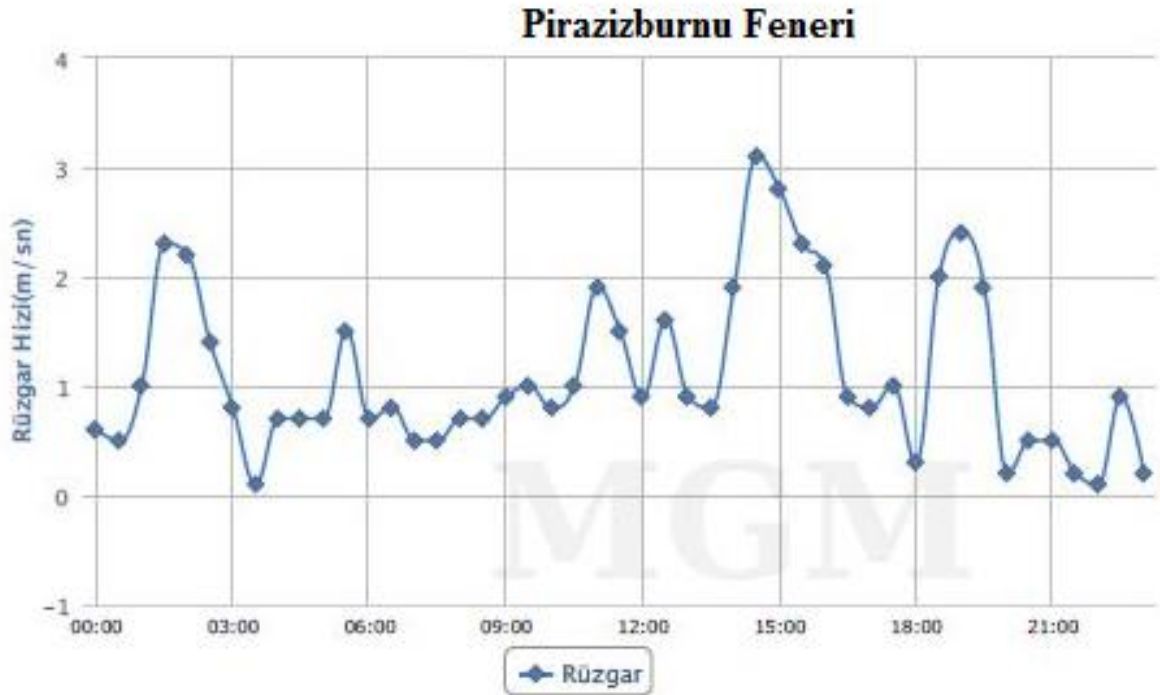
Şekil 4.28. Giresun ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.29. Giresun ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



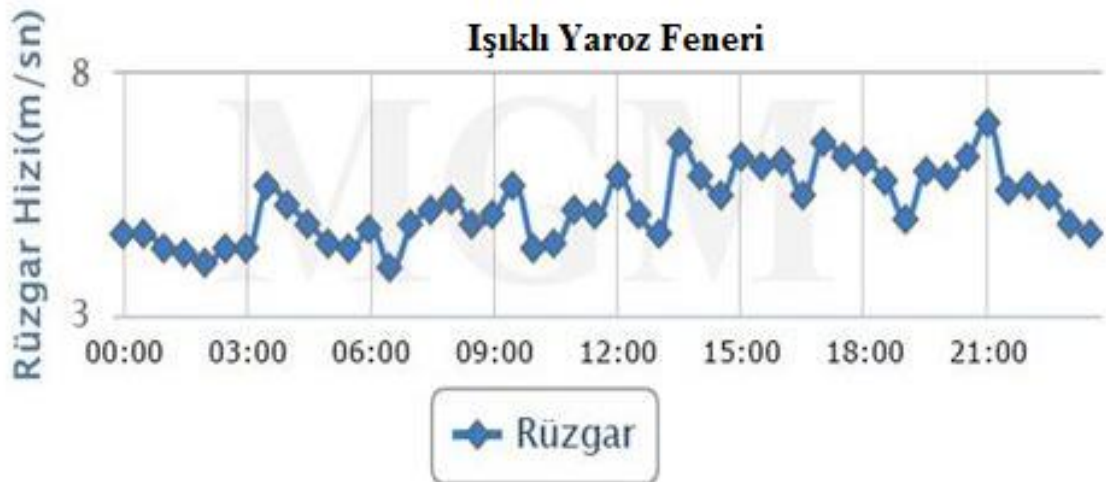
Şekil 4.30. Giresun ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.31. Giresun ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



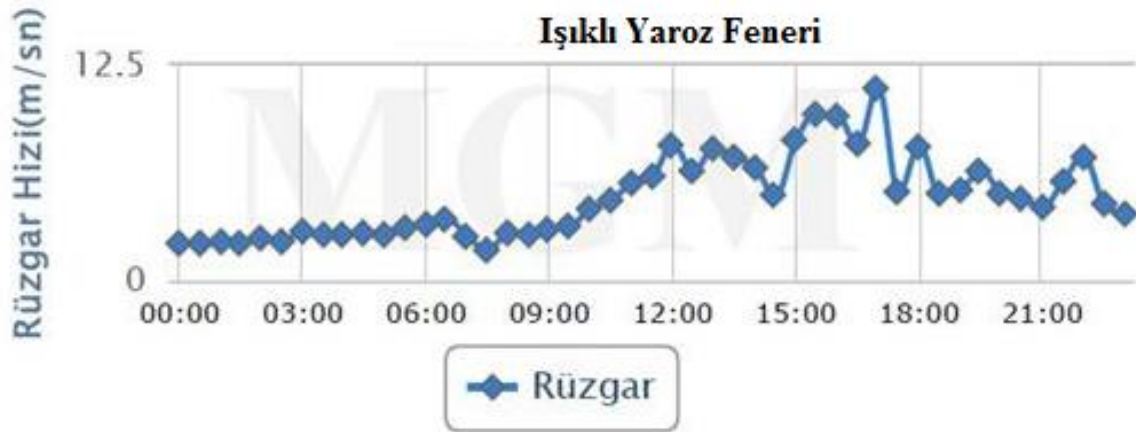
Şekil 4.32. Trabzon ili 26.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.33. Trabzon ili 27.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.34. Trabzon ili 28.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.35. Trabzon ili 29.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.36. Trabzon ili 30.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.37. Trabzon ili 31.01.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].



Şekil 4.38. Trabzon ili 01.02.2018 günü rüzgar hızı değişim grafiği [61].

Rüzgar hızı değişim grafiklerinden faydalanılarak Sinop, Samsun, Ordu, Giresun ve Trabzon illerine ait rüzgar hızı ölçüm tablosu Çizelge 4.2-Çizelge 4.6 arasındaki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2. Sinop ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları

SİNOP

Tarih	26.01.2018	27.01.2018	28.01.2018	29.01.2018	30.01.2018	31.01.2018	01.02.2018
Saat	Rüzgar Hızı (m/s)						
00:00	9,6	8,4	1,7	1,4	11,7	5,7	4,4
01:00	7	6,9	2,3	2,8	12,9	10,6	2,9
02:00	8,1	8,9	2,4	2,9	10,3	9,5	6,2
03:00	8,8	9,6	2,9	3,2	6,5	9,6	5,6
04:00	7,6	9,3	3,5	6,3	6,2	7	4,2
05:00	6,4	9,6	2,8	7	4,5	7,5	3,9
06:00	4,9	9,7	3,1	9,5	3,6	8,9	4,2
07:00	5,4	10,2	2,6	8,5	3,1	7,8	5,5
08:00	8,8	9,2	2,7	9,6	2,8	9,5	6,4
09:00	7,4	9,2	2,1	9,4	3,8	9,4	6,4
10:00	6,2	8,8	2,7	10,6	2,6	11	5
11:00	9,6	5,2	2,7	11,6	2,1	10,9	3
12:00	6,8	7,1	1,3	12,9	0,6	9,9	5,8
13:00	5,3	6,2	1,7	12,6	2,7	10,7	6,2
14:00	3,8	4,1	2,2	12,3	3,4	9,5	7,7
15:00	4,7	2,1	2,4	13,2	1,1	8,5	7,9
16:00	6	3,3	1,3	13,3	0,9	7,2	8
17:00	4,1	4,4	2,1	14	1,1	6,4	7,7
18:00	6,1	3,9	0,9	13,6	2,1	5,2	7,1
19:00	5,9	3,6	0,7	13,6	2,2	4,8	7,8
20:00	6,5	1,6	0,2	12,6	4,6	3	7
21:00	7,1	5,5	1,5	12	3,8	1,3	6,3
22:00	6,5	5,5	1,3	11,8	3,8	2,2	5,6
23:00	7,6	2,3	0,8	11,6	2,7	3,2	2,6
TOPLAM	160,2	154,6	74	239,5	99,1	179,3	137,4

