



TÜRKİYE DENİZLERİNDEKİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ  
VE DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR SANTRALLERİ KURULABİLECEK BÖLGELERİN  
BELİRLENMESİ

Volkan YERÇİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mevlana Üniversitesi

2015

### TEZİN ADI

Mevlana Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 50051102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Volkan YERCI**, ilgili yönetmeliğin belirlediği gerekli tüm şartları sağladıktan sonra hazırladığı "**TÜRKİYE DENİZLERİNDEKİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ VE DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR SANTRALLERİ KURULABİLECEK BÖLGELERİN BELİRLENMESİ**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

#### Jüri Üyeleri:

Yrd.Doç.Dr. Mehmet ARGİN. ....

(Danışman)

imza 

Prof.Dr. Tankut YALÇINÖZ. ....

imza 

Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA. ....

imza 

Prof.Dr. Mustafa Uğur ÜNVER. ....

Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı Başkanı

imza 

Prof.Dr. Ali SEBETCİ. ....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

imza 

Tarih: 28.12.2015

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Volkan YERCI



## ÖZET

# TÜRKİYE DENİZLERİNDEKİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ VE DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR SANTRALLERİ KURULABİLECEK BÖLGELERİN BELİRLENMESİ

Volkan YERCİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2015

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ARGİN

Anahtar kelimeler: Deniz üstü rüzgâr santralleri, Rüzgâr enerjisi, Türkiye, WAsP, Yenilenebilir enerji

Bu çalışmada Türkiye'nin 55 kıyı bölgesinde rüzgâr enerji potansiyeli değerlendirilmiş ve deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek bölgeler araştırılmıştır. Deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek yerler belirlenirken önce ortalama hızı 3 m/s üzerinde olan bölgeler seçilmiş ve daha sonra konum seçimi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. 55 kıyı bölgesi içinden kriterleri sağlayan Bozcaada, Bandırma, Gökçeada, İnebolu ve Samandağ bölgelerindeki rüzgâr hızlarının istatistiksel analizleri için Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı olan WAsP kullanılmıştır. Rüzgâr türbinlerinin muhtemel konumları hakim rüzgâr yönü, deniz derinliği ve kıyıdan uzaklıkları baz alınarak, ağırlıklı rüzgâr yönü dağılım grafiği ve seyir haritaları kullanılarak belirlenmiştir. Seçilen bölgelerde kıyıdan 45 m derinliğe kadar olan uygun denizlerde örnek rüzgâr santrali kurulumu gerçekleştirilip toplam rüzgâr gücü potansiyeli 1.629 MW olarak belirlenmiştir. Denizlerdeki bu potansiyel Türkiye'nin halihazırdaki kurulu rüzgâr gücü potansiyelinin yaklaşık % 40'ına karşılık gelmekte olup Türkiye'de deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuyla ilgili çalışmaların hızlandırılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF OFFSHORE WIND FARM LOCATIONS OF TURKEY BASED ON WIND ENERGY POTENTIAL ASSESSMENT**

Volkan YERCI

Master of Science Thesis in Electrical and Electronics Department

Supervisor: Assistant Professor Mehmet Arın

Keywords: Offshore wind farm, Renewable energy, Turkey, WAsP, Wind energy

This study investigates the offshore wind farm locations based on wind energy potential assessment of 55 coastal regions in Turkey. Suitability of regions with average wind speed of 3 m/s and over for offshore wind farm development is examined based on wind farm location selection criteria. Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) is used to conduct statistical analysis of wind speeds for the regions that meet location selection criteria including Bozcaada, Bandırma, Gökçeada, İnebolu, and Samandağ. Probable location of wind turbines based on wind direction, sea depth and distance from the shores is determined by using weighted wind direction distribution plots and nautical charts. Total offshore wind power capacity is found to be 1.629 MW based on wind turbine installation within 45 m sea depth at available sea spaces in these regions. The study reveals that offshore wind power capacity corresponds to approximately 40% of the current installed wind power capacity of Turkey and this finding indicates that studies about offshore wind farm installation should be accelerated.

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmam sűresince tecrűbelerini ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyen, tez danıőmanım Yrd.Do.Dr. Mehmet ARGİN'a, Meteoroloji Genel Műdűrlűė'ne, Seyir Hidrografi ve Oőinografi Dairesi Baőkanlıėı'na, analizlerde kullandıėımız WAsP yazılımı konusunda yardımcı olan Danimarka Teknik Ŭniversitesi'ne ve aileme sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Çok kıymetli anneme ve babama

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BÖLÜM 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2</b> .....	<b>7</b>
<b>METODOLOJİ</b> .....	<b>7</b>
2.1. Metodoloji.....	7
<b>BÖLÜM 3</b> .....	<b>16</b>
<b>DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR SANTRALİ KURULABİLECEK BÖLGELERİN KONUM BELİRLEME KRİTERLERİ</b> .....	<b>16</b>
3.1. Deniz üstü rüzgâr santralleri .....	16
3.1.1. Temel seçimi .....	17
3.2. Rüzgâr potansiyeli.....	22
3.3. Kıta sahanlığı .....	22
3.4. Askeri alanlar .....	23
3.5. Sivil havacılık .....	23
3.6. Deniz Trafiği.....	23
3.7. Boru hatları ve yer altı kabloları .....	24
3.8. Sosyal faktörler .....	24
3.9. Çevresel faktörler .....	24
3.10. Diğer faktörler.....	25
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>26</b>
<b>DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ VE ANALİZLER</b> .....	<b>26</b>
4.1. Seçilen bölgelerin WAsP ve saha analizleri .....	41
4.1.1. Bozcaada .....	41
4.1.2. Bandırma .....	44
4.1.3. Gökçeada.....	47
4.1.4. İnebolu.....	50



4.1.5. Samandağ .....	52
4.2. Tartışma .....	56
<b>BÖLÜM 5.....</b>	<b>60</b>
<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>60</b>
5.1. SONUÇLAR.....	60
5.2. ÖNERİLER.....	62
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>63</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>67</b>
6.1. EK A: MATLAB KODU .....	67
<b>7. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Küresel kümülatif kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 1997-2014.....	2
Şekil 1.2	2014 yılı küresel kümülatif deniz üstü rüzgâr gücü kapasitesi .....	3
Şekil 1.3	Türkiye’deki rüzgâr enerji santralleri için kümülatif kurulum .....	5
Şekil 2.1	Bandırma’ya ait rüzgâr hızı verileri.....	8
Şekil 2.2	OWC modülü.....	9
Şekil 2.3	Veri toplanan sahaya ait ölçüm yapılan yükseklik ve koordinat bilgileri.....	9
Şekil 2.4	Veri setinin bilgisayardaki dosyadan programa eklenmesi .....	10
Şekil 2.5	Veri setinin bilgisayardaki dosyadan çağırılması .....	10
Şekil 2.6	Veri setinin dosyadan çağırıldıktan sonraki görünümü .....	10
Şekil 2.7	Veri seti yapısının programa tanıtılması .....	11
Şekil 2.8	Veri seti yapısı tanıtılırken başlıkların düzenlenmesi .....	11
Şekil 2.9	Programa tanıtılan veri setlerinin sayısı.....	12
Şekil 2.10	Veri setlerinden ihmal edilebilecek eşik hız değerinin girilmesi.....	12
Şekil 2.11	Veri setlerinden isteğe bağlı yön ve hız alt - üst limitlerinin belirlenmesi ..	12
Şekil 2.12	Programa tanıtılan veri setlerinin detaylı açıklamaları .....	13
Şekil 2.13	Çıktı ayarları;rüzgâr yönü sektörleri.....	13
Şekil 2.14	Kaydedilecek çıktı dosyasını isimlendirme .....	14
Şekil 2.15	OWC modülünün sonlandırılması .....	14
Şekil 2.16	OWC rapor çıktısı .....	14
Şekil 2.17	Bozcaada seyir haritasından bir kesit.....	15
Şekil 3.1	Yerçekimi merkezli temel üzerine montajı yapılmış rüzgâr türbini .....	18
Şekil 3.2	Yerçekimi merkezli temelin dubalarla taşınması ve vinçle yerleştirilmesi .	19
Şekil 3.3	Tek kazık temel için akılacak olan çelik boruların ve dış kılıfların taşınması	20
Şekil 3.4	Tek kazık temel ve taban kısmının sağlamlaştırılması .....	20
Şekil 3.5	Üç ayak temel üst yapısının vinçle montaj yapılacak alana indirilmesi .....	21

Şekil 3.6	Ceket tipi temel üzerine kurulmuş bir deniz üstü rüzgâr türbini .....	21
Şekil 4.1	Türkiye kıyı şeridinde bulunan bölgelere ait ortalama rüzgâr hızları.....	28
Şekil 4.2	Rüzgâr hızlarına göre değerlendirildiğinde deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek bölgeleri.....	29
Şekil 4.3	Ege Denizi'nde Türkiye ve Yunanistan arasındaki kıta sahanlığı .....	32
Şekil 4.4	Datça Kıyıları.....	33
Şekil 4.5	Karadeniz Eğitim ve Atış Sahaları.....	33
Şekil 4.6	Karadeniz Deniz Askeri Yasak Sahaları ve Deniz Özel Güvenlik Bölgeleri	34
Şekil 4.7	Marmara Denizi Eğitim ve Atış Sahaları.....	35
Şekil 4.8	Marmara Denizi Askeri Yasak Sahaları ve Deniz Özel Güvenlik Bölgeleri	35
Şekil 4.9	Ege Denizi Eğitim ve Atış Sahaları .....	36
Şekil 4.10	Ege Denizi Askeri Yasak Sahaları ve Deniz Özel Güvenlik Bölgeleri .....	37
Şekil 4.11	Akdeniz Eğitim ve Atış Sahaları .....	38
Şekil 4.12	Akdeniz Askeri Yasak Sahaları ve Deniz Özel Güvenlik Bölgeleri.....	38
Şekil 4.13	Türkiye Ana Deniz Yolları .....	39
Şekil 4.14	Gemlik Körfezi .....	40
Şekil 4.15	Türkiye Doğalgaz ve Petrol Hatları .....	40
Şekil 4.16	Datça Koruma Bölgesi.....	41
Şekil 4.17 (a)	Bozcaada'ya ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	42
Şekil 4.17 (b)	Bozcaada'ya ait 80 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	42
Şekil 4.17 (c)	Bozcaada'ya ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	42
Şekil 4.17 (d)	Bozcaada'ya ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	42
Şekil 4.18	Bozcaada'da rüzgâr santrali kurulması düşünülen bölge.....	43
Şekil 4.19	Bozcaada kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri .....	44
Şekil 4.20 (a)	Bandırma'ya ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	44
Şekil 4.20 (b)	Bandırma'ya ait 80 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	45

Şekil 4.20 (c)	Bandırma'ya ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	45
Şekil 4.20 (d)	Bandırma'ya ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	45
Şekil 4.21	Bandırma kıyılarında yapılması öngörülen rüzgâr santrallerinin konumu ..	46
Şekil 4.22	Bandırma kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri.....	46
Şekil 4.23 (a)	Gökçeada'ya ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	47
Şekil 4.23 (b)	Gökçeada'ya ait 80 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	47
Şekil 4.23 (c)	Gökçeada'ya ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	48
Şekil 4.23 (d)	Gökçeada'ya ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi.....	48
Şekil 4.24	Gökçeada kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge	49
Şekil 4.25	Gökçeada kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri.....	50
Şekil 4.26 (a)	İnebolu'ya ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	50
Şekil 4.26 (b)	İnebolu 'ya ait 80 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	50
Şekil 4.26 (c)	İnebolu'ya ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	51
Şekil 4.26 (d)	İnebolu 'ya ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	51
Şekil 4.27	İnebolu kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge ..	52
Şekil 4.28	İnebolu kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri.....	52
Şekil 4.29 (a)	Samandağ'a ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	53
Şekil 4.29 (b)	Samandağ'a ait 80 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	53
Şekil 4.29 (c)	Samandağ'a ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	53
Şekil 4.29 (d)	Samandağ'a ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi .....	54
Şekil 4.30	Samandağ kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge	54
Şekil 4.31	Samandağ kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri .....	55

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1	Türkiye kıyı şeridinde bulunan yerleşimlere ait ortalama rüzgâr hızları.....	27
Tablo 4.2	Farklı yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr hızları (m/s) .....	29
Tablo 4.3	Farklı yüksekliklerdeki ortalama güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> ).....	30
Tablo 4.4	11 bölgeye ait değerlendirme kriterleri çizelgesi.....	56
Tablo 4.5	Kriterlerin değerlendirilmesi sonucu deniz üstü rüzgâr enerji santralleri kurulabilecek bölgelere ait bilgiler .....	58

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Sembol	Açıklama
m	Metre
s	Saniye
W	Watt
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
OWC	Observed Wind Climate
WAsP	Wind Atlas Analysis and Application Program
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CH <sub>4</sub>	Metan
V	h yüksekliğindeki hız
V <sub>o</sub>	Referans yükseklikteki hız
H	Hızını bulmak istediğimiz yükseklik
h <sub>o</sub>	Referans yükseklik
$\alpha$	Yüzey pürüzlülük katsayısı
$\rho$	Ortalama hava yoğunluğu
$v$	Ortalama rüzgâr hızı
k	Weibull katsayısı
P	Rüzgârgücü
D	Rotor çapı
$\Gamma$	Gama fonksiyonu

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

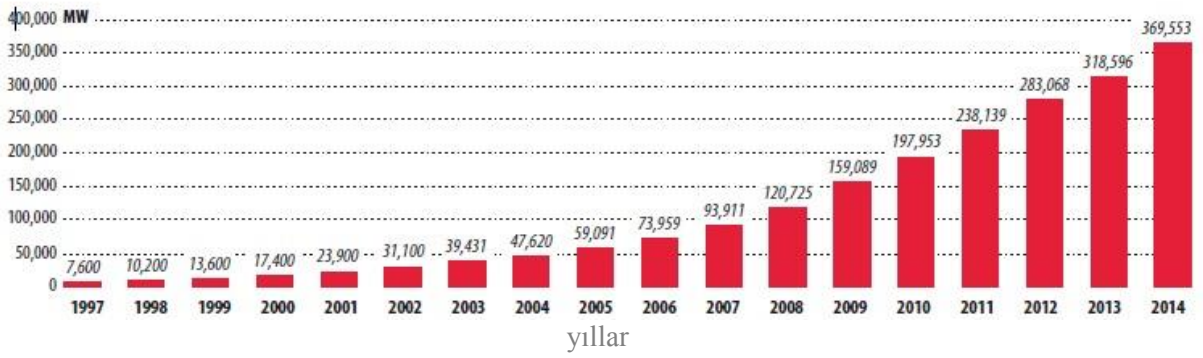
Enerji günümüzde dünyanın en önemli gereksinimlerinden biridir. Fosil yakıtlar enerjinin ana kaynağı olmakla beraber çevreye verdikleri zararlı etkilerinden ötürü kullanımına sınırlandırma getirilmeye çalışılmaktadır. Fosil yakıtların yoğun bir biçimde kullanımı küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Atmosferin bileşenleri incelendiğinde içerisinde toplam %1 oranında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>) gibi sera gazları ve sülfür gibi termostat (soğutucu) gazlar bulunmaktadır. %1'lik karışım içerisinde sera gazlarının konsantrasyonu yükseldiğinde dünyamızda global sıcaklık değerleri yükselmeye başlamakta, soğutucu gazların konsantrasyonları artmaya başladığında ise global sıcaklık değerleri düşmeye başlamaktadır [1].

Bununla birlikte fosil yakıtlar sınırlı rezervlere sahiptir ve gelecekte dünyanın enerji ihtiyacını karşılaması mümkün görülmemektedir. Hem fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması hem de fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlı etkiler sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artış göstermiş ve bu alanda daha yoğun araştırmalar yapılmasına sebebiyet vermiştir [2-4]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal, dalga, gel-git, biyokütle, biyoyakıt, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi bir çok alanda çalışmalar yapılmaktadır.

Rüzgâr enerjisi; kaynağı güneş olan, doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç kaynağıdır. Güneşten dünyaya gelen enerjinin çok az bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Güneşten gelen ışınlar, dünya yüzeyini ve atmosferi homojen bir şekilde ısıtamamaktadır. Bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi ısınrsa atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgâr adı verilmektedir. Rüzgârı; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımı, şeklinde de tanımlayabiliriz. Rüzgârlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, rüzgâr önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamana ve yöreye göre değişiklik gösterir.

Rüzgârı ifade ederken hız ve yön olmak üzere iki parametre kullanılır. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir. Rüzgâr enerji santralleri uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bununla beraber, tükenme ve hammaddesinin dışa bağımlı olmaması nedeniyle zamanla fiyatının artma riskinin olmaması, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, işletmeye alınma süresinin kısa olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi alanında yapılan çalışmalar çok hızlı bir gelişme göstermiş ve Şekil 1.1 'de görüldüğü gibi rüzgâr gücü kapasitesi son on yılda sekiz kat artıp 2014 yılı sonu itibariyle yaklaşık 369,5 GW'a ulaşmıştır [5, 6].



Şekil 1.1 Küresel kümülatif kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 1997-2014[7].

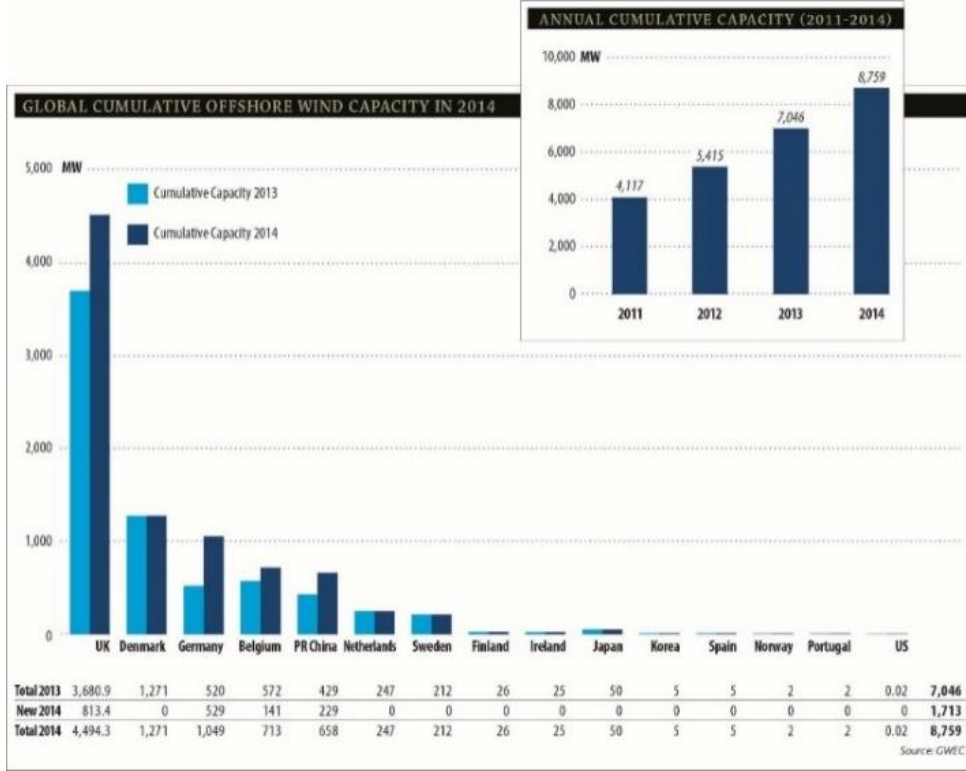
Avrupa'da 2014 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 133.968, 2 MW'tır [8]. Rüzgâr gücünün ekonomik avantajı ve 24 saatlik üretimdeki verimliliğinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla yüksek olması bütün dünyada yatırımcıların ilgisini çekmektedir.

Rüzgâr gücü yatırımcılarının birçoğu karasal rüzgâr enerji santralleri ile ilgilenmektedir fakat deniz üstü rüzgâr enerji üretimi son yıllarda kayda değer bir ilerleme göstermiş ve karasal olanlara göre üretim kapasitesi fazla olduğu için yatırımcıların dikkatini çekmiştir. Deniz üzerinde kurulan rüzgâr türbinleri dünyada "offshore wind turbines" olarak adlandırılmakta, ülkemizde deniz üstü rüzgâr türbini veya açık deniz rüzgâr türbini olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada deniz üstü rüzgâr türbini ifadesi tercih edilmiştir.

Yüksek maliyetler ve kullanılan teknolojinin karmaşıklığı sebebiyle 2008 yılına kadar deniz üstü rüzgâr santralleriyle ilgili yapılan çalışmalar çok sınırlı kalmıştır. İlk deniz üstü rüzgâr santralleri Avrupa'da özellikle Danimarka ve Hollanda'da kurulmuştur. Bugün deniz üstü



rüzgâr santrallerinin çoğunluğu Kuzey Avrupa’da kuruludur. Şekil1.2’de görüldüğü gibi Kuzey Avrupa ülkeleri ve İngiltere, 7GW’ın üzerindeki kapasitesiyle bu konuda dünyanın önde gelen ülkelerindendir. Amerika ve Çin’de de deniz üstü rüzgâr santrallerine giderek artan bir talep vardır. Bunun neticesi olarak, Çin ve Amerika 2030 yılı itibariyle deniz üstü rüzgâr kurulu güçlerini sırasıyla 30 GW ve 50 GW’a yükseltmeyi hedeflemektedirler[9, 10] .



Şekil 1.2 2014 yılı küresel kümülatif deniz üstü rüzgâr gücü kapasitesi [9]

Yüksek rüzgâr hızları ve düşük pürüzlülük sebebiyle deniz üzerindeki rüzgârlı bölgeler daha fazla rüzgâr enerjisine sahiptir ve dolayısıyla daha fazla elektrik enerjisi üretilebilir. Deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumunun karasal olanlara göre daha pahalı ve finanse etmenin daha zor olmasına rağmen yüksek elektrik üretme kapasitesine sahip olması, uzun dönemde onları daha da kazançlı hale getirmektedir [11, 12].

Türkiye gelişen ekonomisiyle dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. Ekonomik büyüme ve nüfus artışı elektrik enerjisine olan ihtiyacı artırmaktadır. Türkiye’nin Ekim 2015 sonu itibariyle kurulu gücü 72.45GW’tır. Kurulu gücün %29, 4’ünü doğalgaz-İng santralleri, %25’ini barajlı hidrolik santralleri, %12’sini taş kömürü-linyit santralleri, %10, 4’ünü akarsulu hidrolik santralleri, %8, 4’ünü ithal kömürle çalışan santraller, %5,9’unu rüzgâr santralleri, %5, 3’ünü sıvı-doğalgaz karışık yakıtlı santralleri, %1’ini fuel oil-asfaltit-nafta-motorin santralleri, %0,9’unu katı-sıvı karışık yakıtlı santralleri, %0,8’ini jeotermal

santralleri, %0,5'ini atık-pirolitik yağ santralleri ve %0,4 ünü ise lisanssız termik-rüzgâr-güneş santralleri oluşturmaktadır. Toplam santral sayısı 1407 olup bu santrallerin 111 tanesi lisanslı 3 tanesi lisanssız olmak üzere toplam 114 adet rüzgâr enerjisi santrali bulunmaktadır [13].