Aritmetik Ortalama 6,214 m/s

Çizelge 4.3. Samsun ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları

SAMSUN

Tarih	26.01.2018	27.01.2018	28.01.2018	29.01.2018	30.01.2018	31.01.2018	01.02.2018
Saat	Rüzgar Hızı (m/s)						
00:00	2,7	3,6	1,4	1,8	1,8	5,6	2
01:00	2,5	2,6	2,1	1,6	2,8	6,6	2,1
02:00	4,5	2,2	1,9	1,7	2,5	5,4	2,9
03:00	1,7	3	1,2	1,3	2,9	4,9	2,7
04:00	2,7	2,7	1,4	1,1	1,2	4	2
05:00	2,9	3,3	2	2	1,3	4,4	2,6
06:00	2,7	2,7	1,9	1,6	1,8	4,2	1,8
07:00	2,8	2,8	1,3	2,6	1,6	4,8	2,3
08:00	3	1,3	1,7	3,1	2,8	5,4	2,8
09:00	2,3	1,7	1,2	1,3	4,5	5,4	2,7
10:00	2,4	1,8	1,5	1,6	4,4	5,5	1,9
11:00	3,3	0,4	1,5	1,4	4	6,5	2,3
12:00	3,2	1,9	0,9	1,5	5,6	4	2,4
13:00	4,2	2,6	2,1	1	5,2	2,2	1,8
14:00	4,5	6,2	1,6	1,2	4,4	1,7	2,4
15:00	4,1	4,9	2,3	1,8	4,4	0,7	1,5
16:00	4,4	3	4	0,8	3,9	4	2,1
17:00	4,5	3,3	1,8	2	3,2	4,4	1,1
18:00	3,8	2,7	2,7	0,9	2,8	3,8	1,9
19:00	4,8	3,5	2,5	2	3,3	2,6	1,3
20:00	5,2	2,6	1,7	2,1	3,8	1,4	0,4
21:00	3,7	2,5	2	1,5	5,7	1	1,1
22:00	3,4	1,8	2,3	1,3	4,3	1,4	1,6
23:00	3,1	2	1,7	1,6	5,1	2,2	1,3
TOPLAM	82,4	65,1	44,7	38,8	83,3	92,1	47

Aritmetik Ortalama 2,698 m/s

Çizelge 4.4. Ordu ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları

ORDU

Tarih	26.01.2018	27.01.2018	28.01.2018	29.01.2018	30.01.2018	31.01.2018	01.02.2018
Saat	Rüzgar Hızı (m/s)						
00:00	5,8	6,1	5	3,8	4,7	3,7	1,6
01:00	5,8	5,9	4,6	1,5	4,5	4,9	0,2
02:00	5,2	6,4	4,4	1,8	4,9	7,5	0,6
03:00	5,4	7,3	4	1,4	5,5	7,6	0,5
04:00	5	6,4	4,3	0,7	4,9	7,7	0,9
05:00	4,8	5,2	3,6	2,9	5,1	7,1	1,4
06:00	4,5	6,1	3,9	1,1	3,3	6,3	0,7
07:00	4,5	6,8	4,1	0,9	2,9	6,7	2,8
08:00	3,8	7,3	4	1,4	2,2	8,3	2,3
09:00	4	7,3	3,5	2,2	1,3	11,1	1,6
10:00	5,3	6,6	5,4	3,8	0,8	10,6	1,8
11:00	4,3	6,8	5,2	5,3	2,5	8,7	8,5
12:00	4,8	6,7	4,4	6,1	2,5	9,1	9,3
13:00	5	6,5	1,9	5,8	4,4	10,8	9,8
14:00	5,4	6,5	1,9	4,4	6,4	10,6	9,6
15:00	6,2	6,3	1,5	6,3	6,5	6,5	9,8
16:00	5,9	6,3	1	5,4	5,5	6,6	9,1
17:00	4,8	6,9	1,5	4,8	5,6	5	4,9
18:00	6,6	6,1	1,6	4,7	4	3,7	4,2
19:00	6,1	6	1	5,7	3,3	2,9	2,1
20:00	6,5	6,5	1,7	5,9	1,7	2,6	2,7
21:00	6,3	6,2	3	5	1,5	3	3,1
22:00	6,3	7,8	3,4	3,2	1,1	2,3	2,3
23:00	6,5	6,4	3,9	3,9	1,3	2,8	0,5
TOPLAM	128,8	156,5	78,8	88	86,3	156,1	90,3

Aritmetik Ortalama 4,671 m/s

Çizelge 4.5. Giresun ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları

GİRESUN

Tarih	26.01.2018	27.01.2018	28.01.2018	29.01.2018	30.01.2018	31.01.2018	01.02.2018
Saat	Rüzgar Hızı (m/s)						
00:00	1,6	1,7	1,1	1,1	1,8	2,1	0,6
01:00	0,8	1,4	0,8	1,6	1,2	1,3	1
02:00	1,4	1,1	1,8	1,1	1,5	2	2,2
03:00	1,6	0,9	1,5	0,9	1,5	0,9	0,8
04:00	1,6	1,3	2,5	0,9	2,9	0,8	0,7
05:00	1,5	1,5	2,8	1	2,2	3,6	0,7
06:00	1,9	1,7	1,9	0,9	0,4	2,8	0,7
07:00	2,9	0,4	2,1	1,2	0,1	1,7	0,5
08:00	1,2	1,8	2,2	1,2	0,7	5,2	0,7
09:00	1,4	1,6	1,4	1,3	0,5	8,2	0,9
10:00	1,8	0,6	1,8	0,5	1	8,3	0,8
11:00	1,2	0,4	1,3	1,5	1,8	8,5	1,9
12:00	1	1,1	0,6	1,4	3,2	6,3	0,9
13:00	1,1	1,1	1,7	0,3	4,3	7,2	0,9
14:00	1,4	2,3	0,9	0,5	2,9	8,1	1,9
15:00	1,6	1,2	0,5	0,7	2,9	10,2	2,8
16:00	1,3	1,2	0,8	0,9	3,3	4,5	2,1
17:00	1	2,3	1,9	1,7	4	3,1	0,8
18:00	1,5	1,2	2,3	1,4	1	2,7	0,3
19:00	1,4	1	1,8	1,1	1,2	1,3	2,4
20:00	0,8	1,8	1,8	1,6	0,5	1,5	0,2
21:00	1,1	1,7	1,6	1,7	1,1	0,5	0,5
22:00	1,2	2,6	1,2	1,2	1,3	0,5	0,1
23:00	1,4	0,5	0,2	1,9	0,7	0,5	0,2
TOPLAM	33,7	32,4	37,5	27,6	42	91,8	23,6

Aritmetik Ortalama 1,717 m/s

Çizelge 4.6. Trabzon ili rüzgar hızı ölçüm sonuçları

TRABZON

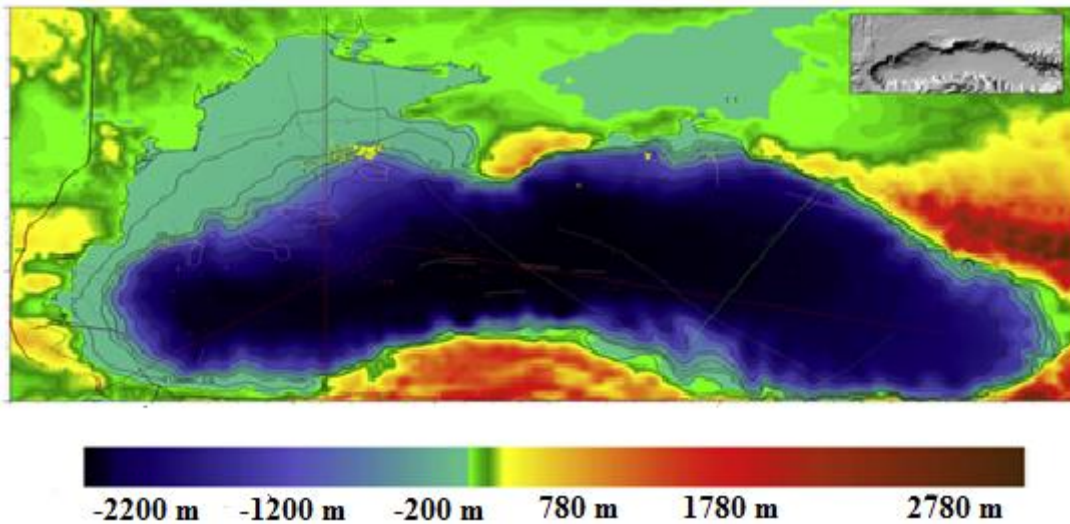
Tarih	26.01.2018	27.01.2018	28.01.2018	29.01.2018	30.01.2018	31.01.2018	01.02.2018
Saat	Rüzgar Hızı (m/s)						
00:00	3,4	4,7	6,4	2,2	4,9	1,2	1,3
01:00	4	4,4	4,9	2,3	4,9	1,2	1,7
02:00	4	4,1	5,4	2,5	7,3	2,2	1,3
03:00	3,3	4,4	5,8	2,9	3,8	3	0,9
04:00	3,3	5,3	5,7	2,7	5,9	1,8	1
05:00	4,2	4,5	6,1	2,7	5	5	1,2
06:00	4,2	4,8	5,7	3,3	10,3	4,9	0,6
07:00	3,8	4,9	6,2	2,6	1,9	4,7	0,2
08:00	3,5	5,4	5	2,8	3,1	5,1	2,1
09:00	4,1	5,1	5	3	4	6,9	3,2
10:00	4,3	4,4	5,4	4,2	3,1	10,6	5,4
11:00	4,7	5,2	4,8	5,7	2,6	14,1	9,3
12:00	4	5,9	7	7,9	2,8	14,3	9,2
13:00	5,1	4,7	7,7	7,7	4	12,1	12
14:00	4	5,9	8,3	6,6	5,4	7,8	12,5
15:00	4,7	6,3	4,5	8,2	5,4	12,3	12,1
16:00	4,2	6,2	4,3	9,6	5,4	8,6	9,9
17:00	5,6	6,6	5,7	11,2	3,7	7,1	9,3
18:00	4	6,2	4,4	7,8	3	6,6	8,4
19:00	4,5	5	2,7	5,3	1,6	6,5	5,1
20:00	4,6	5,9	3,1	5,1	1,5	4,8	5,2
21:00	4,7	7	2,8	4,3	0,5	5,3	3,9
22:00	4,2	5,7	2,7	7,2	0,2	2,4	3,6
23:00	4,4	4,9	2	3,9	0,8	1,9	3,2
TOPLAM	100,8	127,5	121,6	121,7	91,1	150,4	122,6

Aritmetik Ortalama 4,974 m/s

Rüzgar hızı için 26 Ocak 2017 saat 00:00 ile 01 Şubat 2017 saat 23:00 arasında her saat başı ölçülen değerler Çizelge 4.2-Çizelge 4.6 arasında verilmiştir. Bu tablolardaki rüzgar hızı ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Sinop 6,214 m/s, Samsun 2,698 m/s, Ordu 4,671 m/s, Giresun 1,717 m/s ve Trabzon 4,974 m/s değerleri hesaplanmıştır.

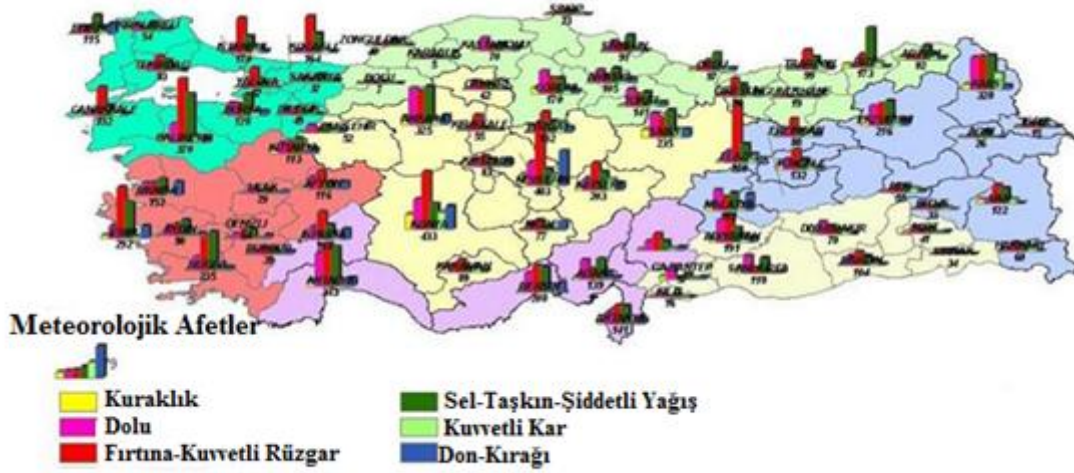
Dalga elektrik santralleri tesis kurulum maliyeti 600-2000 \$/kW, birim enerji maliyeti 2,7-3,6 cent/kWh olan enerji bedeli, tüketiciye 3,5-4,5 cent/kWh enerji bedeli olarak yansımaktadır [69]. Dalga santralinin kurulacağı yer satın alma ya da kiralama yöntemiyle temin edilir. Satın alma bedelleri rayiç fiyat üzerinden Sinop ili için 275 TL/m², Samsun 172 TL/m², Ordu 229 TL/m², Giresun 360 TL/m² ve Trabzon için 800 TL/m²'dir. Bu illerin tamamında sanayi bölgesi olması veya sanayi bölgelerinin yakın olmasından dolayı gerek ham madde temini gerekse eleman temininde zorluk yaşanmamaktadır. Dalga santrali yer seçiminde iş gücü maliyetinin temelini mühendislik ve proje hizmeti oluşturmaktadır.

Batimetri denizdeki derinlik dağılımıdır, yani deniz tabanının düz olup olmadığı veya dik yamaçlara sahip olup olmadığı hakkında bilgi verir. Dalga santrali ana yapı inşaatı, montajı ve enerji iletiminde bu bilgiler kullanılır. Yer seçiminde seçilen yerin batimetri haritasını çıkarmak fayda sağlayacaktır. Karadeniz'in batimetri haritası Şekil 4.39'da verilmektedir.



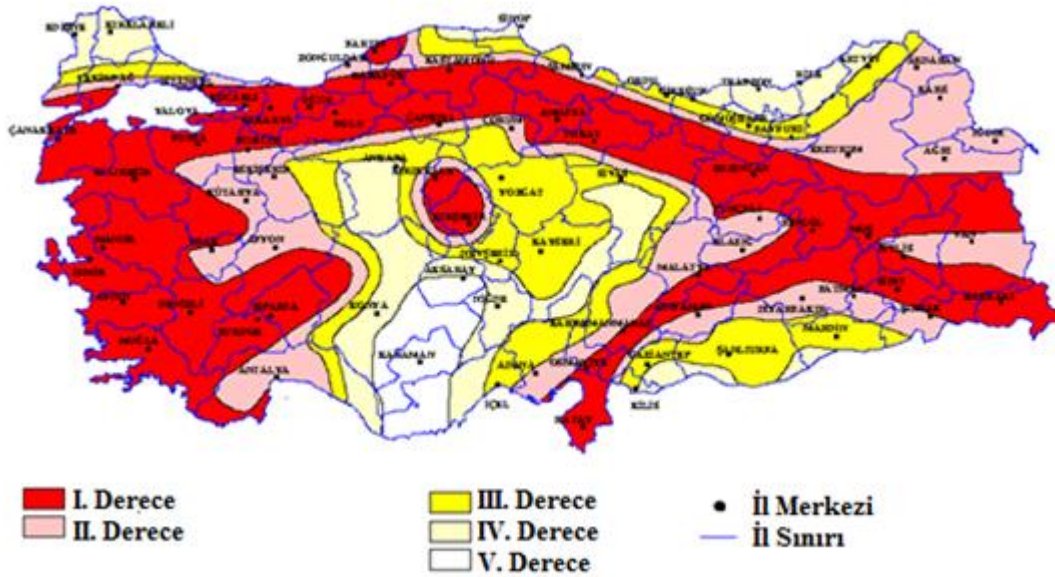
Şekil 4.39. Karadeniz batimetri haritası

Bu illerinin doğal afetlere maruz kalma risk analizi yapılmalıdır. Bu illerde gözlenen doğal afet sayısı, Sinop ilinde 23, Samsun ilinde 91, Ordu ilinde 97, Giresun ilinde 96 ve Trabzon ilinde 99'dur (Bkz. Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Türkiye 1940-2010 yılları arasındaki gözlenen meteorolojik afetlerin haritası [61].