Üretilen enerjinin yaklaşık %35'i doğalgaz gibi hammaddesini tamamıyla yurtdışından tedarik ettiğimiz kaynaklara bağlıdır. Enerji politikalarında kaynakların arz güvenliği olmalıdır ve bunu gerçekleştirmenin en önemli yollarından biri ülkemizde bulunan mevcut enerji kaynaklarına yönelmektir. Bu konu ile ilgili yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle rüzgâr enerjisi önemli bir yer oluşturmaktadır. Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili çalışmalar 1990'lı yılların sonlarına doğru başlamıştır.2005 yılında “Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun” yayınlanana kadar bu konu ile ilgili kayda değer bir gelişme olmamıştır. Bu kanunun 1. maddesi kanunun çıkış sebebini yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir. İlgili kanunun yayına girmesiyle beraber Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi amaçlı kullanımı büyük bir ivme kazanmış ve hızlı bir şekilde önce projelendirmeler, daha sonra gerekli izinler alındıktan sonra uygulamalar başlamıştır. Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi tesis kurulumu konusundaki ivmeli artış günden güne daha da artmaktadır [14].



Şekil 1.3 Türkiye’deki rüzgâr enerji santralleri için kümülatif kurulum [14]

2006 yılında kurulu güç 51 MW iken, 2015 yılı Temmuz ayı itibariyle bu güç 4.192, 8 MW’a ulaşmıştır. Rüzgâr enerji santralleri yoğun olarak Ege, Marmara ve Akdeniz Bölgeleri’nde bulunmaktadır. Rüzgârdan elde edilen elektrik enerjisinin %21, 75’i Balıkesir’de üretilmektedir. Bunu %18, 20 ile İzmir ve %12, 89 ile Manisa takip etmektedir [15].

Türkiye’nin üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen ülkemizde halen deniz üstü rüzgâr elektrik üretim santrali bulunmamaktadır. Türkiye’de deniz üstü rüzgâr enerji santralleri ile ilgili çalışmalar çok kısıtlıdır. Uçar ve Balo denize kıyısı bulunan 12 ile ait rüzgâr hızı ve rüzgâr gücünü incelemiştir. Bu iller; Çanakkale, İzmir, Mersin, Antalya, İstanbul, Bartın, Balıkesir, Muğla, Antakya, Tekirdağ, Sinop ve Ordu’dur. Balıkesir ve Çanakkale illerinde rüzgâr hızı ve rüzgâr gücünün yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, Türkiye yıllık ortalama rüzgâr hızı ve yıllık ortalama rüzgâr yoğunluğu açısından bölgelere göre incelenmiş, Marmara Bölgesi 3.3 m/s rüzgâr hızı ve 51.9 W/m<sup>2</sup> ‘lik rüzgâr yoğunluğuyla ilk sırada yer almıştır. Bununla beraber Doğu Anadolu Bölgesi 2.1 m/s rüzgâr hızı ve 13.2 W/m<sup>2</sup> ‘lik rüzgâr yoğunluğuyla son sırada yer almıştır. Türkiye için ortalama rüzgâr hızı 2.5 m/s ve ortalama rüzgâr yoğunluğu ise 24 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır [16]. Köroğlu, Biga yarımadasında bulunan Gülpınar mevkiinde bir deniz üstü rüzgâr santrali tasarlamış, deniz üstü rüzgâr santrallerinin enerji nakil hatlarına bağlantıları konusunda araştırmalar yapmış ve bu çalışmada bağlantı yöntemlerinin ekonomik ve teknik yönden analizlerini yaparak birbirlerine

göre avantajlarını ortaya koymuştur. Ayrıca aynı güçlerdeki deniz üstü rüzgâr santrali ile karasal rüzgâr santrallerini kazançları ve yatırım maliyetlerini karşılama süreleri açısından incelemiştir. Günümüzde deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumu için karasal olanlara göre iki kat kadar yatırım maliyeti gerektirdiğini ifade etmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ile yüksek güçlerde deniz üstü rüzgâr türbinleri üretilmesi durumunda 200 metre veya daha derin sularda çalışan, toplam santral gücü 1000 MW'ın üzerinde olan, yüksek gerilim doğru akımla karaya iletimi yapılan, karada bulunan kısıtlı alanlara göre çok daha geniş kurulum alanı bulunan deniz üstü rüzgâr enerji santralleri ile karasal rüzgâr enerji santralleri kıyaslandığında deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin tercih edilmeye başlayacağını belirtmiştir [17]. Güzel, fizibilite kriterlerini inceleyerek Gökçeada ve Bozcaada için örnek bir çalışma yapmıştır [18]. İlkılıç'ın, yakın zamanda Türkiye sahillerinde rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisine dayalı yapmış olduğu çalışmada, Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz sahillerinde yüksek rüzgâr enerji potansiyeli olduğu ortaya konulmuştur [19].

Türkiye'de karada rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi belli bir ivme kazansa da, deniz üstü rüzgâr santralleriyle ilgili henüz bir kurulum gerçekleşmemiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilecek bölgelerle ilgili sınırlı sayıda yerleşim yeri çalışılmıştır. Bu tezin amacı Hopa'dan başlayarak Samandağ'a kadar olan Türkiye kıyılarındaki Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçümü yapılarak rüzgâr hız ve yön bilgileri olan bölgelerin istatistiksel analizleri ve değerlendirme kriterlerinin sonuçlarına göre deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulabileceği bölgeleri belirlemektir.

## BÖLÜM 2

### METODOLOJİ

#### 2.1. Metodoloji

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek birçok bölgesi bulunmaktadır. Kuzey'de Karadeniz, Batı'da Ege Denizi, Güney'de Akdeniz ile çevrilidir ayrıca Karadeniz ile Ege Denizi arasında yer alan, bir iç deniz olan Marmara Denizi bulunmaktadır.

Rüzgâr gücünün değerlendirilmesinde WAsP yazılımı kullanılmıştır. WAsP yazılımı rüzgâr veri analizi, rüzgâr atlası üretimi, rüzgâr iklimi oluşturma vb. işlemleri yapabilmekte ve rüzgâr enerji fizibilitesinde sıkça kullanılmaktadır.

Türkiye'de Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü karasal rüzgâr verisi sağlayan en önemli iki kuruluştur. Bu çalışmada denize kıyısı bulunan 55 bölgede yer alan meteoroloji istasyonlarından 10 metre yükseklikte saatlik bazda rüzgâr hız ve rüzgâr yön verileri alınmıştır. Türkiye'de deniz üstü rüzgâr ölçüm istasyonları bulunmadığı için tezde kullanılan hiçbir veri deniz üstüne ait değildir. Deniz üstü rüzgâr enerji potansiyeli belirlenmesi yapılırken kıyıya en yakın meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmıştır.

Seçilen bölgelerde 50m,80m,100m ve 150 metre yükseklikler için deniz üstü rüzgâr enerji potansiyeli belirlenmesi yapılmış, temel olarak 10 metrede elde edilmiş olan veriler kullanılmıştır. 50m,80m, 100m ve 150 metredeki veriler hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$V = V_o * \left(\frac{h}{h_o}\right)^\alpha \quad (1)$$

V: h yüksekliğindeki hız

V<sub>o</sub>: Referans (10m) yükseklikteki hız

h: Hızını bulmak istediğimiz yükseklik

h<sub>o</sub>: Referans (10m) yükseklik

$\alpha$ : Yüzey pürüzlülük katsayısı

Rüzgâr gücünü hesaplamak için Weibull yoğunluk olasılık fonksiyonu kullanılmıştır.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \frac{\Gamma(1 + (\frac{3}{k}))}{(\Gamma(1 + (\frac{1}{k}))^3)} \quad (2)$$

$\rho$ : Ortalama hava yoğunluğu

$v^3$ : Ortalama rüzgâr hızının küpü

k: Weibull katsayısı

Arazi pürüzlülük katsayısı ( $\alpha$ ) deniz için 0,12 olarak seçilmiştir [20]. Hesaplamalarda ortalama hava yoğunluğu ( $\rho$ ) 1,225 kg/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

OWC (Observed wind climate) modülü, saatlik rüzgâr verilerinin istatistiksel analizini oluşturmak için kullanılır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr verileri “.xls” formatındadır. WASP programı “.dat”, “.txt”, “.prn” ve “.csv” formatlarını kullanabilmektedir. “.xls” formatını “.txt”, formatına dönüştürebilmek için MATLAB programında bir kod yazılmıştır [EK A]. “.txt” dosyası, tarih, zaman, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü bilgilerini içermektedir.

WASP programı içerisinde kullanılacak olan veri formatında üç sütun bulunmaktadır. İlk sütunda ölçümün alındığı tarih-saat verisi, ikinci sütunda m/s cinsinden rüzgâr hızı verisi ve üçüncü sütunda derece cinsinden rüzgâr yönü verisi bulunmaktadır.

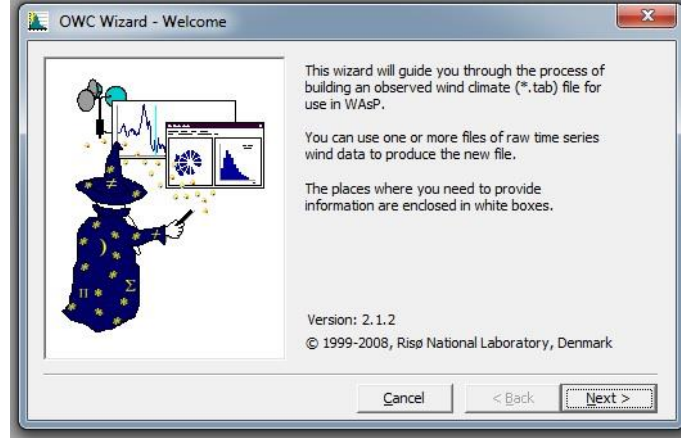
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
13011103	2.6	158		
13011104	2.0	180		
13011105	2.3	180		
13011106	4.3	158		
13011107	4.5	158		
13011108	3.6	135		
13011109	3.7	158		
13011110	5.1	180		
13011111	4.9	180		
13011112	5.1	180		
13011113	5.3	180		
13011114	6.1	180		
13011115	5.2	180		
13011116	4.2	0		
13011117	4.7	180		

Şekil 2.1 Bandırma'ya ait rüzgâr hızı verileri

Şekil 2.1'de Bandırma'ya ait rüzgâr hızı verileri görülmektedir. 1. satırda görüldüğü gibi veri “13011103 2.6 158” formatında verilmiştir. İlk sütundaki 13 2013 yılına, 01 Ocak ayına, 11

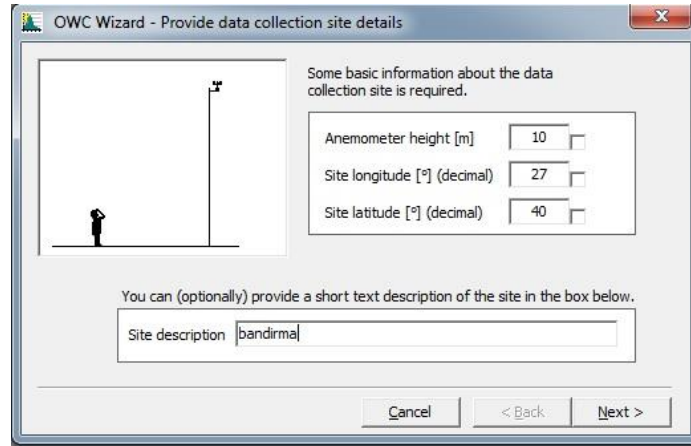
İlgili ayın 11. Gününe ve 03 03:00 saatine karşılık gelmektedir. İkinci sütundaki 2.6m/s cinsinden rüzgâr hızını, üçüncü sütundaki 158 ise derece cinsinden rüzgâr yönünü göstermektedir. Aynı tablonun bir sonraki satırındaki saat verisi incelendiğinde saatin 04:00 olduğu ve verilerin saatlik olduğu anlaşılmaktadır.

Veri analizi yapılırken WAsP programının tools menüsünden OWC Wizard alt programı seçilir.



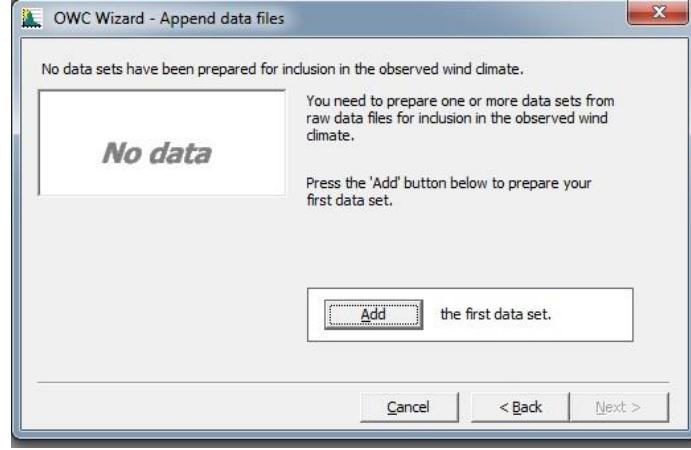
Şekil 2.2 OWC modülü

İlk adımda Şekil 2.3'te görüldüğü gibi rüzgâr hızı ölçümünün yapıldığı anemometrenin yer seviyesinden yüksekliği, derece cinsinden enlem ve boylam verileri ve ölçüm yapılan sahanın adı girilir.

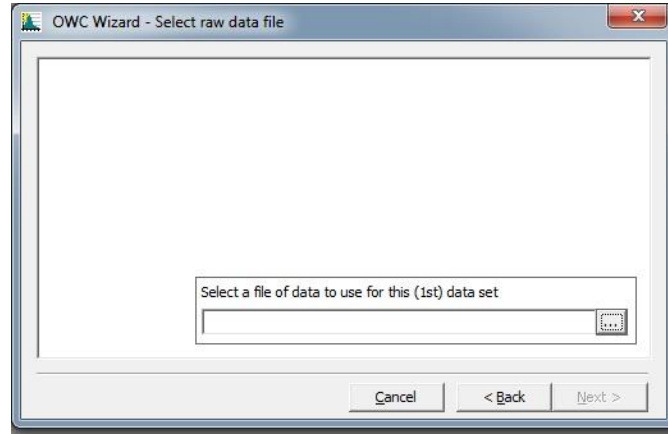


Şekil 2.3 Veri toplanan sahaya ait ölçüm yapılan yükseklik ve koordinat bilgileri

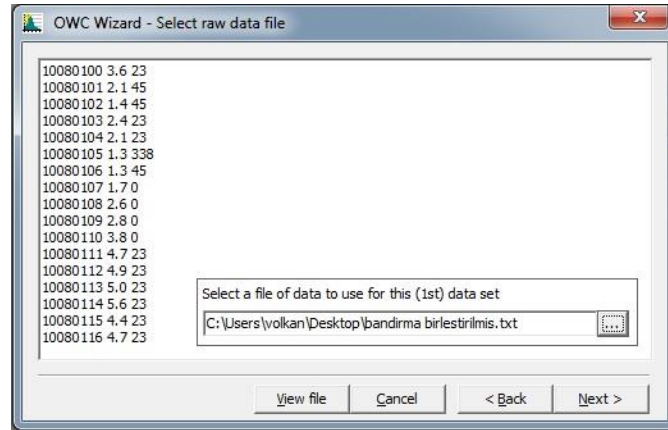
Daha sonra veri setleri önceden hazırlamış olduğumuz dosyadan çağırılarak Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'teki gibi WAsP programına yerleştirilmiştir. Programa yüklenen verilerin görüntüsü Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.4 Veri setinin bilgisayardaki dosyadan programa eklenmesi



Şekil 2.5 Veri setinin bilgisayardaki dosyadan çağırılması

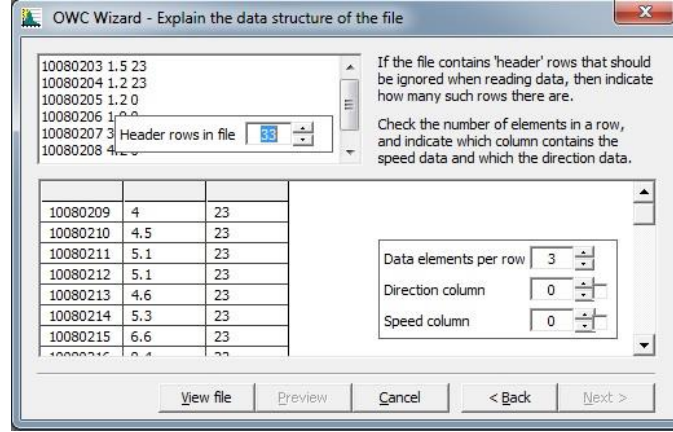


Şekil 2.6 Veri setinin dosyadan çağırıldıktan sonraki görünümü

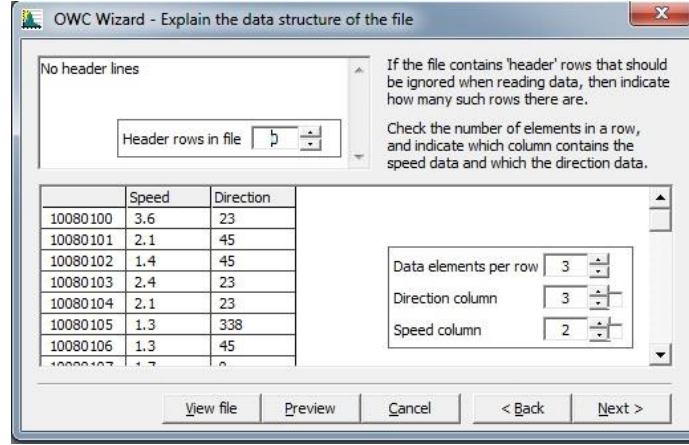
Bir sonraki adımda Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de görüldüğü gibi veri yapısının programa tanıtımı gerçekleştirildi. Bu aşamada çağrılan “.txt” uzantılı dosyanın her bir satırında kaç adet veri



olduğu girildi, ilave olarak hız ve yön veri sütunlarına ait başlıklar doğru bir biçimde eşleştirildi.

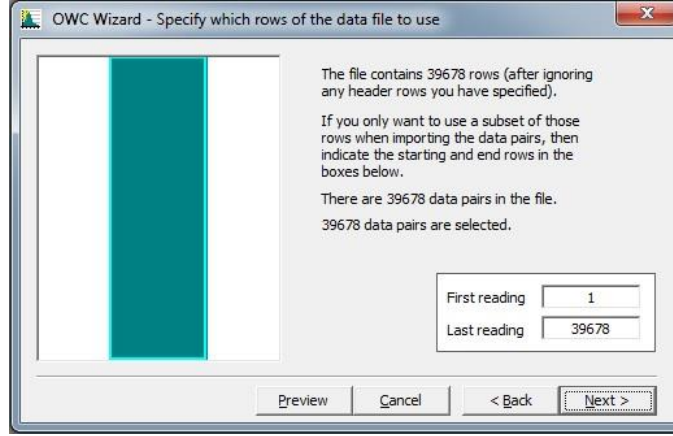


Şekil 2.7 Veri seti yapısının programa tanıtılması

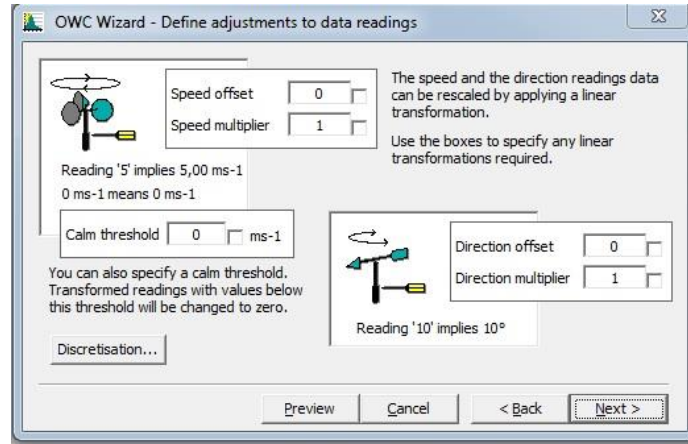


Şekil 2.8 Veri seti yapısı tanıtılırken başlıkların düzenlenmesi

Şekil 2.9'da programa doğru tanıtılan veri seti sayısı görülmektedir. Sonraki aşamada verilerle ilgili ihmal edilebilecek eşik hız değeri tanımlanır. Şekil 2.10'da, program 0'dan eşik değeri olarak tanımladığımız hız değerine kadar olan hızların bulunduğu veri setlerini liste dışı bırakmaktadır.

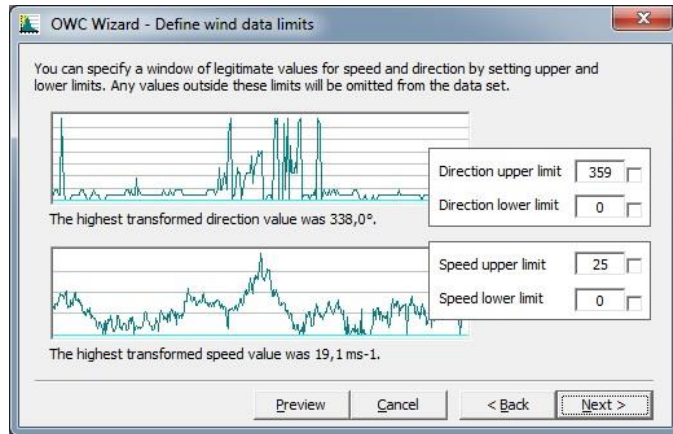


Şekil 2.9 Programa tanıtılan veri setlerinin sayısı



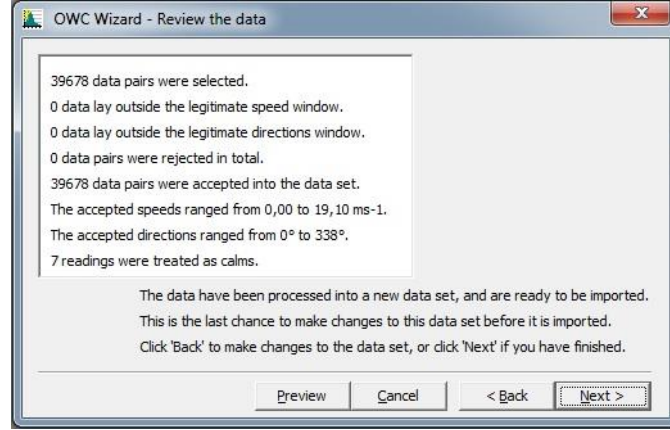
Şekil 2.10 Veri setlerinden ihmal edilebilecek eşik hız değerinin girilmesi

Benzer biçimde Şekil 2.11’de görülen aşamada yön verileri ile hız verilerine ait alt ve üst limitleri ayarlayarak istediğimiz aralıktaki veri setlerinin kalmasını sağlıyoruz.



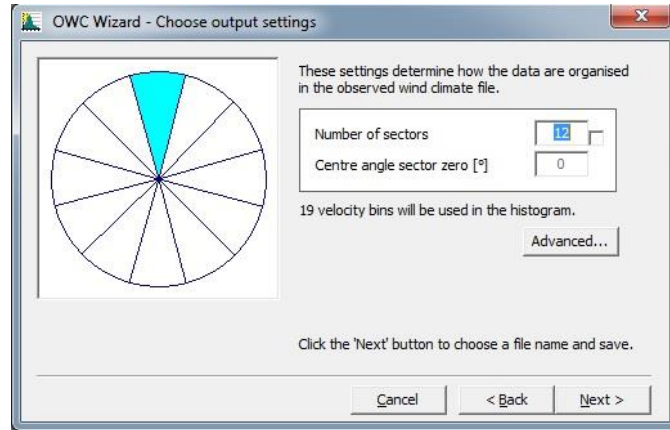
Şekil 2.11 Veri setlerinden isteğe bağlı yön ve hız alt - üst limitlerinin belirlenmesi

Bu aşamada Şekil 2.12’de programa tanıttığımız ve limit ayarlarını yaptığımız verilerden ne kadarının kabul edildiğini ve ne kadarının limit dışı kaldığını görebilmekteyiz.

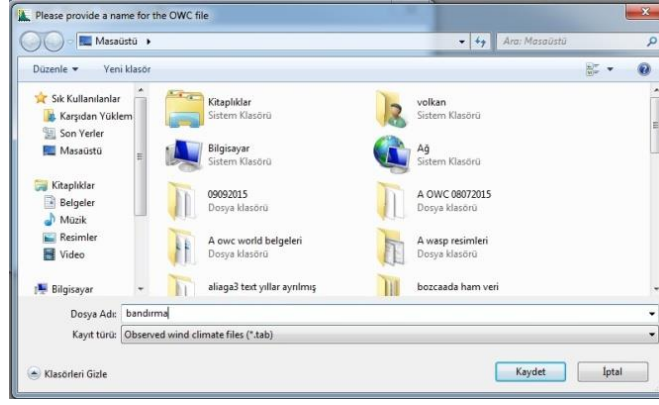


Şekil 2.12 Programa tanıtılan veri setlerinin detaylı açıklamaları

Şekil 2.13’te rüzgâr yönlerine ait kaç adet sektör olacağı ve merkez açının kaç derece olacağını belirlemektedir. Şekil 2.14’te görüldüğü gibi çıktıya bir isim verilerek kaydetme işlemi gerçekleştirilmiştir.

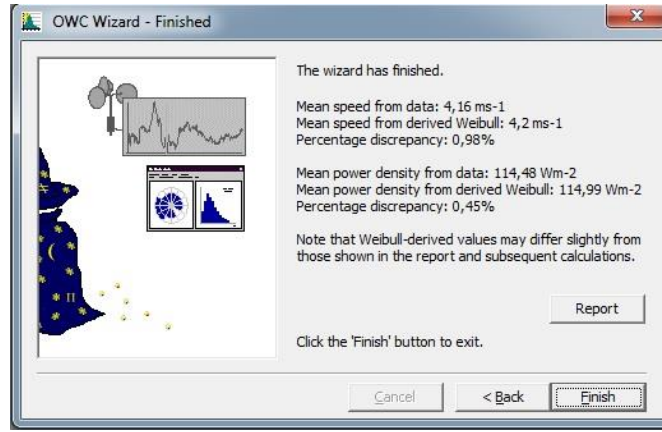


Şekil 2.13Çıktı ayarları, rüzgâr yönü sektörleri

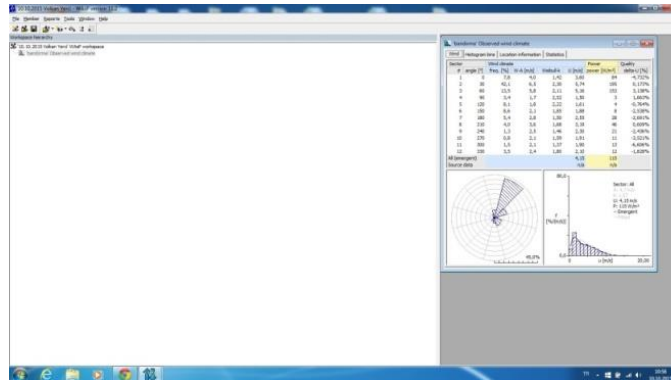


Şekil 2.14 Kaydedilecek çıktı dosyasını isimlendirme

Modülü sonlandırdığımız bu son aşamada modülden çıkılır ve bu durumda OWC analizi tamamlanmış olur. Bilgisayardan kaydettiğimiz OWC dosyasını çağırdığımız zaman OWC rapor çıktısı görülmektedir.



Şekil 2.15 OWC modülünün sonlandırılması



Şekil 2.16 OWC rapor çıktısı

OWC modülü veriyi işleyerek ortalama rüzgâr hızı, ortalama güç yoğunluğu, ağırlıklı rüzgâr yönü dağılımı ve rüzgâr hızı dağılımı histogramını hesaplayarak oluşturmaktadır. OWC modülünün çıktıları bize Türkiye'nin ortalama güç yoğunluğu ve en yüksek ortalama hızlarını göstererek deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulabileceği en uygun yerleri belirlememize yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, kıyı bölgelerindeki rüzgâr türbinlerinin rüzgâr yönlerine, deniz derinliğine ve kıyılardan uzaklıklarına bağlı olarak deniz üzerinde yerleşebilecekleri yerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ağırlıklı rüzgâr yönü dağılım grafiği bize deniz üzerinde türbin kanatlarının konumlandırılacağı yönü göstermektedir. Türbinlerin yaklaşık doğrulukta yerlerinin belirlenmesi için Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanmış olan deniz derinliklerinin detaylı biçimde yer aldığı seyir haritaları temin edilmiştir. Seyir haritaları belirli ölçeklere göre düzenlenmiş üzerinde kıyıdan başlayarak belirli kontur çizgileri kullanılarak deniz derinliklerini kademe kademe bildiren, askeri eğitim ve atış alanlarını, deniz altında bulunan kablo, boru hattı vb. bilgileri içermektedir. Şekil 2.17'de çalışmamızda kullanılan Bozcaada'ya ait seyir haritasından bir kesit görülmektedir.



**Şekil 2.17**Bozcaada seyir haritasından bir kesit

## BÖLÜM 3

### DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR SANTRALİ KURULABİLECEK BÖLGELERİN KONUM BELİRLEME KRİTERLERİ

Deniz üstü rüzgâr santralleri kurulacak bölgelerin belirlenmesinde detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Avrupa ülkelerinde deniz üstü imar planlamaları da şehir planlamasıyla beraber yapılmaktadır. Bazı denizlerin turizm bölgesi olması ve askeri bölgelerin bulunması deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumunu sınırlandırmaktadır [21].

Deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilecek alanların belirlenmesi için bazı kriterler bulunmaktadır. İlk ve en önemlisi rüzgâr hızı ortalamasının yeteri kadar yüksek olmasıdır. Buna ek olarak, seçilecek bölgenin, kıta sahanlığına, askeri alanlara, deniz trafiğine, boru hatlarına ve mevcut kabloların güzergahlarına bakılması gerekmektedir [17,18]. Ayrıca ses, görüntü kirliliği ve kuşların göç yolları gibi çevresel ve sosyal faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Deniz üstü rüzgâr santrallerinin yüksek kurulum maliyetleri halen bu santrallerin istenen ölçüde yaygınlaşmamasının en önemli sebeplerinden birisidir. Kurulumdan önce deniz üstü rüzgâr santrallerinin detaylı bir maliyet analizi yapılmalıdır. Temel ve türbinlerin birbirleriyle olan bağlantıları ve üretilen enerjinin karaya iletilmesinde kullanılacak deniz altı kabloları deniz üstü rüzgâr santrallerinin maliyetlerini etkileyen ana kalemlerdir. Deniz derinliği, deniz tabanı yapısı, santralin karaya olan uzaklıkları ve dolayısıyla kullanılacak olan özel enerji kabloları da maliyeti arttıran diğer faktörlerdendir [11,12]. Ayrıca deniz üstü rüzgâr santralleri kıyıdan çok uzak bir konumda tesis edilecekse ilave bir trafo merkezinin kurulması gerekmektedir, bu da maliyeti artıran diğer bir unsurdur.

#### 3.1. Deniz üstü rüzgâr santralleri

Deniz üstü rüzgâr santralleri ile karada kurulan rüzgâr santralleri her ne kadar teknik açıdan birbirine benzeseler de yapım teknikleri açısından bazı farklılıklar bulunmaktadır. Deniz üzerine kurulacak olan rüzgâr türbinlerinin özellikle uzun yıllar deniz suyuna dolayısıyla tuz ve rutubete maruz kalacağı için dış kısmı özel bir kaplama ile kaplanmaktadır. Ayrıca bazı denizlerde soğuk iklimden dolayı denizde donmalar meydana gelmekte, güçlü fırtınalar yaşanmakta, çok yüksek dalgalar oluşmaktadır. Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin iç kısımları kapalı, hava almayacak bir şekilde tasarlanmıştır. Dişli kutusu ve generatör bölümleri kapalı devre ile soğutulmaktadır. Hem kule hem de türbinin iç kısmında mevcut olan yoğun nemin

giderilmesi için nem giderici sistemler kullanılmaktadır. Türbinleri hareketleri parçalarının yağlanması otomatik olarak yapılmakta, dişlilerde kullanılan yağ sürekli filtre edilmekte ve yağ sıcaklığının her tür hava koşulunda aynı kalması için ısıtma-soğutma işlemi yapılmaktadır.

Deniz üzerinde kullanılacak olan rüzgâr türbin kulelerinin çok yüksek olması gerekmemektedir yalnız gel-git olayları, yüksek dalgalar vb. ekstrem faktörler göz önünde bulundurularak kule yüksekliği belirlenmelidir. Bu yükseklik normal dönem su yüksekliğinin üzerine eklenen gel-git dalga yüksekliği ve bu yüksekliğin üzerine eklenmiş maksimum ölçülmüş dalga yüksekliğinin ilavesi ile rotor kanatlarının en aşağıdaki konumu arasında bırakılmış bir pay yükseklik ile rotor yarıçapının ilavesi sonucu ortaya çıkan bir kule yüksekliğidir.

Düşük pürüzlülük oranından dolayı deniz üzerindeki rüzgâr hızları karaya oranla daha stabil ve daha yüksektir. Rotordan geçen rüzgârın basıncı, hızı ve taşıdığı enerji azalır, şekli değişir, belli bir mesafe kat ettikten sonra toparlayarak tekrar eski durumuna döner. Bu durum iz etkisi olarak adlandırılır. Birden fazla türbinden oluşan rüzgâr enerji santrallerinde arka sıralarda kalan türbinlerin çok düşük iz etkisine maruz kalması için türbinler arasında belirli mesafeler bırakılmalıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu mesafenin rüzgâra karşı yanal dizilimde 2D-5D(rotor çapı), dikey dizilimde 8D-12D (rotor çapı) olması gerektiği kabul edilmiştir [22].

Deniz üstü türbinlere kontrol, bakım, arıza vb. amaçlarla gereken ulaşım karasal olanlara kıyasla daha zor olmaktadır. Deniz üstü türbinlere ulaşım ihtiyaca göre gemi veya botlarla yapıldığı gibi gerektiğinde helikopterle de sağlanmaktadır. Bu nedenlerle deniz taşıtlarının yanaşabilmesi için türbinlere bir iskele, ayrıca isteğe bağlı olarak helikopterlerin iniş yapabilmeleri için türbinin yanına bir heliport yapılabilmektedir.

### **3.1.1. Temel seçimi**

Deniz üstü rüzgâr santrallerinin uzun yıllar dalgalara, akıntılara karşı sağlam bir şekilde ayakta durabilmesi için temel yapılarının aşırı derecede mukavemetli olması gerekmektedir. Temel yapıları belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken birkaç temel faktör vardır. Bunlardan birincisi deniz üstü rüzgâr türbininin kule yüksekliği ve ağırlığıdır. İkinci faktör deniz tabanının yapısıdır. Son olarak temelin yapılacağı suyun derinliğidir.

Temel yapılarının seçimi kurulum yapılacak alandaki oşinografik şartlara ve yapılacak ön etütlere bağlıdır. Saha incelemeleri finansal yönden yapılacak harcamaları belirler. Bu

incelemeler neticesinde bazen projelerin kurulumları ertelenebilir, proje alanı daraltılabilir dolayısıyla toplam proje gücü düşürülebilir.

Deniz tabanında jeoteknik ve jeofizik incelemeler yapılması gerekmektedir. Jeoteknik incelemelerde temellerin yapılacağı zemin toprağının fiziksel özellikleri belirlenir. Jeofiziksel testlerle ise ses dalgalarıyla zemin altındaki katmanları ve sualtındaki arazi şekli belirlenir.

Günümüzde yaygın kullanıma sahip dört ana temel tipi bulunmaktadır. Bunlar, yerçekimi merkezli (gravity), tek kazık (monopile), üç ayak (tripod) ve ceket (jacket) tipi temellerdir. Üç ayak ve ceket tipi temellerin üst bağlantı kısımlarının farklı versiyonları bulunmaktadır. Ayrıca, derin sularda kullanılabilen yüzer (floating) tip temeller de gelişim göstermektedir.

### 3.1.1.1 Yerçekimi merkezli (gravity) temel

Çelik ve dayanıklı betondan üretilmiş, devrilmeye karşı genişleyen bir kütlesi olan bir temel çeşididir. Bu temeller sığ sular için geliştirilmiş olup mevcutta en çok kullanılan temel tipidir. Şekil 3.1’ de yerçekimi merkezli bir temel üzerine montajı yapılmış deniz üstü rüzgâr türbini görülmektedir.



**Şekil 3.1** Yerçekimi merkezli temel üzerine montajı yapılmış rüzgâr türbini[23]

Karada imal edilen beton temel, yüzdürme dubaları vasıtasıyla kurulum yapılacak alana yüzdürülür ve balast kısmına doldurulan ağırlıklarla batırılır. Yerçekimi merkezli temeller 10



metre derinliğe kadar olan sığ sularda kullanılır. Yerleştirilecek deniz tabanının batırılmadan önce düzeltilmesi gerekmektedir. Şekil 3.2’ de yerçekimi merkezli temelin dubalarla taşınması ve vinçle yerleştirilmesi görülmektedir.



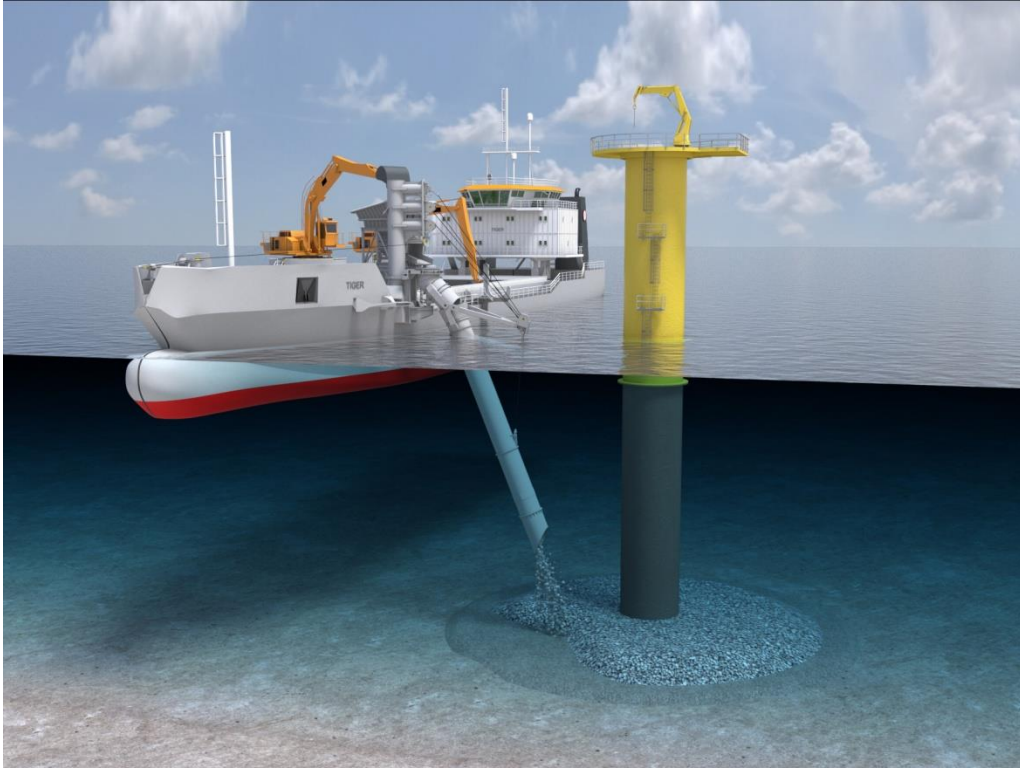
**Şekil 3.2** Yerçekimi merkezli temelin dubalarla taşınması ve vinçle yerleştirilmesi[24]

### **3.1.1.2 Tek kazık (monopile) temel**

Montajı yapılacak yere gemilerle taşınarak götürülen ve deniz zeminine hidrolik bir çekiçle çakılarak bağımsız olarak durması sağlanan bir çelik borudan oluşan bu temel tek kazık temel olarak adlandırılır. Kullanılan çelik boru 4-6 metre çapa sahiptir. Şekil 3.3’de çakılacak olan çelik boruların ve üzerlerine geçirilerek sabitlenecek olan dış kılıfların dubalar üzerinde bir gemi yardımıyla taşınması görülmektedir. Özellikle düşük maliyetinden dolayı tercih edilir. Denizaltı zemininin kum ya da çakıl olması gerekmektedir. Kurulum öncesi deniz tabanında düzeltme işlemi gibi herhangi bir masraf gerektirmez, yalnızca kurulumdan sonra çakıl veya beton dökülerek kumsal alanın üzeri kapatılır. En fazla 25 metre deniz derinliğinde kullanılabilir [25]. Şekil 3.4’te tek kazık temelin tabanı sağlamlaştırılırken görülmektedir.



Şekil 3.3 Tek kazık temel için çakılacak olan çelik boruların ve dış kılıfların taşınması[26]



Şekil 3.4 Tek kazık temel ve taban kısmının sağlamlaştırılması[27]

### 3.1.1.3 Üç ayak temel (tripod)

Üç ayak tarafından desteklenen merkezi bir çelik tüpten oluşan temel üçayak (tripod) temel olarak adlandırılır. 20-30m deniz derinliğinde kullanıma uygundur. Deniz zeminine yaklaşık 0, 9 metre çaplı üç adet çelik boru çakılır. Üç ayak temel bu çelik boruların üzerine monte

edilir. Denize çakılan kısım yaklaşık 20 metre kadar olabilir. Şekil 3.5’ de üç ayak temel üst yapısı vinçle suya indirilirken görülmektedir.



Şekil 3.5 Üç ayak temel üst yapısının vinçle montaj yapılacak alana indirilmesi[28].

#### 3.1.1.4 Ceket (Jacket) tipi temel

Üç ayak temel prensibini üzerine geliştirilmiş 20-50 metre deniz derinliklerinde deniz üstü rüzgâr türbinlerinde kullanılacak olan bir temel tipidir. Standart çelik borulardan imal edilmiştir. Deniz üstü türbini taşıyacak olan boruyu dört taraftan bir ceket gibi çevrelediği için bu adı almıştır. Şekil 3.6’ da ceket tipi bir temel görülmektedir.



Şekil 3.6 Ceket tipi temel üzerine kurulmuş bir deniz üstü rüzgâr türbini[29]

### **3.1.1.5 Yüzer (Floating) temel**

Açık denizlerde bulunan çok hızlı rüzgârlar büyük karlardan dolayı yatırımcıların ilgisini çekmekte fakat derin sularda olan bu alanlara nasıl bir temel oluşturarak üzerine rüzgâr türbini yerleştirilebilir sorusuna bir çözüm olarak geliştirilmiştir. Yüzer rüzgâr türbinleri deniz tabanına özel halatlarla bağlanmaktadır. Özellikle turistik bölgelerde deniz kıyısının rüzgâr santrallerinden dolayı görüntü bozulmamakta ve halkın tepkisini çekmemektedir. Açık denizlerde yapılan türbinlerin karadan görülmesi zorlaşmaktadır bu da görsel açıdan avantajlı bir durumdur. Dünyada deniz üstü rüzgâr türbini üreten firmalar bu teknolojiyi geliştirmek üzere yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Blue H, Hywind, Wind Float, Ideol, Nautica Windpower, OC3 Hywind, Deepwind, VoltturnUS vb. konsept uygulamalar bulunmaktadır [30].

Bu çalışmada 0-10 metre deniz derinliği olan yerlerde yerçekimi merkezli temeller, 10-25m derinlikte olan yerlerde tek kazık temeller, 25-30m derinlikte olan yerler için üç ayak temeller ve 30-45m derinlikler için ceket tipi temellerin kullanımı öngörülmüştür.

### **3.2. Rüzgâr potansiyeli**

Ortalama hızı 3 m/s üzerinde olan bölgeler rüzgâr santralleri kurulumuna uygun olarak değerlendirilmiştir[16].

Doğru ve güvenilir rüzgâr verileri ilgili bölgenin değerlendirilmesi için hayati önem taşımaktadır. Ne yazık ki şu an için Türkiye’de deniz üstü rüzgâr ölçüm istasyonu bulunmamaktadır ve değerlendirmeler en yakın kara parçasına ait yerleşimdeki ölçümler temel alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada rüzgâr enerji potansiyelinin değerlendirilebilmesi için rüzgâr verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden tedarik edilmiştir.

Bir bölgeye ait rüzgâr enerji potansiyelinin daha doğru değerlendirilebilmesi için ideal ölçümün kurulumun düşünüldüğü bölgeye en yakın konumda, en az 30 metre yükseklikte, saatlik bazda ve en az 10 yıllık (uzun dönemli) verilerin alınmış olması gerekmektedir. Bu çalışmada ölçümler 10 metre yükseklikte, saatlik bazda ve karada bulunan meteoroloji istasyonlarından alınmıştır. Değerlendirilen bütün istasyonlarda 10 yıllık veri bulunmadığı için 5- 10 yıl arasında temin edilen veriler kullanılmıştır.

### **3.3. Kıta sahanlığı**

Uluslararası kanunlara göre kıta sahanlığı bir ülkenin kara parçasına bitişik deniz alanını tarif etmekte olup, bu bölgede de aynı ülkenin yargı kuralları geçerlidir [31]. 1982 yılında

Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi 3. maddesine göre antlaşma ile korunan karasularının genişliği 12 deniz milidir. Türkiye'nin Ege Denizi'ndeki deniz sınırları Yunan adalarına çok yakın olmasından dolayı çok dardır. Bugün her iki ülke Ege Deniz'indeki 6 deniz mili olan sınırı kabul etmektedir. Bazı bölgelerde karasularının genişliği 1 deniz miline kadar düşmektedir. Bu yüzden yüksek rüzgâr hızına sahip olan bazı bölgeler deniz üstü rüzgâr santralleri kurulumuna uygun bulunmamıştır. Diğer taraftan Karadeniz ve Akdeniz'de kıta sahanlığı, diğer ülkelerden oldukça uzakta olup herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

#### **3.4. Askeri alanlar**

Bazı kıyılar ve denizler üzerindeki bazı bölgeler eğitim ve atış sahaları olarak kullanıldığı için farklı kullanımlara kapalıdır. Askeri alanlar, eğitim alanları, askeri yasak sahalar ve deniz özel güvenlik bölgelerinden oluşmaktadır. Bütün dünyada deniz kuvvetleri düşük yoğunlukta deniz trafiğine sahip, açık denizleri kullanmak istemektedir fakat hızla gelişen deniz üstü rüzgâr santralleri kurulumu ve bu kurulumlardan kaynaklanan parazit etkiler yatırımcılarla deniz kuvvetlerini karşı karşıya getirmektedir. Diğer taraftan, rüzgâr endüstrisi, ekonomik olarak uygulanabilir birçok projenin askeri nedenlerle kısıtlandığına inanmaktadır [32].

Sonuç olarak deniz üstü rüzgâr santrallerinin konularının belirlenmesinde ülke menfaatleri düşünülerek, askeri hassasiyetler göz önünde bulundurularak bu sahalardan kaçınılmalıdır.

#### **3.5. Sivil havacılık**

Rüzgâr türbinleri sivil havacılıkta bazı problemlere yol açabilmektedir. Rüzgâr türbinlerinin sesleri radar sistemlerini etkileyebilmektedir. Bu problem yüzünden bazı ülkeler rüzgâr türbinlerinin radarlara olan zararlı etkilerini azaltabilmek için ilave fonlarla araştırmaları desteklemektedir. 2008 yılında İngiltere'de rüzgâr endüstrisi, havacılık endüstrisi ve devlet arasında bu konu ile ilgili bir anlaşma imzalanmıştır [33]. Uçakların kalkış ve iniş yönlerine yakın mesafelere rüzgâr türbinleri kurulamaz. Ayrıca Türkiye'de bazı bölgelerde denizlerin üzerinde turistik gezi veya insan taşıma amaçlı uçakların suya iniş kalkış alanları bulunmaktadır. Bu bölgelere rüzgâr türbini kurulumu düşünülmemelidir.