Sinop, Samsun ve Ordu illeri III. derece deprem bölgesi, Trabzon ve Giresun IV. derece deprem bölgesidir (Bkz. Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Türkiye deprem haritası [76].

Sinop'ta 3, Samsun'da 3, Ordu'da 3, Giresun'da 2 ve Trabzon'da 5 adet liman bulunmaktadır (Bkz. Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Türkiye deniz yolları ve limanlar haritası [77].

ANP yönteminin uygulanması

Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modeli Şekil 4.43'te verilmektedir.



Şekil 4.43. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modeli

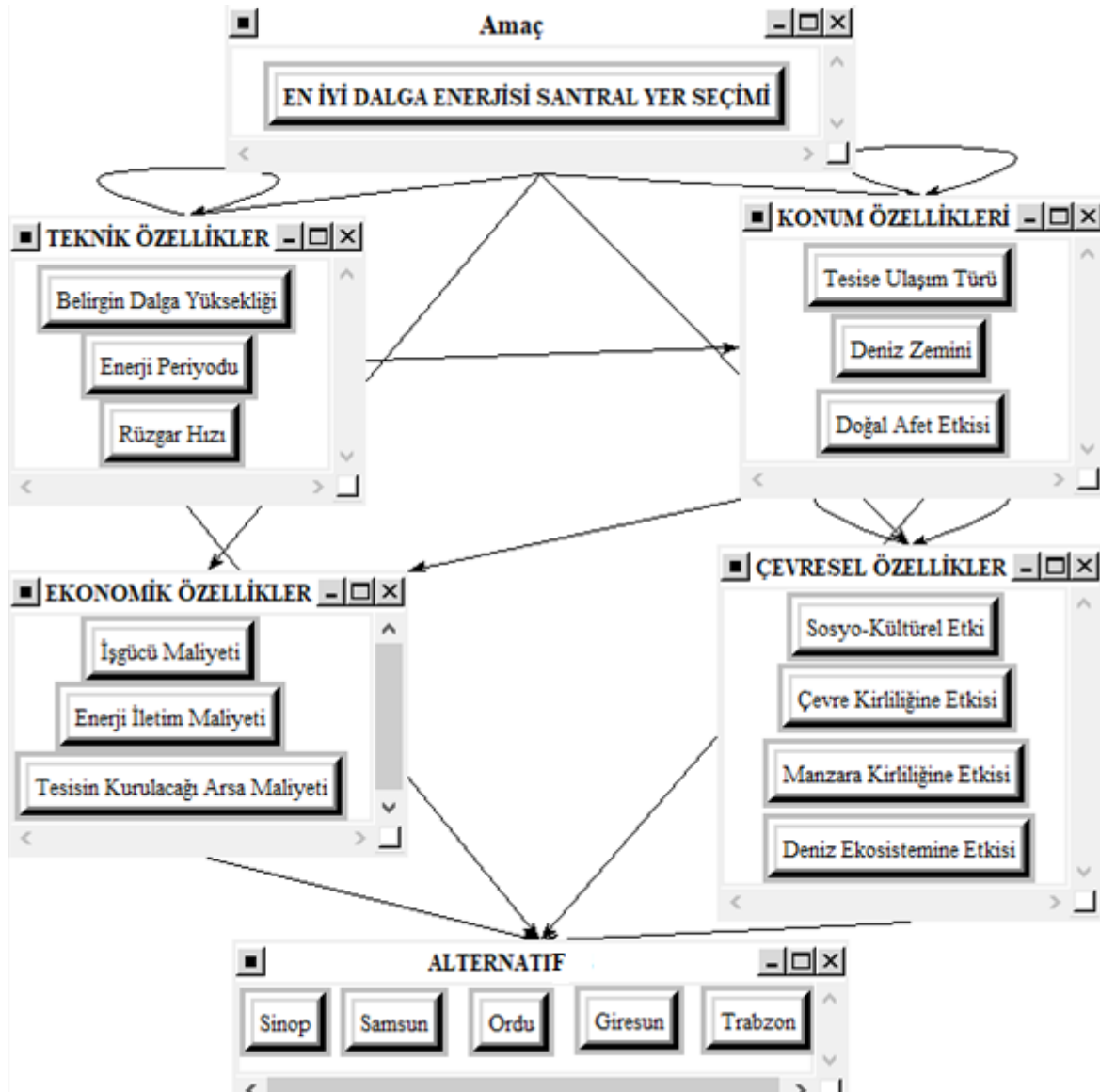
Yukarıda belirlenen ve hesaplanan kriter değerlerinin tümü Çizelge 4.7’de verilmektedir. Bu değerler kullanılarak ve kriterler arası ikili ilişkiler değerlendirilerek ANP yöntemi ile en iyi kurulum yeri belirlenecektir.

Çizelge 4.7. Dalga santrali kurulum yeri seçimi kriter değerleri

Nicel Kriterler	Yer Adı				
	Sinop	Samsun	Ordu	Giresun	Trabzon
Ortalama Belirgin Dalga Yüksekliği (m)	0,533	0,399	0,403	0,384	0,414
Ortalama Enerji Periyodu (s)	8,134	6,773	8,894	8,777	8,272
Rüzgar Hızı (m/s)	6,214	2,698	4,671	1,717	4,974
Arsa Maliyeti (TL/m²)	275	172	229	360	800
Liman Sayısı (Adet)	3	3	3	2	5
Deprem Derecesi	III.	III.	III.	IV.	IV.
Meydana Gelen Doğal Afet Sayısı	23	91	97	96	99

ANP yönteminde kullanılacak ana kriterler; teknik kriterler (belirgin dalga yüksekliği, enerji periyodu, rüzgar hızı), ekonomik kriterler (tesisnin kurulacağı yerin maliyeti, iş gücü maliyeti ve enerji iletim maliyeti), konum kriterleri (erişilebilirlik, deniz zemini, doğal afet etkisi) ve çevresel kriterler (deniz ekosistemine etki, çevre kirliliğine etki, manzara kirliliğine etki ve sosyo-kültüre etki) olarak belirlenmiştir. Dalga enerjisi santrali için en uygun yer seçimini etkileyen bu kriterlerin birbirlerine göre ilişkileri 3 uzman kişi tarafından değerlendirilmiş ve Super Decisions 3.0 programı yardımıyla kriterler arası bağlantılar, içsel ve dışsal bağımlılıklar, geri bildirimler yapılarak bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Hesaplamalar, teknik raporlar ve literatürden elde edilen sayısal verilerle bazı kriterlerin değerleri elde edilmiş ve ikili karşılaştırmalar için kullanılmıştır. Sayısal verisi elde edilemeyen bazı kriterlerin ikili karşılaştırmaları için 3 uzman kişinin görüşleri doğrultusunda sezgisel değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu aşamada ilk olarak, kriterler ve alt kriterler tespit edildikten sonra, kriterler arasındaki etkileşimler analiz edilerek birbirini etkileyen kriterler belirlenmiş ve Super Decisions 3.0 programı yardımıyla kriterler arası bağlantılar, içsel ve dışsal bağımlılıklar, geri bildirimler yapılarak Şekil 4.44’teki ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 4.44. Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi ağ modeli

Ağ yapısının oluşturulmasından sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve Çizelge 4.7’de yer alan sayısal değerler normalize edilerek programın “Direct” veri girişinden programa girilmiştir. “Deprem derecesi” ve “Meydana gelen doğal afet sayısı” faktörleri beraber dikkate alınarak “Doğal Afet Etkisi” kriteri için normalize işlemi yapılmıştır. Bu kriterlerin haricinde modelde yer alan kriterler için ölçek yardımıyla gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan ikili karşılaştırma değerlendirmeleri Super Decisions 3.0 programına girilmiş ve tüm ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizleri yapılarak tutarlılık oranları (CR) hesaplanmıştır. Tüm ikili karşılaştırma matrislerinin CR değerlerinin 0.10’dan küçük olması sağlanarak kriterler arası karşılaştırmaların tutarlı şekilde yapıldığı kontrol edilmiştir. Super Decisions 3.0 programına verilerin

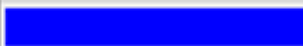




aktarılmamasından sonra sırasıyla ağırlıklandırılmamış süpermatris, ağırlıklandırılmış süpermatris ve limit matris elde edilmiştir. Daha sonra programın sonuç ekranından modelde yer alan kriterlerin öncelik değerleri elde edilmiştir.

Enerji İletim Maliyeti	0.36033	0.061803
İşgücü Maliyeti	0.26606	0.045635
Tesisin Kurulacağı Arsa Maliyeti	0.37361	0.064082
Deniz Zemini	0.28947	0.039800
Doğal Afet Etkisi	0.34405	0.047304
Tesise Ulaşım Türü	0.36648	0.050388
Enerji Periyodu	0.32727	0.039837
Belirgin Dalga Yüksekliği	0.40000	0.048690
Rüzgar Hızı	0.27273	0.033198
Deniz Ekosistemine Etkisi	0.20382	0.025809
Manzara Kirliliğine Etkisi	0.29752	0.037675
Sosyo-Kültürel Etki	0.24641	0.031203
Çevre Kirliliğine Etkisi	0.25225	0.031942

Şekil 4.45. En iyi dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modelinde yer alan kriterlerin öncelik değerlerini gösteren ekran görüntüsü

Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi modeli için, en önemli kriterin 0,400 değeri ile belirgin dalga yüksekliği kriteri olduğu tespit edilmiştir. Ana kriterler açısından baktığımızda teknik kriterlerden belirgin dalga yüksekliği 0,400 değeri, ekonomik kriterlerden tesisin kurulacağı arsa maliyeti 0,373 değeri, çevresel kriterlerden manzara kirliliğine etki 0,297 değeri ve konum kriterlerinden tesise ulaşım türü 0,366 değeri ile en önemli alt kriterler olduğu tespit edilmiştir.

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasından yola çıkılarak, alternatif yerlerin öncelik değerleri ve tercih sıralaması Şekil 4.46'da yer almaktadır.

İsim	Grafik	İdealler	Normaller	Ham
Giresun		0.787493	0.181082	0.080153
Ordu		0.931429	0.214180	0.094803
Samsun		0.914398	0.210263	0.093070
Sinop		1.000000	0.229947	0.101782
Trabzon		0.715502	0.164528	0.072825

Şekil 4.46. Alternatif dalga enerji santrali kurulum yeri öncelik değerleri ve tercih sıralamasını gösteren ekran görüntüsü

Karadeniz Bölgesi için dalga enerji santrali kurulacak en uygun yer ANP yöntemi kullanılarak Sinop ili dalga enerjisi santral yeri için %22,99 öncelik değeriyle ilk sırada yer almaktadır. Diğer alternatif yerlerden, Ordu %21,41 öncelik değeri ile ikinci, Samsun %21,02 öncelik değeri ile üçüncü, Giresun %18,10 değeri ile dördüncü ve öncelik değerlerine bakıldığında Trabzon %16,45 değeri ile alternatif kuruluş yeri için en son tercih edilebilecek yer olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre dalga enerjisi santrali için en uygun kurulum yerinin alternatifler arasından Sinop ili olduğu tespit edilmiştir.

4.1.2. Dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçimi

Dalga enerji santrali kurulum yeri seçimi yapıldıktan sonra, bu yere kurulacak en uygun dalga enerjisi dönüştürücü (WEC) tipinin seçilmesi gerekir. Dalga enerjisi dönüştürücüleri farklı tip ve modelde imal edilirler ve seçilen yere kurulumu mümkündür [21]. Dalga enerjisi dönüştürücü tipinin seçilmesindeki amaç minimum maliyetle maksimum enerji elde edilecek dönüştürücü tipini seçmektir. Dalga enerjisi dönüştürücüleri kurulurken uygun çalışma koşulları dikkate alınarak kurulmalıdır. Uygun çalışma koşulları, denize olan açıklık mesafesi ve deniz suyunun derinliğine bağlıdır. Bu koşullar dikkate alınarak kurulum gerçekleştirilirse dalga enerjisi dönüştürücüsü maksimum düzeyde enerji üretimi gerçekleştirecektir. Dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçilirken yatırım maliyeti, ürettiği enerji, bakım onarım maliyeti, kurulum kolaylığı, kapladığı alan, çevre dostu olması ve doğal afete dayanıklılığı dikkate alınmalı ve son olarak çalışma koşullarına uygun yere kurulumu gerçekleştirilmelidir.

Dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler

Dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler aşağıda açıklanmıştır.

Anma gücü

Anma gücü dalga enerji dönüştürücüsünün çıkışından alınan maksimum güçtür. Anma gücü dalga gücüyle doğru orantılıdır. Dalga gücü denklemi (Bkz. 2.1.)’de verilmişti. Bu denklemde, H_s belirgin dalga yüksekliği, T_e enerji periyodu, g yerçekimi ivmesi ve ρ deniz suyunun yoğunluğunu ifade ettiğinden anma gücü bu değerlere bağlı olarak değişim gösterir [33].

Yatırım maliyeti

Yatırım maliyetleri; dalga enerji dönüştürücüsünün tipi, dalga santralının ana şasesi ve sensörler, kurulacağı yere nakli ve montajı, teknolojik teçhizat ve üretilen enerjinin müşteriye iletimini de kapsayan harcamalardır. Bu harcamaların düşük olması istenir ve geri dönüşüm süresinin kısa olması beklenir [69]. Yatırım maliyeti santralin uygun çalışma ortamına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kıyıya kurulacak dalga santral tipi için 1800-2100 \$/kW, kıyıya yakın dalga santral tipi için 1500-1800 \$/kW ve kıyıdan uzakta dalga santral tipi için 1500-3000 \$/kW civarında yatırım maliyeti vardır [65].

Bakım onarım maliyeti

Üç seviyede sınıflandırmak mümkündür; Yüksek; düzenli bakım gerektirir ve bakımı zordur dolayısıyla bakım onarım maliyeti yüksektir. Orta; belirli periyodik bakımları vardır. Cihaza ulaşım orta kolaylıktadır. Düşük; düzenli bakıma gerek yoktur. Bazı dalga santralleri alttan monte edildiği için cihaza erişim zor olduğundan bakımının yapılması zor olacaktır fakat ulaşım imkânı kolaydır [64].

Kurulum kolaylığı

Üç seviyede sınıflandırmak mümkündür; İyi; kolay temin edilebilen malzemeden imal edilmiştir. İstenilen her yerde üretilerek kolayca nakli sağlanarak istenilen yere kurulur. Orta; bazı malzemeleri temin etmek zor olduğundan imalatı biraz zorluk gösterir. Zayıf; malzemeleri temin etmek oldukça zor olduğundan imalatı ve kurulumu oldukça zordur [64].

Kapladığı alan

Dalga santrali tasarlanırken; yükseklik, uzunluk, genişlik ve derinlik değerleri dikkate alınarak tasarım yapılır. Dalga santralinin kapladığı alan gerek santralin montajında gerekse nakli sırasında oluşabilecek sorunları ortadan kaldırmak için önemlidir [68].

Çevre dostu

Dalga santrali kurulduğu çevrenin üzerine gürültü, görüntü kirliliği ve deniz ekosistemine karşı olumsuz etkileri olabilir. Çevre dostluğu bakımından üç seviyede sınıflandırmak mümkündür; Düşük; çevreye aşırı hasar verir. Orta; çevreye az bir etkisi var. Yüksek; çevreye ihmal edilebilir bir etkisi vardır [68].