#### **3.6. Deniz Trafiği**

Özellikle gelişmiş ülkelerde yoğunlaşan deniz trafiği bir sorun haline gelmektedir. Deniz üstü rüzgâr santrallerine olan talebin artmasıyla beraber deniz üstü bölgelerinin efektif kullanımı için planlamalar yapılmaktadır [34, 35]. Rüzgâr enerjisi endüstrisi tarafından deniz üstü rüzgâr santrali kurulacak alanlarda gemi rotalarının değiştirilmesinin ekonomik etkileri

araştırılarak ve bu santraller için deniz üzerinden daha fazla saha istenerek hükümetlere baskı yapılmaktadır [36]. Türkiye’de mevcut deniz üstü planlarda henüz deniz üstü rüzgâr enerji santralleri için herhangi bir saha ayrılmış durumda değildir ve kurulum için şu ana kadar bilinen bir plan bulunmamaktadır. Ayrıca Türkiye’de bazı koylarda adalarda, yarımadalarda ve diğer ülkelerin adaları arasında bölgesel insan ve yük taşımacılığı yapılan deniz rotaları bulunmaktadır. Santrallerin kurulacağı yer belirlenirken trafik yoğunluğu yüksek olan bölgeler dikkate alınmalıdır.

### **3.7. Boru hatları ve yer altı kabloları**

Gelişmiş ülkelerle karşılaştığımızda Türkiye’de denizlerde az sayıda boru hattı ve yer altı kablosu geçmektedir. Denizdeki boru hattı ve kabloların güvenliği göz önünde bulundurulduğunda, denizciler ve balıkçılar için halihazırdaki mevcut kısıtlamalar bize fikir vermektedir. Buna göre denizaltından geçen kabloların en az 500m yakınında demirleme, tarak çekme, trolle avlanma gibi işlemler yapılmamalıdır. Benzer şekilde, denizciler ve balıkçıların doğalgaz hatlarında sızıntı ve patlama tehlikesine karşı zarar verebilecekleri göz önünde bulundurularak hatların 500m yakınına demirleme, trolle avlanma gibi işlemler yasaklanmıştır [37]. Deniz üstü rüzgâr santralleri kurulurken bu hususlara dikkat edilmelidir.

### **3.8. Sosyal faktörler**

Bir bölgede inşa edilecek olan herhangi bir tesisi halkın kabullenmesi veya yapımına karşı gelmesi o tesisin kurulumunun gecikmesine, ertelenmesine veya iptal edilmesine bile yol açabilmektedir. Benzer şekilde genel olarak bir bölgede halk geçimini balıkçılıktan sağlıyorsa ve Deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumundan sonra o bölgede balık yuvalarının zarar görerek balıkçılığın etkileneceğini düşünüyorlarsa veya turistik bir bölgede kıyıya çok yakın kurulacak rüzgâr santralleri bulunursa doğal güzellik için gelecek olan turist sayısında bir azalma olabileceğini düşünebileceklerdir ve bu durum tesisin kurulumuna etki edebilmektedir. Ayrıca görsellik ve türbinlerin çıkarmış olduğu sesler de iki önemli maddedir [21].

### **3.9. Çevresel faktörler**

Fosil yakıtların zararları, rüzgâr enerjisini de içeren yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki yatırımların hızlı bir şekilde büyümesini sağlayan ana etkidir. Rüzgâr enerjisi endüstrisi alanındaki mevcut gelişmeler ve uygulamaların yaygınlaşması, beraberinde çevresel endişeleri artırmıştır. Avrupa’da rüzgâr santrallerinin yaygınlaşmasına paralel olarak

doğayı koruma konusunda çok güçlü bir yasal çerçeve oluşmuştur, böylece çevreye karşı olumsuz etkiye neden olabilecek herhangi bir konu her zaman denetlenmektedir.

Kuşlar ve yarasalar rüzgâr türbini kanatlarına çarpma riskiyle karşı karşıyadır. Rüzgâr santrallerinin kuşların uçuş güzergahlarını değiştirmelerine sebep oldukları düşünülmektedir. Kuşlar ve deniz canlıları, deniz üstü rüzgâr santrallerinden doğan görsel, ses, titreşim, manyetik alan gibi sebeplerle buldukları bölgeyi terk edebilirler Gelişmiş ülkelerde, Stratejik Çevresel Değerlendirme Kuruluşları tarafından bölgesel veya ulusal düzeyde hassasiyet haritalandırması yapılarak çevresel açıdan deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygun veya kısıtlı bölgeler tanımlanmaktadır [21].

### **3.10. Diğer faktörler**

Deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin kurulumlarını etkileyen başka kriterler de bulunmaktadır. Bunlar, balıkçılık, aynı sahada bulunan doğalgaz ve petrol platformları, madencilik sahaları vb. olup kurulumdan önce mutlaka araştırılmalıdır.

## BÖLÜM 4

### DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ VE ANALİZLER

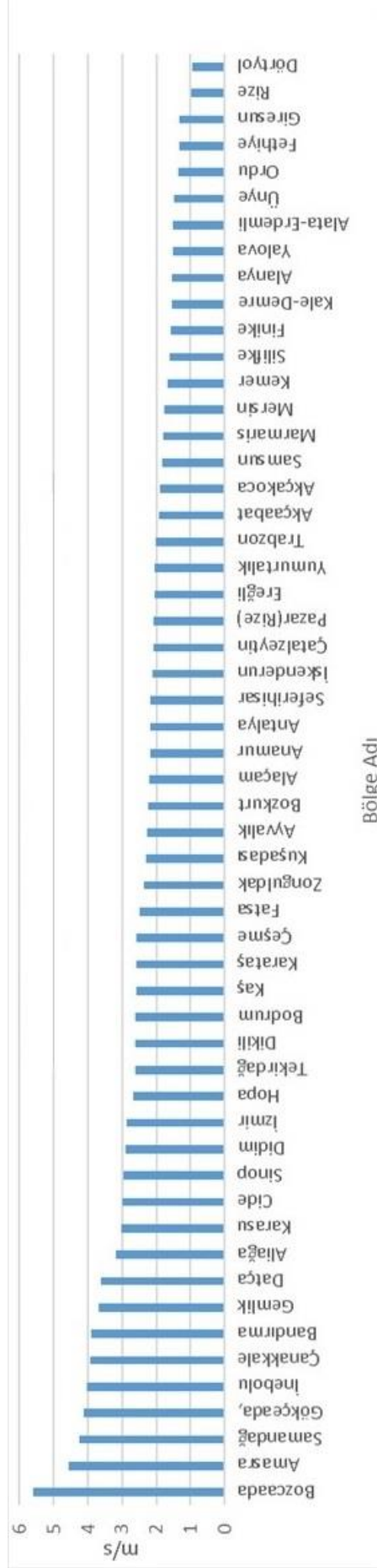
55 kıyı bölgesine ait rüzgâr verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Türkiye'de deniz üzerinde rüzgâr ölçüm istasyonu bulunmadığı için, en yakın karada bulunan meteoroloji istasyonlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler ilgili bölgelere ait rüzgâr gücü potansiyelinin en doğru biçimde tahmin etmek için kullanılmıştır. Yapılan analizlerde 10 metre yükseklikte, saatlik bazda alınan veriler kullanılmıştır. Her bölgeye ait 10 yıllık rüzgâr hız ve yön bilgileri bulunmadığı için, ölçümler 5-10 yıllık verileri içermektedir. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'deki kırsal bölgelere ait ortalama rüzgâr hızları görülmektedir.

Şekil 4.1' deki grafikte görüldüğü gibi ortalama rüzgâr hızları 3 m/s üzerinde olduğu için İnebolu, Çanakkale, Datça, Amasra, Karasu, Gemlik, Bandırma, Aliğa, Samandağ, Gökçeada ve Bozcaada'da deniz üstü rüzgâr santrali kurulması mümkün olabilir.



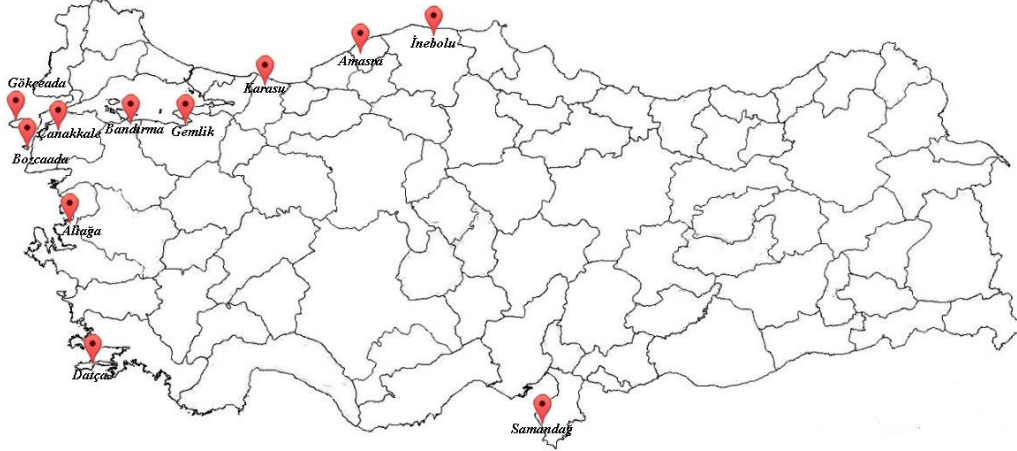
**Tablo4.1** Türkiye kıyı şeridinde bulunan yerleşimlere ait ortalama rüzgâr hızları

Bölge	Ortalama RüzgârHızı(m/s)	Bölge	Ortalama RüzgârHızı (m/s)	Bölge	Ortalama RüzgârHızı (m/s)
Akçaabat	1.9	Didim	2.9	Kuşadası	2.3
Akçakoca	1.9	Dikili	2.6	Marmaris	1.8
Alaçam	2.2	Dört Yol	1.0	Mersin	1.8
Alanya	1.5	Ereğli	2.1	Ordu	1.4
Alata- Erdemli	1.5	Fatsa	2.5	Pazar(Rize)	2.1
Aliağa	3.2	Fethiye	1.3	Rize	1.0
Amasra	4.6	Finike	1.6	Samandağ	4.2
Anamur	2.2	Gemlik	3.7	Samsun	1.8
Antalya	2.2	Giresun	1.3	Seferihisar	2.2
Ayvalık	2.3	Gökçeada.	4.1	Silifke	1.6
Bandırma	3.9	Hopa	2.7	Sinop	3.0
Bodrum	2.6	İnebolu	4.0	Tekirdağ	2.6
Bozcaada	5.6	İskenderun	2.1	Trabzon	2.0
Bozkurt	2.2	İzmir	2.9	Ünye	1.5
Cide	3.0	Kale- Demre	1.6	Yalova	1.5
Çanakkale	3.9	Karasu	3.0	Yumurtalık	2.0
Çatalzeytin	2.1	Karataş	2.6	Zonguldak	2.4
Çeşme	2.6	Kaş	2.6		
Datça	3.6	Kemer	1.7		



Şekil 4.1 Türkiye kıyı şeridinde bulunan bölgelere ait ortalama rüzgar hızları

Sadece rüzgâr hızlarına göre değerlendirildiğinde Türkiye haritası üzerinde deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek bölgeler Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



**Şekil 4.2**Rüzgâr hızlarına göre değerlendirildiğinde deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek bölgeler.

Tablo 4.2 10 metre yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 3 m/s üzerinde olan kıyı bölgelerinin değişik yüksekliklerdeki rüzgâr hızlarını göstermektedir.

**Tablo 4.2** Farklı yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr hızları (m/s)

Bölge	50 m	80 m	100 m	150 m
Aliğa	4.3	4.6	4.8	5.1
Amasra	6	6.4	6.6	7
Bandırma	5.7	6.1	6.3	6.7
Bozcaada	8	8.6	8.8	9.3
Çanakkale	5.2	5.6	5.8	6.1
Datça	5	5.3	5.5	5.8
Gemlik	4.8	5.2	5.3	5.6
Gökçeada	5.9	6.3	6.5	6.9
İnebolu	5.7	6.1	6.3	6.7
Karasu	3.5	3.6	3.7	4
Samandığ	6	6.4	6.6	7

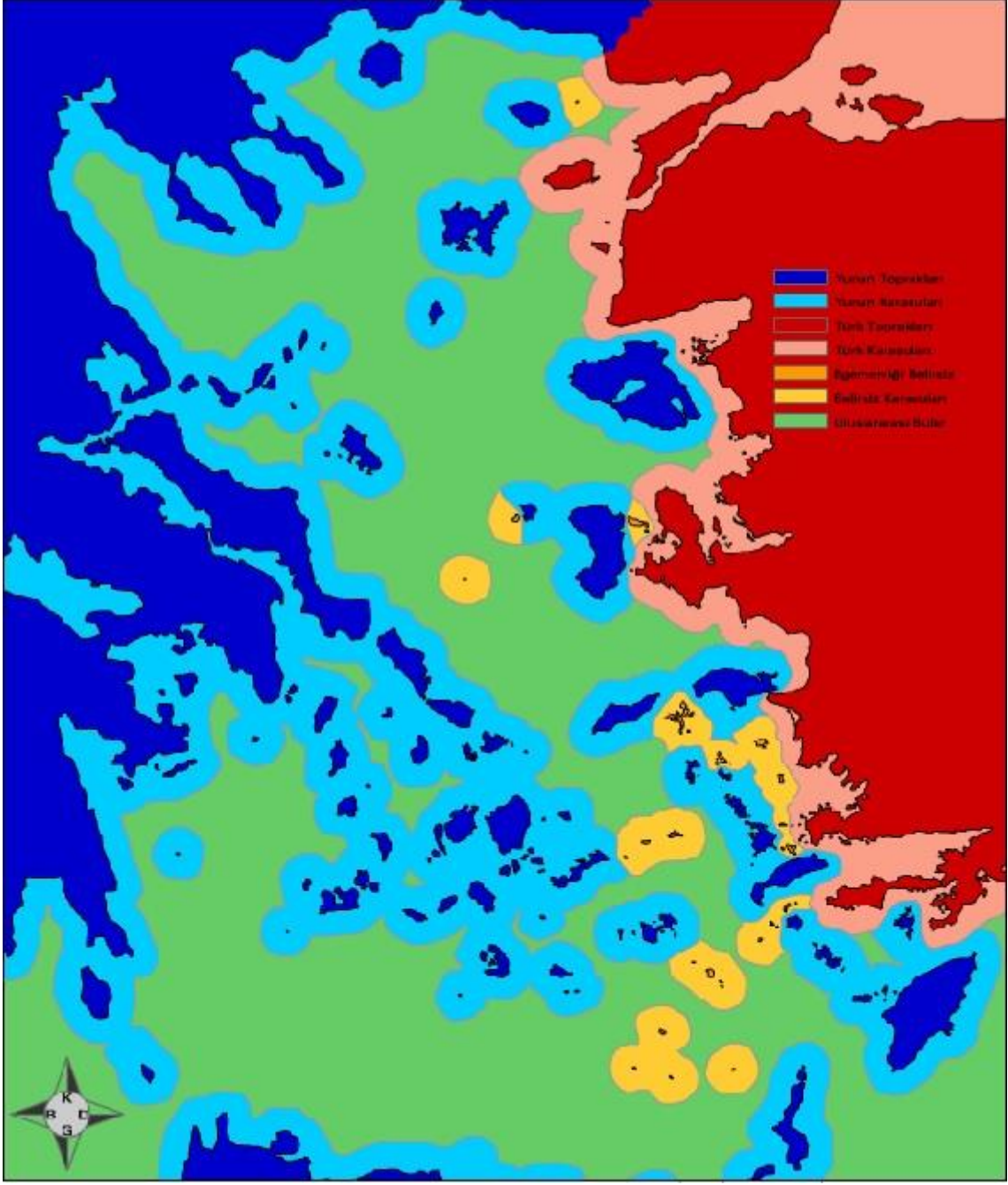
Tablo 4.2’de Bozcaada’daki ortalama rüzgâr hızının 150 m yükseklikte 9.3 m/s ile en yüksek hıza ulaştığını ve 50 m yükseklikte 8 m/s olduğunu, Karasu’daki ortalama rüzgâr hızının 150 m yükseklikte 4 m/s olduğunu ve 50 m yükseklikte 3.5 m/s ile en düşük hıza sahip olduğu, görülmektedir. Benzer şekilde Aliğa da 150 m yükseklikte 5.1 m/s ve 50 m yükseklikte 4.3 m/s ile düşük rüzgâr hızına sahip olan bir bölgedir.

**Tablo 4.3** Farklı yüksekliklerdeki ortalama güç yoğunluğu (W/m<sup>2</sup>)

Bölge	50 m	80 m	100 m	150 m
Aliğa	80	99	108	128
Amasra	294	360	395	469
Bandırma	219	268	293	346
Bozcaada	468	565	614	714
Çanakkale	169	207	227	269
Cide	84	103	112	134
Datça	210	257	281	334
Didim	58	71	77	92
Gemlik	100	123	134	160
Gökçeada	211	259	284	337
Hopa	79	97	106	126
İnebolu	172	210	230	273
Karasu	101	124	136	161
Samandağ	154	189	206	245

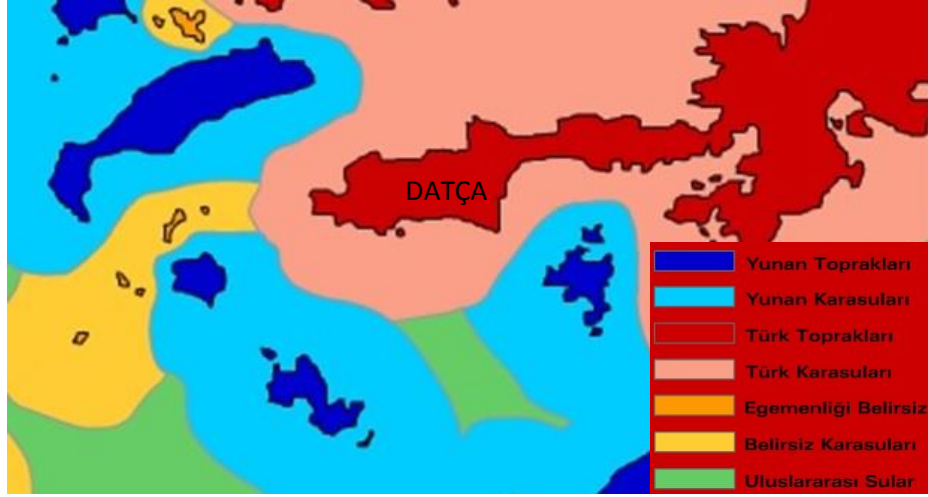
Tablo 4.3'e göre Bozcaada 50m yükseklikte 468 W/m<sup>2</sup> ile 150 m yükseklikte 721 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek rüzgâr gücüne sahip bölge olup, Aliğa 50 m yükseklikte 83 W/m<sup>2</sup> ile 150 m yükseklikte 130 W/m<sup>2</sup> ile en düşük rüzgâr gücüne sahip bölgedir.

Yukarıda anılan on bir bölgenin kıta sahanlığı açısından deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için uygunluğu araştırılmıştır. Karadeniz, Marmara Denizi ve Akdeniz'de kıta sahanlığı ile ilgili bir problem bulunmamaktadır, dolayısıyla Samandağ, Gemlik, Bandırma, Amasra, Karasu, İnebolu deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için düşünülebilir. Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Aliğa ve Datça Ege Denizi kıyılarında olmasından dolayı deniz üstü rüzgâr santrali kurulması düşünülecek alanlar çok dikkatli bir biçimde araştırılmalıdır, çünkü Türkiye ve Yunanistan'a bağlı olan adalar bir çok yerde birbirine çok yakın mesafede yer almaktadır.



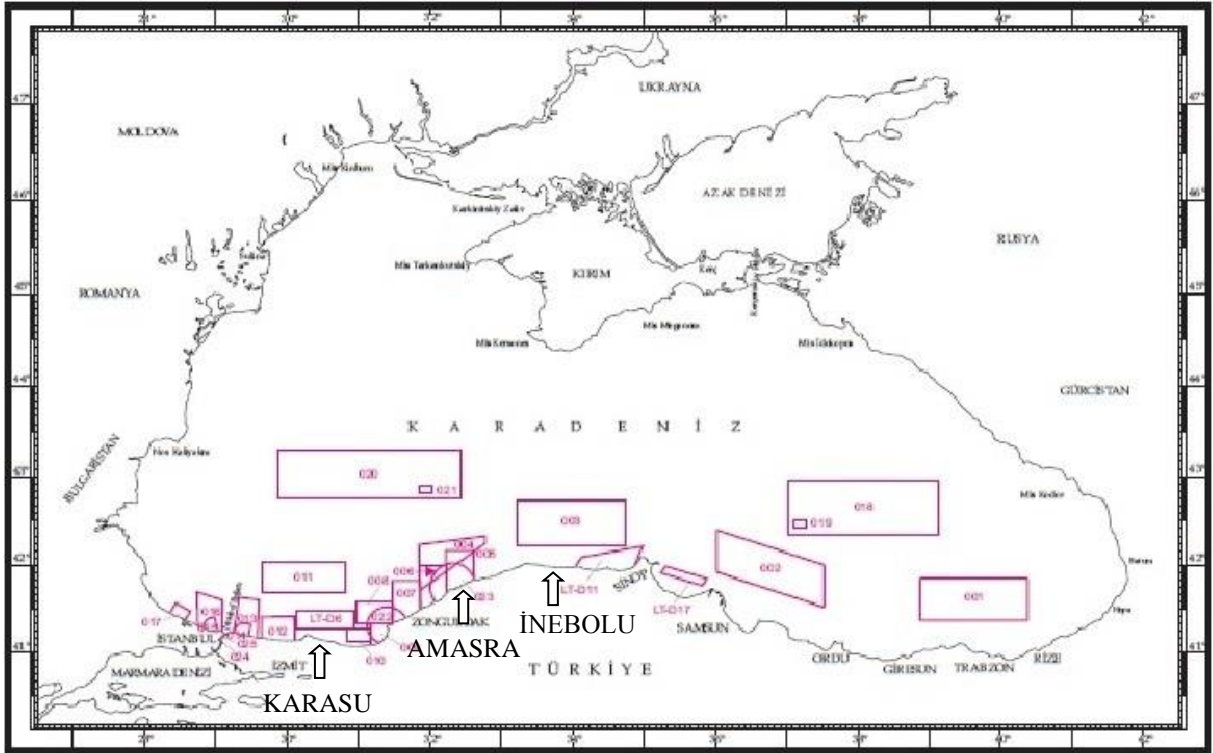
Şekil4.3Ege Denizi'nde Türkiye ve Yunanistan arasındaki kıta sahanlığı [38]

Şekil 4.4detaylı olarak analiz edildiğinde Datça Körfezi Yunanistan adalarına çok yakın olduğu için deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.4 Datça kıyıları

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 Karadeniz’de bulunan askeri alanları göstermektedir.

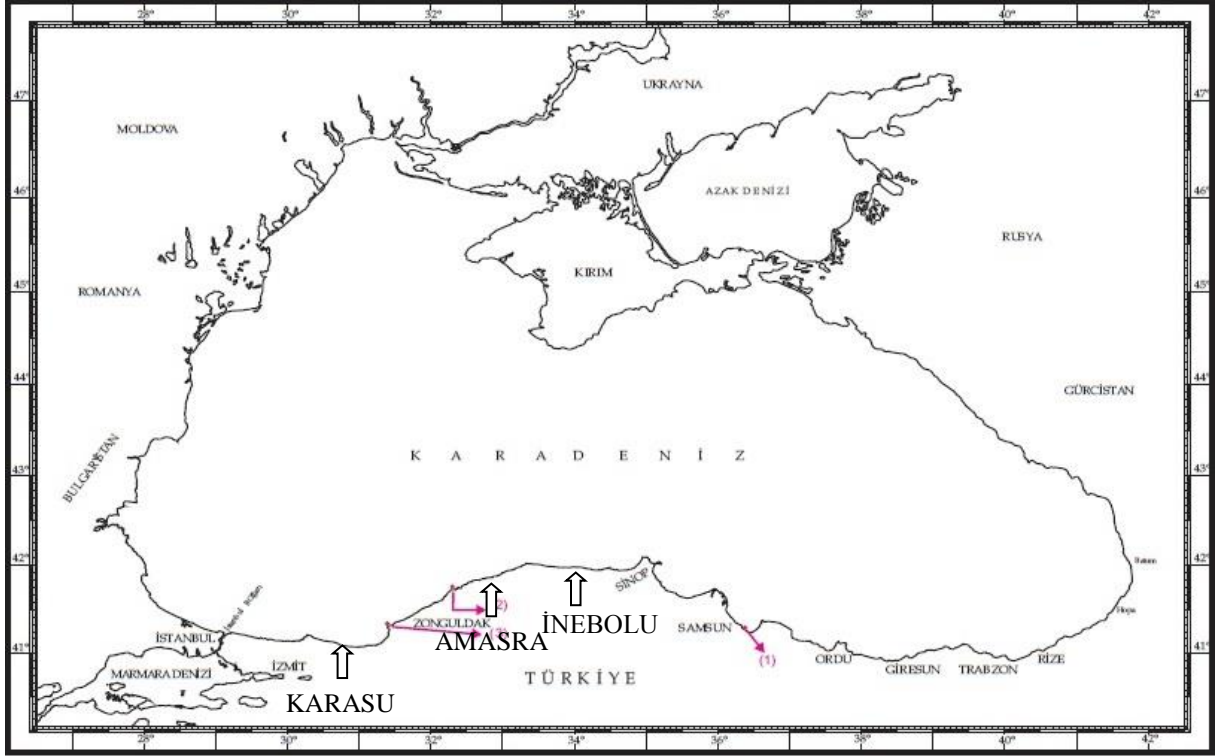


Şekil 4.5 Karadeniz eğitim ve atış sahaları [37]

Askeri Eğitim ve Atış Sahaları’na ait haritalar, Seyir Hidrografi Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan ve internet ortamında kullanıcılara açık olan Denizcilere İlanlar Yıllığı 2015’ten alınmıştır. Haritalarda denizler üzerindeki eğitim ve atış sahaları çerçevesi olarak gösterilmektedir.

Amasra'da kıyından itibaren yaklaşık 15 mil yarıçapında bir askeri eğitim ve atış alanı bulunmaktadır [37]. Bundan dolayı deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için uygun değildir.

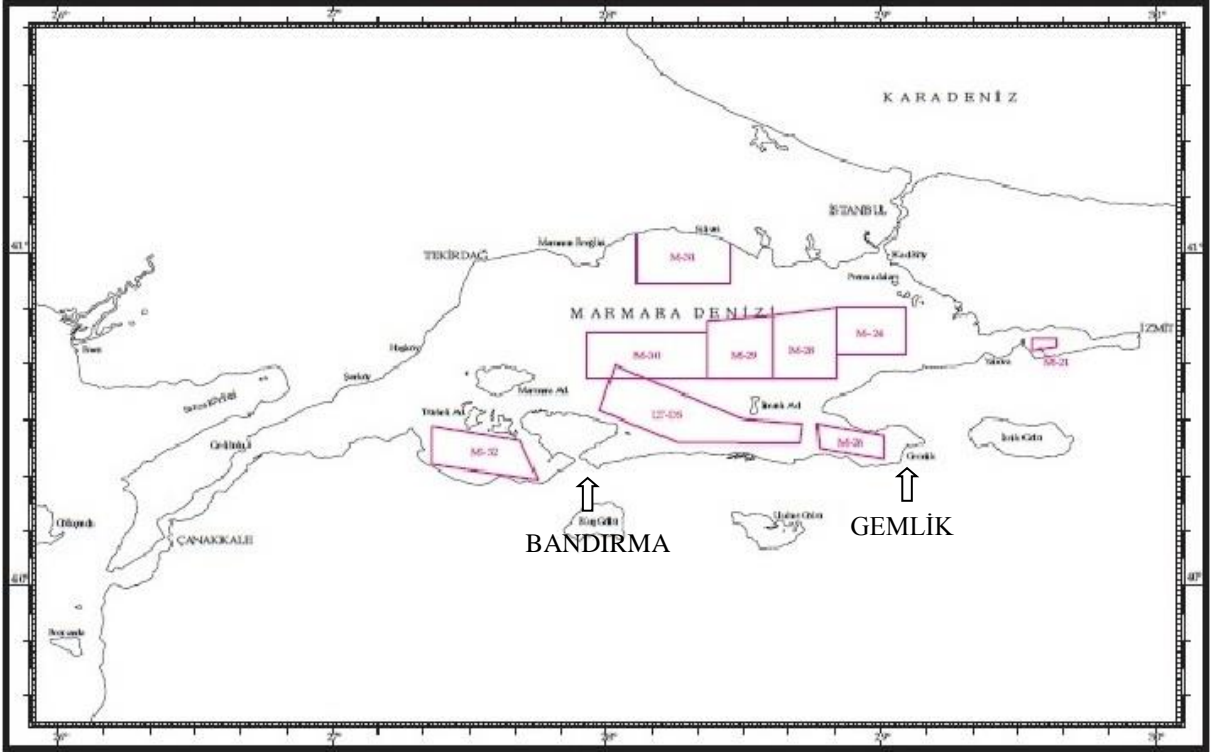
Karasu ve İnebolu sahillerinde askeri eğitim ve atış alanları bulunmamaktadır. Askeri alanlar kriteri bakımından bu bölgeler deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygundur.



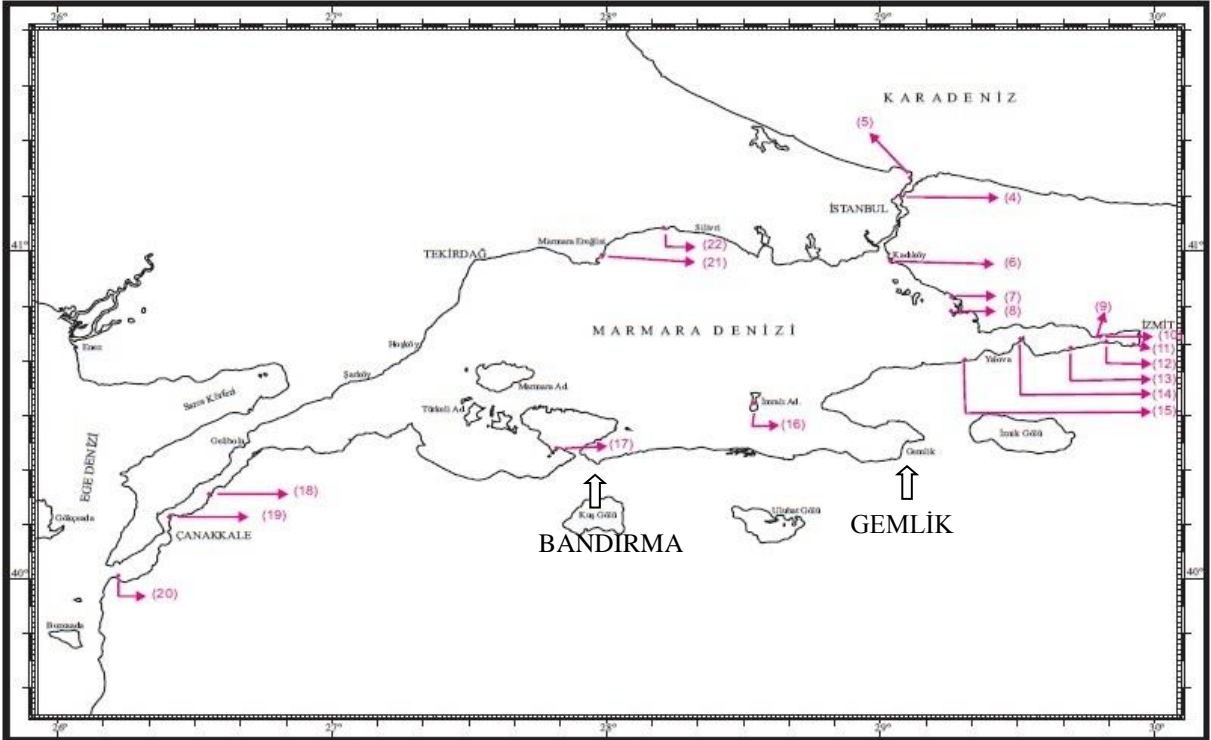
Şekil 4.6 Karadeniz deniz askeri yasak sahaları ve deniz özel güvenlik bölgeleri [37]

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 Marmara Denizi'ndeki askeri alanları göstermektedir [37].





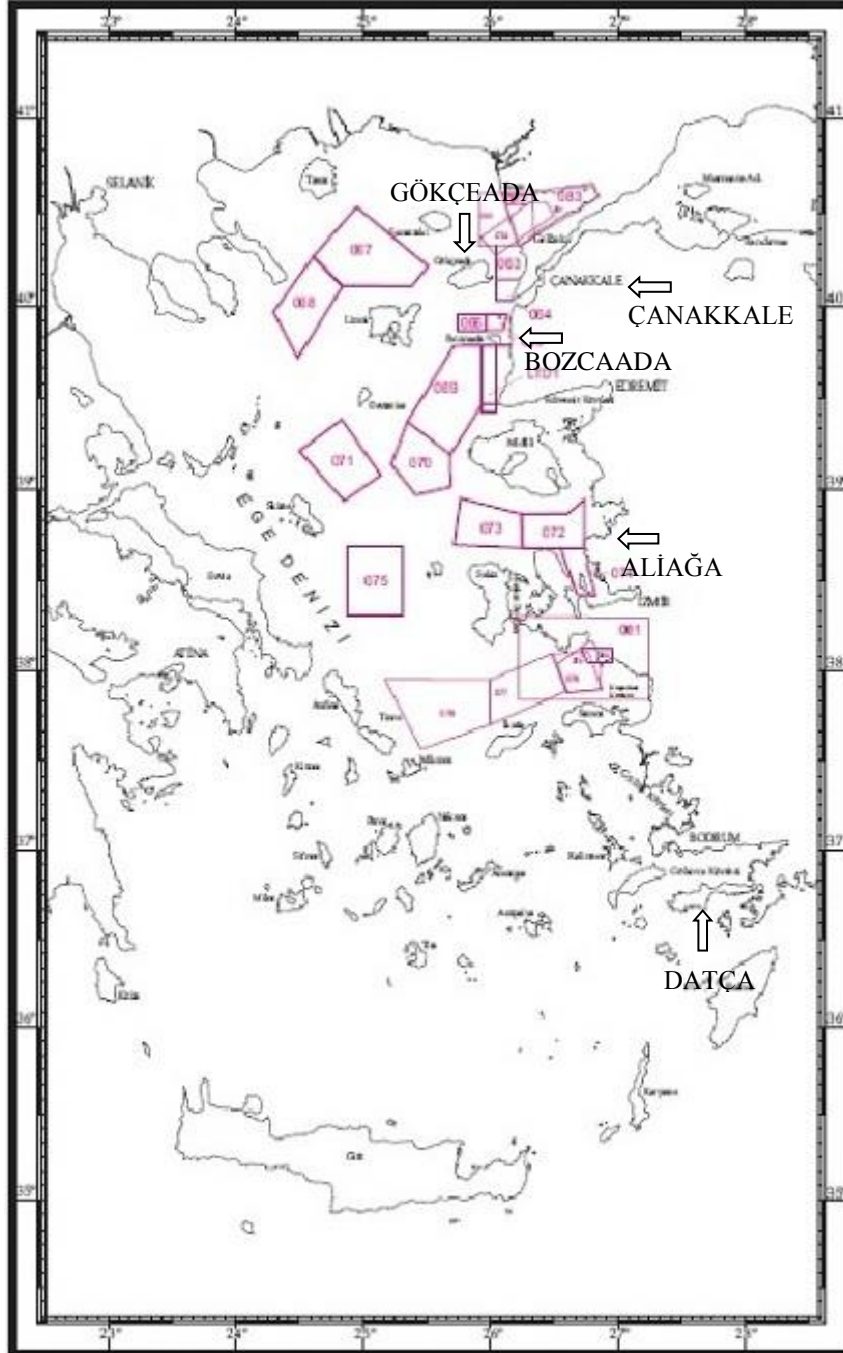
Şekil 4.7 Marmara Denizi eğitim ve atış sahaları [37]



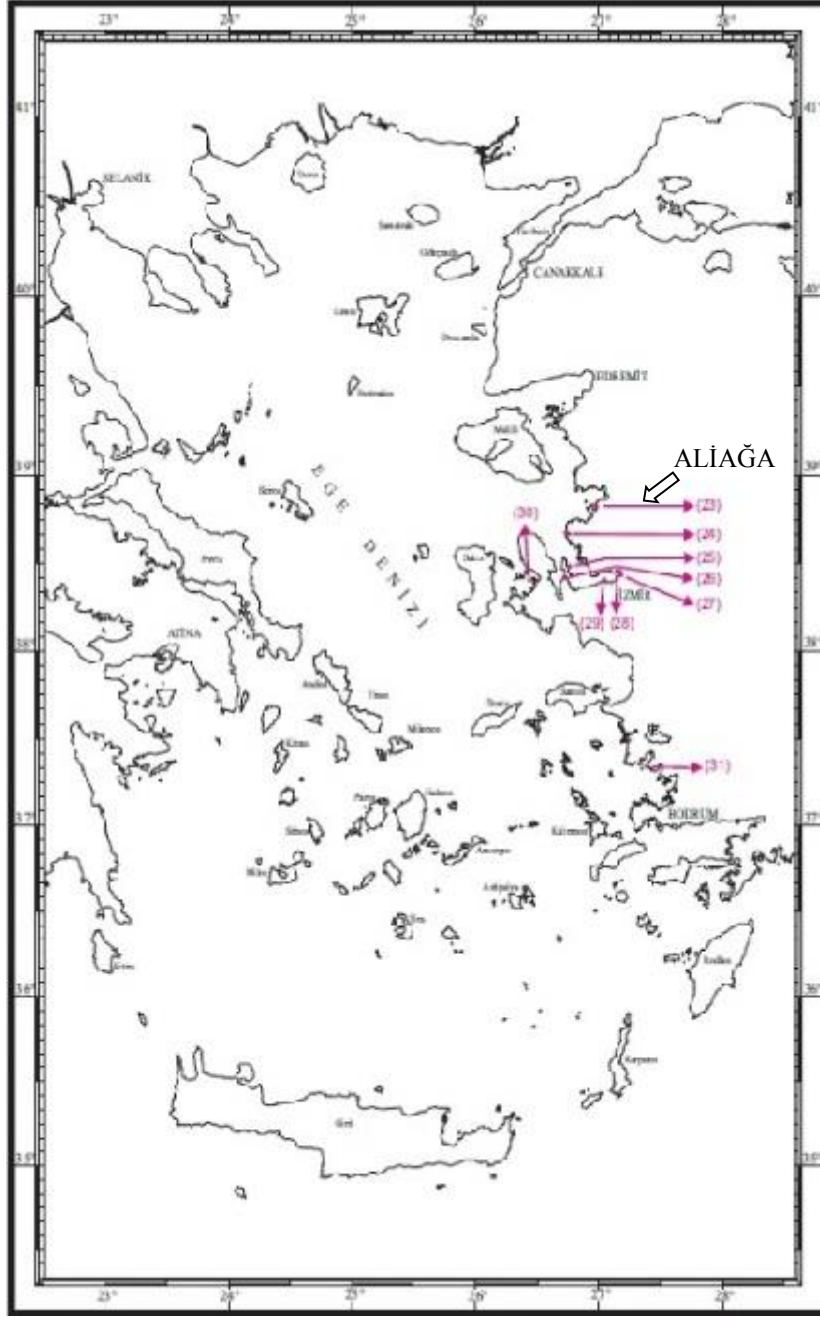
Şekil 4.8 Marmara Denizi askeri yasak sahaları ve deniz özel güvenlik bölgeleri [37]

Bandırma'nın Kuzeydoğusunda askeri eğitim ve atış alanı bulunmaktadır. Kıyı şeridinden uzakta olduğu için kıyı şeridinden atış alanının sınırına kadar deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygundur.

Gemlik Körfezi'nin girişinde askeri eğitim ve atış alanı bulunmaktadır, bu da deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu açısından zorluklar meydana getirmektedir.

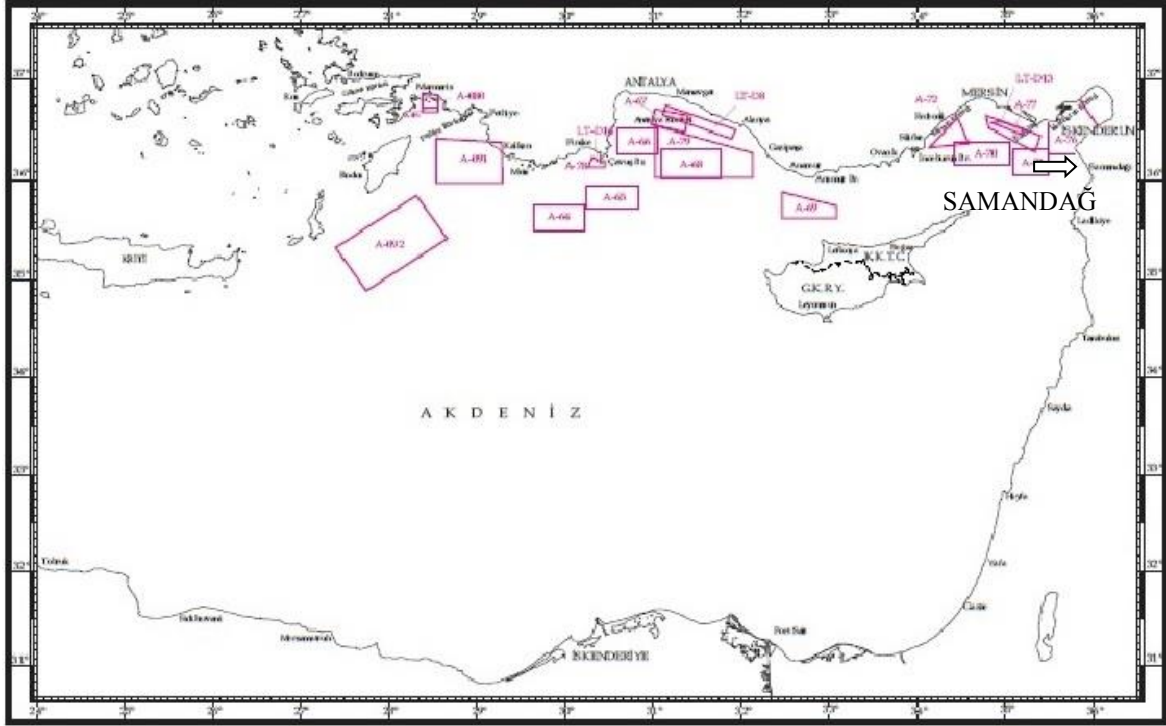


Şekil 4.9 Ege Denizi eğitim ve atış sahaları [37]



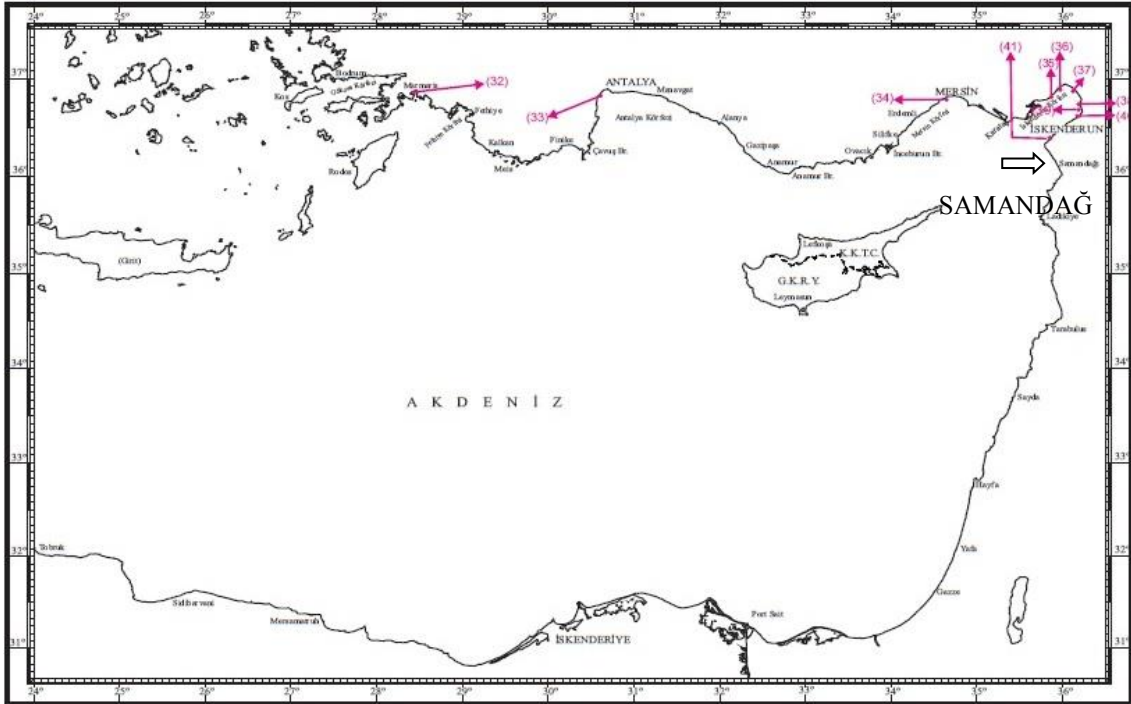
Şekil 4.10 Ege Denizi askeri yasak sahaları ve deniz özel güvenlik bölgeleri [37]

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da Ege Denizi'nde bulunan askeri eğitim, atış alanları ile askeri yasak sahaları ve Deniz Özel Güvenlik Bölgeleri görülmektedir. Çanakkale kıyılarında askeri eğitim ve atış bölgeleri bulunmaktadır bu yüzden Çanakkale'nin kuzey ve batısında kurulum düşünülemez. Aliğa'da askeri yasak saha ve deniz özel güvenlik bölgesi bulunduğu için deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için kısıtlı bir bölgedir. Bozcaada ve Gökçeada yakınlarında askeri eğitim ve atış bölgeleri bulunmasına rağmen deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için uygun bir çok alan bulunmaktadır. Datça'da askeri eğitim ve atış alanları bulunmamaktadır bu yüzden askeri açıdan bir problem teşkil etmemektedir.