Doğal afete dayanıklılık

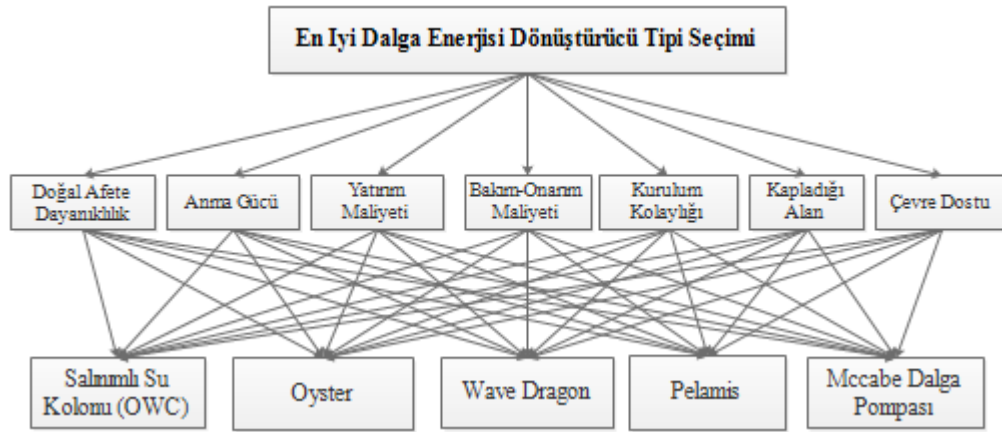
Doğal afet riskini etkilenebileceği doğal afet sayısına göre; sadece depremden etkilenebilecek için I, deprem ve fırtınadan etkilenebilecek için II ve deprem, fırtına ve selden etkilenebilecek için de III olarak sınıflandırılabilir. Deprem, sel ve fırtına gibi doğal afetlere karşı dayanıklı olması gerekir bu dayanıklılığı artırmak için imalat aşamasında bu kriterler dikkate alınmalıdır.

Dalga enerjisi dönüştürücü alternatiflerinin belirlenmesi

Bölüm 2.3.3’de dalga enerjisi dönüştürücü tiplerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde bahsedilen dalga enerjisi dönüştürücü tiplerinden, yukarıdaki kriterler dikkate alınarak 3 uzman kişi tarafından en uygun olabileceği değerlendirilen; Salımlı su kolonu (OWC, Oscillating water column), Oyster, Wave Dragon, Pelamis, McCabe dalga pompası (MWP, McCabe wave pump) dalga enerjisi dönüştürücü tipleri alternatif olarak seçilmiştir.

Bulanık TOPSIS yönteminin uygulanması

Dalga enerji dönüştürücü tipi seçim hiyerarşisi Şekil 4.47’deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.47. En uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçim modeli

Seçim hiyerarşisi ve kriterler belirlendikten sonra Çizelge 4.8’de yer alan dilsel değişkenler kullanılarak her bir kriterin seçim modeli üzerindeki önem ağırlığı dikkate alınarak Çizelge 4.9’da verildiği gibi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8. Dilsel değişkenlerin ağırlıklı önemleri

Dilsel Değişken	Üçgen Bulanık Sayılar (TFNs)
Çok Düşük (ÇD)	(0;0;0,1)
Düşük (D)	(0;0,1;0,3)
Orta Düşük (OD)	(0,1;0,3;0,5)
Orta (O)	(0,3;0,5;0,7)
Orta Yüksek (OY)	(0,5;0,7;0,9)
Yüksek (Y)	(0,7;0,9;1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0,9;1;1)

Çizelge 4.9. Karar vericilerin karar kriterleri değerlendirme sonuçları

Kriterler	Dilsel Değerlendirme	Üçgen Bulanık Sayılar (TFNs)
Doğal Afete Dayanıklılık	OD	(0,1;0,3;0,5)
Anma Gücü	ÇY	(0,9;1,1)
Yatırım Maliyeti	ÇY	(0,9;1,1)
Bakım Maliyeti	O	(0,3;0,5;0,7)
Kurulum Kolaylığı	O	(0,3;0,5;0,7)
Kapladığı Alan	D	(0;0,1;0,3)
Çevre Dostu	D	(0;0,1;0,3)

Sonraki adımda, alternatif dönüştürücü tiplerinin seçim kriterlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken Çizelge 4.10'da verilen sayısal veriler normalize yapılarak dilsel değişkenlere çevrilmiştir. Diğer sayısal değeri olmayan kriterler ise yine üç uzman kişinin ortak görüşü doğrultusunda değerlendirilmiştir. Yapılan bu dilsel değerlendirmeler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Salınlı su kolonu (OWC), oyster, wave dragon, pelamis ve McCabe dalga pompası (MWP) dalga enerjisi dönüştürücü tipleri seçim kriterleri

Dönüştürücü Tipi	Dalga Enerjisi Dönüştürücü Tipi Seçim Kriterleri						
	Anma Gücü	Yatırım Maliyeti (€)	Bakım Onarım Maliyeti	Kurulum Kolaylığı	Kapladığı Alan (m ²)	Çevre Dostu	Doğal Afete Dayanıklılık
OWC	206kW	1 160 000	Düşük	Orta	378	Düşük	III
Oyster	800kW	1 200 000	Orta-Düşük	İyi	192	Orta	III
Wave Dragon	7MW	7 892 000	Orta-Düşük	Orta-Zayıf	51000	Yüksek	II
Pelamis	750kW	2 470 000	Düşük	İyi	1648	Yüksek	II
MWP	257kW	1 000 000	Düşük	İyi	160	Yüksek	II

Çizelge 4.11. Dilsel değişkenlerin alternatiflerinin değerlendirilmesi

Dilsel Değişken	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Zayıf (ÇZ)	(0,0,1)
Zayıf (Z)	(0,1,3)
Orta Zayıf (OZ)	(1,3,5)
Makul (M)	(3,5,7)
Orta İyi (Oİ)	(5,7,9)
İyi (İ)	(7,9,10)
Çok İyi (Çİ)	(9,10,10)

Çizelge 4.12. Alternatif dönüştürücü tiplerinin kriterlere göre dilsel değerlendirilmesi

Alternatifler	Kriter						
	Doğal Afete Dayanıklılık	Anma Gücü	Yatırım Maliyeti	Bakım Maliyeti	Kurulum Kolaylığı	Kapladığı Alan	Çevre Dostu
OWC	Oİ	ÇZ	İ	İ	M	İ	Z
Oyster	M	M	İ	Oİ	İ	Çİ	M
Wave Dragon	İ	Çİ	ÇZ	Oİ	OZ	ÇZ	Çİ
Pelamis	Oİ	M	OZ	İ	İ	Z	Çİ
MWP	M	Z	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ

Daha sonra yapılan bu dilsel değerlendirmeler Çizelge 4.13’de verildiği gibi bulanık sayılara dönüştürülmüş ve bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.13. Bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriter						
	Doğal Afete Dayanıklılık	Anma Gücü	Yatırım Maliyeti	Bakım Maliyeti	Kurulum Kolaylığı	Kapladığı Alan	Çevre Dostu
OWC	(5,7,9)	(0,0,1)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(7,9,10)	(0,1,3)
Oyster	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(9,10,10)	(3,5,7)
Wave Dragon	(7,9,10)	(9,10,1)	(0,0,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(0,0,1)	(9,10,1)
Pelamis	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(0,1,3)	(9,10,1)
MWP	(3,5,7)	(0,1,3)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,1)

Çizelge 4.13’de verilen bulanık karar matrisi normalize edilmiş ve Çizelge 4.14’de verilmiştir. Kriterlerin önem ağırlığı ile normalize edilmiş değerlerin çarpımıyla elde edilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi ise Çizelge 4.15’ de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Normalleştirilmiş bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriter						
	Doğal Afete Dayanıklılık	Anma Gücü	Yatırım Maliyeti	Bakım Maliyeti	Kurulum Kolaylığı	Kapladığı Alan	Çevre Dostu
OWC	(0,5;0,7;0,9)	(0;0;0,1)	(0,7;0,9;1)	(0,7;0,9;1)	(0,3;0,5;0,7)	(0,7;0,9;1)	(0;0,1;0,3)
Oyster	(0,3;0,5;0,7)	(0,3;0,5;0,7)	(0,7;0,9;1)	(0,5;0,7;0,9)	(0,7;0,9;1)	(0,9;1;1)	(0,3;0,5;0,7)
Wave Dragon	(0,7;0,9;1)	(0,9;1;1)	(0;0;0,1)	(0,5;0,7;0,9)	(0,1;0,3;0,5)	(0;0;0,1)	(0,9;1;1)
Pelamis	(0,5;0,7;0,9)	(0,3;0,5;0,7)	(0,5;0,7;0,9)	(0,7;0,9;1)	(0,7;0,9;1)	(0;0,1;0,3)	(0,9;1;1)
MWP	(0,3;0,5;0,7)	(0;0,1;0,3)	(0,9;1;1)	(0,7;0,9;1)	(0,7;0,9;1)	(0,9;1;1)	(0,9;1;1)