Şekil 4.11 Akdenize eğitim ve atış sahaları [37]

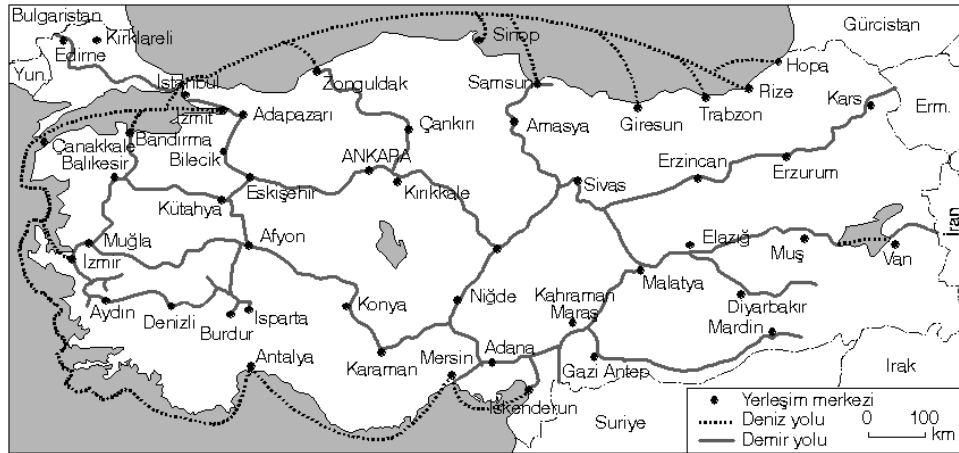
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 Akdeniz’de bulunan askeri alanları göstermektedir. Samandağ yakınlarında herhangi bir askeri eğitim ve atış alanı bulunmamaktadır, askeri açıdan deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için uygundur.



Şekil 4.12 Akdeniz askeri yasak sahaları ve deniz özel güvenlik bölgeleri [37]

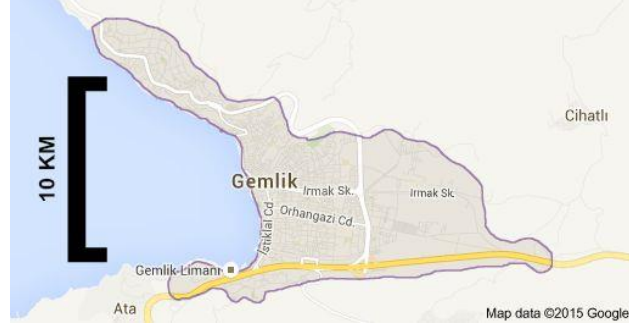
Sivil havacılık açısından deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek alanları incelediğimiz zaman uçakların iniş kalkış yerleri büyük önem taşır. Uçak pistlerinin iniş ve kalkış istikametlerine yüksek binalar, kuleler vb. tesisler inşa edilemez. Türkiye Sivil Havacılık Kurumu havalimanlarıyla ilgili uçakların iniş kalkış bilgilerini sağlamaktadır [39]. Edindiğimiz bilgiye göre çalıştığımız on bir bölgede havalimanı mevcut değildir fakat Gemlik ve Datça'da küçük uçakların suya iniş kalkış alanları bulunmaktadır. Deniz üzerinde birkaç bölgede uçak iniş kalkış alanının bulunması dolayısıyla deniz üzerinde alanın dar olması ve kurulum halinde radarlarda oluşturabileceği parazit etkisinden dolayı Datça'da deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu açısından problemler çöktür.

Şekil 4.13'de Türkiye'de bulunan ana deniz yolları görülmektedir. Bu rotalar deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu önerilen bölgelerin açıklarında olduğu için bir sorun teşkil etmemektedir. Çanakkale Boğazı yoğun bir deniz trafiğine sahip olduğu için deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygun değildir. Ayrıca Bozcaada'nın batısında açıklarda Çanakkale Boğazı'ndan çıkan gemilerin geçiş rotası olduğu için, Bozcaada'daki deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu bu deniz trafiği rotasına kadar düşünülmüştür.



**Şekil 4.13** Türkiye ana deniz yolları

Şekil 4.14 Gemlik Körfezi'ni göstermektedir. Gemlik limanı dar bir bölgede bulunduğu, yüksek deniz trafiğine sahip olduğu ve büyük gemilerin yanaştığı bir liman olması nedeniyle Gemlik, deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygun bulunmamıştır.



**Şekil 4.14** Gemlik körfezi

Şekil 4.15’de Türkiye’de bulunan doğalgaz ve petrol boru hatlarının güzergahları görülmektedir. Bu haritaya göre önerilen sahil bölgelerinde Çanakkale Boğazı dışında bir boru hattı bulunmamaktadır. Çanakkale Boğazı deniz trafiğinden dolayı zaten kriterlere uymamaktadır.



**Şekil 4.15** Türkiye doğalgaz ve petrol hatları [40]



**Şekil 4.16** Datça koruma bölgesi [41]

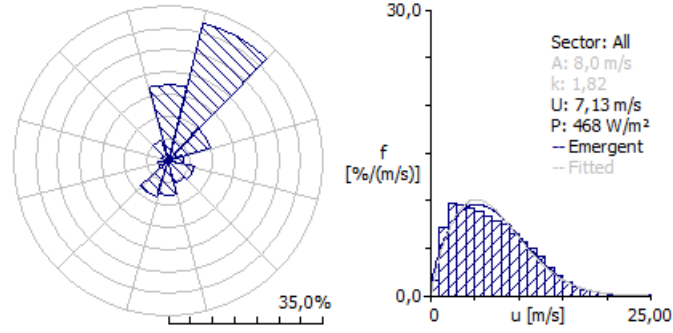
Halkın rüzgâr enerji santrali kurulumuna karşı olduğunu düşündüğümüzde, Datça'nın turistik bir bölge olması ve kıta sahanlığından dolayı türbinlerin karaya çok yakın bir alana kurulabilmesi düşünüldüğünde görsel açıdan büyük bir problem oluşturabilecektir. Daha da önemlisi Datça, Şekil 4.16'da görüldüğü gibi Orman ve Su Bakanlığı tarafından özel koruma bölgesi ilan edilmiştir. Bu durum deniz üstü rüzgâr santralleri kurulumu düşüncesini daha da zor bir hale getirmektedir.

#### **4.1. Seçilen bölgelerin WAsP ve saha analizleri**

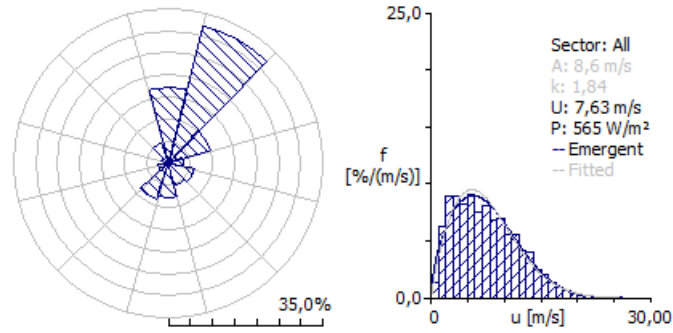
55 kıyı bölgesi içinden kriterleri sağlayan Bozcaada, Bandırma, Gökçeada, İnebolu ve Samandağ bölgelerindeki rüzgâr hızlarının istatistiksel analizleri için Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı olan WAsP kullanılmıştır. Deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulabileceği bölgelerin sınırlarını belirleyebilmek için Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'ndan deniz derinliklerini, askeri eğitim ve atış alanlarını, ana deniz trafik güzergahlarını, dalışa yasak bölgeleri vb. gösteren 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli seyir haritaları temin edilerek üzerlerinde çalışılmıştır. Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulumu için kıyı şeridinden itibaren 45 m derinliğe kadar olan bölgeler öngörülmüştür.

##### **4.1.1. Bozcaada**

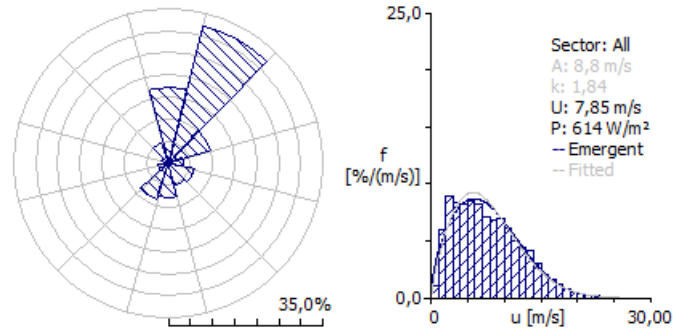
Bozcaada, Çanakkale Boğazı'nın 12 mil güneyinde, Ege Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan bir adadır. Bozcaada'da adanın batısında 10.2 MW gücünde bir karasal rüzgâr enerji santrali bulunmaktadır [42]. Şekil 4.18'de Bozcaada'ya ait 50 m, 80 m, 100 m ve 150 metrede WAsP analizi görülmektedir.



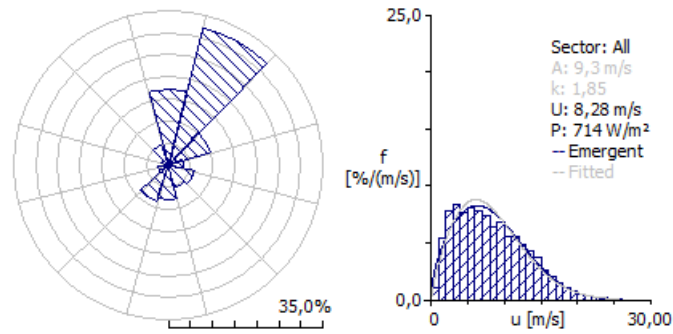
Şekil 4.17(a) Bozcaada'ya ait 50 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.17 (b) Bozcaada'ya ait 80 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.17(c) Bozcaada'ya ait 100 metre yükseklikteki WASP analizi

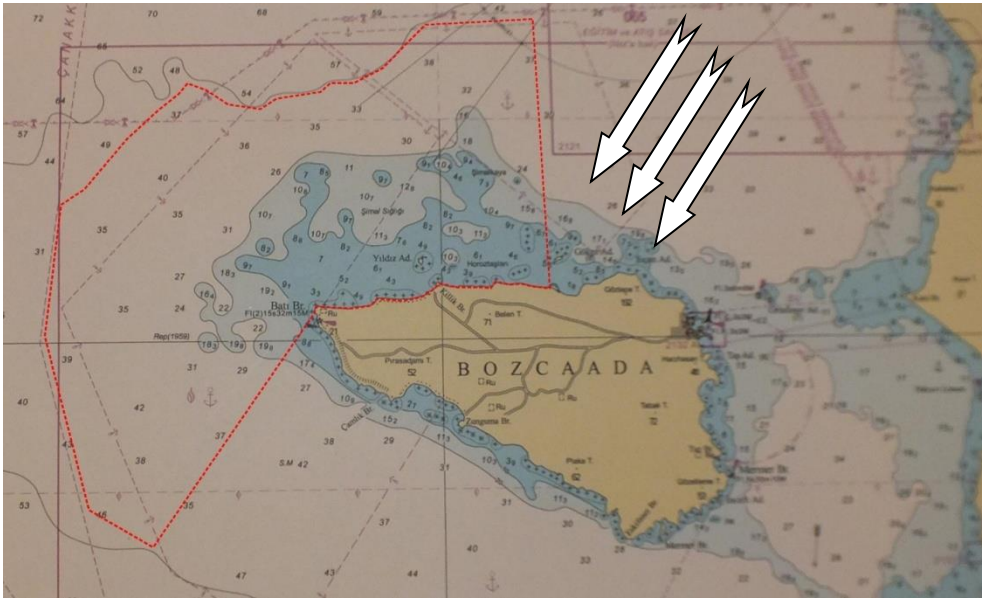


Şekil 4.17(d) Bozcaada'ya ait 150 metre yükseklikteki WASP analizi



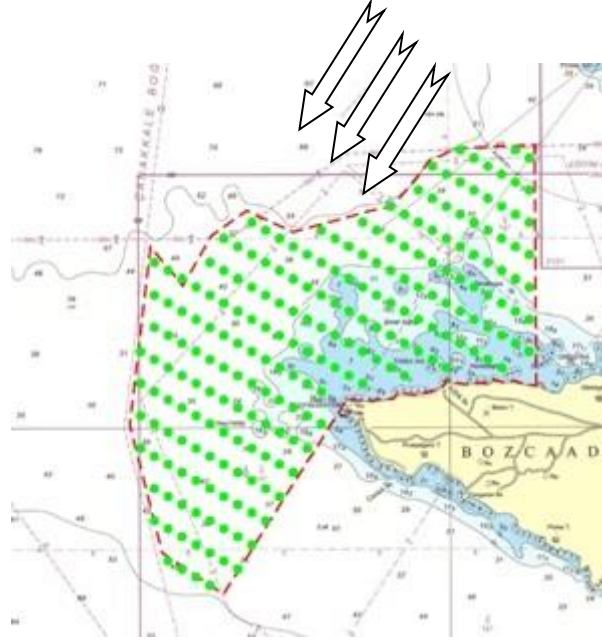
50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında ortalama hızlar 7.13 m/s ve 8.28m/s arasında değişmektedir. Benzer şekilde 50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında rüzgâr gücü yoğunlukları 468 W/m<sup>2</sup> ile 714 W/m<sup>2</sup> aralığındadır. Hakim rüzgâr Şekil 4.17’de görüldüğü gibi kuzeydoğudan esmektedir.

Şekil 4.18’de Bozcaada sahillerinde deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin kurulması düşünülen bölge görülmektedir. Bu bölge maksimum rüzgâr enerjisini sağlamak için Şekil 4.17’de belirtilen hakim rüzgâr yönü ve sığ olması göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Seçilen alan batıda Çanakkale Boğazına giriş-çıkış yapan gemilerin izlemesi gereken rota ile kuzeyde eğitim ve atış sahası ile sınırlandırılmıştır.



**Şekil 4.18**Bozcaada’da rüzgâr santrali kurulması düşünülen bölge

Şekil 4.19 Bozcaada’da deniz üstüne kurulması öngörülen rüzgâr enerji türbinlerinin yerleşimini göstermektedir. Rüzgâr türbini olarak 100m kanat çapında ve 3 MW anma gücünde bir model seçilmiştir. Türbinlerin dizilimleri, aynı hizada bulunan türbinler için aralarında 5D aralık bırakılmış, iz etkisinden dolayı iki türbin sırası arası 10D aralık bırakılarak yapılmıştır. Anılan bölgeye 223 adet türbin yerleştirilebilmekte ve kurulabilecek santral 669 MW’lık bir güce ulaşmaktadır. Kıyıya en yakın türbin yaklaşık 335 metrede, en uzak türbin ise 7360 metre uzaklıkta olup bütün türbinler, kanatları hakim rüzgârı cepheden alacak biçimde konumlandırılmıştır.

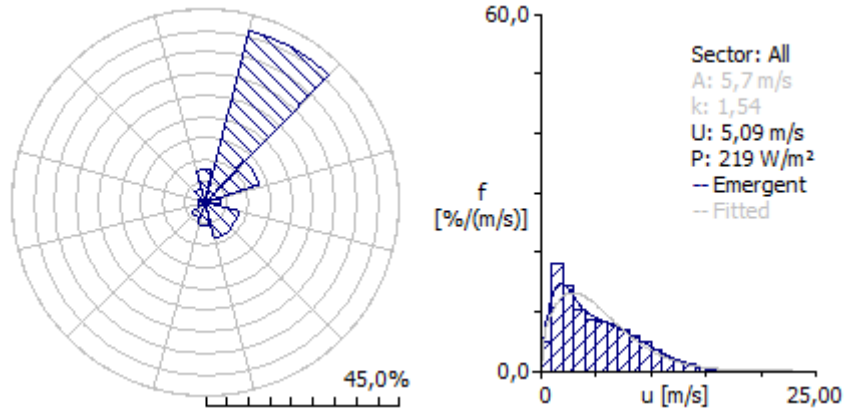


Şekil 4.19 Bozcaada kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri

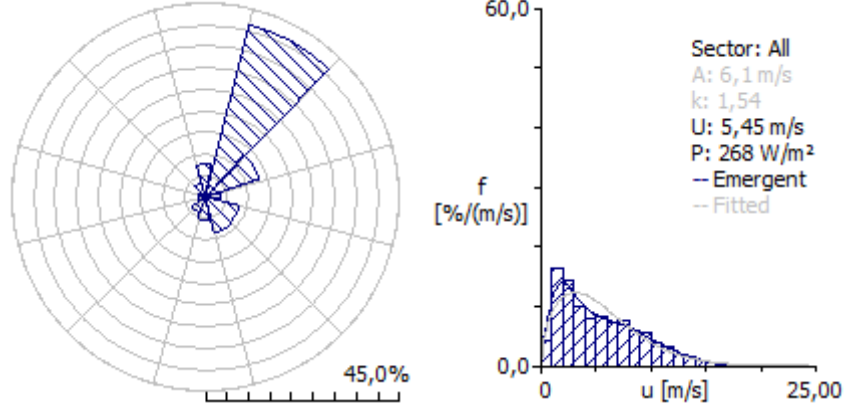
#### 4.1.2. Bandırma

Bandırma, Balıkesir iline bağlı Marmara Denizi'nin güneyinde bulunan bir ilçedir. Halihazırda güçleri 12 MW ila 93 MW arasında değişen dokuz karasal rüzgâr enerji santrali bulunmaktadır ve toplam kapasitesi 359.4 MW'tır [42].

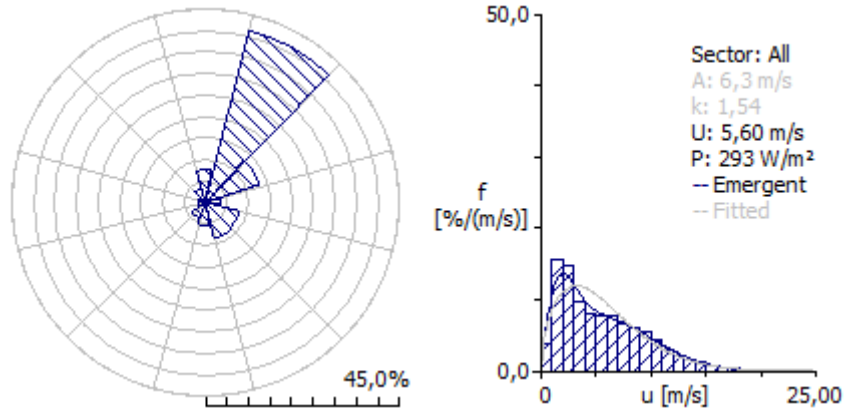
Şekil 4.20'de Bandırma'ya ait 50 m, 80 m, 100 m ve 150 metredeki WASP analizi görülmektedir.



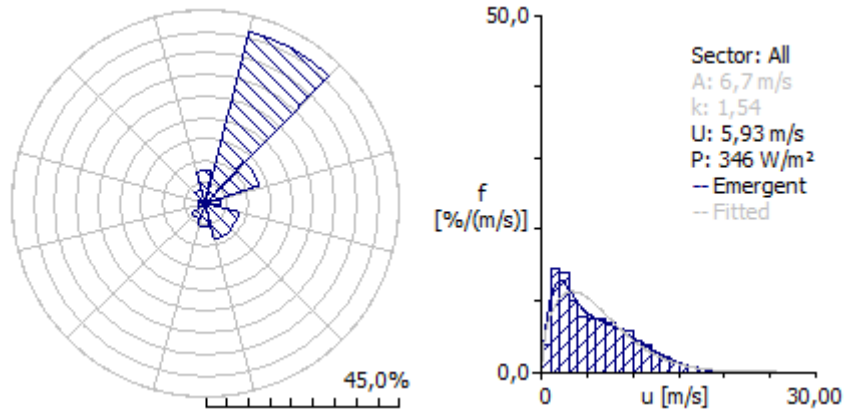
Şekil 4.20(a) Bandırma'ya ait 50 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.20(b) Bandırma'ya ait 80 metre yükseklikteki WASP analizi



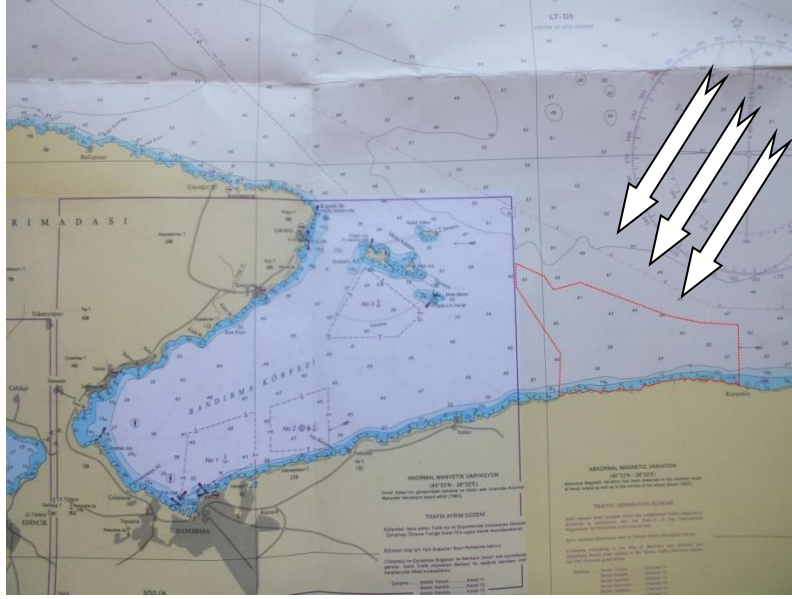
Şekil 4.20(c) Bandırma'ya ait 100 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.20(d) Bandırma'ya ait 150 metre yükseklikteki WASP analizi

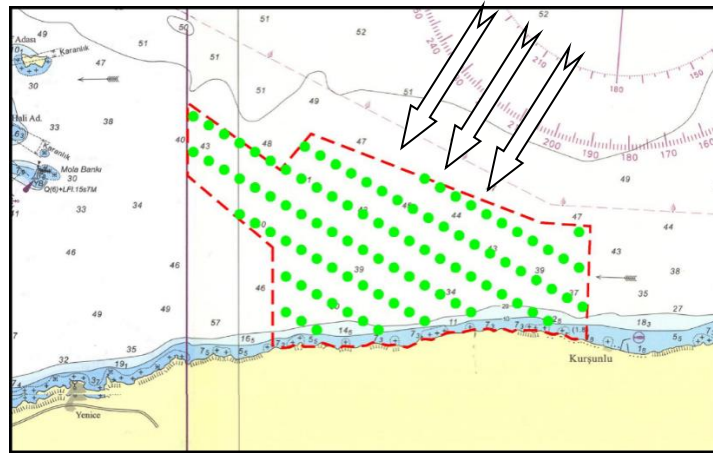
50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında ortalama hızlar 5.09 m/s ve 5.93 m/s arasında değişmektedir. Yine aynı yükseklikler dikkate alındığında rüzgâr gücü yoğunlukları 219 W/m<sup>2</sup> ile 346 W/m<sup>2</sup> aralığındadır. Hakim rüzgâr Şekil 4.20'de görüldüğü gibi kuzeydoğudan esmektedir.

Şekil 4.21 Bandırma sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin konumunu göstermektedir. Bandırma'nın batı sahilleri tercih edilmiş olup kuzeyinde askeri eğitim ve atış sahası bulunmaktadır.



Şekil 4.21 Bandırma kıyılarında yapılması öngörülen rüzgâr santrallerinin konumu

Şekil 4.22 Bandırma sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr türbinlerinin yaklaşık yerlerini göstermektedir. Rüzgâr türbini olarak 100m kanat çapında ve 3 MW anma gücünde bir model seçilmiştir. Türbinlerin dizilimleri, aynı hizada bulunan türbinler için aralarında 5D, iki türbin sırası arası 10D aralık bırakılarak yapılmıştır. Bölgeye 97 adet türbin yerleştirilebilmekte ve kurulabilecek santral 291MW'lık bir güce ulaşmaktadır. Kıyı şeridinde en yakın türbin yaklaşık 300 metrede, en uzak türbin ise 6640 metre uzaklıkta olup bütün türbinler, kanatları hakim rüzgârı cepheden alacak biçimde konumlandırılmıştır.

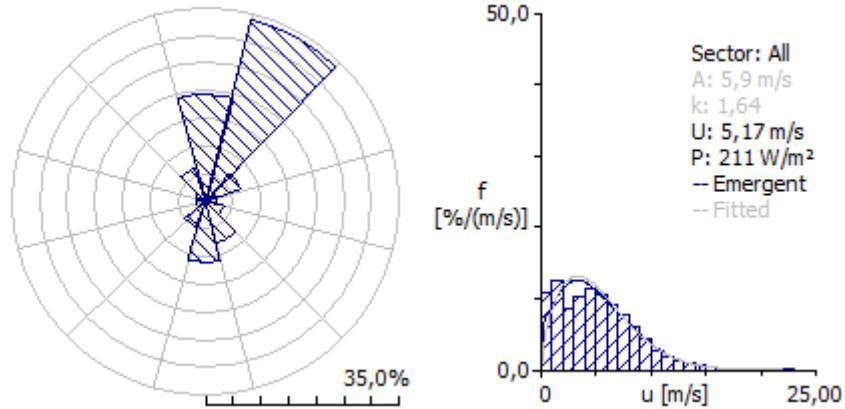


Şekil 4.22 Bandırma kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri

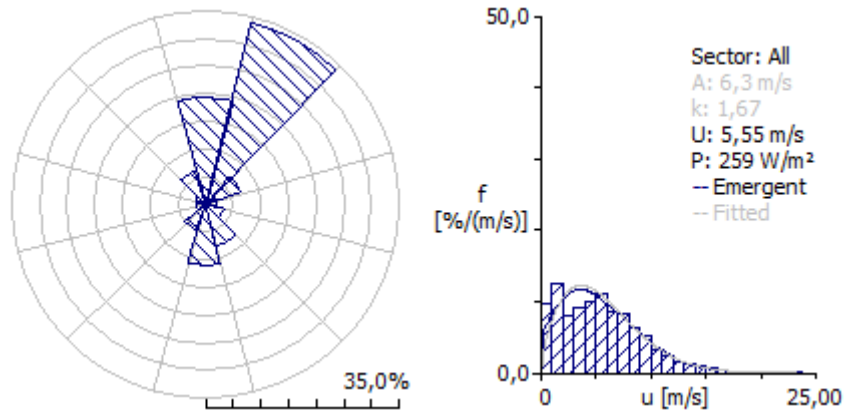
### 4.1.3. Gökçeada

Gökçeada Ege Denizi'nin kuzeyinde yer alan, Çanakkale'nin batısında bulunan Türkiye'nin en büyük adasıdır. Gökçeada'da karasal rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır [42]. Karaya kurulacak 78 MW'lık bir proje lisans aşamasındadır.

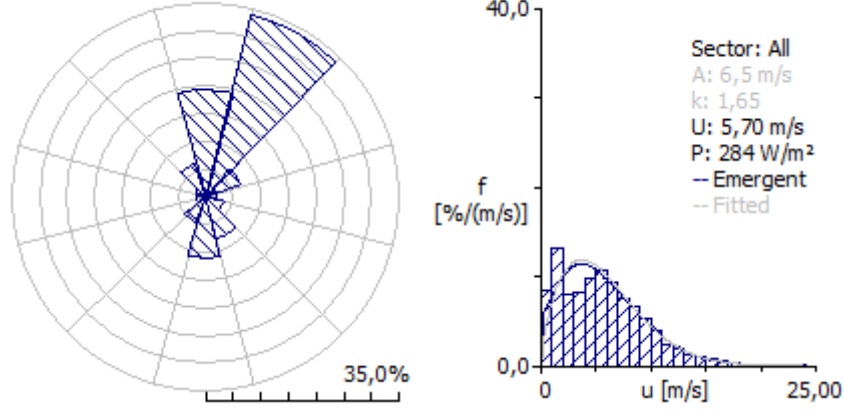
Şekil 4.23'de Gökçeada'ya ait 50 m, 80 m, 100 m ve 150 metredeki WASP analizi görülmektedir.



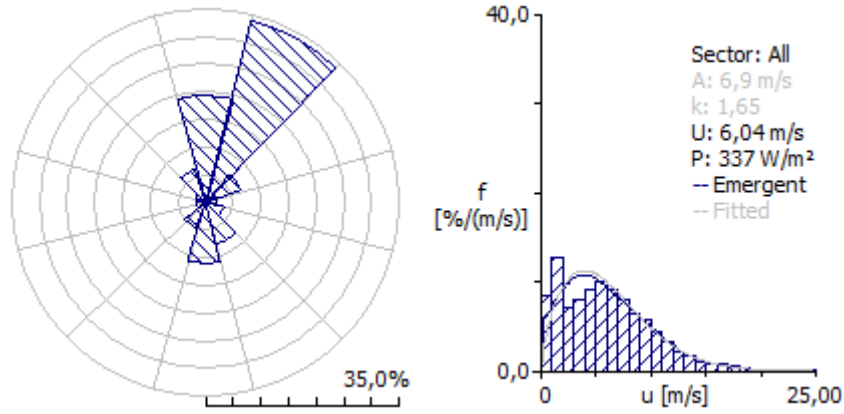
Şekil 4.23(a) Gökçeada'ya ait 50 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.23(b) Gökçeada'ya ait 80 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.23(c) Gökçeada'ya ait 100 metre yükseklikteki WAsP analizi



Şekil 4.23(d) Gökçeada'ya ait 150 metre yükseklikteki WAsP analizi

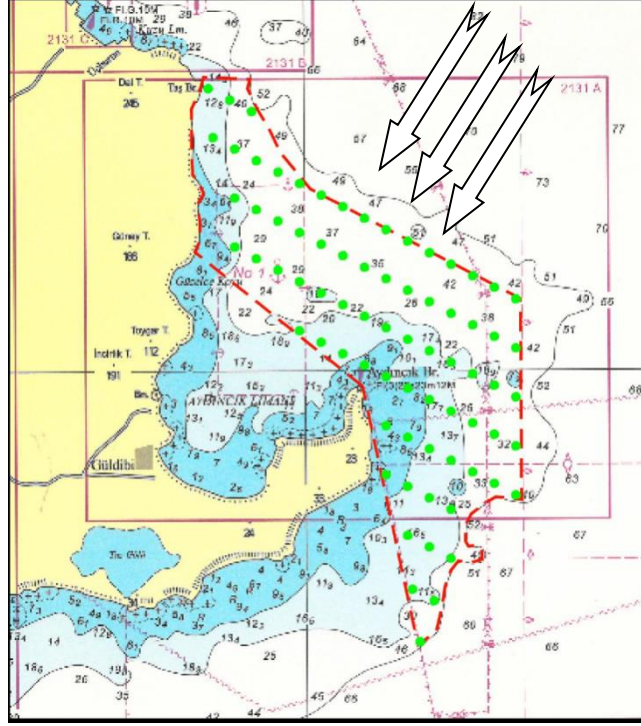
50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında ortalama hızlar 5.17 m/s ve 6.04 m/s arasında değişmektedir. 50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında rüzgâr gücü yoğunlukları ise 211 W/m<sup>2</sup> ile 337 W/m<sup>2</sup> aralığındadır. Hakim rüzgâr Şekil 4.23'de görüldüğü gibi kuzeydoğudan esmektedir.

Şekil 4.24 Gökçeada sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin konumunu göstermektedir. Gökçeada sahilleri birden derinleştiği için adanın doğu kıyısından itibaren yine adanın doğusunda bulunan eğitim ve atış alanına kadar olan bölge ve bu bölgenin güneybatısında dalışa yasak bölge sınırı arasında kalan bölgeye deniz üstü rüzgâr santrali kurulması öngörülmüştür.



**Şekil 4.24**Gökçeada kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge

Şekil 4.25 Gökçeada sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr türbinlerinin yerlerini göstermektedir. Rüzgâr türbini olarak 100m kanat çapına ve 3 MW anma gücünde bir model seçilmiştir. Türbinlerin dizilimleri, aynı hizada bulunan türbinler için aralarında 5D, iki türbin sırası arası 10D aralık bırakılarak yapılmıştır. Bölgeye 74 adet türbin yerleştirilebilmekte ve kurulabilecek santral 222MW'lık bir güce ulaşmaktadır. Kıyı şeridinde en yakın türbin yaklaşık 150 metrede, en uzak türbin ise 3620 metre uzaklıkta olup bütün türbinler, kanatları hakim rüzgârı cepheden alacak biçimde konumlandırılmıştır.

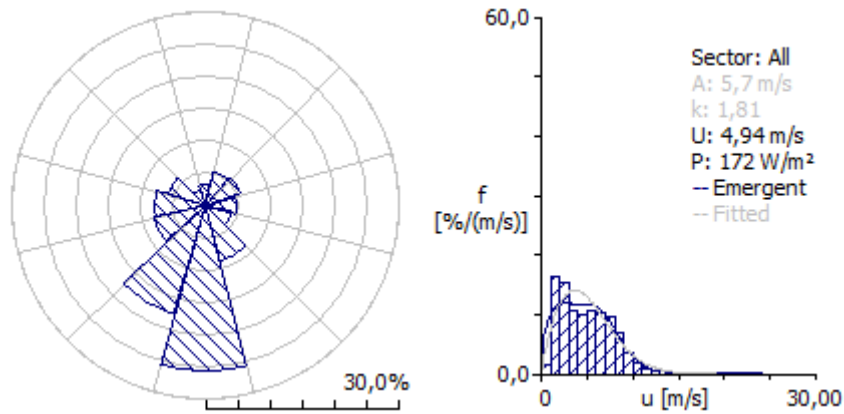


Şekil 4.25 Gökçeada kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri

#### 4.1.4. İnebolu

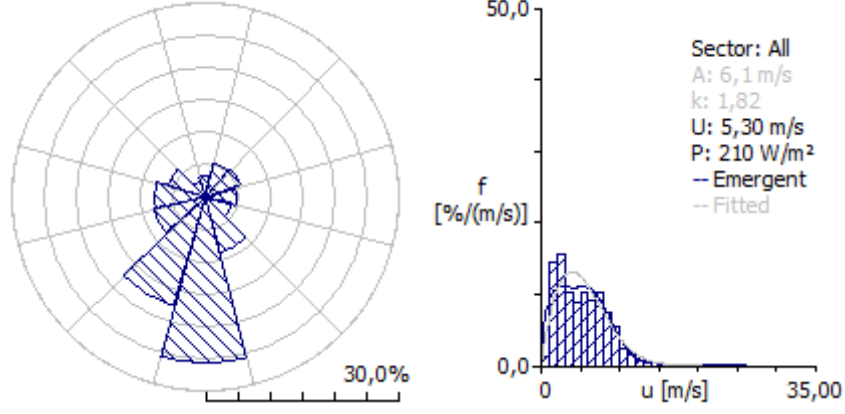
İnebolu Kastamonu iline bağlı bir ilçedir ve Karadeniz’de uzun bir sahili bulunmaktadır. İnebolu’da da Gökçeada gibi karada kurulu bir rüzgâr santrali bulunmamaktadır [42].

Şekil 4.26’da İnebolu’ya ait 50 m, 80 m, 100 m ve 150 metredeki WAsP analizi görülmektedir.

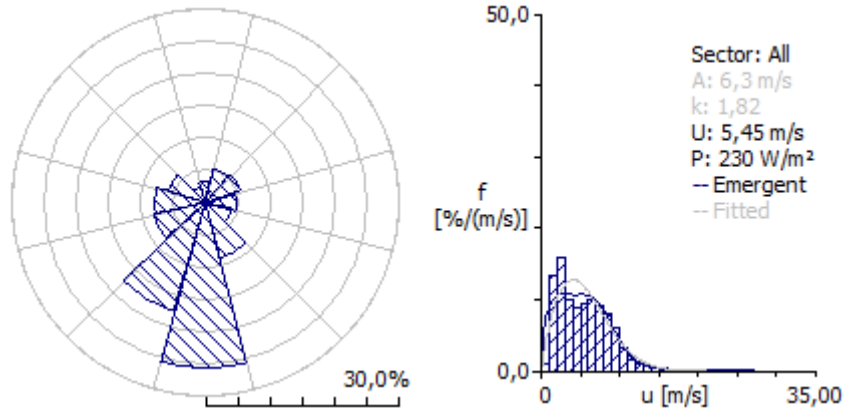


Şekil 4.26 (a) İnebolu’ya ait 50 metre yükseklikteki WAsP analizi

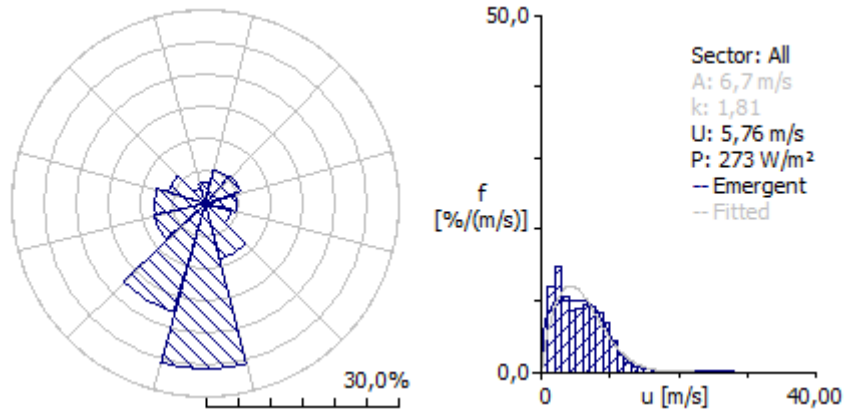




Şekil 4.26(b) İnebolu'ya ait 80 metre yükseklikteki WASP analizi



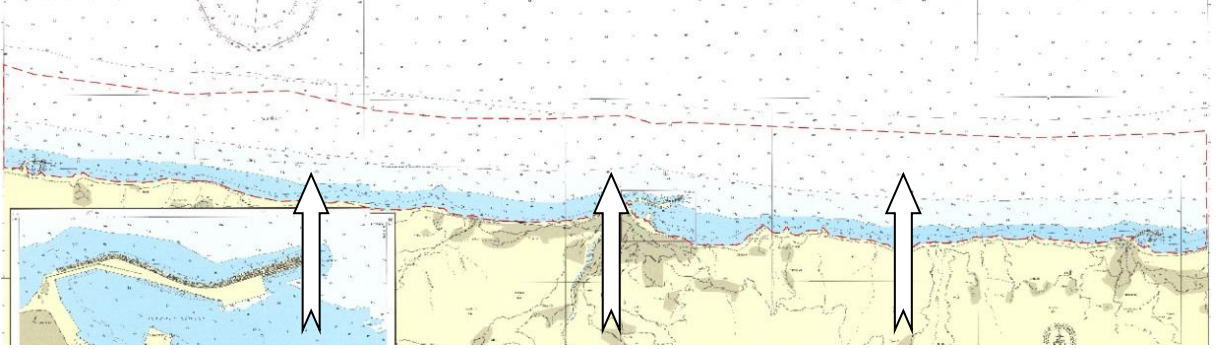
Şekil 4.26(c) İnebolu'ya ait 100 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.26(d) İnebolu'ya ait 150 metre yükseklikteki WASP analizi

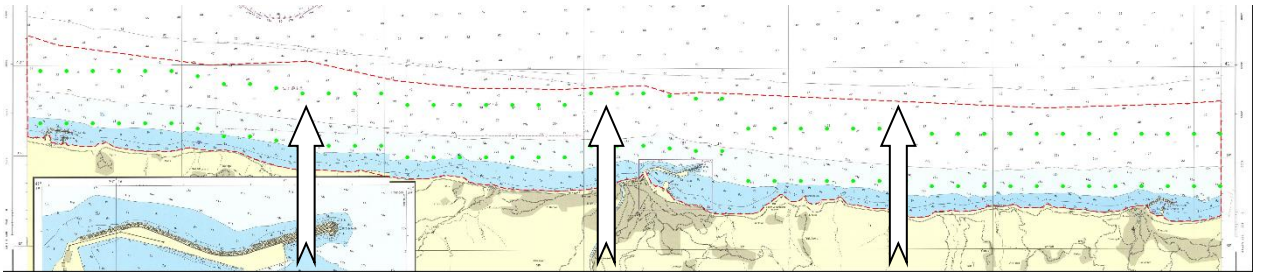
50 m ve 150m yükseklikler değerlendirildiğinde ortalama hızlar 4.94 m/s ve 5.76 m/s arasında değişmektedir. Aynı şekilde 50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında rüzgâr gücü yoğunlukları 172 W/m<sup>2</sup> ile 273 W/m<sup>2</sup> aralığındadır. Hakim rüzgâr Şekil 4.26'da görüldüğü gibi güneyden esmektedir.

Şekil 4.27 İnebolu sahillerinde denizde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin konumunu göstermektedir. İnebolu’da denizde kuruluma engel teşkil edecek bir unsur bulunmamaktadır.



**Şekil 4.27**İnebolu kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge

Şekil 4.28 İnebolu sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr türbinlerinin yerlerini göstermektedir. Rüzgâr türbini olarak 100m kanat çapına ve 3 MW anma gücünde bir model seçilmiştir. Türbinlerin dizilimleri, aynı hizada bulunan türbinler için aralarında 5D, iki türbin sırası arası 10D aralık bırakılarak yapılmıştır. Bölgeye 92 adet türbin kurulabilmekte ve kurulabilecek santral 276MW’lık bir güce ulaşmaktadır. Kıyı şeridinde en yakın türbin yaklaşık 300 metrede, en uzak türbin ise 1930 metre uzaklıkta olup bütün türbinler, kanatları hakim rüzgârı cepheden alacak biçimde konumlandırılmıştır.

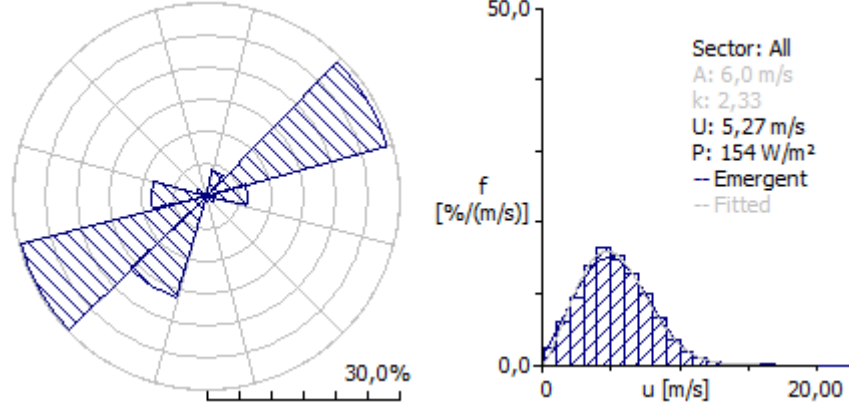


**Şekil 4.28**İnebolu kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri

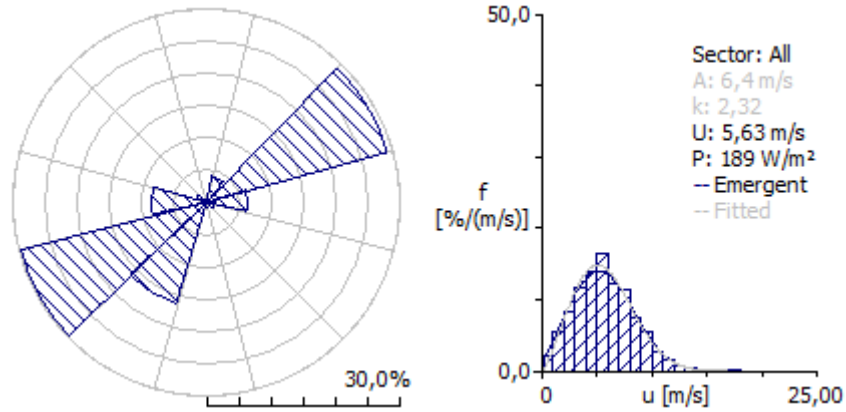
#### **4.1.5. Samandağ**

Samandağ Hatay iline bağlı bir ilçe olup Akdeniz Bölgesi’nde yer almaktadır. Kurulu güçleri 11 MW ila 63.7 MW arasında değişen ve toplam kurulu gücü 163.7 MW olan dört adet karasal rüzgâr enerji santrali bulunmaktadır [42].

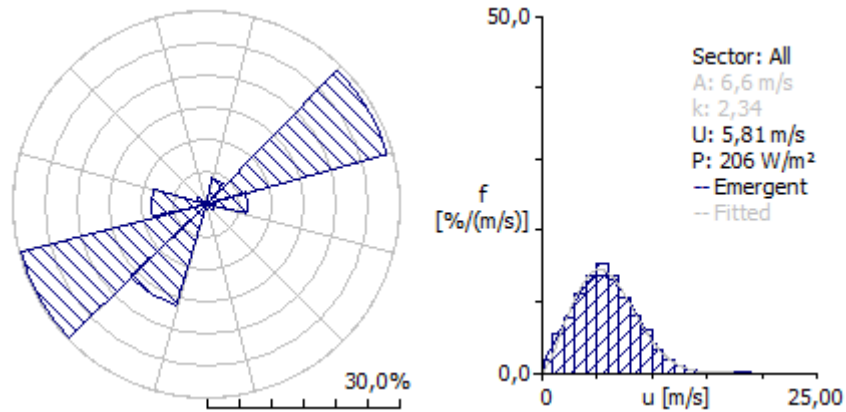
Şekil 4.29’da Samandağ’a ait 50 m, 80 m, 100 m ve 150 metredeki WASP analizleri görülmektedir.