Çizelge 4.15. Ağırlıklı normalleştirilmiş bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriter							
	Doğal Dayanıklılık	Afete Gücü	Anma Gücü	Yatırım Maliyeti	Bakım Maliyeti	Kurulum Kolaylığı	Kapladığı Alan	Çevre Dostu
OWC	(0,05;0,21;0,45)	(0;0;0,1)	(0,63;0,9;1)	(0,21;0,45;0,7)	(0,09;0,25;0,49)	(0;0,09;0,3)	(0;0,01;0,09)	
Oyster	(0,03;0,15;0,35)	(0,27;0,5;0,7)	(0,63;0,9;1)	(0,15;0,35;0,63)	(0,21;0,45;0,7)	(0;0,1;0,3)	(0;0,05;0,21)	
Wave Dragon	(0,07;0,27;0,5)	(0,81;1;1)	(0;0;0,1)	(0,15;0,35;0,63)	(0,03;0,15;0,35)	(0;0;0,03)	(0;0,1;0,3)	
Pelamis	(0,05;0,21;0,45)	(0,27;0,5;0,7)	(0,45;0,7;0,9)	(0,21;0,5;0,7)	(0,21;0,45;0,7)	(0;0,01;0,09)	(0;0,1;0,3)	
MWP	(0,03;0,15;0,35)	(0;0,1;0,3)	(0,81;1;1)	(0,21;0,45;0,7)	(0,21;0,45;0,7)	(0;0,1;0,3)	(0;0,1;0,3)	

Son olarak, her bir alternatifin pozitif (d_i^+) ve negatif (d_i^-) ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanmış ve bu uzaklıklara göre elde edilen yakınlık indeksleri tespit edilerek alternatif dalga enerjisi dönüştürücü tipleri sıralanmıştır. Bu bulgular Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. d_i^+ , d_i^- ve C_i değerleri

	Dalga Enerjisi Dönüştürücü Tipleri				
	OWC	Oyster	Wave Dragon	Pelamis	MWP
d_i^+	5,140	4,624	5,172	4,694	4,735
d_i^-	2,254	2,826	2,175	2,742	2,700
C_i	0,305	0,379	0,296	0,369	0,363
Sıralama	4	1	5	2	3

Çizelge 4.16’daki yakınlık indekslerine bakıldığında Oyster dönüştürücü tipi en yüksek yakınlık indeksine (0,379) sahip olduğundan en iyi dalga enerjisi dönüştürücü tipi olarak belirlenmiştir. İkinci yakınlık indeksine (0,369) sahip Pelamis en iyi ikinci dönüştürücü tipi olarak ve en düşük yakınlık indeksine (0,296) sahip Wave Dragon dönüştürücü tipi ise sonuncu olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünya nüfusun artması ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu artan enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlı enerji kaynakları, çevreye zararlı olan karbondioksit salınımı ve enerji üretimi sırasında ortaya çıkan atıklardan dolayı iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu olumsuz etkileri en aza indirmek için çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan dalga enerjisi denizlerin her gün milyonlar kez dalga hareketi yapması ve dalgaların sürekli olmasından dolayı dünya ülkelerinin dikkatini çekmiştir. Dünya ülkeleri arasında özellikle okyanusa kıyısı olan ülkeler dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için gerekli teknolojik yatırımları yaparak bu enerjiden faydalanmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte bu enerji türünden yararlanma oranı artmaya devam edecektir. Ülkemizin de coğrafi konumu dikkate alındığında dalga enerjisinden faydalanılması gerektiği açıkça görülmektedir. Ülkemiz ihtiyacı olan enerjinin tamamını kendi kaynaklarından henüz karşılayamamaktadır. İhtiyacımız olan enerjinin büyük bir kısmı ithal yollarla karşılanmaktadır. Bu durum dışa bağımlılığa neden olmaktadır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve kendi kendimize yeter duruma gelmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması ve bu amaçla yatırımlar yapılması gerekmektedir.

Türkiye’de dalga enerjisi kullanımı henüz çok yaygın değildir. Dalga enerjisi potansiyeline ilişkin incelemeler yapılmış olup, bu enerji türünden yararlanılabilecek en uygun yerler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde tüm denizlerimize dalga enerji santrali kurulması mümkündür. Bu tez çalışmasında Karadeniz Bölgesi için dalga enerji santralinin kurulacağı en uygun yer seçimi ve bu yere kurulabilecek en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi seçimi yapılmıştır. Bu seçimler yapılırken iki aşamalı çok kriterli karar verme yapısı oluşturularak, en uygun dalga enerji santrali kurulumu yeri seçimi için ANP yöntemi ve bu yere kurulabilecek en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipinin seçilmesi için Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Dalga enerji santrali kurulacak en uygun yer alternatifleri olarak Karadeniz Bölgesinde bulunan Sinop, Samsun, Ordu, Giresun ve Trabzon illeri seçilmiştir. Dalga enerji santrali yer seçimi modeli oluşturularak ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki bağıntılar belirlendikten sonra Super

Decisions 3.0 programına girilmiş ve tüm analiz ve tutarlılıkları hesaplanmıştır. ANP yönteminin uygulanması sonucunda, Sinop ilinin dalga enerjisi santral yeri için %22,99 öncelik değeriyle ilk sırada yer aldığı ve Trabzon ilinin %16,45 değeri ile alternatif kuruluş yeri için en son tercih edilebilecek yer olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre dalga enerjisi santrali için en uygun kurulum yerinin alternatifler arasından Sinop ili olduğu tespit edilmiştir.

Sinop iline kurulacak en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipinin belirlenmesi amacıyla salınlı su kolonu, oyster, pelamis, wave dragon ve McCabe dalga pompası alternatifler olarak seçilmiştir. Seçim işlemi için en uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipi model kurulumu yapılmıştır. Sayısal değerlerin elde edilemediği yerlerde üç uzman kişinin görüşü alınarak çok kriterli karar verme yöntemi Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sonucu elde edilen yakınlık indekslerine bakıldığında, Oyster dönüştürücü tipi en yüksek yakınlık indeksine (0,379) sahip olduğundan en iyi dalga enerjisi dönüştürücü tipi olarak belirlenmiştir. En düşük yakınlık indeksine (0,296) sahip Wave Dragon dönüştürücü tipi ise sonuncu alternatif olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde dalga enerji santrali kurulabilecek diğer en uygun iller tespit edilerek ve bu illere uygun dalga enerjisi dönüştürücü tipleri belirlenerek dalga enerjisinden daha fazla faydalanılmalıdır. Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sisteminin geliştirilmesi için Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) tarafından devlet desteği kapsamına alınması ve araştırmaların Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) gibi kuruluşlar tarafından teşvik edilmesi gerekmektedir. Gereken teşvik ve destekler verilirse, dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakların arasında önemli bir yere gelebilecektir.

Gelecek çalışmalarda, tüm Türkiye'deki dalga enerjisi potansiyeline sahip bölgeler incelenecek ve farklı dalga enerjisi dönüştürücü tipleri de değerlendirilerek hibrit ÇKKV yöntemleri ile dalga enerjisinden daha fazla nasıl yararlanılabileceğine dair çalışmalara ağırlık verilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Gülsaç, I. I. (2009). *Bilim ve Teknik*, sayı 498.
- [2] Öztürk, H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- [3] Kükner, A. ve Erselcan, İ. Ö. (2012). Dalgalardan elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan sistemlerin incelenmesi, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [4] 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.
- [5] Kahraman, C., Kaya, İ. and Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process, *Energy*, 34(10), 1603-1616.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Buyukozkan, G. and Guleryuz, S. (2016). An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey, *International Journal of Production Economics*, 182, 435-448.
- [10] Buyukozkan, G. and Guleryuz, S. (2017). Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations, *Energy*, 123, 149-163.
- [11] Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K. M. and Khoshnoudi, M. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216-256.

- [12] Çelikkilek, Y. and Tüysüz, F. (2016). An integrated grey based multi-criteria decision making approach for the evaluation of renewable energy sources, *Energy*, *115*, 1246-1258.
- [13] 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.
- [14] Vasileiou, M., Loukogeorgaki, E. and Vagiona, D. G. (2017). GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 745-757.
- [15] Çolak, M. and Kaya, İ. (2017). Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *80*, 840-853.
- [16] Ulutaş, B. H. (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey, *Energy*, *30*(7), 1146-1161.
- [17] San Cristóbal, J. R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The VIKOR method, *Renewable Energy*, *36*(2), 498-502.
- [18] Kaya, T. and Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of İstanbul, *Energy*, *35*(6), 2517-2527.
- [19] Lavidas, G. and Venugopal, V. (2017). A 35 year high-resolution wave atlas for nearshore energy production and economics at the Aegean Sea, *Renewable Energy*, *103*, 401-417.
- [20] Bingölbalı, B., Akpınar, A. and Vledder, G. V. (2016). Determination of wave energy potential of Black Sea, *Coastal Engineering Proceedings*.
- [21] Drew, B., Plummer, A. R. and Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, *223*(8), 887-902
- [22] Rusu, L. (2015). Assessment of the wave energy in the Black Sea based on a 15-year hindcast with data assimilation, *Energies*, *8*(9), 10370-10388.
- [23] Astariz, S., Vazquez, A. and Iglesias, G. (2015). Evaluation and comparison of the levelized cost of tidal, wave and off shore wind energy, *Journal of Renewable and Sustainable*.

- [24] Rusu, E. (2009). Wave energy assessments in the Black Sea, *Journal of Marine Science and Technology*, 14, 359-372.
- [25] Angre, H. and Joshi, R. (2015). Scope of wave energy in India, *International Journal of Engineering, Management and Sciences (IJEMS)*.
- [26] Enferad, E., Farsadi, M. ve Enferad, S. (2009). New method for converting sea wave energy. *IEEE Xplore*.
- [27] Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Ozkan, A., ve Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz bölgesindeki dalga enerjisi potansiyelinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 7-13.
- [28] Aydoğan, B., Ayat, B. and Yuksel, Y. (2013). Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, *Renewable Energy*, 57, 436-447.
- [29] Sağlam, M., Sulukan, E. ve Uyar, T. S. (2010). Wave energy and technical potential of Turkey, *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 6(2).
- [30] Yesilyurt, K. M., Oner, V. I., Omeroglu, G. and Yilmaz, C. E. (2017). A scrutiny study on wave energy potential and policy in TURKEY, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 5(3).
- [31] Kukner, A., Halilbese, A.N. and Bulut, S. (2016). An approach to wave energy converter applications on Turkey and their electricity generation capacity, *Scientific Bulletin " Mircea cel Batran" Naval Academy*, 19(1), 126.
- [32] Gur, M., Kiraz, M., Goksu, M. M., Gezen, A. and Kiliçkan, A. (2018). Wave energy technology and potential in Turkey, *16th International Conference on Clean Energy (ICCE-2018)*
- [33] Akpınar, A. and Kömürcü, M. İ. (2012). Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea, *Energy*, 42, 289-302.
- [34] EÜAŞ. (2016). Yıllık Faaliyet Raporu.
- [35] TMMOB. (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sürekli Eğitim Merkezi.
- [36] BP (2016). Statistical Review of World Energy, bp.com/statisticalreview
- [37] Koç, E. ve Şenel, M. C., (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu genel değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54(639).
- [38] EÜAŞ. (2016). Sektör Raporu.
- [39] <https://www.iea.org/statistics/>, Erişim Tarihi: 21.12.2017
- [40] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Enerji İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>, Erişim Tarihi: 12.12.2017

- [41] Ultanır, M. Ö. (1998). 21. Yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi, *TUSİAD Yayınları, Yayın No: TUSİAD*, 98-12.
- [42] MEB (2012). Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi, Ankara.
- [43] Şen, Z. (2002). Temiz Enerji ve Kaynakları, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul
- [44] Akova, İ. (2008). Yenilenebilir enerji kaynakları. *Nobel Yayın Dağıtım*.
- [45] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir>, Erişim Tarihi: 21.12.2017
- [46] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>, Erişim Tarihi: 21.12.2017
- [47] Gökdemir, M., Kömürcü, M. İ. ve Evcimen, T. U. (2012), Türkiye'de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış, *Türkiye Mühendislik Haberleri*
- [48] Çolak, İ., Bayındır, R. ve Demirtaş, M. (2008). Türkiye'nin enerji geleceği, *TÜBAV Bilim Dergisi*.
- [49] Aydın, İ. (2008). Konutların jeotermal enerjiyle ısıtılmasına bir örnek: Bigadiç (Balıkesir), *Marmara Coğrafya Dergisi*, 17, 79-96.
- [50] Kılıç, F. Ç. ve Kılıç, M. K. (2013). Jeotermal enerji ve Türkiye, *Engineer & the Machinery Magazine*, 639.
- [51] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx, Erişim Tarihi: 21.12.2017
- [52] Koçak, M, E. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidroelektrik Santraller ve Sırakonaklar HES Projesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- [53] Özbalta, N., Örer, G., Özdamar, A. ve Gürsel, K. T. (2003). Dalga Enerji Tesislerine Genel Bakış, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir.
- [54] Mert, S. (2012). Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Tasarımı ve Deneysel Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [55] Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı., Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü. (2016). Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları.
- [56] Ün, Ü. T. (2003). Dalga Enerjisi Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir.
- [57] World Energy Resources, Marine Energy, World Energy Council Report 2016.
- [58] Özey, R. (2017). Türkiye'nin Jeopolitiği, *Pegem*, Ankara.

- [59] Özhan, E. ve Abdalla, S. (2002). Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*.
- [60] Sağlam, M. ve Uyar, T.S.(2005). Dalga enerjisi ve Türkiye'nin dalga enerjisi teknik potansiyeli, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*.
- [61] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/deniz>
- [62] Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı. <http://www.bakka.gov.tr/> Erişim Tarihi: 21.12.2017.
- [63] Cruz, J. (2007). *Ocean wave energy: current status and future perspectives*, Springer Science & Business Media.
- [64] Joubert, J. R., van Niekerk, J. L., Reinecke, J. and Meyer, I. (2013). Wave energy converters (WECs), *Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, Faculty of Engineering*.
- [65] Brooke, J. (2003). *Wave energy conversion* (Vol. 6), Elsevier.
- [66] Previsic, M. and Epler, J. (2012). The future potential of wave power in the United States.
- [67] Cameron, L., Doherty, R., Henry, A., Doherty, K., Van't Hoff, J., Kaye, D. and Whittaker, T. (2010). Design of the next generation of the Oyster wave energy converter, In *3rd International Conference on Ocean Energy*, 6, 1-12.
- [68] Babarit, A., Hals, J., Muliawan, M. J., Kurniawan, A., Moan, T. and Krokstad, J. (2012). Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters, *Renewable Energy*, 41, 44-63.
- [69] Çokan, M. (2003). Dalga Enerjisi (Dalga Elektrik Santralleri), *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir.
- [70] Ozcan, E. C., Unlusoy, S. ve Eren T. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219.
- [71] Yıldız, A. (2014). En İyi Üniversite Seçiminde Analitik Ağ Prosesinin Kullanımı, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 108-119.
- [72] Saaty, T.L. (1996). *The ANP for decision making with dependence and feedback*, USA: RWS Publications.
- [73] Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.

- [74] Ghosh, S., Chakraborty, T., Saha, S., Majumder, M. and Pal, M. (2016). Development of the location suitability index for wave energy production by ANN and MCDM techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1017-1028.
- [75] Zubiate, L., Villate, J. L., Torre-Enciso, Y., Soerensen, H. C., Holmes, B., Panagiotopoulos, M. and Langston, D. (2009). Methodology for site selection for wave energy projects, In *8th European Wave and Tidal Energy Conference*, Uppsala, Sweden.
- [76] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-bolgeleri-haritasi>, Erişim Tarihi: 21.12.2017
- [77] <https://www.lafsozluk.com/2015/08/turkiye-deniz-yollar-haritasi-ve.html> Erişim Tarihi: 21.12.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Tayfun ÖZBEK
Doğum Yeri ve Tarihi: Gülşehir 22/11/1981
E-Posta: tayfunozbek50@hotmail.com
Telefon: 0 506 253 07 50
Lisans: Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü (2002)
Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2016)

Yayınlar

1. Özbek, T. ve Ergül, E.U. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Dalga Enerji Santrali Kurulum Yeri Seçimi, *3th International Congress on Engineering Architecture and Design*, Kocaeli, Turkey.
2. Yıldız, A., Ergül, E.U. ve Özbek, T. (2018). Ürün Geliştirme Faaliyetlerinde Yalın Üretim Felsefesini Uygulayan Firmaların Ürün Geliştirme Performansının Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle İncelenmesi, *3th International Congress on Engineering Architecture and Design*, Kocaeli, Turkey.