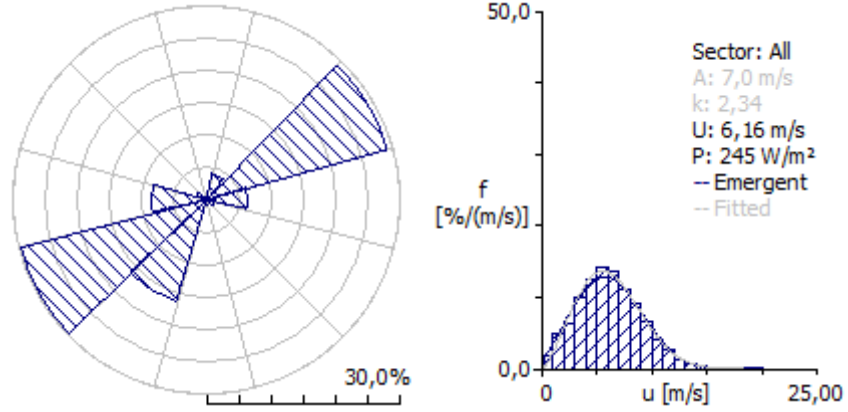
Şekil 4.29(a) Samandağ’a ait 50 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.29(b) Samandağ’a ait 80 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.29(c) Samandağ’a ait 100 metre yükseklikteki WASP analizi



Şekil 4.29(d) Samandağ'a ait 150 metre yükseklikteki WASP analizi

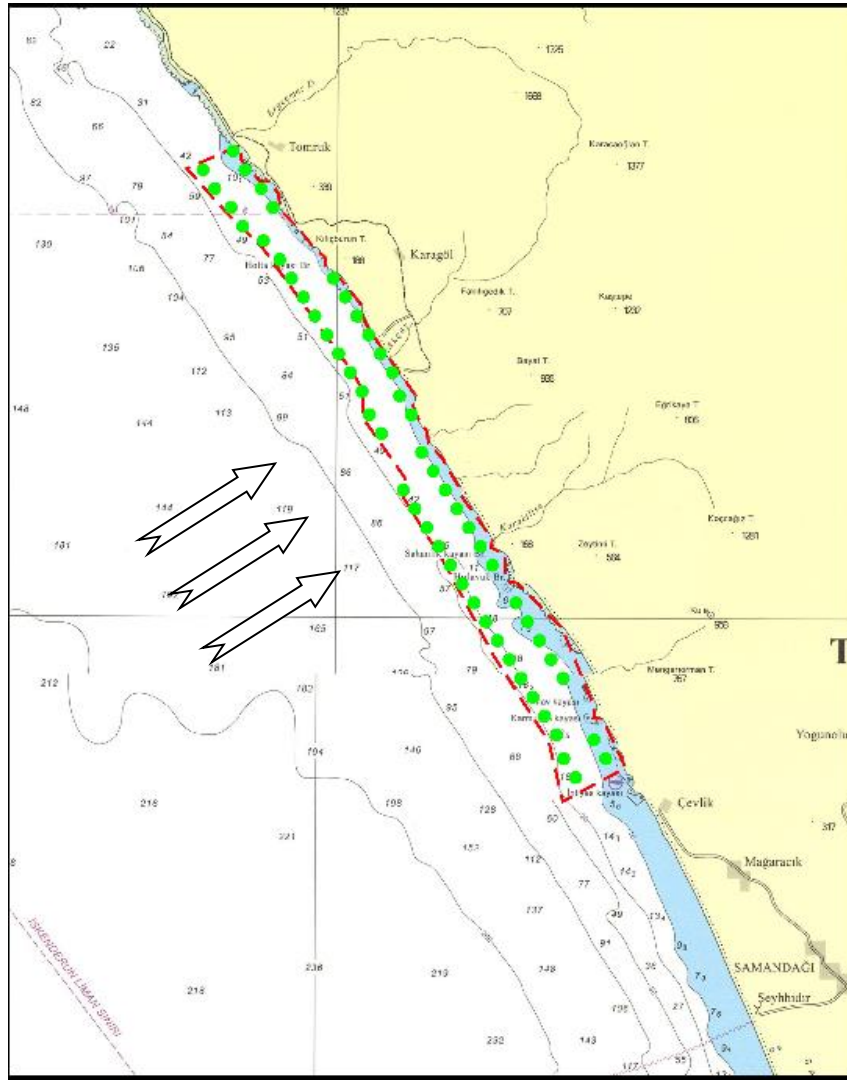
50 m ve 150m yükseklikler değerlendirildiğinde ortalama hızlar 5.27m/s ve 6.16 m/s arasında değişmektedir. 50 m ve 150m yükseklikler dikkate alındığında rüzgâr gücü yoğunlukları 154 W/m<sup>2</sup> ila 245 W/m<sup>2</sup> aralığındadır. Hakim rüzgâr Şekil 4.30'da görüldüğü gibi güneybatı ve kuzeydoğudan esmektedir.

Şekil 4.30 Samandağ sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin konumunu göstermektedir. Kurulum için Samandağ sahillerinin Çevlik beldesinin kuzeyinde kalan bölümler tercih edilmiştir zira Çevlik sahili ve güneyinde kalan bölge caretta caretta kaplumbağalarının yumurtlama alanlarıdır ve koruma altındadır.



Şekil 4.30 Samandağ kıyılarında deniz üstü rüzgâr santrali yapılması öngörülen bölge

Şekil 4.31’de Samandağ sahillerinde kurulması öngörülen deniz üstü rüzgâr türbinlerinin yerleri görülmektedir. Rüzgâr türbini olarak 100m kanat çapında ve 3 MW anma gücünde bir model seçilmiştir. Türbinlerin dizilimleri, aynı hizada bulunan türbinler için aralarında 5D, iki türbin sırası arası 9D aralık bırakılarak yapılmıştır. Bölgeye 57 adet türbin yerleştirilebilmekte ve kurulabilecek santral 171MW’lık bir güce ulaşmaktadır. Kıyı şeridinde en yakın türbin yaklaşık 175 metrede, en uzak türbin ise 1225 metre uzaklıkta olup bütün türbinler, kanatları hakim rüzgârı cepheden alacak biçimde konumlandırılmıştır. Samandağ’da hakim rüzgâr güneybatı ve tam zıt istikameti olan kuzeydoğudan estiği için türbin seçimi yapılırken rüzgârı her iki yönden alabilen kanat ve kanopi (nase) yapısına sahip olmasına dikkat edilmelidir.



**Şekil 4.31** Samandağ kıyılarında kurulması düşünülen türbinlerin yerleşimleri

Bütün bölgelerde kurulabilecek deniz üstü rüzgâr türbinlerinin sayısı yüzen temeller düşünülerek artırılabilir. Yalnız derinlere gittikçe kıydan uzaklaşmakta ve üretilen enerjinin karaya ulaştırılma maliyetleri yükselmektedir.

## 4.2. Tartışma

Tablo 4.4 11 bölgeye ait değerlendirme kriterleri çizelgesi

Bölge”	Ortalama Rüzgar hızı (50m) m/s	Ortalama Rüzgar hızı (150m) m/s	Rüzgar gücü yoğunluğu (150m)W/m <sup>2</sup>	Kıta Sahanlığı	Askeri Alan	Sivil Havacılık	Deniz Trafiği	Boru Hatları	Sosyal Faktörler	Çevresel Faktörler
Aliağa	4.3	5.1	128	±	±	+	-	+	+	+
Amasra	6.0	7.0	469	+	-	+	+	+	+	+
Bandırma	5.7	6.7	346	+	±	+	+	+	+	+
Bozcaada	8.0	9.3	714	+	±	+	+	+	+	+
Çanakkale	5.2	6.1	269	+	±	+	-	±	+	+
Karasu	3.5	4.0	161	+	+	+	+	+	+	+
Datça	5.0	5.8	334	-	+	-	+	+	-	-
İnebolu	5.7	6.7	273	+	+	+	+	+	+	+
Gemlik	4.8	5.6	160	+	±	±	-	+	+	+
Samandağ	6.0	7.0	245	+	+	+	+	+	+	±
Gökçeada	5.9	6.9	337	+	±	+	+	+	+	+

Tablo 4.4’de 11 bölgeye ait değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. Tabloda“+ “ uygun, “ – “ uygun değil, “±” kısmen uygun anlamına gelmektedir.

Tablo4.4’te Bozcaada’daki ortalama rüzgâr hızının 150 m yükseklikte 9.3 m/s ile en yüksek hız olduğu, aynı yükseklikte Karasu’daki ortalama rüzgâr hızının 4 m/s ile en düşük hız olduğu, 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızları ele alındığında 8 m/s ile Bozcaada’nın en yüksek hıza sahip olduğu, Karasu’nun 3.5 m/s hızla en düşük rüzgâr hızına sahip olduğu görülmektedir. 150 metre yükseklikteki rüzgâr gücü yoğunluğu ele alındığında Bozcaada 714 W/m<sup>2</sup> ile ilk sırada olup Aliğa 128 W/m<sup>2</sup> ile son sırada yer almaktadır. Gemlik ve Karasu’nun sırasıyla 160 W/m<sup>2</sup> ve 161 W/m<sup>2</sup> ile düşük rüzgâr güç yoğunluklarına sahip olduğu görülmektedir.

Kıta sahanlığı göz önünde bulundurulduğunda Ege Bölgesindeki Aliğa ve Datça’nın sınırlı bir deniz alanına sahip olduğu görülmektedir Askeri alanlar açısından incelendiğinde, Amasra’nın tamamının, Aliğa, Bandırma, Bozcaada ve Gökçeada’nınsa bazı bölümlerinin uygun olmadığı görülmektedir.

Sivil havacılık yönünden değerlendirildiğinde Gemlik ve Datça’da uçakların suya iniş kalkış alanları bulunduğu için bir kısıt oluşmaktadır.

Deniz trafiği ele alındığında Aliğa petrokimya, demir çelik, rafineri ve birçok gemi söküm tesisinin bulunması nedeniyle, Gemlik büyük gemilerin yanaşabildiği bir limana sahip olması nedeniyle ve Çanakkale, Marmara Denizi’ni Ege Denizi’ne bağlayan Çanakkale boğazı nedeniyle yoğun bir trafiğe sahiptir.

Çanakkale haricinde hiçbir bölgede herhangi bir boru hattı bulunmamaktadır.

Sosyal faktörler kriteri ele alındığında Datça’da Özel Çevre Koruma Bölgesi bulunmaktadır.

Çevresel faktörler göz önünde bulundurulduğunda Samandağ’ın Çevlik bölgesinin güney kısmında bir deniz kaplumbağası cinsi olan caretta caretta larının koruma altında olan yumurtlama bölgeleri ve göç alanları bulunmaktadır.

Tablo 4.5 Kriterlerin değerlendirilmesi sonucu deniz üstü rüzgar enerji santralleri kurulabilecek bölgelere ait bilgiler

Bölge	Rüzgar hızı (50m) m/s	Rüzgar hızı (150m) m/s	Toplam türbin sayısı	Toplam güç (3MW'a göre)	Türbinlerin yanal dizilimleri	Türbinlerin ardına dizilimleri	En yakın türbinin kıyıya olan uzaklığı	En uzak türbinin kıyıya olan uzaklığı
Bandırma	5.7	6.7	97	291	5D	10D	300	6640
Bozcaada	8.0	9.3	223	669	5D	10D	335	7360
İnebolu	5.7	6.7	92	276	5D	10D	300	1930
Samandağ	6.0	7.0	57	171	5D	9D	175	1225
Gökçeada	5.9	6.9	74	222	5D	10D	150	3620



Tablo4.5'te bütün değerlendirme kriterlerine grebir eleme yapıldıktan sonra deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilecek bölgeler, kurulabilecek türbin sayıları ve santral güçleri,yanal ve ardışık dizilim mesafeleri ayrıca kıyıya en yakın ve en uzak türbin mesafeleri görülmektedir.

Tabloya göre 150 metre yükseklikte en yüksek ortalama rüzgâr hızı 9.3 m/s ile Bozcaada, 50 metre yükseklikte en düşük ortalama rüzgâr hızı 5.7 m/s ile Bandırma ve İnebolu'dur.

Kurulabilecek türbin sayısı ve toplam santral güçleri açısından en ön sırada 223 türbin ve 669 MW ile Bozcaada, en son sırada ise 57 türbin ve 171MW ile Samandağ yer almaktadır.

Kıyıya en yakın türbin 150 metre ile Gökçeada'da, kıyıya en uzak türbin ise 7360 metre ile Bozcaada'da konuşlandırılabilir.Kurulabilecek türbin sayısı toplamda 543, toplam güçleri ise 1629 MW'tır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

#### 5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'deki 55 bölgeye ait deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. 3 m/s ve üzerindeki ortalama rüzgâr hızına sahip bölgelerin rüzgâr değerlendirme kriterlerine göre deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygunluğu araştırılmıştır. Bölgelerdeki rüzgâr hızlarının istatistiksel analizleri için WAsP programından faydalanılmıştır. Rüzgâr yönü dağılımları ve seyir haritaları incelenerek, hakim rüzgâr yönü, deniz derinlikleri, kıyıdan uzaklıklar değerlendirilmiş, deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulabileceği bölgeler belirlenmiştir. Kurulum için detaylı maliyet analizi yapılmamıştır. Değerlendirmeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çalışılan 55 bölgeden Bozcaada, Amasra, Samandağ, Gökçeada, İnebolu, Çanakkale, Bandırma, Gemlik, Datça, Aliağave Karasu olmak üzere 11 tanesinin 10 metre yükseklikte ölçülen ortalama rüzgâr hızları 3 m/s üzerinde olup, rüzgâr hızı yönünden deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna imkan tanıyacağı düşünülmektedir.
- Amasra yüksek rüzgâr hızına sahip olan bir bölge olmasına rağmen askeri eğitim ve atış alanı bulunduğu için deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna uygun değildir.
- Çanakkale sahillerinde askeri eğitim ve atış alanlarının bulunması, deniz trafiğinin yoğun olması, boru hatları gibi birçok engelden dolayı deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu düşünülmemiştir.
- Datça; Yunan adalarına çok yakın olması, özel koruma bölgesi olması, turistik bir bölge olması ve deniz uçaklarının iniş kalkış bölgelerinin bulunması nedenlerinden dolayı Çanakkale'ye benzer şekilde deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu düşünülmemiştir.
- Gemlik, askeri eğitim ve atış alanları bulunması, büyük gemilerin girebildiği yoğun bir limana sahip olması ve körfezin dar olması nedeniyle deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu öngörülmemiştir.

- Aliğa'da askeri deniz özel güvenlik bölgesi bulunduğu için deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu açısından problem teşkil etmektedir.
- Yüksek kurulum maliyetleri gözönünde bulundurulduğunda Karasu, Gemlik ve Aliğa'ya düşük rüzgâr hızlarından dolayı deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu öngörülmemiştir.
- Yüksek rüzgâr hızları ve sığ denizi ile Bozcaada 669 MW'lık bir deniz üstü rüzgâr santrali kurulum potansiyeline sahiptir. 669 MW'lık kapasiteyi bir trafo merkezi kurulumunu gerektirmektedir. Ayrıca, üretilen elektrik enerjisinin Çanakkale'ye denizaltı kablolarıyla transferi gerekeceği için, 25-30 km'lik denizaltı kablolarının maliyete etki edecek bir unsur olduğu hesap edilmelidir.
- Bandırma ve İnebolu sırasıyla 291MW ve 276MW potansiyel güçleriyle birbirlerine yakın bir kapasiteye sahiptirler. Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin İnebolu kıyılarına yakın yerlere kurulması durumunda sosyal yönden halkın tepkisini çekebileceği düşünülmektedir. Bandırma'da seçilen bölgenin halkın yaşadığı yerleşim ve kumsallardan uzak olması, görsel etkiye zarar vermemekte dolayısıyla deniz üstü rüzgâr santrali kurulumuna izin vermektedir. Bozcaada ile karşılaştırıldığında mesafe kısa olduğu için elektrik enerjisinin karaya aktarımının daha ucuza mal olacağı tahmin edilmektedir.
- Gökçeada, 74 türbin ve 222MW'lık bir kapasiteyle deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için yeterli hız ve güce sahiptir. Bozcaada'da olduğu gibi Gökçeada'da da üretilen enerjinin denizaltı kablolarıyla Çanakkale'ye aktarılmasının maliyeti artıracak bir unsur olduğu dikkate alınmalıdır.
- Samandağ, bu beş bölge içerisinde 150 metre yükseklikteki rüzgâr hızı açısından ikinci sırada olmasına rağmen, 57 türbin ve 171MW'lık toplam kurulu gücü ile en düşük kapasiteye sahiptir. Buna karşılık, kurulum yapılması düşünülen bölgenin kıyıya çok yakın olması elde edilen elektrik enerjisinin karadaki trafo merkezlerine aktarım maliyetlerini düşürecek olması Samandağ'da deniz üstü rüzgâr santrali yapılmasını uygulanabilir kılmaktadır.

## 5.2. ÖNERİLER

- Ülkemizde karasal rüzgâr enerjisinin önemi anlaşılmış ve yeni santrallerin kurulumları hızlı bir şekilde devam etmektedir. Yakın bir gelecekte karasal alanlarda büyük güçlü rüzgâr enerji santrali yapacak alanlar çok azalacaktır. Bugünden itibaren devletin desteğiyle deniz üstü santral kurulumu ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmaya başlanmalıdır.
- Özellikle tüm denizlerimizde 0 - 45 metre aralığındaki deniz tabanının yapısı ile ilgili jeolojik araştırmalar yapıp denizlerin imarı ile ilgili yasalar çıkarılmalı ve deniz üstü rüzgâr santrali kurulabilecek alanlar detaylı olarak belirlenerek haritalandırılmalıdır.
- Çevre açısından denizlerimizdeki kuşların ve deniz canlılarının yaşam alanları araştırılarak haritalandırılmalı ve deniz üstü rüzgâr santrali kurulacak alanların tespitinde bu haritalardan faydalanılmalıdır.
- Deniz kıyısında olup meteorolojik ölçüm istasyonu bulunmayan ilçelerde Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçüm istasyonları kurulmalıdır. Ayrıca Türkiye'nin bütün denizlerinde deniz üstü ölçüm istasyonları kurularak yapılacak analizler için rüzgâr hızı, dalga yüksekliği gibi gerçek veriler elde edilmelidir.
- Yüzer temellerin yapım teknikleri araştırılarak denizlerin daha derin bölgelerine de rüzgâr santralleri kurulabilmesi sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

### Referanslar

- [1] Yaşar, D., Yıldız, D., Küresel Isıtılan Dünya ve Su, Truva Yayınları, 2009
- [2] G.M. Ngala, B.Alkali, M.A.Aji, “Viability of wind energy as a power generation source in Maiduguri, Borno state, Nigeria.” Renewable Energy, vol 32, pp. 2242-2246, 2007.
- [3] Z.A. Muis, H.Hashim, Z.A.Manan, F.M.Taha, P.L.Douglas, “Optimal planning of renewable energy-integrated electricity generation schemes with CO2 reduction target.” Renewable Energy, vol 35, pp.2562-2570, 2010.
- [4] Abbasi T, Premalatha M, Abbasi T, Abbasi SA, “Wind Energy: Increasing deployment, rising environmental concerns.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.31, pp. 270-288, 2014.
- [5] World Wind Energy Association 2014 Half-year report. [http://www.wwindea.org/webimages/WWEA\\_half\\_year\\_report\\_2014.pdf](http://www.wwindea.org/webimages/WWEA_half_year_report_2014.pdf)
- [6] Renewables 2015 Global Status Report. [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015\\_KeyFindings\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_KeyFindings_lowres.pdf)
- [7] GWEC, Global Wind Energy Council, Global Wind Statistics, 2014
- [8] <http://www.tureb.com.tr/tr/bilgi-bankasi/avrupa-res-durumu>
- [9] Global Wind Energy Council, Global Figures. 2014. <http://www.gwec.net/global-figures/global-offshore/>
- [10] Zhao X, Ren L, “Focus on the development of offshore wind power in China: Has the golden period come?” Renewable Energy, vol. 81, pp. 644-657, 2015.
- [11] UK Offshore Wind: Opportunity, Costs & Financing. Climate Change Investment Research. 2011.

- [12] Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. International Renewable Energy Agency Working Paper. 2012.
- [13] [www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls](http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls)
- [14] Tureb temmuz 2015 istatistik raporu
- [15] Turkish Wind Energy Statistics Report. Presented at Intercontinental Wind Power Congress (IWPC) 2015
- [16] A. Ucar, F.Balo, “Assessment of wind power potential for turbine installation in coastal areas of Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.14, pp.1901-1912, 2010.
- [17] M.Ö. Köroğlu, “Design principles of offshore wind plants with connection to grid via high voltage alternate current and high voltage direct current”, M.S. thesis, Fen Bilim. Enst., Ege Uni., İzmir, 2011.
- [18] B.Güzel, “offshore wind energy, feasibility study guidelines with Bozcaada and Gökçeada case study”, M.S. thesis, Energy Inst., Istanbul Tech. Uni., İstanbul, 2012.
- [19] C. İlkiliç, H.Aydin, “Wind power potential and usage in the coastal regions of Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.44, pp.78-86, 2015
- [20] <http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/NSWTC/FAQ.JPG>
- [21] European Environment Agency (EEA), 2009. Europe’s Onshore and Offshore Wind Energy Potential: an Assessment of Environmental and Economic Constraints. EEA Technical Report No. 6/2009.
- [22] Hau, 2006; Mukund, 1999; Ragheb, 2011
- [23] <http://www.nce.co.uk/features/water/deep-solutions/8643841.article>
- [24] <http://www.cowi.com/menu/service/BridgeTunnelandMarineStructures/Offshorewindfarms/Offshorefoundations/Pages/Offshore-foundations.aspx>
- [25] Hau, 2005

- [26] <http://www.4coffshore.com/windfarms/foundations-no-longer-to-support-bilfinger-business-nid1299.html>
- [27] [http://www.jandenul.com/sites/default/files/project/images/butendiek\\_monopile\\_01.jpg](http://www.jandenul.com/sites/default/files/project/images/butendiek_monopile_01.jpg)
- [28] <http://www.heavyliftspecialist.com/wp-content/uploads/2013/03/StanislavYudin.jpg>
- [29] <http://eandt.theiet.org/magazine/2014/05/windfarm-foundations.cfm>
- [30] [https://en.wikipedia.org/wiki/Floating\\_wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_wind_turbine)
- [31] <http://global.britannica.com/topic/territorial-waters>
- [32] F. Lindgren, B. Johansson, T. Malmlöf, F. Lindvall, “Siting conflicts between wind power and military aviation – Problems and potential solutions”, *Land Use Policy*, vol.34, pp.104-111, 2013.
- [33] <http://www.renewableuk.com/en/our-work/aviation-and-radar/>
- [34] F. Douvere, F. Maes, A. Vanhulle, J. Schrijvers, “The role of marine spatial planning in sea use management: The Belgian Case”*Marine Policy*, vol. 31, pp. 182-191, 2007.
- [35] W., Jones, P.J.S., “The emerging policy landscape for marine spatial planning in Europe.”*Marine Policy*, vol. 39, pp. 182-190, 2013
- [36] K. Samoteskul, J.Firestone, J. Corbett, J. Callahan, “Changing vessel routes could significantly reduce the cost of future offshore wind projects”, *Journal of Environmental Management*, vol. 141, pp. 146-154, 2014.
- [37] Denizcilere İlanlar Yıllığı, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
- [38] H.C. Isıklar, “Ege’de Çözülemeyen Türk-Yunan Sorunları ve Casus Belli”, IQ Kültür Sanat Yayıncılık, İstanbul, Turkey, 2009.
- [39] <http://web.shgm.gov.tr/>, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

[40] <http://www.botas.gov.tr>, Botaş Genel Müdürlüğü

[41] <http://geodata.ormansu.gov.tr/>

[42] [http://www.tureb.com.tr/attachments/article/543/TURSAT%202015\\_2%20high.pdf](http://www.tureb.com.tr/attachments/article/543/TURSAT%202015_2%20high.pdf)



## EKLER

### 6.1. EK A: MATLAB KODU

```
clear;
fclose all;
fname = '1';
fid = fopen([fname '.csv']);
C = textscan(fid, '%n,%n,%n,%n,%n,%n %s', 'HeaderLines', 2);
mapp = {
    'N', '0'
    'NNE', '23'
    'NE', '45'
    'ENE', '68'
    'E', '90'
    'ESE', '113'
    'SE', '135'
    'SSE', '158'
    'S', '180'
    'SSW', '203'
    'SW', '225'
    'WSW', '228'
    'W', '270'
    'WNW', '293'
    'NW', '315'
    'NNW', '338'
};
for ii=1:size(mapp,1)
    idx = strmatch(['/' mapp{ii,1}], C{7}, 'exact');
    C{7}(idx) = mapp(ii,2);
end
```

## 7. ÖZGEÇMİŞ



### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Volkan YERCI  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ankara 1971  
**Telefon** : 532 643 46 99  
**e-mail** : vyerci@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Anadolu Lisesi	1988
Üniversite	: Selçuk Ün. Müh.Mim.Fak.Elk.Elt. Müh. Bölümü	1994
Yüksek Lisans:	Mevlana Ün. Fen Bilimleri Enstitü. Elk.Elt. Müh. Anabilim Dalı	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1997-1999	Mermer A.Ş.	Elektrik Mühendisi
1999-2000	Müsevitoğlu Mermer Ltd.	Elektrik Mühendisi
2000-2009	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.	Elektrik Mühendisi
2010-2015	Selçuk Ün. Tıp Fakültesi	Elektrik Mühendisi

**UZMANLIK ALANI** : Elektrik tesisleri, yenilenebilir enerji kaynakları

**YABANCI DİLLER** : İngilizce

### YAYINLAR

M.Argin, V.Yerci, “The assessment of offshore wind power potential of Turkey”, 9<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2015), 2015. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır)